



Erdészettudományi Közlemények

1. évfolyam 1. szám

2011

Az Erdészeti Tudományos Intézet és a Nyugat-magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Karának tudományos lapja





Pionyr

Az nyírfa vizét, ha tavasszal veszed és iszod, igen jó kő és sárgaság ellen – írja Melius Péter Herbáriumában. A tatár törzsek eget és földet összekötő világfájától a korai középkor Mária-metaforájáig számos kultúrkörben jelképként ábrázolt nyír igazi pionír: éghajlattal szemben közömbös, talajban – vagy annak hiányában – sem válogatós.

Fotó: Nagy László

Erdészettudományi Közlemények

1. évfolyam 1. szám



2011

Főszerkesztő:

Csóka György (ERTI)

Helyettes főszerkesztő:

Lakatos Ferenc (NYME EMK)

A szerkesztőbizottság társelnökei:

Borovics Attila (ERTI) és Náhlik András (NYME EMK)

A szerkesztőbizottság tagjai:

Albert Levente (NYME EMK)

Duska József (BNP)

Führer Ernő (ERTI)

Góbbölös Péter (Gyulaj ZRt)

Gribovszki Zoltán (NYME EMK)

Kolozs László (MGSZH EI)

Kovács Gábor (NYME EMK)

Sárvári János (MEGOSZ)

Szabados Ildikó (ERTI)

Szepesi András (VM)

Felelős kiadó:

Borovics Attila

Erdészeti Tudományos Intézet

9600 Sárvár, Várkerület 30/A

www.erti.hu

Címlapterv:

Griffes Grafikai Stúdió

4032 Debrecen, Illyés Gyula u. 76

www.griffes.hu

Címlapkép:

Kocsánytalan tölgy csírcsemete

(© Csóka György)

ISSN 2062-6711

Nyomdai munkák:

Agroinform Kiadó és Nyomda Kft.

1149 Budapest, Angol u. 34.

Ügyvezető igazgató: *Bolyki István*

Felelős vezető: *Stekler Mária*

www.agroinform.com

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Borovics Attila és Náhlik András:</i> Beköszöntő	5
<i>Oroszi Sándor:</i> Az erdészeti szaksajtó története Magyarországon	7–16
<i>Führer Ernő, Marosi György, Jagodics Anikó és Juhász István:</i> A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban	17–28
<i>Illés Gábor, Kovács Gábor és Heil Bálint:</i> Nagyfelbontású digitális talajtérképezés a Vaskereszt erdőrezervátumban	29–43
<i>Kalicz Péter, Gribovszki Zoltán és Király Géza:</i> Galériaerdők hatása a vízfolyások apadási görbéire és ennek információtartalma	45–57
<i>Manninger Miklós, Edelényi Márton, Pödör Zoltán és Jereb László:</i> Alkalmazott elemzési módszerek a környezeti tényezők fák növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatában	59–70
<i>Kondorné Szenkovits Mariann:</i> A zöld duglászfenyő (<i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>viridis</i>) növekedésének vizsgálata két különböző termőhelyen	71–81
<i>Benke Attila, Cseke Klára és Borovics Attila:</i> Dunántúli <i>Leuce</i> nyár populációk genetikai vizsgálata RAPD és cpDNS markerekkel	83–93
<i>Cseke Klára, Bordács Sándor és Borovics Attila:</i> Egy elegyes tölgyes taxonómiai és genetikai szerkezetének elemzése	95–105
<i>Cseke Klára, Benke Attila és Borovics Attila:</i> Nyár genotípusok azonosítása DNS ujjlenyomatuk alapján	107–114
<i>Rédei Károly, Csiha Imre, Keserű Zsolt, Kamandiné Végh Ágnes és Rásó János:</i> Nyírségi akácok táji fatermési táblája	115–124
<i>Vidóczi Henriett:</i> A szelídgesztenye kéregrák elleni biológiai védekezés tapasztalatai a Soproni-hegységben	125–134
<i>Primusz Péter, Péterfalvi József, Kisfaludi Balázs és Biczó Balázs:</i> A faanyagmozgatás hatása az erdészeti úthálózatok szállítási és fenntartási költségeire	135–151

CONTENTS

<i>Attila Borovics and András Náhlik:</i> Greeting	5
<i>Sándor Oroszi:</i> History of the forestry literature in Hungary	7–16
<i>Ernő Führer, György Marosi, Anikó Jagodics and István Juhász:</i> A possible effect of climate change in forest management	17–28
<i>Gábor Illés, Gábor Kovács and Bálint Heil:</i> High resolution digital soil mapping in the Vaskereszt forest reserve	29–43
<i>Péter Kalicz, Zoltán Gribovszki and Géza Király:</i> Riparian forest impact onto streamflow recession curve and its meaning	45–57
<i>Miklós Manninger, Márton Edelényi, Zoltán Pödör and László Jereb:</i> Overview of the applied methods in the research of the impact on environmental factors on tree growth	59–70
<i>Mariann Kondorné Szenkovits:</i> Growth-analysis of Douglas fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>viridis</i>) at two dissimilar sites	71–81
<i>Attila Benke, Klára Cseke and Attila Borovics:</i> Population genetic inventory of transdanubian <i>Leuce</i> poplars applying RAPD and cpDNA markers	83–93
<i>Klára Cseke, Sándor Bordács and Attila Borovics:</i> Taxonomic and genetic study of a mixed oak stand	95–105
<i>Klára Cseke, Attila Benke and Attila Borovics:</i> Identification of poplar genotypes based on DNA fingerprinting method	107–114
<i>Károly Rédei, Imre Csiha, Zsolt Keserű, Ágnes Kamandiné Végh and János Rásó:</i> Local yield tables for black locust at Nyírség	115–124
<i>Henriett Vidóczi:</i> Experience of biological control of chestnut blight in the Sopron mountains	125–134
<i>Péter Primusz, József Péterfalvi, Balázs Kisfaludi and Balázs Biczó:</i> The effect of timber transport on the maintenance and carriage cost of forest road networks	135–151

BEKÖSZÖNTŐ

Mi a kutatás? Utak keresése. Utak hiányában pedig új ösvények kitaposása. Ezt követően jól látható útjelző táblákat hátrahagyva kell irányt mutatnia. Néhány lépéssel a gazdálkodók előtt járva, meg kell alapoznia a legjobb gyakorlatot. Ha jól működik az erdészeti kutatás, akkor ki tudja jelölni a gazdálkodás mozgásterét, össze tudja hangolni az erdei ökoszisztéma működését és a gazdálkodás folyamatait oly módon, hogy eközben a fenntarthatóság elvei se sérüljenek.

Melyek a hátrahagyott útjelző táblák? A kutatási eredményekből származó tanulmányok, szakcikkek, könyvek, előadások. A kutatók szakmai előmenetelét alapvetően befolyásolja a megírt publikációk száma, minősége. Az elismertség szempontjából az impakt faktoral rendelkező, megfelelő hivatkozásokat eredményező és ma már jellemzően angol nyelvű folyóiratcikkek élveznek előnyt. Ez a tudományos közösség értékrendszere szerinti prioritás. De lássuk be, hogy az ágazati kutatásoknak, így az erdészeti kutatásnak is, a hazai gyakorlat számára lényeges, a mindennapi döntésekhez szükséges kérdések megválaszolása is alapfeladata. Feladata a folyamatos eszmecsere, a szemlélet formálása, egyfajta szakmapolitikai felelősségvállalás. Ezt figyelembe véve, bizonyos mértékig a szó jó értelmében provinciálisnak kell lennünk, vagyis feladatunk eredményeinket magyar nyelven is közzétenni, előtérbe helyezve a Kárpát-medence által meghatározott egyedi ökológiai és sajátos gazdálkodási feltételek vizsgálatát. Tanulmányok közreadásával, könyvek kiadásával, szakmai rendezvényeken való előadások megtartásával eddig is sokat tettünk a fenti elv érvényesülése érdekében, de be kell ismernünk, volt egy nagy adósságunk.

Az elmúlt években nem jelent meg magyar nyelvű erdészeti tudományos szakfolyóirat. Ezt a hiányosságot pótolnunk kellett! Az Erdészeti Tudományos Intézet és az Erdőmérnöki Kar összefogva, közösen indítja magyar nyelvű tudományos folyóiratát. Ezzel eleget kívánunk tenni a szakmai közösség jogos elvárásának, széles körűen elérhetővé téve legújabb tudományos eredményeinket. Lehetőséget kívánunk teremteni más tudományos műhelyek, gyakorló szakemberek eredményeinek közlésére is, a minőséget mindenkor szem előtt tartva. A minőség letéteményesei pedig szándékunk szerint az érintett szakterületek legkiválóbbjai lektorként, valamint a tudományos és a szerkesztőbizottság, melyek soraiban kiváló elméleti és gyakorlati szakemberek vannak.

Tisztelt Olvasó! Bízunk abban, hogy a publikált eredményeket hasznosítani tudja munkája során! Fogadja szeretettel az első lapszámot!

Sárvár/Sopron, 2011. október havában



Borovics Attila
főigazgató
ERTI



Náhlik András
dékán
NYME EMK



Kövek fából

A megkövesedett, *Araucarioxylon* fajhoz sorolható fák 200–250 millió évvel ezelőtt, a földtörténeti triászban éltek. Az akkor uralkodó párás, csapadékos éghajlat mellett akár 2–3 méteres átmérőt és 30–60 méter magasságot is elértek. Az elpusztult ősi fákat a folyóhordalék és később még egy vastag hamuréteg is eltemette. A fosszilizációs folyamatokban a törzs minden részlete, az eredeti külső és belső sejtfelépítése is fennmaradt. A sejtekbe beépülő kvarcon kívül egyéb szervesetlen anyagok (vas, kobalt, króm, mangán) a sok színváltozatért. Petrified Forest Nemzeti Park, Arizona állam, USA.

Fotó: Szabados Ildikó

AZ ERDÉSZETI SZAKSAJTÓ TÖRTÉNETE MAGYARORSZÁGON

Oroszi Sándor

Magyar Mezőgazdasági Múzeum

ELŐZMÉNYEK

A magyar erdészeti folyóiratok és periodikák története a XIX. század elejéig nyúlik vissza. Ekkor jelentek meg ugyanis azok a közéleti, majd szakmai lapok, időszaki kiadványok, amelyekben több-kevesebb erdészeti tárgyú cikk, tanulmány is napvilágot látott. A közéleti, politikai kiadványok közül a „Pesti Hírlap”-ot vagy – németül – a „Pester Lloyd”-ot kell megemlítenünk. A „Tudományos Gyűjtemény” egy periodika volt, míg a „Magyar Gazda” a testvérágazat, a mezőgazdaság lapjaként adott lehetőséget erdészeti cikkek megjelenítéséhez, már csak azért is, mert kiadójának, az Országos Magyar Gazdasági Egy(esü)letnek 1842-től erdészeti szakosztálya is működött. Nem szabad még elfeledkeznünk az általános természettudományok vonaláról, „A Magyar Orvosok és Természetvizsgálók Nagygyűlésének Munká(lata)i” elnevezésű rendszeres kiadvány szintén tartalmazhatott erdészeti tanulmányokat. Külön kiemeljük a Kunoss-féle „Természet”-et, amely ugyan alig egy évet (1838) élt, de számos reformkori törekvést, köztük az erdészeti vonatkozásúakat is tartalmazta. Hosszabb távú hatásaként meg kell említeni, hogy mind az élővilággal foglalkozó későbbi (1867 utáni) kiadványok („A Természet”, „Természettudományi Közlöny”, „Természetrajzi Füzetek”, Természettudományi Füzetek” stb.), mind a vadászatiak („Vadász- és Versenylap”, „Vadászlap”, „Vadászat és Állatvilág” stb.) időnként erdészeti írásoknak is helyt adtak.

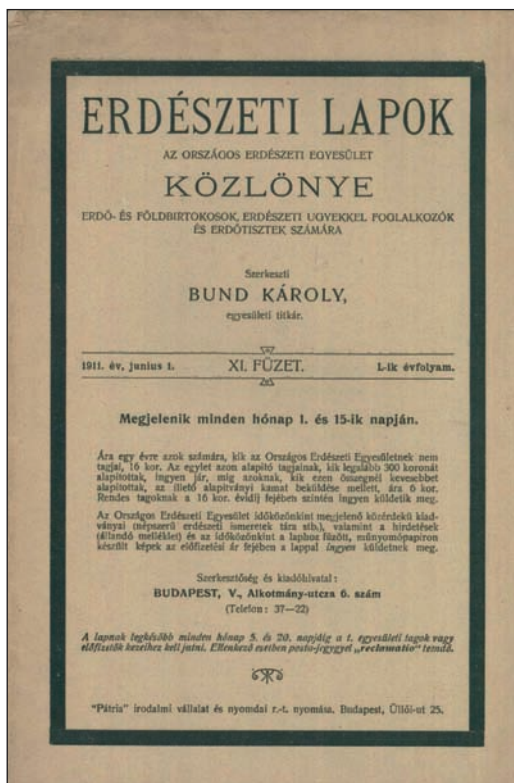
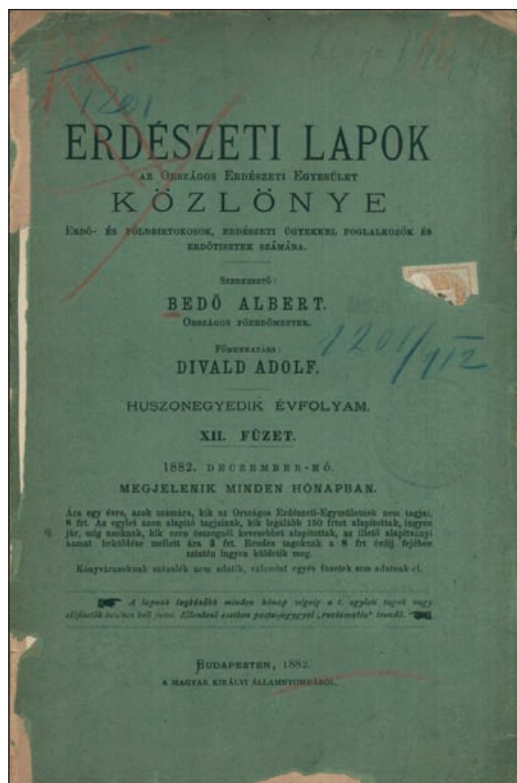
Az 1848–49 utáni beszűkült politikai lehetőségek természetesen az erdészeti írások megjeleníthetőségének is gátat szabtak. Pedig éppen akkor zajlott a(z ideiglenes) kataszteri felmérés, a volt jobbágyság és földesurak érdeinek elkülönítése, és sok, az erdészet helyzetét meghatározó esemény. Erdészeti kérdések ekkor főleg a közéleti kiadványokban („Vasárnapi Újság”, „Kolozsvári Közlöny” stb.), továbbá a mezőgazdaságban („Erdélyi Gazda”) kerülhettek napirendre.

A KEZDETEKTŐL AZ I. VILÁGHÁBORÚ VÉGÉIG

Az erdészeti irodalomban alapvető változást az Ungarischer Forstverein 1851. évi megalakulása hozott. A német nyelvű és szellemű egyesület honosította meg a rendszeres, csak erdészeti kérdésekkel foglalkozó időszaki kiadványokat. A „Mittheilungen des Ungarischen Forstvereines” évente megjelenő füzetei az egyesületi vezetőség üléseiről, döntéseiről, vándorgyűléseiről, a tagságot érintő egyéb kérdésekről, de legfőképpen a magyar(országi) erdőgazdálkodás problémáiról, feladatairól tájékoztatott (amelyek a vándorgyűléseken állandóan

napirendre kerültek), illetve még a tagok névsoráról, tagdíjfizetéséről is. Itt hangzottak el felhívások arra, hogy a közleményeket a német mellett magyarul is adják ki, amely kétnyelvűség azonban csak az erdészegylet magyarosítása után (1866) vált (néhány évig) jellemzővé.

1862-ben Divald Adolf és Wagner Károly Selmecen – a város „jótállásával” – engedélyt kapott az „Erdészeti Lapok” című szakmai folyóirat megjelentetésére. Ezzel teremtődött meg az a fórum, amely nemcsak az erdész szakma „magyarosítását”, hanem az erdészetet érintő valamennyi kérdés részletes, tudományos megtárgyalását lehetővé tette. Az induláskor azonban kiderült: nincs elég olvasó, előfizető, aki a magyar nyelvű folyóiratot „eltarthatná”. Ezért nyitottak a mezőgazdaság („Erdészeti és Gazdászati Lapok” – 1867) és a vadászat felé (sőt még a méhészet és egyéb, az erdészetet távolabbról érintő témák is felmerültek). Ezekből a későbbiekben csak a vadászat maradt meg. Az Országos Erdészeti Egyesület 1866. évi meg-, illetve átalakulása azonban ki szélesítette a magyar nyelvű olvasóközönséget és az erdésztársadalmat is.



1–2. ábra: Az Erdészeti Lapok 1882. decemberi, és az 1911. évi júniusi számának borítója

Kezetben szűk munkatársi gárda dolgozott a lapnál, ráadásul többnyire idegen nyelvű cikkek fordításával töltötték ki az újságot, de a kiegyezés (1867) utáni magyarosítás az erdészeti szaknyelvet is megújította – szinte egyik napról a másikra. Következésképpen mind igényesebben kidolgozott, eredetileg is magyarul írott tanulmányok, ismertetések jelentek meg. Amikor pedig a Lapok 1873-ban az OEE hivatalos közlönyé lett (idővel tulajdonába is áttment), az egyesületi hírek, események szintén itt kaptak helyet.

Az 1879. évi erdőtvörnyet követő időszak az erdésztársadalom felemelkedésének, a vadászat, majd bányászat, sőt mezőgazdaság évszázadokig jellemző „nyűgétől” való megszabadulásának időszaka. (Ez nemcsak az állami – kincstári – területeken ment végbe, hanem idővel az egyéb, így magánuradalmakban is.) Ekkor az

egyesületi titkár szerkesztette a lapot (előbb Bedő Albert, majd Horváth Sándor, a XX. században pedig Bund Károly), és a rendszerint kéthetente megjelenő folyóirat felépítése véglegessé vált. A szerkesztőségi vagy rendkívül aktuális (például jeles erdész nekológját közlő) írással kezdődött, majd erdészettudományi cikkek, tudósítások, netalán hozzászólások következtek. Azután az egyesületi hírek (jegyzőkönyvek, állásfoglalások stb.), majd a hazai és külföldi irodalomszemle kapott helyet. A „hivatalos közlemények” rovatban nemcsak a földművelésügyi, hanem egyéb, az erdészeket érdeklő felhívások, rendeletek, utasítások jelentek meg, majd a „változások és kitüntetések az erdészeti szolgálat köréből” – hogy az olvasók tudjanak egymásról, szaktársaikat „szemmel tarthassák”. Külön rovatban szerepeltek az állás-, a feladási és egyéb hirdetések, míg a borítón szintén helyt adtak hirdetéseknek – köztük például az egyesületi székházban kapható könyvekről. Itt jegyezzük meg, hogy az „Erdészeti Rendeletek Tára” is elkészült, amelyet gyakran az „Erdészeti Lapok”-kal együtt, mellékletként kézbesítettek.

Az évente 1000 oldalnál is hosszabb folyóirat előfizetőinek, illetve az OEE tagságának névsorát rendszerint az év végi számokban közölték. A díszesen bekötött évfolyamok 1886-tól az egyesület székházában álltak a tagok rendelkezésére, míg a századforduló éveiben egyre gyakrabban jelentettek meg a fontosabb cikkekből különnyomatokat is. Ezeket a kiadóhivatalból (amely az Alkotmány utcában, a székházban volt) lehetett megrendelni. Említésre méltó, hogy „A fapiacról” cím alatt Bedő Albert közölte az időszzerű faárakat, ami majd csak az önálló fapiaci, faipari kiadványok („Faipari és Fakereskedelmi Értesítő”, „A Fakereskedelem”, „Magyar Faipar és Fakereskedelem”, „Magyar Fakereskedő” stb.) megjelenését követően, a XX. század első éveiben szűnt meg. A faiparral, főleg pedig az erdészek műszaki feladataival kapcsolatban feltétlenül meg kell említenünk az „Erdészeti Zsebnaptár”-t. A Horváth Sándor szerkesztette, 1882–1918 közötti időszakban évente megjelenő periodika az erdészek név- és szolgálatihely-jegyzékét is tartalmazta.

Ha az „Erdészeti Lapok” terjedelmes évfolyamait erdészettudományi szempontból tekintjük végig, mindenképpen nyomon követhető az a fejlődés, amely a hazai tudományosságra jellemző. A „német iskolából” kinövő, a hazai viszonyokhoz alkalmazkodó, a magyarországi tapasztalatokat közzétevő híradások legelőször itt jelentek meg. Sőt az esetlegesen elkészült, többnyire az OEE kiadásában megjelenő szakkönyvekből is közöltek részleteket, de ismertetőket mindenképpen. Azaz az elsősorban erdőtiszteknek íródó „Erdészeti Lapok” mintegy szakmai továbbképzést jelentett azoknak, akik az Alma Matertől, Selmectől elszakadva szolgálati helyükön, eldugott vidéken látták el „az erdőgazdaság önálló vezetését” (miként azt az oklevelükben megfogalmazták).

Az üzemtervek jóváhagyását hivatalos lapban, a „Budapesti Közlöny”-ben tették közzé. Figyelemre méltó még a „Közigazdasági Értesítő” is, amely az 1880-as években erdészeti híradásokat, sőt tanulmányokat is tartalmazott.

Miután az erdészeti kísérleti állomás elkezdte a munkáját 1898-ban, a következő évben megjelent az „Erdészeti Kísérletek” első száma, de az „Erdészeti Lapok” továbbra sem mondott le a tudományos cikkek publikálásáról. Annál is kevésbé, mert Magyarország változatos erdőtípusai, a minden korábbinál jobban fejlődő biológiai és műszaki tudományok újabb és újabb kérdéseket vetettek fel. A válaszokat pedig az elméleti szakemberek (főiskolai tanárok) és a gyakorlati erdészek együttesen próbálták megtalálni. Az „Erdészeti Kísérletek” elmélyültebb és részletesebb tanulmányokat is megjelentetett annál, mint korábban az „Erdészeti Lapok” s egyben lehetővé tette a kilépést a nemzetközi fórumokra, a kísérleti állomások nemzetközi szervezete, a IUFRO révén. Igaz, hogy idegen nyelven sem a részletesebb tanulmányok, sem az „Intézeti ügyek” címszó alatti kutatási híradások nem jelentek meg – még összefoglalás szinten sem. Az „Erdészeti Kísérletek”-ből kinöve viszont feltétlenül meg kell említenünk azt a 26 füzetből álló periodikát, amelyet az „Erdészeti Kísérleti Állomások Nemzetközi Szövetségé”-nek 1914-re Magyarországra tervezett, Deliblat–Temesvár–Szeged–Budapest–Gödöllő–Selmecbánya–Beszterebánya–Sturec(-hágó)–Magas-Tátra útvonalon lévő erdészeti látnivalót mutatta be, magyar és idegen nyelveken. (A sorozat – periodika – pontos címe: „Az erdészeti kísérleti állomások nemzetközi szövetségének VII. nagygyűlése hazánkban, 1914.”)



A kimondottan tudományos szakirodalom legfontosabb bázisán kívül a századfordulón létrejövő vidéki erdészeti egyesületek is igyekeztek saját sajtóorgánummal megjelenni. Közülük a „Magyar Erdész” a legjelentősebb, amely 1901-től a Borsod–Gömör–Heves megyék Erdészeti Egyesületének hivatalos lapjaként látott napvilágot. Fontosságát nemcsak a jó egy évtizednyi fennállása adja, hanem az is, hogy ebben a folyóiratban megjelentek olyan, a „hivatalos”, az OEE által képviselt erdészeti politikai nézetekkel esetleg vitatkozó írások is, amelyek az „Erdészeti Lapok”-ban nem – már csak az ország vezető erdészeire való tekintettel sem. A „Magyar Erdész” cikkeit is lehetett különnyomatban, illetve önálló könyv alakban olvasni.

1907-ben indult meg „Az Erdő” című újság mint „erdészeti és vadászati szaklap kisebb erdők kezelői, erdészeti altisztek és erdőőrök, vadőrök részére”, amelyet Temesvár–Vadászerdőn szerkesztettek. Az említett olvasóközönséget kívánta kiszolgálni, jó színvonalon. Ugyanezen időszak terméke az „Erdőőr”, majd az „Erdészeti Újság” (Szászsebes) és „Az Erdészet” (Besztercebánya és Liptóújvár) is, hasonló olvasóközönséget megcélozva. A „Bányászati és Kohászati Lapok”-kal elsősorban a szakoktatás kérdései kapcsolódtak össze, de számos, az erdészetben is alkalmazott műszaki megoldás ismertetése szintén itt kapott nyilvánosságot. A másik oldalon, a mezőgazdaság terén, a „Köztelek” említhető meg, továbbá az ekkoriban jelentkező turistáskodással, természetjárással kapcsolatos kiadványok („A Magyarországi Kárpát–Egyesület Évkönyve”, „Erdély” stb.) is figyelmet érdemelnek. Az alaputatásokat képviselő „Aquila”, „Magyar Botanikai Lapok” és „Földrajzi Közlemények” erdőket is érintő tanulmányait szintén itt, a századforduló erdészeti irodalmával kapcsolatban kell megemlítenünk.

Végül a „14-es háború” nehézségei kapcsán írunk az „Erdészeti Lapokat” is korlátozó papírhányról, vagy a különösen 1917-től megszaporodó különféle rendeletekről, amelyeket a papírszegény időkben is közölni kellett. De ennek az időszaknak jelentős eseménye – mindenféle korlátozások dacára – az „Erdészeti Kísérletek” 1918. évi terjedelmes száma, amely közli Rapaics Raymundtól „Az Alföld növényföldrajzi jellemé”-t.

AZ I. ÉS II. VILÁGHÁBORÚ KÖZÖTT

Az I. világháború után – mint minden más – az erdészeti szaksajtó is csak fokozatosan „tért magához”. Az OEE az országot átforgató eseményekből súlyos anyagi- és presztízsveszteséggel került ki (nem, vagy alig tudta támogatni a repatriálót, a szomszédos országokból menekülő tagjait).

Az „Erdészeti Lapok” azonban megjelent (Czillinger János, Bíró Zoltán, végül Mihályi Zoltán szerkesztésében), sőt az évfolyamok fokozatosan bővültek. Eleinte még foglalkoztak az elszakított országrészek erdészeit is érintő történéseivel (például a román agrárreformmal), majd egyre inkább az itthoni erdészeti feladatokra figyeltek. A Kaán Károly által meghirdetett új erdészeti politika, tudniillik a meglévő erdők fokozott védelme, továbbá az új erdők telepítésének törvényi előírása éppen elég témát adott. Ráadásul az erdész szakma eddigi biológiai és műszaki összetevői mellé egyre inkább felsorakozott a gazdaságtan, az ökonómia. Ez különösen a nagy gazdasági világválság (1929–33) idején mutatkozott meg. Általában nem mondható, hogy a magyar mező- és erdőgazdaság a válságból nyertesén jött volna ki. Sokkal inkább az mutatkozott meg, hogy a tőke, a gazdasági érdekek nem ismernek (új) országhatárokat; ha kellett, akkor még a politikailag ellenséges szomszédokkal (például Romániával) is kötöttünk (kötötték a fapiac szereplői) üzletet – a hazai erdőbirtokosok és erdészek kárára, netalán az Erdélyben maradt magyarok rovására is.

Végül megemlítjük, hogy az „Erdészeti Lapok” a korszak, a második világháború befejezéséig terjedő időszak végére írásairól különnyomatokat, idegennyelvi összefoglalókat közölt, sőt a külföldi folyóiratok szemlézése is jelentős helyet kapott. Az idegennyelvűség az 1926-ban újra induló „Erdészeti Kísérletek”-re is jellemző lett, amely részben az 1936-ban Magyarországon – végre – sorra kerülő IUFRO-kongresszusnak, illetve a II. erdészeti világkongresszusnak is szólt. Mindenesetre a magyar erdészettudomány – elsősorban a homok- és szikfásítási sikerek révén – elfoglalta helyét az európai erdészeti tudományok világában. Ráadásul erről naprakész információkat adott.

Az erdészet nemzetközi kitekintését segítette – talán éppen báró Waldbott Kelemen elnök révén – a „Magyar Erdőgazda” című szaklap, amelyet a Tiszajobbparti Vármegyék Erdészeti Egyesülete adott ki. A nívós kiadványok között kell megemlítenünk az „Erdőgazdasági Szemlé”-t, amelyet a Felsődnánutúli Erdészeti és Vadászati Egyesület jelentetett meg. A háború után a hazai erdészek legfontosabb szellemi központjává a soproni főiskola lépett elő. Következésképpen a főiskolai tanárok jegyezték a nívós cikkeket és tanulmányokat nemcsak az „Erdészeti Kísérletek”-ben, hanem az „Erdészeti Lapok”-ban is, illetve a Sopronban megjelenő „Erdőgazdasági Szemlé”-ben.

Meg kell emlékeznünk a Magyar Erdészeti és Vadászati Segédtsztek és Altisztek Országos Szövetségéről, amely 1927-ben alakult, a következő évben ugyan némi névváltozás következett be, de „Az Erdő” című hivatalos lapjuk a II. világháború végéig megjelent. A folyóirat a komoly szakmai dolgozatokon kívül elsősorban az említett tagok érdekképviseletével és az egyesület híreivel foglalkozott.

A vadászati szakajtó („Vadászat”, majd „Magyar Vadászújság” és „Nimród/–Vadásújság”) elsősorban a fásítások propagálásában volt érdekelt, de bennük az erdész-vadászélet számos érdekessége is napvilágot láthatott. Ugyanez mondható el a természetjárók, a turisták legfontosabb lapjáról, a „Turistaság és Alpinizmus”-ról. Annál is inkább, mert 1923-ban, majd 1935-ben törvényben deklarálták: a természetvédelem letéteményesei az erdészek. Éppen ezért megemlíjtük még a „Kócsag” és a „Természet- és Állatvédelem” (Sopron) című kiadványokat.

Az Alföld-fásítás célkitűzéseinek megismertetésében jelentős szerepet játszottak – értelemszerűen – a mezőgazdasági folyóiratok, kiadványok; továbbra is a „Köztelek”, de felsorolhatjuk a „Kertészet”-et és a „Zöld Mező”-t is. Kaán Károly erről a feladatról a „Magyar Gazdák Szemlé”-jében, a „Vízügyi Közlemények”-ben, sőt a „Budapesti Szemlé”-ben, a „Budapesti Hírlap”-ban és a „Pesti Hírlap”-ban is írt.

A periodikák között jelentősége és közismertsége révén a „Rádiós Gazdasági Előadások” címűt kell legelőször megemlíteni. Így az új „médiium”, a rádió révén közzétett ismeretekhez az érdeklődők nyomtatott formában is hozzáférhettek, előfizethettek. Az alföldi erdőtelepítésekkel, majd az 1935. évi erdőtörvénnyel kapcsolatos számok kimondottan erdészeti kérdésekkel foglalkoztak. Ugyanezzel kapcsolatos „A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye”.

A periodikákat illetően a legnagyobb vállalkozás az „Erdészeti Zsebnaptár” újraindítása volt, amely 1943-ban két kötetben jelent meg, de a háború miatt nem volt, nem lehetett folytatása. A kiadvány mindenesetre talán a legjobb összefoglalása – főleg soproni főiskolai tanárok tollából – az erdészeti tudományok biológiai, műszaki és gazdaságtani ismereteinek.

Az időszak végén ismét a folyóiratok, periodikák nyomdai előállításának nehézségeiről, az újabb háború okozta korlátozásokról kell említést tenni. Mégis ebben az időszakban jelent meg a „Földrajzi Közlemények”-ben Wallner Ernő új, a Bakony potenciális (rekonstrukciós) növénytakarójával foglalkozó, tulajdonképpen új tudományágat képviselő tanulmánya.

Szintén fel kell hívni a figyelmet a „Magyar Statisztikai Szemlé”-re. Ebben nemcsak az 1938-tól megindult országrész-visszacsatolások erdészeti adatai, hanem az Alföld-fásítás számszerű eredményei is szerepelnek. Az „Erdészeti Lapok” 1944. évi évfolyamában pedig Kiss Ferenc tanulmánya a legjelentősebb, a „Harc az elemi csapásokkal a Duna-Tisza közti homokterületen”.

A II. VILÁGHÁBORÚ VÉGÉTŐL NAPJAINKIG

Az erdők birtok- és tulajdoni viszonyait átalakító 1945–46-os esztendőkből az erdészeti szakajtó nem jelent meg. Mégis meg kell emlékeznünk egy periodikáról, ráadásul, amit Szegeden adtak ki, s amely erdészettudományi kérdésekkel is foglalkozott. Ez a Bartucz Lajos által szerkesztett az „Alföldi Tudományos Intézet Évkönyve” volt, amely aztán – az Intézettel együtt – hamar az „osztályharc” áldozatává vált.

címmel) adott ki. A törekvés egyértelmű: a hazai szakemberek legalább kivonatos formában (bár teljes tanulmányok fordítását is meg lehetett rendelni) tudjanak a külföldi szakmai törekvésekről, eredményekről.

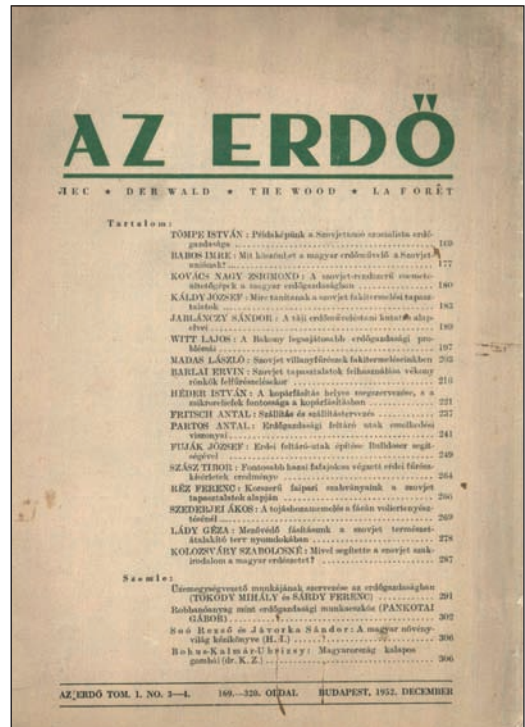
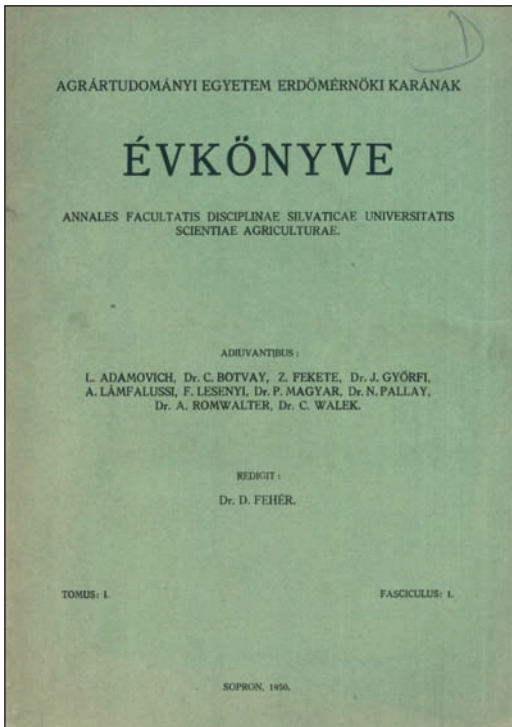
Amikor 1949-ben – szovjet minta alapján – a soproni oktatástól a kutatásügyet elválasztották, a létrehozott Erdészeti Tudományos Intézet nem tudta az Erdészeti Kísérletek kiadását folytatni. Helyette periodikaként az Erdészeti Lapokban megjelenő nagyobb cikkeket, tanulmányokat az „Erdészeti Tudományos Intézet (ERTI) Közleményei” címen adta ki, s majd 1953-tól indult meg az „Erdészeti Kutatások”. Közbevetőleg: 1953-ban és 1954-ben „Az Erdészeti Tudományos Intézet Évkönyve” címmel is adtak ki periodikát.



4–5. ábra: Az Erdészeti Tudományos Intézet egykori kiadványainak címlapja

Az oktatástól való elválasztással kapcsolatban tudnunk kell, hogy a központi kísérleti intézet 1946 végéig, majd 1947-től Sopronban működött. Ugyanitt 1947-ben indították újra az „Erdészeti Kísérletek”-et is, de a szétválasztás után a főiskola új tudományos periodikát kezdett el kiadni. Az első szám 1950-ben az „Agrártudományi Egyetem Erdőmérnöki Kar Évkönyve” címmel jelent meg, majd többször változott a címe, hiszen az erdészeti felsőoktatást is többször átszervezték, s csak az „Erdészettudományi Közlemények” jelentett némi állandóságot (1958–62), hogy aztán 1963-tól „Az Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei” címre térjenek át.

A kiadványok a magyar erdészeti tudományok legjobb hagyományait követve igyekeztek mindazokat az eredményeket rögzíteni, a hazai és külföldi érdeklődőkkel megismertetni, amelyeket a nagy lendülettel megkezdett (újra)kezdett kutatómunka hozott. Természetesen a korszak ideológiai elvárásainak is meg kellett felelni, de ami értékes volt bennük, az most is használható, ami pedig az ideológiai szempontokat szolgálta, kiesik az idő rostáján. Egy biztos: a magyar szakemberek az alföldi területek fásítási, erdőnevelési kérdéseiben, a nyár-fagazdálkodásban, az erdőbecslési és fatermési kérdések kutatásában jelentős eredményeket értek el. A táji erdőművelés elméleti, főleg pedig gyakorlati problémáinak megoldásába pedig nemcsak a kutatók, hanem a gyakorlati szakemberek is bekapcsolódtak, sőt publikáltak.



6-7. ábra: Az Agrártudományi Egyetem Erdőmérnöki Karának Évkönyve 1950-ből és „Az Erdő” 1952. decemberi száma

Természetesen mint minden tudományban, így az erdőszetiben is előfordultak kitérők, zsákutcák, közülük némelyik később akár nevelésesnek is tűnt. (Például a soproni kiadványban arról született tanulmány, hogy a növendék vadsértés „süldő” vagy „süldő”-e.) Összességében mégis számottevő eredmények születtek biológiai, műszaki és gazdaságtudományi kérdésekben is. Sőt megjelentek az erdővel kapcsolatos új elvárások, az erdők hármasszoros hasznosítása, természetvédelmi értéke stb. Igaz ugyan, hogy az oktatásban és a közleményekben is kezdtek háttérbe szorulni a műszaki problémák, de ennek jó ellensúlyozása volt a székesfehérvári geodéziai oktatók csatlakozása az egyetemi tudományos közlemények szerzőgárdájához.

Mielőtt visszatérnénk az 50-es évek elejére, jegyezzük meg: a vadászati, vadgazdálkodási kérdések is ebben a periódikában kaptak helyet – időnként talán „túlreprezentáltak” is. Ezt azért érdemes tudni, mert az 1948-ban induló „Magyar Vadász” sem az erdőszeti, sem pedig az említett tudományos megfigyeléseknek, tapasztalatoknak nem adott, nem tudott helyet adni a korábban megszokott módon, mivel ez a lap elsősorban az „újvadászok” lapjának indult, s többnyire meg is maradt a propaganda, a felszínes tájékoztatás, netalán a vadászhumor szintjén.

Az OEE minden erdőgazdasági dolgozó előtt szélesre tárta kapuit, ennek jele, hogy az általa 1952-től előbb negyedévenként, majd havonta megjelentetett „Az Erdő” „az erdőgazdaság tudományos folyóirata”-nak határozta meg magát. Igaz, ebben a lapban az egyesületi hírek, illetve – „Szemle” címszó alatt – különböző, más témák is helyet kaptak, de a cél mindenképpen az egykori „Erdészeti Lapok” legjobb hagyományainak folytatása, azaz a helyét külföldi összehasonlításban is megálló, színvonalas kiadvány alapítása, majd közzététele évtizedeken át. Ez elsősorban a magyar erdőszet negyedik nagy „szocialista útra térítője”, Keresztesi Béla koncepciója volt, amelyet a továbbiakban Solymos Rezső is folytatott. (Félreértés ne essék: az erdők államosításával a magyar erdőszet korábban soha nem látott lehetőségeket kapott, amivel tudott is élni, az

átállásba azonban – miként már utaltunk rá – belekeveredtek napi politikai kérdések, így újabb és újabb koncepcióváltásokra volt szükség.) Tematikus számokkal, sőt később már egy-egy egyesületi vándorgyűléshez kapcsolódó melléklettel igyekeztek az egyesületi tagságot kiszolgálni. Ennek ellenére „Az Erdő” mégis megmaradt „régelapnak” – nem a szerkesztők (akik között Jerôme Renét külön is ki kell emelni), illetve a szerkesztőbizottság hibájából.

Az 1954-ben életre hívott OEF lapja, az 1957-től „Erdőgazdaság és Faipar” címmel megjelenő újság sokkal olvashatóbb és – folytatva az „Erdőgazdaság” hagyományait – naprakészebb volt. Ezt a tulajdonságát megtartotta a főigazgatóság 1967. évi megszüntetése, a MÉM megalakítása után is. Szerkesztői közül Ákos Lászlót, különösen pedig Király Pált emelhetjük ki.

Az OEF felújította a MÁLLERD által kezdeményezett periodikakiadást. Új, a korábbiaknál sokkal részletesebb „utasításokat” jelentetett meg, míg az „Erdészeti Értesítő” minden, a szakigazgatással kapcsolatos hivatalos dokumentumot rendszeresen – általában hetente – közölte. (Az OEF utáni „MÉM Értesítő” csak részben foglalkozott erdészeti-faipari tárggyal.)

Külön meg kell említenünk az erdőgazdaságok üzemi újságjait (például „Erdősáv” – Szolnok, „Farkaserdő” – Sárvár, „Kakukk-hang” – Mátrafüred stb.). Ezek a helyi, vállalati eseményeket közölték, de több – elsősorban az 1956. évi számokban – az üzemeken túlmutató kérdést is tárgyaltak.

Az OEE, illetve szakosztályai szintén jelentettek meg periodikákat. Közülük az Erdők a közjóért Szakosztály és az Erdészettörténeti Szakosztály kiadványait említhetjük meg. Az utóbbi szakosztály 1963. évi megalakulása után 1964-től adta ki „Az Országos Erdészeti Egyesület Erdészettörténeti Szakosztály Közleményei”-t. (Ez vált 1990-től „Erdészettörténeti Közlemények”-ké.) Erre különösen amiatt volt szükség, mivel az 1957-ben induló „Agrártörténeti Szemle” – mint akadémiai folyóirat – az erdészettörténeti kérdéseknek kevés helyet tudott biztosítani. (A „Szemle” néhány évet ért elődje a századfordulón a „Magyar Gazdaságtörténeti Szemle” volt.) Az akadémiai „Magyar Tudomány” időnként – évtizedenként egy-két alkalommal – szintén foglalkozott erdészeti kérdésekkel.

Ugyanakkor meg kell említeni az újjáéledő, XIX. század óta megjelenő egyéb folyóiratokat („Botanikai Közlemények” stb.). Elsősorban az erdő néprajzi vonatkozásainak adott helyet az „Ethnographia”. A „Honismereti Híradó” (később, „Honismeret”) szintén nem a szakmának, hanem a nagyközönség számára adott hírt az erdőkről, erdészeti emlékekről. A megszaporodó múzeumi és levéltári évkönyvek az erdőkről szintén főleg néprajzi, illetve történeti adatokat tartalmaztak. A „Magyar Mezőgazdaság” és a „Mezőgazdasági Technika” időnként erdőgazdasági ügyeket is tárgyalt, szintúgy a „Természet Világa”, az „Élet és Tudomány”, majd az 1960-tól meginduló „Búvár”. A 60-as éveknek nagy eseménye volt az 1969-től megjelenő „Nimród”, melyben az erdők – mint a vad fontos élőhelye – megfelelő súllyal szerepeltek, különösen a mellékletként időnként kiadott „Nimród-Fórum”-ban.

A szűkebben vett faipar kérdéseit a „Faipari Kutatások”, továbbá a „Faipar” képviselték. A műszaki tudományokhoz közelített még a „Tájéoló”, illetve a természetvédelemhez a „Soproni Szemle” vagy a „Dunakanyar Tájékoztató”. Megemlékezünk még az 1980-as évek végén megjelenő „Soproni Egyetem”-ről, különösen annak különszámairól, „A Helyzet”-ről. Ezekben már a 80-as évek szocialista berendezkedésének halódását, illetve az útkeresést érhetjük tetten; nemcsak a kiadványok megjelenésében, hanem azok tartalmában is.

„Az Erdő”, amely 1990-ben már mint az „Erdészeti Lapok” 125. évfolyama jegyezte magát, az utolsó évben csak hat számmal jelentkezett. A 6., az utolsó a „Gödöllői Mezőgazdasági Tudományos Napok”-ról tudósított, s itt jelent meg „A fa energetikai hasznosításának eredményei, lehetőségei és korlátai Magyarországon” című tanulmány. Ez mintegy előrevetítette: az erdészeknek nemcsak a szakmabeli, hanem a megváltozó magyar gazdaság régi-új kihívásainak is meg kell felelniük. Ezt napjaink erdészettudománya – benne a most induló folyóirat – próbálja megoldani.



ÖSSZEFOGLALÁS

A magyar közélet nyelve évszázadokig a latin, míg az egyes szakmák, így az erdészeté pedig – köszönhetően a XIX. század közepe németesítési törekvéseinek – a német. A magyar nyelvű szaksajtó azonban már a XIX. század elején–közepén – elsősorban a mezőgazdasági és vadászatiakhoz kapcsolódóan – jelentős kiadványokkal büszkélkedhetett. Alapvető változást hozott az „Erdészeti Lapok” 1862. évi megindítása, amely az 1866-ban megmagyarosított Országos Erdészeti Egyesület közlönye mind a mai napig. Az erdészettudomány eredményeinek megismertetésére 1899-ben alapították az „Erdészeti Kísérletek”-et, amely – némi címváltoztatásokkal – szintén napjainkban is megjelenik.

Az erdészeti témájú cikkek, tanulmányok az I. világháború utáni években is részben a mezőgazdasági, részben a vadászati sajtóban is megjelentek. Sőt ekkortól számíthatjuk a természetvédelmi törekvések fórumain bemutatkozó erdészeti írásokat. Az említett, rokontudományhoz kapcsolódó sajtóorgánumokkal való összekapcsolódás napjainkra is jellemző.

A II. világháború után, közvetve az állami centralizáló törekvéséből, mind a hivatalos, mind az egyesületi, netalán vállalati kiadványok a szűkebben vett szakmai kérdéseken kívül aktuál(nagy)politikai kérdésekkel is foglalkoztak. Ezt hol jók, hol rosszul illesztették be az érintett szerkesztő(sége)k abba a vonulatba, amely a magyar erdőgazdálkodás modernizációját szolgálta. Ugyanakkor megjelent a média két újabb ága; a hang-, illetve a hang-kép, amelyet a hagyományos sajtó eleinte csak recenziált, majd tudomásul vette, hogy partnerként kell elfogadni.

A magyar erdészeti irodalom, benne a szaksajtó viszonylag szűk olvasóközönséget szolgál ki. (Ez részben a magyar nyelvű olvasók alacsony számából, részben az erdészszakma kis társadalmi súlyából következik.) Lehetősége van azonban arra – s ez az 1970-es évektől egyre jobban jelentkezik –, hogy a természet, így az erdők iránt érdeklődő laikus közönséget is megkeresse, ismeretét, véleményét befolyásolja. A szaksajtó történetének tanulsága ugyanis ez: „az erdészeti író feladata csak a népszerűsítés lehet” (Fekete Lajos – 1881).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1896: Katalógus a Magyarország erdőgazdaságára vonatkozó magyar és német nyelvű szakkönyvekről; a „Mittheilungen des Ungarischen Forstvereins” és az „Erdészeti Lapok” című folyóiratokban megjelent közleményekből. OEE. Bp.
- Balogh F.-né: Lakatos Károly-bibliográfia. In: Bartha D. és Oroszi S. (szerk.): A magyar erdészeti irodalom bibliográfiája. Erdészettörténeti Közlemények XXXIII, OEE Erdészettörténeti Szakosztály. Budapest/Sopron.
- Bartha D. és Oroszi S. (szerk.) 1995: A magyar erdészeti irodalom bibliográfiája, 1965–1990. Erdészettörténeti Közlemények XVIII, OEE Erdészettörténeti Szakosztály. Budapest/Sopron.
- Bartha D.; Oroszi S. és Frank T. közreműködésével 1996: A magyar erdészeti irodalom bibliográfiája, 1935–1944. Erdészettörténeti Közlemények XXVI, Budapest/Sopron.
- Csapody I. 1997: Kiegészítések a Gerlai-féle bibliográfiához. In: Bartha D. és Oroszi S. (szerk.): A magyar erdészeti irodalom bibliográfiája. Erdészettörténeti Közlemények XXXIII, OEE Erdészettörténeti Szakosztály. Budapest/Sopron.
- Gerlai A.G. (összeáll.) 1936: Bibliographia universalis silviculturae. Hungaria. A magyar erdészeti irodalom könyvészete 1934-ig. Röttig-Romwalter. Sopron.
- Kolossváry Sz.-né (összeáll.) 1966: A magyar erdészeti irodalom bibliográfiája, 1945–1964. OEF. Bp.
- Mados L.-né (1961–1963): Mezőgazdasági szakfolyóiratok bibliográfiája. 1900–1944., 1945–1962. II–III. Mezőgazdasági Kiadó. Bp.
- Turányi K. 1958: Mezőgazdasági szakfolyóiratok bibliográfiája. I. 1796–1899. Mezőgazdasági Kiadó. Bp.

*Jelen tanulmányt szerzője a szerkesztőbizottság felkérésére írta.
Tartalmánál és jellegénél fogva eltér a szokásos formai követelményektől.*

A KLÍMAVÁLTOZÁS EGY LEHETSÉGES HATÁSA AZ ERDŐGAZDÁLKODÁSBAN

Führer Ernő, Marosi György, Jagodics Anikó és Juhász István

Erdészeti Tudományos Intézet

Kivonat

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

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

A POSSIBLE EFFECT OF CLIMATE CHANGE IN FOREST MANAGEMENT

Abstract

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

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



BEVEZETÉS

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

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

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

ANYAG ÉS MÓDSZER

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

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

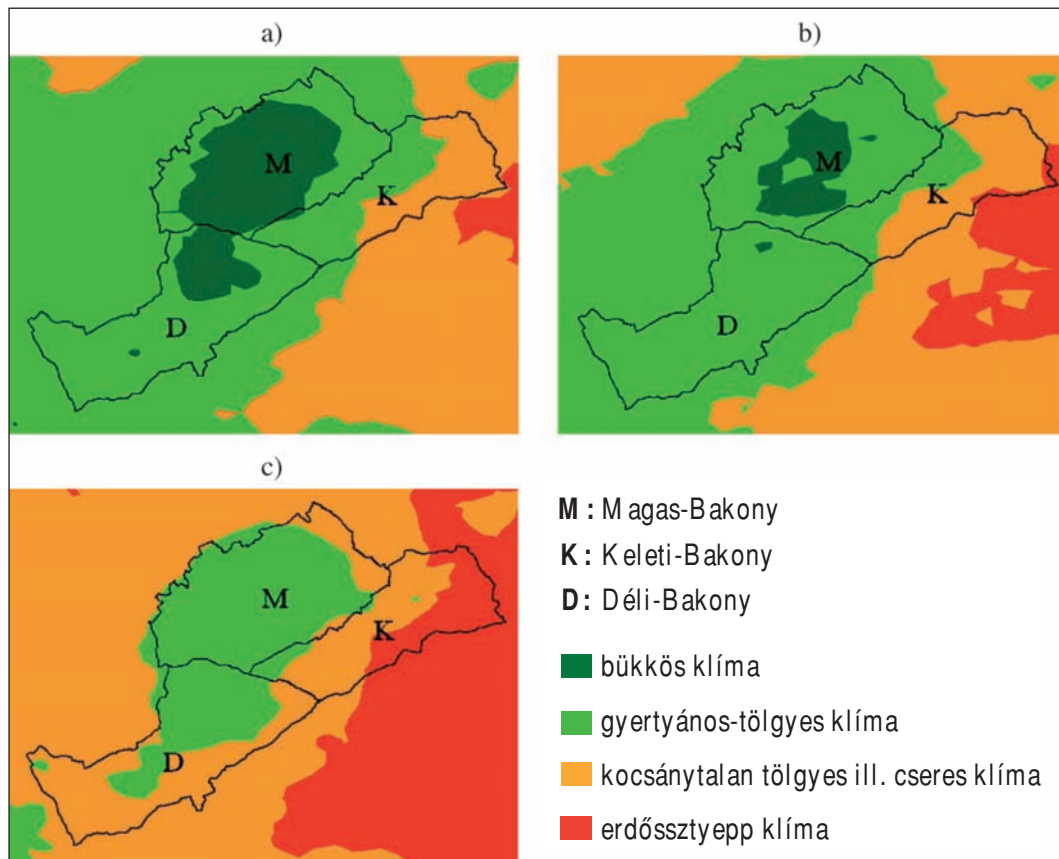
A vizsgált erdészeti tájak klímája

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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

A vizsgált tájak fatermőképesség szerinti összetétele és annak változása scenáriók alapján

Az egyes tájak fafajainak fatermőképessége

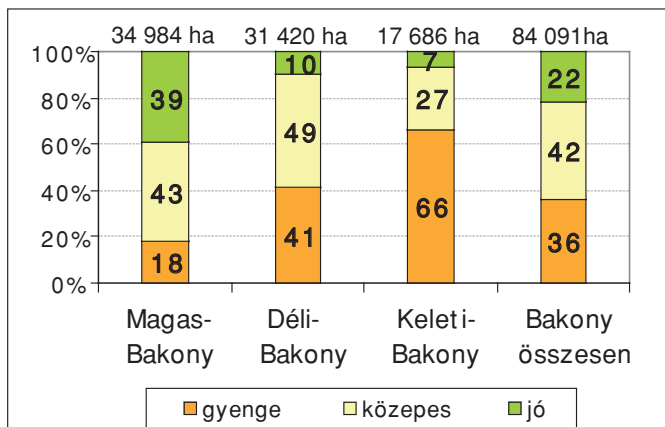
A termőhely fatermőképességét a kritikus vágásérettségi korra számított évi átlagnövedékkel jellemezhetjük, és jó, közepes, gyenge fatermőképességi csoportba soroljuk. Az erdőtervi adatok alapján a vizsgált tájakra az alábbi viszonyok a jellemzők (MGSZH 2008).

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

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

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

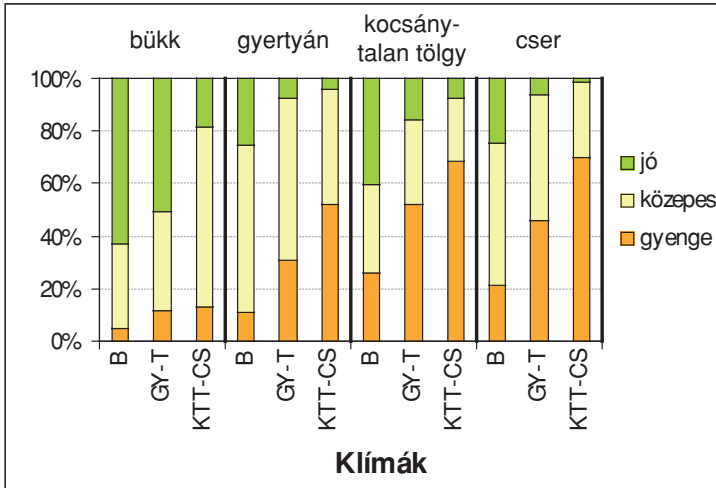
A fatermési osztályok (I–VI.) területi előfordulásának megoszlása alapján kiszámított átlagos fatermőképességi mutató a Magas-Bakonyban 3,1, a Déli-Bakonyban a gyengébb ökológiai adottságok miatt már 4,2, a legkedvezőtlenebb talaj- és klímaviszonyokkal jellemezhető Keleti-Bakony erdészeti tájban pedig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



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

A klímajelző fafajaink fatermőképessége a vizsgált tájokban

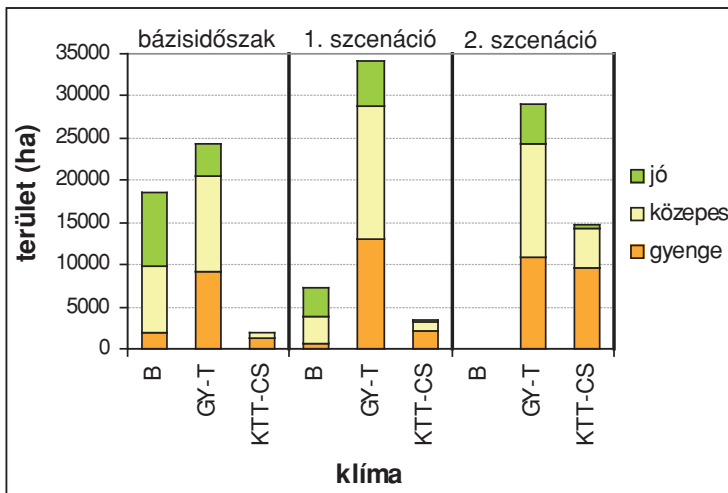
A három bakonyi erdészeti táj erdőinek területe 84 091 ha. Ennek 67%-át a klímajelző fafajok teszik ki, ebből a kocsánytalan tölgy 6%-os, a gyertyán 12%-os, a bükk és a cser pedig 22 ill. 27%-os redukált területi arányt képvisel. A klímaosztályonkénti értékelés alapján a bükköstől a kocsánytalan tölgyes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



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

A fatermőképesség klímaszcenáriók szerinti változása

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



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

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

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

A vizsgált erdészeti tájak klímajelző fafajainak hozammutatói és azok változása

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

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

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

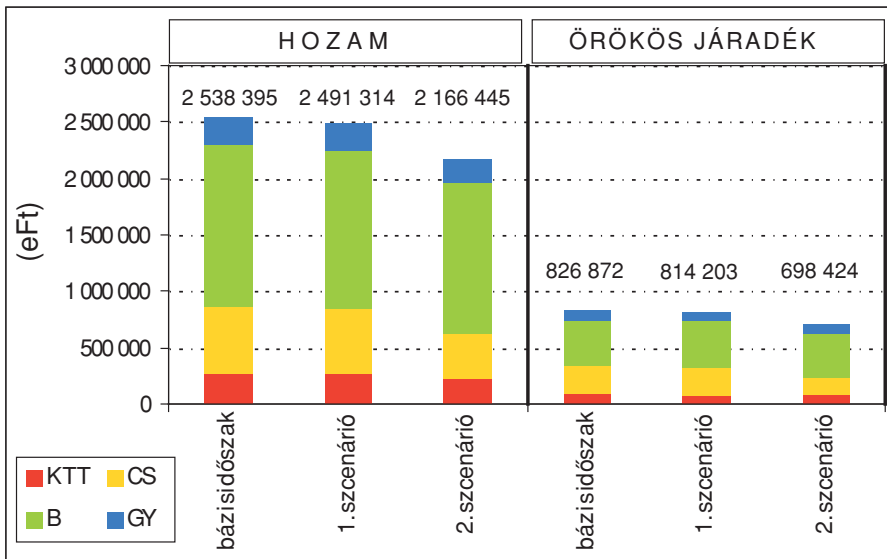
A klímajelző fajokra vonatkozóan a feltételezett klímaváltozás várható gazdasági hatását a fatermési osztályokra megadott hozam- és örökös járadék-értékekre támaszkodva mutatjuk be, a bakonyi erdészeti tájak mintegy 45 000 ha-os területi adatai alapján. Ez a terület közel akkora, mint egy átlagos állami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

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

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

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

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



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

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

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

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

ÖSSZEFOGLALÁS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

FELHASZNÁLT IRODALOM

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



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

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

NAGYFELBONTÁSÚ DIGITÁLIS TALAJTÉRKÉPEZÉS A VASKERESZT ERDŐREZERVÁTUMBAN

Illés Gábor¹, Kovács Gábor² és Heil Bálint²

¹Erdészeti Tudományos Intézet

²Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

A digitális talajterképezés módszereinek alkalmazásával a Vaskereszt erdőrezervátum talajterképét készítettük el. A terület talajait rétegzett véletlen mintavétellel vettük fel. A 138 véletlen mintavételi helyen talajtípus-meghatározást végeztünk. A talajterkép előállításához a digitális domborzatmodell, a talajadatokból álló adatbázist és földtani adatokat használtuk. A mintavételi pontok közötti területek talajtípusbecslésére diszkriminancia analízist, klasszifikációs fa és mesterséges neuronhálózat módszert alkalmaztunk, melyekben domborzati és földtani prediktor változók szerepeltek. A talajterképét a három becslő módszerrel külön-külön, majd együttes alkalmazással is elkészítettük. Vizsgáltuk a talajtípusbecslések pontosságát. Megállapítottuk, hogy a becslő módszerek önmagukban is alkalmasak talajterképek előállítására, de a becslési pontosságuk egyenetlen, 66–92% közötti. A talajtípusbecslő módszerek együttes alkalmazásával nyert eredményterkép 10%-kal volt nagyobb pontosságú, mint az egy-egy becslő módszer alkalmazásával kapott.

Kulcsszavak: digitális talajterképezés, térbeli kiterjesztés, erdőrezervátum

HIGH RESOLUTION DIGITAL SOIL MAPPING IN THE VASKERESZT FOREST RESERVE

Abstract

Using the digital soil mapping methods we made the soil map of Vaskereszt forest reserve. Soil samples were collected applying stratified random sampling. 138 sample sites were appointed where soil-types were determined. We used the digital elevation model, soil data, and geological data in order to produce soil map. To predict soil information for the areas between sample points general discriminant-, classification tree, and artificial neural network analysis were applied, in which relief and geological variables were predictors. Soil map was developed first using each method separately, and second using them simultaneously. Their prediction accuracies were compared. We concluded that these methods are able to derive soil maps however the classification accuracies are uneven, ranging between 66–92%. The soil map that was derived by the joint application of the three methods obtained 10% improvement in the overall accuracy.

Keywords: digital soil mapping, spatial prediction, forest reserve

BEVEZETÉS

A digitális talajtérképezési munkákban a legtöbbször és jellemzően használt független (predikciós) változók a domborzatmodellekből (DDM) származtathatóak. Ilyenek a következők: tengerszint feletti magasság, lejtés, kitérség és a felszín görbületét leíró paraméterek. Ezeknek a változóknak a körét gyakran bővítik a hidrológiai jellemzőket leíró változók, amilyen például az összefolyási vagy konvergencia index (Behrens és mtsai 2005). A digitális felszínmodellek használata azzal indokolható, hogy a domborzat a talajképződés folyamatában az egyik kulcsfontosságú tényező (Scull és mtsai 2003). A domborzat fontossága mint a talajtulajdonságok és talajjellemzők térbeli eloszlásának térképezésére használt predikciós változók csoportja, különösen szembevetendő a viszonylagosan kis kiterjedésű térképezendő területek esetében, amelyek kiterjedése a néhány száz hektártól a néhány tíz négyzetkilométerig terjed (McBratney és mtsai 2003). A térképezés során független változóként használt egyéb adatok között szerepelnek a földtani térképek, a távérzékelt adatok, a korábbi időpontokból származó talajadatok és a klimatikus változók adatai (McBratney és mtsai 2003, Lagacherie és mtsai 2007). Meglévő talajadatok vagy régi talajtérképek nagyon hasznosak az új felvételek előkészítésében és értékelésében, de arra is vannak példák, hogy a régebbi talajtérképeket a DDM segítségével javítják és aktualizálják, ami az új felvételek elvégzésénél kevésbé költséges megoldás (Pásztor és mtsai 2010, Bakacsi és mtsai 2010, Behrens és mtsai 2008).

A szakirodalmi források jelentős része elsődlegesen a DDM-ek talajtérképezésben való felhasználásának módszertani és feldolgozási kérdéseivel foglalkozik az egyes domborzatból levezetett változók esetében (Dobos és Hengl, 2009), ide értve azokat is, amelyek az egyes talajtulajdonságok és talajjellemzők becslési bizonytalanságának mértékét vizsgálják (Bishop és mtsai 2006, Smith és mtsai 2006). A szakirodalom alapján megállapítható, hogy a domborzat-talaj modellek nem nagyon érzékenyek a DDM-ek esetleges hibáira, azonban a domborzatmodell léptéke és felbontása, valamint a vizsgált terület nagysága fontos. Egy dél-brazíliai tanulmányból kiderül, hogy a DDM alapú háttérváltozók kizárólagos használata esetén a nagyobb, aggregált talajtípus csoportok térképezése eredményesebb lehet, mint különálló talajtípusok térképezése (pl.: barna erdőtalajok csoportja) (Giasson és mtsai 2006).

Nagyon változatosak a talajtérképezésben használt adattfeldolgozási technikák (mesterséges neuronhálózatok, regressziós módszerek, klasszifikációs fák, diszkriminancia vizsgálat, szakértői rendszerek és geo-statisztikai módszerek) vagy ezek kombinációja (Zhu és mtsai 2004, Lagacherie és mtsai, 2007). Ezeknek a módszereknek a hatékonyságát vizsgálva, egy kizárólag DDM alapú predikciós kísérletben (Behrens és Scholten 2007) kiderült, hogy legjobban a neuronhálózatok és a klasszifikációs fák használhatók digitális talajtérképek előállításához. A talajtulajdonságok térképezésével kapcsolatban Minasny és McBratney (2007a) eredményei megmutatták, hogy a regressziós krigeles meglehetősen stabil eredményt szolgáltat, ha a mintaszám elegendően nagy. Minasny és McBratney (2007b) egy másik tanulmányban azt vizsgálták, mi történik, ha a talajtípusok térbeli mintázatának becslésénél figyelembe veszik a talajtípusok mint taxonómiai egységek közötti hasonlósági mérőszámokat. Azt állapították meg, hogy a taxonómiai értelemben vett hasonlóság és különbség bevonása növeli a talajtípusmintázat- becslési eredmények pontosságát.

Megállapítható, hogy a térképezési munkák szempontjából a talajról gyűjtött információk mennyisége és minősége egyaránt fontos. Általánosságban a gyűjtött minták számának a becslésekhez használt változók számához képest kb. tízszer nagyobbak kell lennie. Mayr és Palmer (2007) megmutatta, hogy a modellek kipróbálására használt gyakorló területek és az azok ellenőrzésére használt teszterületek hasonlósága alapkövetelmény. Ugyanők kimutatták, hogy a becslések pontosságát a felszíninformáció kialakulásáról rendelkezésre álló információk megléte vagy hiánya is befolyásolja.

A talajtulajdonságok térképezésében a mintavételezés módszertana jobban ki van dolgozva, mint az öszszetett vagy levezetett talajjellemzők (pl.: a talajtípusé). A digitális talajtérképezés mintavételi tervezési eljárásait általában a geo-statisztikai megközelítés uralja. Az eljárások közötti különbségeket a háttérváltozók mennyisége és minősége szabja meg (Lagacherie és mtsai 2007). Általánosságban a rétegzett véletlen min-

tavételek és a felszínformák szerinti szegmentáció javasolható. A felvételezések célja szerint azonban egyéb mintavételi módok is alkalmazhatók. További erőfeszítéseket kell tenni annak érdekében, hogy a meglévő talajtani ismereteket hatékonyabban lehessen alkalmazni a mintavételek optimalizálásában, valamint új típusú háttérváltozók kijelölésére a térképezésben (Lagacherie 2008; Carré és Boettinger 2008).

A jelen cikkben bemutatott munka célja talajtípus-térképek előállításának. E cél három résztémake:

- talajtérképek készítése a Vaskereszt erdőrezervátum területére korszerű talajtérképezési módszerekkel;
- az elkészült térképek pontosságának és megbízhatóságának vizsgálata;
- eljárás kidolgozása a talajtérképezés hatékonyságának a növelésére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A térképezett terület

A Vaskereszt erdőrezervátum a Balaton déli partján, Szántód, Szántópuszta és Balatonendréd községek határában található. Klimatikus viszonyait tekintve a cseres, ill. kocsánytalan tölgyes és az erdősztyepp klíma határán helyezkedik el. Uralkodó erdőtürsülései a cseres-kocsánytalan tölgyesek, valamint a mész- és melegkedvelő tölgyesek.

Felhasznált adatok

A vizsgálatban a digitális talajtérképezés gyakorlatában egyöntetűen használt változókkal és adatállományokkal dolgoztunk (Hengl és Reuter 2007). A felhasznált adatok típusát, jellegét és mennyiségét az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A projektben felhasznált alapadatok
Table 1: The input data used in the project

Adat típusa	Adat jellege	Származási hely	Adatmennyiség (db)	Adatgazda
Talajadatok	Terepi megfigyelések	Vaskereszt erdőrezervátum	19 szelvény + 119 fúráspon	ERTI
Domborzati adatok	Digitális raszteres állomány	Vaskereszt	5 méteres rácshálóban 707x773 adatpont	FÖMI
Földtani adatok	Digitális vektoros állomány	Vaskereszt	36-féle földtani képződmény	MÁFI

Az egyes adattípusok rövid leírása:

Talajadatok: ismert koordinátájú mintavételi helyeken talajszelvényekből és talajfúrásokból gyűjtött mintákból végzett laborvizsgálatok és helyszíni vizsgálatok alapján megállapított talajtípus-információ.

Domborzati adatok: a Földmérési és Távérzékelési Intézet által forgalmazott M=1:10 000 méretarányú digitális domborzatmodellből származtatott, 5x5 méteres pixelméretű raszter adatállományok – lásd lentebb. Az eredeti cm-es felbontású egész számértékű DDM-ből méteres felbontású, lebegőpontos értékű, simított teretmodell felületek.

Földtani adatok: a Magyar Állami Földtani Intézet által készített földtani térképek digitális állományai, melyek a felszín közeli, 2 méter mélységben lévő képződményeket ábrázolják. Az adatállomány az 1:50 000



méretarányú földtani térkép digitális változata. E fedvény adatai a talajtípusok talajképző vagy ágyazati köze-
teinek azonosítására, ill. elkülönítésére használhatóak.

Az alapadatok mellett további, származott adatállományokat használtunk fel. A térinformatikai adatmodell
elemei a következők voltak:

- Domborzatmodell, 5x5 m-es cellamérettel, a tengerszint feletti magasság meghatározására. A simított domborzatmodell 7x7 cella nagyságú szűrővel készült, mely a központi cella magasságát a környező cellák magasságának ötszörös, háromszoros és egyszeres súlyával számolta át. Ezzel a módszerrel a kiindulási domborzattalület éles törései küszöbölhetők ki.
- Kitétség térkép, 5x5 m-es cellamérettel. A térkép a térképezendő terület pontjainak égtáj szerinti be-
sorolását egyszerűsíti le. Használatával a részletleíró termőhelyi információk pontosíthatók.
- A lejtést ábrázoló térképállomány, 5x5 m-es cellamérettel. Az előző adatállományokhoz hasonlóan az
erdészeti termőhely-besoroláshoz alkalmazott lejtőkategória meghatározását könnyíti meg.
- Évi napenergia bevételi modell, 5x5 m-es cellamérettel. Az adatállomány a földrajzi szélesség és a lo-
kális domborzatmodell alapján megmutatja, hogy mekkora lehet a potenciális napenergia-bevételi ener-
gia fluxus mértékegységben (kWh/m²/év, vagy MJ/cm²/év). Ez az érték több fontos paraméterrel lehet
összefüggésben, a hőmérséklettel, talajtípussal. Változatai a direkt, vagyis a közvetlen megvilágításból
eredő energiabevétel, illetve a diffúz, vagyis a szórt sugárzásból származó energiabevétel.
- Napos órák számát becslő térkép, 5x5 m-es cellamérettel. A direkt megvilágítású területrészek megvi-
lágítási idejét ábrázolja.
- Domborzat-pozíciós index, 5x5 m-es cellamérettel. A domborzatpozíciós index az adott terület magas-
sági értékét viszonyítja egy adott nagyságú és alakú környezet magassági értékeihez. Nagyon leegy-
szerűsítve: pozitív értékei magaslatot, negatív értékei völgyet, nulla körüli értékei sík vagy egyenlejtésű
területet jeleznek. E változó és a lejtés használatával elvégezhető a geomorfológiai kategorizálás
(Jeness 2006).
- Geomorfológiai kategória térkép, 5x5 m-es cellamérettel. Ez a térkép a vizsgált terület – adott méret-
arányú – domborzati formációit 10 osztályba sorolja a keskeny völgyektől a gerincekig. Nagy előnye,
hogy a domborzat objektív besorolását teszi lehetővé.
- Lejtőkategória térkép, 5x5 m-es cellamérettel. A lejtős területeket a lejtőlábaktól a gerincig négy kate-
góriába sorolja elhelyezkedésük szerint.
- Felszíngörbületi modell, 5x5 m-es cellamérettel. A felszín esésváltozásának intenzitását mutatja. A gör-
bületet két további adatállomány is reprezentálja az adatbázisban: Ezek a planáris, illetve a profil gör-
bületi raszter állományok. Előbbi a vízszintes, utóbbi a függőleges síkban értendő görbületet jelenti.
- Vízösszefolyási mutató, 5x5 m-es cellamérettel. Ez az érték az egyes térképi pontokon arányos a víz-
összegyülekezés mértékével, ezért használatával a többlet vízhatások jellemezhetők. Értéke a pixe-
len átfolyó vízmennyiséget a pixel feletti azon pixelek számával jellemzi, amelyekből a víz a pixel felé
folyik. A több lehetséges folyásirányt figyelembe vevő ún. „multi-flow” algoritmust használtuk a számí-
tásához.
- A víz úthosszát az adott pixeltől felfelé és lefelé reprezentáló térképek, 5x5 m-es cellamérettel. Ezek a
térképállományok egy-egy pixelben azt az értéket mutatják, amely a pixeltől a völgy irányába tartó víz
úthosszát jelentik a kiindulási ponttól a pixelig vagy a pixeltől a kifolyási pontig.
- Domborzat fragmentációs és domborzati változatosságot mutató paraméterek (fragment, richness),
5x5 m-es cellamérettel (Behrens 2003).

- Tengerszint feletti magasság- és lejtéstartomány a mintapont környezetében (eleverage, sloperange), 5x5 m-es cellamérettel. Az adatállomány az adott pont környezetében a magasság- és a lejtésértékek terjedelmét adja meg. A tartomány sugara 25 m.
- Topográfiai konvergencia, avagy nedvességindex (TCI), 5x5 m-es cellamérettel. A lejtésből (b – radiánban) és a vízősszefolyási értékből (a) számított érték: $TCI = \ln(a/tg b)$.

Adatgyűjtési módszerek

A talajadatokat pontszerűen talajszelvények készítésével, illetve talajfúrások révén gyűjtöttünk. A mintavétel alapját egy rétegzett, véletlen mintavételi protokoll adta. A térinformatikai adatbázis segítségével végzett rétegzés során a domborzatmodell szerint azonos jellegű területeket egy csoportba soroltuk. A mintapontokat a terepen minden esetben GPS segítségével kerestük fel.

A domborzatmodell klasszifikációja egyes felszínforma-kategóriákba a következő csoportosítást követte:

1. Szurdokok, illetve mélyen bevágódott vízmosások
2. Sekély völgyek
3. Vízmosások felső lejtőszakaszokon
4. Széles völgyek
5. Sík területek
6. Nyílt lejtők
7. Magasabban fekvő sík területek, fennsíkok
8. Kisebb kiemelkedések völgyekben
9. Sík területeken lévő kisebb magaslatok
10. Dombtetők, gerincek

A terület a lejtőkategória szerint további négy csoportra oszlott:

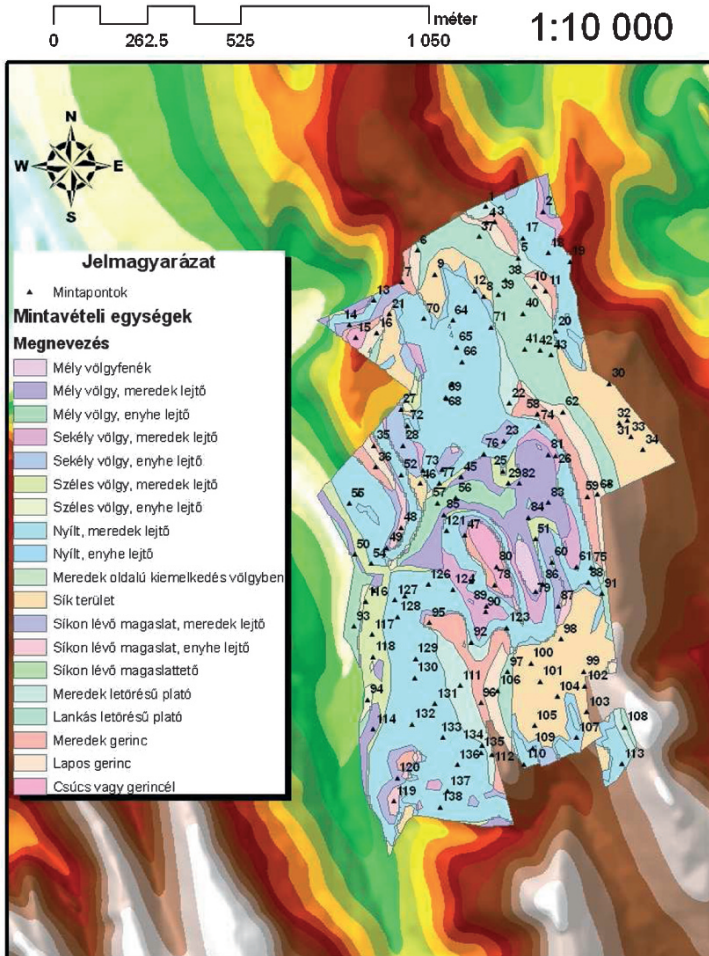
1. Völgyfenék
2. Enyhe lejtő
3. Meredek lejtő
4. Gerinc

A rétegzésben a felszínforma és a lejtőkategória alapján alakultak ki a terület kisebb mintavételi egységei, például az enyhe, nyílt lejtőkön lévő területek egy réteget alkottak.

Összesen 19 réteg és 407 területelem lehatárolása történt meg (1. ábra).

A mintavételi egységeken belül a mintavételi pontok kiosztása a terület arányában véletlenszerűen történt. Az első körben mindegyik rétegben elvégzett talajszelvénynyitás a későbbiekben fúrásos mintavétellel egészült ki.

A talajszelvényekből genetikai szintenként mintát gyűjtöttünk és a terepi felvételek, ill. a laborvizsgálati eredmények alapján határoztuk meg a talajtípust. A fúráspontokban a helyszínen állapítottuk meg a talajtípust. A fúrások esetében hengeres mintavételt alkalmaztunk, 20–20 cm-es rétegenként emelve ki a talajt egészen az alapközépig. A kiemelt mintákon a helyszínen vizsgáltuk a makroszkopikus fizikai jellemzőket, úgymint a színét, szerkezetét, fizikai féleségét, gyökerezettségét, kiválások jelenlétét, a humuszformát, illetve a 10%-s HCl oldattal mutatott reakció meglétét vagy hiányát.



1. ábra: Mintavételi helyek és a mintavételi rétegek a Vaskereszt erdőrezervátumban
 Figure 1: Sample plots in the sampling units of Vaskereszt forest reserve

Talajvizsgáló módszerek

A talajmintákat az ERTI Sárváron található ökológiai laboratóriumában vizsgálták meg. A vizsgálatokat a hatályos magyar szabványok szerinti módszerekkel végezték. A meghatározásokban a vizes és kálium-kloridos pH, a hidrolitos és kicserélhető aciditás, a $\text{CaCO}_3\%$ -meghatározás, az Arany-féle kötöttségi szám, az ötórás kapilláris vízemelés, végül pedig a leiszapolható frakció mennyiségének meghatározása szerepelt.

Statistikai módszerek

A statisztikai eljárások közül első helyen a leíró statisztikai módszereket és az osztályozási eljárásokat kell említeni. A vizsgálatokban a klasszifikációs fákat (CART), a diszkriminancia analízist (GDA) és a mesterséges neuronhálózatokat (ANN) alkalmaztuk. A változók számának csökkentését faktoranalízis segítségével elemeztük. A statisztikai vizsgálatokhoz a Statistica 8.0 programcsomagot használtuk.

A leíró statisztikai vizsgálatok az adatok jellemzését szolgálták. Azok terjedelmének, átlagos értékeinek, eloszlás-típusainak meghatározása szükséges a megfelelő elemzési eljárások kiválasztásához, a szükséges adattranszformációk meghatározásához. Variancia analízist végeztünk az átlagok és a szórások függetlenségének megállapításához. Sok statisztikai elemzés előfeltétele a normalitás, amely – teljesen legalábbis – ritkán teljesül, de az adatállományok transzformációjával az adatok normális eloszlásúvá alakíthatók. Jelen feldolgozásban az adatokon transzformációkat nem végeztünk.

A Moran-index használatával vizsgálhatóvá vált, hogy az adatok milyen térbeli csoportosulási mintázatot követnek. Az index értéke -1 és $+1$ között változik. A pozitív értékek a térben csoportosuló, míg a negatív értékek a térben diszperz jellegre utalnak.

Az osztályozási módszerek a talajtípusok és a térinformatikai adatbázisból nyert környezeti változók értékei közötti kapcsolatok feltárását szolgálták. Vizsgálható, hogy mennyire alkalmasak ezek a kapcsolatok a talajtípusok térbeli mintázatának leírására. Ehhez minden esetben a pontszerűen rendelkezésre álló talajvizsgálati adatokat mint célváltozót és az ehhez a ponthoz a térinformatikai rendszerből hozzárendelt független (magyarázó) változókat mint prediktorokat használtuk fel. A mintákból mintegy 10–20%-ot tesztadatsorként különítettünk el.

Természetesen vizsgálat tárgyát képezte a prediktor változók és a célváltozó közti kapcsolat is. Ehhez többféle, nem-paraméteres korrelációs vizsgálatot alkalmaztunk (Pearson korrelációs együttható, Spearman rang korreláció, Kendall tau korrelációs együttható), melyhez a talajtípusokat termőhelyi értékük szerint rangsoroltuk.

A klasszifikációs fák olyan rekurzív módon levezetett döntési szabályrendszer kialakítására alkalmasak, amely lehetővé teszi az egyes talajtípusok és a környezeti változók mint magyarázó változók közötti kapcsolatok feltárását és értelmezését. Működésük során a magyarázó és a célváltozókat tartalmazó tanuló adatállományt egy-egy vágással kétfelé bontják mindaddig, amíg valamely leállási kritérium nem teljesül. Esetünkben ilyen kritérium volt a csoportokon belüli maximális homogenitás vagyis, hogy a csoporton belül legyen minimális a variancia, míg a csoportok között legyen maximális, illetve hogy ne legyen kisebb csoport, mint a mintában legkisebb elemszámmal megjelenő talajtípus.

Klasszifikációs alkalmazására számos jó tulajdonságuk miatt került sor:

- alkalmasak folytonos és kategóriaváltozók kezelésére;
- nem okoz problémát a nem-lineáris kapcsolatrendszer;
- a jól értelmezhető döntési szabályok segítik az interpretációt.

A diszkriminancia elemzés olyan eljárás, amely egy kategorikus célváltozó értékeinek meghatározásához a magyarázó – független – változók lineáris kombinációjából álló osztályozó függvényeket állít elő. Előnye, hogy nem kíván túlságosan nagy mintanagyságot, de sok előfeltétele van, amelyek teljes mértékben nem minden esetben teljesíthetők (pl.: multikollinearitás).

A mesterséges neuronhálózatok (többnyire) egyirányú adatáramlással jellemzett többrétegű klasszifikációs vagy regressziós módszerek. Három alaprétegük a bementi, a rejtett (feldolgozó) és a kimeneti rétegek. Az egyes rétegekben meghatározott számú neuron helyezkedik el, amelyek a következő réteg meghatározott neuronjaival vannak összekapcsolva. A mesterséges neuronhálózatok előnye, hogy egyszerre alkalmas lineáris és nem lineáris összefüggések kezelésére, tanítható. Hátránya, hogy nem nyújt lehetőséget ok-okozati összefüggések vizsgálatára, mert „fekete doboz”-ként működik. Ellenőrzött tanítással azonban hatékonysága mérhető.

A vizsgálatban alkalmazott neurális hálózatok többrétegű perceptron hálózatok (MLP) és a radiális bázisfüggvényeket alkalmazó hálózatok (RBF) voltak. Az eredményeket egy 38 rétegű, rétegenként 15 neuront tartalmazó MLP hálózat adta. Tanító algoritmus: BFGS (Broyden 1970). Rejtett rétegek aktivációs függvénye: tangens hiperbolikus. Kimenő réteg aktivációs függvénye: softmax.

Az osztályozók alkalmazásakor a változókat egyenlő súllyal vettük figyelembe.



A faktoranalízist a változók számának csökkentésére, függetlenségük biztosítására, a predikciók hatékonyságának növelésére használtuk. Általában 5–6 faktort használtunk mindaddig, míg a sajátértékük egynél nagyobb volt.

Eredménytérképek előállítási módszerei

Az eredménytérképek a klasszifikációs módszerek eredményeinek egyesítésével jöttek létre annak érdekében, hogy mindegyik módszer előnyét kihasználva a lehető legjobb térképezési eredmény legyen elérhető.

E törekvés oka, hogy ha – mint esetünkben is – többféle osztályozási módszert használunk a talajtípusok predikciójához, akkor többféle eredménytérképet fogunk kapni. Kérdés, hogy melyik eredmény fogadható el végeredménynek, vagy másképpen kifejezve, hogyan választható ki a legmegfelelőbb módszer, mely az összes többinél jobb eredményt ad? Elvben ez az osztályozási pontosságok alapján eldönthető, de a szakirodalmi tapasztalatok alapján megállapítható, hogy ma még ilyen módszer nincsen. Azért nincsen, mert az egyik területen talán átlagban a legjobban teljesítő módszertől sem várható el, hogy minden talajtípus esetében a legjobb találati arányt adja. Ennek a problémának a megoldására több kézenfekvő alternatíva is kínálkozik.

- Egyik lehetőség a keresett osztályok számának csökkentése. A különálló talajtípusok helyett olyan nagyobb talajkombinációk csoportjainak a keresése, melyek az adott cél – történetesen valamilyen növénytermesztési feladat megoldása – szempontjából még értelmezhetők, és a térképezési módszerek koherensen képesek a térbeli elhelyezkedésük becslésére.
- Másik lehetőség a térképezési módszerek eredményeinek fúziója. Ehhez a módszerek talajtípusokra vonatkozó becsléseit és azok pontosságát lehet felhasználni.

Ez utóbbi esetben az egyesítés alapja a módszerek becsléseinek egymáshoz viszonyított értékelése lehet. Ha egy adott pontban a módszerek többsége, esetünkben a három módszerből kettő egyező talajtípust jelöl, akkor az adott pontban a többségi eredmény elfogadható a becslés végeredményének. Ha mindhárom módszer ugyanazt a talajtípust prognosztizálja az adott pontra, akkor természetesen nincs probléma. Ha mindhárom módszer más talajtípust jelöl az adott ponton, akkor fontossá válhat a módszerek becslési pontossága: Ebben az esetben annak a módszernek a becslése fogadható el a modell kimeneteként, amelyik az adott talajtípus tekintetében a legnagyobb találati pontossággal jellemezhető.

Az eredménytérképek a rezervátum területére fektetett 10x10 méteres rácsháló pontjaira vonatkozó becslésekkel rajzolódtak ki.

EREDMÉNYEK

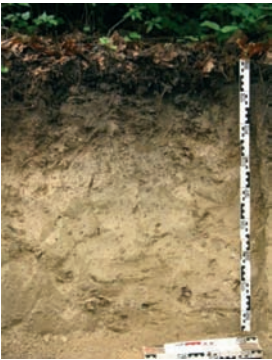
A talajfelvételezés eredményei

A rezervátumban talált talajtípusok az alábbiak voltak:

- humuszkarbonát talajok, melyeknek jellemző példája a 96. mintavételi pont (2. táblázat);
- barnaföldek, melyeknek egyik példája a 111-es mintavételi pont (3. táblázat);
- agyagbemosódásos barna erdőtalajok, melyeknek jellemző példája a 101. mintavételi pont (4. táblázat).

A táblázatok a helyszíni felvételi adatok mellett a laboratóriumi vizsgálatok adatait is tartalmazzák.


2. táblázat: A 96. felvételi pont adatai
 Table 2: Soil survey data of sample plot 96

Helyszín:	96							
Alapkőzet:	lősz							
Felvétel ideje:	2009.05. 12–13.							
Felvette:	Illés G., Kovács L.							
Genetikai talajtípus:	HK							
Helyszíni leírás								
Mélység	Szín	Fizikai féleség	Szerkezet	CaCO ₃	Humusz	Kiválások	Gyökér	Egyéb
0–10	fekete	V	morzsás	++	+++	-	+++	laza
10–25	szürkés barna	HV	apró morzsás	++	+	-	+++	
25–	fakó világoassárga	HV	szerk. nélküli	+++	+	kevés lőszbaba	+	lősz

Laborvizsgálati adatok (2. táblázat, 96-os felvételi pont):

A minta mélysége cm	pH		humusz	hidrolitos aciditás	kicserélhető aciditás	CaCO ₃	KA	5h kap. vízem.	hy	Leiszapolható rész
	H ₂ O	KCl	m/m%	y ₁	y ₂	m/m%		mm/5h	m/m%	%
0–10	7,2	6,9	8,8	-	-	3	50	150	3,39	33
10–25	7,4	7,1	3,9	-	-	9	45	200	2,08	37
25–	8,0	7,5	0,6	-	-	20	37	280	0,88	38


 3. táblázat: A 111. felvételi pont adatai
 Table 3: Soil survey data of sample plot 111

Helyszín:	111							
Alapkőzet:	lősz							
Felvétel ideje:	2009.05. 12–13.							
Felvette:	Illés G., Kovács L.							
Genetikai talajtípus:	BFÖLD							
Helyszíni leírás								
Mélység	Szín	Fizikai féleség	Szerkezet	CaCO ₃	Humusz	Kiválások	Gyökér	Egyéb
0–5	feketés szürke	V	apró morzsás	-	++	-	+++	laza
5–20	szürkés barna	V	nagy morzsás	-	-	-	+	erősen szerkezetes
20–60	sötét barna	V-AV	diós-nagy morzsás	-	-	agyaghártyás	++	
60–	fakó sárga	HV	szerk. nélküli	+++	-	kevés lőszbaba	-	lősz

Laborvizsgálati adatok (3. táblázat, 111-es felvételi pont):

A minta mélysége cm	pH		humusz m/m%	hidrolitos aciditás y_1	kicserélhető aciditás y_2	CaCO ₃ m/m%	KA	5h kap. vízem. mm/5h	hy m/m%	Leiszapolható rész %
	H ₂ O	KCl								
0–5	6,6	6,2	7,3	17	1	-	50	180	3,67	39
5–20	4,6	3,4	1,7	48	3	-	35	220	2,27	47
20–60	5,1	4,0	0,8	23	2	-	41	190	3,53	49
60–	7,9	7,2	0,5	-	-	37	35	210	1,48	45

4. táblázat: A 101. felvételi pont adatai
Table 4: Soil survey data of sample plot 101

Helyszín:	101										
Alapkőzet:	lössz										
Felvétel ideje:	2009.05. 12–13.										
Felvette:	Illés G., Kovács L.										
Genetikai talajtípus:	ABE										
Helyszíni leírás			Mélység	Szín	Fizikai féleség	Szerkezet	CaCO ₃	Humusz	Kiválások	Gyökér	Egyéb
			0–5	feketés szürke	V	morzsás	-	++	-	+++	laza
			5–25	szürkés barna	V	apró diós-nagy morzsás	-	+	-	+++	kissé tömött
			25–50	világos barna	AV-V	diós- morzsás	-	-	-	++	erősen szerkezetes
			50–100	sötét barna	V-AV	diós-nagy morzsás	-	-	agyaghártyás	++	erősen szerkezetes
			100–	fakó sárga	HV	szerk. nélküli	+++	-	+	-	tömött lösz

Laborvizsgálati adatok (4. táblázat, 101-es felvételi pont):

A minta mélysége cm	pH		humusz m/m%	hidrolitos aciditás y_1	kicserélhető aciditás y_2	CaCO ₃ m/m%	KA	5h kap. vízem. mm/5h	hy m/m%	Leiszapolható rész %
	H ₂ O	KCl								
0–5	5,8	5,3	10,3	53	2	-	50	150	3,32	34
5–25	5,0	3,9	1,5	34	7	-	33	210	1,5	46
25–50	4,9	3,8	0,7	21	5	-	37	270	1,89	41
50–100	5,1	4,0	0,5	19	4	-	40	240	2,98	53
100–	7,9	7,2	0,5	-	-	26	35	260	1,54	50

A statisztikai feldolgozások eredményei

A térbeli autokorrelációs vizsgálatok eredményei

A Moran-index értéke: 0,06.

A Vaskereszt mintaterületeinek eredményei azt mutatták, hogy a mintapontokon talált talajtípusok térbeli elrendeződése enyhén csoportosuló jellegűt mutat, de nem zárható ki annak lehetősége, hogy a tapasztalt mintázat a véletlen műve.

Normalitás: a vizsgálatokban alkalmazott változók tapasztalati eloszlása közel normális eloszlást mutatott.

Varianciaanalízis: a varianciaanalízis kimutatta, hogy a varianciák homogenitásának elve a legtöbb esetben nem érvényesül, vagyis az átlagok és a szórások között kapcsolat áll fenn.

A korrelációs vizsgálatok megmutatták, hogy a legtöbb, általunk független prediktorként használt környezeti változó szignifikáns kapcsolatban áll a talajtípusokkal.

Klasszifikációs eredmények

A Vaskereszt erdőrezervátumban található talajtípusoknak a környezeti változók adataiból történő predikciója klasszifikációs fák alkalmazásával lehetővé tette a három fő talajtípus térbeli elhelyezkedésének becslését. Az osztályozás összesített pontossága 71%, ami jó eredménynek mondható.

A diszkriminancia analízis osztályozó függvényeinek pontossága 74%-ot ért el, ami kicsivel meghaladja a klasszifikációs fák eredményességét.

Az 5. táblázat a legjobb neuronhálózat eredményeit szemlélteti. A háromból két talajtípus esetében 80% vagy magasabb a találati arány.

5. táblázat: Az alkalmazott neuronhálózat találati pontossága az egyes talajtípusok esetében
Table 5: Prediction accuracies of the applied neural network for found soil-types

Találati statisztika	ABE	BFOLD	HK
Elemzés	12	23	24
Helyes	8	19	19
Helytelen	4	4	5
Helyes %	67	83	80
Helytelen %	33	17	20

Ha összehasonlítjuk az alkalmazott osztályozók találati pontosságát a keresett talajtípusok vonatkozásában, akkor az alábbi, 6. táblázatot kapjuk.

6. táblázat: Az egyes osztályozók találati pontossága a Vaskereszt erdőrezervátumban
Table 6: Prediction accuracies of different classification methods for soil-types

Talajtípus	Helyesen osztályozott (%)		
	CART	ANN	GDA
BFOLD	70	82	82
HK	72	80	81
ABE	92	66	7



A 6. táblázatból az látható, hogy az osztályozók más-más talajtípusok osztályozását más-más hatékonysággal oldották meg. A táblázat jól mutatja, hogy az osztályozó algoritmusok kiegészíthetik egymást: Míg az ABE esetében a klasszifikációs fa adta a legjobb eredményt, addig a barnaföldek a klasszifikációs fa alkalmazásával nehezebben azonosíthatók, mint az ANN vagy GDA módszerek esetén.

Megvizsgálva, hogy a Vaskereszt erdőrezervátumra fektetett 10 x 10 méteres rácsháló pontjaiban milyen talajtípusokat becsültek az egyes osztályozók, az alábbi eredményeket kapjuk (7. táblázat).

7. táblázat: *Osztályozási eredmények összevetése a Vaskereszt erdőrezervátumban (n=11135)*

Table 7: *Casewise differences between predictions in the Vaskereszt forest reserve (n=11135)*

Lehetőségek	Esetek száma	Aránya (%)
Mindhárom osztályozó ugyanazt a talajtípust jelzi	5068	45,5
Kettő eredménye megegyezik	10759	97
Három eltérő eredmény	376	3,3

Mindössze 3% körüli azoknak az eseteknek a száma, amikor az egyes predikciós módszerek eltérő eredményeket adnak, az esetek 97%-ában jól kiegészíthetik egymást.

A faktoranalízis eredményei

A faktoranalízis során sikerült a tapasztalati variancia kb. 80%-át besűríteni 5 faktorba, amint az a 8. táblázatban látható. A faktorok alkalmazása az osztályozásnál azonban drámaian csökkentette az osztályozás pontosságát. Az osztályozási pontatlanság mértéke azzal a 10–20%-kal növekedett, amennyi a varianciából elveszett, ami miatt az osztályozók teljesítménye 30–40% közötti értékekre esett vissza.

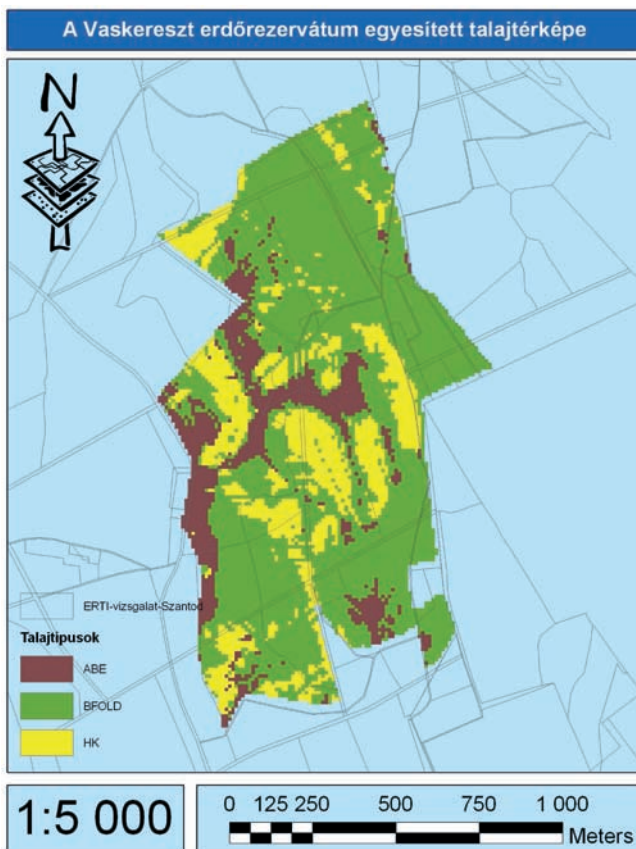
8. táblázat: *Az első 5 faktor jellemzői (Vaskereszt)*

Table 8: *Eigenvalues for the first 5 factors*

Sajátérték	% Összes varianciából	Kumulatív sajátérték	Kumulatív variancia %
7,2	31	7,2	31
5,8	25	13,0	56
2,3	10	15,3	66
1,7	7	17,0	73
1,0	4	18,0	77

Eredménytérkép

A 2. ábrán a Vaskereszt erdőrezervátum talajtérképe látható, mely a klasszifikációs módszerek eredményeinek egyesítésével készült.



2. ábra: A GDA, CART és ANN módszerek egyesítésével készült talajtérkép a Vaskereszt erdőrezervátum területén
 Figure 2: The unified GDA, CART and ANN soil map of the Vaskereszt forest reserve

KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények azt mutatják, hogy a digitális talajtérképezési eljárásoknak lehet helye gyakorlati, erdészeti termőhely-térképezési feladatok megvalósításában (pl.: erdőtervezés).

E kutatás eredményeiből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A domborzatmodelleken alapuló, domborzati, domborzat-hidrologiai és napenergia-mennyiségi változók kiegészítve földtani és esetleg további, a talajtulajdonságokat befolyásoló paraméterekkel használható pontmintákon alapuló talajfolt-térképek előállítására.
- Nem indokolt egy-egy preferált módszert önmagában alkalmazni. Perspektivikusabb több klasszifikációs és predikciós eljárás együttes használata.
- A különböző predikciós eljárások eredményeit nem önmagukban, hanem együtt érdemes értékelni és felhasználni. Keresni kell a módszerek adta eredmények egyesítésének lehetőségét, ami erősíti a koherens eredmények elérését és a megismételhetőségét.
- Az itt tárgyalt digitális talajtérképezési eljárás empirikus modellnek tekintendő. Ez a modell a talajok, valamint az őket körülvevő környezet leírására használt mennyiségi és minőségi változók egy időpilla-



natban megfigyelt értékei között keres sztochasztikus kapcsolatokat. Nem érinti a folyamatokat, melyek a térképezés pillanatában megfigyelt állapotot létrehozták.

- A digitális talajterképezési eljárások további fejlesztési irányának az olyan módszerek tekinthetők majd, amelyek a környezeti adatmodellek alapján a talajképző folyamatokat fogják közelíteni, és számolni az időbeni változással. Vagyis a talajképző folyamatokhoz közelítő modellek fogják a legmegbízhatóbb térképezési eredményeket adni, mely modelleknek általános érvényű – területtől független – összefüggéseik is lehetnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti az OTKÁ-t, mely az F-68230-as azonosítószámon a projektet támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bakacsi, Zs.; Kuti, L.; Pásztor, L.; Vatai, J.; Szabó, J. and Müller, T. 2010: Method for the compilation of a stratified and harmonized soil physical database using legacy and up-to-date data sources. *Agrokémia és Talajtan* 59: 39–46.
- Behrens, T.; Förster, H.; Scholten, T.; Steinrücken, U.; Spies, E-D. and Goldschmitt, M. 2005: Digital soil mapping using artificial neural networks. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 21–33.
- Behrens, T. and Scholten, T. 2007: A comparison of data-mining techniques in predictive soil mapping. In: Lagacherie et al (eds): *Digital Soil Mapping an Introductory Perspective. Developments in Soil Science* 31: 353–365.
- Behrens, T.; Schmidt, K. and Scholten, T. 2008: An approach to removing uncertainties in nominal environmental covariates and soil class maps. In: Hartemink, A.E.; McBratney, A.B. and Mendonça Santos, M.L. (eds): *Digital Soil Mapping with limited data. Springer.* 213–224.
- Bishop, T.F.A.; Minasny, B. and McBratney, A.B. 2006: Uncertainty analysis for soil-terrain models. *International Journal of Geographical Information Science* 20 (2): 117–134.
- Broyden, C.G. 1970: The convergence of a class of double-rank minimization algorithms. *Journal of the Institute of Mathematics and Its Applications.* 6: 76–90.
- Carré, F. and Boettinger, J.L. 2008: Synthesis and priorities for future work in digital soil mapping. In: Hartemink, A.E.; McBratney, A.B. and Mendonça Santos, M.L. (eds): *Digital Soil Mapping with limited data. Springer.* 399–403.
- Dobos, E. and Hengl, T. 2009: *Soil Mapping Applications.* In: Hengl, T., and Reuter, H.I. (eds): *Geomorphometry Concepts, Software, Applications.* Elsevier. 461–479.
- Giasson, E.; Clarke, R.T.; Inda, A.V.; Merten, G.H. and Tornquist, C.G. 2006: Digital soil mapping using multiple logistic regressions on terrain parameters in Southern Brazil. *Scientia Agricola* 63 (3): 262–268.
- Hengl, T. and Reuter, H.I. (eds) 2007: *Geomorphometry Concepts, Software, Application.* *Developments in Soil Science* 33: 765 pp.
- Jenness, J. 2006: Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. [Online] Available: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Lagacherie, P.; McBratney, A.B. and Voltz, M. (eds) 2007: *Digital Soil Mapping an Introductory Perspective. Developments in Soil Science* 31: 595 p.
- Lagacherie, P. 2008: Digital Soil Mapping: State of the Art. In: Hartemink, A.E.; McBratney, A.B. and Mendonça Santos, M.L. (eds): *Digital Soil Mapping with limited data. Springer.* 3–15.
- Mayr, T.R. and Palmer, B. 2007: Digital Soil Mapping: An England and Wales perspective. In: Lagacherie et al (eds): *Digital Soil Mapping an Introductory Perspective. Developments in Soil Science* 31: 365–377.
- McBratney, A.B.; Mendonça Santos, M.L. and Minasny, B. 2003: On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3–52.
- Minasny, B. and McBratney, A.B. 2007a: Spatial prediction of soil properties using EBLUP with the Matern covariance function. *Geoderma* 140 (4): 324–336.

- Minasny, B. and McBratney, A.B. 2007b: Incorporating taxonomic distance into spatial prediction and digital mapping of soil classes. *Geoderma* 142: 285–293.
- Pásztor, L.; Szabó, J. and Bakacsi, Zs. 2010: Digital processing and upgrading of legacy data collected during the 1:25.000 scale Kreybig soil survey. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 45: 127–136.
- Scull, P.; Franklin, J.; Chadwick, O.A. and McArthur, D. 2003: Predictive Soil Mapping: a review. *Progress in Physical Geography* 27 (2): 171–197.
- Smith, M.P.; Zhu, A.X.; Burt, J.E. and Stiles, C. 2006: The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil. *Geoderma* 137 (1–2): 58–69.
- Zhu, J.; Morgan, C.L.S.; Norman, J.M.; Yue Wei and Lowery, B. 2004: Combined mapping of soil properties using a multi-scale tree-structured spatial model. *Geoderma* 118: 321–334.

Érkezett: 2011. május 14.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Vízhiány

Az utóbbi évtizedekben gyakran fordulnak elő súlyosan aszályos időszakok Magyarországon. Ezek általában jelentős változásokat idéznek elő erdeink vízháztartásában is. A Somogy megyei Kaszópusztán erősen aszályos években (például 2007), még a jelentősebb vízzel borított égeresekből is eltűnnek a felszíni vizek.

Fotó: Koltay András

GALÉRIAERDŐK HATÁSA A VÍZFOLYÁSOK APADÁSI GÖRBÉIRE ÉS ENNEK INFORMÁCIÓTARTALMA

Kalicz Péter, Gribovszki Zoltán és Király Géza

Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

A vízfolyások vízjárása csapadékmentes időszakban szabályos, csökkenő jelleget, ún. apadási görbét követ. Az apadási görbéből számos fontos információ nyerhető. A vízgyűjtő köztömbjét egy lineáris tározóval modellezve, az apadási görbe exponenciális függvénnyel közelíthető.

Hidraulikai alapösszefüggéseket felhasználva egyes vízgyűjtőszintű szivárgáshidraulikai jellemzők becsülhetők az apadási görbéből, vagyis a kiürülés rohamosságának mértékéből. Az év bármely időszaka viszont nem használható fel a vízgyűjtőszintű szivárgáshidraulikai paraméterek becsülésére, mivel a vegetációs időszakban, elsősorban a talajvízkészleteket is felhasználó vízfolyás-menti növényzet párologtatásának hatására az apadási görbe meredekebbé válik. Különösen kifejezett ez a jelenség, ha a vízfolyás mentén nagy vízigényű galériaerdők állnak. Az apadási görbe előbb említett meredekségnek az ismeretében a vízfolyás-menti területek (mint a vízfogyasztásban kiemelt szerepet betöltő zónák) talajvízből származó evapotranszpirációjának számítására dolgoztunk ki egy új módszert.

A Soproni-hegységben működő Hidegvíz-völgyi Kísérleti Vízgyűjtő két részvízgyűjtőjének (a Farkas- és a Vadkan-árok) a lefolyási adatait felhasználva 5,8 és 6,2 mm/nap értékkel határoztuk meg a talajvízből származó evapotranszpirációt a vegetációs időszak száraz periódusaira, az apadási görbék alapján a 2000–2005-ös években.

A kapott adatok a galériaerdők viszonylag nagy talajvíz-vízfogyasztását mutatják, de a háttérből (vízfolyás menti zónán kívülről) pótlódó talajvizet jelentős mértékben felhasználó állományok esetében ezek a számok reálisnak tűnnek, és nem térnek el jelentősen a hasonló adottságú területeken meghatározott adatoktól sem.

Kulcsszavak: talajvíz evapotranszpiráció, galériaerdő, recessziós görbe, lineáris tározó modell

RIPARIAN FOREST IMPACT ONTO STREAMFLOW RECESSON CURVE AND ITS MEANING

Abstract

In rainless periods groundwater feeds streamflow and on the falling limb of the streamflow hydrograph a recession curve can be detected. Lot of important information can be deduced from the recession curve. One of the simplest model of a catchment water resources recession is an exponential curve fitting to the falling limb of a hydrograph as a linear reservoir model. From steepness of streamflow recession curves catchment scale hydraulic conductivity value can be calculated. Riparian vegetation (especially preatophyte riparian forest) use generally large amount of groundwater resources for transpiration, so it has a significant effect on the steepness of the recession curve in the growing season. Therefore only dormant season (transpiration-free) recession curves can be used for estimation of hydraulic parameters. The apparent residence time (inverse of the recession curve steepness) changes parallel with the transpiration intensity during the growing season.

Levelező szerző/Correspondence:

Kalicz Péter, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4., e-mail: kaliczp@emk.nyme.hu



Groundwater evapotranspiration of the riparian zone can be estimated from the steepness of recession curves in the growing season using the combination of the linear storage model and the catchment groundwater balance.

The groundwater evapotranspiration estimation method was tested in streamflow time series of the two neighboring subcatchment (Farkas Valley and the Vadkan Valley) of the fully forest covered Hidegvíz Valley experimental catchment, located in the Sopron Hills (Hungary). On the basis of recession curves 5.8 and 6.2 mm/day growing season mean groundwater evapotranspiration can be calculated between 2000 and 2005 for the dry periods. The method gives fairly high but reasonable groundwater evapotranspiration compared to other evapotranspiration estimations in case of similar riparian forests.

Keywords: groundwater evapotranspiration, riparian forest, recession curve, linear storage model

BEVEZETÉS

Nagyobb csapadékesemények között száraz periódusokban a vízfolyások vízjárása szabályos, csökkenő jellegű, ún. apadási (recessziós) görbét követ. Ez a görbe a vízutánpótlás lassú csökkenésére vezethető vissza. A vízgyűjtő kőzettömbjét legegyszerűbb esetben egy lineáris tározóval (1. ábra) modellezve, az apadási görbe exponenciális függvénnyel közelíthető.

Hidraulikai alapösszefüggéseket felhasználva egyes vízgyűjtőszintű szivárgáshidraulikai jellemzők becsülhetők az apadási görbéből, vagyis a kiürülés rohamosságának mértékéből. Az év bármely időszaka a vízgyűjtőszintű szivárgáshidraulikai paraméterek becslésére viszont nem használható fel. A vegetációs periódusban ugyanis a források és megcsapoló mederszakaszok vízemésztése mellett a felmelegedő nagyobb telítési hiányú levegő indukálta párolgás és a fejlődő növényzet párologtatása is fogyasztja a vízfolyásokat tápláló talajvízkészletet. A vegetációs időszakban, elsősorban a talajvízkészleteket is felhasználó vízfolyás menti növényzet párologtatásának hatására tehát az apadási görbe meredekebbé válik (Federer 1973). Különösen feltűnő a meredekebbé válás, ha a vízfolyás mentén nagy vízigenyű és ennek megfelelően nagy biológiai produkcióra képes galériaerdők állnak. Az apadási görbe előbb említett meredekségének az ismeretében a vízfolyás menti területek (mint a vízfogyasztásban kiemelt szerepet betöltő zónák) talajvízből származó evapotranszpirációja a lineáris tározómodell kismértékben átalakítva számítható.

ANYAG ÉS MÓDSZER

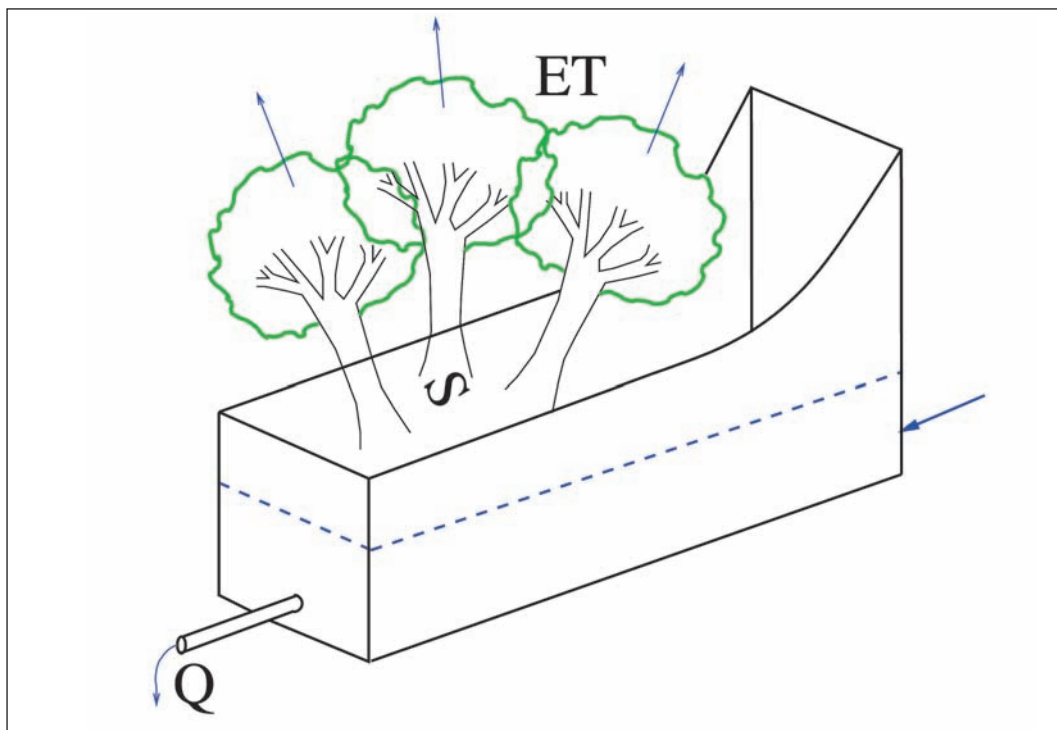
Apadási görbe, kiürülés közelítése lineáris tározómodellel

Egy kisvízfolyást közvetve vagy közvetlenül a lehulló csapadék táplál. Tartósan csapadékmentes időszakokban a kisvízfolyásokon alapvízhozam mérhető. Az alapvízhozam a vízfolyások vízhozamának az a része, amely a felszín alatti vizekből származik. Hosszabb csapadékmentes időszakokban a kisvízfolyások vízutánpótlása általában a talajvízkészletből ered.

A tartósan csapadékmentes időszakban a vízfolyások vízjárása szabályos, csökkenő jellegű, kisvízi görbét követ. Ez az apadási görbe. Az apadási görbét Boussinesq (1877) munkája nyomán a következő exponenciális függvénnyel szokás közelíteni:

$$Q = Q_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot t) \quad (1),$$

ahol: Q a vízhozam t időpontban, Q_0 a vízhozam a t_0 kezdeti időpontban, α a leürülés rohamosságának mértéke, és a víztartóban levő vízrészecskék átlagos tartózkodási idejének reciprokaként is felfogható $\alpha = 1 / \tau$.



1. ábra: A vízgyűjtő egyszerű tározó modellje és a vízfolyás menti zóna növényállományainak kapcsolata
Figure 1: Linear reservoir model of the catchment and its contact with riparian zone vegetation

Az exponenciális függvény tehát a lineáris tározóval modellezhető vízgyűjtők apadási görbéit írja le. Rövidebb, kisebb vízhozamváltozást mutató időszakok esetén felhasználható egy tetszőleges adatsorból kivágot ár-hullám lecsengő ágának jellemzésére. Előnye, hogy egyszerű regressziós eljárással illeszhető, valamint segítségével a vízgyűjtő kiürülési folyamatait jól le lehet írni.

Brutsaert (2005) horizontális vagy közel horizontális vízzáró réteggel rendelkező vízgyűjtők esetében a következő általános megoldását adta a linearizált Boussinesq-egyenletnek.

$$Q = \frac{8 \cdot k \cdot p \cdot D^2 \cdot l^2}{A} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{(2i-1)^2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot p \cdot D \cdot l^2}{n_e \cdot A^2} \cdot t\right) \quad (2)$$

Az exponenciális sorozat tagjai közül hosszabb idejű (több mint 2–3 napos) kiürülést vizsgálva általában elég az elsőt figyelembe venni, így a vízhozamra a következő összefüggés adódik:

$$Q = \frac{8 \cdot k \cdot p \cdot D^2 \cdot l^2}{A} \cdot \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot k \cdot p \cdot D \cdot l^2}{n_e \cdot A^2} \cdot t\right) \quad (3)$$

Belátható, hogy az előbbi egyenlet hasonló alakú a lineáris tározó modellhez (1). Ezen analógia alapján az evapotranszpiráció által nem vagy kevésbé befolyásolt szakaszon meghatározott tartózkodási idő $\tau = 1/\alpha$ segítségével becsülhető a vízgyűjtő átlagos szivárgási tényezője (k), amelyhez át kell rendezni az exponenciális tagban az α paraméterre vonatkozó következő egyenletet:

$$\alpha = \frac{\pi^2 \cdot k \cdot p \cdot D \cdot l^2}{n_e \cdot A^2} \quad (4)$$

A (4)-ből átalakítással és a $\tau = l / \alpha$ helyettesítéssel a k szivárgási tényező meghatározható.

$$k = \frac{n_e \cdot A^2}{\tau \cdot \pi^2 \cdot p \cdot D \cdot l} \quad (5),$$

ahol $p=0,3465$ (konstans); D a víztartó vastagsága, a vízgyűjtő nagy csapadék utáni telítettsége esetében a háttérben szereplő talajvízállásnak felel meg (m); A a vízgyűjtő területe (m²); l a vízfolyás völgyének (vízfolyás menti zónának) a hossza (m); n_e hatékony porozitás, a gravitáció hatására leürülő pórusok mennyiségét jelképezi (dimenzió nélküli); $\alpha = l / \tau$ a leürülés rohamosságának mértéke.

A lineáris tározó modell a párolgásra átdolgozva

A „ τ ” tényező tulajdonképpen egy látszólagos tartózkodási időt fejez ki, amely a felszín alatti vízmozgás átlagos ideje. Minél nagyobb ez az időtartam, a kiürülési görbe annál jobban ellaposodik. A „ τ ” tényező szezonálisan a talajvízkészleteket közvetve vagy közvetlenül fogyasztó evapotranszpiráció kiürülést gyorsító hatása miatt az evapotranszpiráció növekedésével csökken (Federer 1973, Tallaksen 1995). Az erdővel fedett kisvízgyűjtőkön az evapotranszpirációban a transzpiráció a meghatározó összetevő. A kiürülési görbe merekségére a talajvizet fogyasztó völgyfenéki területek (ún. galériaerdők) párolgotatása van leginkább hatással (2. ábra).

A völgytalpi területek evapotranszpirációja a vízháztartási egyenlet (6) és a lineáris tározó modell (7) alapján számolható ki a következő levezetés segítségével (Zecharias és Brutsaert 1988). A megoldás eredeti formájában a talajvízből származó evapotranszpiráció a teljes vízgyűjtőterületre (A) vonatkozott. Ez az alapvetés azonban helytelennek tekinthető, hiszen csak azon területek növényállománya tud a talajvízkészletből vizet fogyasztani, amelyek gyökérszónája legalább a kapilláris zónát eléri, amely a talajvízzel szoros hidraulikai összeköttetésben áll. Így a kiindulási egyenletben módosítottuk az A vízgyűjtőterületet az A_{rip} vízfolyás menti zóna (vízfolyás menti talajvízfüggő vegetáció kiterjedése) területére, ahol a vegetáció gyökérszónája eléri a talajvizet vagy a fölötte lévő kapilláris zónát.

$$\frac{dS}{dt} = Q + ET \cdot A_{rip} \quad (6)$$

$$Q = \alpha S \quad (7)$$

$$\frac{1}{\alpha} \frac{dQ}{dt} = Q + ET \cdot A_{rip} \quad (8),$$

ahol S a tározott vízkészlet, Q az alapvízhozam változója, ET az adott időszakban jellemző átlagos evapotranszpiráció, az A_{rip} pedig a vízfolyás menti talajvízfogyasztó vegetáció (pl. galériaerdők) kiterjedése.

A differenciálegyenlet megoldható a változók szeparálásával (egy szeparálható, elsőrendű, közönséges differenciálegyenletről lévén szó), majd integrálásával (9).

$$\int \frac{dQ}{Q + ET \cdot A_{rip}} = \int \alpha \cdot dt \quad (9)$$

Mivel a talajvízből származó evapotranszpiráció (ET) és a talajvizet fogyasztó vízfolyás menti vegetáció (pl. galériaerdő) kiterjedése (A_{rip}) is állandó a vizsgált kiürülési időszak alatt, ezért az $ET \cdot A_{rip}$ szorzat konstans. Így az általános megoldás

$$\ln(Q + ET \cdot A_{rip}) = \alpha \cdot t + C \quad (10),$$

ahol C egy integrálási állandó, meghatározásához egy kezdeti feltétel szükséges. A kezdeti feltétel ebben az esetben a kiindulási időpontban a vízhozam ismerete.

A kezdeti feltétel: ha $t = 0$, $Q = Q_0$, ahol tehát Q_0 az alapvízhozam a $t=0$ időpontban. Így a C konstansra a következő összefüggés adódik:

$$\ln(Q_0 + ET \cdot A_{rip}) = C \quad (11).$$

A C -re kapott összefüggést (11) az általános megoldásunkba (10) visszahelyettesítve adódik, hogy

$$\ln(Q + ET \cdot A_{rip}) = \alpha \cdot t + \ln(Q_0 + ET \cdot A_{rip}) \quad (12).$$

A természetes alapú logaritmus eltüntetése céljából emeljük a kapott összefüggést exponenciális hatványra.

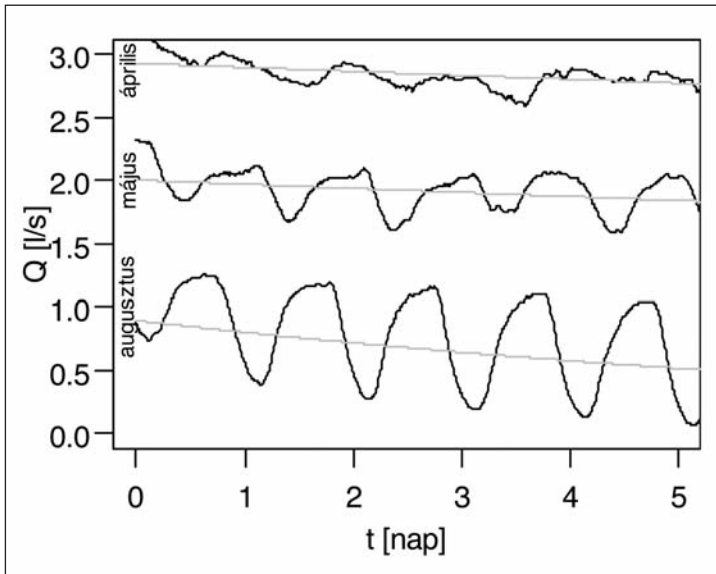
$$Q + ET \cdot A_{rip} = (Q_0 + ET \cdot A_{rip}) \cdot \exp(\alpha \cdot t) \quad (13)$$

A vízhozamra átrendezve az összefüggést, tehát a következő egyenlet adódik:

$$Q = (Q_0 + ET \cdot A_{rip}) \cdot \exp(\alpha \cdot t) - ET \cdot A_{rip} \quad (14),$$

amely α helyett $1/\tau$ -val felírva a következő:

$$Q = (Q_0 + ET \cdot A_{rip}) \cdot \exp\left(\frac{t}{\tau}\right) - ET \cdot A_{rip} \quad (15).$$

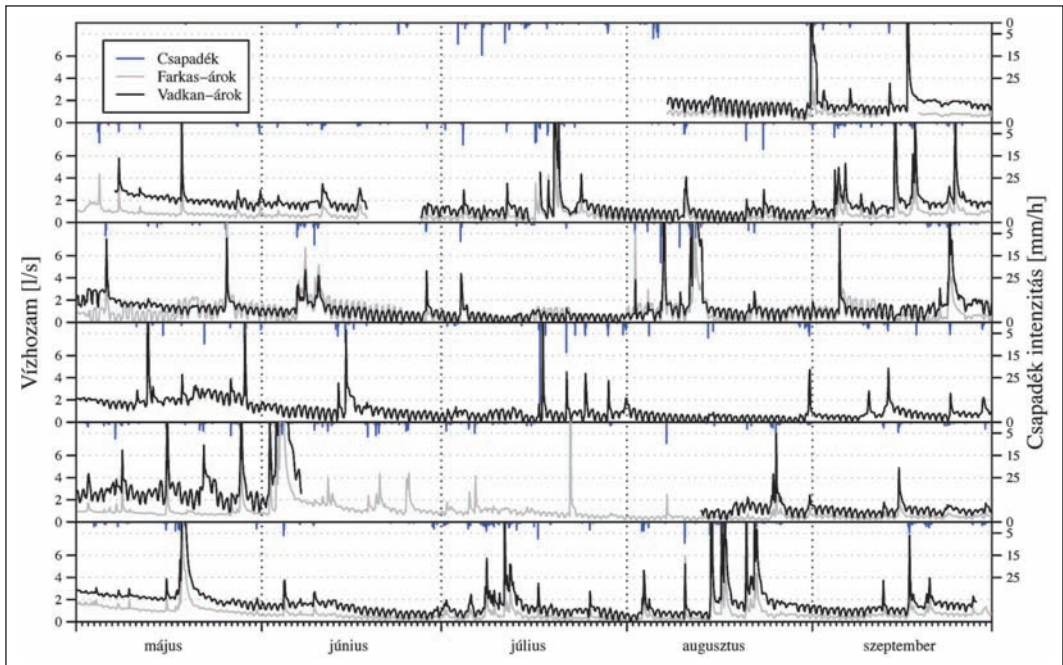


2. ábra: A vízfolyás menti galériaerdő párolgásának hatása a kiürülési görbére
 Figure 2: Riparian forest evapotranspiration impact onto recession curve

A 2. ábra alapján megállapítható, hogy a trendre szuperponálódó napi periódusú hullámzás szintén a vegetáció (ill. téli időszakokban a fagy) hatásának megjelenése, és ez a nyári periodicitás szintén felhasználható a vízfolyás menti vegetáció talajvízből származó evapotranszpirációjának meghatározására (Gribovski és mtsai 2010).

A vizsgált vízgyűjtők rövid leírása

Az előbbi elmélet a Soproni-hegység Brennbergi-medence tájrézletéhez tartozó Hidegvíz-völgy kísérleti vízgyűjtő két részvízgyűjtőjének lefolyási adatain ellenőrizhető. Az evapotranszpiráció számítására felhasznált időszak a 2000–2005-ös évek, amelynek észlelt lefolyási idősorait az 3. ábra mutatja.



3. ábra: Az elemzésre felhasznált 2000–2005-ös évek csapadék és lefolyási idősorai
Figure 3: Analysed streamflow and precipitation time series in years 2000–2005

Geometriai és domborzati adottságok

A Hidegvíz-völgy kísérleti vízgyűjtőjének két részvízgyűjtőjét vizsgáltuk: a Farkas-árkot (a továbbiakban FÁ) – vízgyűjtőterülete 62,2 ha – és a Vadkan-árkot (a továbbiakban VÁ) – vízgyűjtőterülete 93,3 ha. A vízgyűjtőket és a vízfolyás menti zóna kiterjedését a vízgyűjtőkben az 4. ábra mutatja.

A Vadkan-árok vízgyűjtő területe tehát mintegy másfélszerese a Farkas-árokénak, s mivel hosszúságuk hasonló, ezért a legfőbb különbség a szélességben mutatkozik meg. Magassági elhelyezkedésük hasonló, ezért a Farkas-árokban a völgyoldalak rövidebbek és meredekebbek. A Vadkan-árok völgye D-É, a Farkas-ároké DNY-ÉK irányultságú. A vizsgált vízgyűjtők morfológiai paramétereit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat: A vizsgált kisvízgyűjtők morfológiai paramétereiről
Table 1: Morphological parameters of small catchments

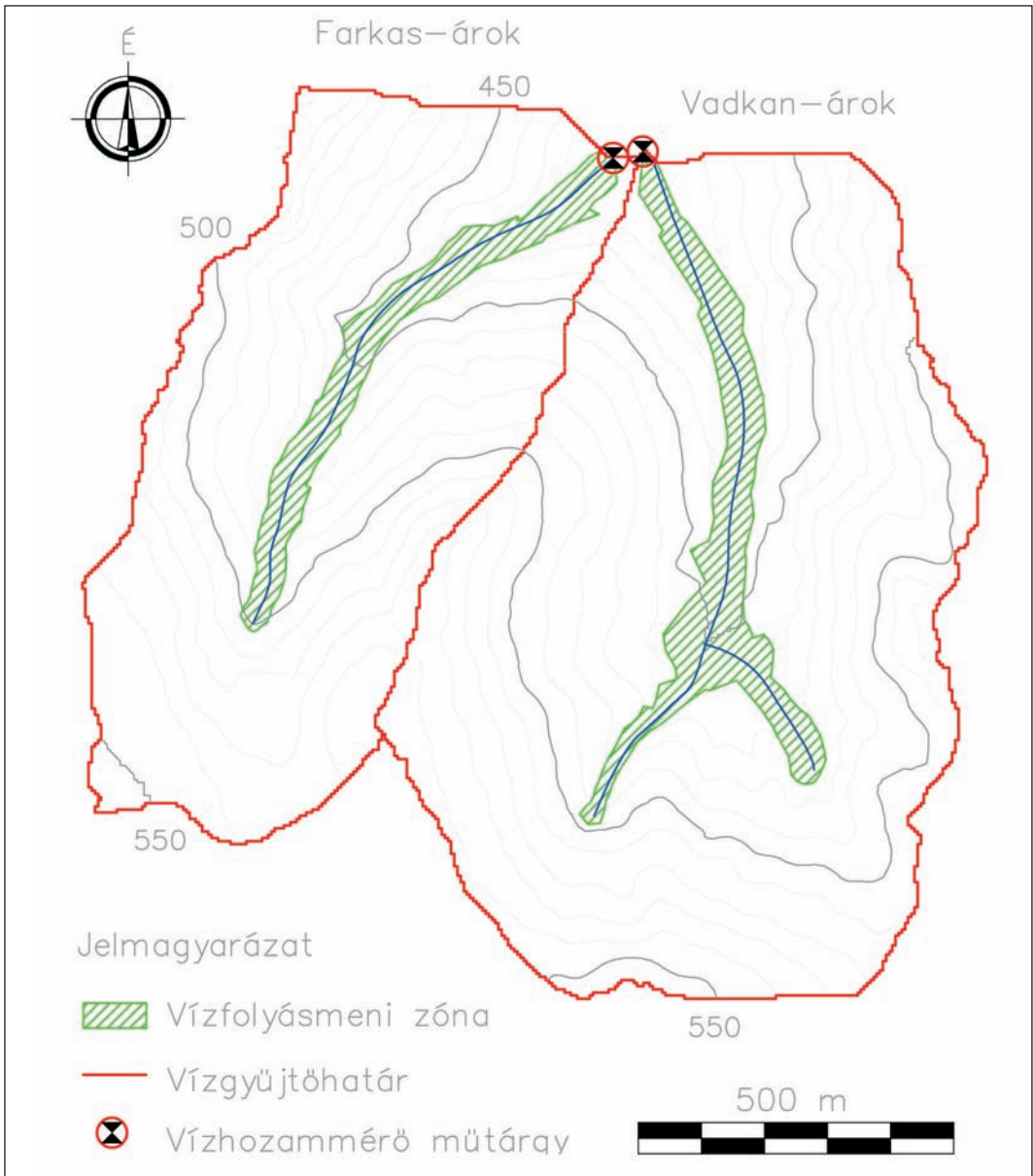
Paraméter	Farkas-árok	Vadkan-árok
Terület [km ²], A	0,62	0,92
Hossz [m], L	1320	1340
Kerület [m], P	4680	5140
Alaktényező A/L ²	0,36	0,51
Átlagos szélesség (2B=A/L) [m]	470	690
Legnagyobb szélesség [m]	602	880
Átlagos lefolyási hossz (A/L·1/2) (m)	235	345
Átlagos magasság [m B. f.]	489,83	484,51
Kifolyási pont magassága [m B. f.]	401,88	403,25
Legmagasabb pont [m B. f.]	549,00	555,80
Relief [m]	147,12	152,55
Vízfolyás menti zóna hossza [m], l	1062	1443
Szélessége [m], 2b	49	54
Területe [m ²], A _{tip}	52038	77922

A térség alapkőzetét a kristályos pala aljzatra települt jelentős vastagságú üledéksorozat alkotja (Kisházi-Ivancsics 1981–85). A Hidegvíz-völgyben csak a két felső réteg jelenik meg a felszínen. A terület nagyobb részét a brennbergi blokk-kavics szint anyaga borítja, de vastagsága nem túl nagy, sok helyen egészen elvékonyodott, s a legnagyobb vastagsága is csak néhány tíz méter. Emiatt a völgyekben és vízmosásokban szinte mindenhol az ún. magasbércei rétegek alapvetően finomabb anyaga bukkan a felszínre. A völgyfenékek tehát kissé berágódtak, ami elősegíti a talajvizek felszínre bukkanását források és szivárgók formájában. Az alapkőzet jó víztartó és vízvezető, s így a beszivárgást okozó nagycsapadékok esetlegessége ellenére a talajvíz-kibocsátás viszonylag egyenletes.

Az üledékes alapkőzeten jellemzően a podzolos barna erdőtalajok, a savanyú, illetve erősen savanyú nem podzolos barna erdőtalajok, valamint az agyagbemosódásos barna erdőtalajok jöttek létre. Kisebb területarányban természetesen megtalálhatók a felszín erodálódása közben kialakuló vázta- és patakmenti talajok is.

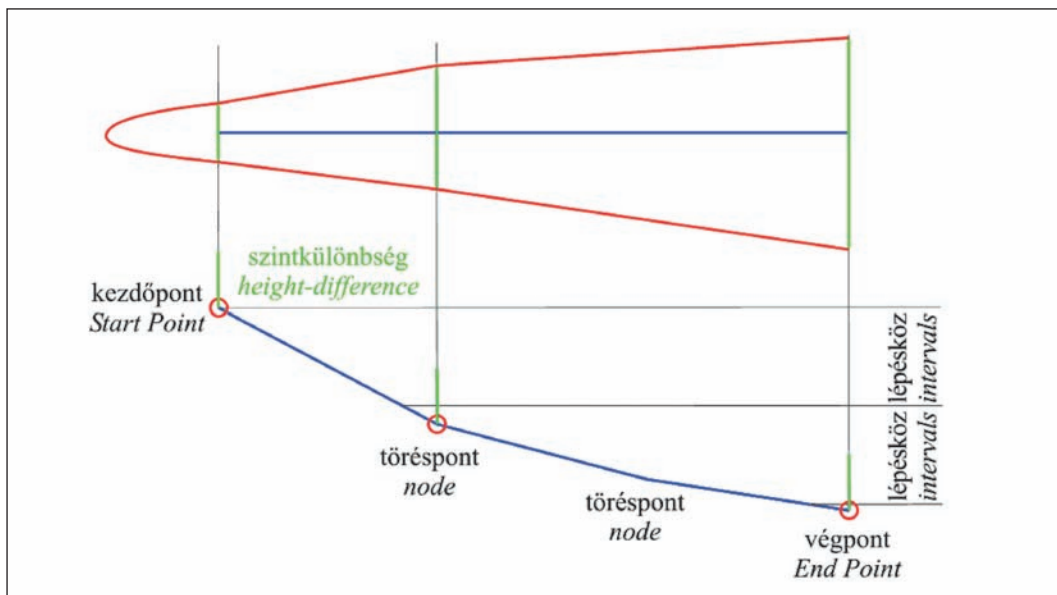
A Hidegvíz-völgyet és a környező területeket évszázadok óta erdő borítja. A Farkas-árok vízgyűjtőjén a fenyők és a lomblevelűek aránya durván 60% és 40%. A Vadkan-árok vízgyűjtőjén a fenyők és a lomblevelűek aránya a szomszédos területhez képest fordított, 40% és 60%. A vízfolyás menti zóna vegetációja, amelyre ebben az elemzésben számított talajvízpárolgások vonatkoznak, elsősorban fiatal és középkorú éger (*Alnus glutinosa*) dominanciájú higrofil intrazonális társulás. A patak menti zónában az égeresen kívül fiatal és középkorú lucfenyő (*Picea abies*) található még, a vízgyűjtők felső szakaszán pedig kisebb foltokban nyír (*Betula pendula*) főfafajú erdőállományok is. A völgytalpi területeken domináns égerállományok levélfelületi indexe évről évre LAI=7 körül ingadozik (Török 2008).

A vízfolyás menti higrofitá növényállományok térfoglalását a vizigényes vegetáció terepi kiterjedése és a domborzat alapján becsültük. Mitsch és Gosselink (2000) szerint a vízfolyás középvízi mederszintjétől (ez a mi esetünkben a meder mélypontjától csak néhány cm, tehát a mérés az egyszerűség kedvéért a meder mélypontjától is történhet) kb. 2,5–3,0 m-es magasságig terjed ki általában a vizigényes fás-száru növénytársulás. Ez a becslés a terepi növényállomány-felvételezésekkel is jól összevág. Így tehát 3 m-es magassági kiterjedést figyelembe véve a higrofitá erdőállományok átlagos szélessége a völgytalpon VÁ: 54 m FÁ: 49 m (4. ábra).



4. ábra: A vízfolyás menti galériaerdők kiterjedése a Vadkan- és Farkas-árok völgytalpi területein
 Figure 4: Riparian (preatophyte) forest areal extent (area) in the valley bottom of Vadkan- and Farkas Valley

A vízfolyás menti galériaerdők területfoglalását a digitális domborzatmodell (DDM) terepmodell alapján egy új módszerrel a következőképpen határoztuk meg (5. ábra). A módszerhez bemeneti adatként szükséges maga a DDM és a vízfolyás térbeli vektoros vonala. Ez utóbbit előállíthatjuk hidrológiai modellezéssel közvetlenül a domborzatmodellből (Jenson és Domingue 1988); vagy amennyiben rendelkezünk a vízfolyásról geodéziai síkrajzi méréssel, akkor csak a töréspontok magassági koordinátáit számolhatjuk a DDM alapján; amennyiben térbeli terepi mérésekkel rendelkezünk, akkor szükséges meggyőződnünk arról, hogy a vízrajz és a domborzatmodell összhangban van-e.



5. ábra: A vízfolyás menti zóna kiterjedésének meghatározása a DDM alapján
 Figure 5: Determination of the areal extent riparian zone on the basis of the DEM

A vízfolyás térbeli vonalának vesszük a legmagasabb pontját, azaz a kezdőpontját, ezt megemeljük az általunk választott szintkülönbséggel, amely esetünkben 3 m volt. Az első és a második töréspont által meghatározott szakasznak kiszámoljuk az irányát, majd erre a megemelt első törésponton merőlegest állítunk, és képezzük ezen merőleges és a terep metszéspontjait, amelyek között a merőleges a terep fölött fut, azaz az adott törésponthoz tartozó szélességet kapjuk így meg. Ezt minden egyes töréspontra és a hozzá tartozó vonalszakaszra megismételhetjük, mi azonban csak a meghatározott magassági lépésköznél nagyobb szintkülönbségű pontokra végeztük ezt el. A legfelső ponthoz a választott szintkülönbségnek megfelelő szintvonaldarab tartozott, ebből a szintvonaldarabból és a töréspontok segítségével meghatározott metszéspontokból készítjük el a vízfolyás menti zónát határoló poligont (lásd 5. ábra).

A Vadkan-árok völgyfenéki területein telepített kútcsoportok (8 kútcsoport 35 talajvízkúttal) 2005–2006. évi adatai szerint a vegetációs időszak száraz periódusaiban a vízfolyás menti zónában 0,2 és 1,7 m között változott a talajvízszint mélysége (Storcz 2006, Tóth 2007). Ezek alapján a völgytalpi területeken a fák gyökérszónája (még a sekély gyökérszóna lucfenyő esetében is) a vegetációs időszakban eléri a talajvízfelszín vagy legalábbis az afölötti kapilláris zónát (az előbbi állítás mindkét vízgyűjtőre igaz). A völgytalpi területek kiterjedése az év során közel állandónak vehető, mivel a völgyoldalak a viszonylag széles völgytalpak szélein hirtelen emelkednek.

A számításokban felhasznált vízhozam adatokhoz a vízállásokat a Vadkan-árok és Farkas-árok kifolyási szelvényében telepített mérőműtárgyakban mértük (4. ábra). A műtárgyak trapéznyílású bukóként működtek a vizsgált időszakban. A vízállásadatokat egy nyomásevelen működő szenzor rögzítette általában két perces gyakorisággal. A vízállásadatokat a vízhozam adatokat a Vadkan-árok esetén a $Q_{V\dot{A}}(l/s) = 0,086 \cdot (h(\text{cm}) + 0,568)^{2,049}$, a Farkas-árok esetében pedig a $Q_{F\dot{A}}(l/s) = 0,196 \cdot (h(\text{cm}) + 0,03)^{1,771}$ empirikus vízhozamgörbe segítségével kaptuk.

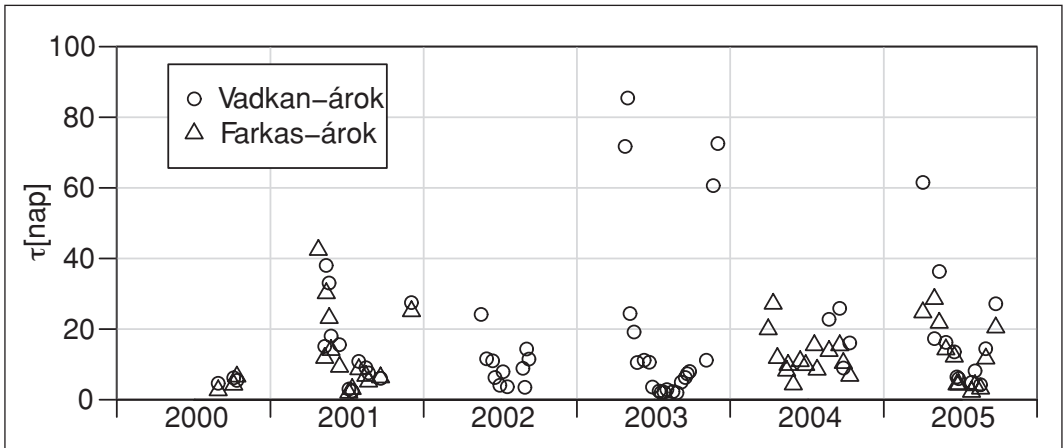
A vizsgált 2000–2005 közötti évek vízhozam idősorából (lásd a 3. ábrát) csapadékmentes szakaszokat választottunk ki. A kiválasztott szakaszok kezdetét a megelőző csapadékesemény vége után legalább fél nappal vettük. A kiadósabb esők után egy-két napnak el kell telnie, hogy a felülről beázott talajszelvényben kialakuljon a talajnedvesség szabályos elrendeződése a szivárgási folyamatok eredményeként. Hogy legyen nagyobb

számú elemzésre alkalmas időszak, ennél kissé rövidebb idővel dolgoztunk, de ez a tapasztalatok szerint nem volt zavaró az elemzésben. Hosszabb időszakok állíthatók elő a 0,5 mm-nél kisebb csapadékok figyelmen kívül hagyásával, mivel azok nem játszanak jelentős szerepet a vízfolyás menti területek vízutánpótlásában.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A tartózkodási idők számítása

A (1) egyenlet segítségével számíthatjuk a „ τ ” tartózkodási időket (6. ábra). A tartózkodási idők vegetációs időszakon kívüli (fagymentes időszakok) átlagértékeiből a vízgyűjtők víztartórára jellemző átlagos szivárgási tényező a (3) egyenlettel számítható. A Vadkan-árok (VÁ) és a Farkas-árok (FÁ) esetén az evapotranszpirációtól nem zavart tartózkodási időt $\tau_{VÁ}=70$, ill. $\tau_{FÁ}=30$ napnak határoztuk meg. Terepi mérések alapján az effektív porozitást $n_e=0,1$ -nek és a víztartó vastagságát $D=2,2$ m-nek véve, valamint a vízgyűjtő területét (A) és a vízfolyás menti zóna hosszát (l) az 1. táblázatból kikeresve a Vadkan-árokra és a Farkas-árokra jellemző átlagos szivárgási tényező $k_{VÁ}=8,46 \cdot 10^{-4}$ és $k_{FÁ}=1,63 \cdot 10^{-3}$ m/s átlagértékkel határozható meg.



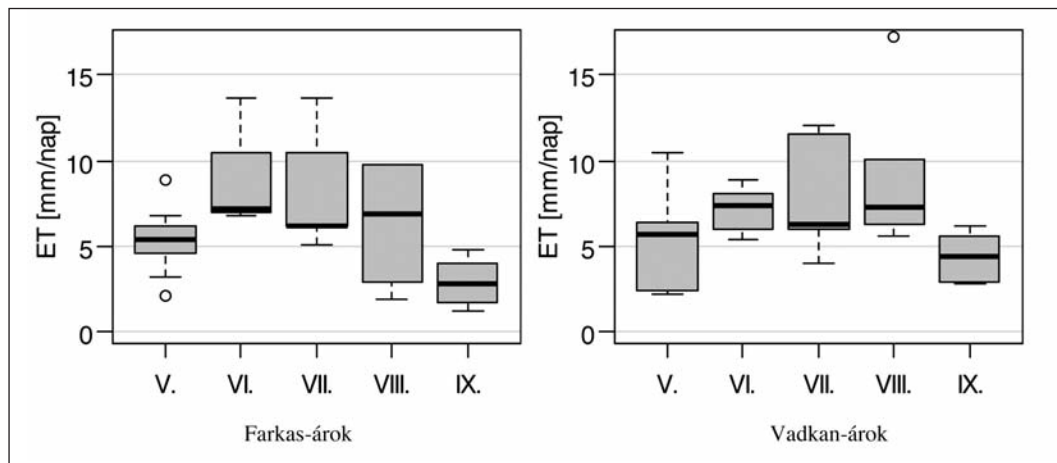
6. ábra: A tartózkodási idő (τ) változása a vizsgált vízgyűjtőkben a 2000–2005-ös évek csapadégmentes időszakaiban
Figure 6: Residence time values (τ) of examined catchments in rainless periods of 2000–2005

A vízfolyás menti területek talajvízből származó evapotranszpirációjának számítása

A (15) egyenletet használtuk fel a Farkas és Vadkan-árok csapadégmentes időszakban mérhető kiürülési görbéire, hogy a vízfolyás menti zónára jellemző talajvíz ET értékeket meghatározzuk.

A vízfolyás menti (völgyfenéki) területek evapotranszpirációjára a 7. ábra szerinti eredményeket kapjuk. Az ábrán a vizsgált évek adott hónapra számított ET értékeit egy-egy dobozra (boxplot) szemlélteti. Az ábra szürke dobozát az adatsorból számított alsó és felső kvartilisek határolják, a vastag fekete vonal a medián helyét jelzi. Helyzetüktől függően a szélső értékeket vonal vagy pont szemlélteti. Az ábrázolt ET értékek mutatják a párolgás jellemző éves menetét, és nagyon hasonlóak a vízfolyás menti területre több más módszerrel számolt ET értékekhez (Gribovszki és mtsai 2008, 2010), tehát valósnak vehetők. Az eredmények felhasználásához tudni kell, hogy ezek a talajvízből való vízfogyasztást jelentik, tehát a valódi evapotranszpiráció évszakos

menetéhez képest kisebb-nagyobb késést tapasztalhatunk az így meghatározott párolgásértékekben. A talajvízből való vízfelhasználásra általában akkor kerül sor, amikor a telítetlen zónában lévő vízkészlet már megfogyatkozott. Minél közelebb van tehát a talajvízszint vagy annak zárt kapillaris zónája a felszínhez, annál jobban közelít az így meghatározott talajvíz evapotranszspiráció a teljes evapotranszspiráció értékéhez (telített és telítetlen zónából történő párolgás összege).



7. ábra: A vízfolyás menti erdők talajvíz ET értékei a 2000–2005-ös évek csapadékmentes időszakaiban
Figure 7: Groundwater ET values of riparian forests in rainless periods of 2000–2005

A kapott adatokkal kapcsolatban a következőket érdemes megjegyezni. A meghatározott evapotranszpirációs adatok a vízfolyás menti növénytársulás, esetünkben egy dombvidéki égerliget, talajvízből származó evapotranszspirációját becslik, amiben a transzspiráció a domináns. A kapott ET értékek közel állnak a területre jellemző potenciális evapotranszspiráció (PET) értékéhez, mivel a vízfolyás menti zónában a talajvíz közel van a felszínhez, ezért az evapotranszspiráció telítetlen zónából (amely nincs közvetlen kapcsolatban a kapillaris zónán keresztül a talajvízzel) származó része valószínűleg alacsony.

A vegetációs időszak május-szeptember hónapjainak száraz napjaira vonatkozóan tehát a kapott átlagos ET értékek 5,8 és 6,2 mm/nap a Farkas- és a Vadkan-árok vízgyűjtői esetében, ami az előző sorrendben 582 és 620 mm összes ET-t jelent ezekre a napokra egy átlagos évben. A Vadkan-árokra kapott kissé magasabb (6,1%-kal) ET értékek a völgy nyitottságával magyarázhatók, mivel így ott a völgyfenéki területeken keletkező pára elszállítódására jobbak a lehetőségek.

A módszer segítségével becsült evapotranszspiráció a teljes évre vonatkozó vízmérleg számításában felhasználható, de a következőkre is tekintettel kell lenni. A vegetációs időszakon kívül, alapvetései miatt, nem használható, de akkor az ET elhanyagolható. A csapadékos időszakok alatt sem használható. Ekkor a vízgyűjtő talajtömbjének már említett beázási folyamatának zavarásán túl figyelembe kell venni a faállomány jelentős mennyiségű intercepcióját, valamint a felszínig telített talajon esetleg kialakuló felszíni lefolyást is.

A PET pontos definiálása miatt azonban kis fogalommagyarázatra van szükség. A kapott viszonylag magas talajvízből származó ET értékek bizonyos esetekben (napokon) meg is haladhatják egyes nagyobb nedves felületek egyensúlyi párolgására vonatkozó módszerekkel (pl. Priestley-Taylor egyenlet, Priestley és Taylor 1972) meghatározott potenciális evapotranszspiráció (PET) mértékét is. Ez azért fordulhat elő, mert a kisvízfolyások mentén található vízfolyás menti erdőállományok egy hosszú, viszonylag keskeny szalagként elnyúlva jelennek meg. Ezen a sávon kívül általában többletvízhatástól függetlenül, a száraz periódusokban igencsak páraéhes (jelentős telítési hiánnyal bíró és a vízfolyás mentihez képest sokszor magasabb hőmérsékletű) környezet



helyezkedik el (legyen az bár egy másik, kevésbé vízigényes erdőtársulás is). E miatt az elhelyezkedés miatt érvényesülni tud a sivatagi környezetben igen élesen jelentkező ún. oázishatás, amely szerint a szárazabb, lényegesen magasabb hőmérsékletű környezet jelentős páraelszívást indukál, így az egyensúlyi nedves felület párolgásánál (Priestley-Taylor egyenlet) nagyobb evapotranszpiráció észlelhető. Ez a nagyobb párolgási érték jól közelíthető a szárazabb, nem vízfolyás menti környezetben mért meteorológiai és a vízigényes növénytársulásra jellemző növényfizikai, fiziológiai paramétereket is figyelembe vevő Penman-Monteith (Monteith 1965) egyenlettel.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben a hidegvíz-völgyi kutatási terület két szomszédos, erdővel borított kisvízgyűjtőjében, a Vadkan-árokban és a Farkas-árokban elemeztük a vízfolyás menti területek talajvíz evapotranszpirációját az árhullámok apadó ága segítségével. A vizsgálatok során számszerűsítettük a vízgyűjtők szivárgáshidraulikai paramétereit, és egy új megközelítéssel számszerűen jellemeztük a vízfolyás menti vegetációnak a csapadékmentes időszakokban jellemző vízfelhasználását. A kapott adatok szerint a 2000–2005-ös években a májustól szeptemberig tartó időszak száraz periódusaiban átlagosan 5,8 mm/nap (Farkas-árok), ill. 6,2 mm/nap (Vadkan-árok) volt a vizsgált vízfolyás menti galériaerdők párolgása. Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy az apadási görbék jól alkalmazhatóak a kisvízfolyások mentén található galériaerdők vízfelhasználásának jellemzésére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A dolgozat elkészítését az OTKA (T 030632 és F 046720, NN79835), az MTA Bolyai-ösztöndíja és a TÁMOP-4.2.2.-08/1-2008-0020 pályázat támogatta. Köszönet dr. Kucsara Mihálynak (Nyugat-magyarországi Egyetem) a sok hasznos szakmai tanácsért és a kutatási terület működésének biztosításában kifejtett áldozatos munkájáért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Boussinesq, J. 1877: Essai sur la théorie des eaux courantes. Mémoires présentés par divers savants a l'Academie des Sciences de l'Institut National de France No. I.
- Brutsaert, W. 2005: Hydrology – an Introduction. Cambridge University Press, ISBN-13 978-0-521-82479-8. p. 605.
- Federer, C. A. 1973: Forest transpiration greatly speeds streamflow recession. *Water Resources Research* 9(6):1599–1604.
- Gribovszki, Z.; Kalicz, P.; Szilágyi, J. and Kucsara, M. 2008: Riparian zone evapotranspiration estimation from diurnal groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology* 349: 6–17., <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.10.049>
- Gribovszki Z.; Kalicz P. és Szilágyi J. 2010: Talajvíz evapotranszpiráció számítása a vízhozamok napi periódusú ingadozása alapján. *Hidrológiai Közöny* 90 (5): 19–28.
- Jenson S. K. and J. O. Domingue. 1988: Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (11): 1593–1600.
- Kisházi P. és Ivancsics J. 1981–1985: Sopron környéki üledékek összefoglaló földtani értékelése (ottnangientől a holocénig; morfológia). Technical report, Központi Bányászati Fejlesztési Intézet Petrográfia, Sopron.
- Monteith, J. L. 1965: Evaporation and environment. In: *The State and Movement of Water in Living Organism (Proc. 19th Symp. Soc. Exp. Biol., Swansea 1964)*, 205–234. Academic Press, for The Society for Experimental Biology, UK.
- Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G. 2000: *Wetlands*. Wiley, New York. ISBN 0-471-29232-X, p. 920.

- Priestley, C. H. and Taylor, R. J. 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review* 100: 81–92.
- Storz Cs. 2006: A talajvíz és a patak-menti ökoszisztémák kapcsolatának vizsgálata, a Sopron melletti Hidegvíz-völgyben. Szakdolgozat, Természetvédelmi Mérnöki Szak, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron. p. 51.
- Tallaksen, L. M. 1995: A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology* 165: 349–370.
- Tóth A. 2007: Vízkedvelő erdőállományok és a talajvíz kapcsolatának elemzése a Sopron melletti Hidegvíz-völgyben. Szakdolgozat, Természetvédelmi Mérnöki Szak, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron. p. 45.
- Török A. 2008: A vízviszonyok és a levélfelület kapcsolatának vizsgálata és ennek természetvédelmi vonatkozásai patak menti ökoszisztémákban. Szakdolgozat, Természetvédelmi Mérnöki Szak, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Zecharias, Y. B. and Brutsaert, W. 1988: Recession Characteristics of Groundwater Outflow and Base Flow From Mountainous Watersheds, *Water Resources Research*, 24(10): 1651–1658.

Érkezett: 2011. május 16.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Vízhozammérő bukóláda

Az erdő jelentős hatással van a vízviszonyokra, így a kisvízfolyások vízjárására is. E hatás számszerűsítése érdekében, többféle vízhozammérő kisműtárgy alkalmazásával folyik intenzív adatgyűjtés a Sopron melletti hidegvíz-völgyi erdészeti hidrológiai kutatóhelyen. Kisebb vízgyűjtő területeken, erdei patakok vízhozamának tartós és automatizált mérésére alkalmas az érzékelő-regisztráló műszerrel is felszerelt bukóláda, amely az erdészeti út alatti csóáteresztő kifolyási végénél helyezhető el.

Fotó: Kucsara Mihály

ALKALMAZOTT ELEMZÉSI MÓDSZEREK A KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK FÁK NÖVEKEDÉSÉRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATÁBAN

Manninger Miklós¹, Edelenyi Márton², Pödör Zoltán³ és Jereb László²

¹Erdészeti Tudományos Intézet

²Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar

³Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

A fák növekedésének vizsgálata az erdészeti kutatások egyik központi témája. A klímaváltozással kapcsolatos tanulmányok további ösztönzést adnak a környezeti tényezők és a növekedés összefüggéseinek vizsgálatához. A szakirodalmi áttekintés az anyagok meghatározott szempontok szerinti kiválasztása után az utóbbi évtized ebben a témában megjelent hazai és európai cikkeit foglalja össze a vizsgált paraméterek (földrajzi eloszlás, fajok, meteorológia paraméterek, növekedési adatok) és azok értékelésekor alkalmazott statisztikai eljárásokat illetően.

Kulcsszavak: növekedés, klímaváltozók, mérési és elemzési módszerek

OVERVIEW OF THE APPLIED METHODS IN THE RESEARCH OF THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON TREE GROWTH

Abstract

Investigation of tree growth is one of the main issues in forest research. The climate change studies provide further motivation to examine relationship between tree growth and environmental factors. The review of selected articles published in the last decades in Hungary and Europe summarizes the data (geographical distribution, tree species, meteorological parameters, different growth data) used in the evaluations and the applied mathematical and statistical procedures.

Keywords: tree growth, climatic factors, methods of measurements and evaluation



BEVEZETÉS

A fák növekedési folyamata régóta az erdészeti kutatások fontos területe. Ma a kutatási téma aktualitását – tágabban értelmezve – a klímaváltozás vizsgálata adja. A környezeti tényezőknek a fák növekedésére gyakorolt hatása közvetlenül nem szolgáltat érveket a klímaváltozás mellett vagy épp ellene, de mindenképpen segít helyükre tenni azoknak a lehetséges (prognosztizált) változásoknak a hatásait, amelyek a szak-sajtóban és a közmédiában is nagy nyilvánosságot kapnak.

A kiemelt érdeklődés, melyet a nagyszámú kutatás jelez, indokolja a szakirodalmi áttekintés fontosságát, és ezen belül külön is érdekes, hogy az utóbbi időszak publikációi egyre összetettebb statisztikai-informatikai eszközöket alkalmaznak a vizsgálatok során. Jelen áttekintésben a hazai és az európai vonatkozású, az ezredfordulótól napjainkig megjelent cikkeket vesszük figyelembe. A szakirodalmi áttekintés lehetőségét az teremtette meg, hogy az Erdészeti Tudományos Intézet által működtetett intenzív monitoring adataival a szerzők már több közös elemzést végeztek.

Az áttekintés témája sok szakterületet érint, maguk a környezeti tényezők is számosak lehetnek, és a növekedés fogalma is elég tág. A fák növekedését is többféle módon jellemezhetjük. Cikkünkben azokkal a kutatásokkal foglalkozunk, amelyek a növekedést az átmérő változásaként definiálják függetlenül attól, hogy ezt az adatot közvetlenül mérik (átmérő-, illetve kerületmérés) vagy származtatják (évvégűrelemzés).

A sokféle környezeti tényező közül a léghőmérsékletet és a csapadékot, tehát a két legáltalánosabban használt meteorológiai tényezőt emeltük ki. Ezen belül is külön figyelmet fordítottunk az olyan publikációkra, amelyekben e tényezők valamilyen időszaki és/vagy késleltetett hatásait vizsgálták.

Figyelembe véve a rendkívül széleskörű szakirodalmat és saját kutatási előzményeinket, az áttekintésből ki kellett hagynunk a témához köthető, de a fenti szempontoknak csak részben megfelelő cikkeket, így például azokat, amelyek a magassági növekedésre gyakorolt hatásokat vizsgálták. Ugyanígy kiestek az áttekintésből azok is, melyek a felsorolt tényezők közül vagy a növekedést vagy a meteorológiai jellemzőket nem elemezték. Ezek közé tartoznak az önálló növekedési modellekkel foglalkozó cikkek (pl. Biondi és Waikul 2004, Monty és mtsai 2008), és ugyancsak nem vettük a részletesebb feldolgozás során figyelembe azokat sem, melyek általánosságban, elméleti szinten fogalmazták meg a fák növekedésének és a környezeti tényezőknek az összefüggéseit.

A hazai szak-sajtóban a listában szereplőkön túl számos további cikk jelent meg a témakörhöz kapcsolódóan (Szabados 2007, Somogyi 2008, Nagy 2009, Mátyás és mtsai 2010), de a kiválasztási feltételek miatt ezek kikerültek a feldolgozási körből.

A részletesebb elemzés összesen 30, köztük 4 magyar és 26 külföldi cikkre alapoz. Az értékelés során először összefoglaljuk a vizsgálatok lényegesebb bemeneti adatait, majd áttekintjük az egyes vizsgálatok céljait és az értékelés során felhasznált módszereket, végül röviden megfogalmazzuk legfontosabb következtetéseinket.

AZ ELEMZÉSEKBEN ALKALMAZOTT BEMENETI ADATOK

Ebben a fejezetben a növekedés és a környezeti tényezők kapcsolatának vizsgálatában alkalmazott adatokat tekintjük át. Ismertetjük a vizsgált területek földrajzi eloszlását, az értékelésekbe bevont fafajokat, a felhasznált meteorológiai és növekedési adatokat, külön kiemelve a kutatások egyéni jellemzőit. Az adatokat és az alkalmazott módszereket az 1. táblázatban foglaljuk össze. A táblázatban megadjuk a kutatások alapvető célkitűzésén (növekedés-környezeti tényezők vizsgálata) túli további értékelési szempontokat is.

1. táblázat: Az ismertetett adatok és módszerek összefoglalása
 Table 1: Overview of the input data and the applied methods

Szerzők	Helyszín	Fafaj	Az alapvető vizsgálati célkitűzést kiegészítő szempontok	Meteorológiai adatok			Növekedési adat forrása	Módszer
				paraméter	felbontás	mérőállomás		
Bogino és mtsai (2009)	Spanyolország	EF	a kor hatása, az aszályosság szerepe	PR, T	havi	közeli	növedékcsp	2, 4
Bouriaud és mtsai (2005)	Franciaország	LF	fasűrűség, a vízhiány és a növekedés kapcsolata, napi és éves növekedésment	PR, T, T_{min} , T_{max} , GR, VPD	napi	helyi	dendrométer	1
Briffa és mtsai (2002)	északi félgömb	fenyők	a földrajzi elhelyezkedés szerepe	PR, T	havi, időszaki	interpolált adat	növedékcsp	1, 5
Büntgen és mtsai (2006)	Svájc	LF	az aszályosság szerepe	PR, T	havi, éves	helyi és közeli	növedékcsp, korong	2, 7
Büntgen és mtsai (2007)	Szlovákia, Lengyelország	LF, VF, JF, TF	tengerszint feletti magasság	PR, T	havi, időszaki	modell	növedékcsp	1,5
Carrer és Urbinati (2001)	Olaszország	VF, LF, CF	elemzési módszerek összehasonlítása	PR, T, T_{min} , T_{max} , NRD	havi	közeli	növedékcsp	2, 4, 9
Čufar és mtsai (2008)	Szlovénia	B	a fenológia bevonása	PR, T, T_{min} , T_{max}	havi	közeli	korong	2
Feliksik és Wilczyński (2009)	Lengyelország	LF, EF, DF, SZIF, JF	a növekedés és a fafaj összefüggése	PR, T	havi	közeli	növedékcsp	1, 5, 6
Gutiérrez és mtsai (2011)	Spanyolország	MALT	napi és havi növekedésment	PR, T, T_{min} , T_{max} , GR	időszaki	közeli	dendrométer	1
Lebourgeois és mtsai (2004)	Franciaország	KTT	extrém évek vizsgálata	PR, T, T_{min} , T_{max} , NRD	havi	közeli	növedékcsp	2, 4
Lebourgeois és mtsai (2005)	Franciaország	B	a vízhiányindex szerepe	PR, T, T_{min} , T_{max} , VPD, GR, WS	havi	közeli	növedékcsp	2, 4, 5
Mäkinen és mtsai (2000)	Finnország	LF	a földrajzi elhelyezkedés hatása	PR, T	havi	interpolált adat	növedékcsp	1, 5
Mäkinen és mtsai (2002)	Németország, Finnország, Norvégia	LF	földrajzi elhelyezkedés és tengerszint feletti magasság	PR, T,	havi	közeli, részben interpolált adat	növedékcsp, korong	1, 5
Mäkinen és mtsai (2003)	Németország, Finnország, Norvégia	fenyők	a vegetációs időszak kezdete és vége, földrajzi elhelyezkedés	PR, T, TS	havi	helyi, részben interpolált adat	növedékcsp, korong	1, 5
Manninger (2004)	Magyarország	LF, B, KTT	növekedés-időszaki csapadék	PR	időszaki	helyi	dendrométer	1
Manninger (2004)	Magyarország	EF, FF, KST, SZNY, A	növekedés-időszaki csapadék	PR	időszaki	helyi	dendrométer	1
Martín-Benito és mtsai (2001)	Spanyolország	FF	a szociális helyzet szerepe	PR, T,	havi	közeli	növedékcsp	2, 4
Maxime és Hendrik (2008)	Franciaország	JF, B	fafajok közti különbségek, a tengerszint feletti magasság hatása	PR, T, T_{min} , T_{max}	havi	helyi és közeli	növedékcsp	1
Novák és mtsai (2009)	Csehország	EF	az állománysűrűség hatása	PR, T, SPI	havi, időszaki	helyi és közeli	átmérő, növedékcsp	1, 5



1. táblázat (folytatás)
Table 1 (cont.)

Szerzők	Helyszín	Fajaj	Az alapvető vizsgálati célkitűzést kiegészítő szempontok	Meteorológiai adatok			Növekedési adat forrása	Módszer
				paraméter	felbontás	mérőállomás		
Oberhuber és mtsai (2008)	Ausztria	CF	összefüggések időbeni változása	PR, T, T _{min} , T _{max} , GR	időszaki	közeli	növedékcsp	4, 5, 7
Pärn (2003)	Észtország	EF	a légszennyezés hatása	PR, T	havi	közeli	növedékcsp	3
Pichler és Oberhuber (2007)	Ausztria	LF, EF	növekedés és a 2003-as extrém év kapcsolata, fajajok közti különbség	PR, T	időszaki	helyi és közeli	növedékcsp	1, 4
Piovesan és mtsai (2005)	Olaszország	B	a földrajzi elhelyezkedés, a tengerszint feletti magasság hatása	PR, T, T _{min} , T _{max}	havi	közeliből importált adat	növedékcsp	2, 4, 5
Rybníček és mtsai (2005)	Csehország	LF	extrém évek vizsgálata	PR, T	havi	közeli	növedékcsp	1
Savva és mtsai (2006)	Lengyelország	LF	növekedés-időszaki csapadék, tölgypusztulás	PR, T	havi	közeliből származtatott adat	növedékcsp	1
Szabados (2002)	Magyarország	KTT	növekedés-időszaki csapadék, aszályindex	T	havi	közeli, részben interpolált adat	növedékcsp	1
Szabados (2008)	Magyarország	CS	a vegetációs időszak kezdete és vége, földrajzi elhelyezkedés	PR, PAI	havi, időszaki	közeli	növedékcsp	1
Tuovinen (2005)	Finnország	EF	erdőhatáron túli területek vizsgálata	PR, T, T _{min} , T _{max}	havi	közeli	növedékcsp	1, 2
van der Werf és mtsai (2006)	Hollandia	B, KST	éven belüli összefüggések, növekedés-2003-as extrém év kapcsolata, fajajok közti különbségek	PR, T	havi	közeli	szövetminta, (mikró) növedékcsp	2
Wilczynski és Podlaski (2007)	Lengyelország	VG	összefüggések időbeni változása	PR, T	havi	közeli	növedékcsp	2, 4, 7, 8

Fajajok jelölése: LF – lucfenyő, VF – vörösfenyő, CF – cirbolyafenyő, EF – erdeifenyő, JF – jegenyefenyő, TF – törpefenyő, FF – fekete-fenyő, DF – duglaszfenyő, SZIF – szitkafenyő, B – bükk, KTT – kocsánytalan tölgy, KST – kocsányos tölgy, MALT – magyaltölgy, VG – vadgesztenye, CS – csertölgy, SZNY – szürkenyár, A – akác

Paraméterek jelölése: PR – csapadék, PAI – Pálfai-féle súlyozott csapadék, T – átlaghőmérséklet, T_{min} – minimum hőmérséklet, T_{max} – maximum hőmérséklet, TS – hőösszeg, RH – relatív páratartalom, GR – globálsugárzás, WS – szélsősebesség, VPD – páratelítettségi hiány, NRD – csapadékos napok száma, SPI – egyedi időszaki indexek

Módszerek rövidítései: 1 Pearson-féle lineáris korreláció-(regresszió)-elemzés, 2 bootstrap korreláció-elemzés, 3 válaszfüggvény-elemzés, 4 bootstrap válaszfüggvény-elemzés, 5 főkomponens analízis, 6 klaszter analízis, 7 mozgó intervallumok, 8 evolúciós elemzés, 9 neurális háló

A vizsgálatok földrajzi megoszlása

Az áttekintett szakirodalomban a vizsgálatok egész Európára kiterjednek. Az elemzések többnyire egy földrajzi értelemben szűkebben vett régió mintaterületeire vonatkoznak (Carrer és Urbinati 2001, Lebourgeois 2004, Manninger 2004, Bouriaud és mtsai 2005, van der Werf 2007, Wilczynski és Podlaski 2007, Pichler és

Oberhuber 2007, Cufar és mtsai 2008, Oberhuber és mtsai 2008, Felcsik és Wilczyński 2009, Gutiérrez és mtsai 2011, Maxime és Hendrik 2011). Egy adott országon belül több régiót vizsgált Szabados (2002), Tuovinen (2005), Manninger (2008), Martín-Benito és mtsai (2008), Szabados (2008), Bogino és mtsai (2009), Novák és mtsai (2010).

Briffa és mtsai (2002) az északi félgömb 387 fenyővel borított mintaterületét (köztük észak- és dél-európaiakat) vették figyelembe kutatásukban. Pärn (2003) három északkelet-észtországi ipari terület közelében lévő, légszennyezett erdő növekedését elemezte. Piovesan és mtsai (2005) az olasz-félsziget bükköseitől kialakított hálózat évgyűrelemzési adatait tanulmányozták. A hálózat a teljes félszigetet lefedi, és a domboktól a magas hegyekig széles tengerszint feletti magasságtartományban tartalmaz adatokat. Franciaországban Lebourgeois és mtsai (2005) a RENECOFOR hálózat 15 idős, különböző klíma- és talajviszonyokkal jellemezhető bükkös állományát vizsgálták. Savva és mtsai (2006) a Tatra lengyelországi részén 10 különböző tengerszint feletti magasságú terület mintáit használták.

Mäkinen és mtsai (2000), valamint Büntgen és mtsai (2006) egy országon (Finnországban, illetve Svájcban) belül szintén több régió adatait vették figyelembe tanulmányukban. Nagyobb földrajzi régióra, Közép- és Észak-Európára vonatkozó megállapításaikat ismertették Mäkinen és mtsai 2002-ben és 2003-ban, míg Büntgen és mtsai (2007) a Tatra lengyel és szlovák részéről származó adatsorokat vizsgálták.

Vizsgált fajok

A feldolgozott cikkekben szereplő fajok közül hazai szempontból nagyobb jelentőségű a tűlevelűek közül az erdeifenyő (7 cikkben vizsgálják), a lombosok közül a bükk (6), a kocsánytalan tölgy (3), a kocsányos tölgy (2), a cser (1), a szürkenyár (1) és az akác (1). Az elemzések leggyakoribb faja a nálunk egyre inkább visszaszoruló lucfenyő (12). A vizsgálatba vont fajok közül hazai előfordulása még a jegenyefenyő (3), a fekete-fenyő (2), a vörösfenyő (2) és a duglaszfenyő (1). Az elemzések Magyarországon erdészeti szempontból kevésbé fontos fajokra is kiterjednek, így a cirbolyafenyőre (2), a törpefenyőre (1), a szitkalucra (1), a magyal-tölgyre (1) és a vadgesztenyére (1).

Környezeti (meteorológiai) adatok

A kutatásokban a hőmérsékleti és csapadékadatokat legtöbb esetben a közeli meteorológiai állomások adataiból, ritkábban modellekből vagy helyben mért adatokból számolták, illetve származtatták. A tanulmányozott cikkekkel kapcsolatban elmondható, hogy a környezeti tényezők és a növekedés kapcsolatának elemzésében a meteorológiai paramétereket leginkább a havi átlagos léghőmérséklet és a havi szabad területi csapadékösszeg képviseli. Az ettől való eltérés – néhány kivételtől eltekintve – a bevont paraméterek számának növelését jelenti.

Többben (Carrer és Urbinati 2001, Lebourgeois és mtsai 2004, Bouriaud és mtsai 2005, Lebourgeois és mtsai 2005, Piovesan és mtsai 2005, Tuovinen 2005, Cufar és mtsai 2008, Gutiérrez és mtsai 2011, Maxime és Hendrik 2011) a hőmérséklet átlaga mellett figyelembe vették a minimumot és a maximumot is. Néhány tanulmány felhasználta a páratelítettségi hiányt (VPD) és a globálsugárzást (Carrer és Urbinati 2001, Lebourgeois és mtsai 2005). Lebourgeois és mtsai (2005), illetve Cufar és mtsai (2008) a csapadékos napok számát is bevonták a vizsgálatokba, valamint utóbbiak fenológiai fázisokat (lombfakadás, lombelszíneződés) is figyelembe vettek. Egy cikkben a szélesebséget is megemlítik (Lebourgeois és mtsai 2005). A két alapvető paraméter közül – a csapadékadatok bizonytalansága miatt – csak a hőmérsékleti adatokat használták Savva és mtsai (2006).

A közvetlen mért meteorológiai paraméterek mellett több esetben származtatott adatokat is használtak az összefüggések keresésekor. Ez lehet új paraméter, például egyedi időszaki mutató, de lehet összevonás is, amire leginkább az időszaki csapadékösszegek hozhatók fel példaként.



Az északi félgömbön végzett vizsgálatokban Briffa és mtsai (2002) a vizsgált év előtti júniustól az adott év szeptemberéig képezték paramétereiket (16 hónap), illetve időszaki összevonásokat is használtak, mint pl. októbertől márciusig és májustól augusztusig. Különböző időszaki csapadékösszegek – köztük a Pálfai-féle súlyozott csapadékösszeg – hatását elemezte Szabados (2002, 2008). Mäkinen és mtsai (2003) az egyes állományokra a vegetációs időszak hosszának megállapításához meghatározták az effektív hőösszeget, melyhez minimum hőmérsékletként az 5 °C-ot definiálták. Manninger (2004) a koronán áthulló és a törzsön lefolyó adatokból állományi csapadékot számolt, továbbá az egyes paramétereiket a növekedési (nyugalmi, fő, illetve befejező növekedési) időszakokra is vonatkoztatta. Bouriaud és mtsai (2005) vízháztartási modellből származó vízhiánnyal számoltak. Az osztrák Alpokban végzett elemzéseik során Lebourgeois és mtsai (2005) a részletes napi meteorológiai adatokat más termőhelyi és állományi adatokkal (például potenciális evapotranspiráció és levélfelületi index) kiegészítve egy vízháztartási modellhez használták fel. Az így kapott havi vízhiányindex szorosabb kapcsolatot mutatott, mintha a havi csapadékösszeggel számoltak volna. Büntgen és mtsai (2007) 18 hónapos ablakot képezték a meteorológiai adatokból az előző év májusától az aktuális év októberéig, továbbá többféle időszaki összegzést is vizsgáltak. Az osztrák Alpokban végzett elemzéseik során Pichler és Oberhuber (2007) háromhavi időszaki változókat alkalmaztak a havi átlaghőmérsékletek átlagolásával és a havi csapadékmennyiségek összegzésével. Manninger (2008) az alföldi mintaterületek adatainak értékelésekor is a növekedési (szervesanyag-képzési) időszakok csapadékösszegeit használta. Novák és mtsai (2010) egyedi időszaki csapadék- és hőmérsékleti indexeket vezettek be. Gutiérrez és mtsai (2011) a növekedésmérések előtti 5, 10, 15 és 30 napra határozták meg az időszaki meteorológiai paramétereiket. Maxime és Hendrik (2011) meghatározta a kései fagyok számát április és június között a tengerszint feletti magasság hatásának elemzéséhez.

Növekedési adatok

A növekedéshez felhasznált adatokat alapvetően két módszerrel határozták meg. A legelterjedtebb eljárás az évgyűrűelemzés, melynek mind a terepi, mind a feldolgozási része jól kidolgozott. Az elemzésekhez leggyakrabban növedécsapot vettek a fából, ritkábban a kidöntött fából vágott korongot használták fel. Egyes kutatásokban az évgyűrűszélességen túl a korai és kései pászta szélességét (Lebourgeois és mtsai 2004, Tuovinen 2005, Lebourgeois és mtsai 2005, Savva és mtsai 2006, van der Werf és mtsai 2006, Pichler és Oberhuber 2007, Martín-Benito és mtsai 2008), olykor sűrűségét (Briffa és mtsai 2002, Büntgen és mtsai 2007) is meghatározták.

A növekedési adatok másik forrása a mellmagassági átmérő, illetve a kerület mérése. Ezek a módszerek a mérések gyakoriságától és az alkalmazott mérőeszközöktől függően az átmérő éven belüli kismértékű változását (növekedés és zsugorodás) is képesek kimutatni, automata mérőeszközök esetén akár a napon belülieket is (Manninger 2004, Bouriaud és mtsai 2005).

Manninger (2004) a kézi és automata kerületmérő szalagokat egyidejűleg alkalmazta. A heti gyakorisággal mért kézi mérőeszközökkel határozta meg az éves kerületnövekedést a vegetációs időszak előtt lemért kezdőkerület arányában, míg az automata szalagok órás adatai alapján értékelte a környezeti tényezők napi hatását.

Bouriaud és mtsai (2005) a törzsön különböző magasságban rögzített, az átmérő változását sugárirányban mérő automata mérőeszközöket (az ún. pontdendrométereket) alkalmaztak. Az órás adatokból konvertálták az éves növekedési görbét, illetve ebből határozták meg az éven belüli vizsgálatok számára az 5 napos növekedési értékeket.

Gutiérrez és mtsai (2011) kézi kerületmérő szalagokkal vizsgálták a növekedést. Az átlagos mintavételezési gyakoriság 28 ± 1 nap volt, de tavasszal és ősszel sűrűbben (17 ± 1 nap), míg nyáron és télen ritkábban (39 ± 2 nap) mértek. A kapott értékeket korrigálták, szűrték, majd havi átmérőváltozást számoltak belőlük. A kerületmérésből számolt évgyűrűszélességeket mintafából vett korongok adataival hasonlították össze.

Novák és mtsai (2010) a növekedést a fiatalabb állományokban az átmérő mérésével, az idősebb állományokban évgyűrűelemzéssel határozták meg.

AZ ÉRTÉKELÉSEKBE ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A növekedés és a környezeti tényezők kapcsolatrendszerének vizsgálata az adatok jellege miatt idősorok közti relációk keresését jelenti. A függő változó a növekedési adatsor, míg a független változók a különböző környezeti paraméterek. Néhány cikkben (Manninger 2004, van der Werf és mtsai 2007, Gutiérrez és mtsai 2011) az éven belüli növekedést vizsgálták a meteorológiai paraméterekkel összefüggésben, azonban az áttekintett cikkek többségében éves növekedési adatokat és jellemzően havi bontású meteorológiai paramétereket használtak.

Az elemzések egyik alapvető célja a növekedéssel szignifikáns kapcsolatot mutató havi (időszaki) környezeti paraméterek meghatározása, amihez tehát adott a megfelelő módon képzett függő változó (növekedés) és több környezeti paraméter mint független változó.

Az áttekintett szakirodalom alapján jól körülhatárolhatóak azok az elemzési módszerek, amelyeket akár éves, akár éven belüli növekedés esetén a fenti összefüggés-elemzésekben alkalmaztak. Az adatsorok időbelisége releváns tényező, így az alapmódszer a lineáris korrelációelemzés. Ez önmagában azonban még nem feltétlenül elégséges egy ilyen komplex rendszer vizsgálatára, így a ténylegesen alkalmazott módszerek ennek az alaptéchnikának valamiféle továbbfejlesztései. Áttekintésünkben megemlítünk még olyan speciális módszereket is, amelyeket nemcsak közvetlenül az elemzésben, hanem pl. az adatsorok előkészítésében (évgyűrűadatok csoportosítása) is alkalmaztak.

Főkomponens analízis, klaszterelemzés

A két módszer adatok előkészítése során is alkalmazható. A vizsgálatokhoz szükség van a faegyedek növekedési adataiból előállított fafajra (régiora stb.) vonatkozó összevont növekedési adatokra. Az egységes növekedési mutató képzésére a legegyszerűbb lehetőség az átlagolás lenne. Ennek a módszernek azonban több hátránya is van, ugyanis elfedi a különböző mértékű növekedést produkáló egyedek közti különbségeket, illetve az egyéb jellegű különbözőségeket (domináns-alászorult egyedek, különböző klímaviszonyok stb.).

Amennyiben nem áll rendelkezésre kötött csoportosítási szempont, akkor valamilyen módon nekünk kell csoportosítani a növekedési adatsorokat és egységes mutatót képezni. Erre az egyik lehetőség a főkomponens elemzés (PCA), amely az adathalmazt leíró eredeti változók lineáris kombinációival képez úgynevezett főkomponenseket. Ezek segítségével adekvát módon leírható az eredeti adathalmaz varianciája.

A módszer egyik nagy előnye az adatredukció, így alkalmas lehet a növekedést reprezentáló évgyűrű adatsorok csoportosítására és egységes növekedési adatsorok előállítására (Mäkinen és mtsai 2000, Briffa és mtsai 2002, Mäkinen és mtsai 2002, Mäkinen és mtsai 2003, Büntgen és mtsai 2007, Oberhuber és mtsai 2008, Novák és mtsai 2010).

Az évgyűrűadatsorok csoportosításának másik lehetséges módja a klaszter-analízis (Piovesan és mtsai 2005), amely egy adathalmaz pontjainak hasonlóság szerinti csoportosítását jelenti.

Feliksik és Wilczyński (2009) az erdei-, a luc-, a duglász-, a szitkaluc- és jegenyefenyő növekedését klaszterelemzéssel vizsgálták, míg a különböző évgyűrűadatsorok közti hasonlóságokat, illetve különbözőségeket meghatározó faktorok kijelölésére főkomponens analízist alkalmaztak.



Pearson-féle lineáris korreláció-elemzés, regresszió-számítás

A statisztikai alkalmazások gyakori problémáját jelentik azok a vizsgálatok, melyek során azt elemezzük, hogy egy vagy több független változó milyen hatással van a függő változóra, milyen erős a kapcsolat közöttük, illetve hogyan írható le függvényyszerűen ez a reláció. A kapcsolatelemzésnek az első fajtája a korreláció-, az utóbbi a regressziószámítás.

A módszer alkalmas a növekedés mint függő változó és külön-külön az egyes havi környezeti paraméterek közti korreláció meghatározására. Rybníček és mtsai (2009) például Csehországban az Orlické-hegység 800 méteres tengerszint feletti magasságban élő lucfenyőinek növekedési adatait vetették így össze a havi meteorológiai komponensekkel.

A vizsgált cikkek között azonban kevés olyan található, amely a lineáris korreláció-elemzést önmagában alkalmazta, mert a cikkek általában tartalmaztak más elemzéseket is. Így például Savva és mtsai (2006) a tengerszint feletti magasság szerepét vizsgálták, illetve Gutiérrez és mtsai (2011) részletesen elemezték az évgyűrádatsorokat. Hasonló vizsgálatot végzett Maxime és Hendrik (2011).

Válaszfüggvény-elemzés

A válaszfüggvény-elemzés (RF) egy speciális többváltozós regressziós technika a havi meteorológiai paraméterekre alkalmazott PCA eredményeként előállított főkomponensek és a növekedési adatok között. Az RF gyakorlatilag az a regressziós egyenlet, amelyet a fenti paraméterekre alkalmazott többváltozós regresszió eredményeként kapunk.

Az RF-elemzés fő célja, hogy a lehető legzártabb módon írja le a környezeti paraméterek és a növekedés közti statisztikai kapcsolatokat, azaz megmutatja, hogy melyek azok a környezeti paraméterek, amelyek hatással vannak a növekedésre, továbbá meghatározza a feltárt kapcsolatok erősségét és irányát.

A módszer lényege a környezeti elemekre vonatkozó PCA alkalmazásában rejlik, ami egyrészt átláthatóbbá teszi az elemzést a független változók számának jelentős csökkentésével, másrészt a kapott főkomponensek növekedéssel való összevetése miatt alkalmas a több, illetve különböző típusú független változók együttes hatásainak elemzésére. Az eljárást Pärn (2003) alkalmazta cikkében. Más cikkek az RF-elemzés kissé módosított, bővített verzióit használták, hogy javítsák a módszer és az együtthatók megbízhatóságát (lásd: a bootstrap-korreláció és válaszfüggvény-elemzés).

Bootstrap-korreláció és válaszfüggvény-elemzés

A regressziós technikák problémája a tesztelhetőség, illetve az együtthatók szignifikanciájának meghatározása. Az alap bootstrap eljárás egy olyan módszer, amely párhuzamosan teszti a regressziós együtthatókat és az RF stabilitását. A módszer lényege, hogy az RF-elemzést sokszor megismételjük az eredeti halmaz különböző részhalmozain. Az ilyen módon javított korreláció- és RF-elemzés rendkívül széles körben használt eljárás a növekedés-klíma kapcsolatrendszer vizsgálatában (Lebourgeois és mtsai 2004 és 2005, Piovesan és mtsai 2005, Büntgen és mtsai 2006, Martín-Benito és mtsai 2008, Bogino és mtsai 2009), hiszen ötvözi a megbízhatóságot a hatékony elemzési módszerrel. A módszer alkalmas annak a meghatározására is, hogy a különböző típusú klímparaméterek közül melyiknek van erősebb hatása a növekedésre, és kijelöli a növekedés szempontjából releváns időintervallumokat is. Carrer és Urbinati (2001) a fenti két módszert a neurális hálókkal vetették össze.

Mozgó időintervallumok vizsgálata, evolúciós módszer

Az evolúciós technika minden egyes lépésben egy-egy évvel növeli a kiinduló adatsor hosszát. Az előre evolúció első lépésében a vizsgált intervallum kezdőpontja az időben legkorábbi adat, majd minden egyes lépésben időben előre haladva növeli a vizsgált adatsor hosszát. Hátra evolúció esetében a vizsgált intervallum kezdőpontja az időben legkésőbbi adat, majd minden egyes lépésben időben visszafelé haladva növeli a vizsgált adatsor hosszát. Mozgó intervallumok esetén rögzíteni kell a vizsgált intervallum hosszát, melynek kezdőpontja az időben legkorábbi adatpont, majd minden egyes lépésben időben egy-egy évvel előbbre ugrik az intervallummal. Mindhárom technika esetében minden egyes lépésre kiszámítjuk a korrelációs együtthatókat, így az eljárás végére korrelációs együtthatók sora áll rendelkezésre, melyek alkalmasak arra, hogy a vizsgált változók közti kapcsolatok hosszú távú időbeli változását vizsgáljuk. Az elemzés feltétele, hogy kellően hosszú adatsorok álljanak rendelkezésre.

Ezzel a módszerrel vizsgálták Büntgen és mtsai (2005), valamint Oberhuber és mtsai (2008) a növekedés és a klíma összefüggéseit a korábbi időszakokhoz képest.

Wilczyński és Podlaski (2007) vadgesztenyefák növekedési adataira korreláció- és RF-elemzést végeztek. A rendelkezésre álló adatsorok hossza (1932–2003) lehetővé tette mozgó intervallumok alkalmazását is, és a 70 éves intervallum három, egymást fedő részintervallumra való felosztásával vizsgálták, hogy a fák egyes életkoraiban mennyire különböznek a növekedési és klímaadatok kapcsolatai.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A környezeti tényezők (időjárási paraméterek) és a fák növekedése közötti összefüggések vizsgálata olyan önmagában is összetett feladat, amelynek nehézségét tovább fokozzák a hosszú idősorok, a fák állományi szintre vonatkozó növekedésének meghatározása, valamint az újabb paraméterek és indexek bevonása. Ezekhez a soktényezős vizsgálatokhoz komplex eszközök szükségesek. Az áttekintett cikkekben az értékelésekhez a szakterület jól bevált elemzési módszereit alkalmazták.

A felhasznált idősorok hossza alapján jellemzően két módszertani eset különböztethető meg. Rövidebb idősorok esetén rendszerint lineáris korreláció- és válaszfüggvény-elemzést, míg a hosszabbak esetében ezek bootstrap változatait, illetve mozgó intervallumokat és evolúciós technikát használtak.

A cikkekben ismertetett kutatásokban nem volt cél a különböző elemzési lehetőségek összehasonlítása az alkalmazhatóság és a pontosság szempontjából. Azonban a módszerek összevetésére és az értékelések megkönnyítésére létrehozható egy olyan általános informatikai keretrendszer, amely lehetővé teszi a különböző felbontású adatok integrálását, illetve tartalmazza a fentiekben ismertetett elemzési eszközöket. Ez a keretrendszer lehetőséget biztosíthat a módszerek fejlesztésére, valamint új módszerek alkalmazására is.

A vizsgálatokban a legtöbb esetben egyváltozós korrelációelemzést használtak. Indokoltnak tűnik, hogy az egyes változók (pl. időjárási paraméterek) együttes hatását is vizsgáljuk. A feladat megoldására a többváltozós lineáris korrelációelemzés és a parciális korreláció ad lehetőséget.

Több elemzés is alkalmazott különböző paraméterekből képzett időszaki adatokat. Az intervallumok lehatárolása jellemzően korábbi kutatási tapasztalatokon alapul. Úgy látjuk, hogy az informatikai eszköztár segítségével szisztematikus vizsgálatokra is lehetőség nyílna, tehát az eddigieknél lényegesen nagyobb számú kapcsolatot lehetne elemezni. Ez igaz az időszaki időjárási adatok képzésén és a késleltetett hatásokon alapuló vizsgálatokra egyaránt. Többváltozós vizsgálatoknál a szisztematikus elemzés különösen indokolt.

E cikk szerzőinek a továbblépés irányába tett kezdeti próbálkozásait egy elbírálás alatt lévő cikk ismerteti (Edelényi és mtsai 2011).



ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetőben már említett szempontok szerint áttekintett cikkekben alapvetően éves növekedési adat-sorokat vetnek össze jellemzően havi bontású csapadék és hőmérsékleti adatokkal. A növekedési adatok forrásai között meghatározó az évgyűrűelemzés, és csak kis részben származnak egyéb mérési módszerekből. Az éves adatok mellett néhány esetben az éven belüli változásokat is vizsgálták. Az évgyűrűelemzéseknél ez a korai és kései pászta szélességének meghatározását jelenti, míg az átmérő-, illetve kerületméréseknél a rendszeres, az automatizálás miatt olykor órás felbontású adatok az éven belüli változások vizsgálatát is lehetővé teszik.

A meteorológiai adatok többségét az országos meteorológiai mérőhálózatok állomásai mérték, és csak néhány esetben volt helyi, a mintaterületeken vagy közvetlen közelében végzett mérés. A vizsgálatok egy részében az országos mérőállomások adatait közvetlenül használták fel, más esetekben interpolált vagy modellekből számított adatokkal dolgoztak. A felhasznált adatok a forrásnak megfelelően szabad területi körülményekre vonatkoznak, tehát sem a termőhelyi, sem az állományviszonyokat nem veszik figyelembe. Kivételt ez alól azok a vizsgálatok jelentenek, amelyek a mintaterületi mérések miatt már eleve állományi csapadékkal dolgoztak, vagy amelyek vízháztartási modellek alkalmazásával ezeket a körülményeket is figyelembe vették.

A havi felbontású adatok alapján több esetben a meglévőkből további környezeti paramétereket is képeztek, amelyek lehetnek időszakai összevonások vagy egyedi indexek és más arányszámok is. Néhány esetben további meteorológiai (például hőösszeg) és/vagy más megfigyelési (például fenológiai) adatokat is bevontak az összefüggések elemzésébe. Több publikáció foglalkozott az időjárás paraméterek késleltetett hatásainak növekedésre gyakorolt hatásával úgy, hogy a növekedési adatokat általában az előző év vegetációs időszakának kezdetétől az adott év vegetációs időszakának végéig tartó időszak (14–18 hónap) környezeti paramétereivel vetették össze.

Összefoglalva megállapítható, hogy a cikkek szerzői egyrészt meghatározták azokat az időszakokat, melyek meteorológiai jellemzői összefüggésben vannak a növekedéssel, másrészt elemezték, hogy a vizsgált környezeti paraméterek közül melyiknek van nagyobb hatása. Sok esetben azt is kimutatták, hogy ezek a kapcsolatok hogyan változnak térben (több mintavételi hely esetén) és időben (hosszú adatsorok esetén), illetve több fafaj esetében elemezték a kapcsolatok függését a fafajtól is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Biondi, F. and Waikul, K. 2004: DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences* 30: 303–311.
- Bogino, S.; Nieto, M. J. F. and Bravo, F. 2009: Climate Effect on Radial Growth of *Pinus sylvestris* at Its Southern and Western Distribution Limits. *Silva Fennica* 43(4): 609–623.
- Bouriaud, O.; Leban, J.M.; Bert, D. and Deleuze, C. 2005: Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiology* 25: 651–660.
- Briffa, K. R.; Osborn, J. T.; Schweingruber, H. F.; Jones, D. P.; Shiyatov, G. S. and Vaganov, A. E. 2002: Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 1, local and regional climate signals. *The Holocene* 12 (6): 737–757.
- Büntgen, U.; Frank C. D.; Schmidhalter, M.; Neuwirth, B.; Seifert, M. and Esper, J. 2006: Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology. *Trees* 20: 99–110.
- Büntgen, U.; Frank, C. D.; Kaczka, J. R.; Verstege, A.; Zwijacz-Kozica, T. and Esper, J. 2007: Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiology* 27: 689–702.

- Carrer, M. and Urbinati, C. 2001: Assessing climate-growth relationships: a comparative study between linear and non-linear methods. *Dendrochronologia* 19 (1): 57–65.
- Čufar, K.; Prislán, P.; de Luis, M. and Gričar, K. 2008: Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees* 22: 749–758.
- Edelényi M.; Pödör Z.; Manninger M. és Jereb L. 2011: Transzformált idősorok elemzésének bemutatása erdészeti adatokon (kézirat)
- Feliksik, E. and Wilczyński, S. 2009: The effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria* 33: 49–57.
- Gutiérrez, E.; Campelo, F.; Camarero, J.J.; Ribas, M.; Muntán, E.; Nabais, C. and Freitas, H. 2011: Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees*, 25(4): 637–646.
- Lebourgeois, F.; Cousseau, G. and Ducos, Y. 2004: Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill. stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France). *Annals of Forest Science* 61: 1–12.
- Lebourgeois, F.; Bréda, N.; Ulrich, E. and Granier, A. 2005: Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees* 19: 385–401.
- Mäkinen, H.; Nöjd, P. and Mielikäinen, K. 2000: Climatic signal annual growth variation of Norway spruce (*Picea abies*) along a transect from central Finland to the Arctic timberline. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 769–777.
- Mäkinen, H.; Nöjd, P.; Kahle, H. P.; Neumann, U.; Tveite, B.; Mielikäinen, K.; Röhle, H. and Spiecker, H. 2002: Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management* 171: 243–259.
- Mäkinen, H.; Nöjd, P.; Kahle, H. P.; Neumann, U.; Tveite, B.; Mielikäinen, K.; Röhle, H. and Spiecker, H. 2003: Large-scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees* 17: 173–184.
- Manninger M. 2004: Erdei fák éves és korszaki növekedésmenete és kapcsolódása egyes ökológiai tényezőkhöz. In: Mátyás Cs., Vig P. (ed.): Erdő és Klíma IV., Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 151–162.
- Manninger M. 2008: A növekedés és a csapadék összefüggései az alföldi mérések alapján. In: Szulcsán G. (ed.) Kutatói nap, tudományos eredmények a gyakorlatban, Alföldi Erdőkért Egyesület kiadványa, Szeged, 50–53.
- Martín-Benito, D.; Cherubini, P.; del Río, M. and Canellas, I. 2008: Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees* 22: 363–373.
- Maxime, C. and Hendrik, D. 2011: Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees* 25: 265–276.
- Mátyás, Cs.; Berki, I.; Czúcz, B.; Gálos, B.; Móríc, N. and Rasztovits, E. 2010: Future of Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 6: 91–110
- Monty, A.; Lejeune, P. and Rondeux, J. 2008: Individual distance-independent girth increment model for Douglas-fir in southern Belgium. *Ecological modelling* 212: 472–479.
- Nagy L. 2009: Éghajlati alkalmazkodóképesség és válaszreakció előrejelzése erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) populációkon. PhD értekezés (NYME EMK)
- Novák, J.; Slodciák, M.; Kacálek, D. and Dusek, D. 2010: The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations. *Journal of Forest Science* 56 (10): 461–473.
- Oberhuber, W.; Kofler, W.; Pfeifer, K.; Seeber, A.; Gruber, A. and Wieser, G. 2008: Long-term changes in tree-ring-climate relationships at Mt. Patscherkofel (Tyrol, Austria) since the mid-1980s. *Trees* 22: 31–40.
- Pärm, H. 2003: Radial growth response of Scots pine to climate under dust pollution in Northeast Estonia. *Water, Air, and Soil Pollution* 144: 343–361.
- Pichler, P. and Oberhuber, W. 2007: Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *Forest Ecology and Management* 242: 688–699.
- Piovesan, G.; Biondi, F.; Bernabei, M.; Di Filippo, A. and Schirone, B. 2005: Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network. *Acta Oecologica* 27: 197–210.
- Rybniček, M.; Cermák, P.; Kolár, T.; Premyslovská, E. and Zid, T. 2009: Influence of temperatures and precipitation on radial increment of Orlické hory Mts. spruce stands at altitudes over 800 m a.s.l. *Journal of Forest Science* 55 (6): 257–263
- Savva, Y.; Oleksyn, J.; Reich B. P.; Tjoelker G. M.; Vaganov A. E. and Modrzynski, J. 2006: Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. *Trees* 20. Springer-Verlag, 735–746.



- Somogyi Z. 2008: Recent Trends of Tree Growth in Relation to Climate Change in Hungary. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 4: 17–28
- Szabados I. 2002: Az évgyűrűszélesség és egyes termőhelyi tényezők kapcsolata. PhD értekezés (NYME EMK)
- Szabados I. 2007: Időjárási fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. In: Mátyás Cs., Vig P. (ed.): Erdő és Klíma V., Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 297–306
- Szabados I. 2008: A csapadék hatása a cser évgyűrűméretére Erdészeti Kutatások 92: 121–128.
- Tuovinen, M. 2005: Response of tree-ring width and density of *Pinus sylvestris* to climate beyond the continuous northern forest line in Finland. *Dendrochronologia* 22: 83–91.
- van der Werf, G. W.; Sass-Klaassen, G. W. U. and Mohren, G. M. J. 2007: The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia* 25: 103–112.
- Wilczyński, S. and Podlaski, R. 2007: The effect of climate on radial growth of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in the Swietokrzyski National Park in central Poland. *Journal of Forest Research* 12: 24–33.

Érkezett: 2011. május 16.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.

A ZÖLD DUGLÁSZFENYŐ (*PSEUDOTSUGA MENZIESII* VAR. *VIRIDIS*) NÖVEKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA KÉT KÜLÖNBÖZŐ TERMŐHELYEN

Kondorné Szenkovits Mariann

Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

Két, termőhelyi vonatkozásban lényegesen különböző kísérleti területen hasonlítottuk össze 35 éves duglászfenyvesek, illetve 9 fajaj azonos korú állományainak faállomány-szerkezeti jellemzőit, illetve avartömegét. A két kísérleti területen részletes termőhely-feltárás is történt. Az eredmények alapján levonható az a következtetés, hogy a zöld duglászfenyő jól érzi magát a két különböző termőhelyen. Ebben a fiataalkorban jó növekedést mutat a fajaj-összehasonlító kísérletben található többi fajaj növekedéséhez viszonyítva is mindkét kísérleti területen.

Kulcsszavak: termőhely, faállomány-szerkezet, avartömeg, növekedés, *Pseudotsuga menziesii* var. *viridis*

GROWTH-ANALYSIS OF DOUGLAS FIR (*PSEUDOTSUGA MENZIESII* VAR. *VIRIDIS*) AT TWO DISSIMILAR SITES

Abstract

A 35 years old Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *viridis*) and other 9 common species stands were analysed on two experimental plots, which sites are significantly different in climate and soil conditions. Detailed climate analysis and site surveying were carried out on these experimental plots. The structure characteristics and the litter volume in stands were compared. The conclusion: this species feels very good at both dissimilar sites. This young Douglas fir shows a powerful growing also in comparison to the common species at the different sites.

Keywords: Site conditions, stand structure, litter volume, growth, *Pseudotsuga menziesii* var. *viridis*

BEVEZETÉS

A napjainkban sokat emlegetett klímaváltozás hazánkban is hatással lesz a fajaj- megválasztásra. A fajaj- megválasztás az egyik legfontosabb és döntő jelentőségű erdőművelési tevékenység, amely a termőhelyi adottságoknak és az erdészeti politikai irányelveknek megfelelő célállomány kiválasztására irányul. Az előrejelített klímaváltozás következtében a biodiverzitás, azaz a fajon belüli variabilitás, az élőlényegyüttesek változatossága, a fajok sokfélesége csökkenni fog. Így a jövőben nem ragaszkodhatunk kizárólag



az őshonos állományalkotó fajokhoz az olyan helyeken, ahol esetleg nincsenek meg termőhelyi feltételeik. Új fajokkal – többek között egzotákkal – azonban a veszteség pótolható, illetve csökkenthető. Az idegenhonos fajok között vannak már olyanok, amelyek a hazai ökológiai viszonyok között termesztethők, alkalmazkodtak az itteni viszonyokhoz, amelyek jól kiegészítik a hazai fajaj-választékot. Ilyen fajaj a zöld duglászfenyő is.

A zöld duglászfenyő, a *Pseudotsuga menziesii* var. *viridis* (Mirbel, 1825; Franco, 1950) Észak-Amerika nyugati hegységeiben honos (a Sziklás-hegységben nagyon változatos termőhelyi viszonyok között). Az ottani tengeri éghajlat jellemzője a magas páratartalom, hűvös nyár, enyhe tél. Európába 1827-ben telepítették be, először az atlanti éghajlatú országokba, később sikerrel ültették a mérsékelt klímájú középhegységekbe is.

Magyarországi betelepítését Bedő Albert javasolta 1878-ban. A hazai telepítések három jól elkülöníthető időszakra tehetőek: a tömeges ültetések kora 1897 és 1917 között; az 1935 és 1942 közötti évek; és az 1955-től napjainkig tartó időszak.

A fajaj termőhelyigényét vizsgálva kiderül, hogy az európai mérsékelt klímájú középhegységekbe is sikerrel ültették. Eddigi európai állományai azt bizonyítják, hogy a tápdús, szellős homokos vályog- vagy agyagos homoktalajokon is megtalálhatók, ha magas a levegő páratartalma, és legalább 350 mm a csapadék a tenyészidőszak alatt. Francia, német és szlovén tapasztalatok alapján sem a téli kemény fagyok, sem a késői fagyok számottevő kárt nem okoznak állományaiban. A nyári szárazságot is jól tűri, nagy az alkalmazkodóképessége.

Hazai viszonyaink között a bükkös, a gyertyános tölgyes és a kocsánytalan tölgyes/cseres klímában is jól növekszik. Szőnyi (1963) vizsgálatai szerint a barna erdőtalajokon fejlődik a legjobban, a levegős, jó vízelátású, tápdús talajokon adja a legnagyobb fatérfogatot. A 70 cm-en belüli mésztartalom, a nyers alapkőzet vagy a levegőtlen, kötött réteg közelsége miatt, valamint a túl nedves talajok esetén növekedése visszaesik.

Tápanyagigénye csekély, mészkerülő, a gyengén savanyú kémhatású (4–4,5 pH) talajokon érzi magát a legjobban. Üde, szivárgó vízű, vagy többletvízhatástól független, de jól szellőzött talajokat kedvel. Hazánkban csak kultúrállományai vannak, amelyek zöme a Sátor-hegységben, a Délnyugat-, ill. a Nyugat-Dunántúlon található.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatra a Nyugat-Dunántúl erdészeti tájcsoporthoz tartozó, Majer Antal által létesített fajaj-összehasonlító kísérleti területeken került sor.

Az egyik kísérleti terület az Ágfalva 6A erdőrészletben, a 41. Soproni-hegyvidék erdészeti tájban helyezkedik el, amely északi kitettségű, többé-kevésbé – átlagosan 15–20° – egyenletes lejtésű, tengerszint feletti magassága 317 m és 388 m között változó (földrajzi hely: É 47° 40' K 16° 30'). A kísérleti területen eredetileg 35 fajtát ültettek 40 x 40 m-es parcellákba, többségében 1,5 m x 1 m-es hálózatban, ezek közül 35 éves korra 19 fajaj ad értékelhető eredményt.

A másik kísérleti terület Nagylózs 5F erdőrészletben, a 45. Sopron-Vasi-síkság erdészeti tájban létesült, amely sík terület, tengerszint feletti magassága 140 m (földrajzi hely: É 47° 40' K 16° 30'). Ezen a kísérleti területen 17 fajtát ültettek, 50 x 50m-es parcellákba, zömében 1,5 m x 1 m-es hálózatban, amelyek közül 35 éves korra 13 fajaj értékelhető.

Mindkét kísérleti területen létesítettek vadkárrelhárító kerítést, amely azonban hamar tönkrement, így sem a falopás, sem a vad kártétele ellen nem nyújtott védelmet.

A kísérleti területeken részletes éghajlat-elemzésre és termőhely-feltárássra került sor. Elkészült mindkét kísérleti területre a vízforgalmi időszakok csapadék- és hőmérséklet megoszlása. A területeken két-két talajszelvényt tártak fel részletes laboratóriumi talajvizsgálattal, a nagylózsai területen a kavicsréteg mélységi modellezésével kiegészítve.

A területeken négyszer volt faállomány-felvételezés, a faállományok 10, 17, 23 és 35 éves korában. Az adatokat a biometria módszereivel értékelték ki. Az állományok 35 éves korában a talajon lévő avartömeg mennyiségének mérésére és értékelésére is sor került a Biosol útmutató alapján.

A két kísérleti területen 10 olyan fafaj van, amely mindkét helyen megtalálható, ezek a lucfenyő (LF), erdefenyő (EF), feketefenyő (FF), zöld duglászfenyő (ZDF), vörös tölgy (VT), kocsánytalan tölgy (KTT), kocsányos tölgy (KST), kislevelű hárs (KH), nagylevelű hárs (NH), és az ezüsthárs (EH). A dolgozat ezeknek a fafajoknak fontosabb faállomány-szerkezeti jellemzőit is bemutatja, amelyeket össze lehet hasonlítani a zöld duglászfenyő hasonló adataival.

Az állományokat az ápolásokon kívül egyszer tisztították 16 éves korukban, majd egyszeri törzskiválasztó gyérítésre került sor 30 éves korukban.

EREDMÉNYEK

Termőhelyi viszonyok

Klíma

A kísérleti területek átlagos csapadék- és hőmérsékleti adatainak értékelése a vízforgalmi időszakoknak megfelelően, a 35 évre vonatkozóan (1. táblázat)

1. táblázat: A kísérleti területekre jellemző átlagos csapadék- és hőmérséklet adatok a vízforgalmi időszakok alapján
Table 1: The precipitation and temperature datas of water-turnover periods on the experimental plots

időszak év	tárolási XI–IV.	főfelhasználási V–VII.	fenntartási VIII–X.	éves
időszak csapadék átlaga (mm)				
Ágfalva 0–35	274	259	203	736
Nagylózs 0–35	222	218	176	616
időszak hőmérséklet átlaga (°C)				
Ágfalva 0–35	1,8	15,8	13,4	8,2
Nagylózs 0–35	3,4	17,8	15,2	9,8

Az ágfalvi területen a 35 év átlagában az évi átlagos csapadékmennyiség 736 mm. A fő felhasználási időszak csapadékmennyiségének éves átlaga 259 mm, a csapadékeloszlás júniusi-júliusi csapadékmaximumot mutat. Az évi átlaghőmérséklet 8,2 °C a 35 év átlagára számolva, a főfelhasználási időszak évi átlaghőmérséklete 15,8 °C.

A nagylózsi területen a 35 év átlagában az évi átlagos csapadék mennyisége 616 mm, amely 120 mm-rel kevesebb, mint az ágfalvi terület éves csapadékmennyisége. A fő felhasználási időszak éves átlaga 218 mm, ez 41 mm-rel kevesebb az ágfalvi területen hullott csapadéknál. Az évi átlaghőmérséklet 9,8 °C, amely 1,6 °C-kal magasabb, mint az ágfalvi területen, a fő felhasználási időszak évi átlaghőmérséklete 17,8 °C, amely 2,0 °C-kal magasabb az ágfalvi területen mért évi hőmérsékleti átlagnál.

Talajviszonyok

Az ágfalvi területen a talajvizsgálatok alapján a terület nagy részén típusos agyagbemosódásos barna erdőtalaj van, de helyenként előfordul ennek altípusa: a podzolos agyagbemosódásos barna erdőtalaj is.

A vályogtalaj vízgazdálkodási tulajdonsága kedvező, jó a vízvezető és közepes a víztároló képessége. A területen – lejtős jellegénél fogva – bizonyos szivárgóvíz-hatással is lehet számolni.

A nagylózi területen található homokos vályogtalaj vízgazdálkodási tulajdonságai kedvezőek, jó a vízvezető és közepes a víztároló képessége. Ellenben a felszínhez aránylag közel található kavicsos rétegben kevés a kolloidok mennyisége, amely vagy túl tömött, levegőtlen, vagy pedig laza, víztartó képességgel alig rendelkezik. A helyenként 35–45 cm-es sekély termőrétteg – a parcellák összehasonlító növekedési adatai alapján – egyelőre nem befolyásolja a fajok növekedését. A kialakult talajok az ún. cseri talajok, amelyek jellemzően ilyen kavicspúpokon alakultak ki. Altípusa rozsdabarna cseri talaj.

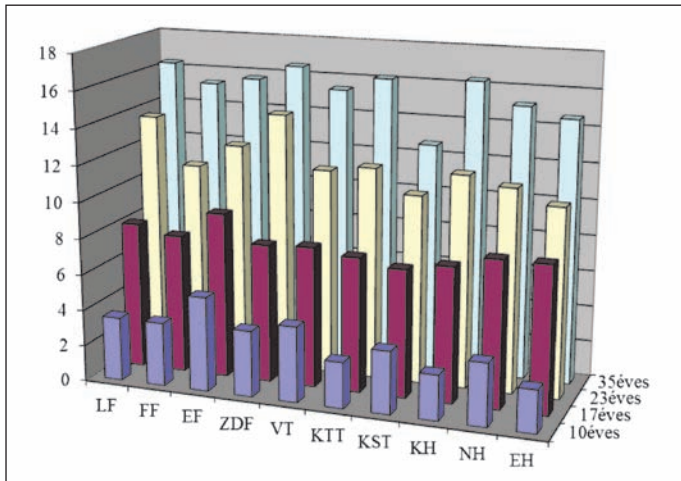
A kísérleti területek termőhelytípus változatait a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A kísérleti területek termőhely-típus változata
Table 2: The variety of the site types of the experimental plots

Termőhelyi összetevő	Ágfalva	Nagylózs
Klíma	gyertyános tölgyes	kocsánytalan tölgyes/cseres
Hidrológiai viszonyok	többletvízhatástól független	többletvízhatástól független
Genetikai talajtípus	agyagbemosódásos barna erdőtalaj	rozsdabarna cseri talaj
Termőrétteg vastagsága	középmély	sekély
Fizikai talajféleség	vályog	vályog
Vízgazdálkodási fok	üde	félszáraz

Főbb faállomány-szerkezeti jellemzők

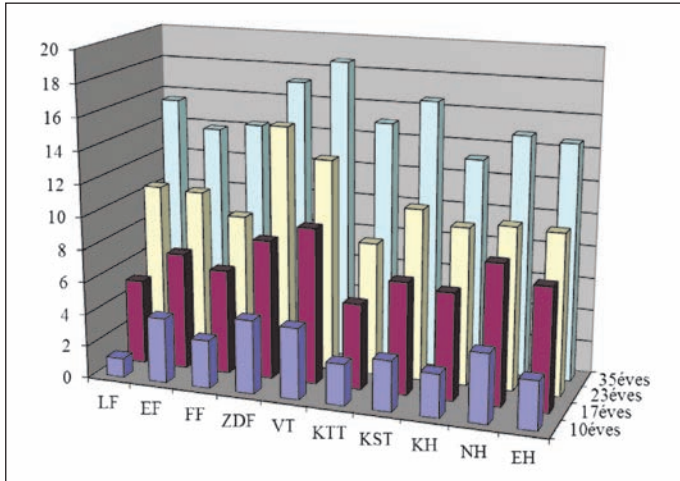
Famagasság



1. ábra: 10 fajfa átlagmagasságának (m) változása az ágfalvi kísérleti területen
Figure 1: The changes of tree-height in 10 different species on the Ágfalva experimental plot

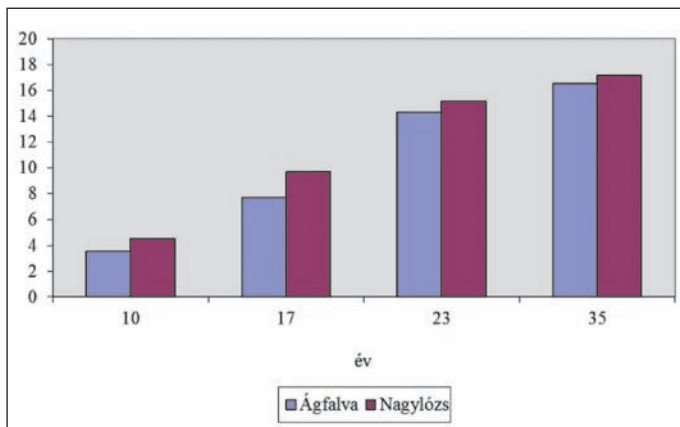
Az ágfalvi kísérleti területen az első 10–17 évben a legjobb magassági növekedést – pionír volta miatt – az erdeifenyő mutatja. Ehhez képest, különösen 10 éves korban, a területen őshonos kocsánytalan tölgy jelentősen elmarad a többi fajfa magassági növekedésétől. 23 és 35 éves korban a zöld duglászfenyő növekedése

a legerőteljesebb, de 35 éves korra erősen feljövőben van már a kocsánytalan tölgy. Erőteljes magassági növekedést mutat még, a területen szintén őshonos, kislevelű hárs is. Ez az elegyfafaj fiatal korban versenytársa a fő állományalkotó fafajoknak, így a növekedésüket figyelembevételével határozható meg e korban az erdőnevelési beavatkozások helyes időpontja és mértéke.



2. ábra: 10 fajjal magasságának (m) változása a nagylózi kísérleti területen
 Figure 2: The changes of tree-height in 10 different species on the Nagylózi experimental plot

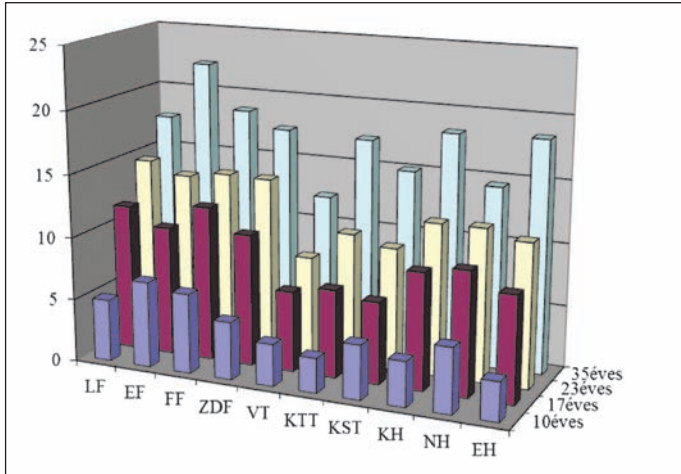
A nagylózi kísérleti területen fiatal korban a pionír erdeifenyő, a gyorsan növő, de idegenhonos vörös tölgy és a nagylevelű hárs mutatja a legjobb magassági növekedést. A zöld duglászfenyő magassági növekedése minden korban kedvező, bár 35 éves korban kisebb megtorpanást mutat. Ennek több oka is lehet, akár összefüggésben állhat a területen a felszínhez aránylag közel elhelyezkedő kavicsréteggel is, ami további vizsgálatot igényel. A területen őshonos kocsányos tölgy erőteljesebb magassági növekedése csak 30 éves kor után kezdődik, amely ekkor már látványos. A kocsányos tölgyhöz hasonlóan ebben a korban indul meg a kocsánytalan tölgy magassági növekedése is.



3. ábra: A zöld duglászfenyő átlagmagasságának (m) változása a két kísérleti területen
 Figure 3: The changes of tree-height of Douglas fir on the two experimental plots

A zöld duglászfenyő magassági növekedésének összehasonlításánál látható, hogy kis különbséggel ugyan, de a nagylózsi állomány minden korban magasabb. Az erőteljes fiatalkori magassági növekedés 23–24 éves kor után kissé megtorpan mindkét területen. 35 éves korban, nem szignifikáns különbséggel ugyan, de továbbra is magasabb a nagylózsi állomány.

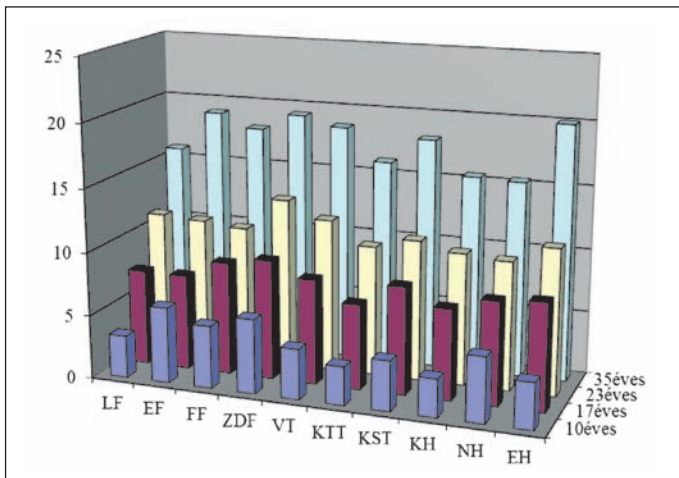
Mellmagassági átmérő



4. ábra: 10 faj mellmagassági átmérő (cm) változása az ágfalvi kísérleti területen

Figure 4: The changes of diameter-growth in 10 different species on the Ágfalva experimental plot

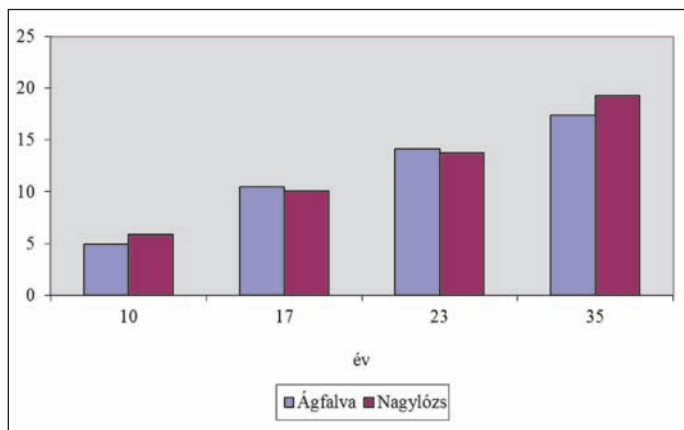
Az ágfalvi kísérleti területen az első években erőteljes vastagsági növekedést mutatnak a fenyők és az elegyfajok. A zöld duglászfenyő egyenletesen vastagszik, míg a területen őshonos kocsánytalan tölgy erőteljesebb mellmagassági növekedése 35 éves kor körül indul meg. Ebben a korban jelentős még a kislevelű hárs és az ezüst hárs mellmagassági átmérő értéke is.



5. ábra: 10 faj mellmagassági átmérő (cm) változása a nagylózsi kísérleti területen

Figure 5: The changes of diameter-growth in 10 different species on the Nagylózsi experimental plot

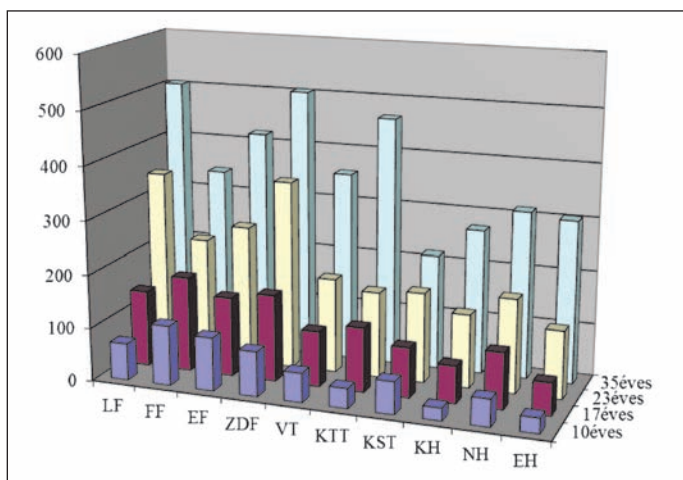
A nagylózi kísérleti területen fiatal korban a fenyők, különösen a pionír erdeifenyő és a zöld duglászfenő mutatja a legjobb vastagsági növekedést, amely növekedési ütem a későbbi korokban is megmarad. A területen őshonos kocsányos tölgy fiatal korban közepes méretű mellmagassági átmérővel rendelkezik a többi fafajhoz képest, majd 30–35 éves korban erőteljes vastagodásnak indul. Hasonló mellmagassági átmérő növekedést mutat az idegenhonos vörös tölgy is.



6. ábra: A zöld duglászfenő mellmagassági átmérő (cm) változása a két kísérleti területen
 Figure 6: The changes of diameter-growth of Douglas fir on the two experimental plots

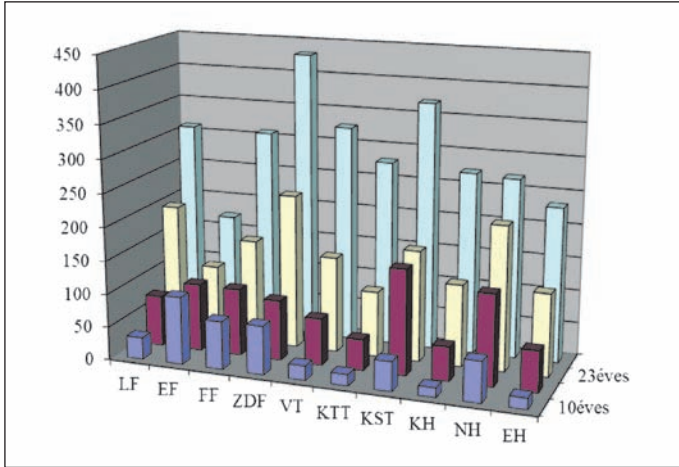
A zöld duglászfenő mellmagassági átmérő növekedése váltakozóan alakul a különböző korokban a két termőhelyen. 10 és 35 éves korban a nagylózi területen, 17 és 23 éves korban az ágfalvi területen vastagabb az állomány. A különbségek csekélyek, csak 35 éves korban van nagyobb eltérés a nagylózi területen található állomány javára.

Fatérfogat



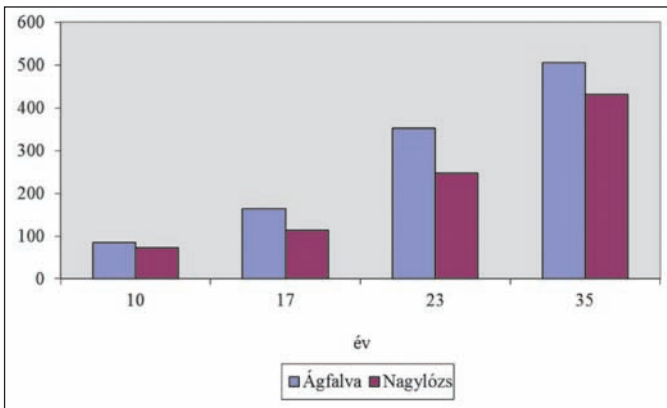
7. ábra: 10 faj fatérfogat-változása (m³) az ágfalvi kísérleti területen
 Figure 7: The changes of volume in 10 different species on the Ágfalva experimental plot

Fiatalkorban a fatérfogat csak tájékoztató jellegű lehet, főleg 10 éves korban, hiszen ennek értékét jelentősen befolyásolja a hektáronkénti törzsszám. Az ágfalvi kísérleti területen a fenyők fatérfogata mindig nagyobb ebben a fiatal korban, aminek oka a fiatalkori erőteljesebb vastagsági és magassági növekedés. A zöld duglászfenyő a fenyők között is jelentős értéket képvisel. 35 éves korra azonban már látványos a területen őshonos kocsánytalan tölgy fatérfogat-emelkedése is. Ez előre vetíti, hogy őshonos volta és a számára kedvező termőhelyi viszonyok miatt később eléri és túl is szárnyalja majd a fenyőket.



8. ábra: 10 faj fatérfogat-változása (m³) a nagylózszi kísérleti területen
Figure 8: The changes of volume in 10 different species on the Nagylózs experimental plot

A nagylózszi kísérleti területen vegyes képet mutat a fatérfogat alakulása. Fiatalkorban a fenyők – az erdei fenyőt leszámítva, amely jelentős hótörést szenvedett –, valamint a kocsányos tölgy és a nagylevelű hárs adják a legnagyobb fatérfogatot. Egyenletes a zöld duglászfenyő fatérfogat-emelkedése az egymást követő korokban, különösen jelentős 35 éves kori fatérfogat értéke a többi faj fatérfogatához viszonyítva. Egyenletes a vörös tölgy fatérfogat-növekedése is, de a leglátványosabb eredményt a kocsányos tölgy produkálja. 35 éves korra az előző korszak fatérfogati értékének több mint kétszeresét éri el, mutatva ezzel őshonosságát a területen, a számára megfelelő termőhelyet.



9. ábra: A zöld duglászfenyő fatérfogat-változása (m³) a két kísérleti területen
Figure 9: The changes of volume of Douglas fir on the two experimental plots

Az ágfalvi terület állományainak fatérfogata minden korban magasabb a nagylózsi állományok fatérfogatánál. Ez a magasabb érték részben a magasabb törzsszám következménye. A vizsgált korokban ugyanis a fajok többségénél az ágfalvi kísérleti területen magasabb a törzsszám, és ez fiatal korban jelentős hatással van a fatérfogatra.

A faállomány-szerkezeti adatokat vizsgálva elmondható, hogy a zöld duglászfenyő mind a gyertyános-tölgyes klímájú, többletvízhatástól független, agyagbemosódásos barna erdőtalajú, középmély termőrétegű, vályog fizikai talajféleségű, üde vízgazdálkodási fokú termőhelytípus változatú, mind a kocsánytalan tölgyes/cseres klímájú, többletvízhatástól független, podzolos cseri talajú, sekély termőrétegű, vályog fizikai talajféleségű, félszáraz vízgazdálkodási fokú termőhelytípus változatú területen jól növekszik, kedvező faállomány-szerkezetet ad, összehasonlítva a kísérleti területeken található 9 egyéb fajfajú állományok fatermési adataival. 35 éves korban a zöld duglászfenyő állománya az ágfalvi kísérleti területen 17,4 cm mellmagassági átmérővel, 16,8 m famagassággal és 504 m³ hektárra vonatkoztatott fatérfogattal rendelkezik, míg a nagylózsi területen az átlagos mellmagassági átmérő 19,5 cm, az átlagos famagasság 17,1 m, és az átlagos fatérfogat 472 m³ hektáronként.

Ugyanakkor 35 éves kor körül már szembevető a klasszikus hazai fajok, a kocsánytalan tölgy (Ágfalva) és a kocsányos tölgy (Nagylózs) kiemelkedése a fajok közül, mutatva ezzel a fajok közötti állományalkotó jelentőségüket.

Talajon mért avartömeg

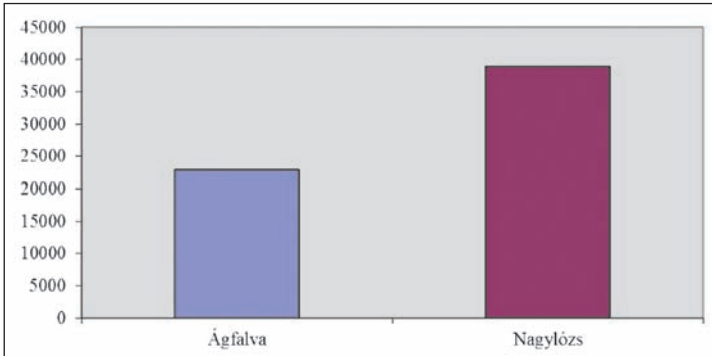
3. táblázat: 10 fajfaj talajon lévő avartömeg-mennyisége (kg/ha) 35 éves korban
Table 3: The litter volume on the soil in 10 different species in age 35 years old

Fajfaj	Ágfalva	Nagylózs
	kg/ha	
LF	46 269	61 940
FF	29 902	87 611
ZDF	22 941	39 003
VT	11 004	9 109
KTT	10 554	19 277
KST	6 178	20 714
KH	3 914	7 329
NH	3 948	2 964
EH	4 396	5 130

Az avarvizsgálatok igazolták, hogy a fenyők talajon lévő avarmennyisége többszöröse a lombos fajok avarmennyiségének. A fenyők közül mindkét helyen a zöld duglászfenyő, a lombos fajok közül a hársak adják a legkevesebb talajon levő avartömeget.

Az avar bomlásában fontos szerepet játszik többek között a nedvesség, üde termőhelyen ugyanis gyorsabb a bomlás, mint száraz termőhelyen. A klíma elemzéséből látható, hogy a csapadék- és hőmérsékletviszonyok az ágfalvi területen lényegesen kedvezőbbek. A nagylózsi klíma nem olyan humid, mint az ágfalvi, és ez is hozzájárulhat ahhoz, hogy a gyengébb termőhelyű nagylózsi kísérleti területen nagyobb a talajon lévő avartömeg mennyisége. Feltehetőleg levegősebb avartakaró alakul ki az ágfalvi kísérleti területen, mint a nagylózsi területen, és ez kedvezőbb életfeltételeket biztosít az avarbontó mikroorganizmusok számára.

A talajfauna két legnagyobb csoportja, az ugróvillások és a páncélos atkák ugyanis fontos szerepet játszanak a mikroorganizmusok populációinak szabályozásában, valamint a humifikáció elősegítésében. László (2002) vizsgálatai szerint a cseri talajokban, mint amilyen a nagylózi kísérleti területen is van, az ugróvillások és a páncélos atkák rendkívül kis számban található meg. Ennek következménye, hogy lassú a biológiai lebontás, korlátozott a mineralizáció, ezért nehézségekbe ütközik a rendelkezésre álló tápanyagok feltáródása. Ez lehet az oka annak, hogy a szerves anyag lebontása lassúbb a nagylózi kísérleti területen.



10. ábra: A zöld duglászfenyő ávartömeg-mennyisége (kg/ha) a két kísérleti területen
 Figure 10: The litter volume of Douglas fir on the two experimental plots

35 éves korban az ágfalvi kísérleti területen 22941 kg/ha a talajon lévő ávartömeg mennyisége, a nagylózi kísérleti területen 39003 kg/ha, azaz ez utóbbi területen jelentős, több mint másfélszeres a talajon lévő ávartömeg. A szignifikancia vizsgálat azt mutatja, hogy 99,2%-os valószínűséggel különbözik egymástól a két termőhely.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt évtizedekben számos hazai kutató (Bánó 1963, Szőnyi 1963, Harkai 1983, Bondor 1987, Gergác 1998 és sokan mások) foglalkozott a zöld duglászfenyő növekedésének, fatermésének, faanyagának vizsgálatával. Az ERTI egykori kísérleti területeinek értékelései (Páll 2000) és a már időskorú háromhuta állományok (Felházi 2002) faállomány-szerkezeti adatai azt támasztják alá, hogy ez a fafaj természetes előfordulási helyéhez hasonlóan nálunk is széles skálán tenyészhet. Páll (2000) szavaival élve „súlyos mulasztás lenne a ZDF kitérő tulajdonságait a neki megfelelő termőhelyi viszonyok között nem hasznosítani.” Azonban figyelembe kell venni, és évtizedekkel ezelőtt bebizonyosodott már, hogy a hazai magas vadállomány mellett a termőhelyen nem őshonos fafajok termesztése nem jöhet számításba megfelelő védelem nélkül. Fiatalkorban az ágfalvi és nagylózi kísérleti területeken levő egzóták is sokat szenvedtek a vad károsításától a tönkrement kerítés miatt. A kéreg lerágása, a kéreghántás, agancsdörzsölés nemcsak a fiatalos, de még a rudas korban is előfordul. Ezért a szálankénti és a kiscsoportos elegyítés nem védhető meg egyedi védelemmel. Mindenképpen a csoportos (30–40 m átmérőjű) elegyítés ajánlott, így könnyebben kezelhető és védhető meg az állomány a vad károsításától, és ez ajánlható a zöld duglászfenyő esetében is.

Az erdő életében 35 év nagyon rövid idő, így a vizsgálati eredményekből messzemenő következtetések még nem vonhatók le, de a gyakorlat számára néhány eredmény már bemutatható.

A két különböző termőhelyű kísérleti területre ültetett zöldduglászfenyő-állományok vizsgálatából megállapítható, hogy ez a fafaj jó növekedést mutat, legalábbis fiatalkorban, mind a két kísérleti területen, azaz a két, egymástól lényegesen eltérő termőhelyen a többi fafaj növekedéséhez viszonyítva is. Az adatok azt támasztják

alá, hogy természetes előfordulási helyéhez hasonlóan nálunk is széles termőhelyi skálán tenyészhet. Az előrevetített klímaváltozást figyelembe véve – az ehhez hasonló termőhelyeken – akár a lucfenő alternatívája is lehet. Ahhoz azonban, hogy nálunk az egzótatelepítések, így a zöldduglászfenő-állományok is beváltsák a hozzájuk fűzött reményeket, és valóban be tudjanak illeszkedni a hazai őshonos fajok közé – természetesen a megfelelő korlátok között –, jól kell ismerni e fajok erdőművelési tulajdonságait. Így többek között a fajok származási helyét, az eredeti őshonos előfordulás klimatikus és geológiai viszonyait, az illető faj erdőművelési tulajdonságait, azaz termőhelyigényét, társulásképeségét, vitalitását, szaporodási képességét, növénytársulását, felújítási lehetőségeit, biotikus és abiotikus károsítókkal szembeni érzékenységét, esetleges betegségeit.

A vizsgált kísérleti területeken nem ismert az ültetéshez használt zöldduglászfenő- szaporítóanyag származása, csak annyit jegyeztek fel, hogy Zalából érkezett az ültetési anyag.

Az elmúlt évtizedek alatt hazánkban valószínűleg már csak a jól alkalmazkodott genotípusok maradtak fenn a végbement természetes szelekció következtében. Ahhoz azonban, hogy arra a kérdésre, hogy hazánkban melyik származási körzet populációi a legalkalmasabbak erdősítésre – akár a jelen esetben vizsgált zöld duglászfenő, de egyéb egzóták esetében is –, a származási kísérletek eredményei adhatják meg pontosabban a választ.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bánó I. 1963: A duglászfenő-állományok erdőművelése hazai tapasztalatok alapján. MTA Agrártudományok Osztályának Közleményei 22 (1–2) 93–104.
- Bondor A. 1987: A fenyők termesztése és hasznosítása. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Felházi L. 2002: A háromhutai Vadaskert nevezetű erdőtömb, illetve a községhatárban található egzóta fenyők faállományainak felmérése, értékelése, ezen fajok magyarországi termesztésének lehetőségei. Diplomatervezés (NYME EMK), Sopron
- Gergács J. 1998: Egzóta fenyők honosításának tapasztalatai. Erdészeti Kutatások 88: 237–246.
- Harkai L. 1983: A Zalaerdői duglászfenő-származási kísérlet faterméstani értékelése. Erdészeti Kutatások 75: 19–27.
- Járó Z. 1989: Az erdő vízforgalma. Az Erdő XXXVIII: 352–355.
- Kolozsár J. 2004: Erdőismeret. Egyetemi jegyzet, NYME EMK, Sopron
- Kondorné Sz. M. és Horváth T. 2007a: A Soproni-hegységben (Ágfalva) található fajösszehasonlító kísérlet tapasztalatai. Erdészeti Lapok CXLII (2): 38–40.
- Kondorné Sz. M. 1992: Vizsgálati eredmények fajösszehasonlító kísérletben. Erdészeti Lapok CXXVII. (11): 331–333.
- Kondorné Sz. M. 1993: A nagylőzsi fajösszehasonlító kísérlet tapasztalatai. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények 38–39: 43–58.
- Kondorné Sz. M. 1994: Az ágfalvi (Soproni-hegység) fajösszehasonlító kísérlet eredményei. Erdészeti Lapok CXXIX (5): 145–147.
- Kondorné Sz. M. 2007b: A 35 éves nagylőzsi (Soproni-dombvidék) fajösszehasonlító kísérlet tapasztalatai. Erdészeti Lapok CXLII. (2): 40–42.
- Kondorné Sz. M. 2007c: Fajösszehasonlító kísérletek értékelése. PhD értekezés (NYME EMK), Sopron
- Majer A. 1980: Vizsgálati eredmények a fajmegválasztás köréből. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények, 1. szám, 55–64.
- Országos Meteorológiai Szolgálat 1951–1987: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Központi Meteorológiai Intézet Évkönyvek, Budapest.
- Országos Meteorológiai Szolgálat 1988–2005: Időjárás Havi-jelentések, Budapest.
- Páll M. 2000: A zöldduglászfenő erdőgazdasági jelentősége Zalában. Erdészeti Lapok CXXXV(1): 1–4.
- Sváb J. 1973: Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Szőnyi L. 1963: A hazai duglászfenő állományok termőhelyi viszonyai. MTA Agrártudományok Osztályának Közleményei XXII (1–2): 79–91.

Érkezett: 2011. május 13.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Torony a tölgyesben

Megfigyelő torony a mátrai kocsánytalan tölgyes ökológiai bázis területén. A 26 m magas torony tetején meteorológiai mérőműszerek működnek. A felső kép koratavasszal, lombfakadás előtt, az alsó pedig lombfakadás idején készült.

Fotó: Manninger Miklós

DUNÁNTÚLI *LEUCE* NYÁR POPULÁCIÓK GENETIKAI VIZSGÁLATA RAPD ÉS cpDNS MARKEREKKEL

Benke Attila, Cseke Klára és Borovics Attila

Erdészeti Tudományos Intézet

Kivonat

A kutatás a fehér nyár és a rezgő nyár fontosabb dunántúli populációinak populációgenetikai vizsgálatát célozta. A cél e populációk genetikai változatosságának felmérése, valamint a teljes molekuláris genetikai változatosság megoszlásának vizsgálata volt. A populációgenetikai vizsgálatokban RAPD és cpDNS markerek alkalmazására került sor. A RAPD vizsgálatokba a teljes gyűjtési területet lefedő mintasorból 267, a PCR-RFLP vizsgálatba 300 egyedet vontunk be. Két, nagyfokú polimorfizmust mutató RAPD primerrel végzett vizsgálatok során a Belső-somogyi állományok mutatták mindkét alfaj esetében a legmagasabb diverzitás értékeket, a Nei-féle genetikai távolság alapján szerkesztett dendrogram ugyanakkor nem mutatott szoros kapcsolatot az egyes populációk genetikai és földrajzi távolsága között. A 4 cpDNS primerpárral végzett PCR-RFLP vizsgálat alkalmával a legmagasabb diverzitás értékeket a fehér nyárnál a Kis-balatoni, a rezgő nyár populációk közül pedig a villányi populáció mutatta. A Nei-féle genetikai távolságok a cpDNS markerek esetében sem mutattak szoros kapcsolatot a populációk földrajzi távolságával. A molekuláris genetikai változatosság mindkét markerezési eljárás tekintetében a populációkon belüli variációból ered.

Kulcsszavak: Leuce nyárok, molekuláris genetikai változatosság, Shannon-index, RAPD, cpDNS, Nei-féle genetikai távolság

POPULATION GENETIC INVENTORY OF TRANSDANUBIAN *LEUCE* POPLARS APPLYING RAPD AND cpDNA MARKERS

Abstract

A population genetic study of native white poplar and european trembling aspen stands was carried out with exhaustive sampling throughout the Transdanubian region. The main goal was to make a genetic inventory in different regions and to estimate the genetic diversity within and between the analysed subpopulations. RAPD and chloroplast DNA markers were used. The RAPD and PCR-RFLP analyses were performed on 267 and 300 samples, respectively. Based on two highly polymorphic RAPD primers the subpopulation from the Belső-Somogy region showed the highest diversity in case of both species. By the results of the applied four cpDNA markers the highest diversity level was found in the Kis-Balaton subpopulation of white poplars, and in the Villány subpopulation of trembling aspens. No correlation was found between the geographic and genetic (Nei's index) distances of the populations analysed by both RAPD and cpDNA markers, respectively. The genetic variation of both genetic markers was basically derived due to the genetic diversity of populations.

Keywords: Leuce poplars, molecular genetic variability, Shannon-index, RAPD, cpDNA, Nei's genetic distance

BEVEZETÉS

A *Leuce* szekcióba tartozó fehér nyár (*Populus alba* L.) és rezgő nyár (*Populus tremula* L.) fontos kiinduló fajai az erdészeti növénynemesítésnek. Bár jelenleg a szekciót csak két fajta (*Populus alba* L. cv. Villafranca, *Populus alba* L. x *Populus grandidentata* Michx. cv. Favorit), valamint két fajtajelölt (*Populus alba* L. cv. Homoki, *Populus alba* L. x *Populus grandidentata* Michx. cv. Sudarlós) képviseli a hazai erdészeti nyár fajtaszortimentben, természetes hibridjük, a szürke nyár (*Populus x canescens* Sm.) erdészeti jelentősége kimagasló. Az Erdészeti Tudományos Intézet kutatói már a múlt század közepén felismerték a szürke nyárban rejlő gazdasági lehetőségeket, nemesítésbe vonásának fontosságát, illetve ezzel szoros összefüggésben a két alapfaj genetikai változatosságának megőrzésének jelentőségét (Koltay és Kopecky 1954).

A genetikai változatosság megőrzéséhez nélkülözhetetlen annak legalább megközelítő szintű ismerete. A szekcióba tartozó fajok genetikai változatosságának felmérésében külföldön és hazánkban is folytak kutatások (a következőkben néhány olyan kutatás ismertetésére kerül sor, amelyeket a saját kutatómunkában is alkalmazott módszerekkel végeztek). Sánchez és mtsai (2000) Spanyolország területén található, különböző földrajzi eredetű rezgő nyár populációk genetikai azonosítását végezték RAPD markerekkel. Vizsgálataik egyrészt nagyfokú azonosságot mutattak ki az egyes populációkon belüli egyedmintázatokban, ami nagyarányú sarjeredetre utal a gyűjtési területeken, másrészt megállapították, hogy az észak-spanyolországi Huesca tartomány állományai rendelkeznek a legnagyobb genetikai variabilitással. Sabatti és mtsai (2001) Olaszország területén vizsgáltak fehér nyár populációkat szintén RAPD markerekkel. Az Appennineket, valamint Dél- és Nyugat-Olaszországot érintő, összesen 13 élőhelyről származó mintasor elemzésével magas korrelációt mutattak ki az egyes populációk földrajzi elhelyezkedése és genetikai mintázata között. Ez felhívja a figyelmet az erdősítésekben a helyi populációkból származó szaporítóanyag felhasználásának fontosságára.

A mi kutatómunkánk célkitűzéseit – módszertanában és a vizsgált növényanyag földrajzi elhelyezkedésében is – leginkább megközelítő munka Lexer és mtsai (2005, 2007) nevéhez fűződik, akik a fehér nyár és a rezgő nyár közötti természetes introgresszió mértékét és irányát vizsgálták a Duna völgyében található természetes populációkban, SSR és kloroplaszt markerek alkalmazásával. Vizsgálataikból kiderült, hogy a természetes hibridizációs zónában fellelhető szürke nyár egyedek genetikai mintázata sokkal közelebb áll a fehér nyár egyedek képezte csoport mintázatához. Továbbá a nyárak esetében anyai úton öröklődő kloroplaszt DNS (cpDNS) elemzésével kimutatták, hogy túlnyomórészt egyirányú introgresszió zajlik a fehér nyár és a rezgő nyár között, és a párosodási rendszerben jellemzően a rezgő nyár a pollenadó faj. A kialakult – morfológiailag és genetikailag is igen diverz – hibrid populáció fennmaradását, a szerzők véleménye szerint, a folyó menti élőhelyek változatossága, mozaikossága is elősegíti.

Ugyancsak Lexer és mtsai (2010) 93 molekuláris genetikai marker felhasználásával 3 folyó (Duna, Ticino, Tisza) menti *Leuce* nyár hibridizációs zóna vizsgálata során többek között megállapították, hogy a fehér nyár és a rezgő nyár között fennálló reprodukív izoláció jóval nagyobb, mint azt korábban feltételezték, ami vélhetőleg virágzásbiológiai okokból fakadó egyféle válogató párosodási rendszernek, valamint posztzigotikus gátlásnak köszönhető.

Hazánkban Bartha Dénes és Bordács Sándor végzett úttörő jellegű munkát (Bartha és Bordács 1990) a szekcióba tartozó fehér nyár genetikai változatosságának felmérésében. Izoenzim (észteráz és peroxidáz) vizsgálatokkal hat vizsgált génhely (lokusz) tekintetében magas heterozigóciát állapítottak meg 5 természetes eredetű fehér nyár populáción belül. A kutatómunka során célunk volt ennek a kutatásnak a kibővítése populációk és vizsgálati módszerek terén egyaránt.

Bartha (1999) behatóan vizsgálta a szürke nyár létrejöttében szerepet játszó hibridizációs körülményeket. 64 autochton populáció vizsgálata során megállapította, hogy a rezgő nyár minden esetben korábban kezd virágozni, mint a fehér nyár, valamint hogy a homoki ökotópokban a virágzás korábban kezdődik mindkét faj

esetében. Továbbá kimutatta, hogy a homoki termőhelyeken nagyobb az esély a két faj virágzási időszakának átfedésére, mint a lassabban felmelegedő ártéri ökotópokban, valamint, hogy a létrejövő F_1 -es szürke nyár hibridek nagyobb eséllyel kereszteződnek vissza a fehér nyár szülővel. Egy korábbi vizsgálat során 21 autochton populáció felmérésével azt is kimutatta, hogy hibrid egyedek nagyobb számban fordulnak elő emberi tevékenységgel érintett termőhelyeken (Bartha 1991). Ennek oka, hogy a szülőfajokkal visszakereszteződött szürke nyár egyedek növekedési erélye csökkent, másrészt a zavartalan társulásokban szabad niche-ek alig, vagy egyáltalán nem találhatóak (Bartha 2005).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintagyűjtés

A mintagyűjtés alkalmával célkitűzés volt a két alapfaj dunántúli elterjedési területén a fontosabb tájegységek érintése. Így a kutatás kiterjedt az Ormánságra, a Villányi-hegységre, a Mecsekre, a Zselicre, Külső- és Belső-Somogyra, a Kis-Balaton környezetére, a Keszthelyi-hegységre, a Magas-Bakonyra, valamint a Szigetköz egy részére. Ezeket a tájegységeket a vizsgálatok során mintagyűjtési egységként, populációként kezeltük. A terepi munkálatok során 79 községhatárban gyűjtöttünk mintát. A munkálatok során a mintafák földrajzi helyzetét GPS koordinátákkal rögzítettük, taxonómiai besorolásukat dokumentáltuk, valamint a további vizsgálatokhoz róluk herbáriumi anyagot és levélmintát gyűjtöttünk. A kutatás keretében több fontos populációban nem volt módunk mintát gyűjteni (többek között a Közép- és Alsó-Duna menti fehér nyár, nyugat-dunántúli rezgő nyár populációkban, valamint a Hanságban), ugyanakkor távlati célunk, hogy kutatási eredményeinket kiegészítsük az ezekből a populációkból származó mintákkal.

Munkánk során olyan állományokat, út menti facsoportokat mintáztunk, amelyek bizonyítottan vagy nagy valószínűség szerint természetes eredetűek, azaz genetikai állományuk jól reprezentálja a tájegységre jellemző genetikai mintázatot. A kijelölt fák középidős, idős egyedek voltak. Ennek oka egyrészt a visszakereshetőség volt, másrészt az a feltételezés, hogy ezek az egyedek már évtizedek óta részt vesznek a génáramlási folyamatokban (pollen vagy termés útján), így forrásai a helyi ökológiai feltételekhez való adaptációnak.

A választott metodika szerint egy erdőrészletből vagy nagyobb facsoportból legfeljebb három egyedet mintáztunk, részben azért, hogy minél nagyobb területet fedjünk le a mintavételezéssel, részben azért, hogy elkerülhető legyen a nagy területű sarjcsoportok többszöri mintázása, ami torzította volna a genetikai vizsgálatok eredményeit.

A mintázott fákról herbáriumi növényanyagot is gyűjtöttünk, amelyek a későbbi visszaellenőrzésekre is alkalmasak lehetnek.

A vizsgált egyedek számát és taxonómiai besorolásukat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A molekuláris genetikai vizsgálatba vont egyedek száma fajonként
Table 1: The number of samples by species used for the molecular genetic analyses

Faj	RAPD	PCR-RFLP
<i>Populus alba</i>	148	159
<i>Populus tremula</i>	119	141
Mindösszesen	267	300



A RAPD és a PCR-RFLP analízist döntően ugyanazon egyedeken végeztük el (a cpDNS vizsgálatba valamivel több somogyi egyedet vontunk be, a mintaszámok különbsége ezzel magyarázható).

Molekuláris genetikai vizsgálatok

DNS-extrakció

A DNS-t közvetlenül friss vagy fagyasztva tárolt levélszövetből vontuk ki, a QIAGEN cég Dneasy Plant Mini Kit-jének felhasználásával. A több lépésben végrehajtott kivonás eredménye mintegy 200 µl nagy tisztaságú, koncentrált DNS-oldat lett, amely alkalmas volt a genetikai vizsgálatok elvégzéséhez.

A DNS-oldatokból 50 µl-nyi mennyiséget -80 °C-on továbbtároltunk, így a legyűjtött egyedek genetikai állománya fagyasztott, felhasználásra közvetlenül alkalmas DNS-kivonatban is megőrződik a herbáriumban szobahőmérsékleten tárolt levélminták mellett.

RAPD markerek

A RAPD markertechnika (*Random Amplified Polymorphic DNA*) a PCR (polimeráz láncreakció, *Polymerase Chain Reaction*) alapú módszerek legegyszerűbb változata. Ezen módszerrel a növényi genomban véletlenszerű DNS-szakaszok szaporíthatók fel (amplifikálhatók) (Hajósné Novák 1999). A reakcióhoz tet-szőleges szekvenciasorrendű, 8–10 bázispár hosszúságú oligonukleotidokat (primereket) alkalmaznak. A módszer nagy előnye, hogy olcsón és egyszerűen kivitelezhető. A módszer leírása több szakkönyvben is fel-lelhető (Hajósné Novák 1999, Bisztray 2001, Bordács 2002).

A vizsgálatok során 20 OPERON (Eurofins MWG Operon, <http://www.operon.com/>) primer tesztelése történt meg, melyek közül 5 mutatott ígéretes polimorfizmust (OPA1, OPD5, OPE9, OPK8, OPK16), közülük kettő alkalmasnak bizonyult a két faj genomjának elkülönítésére (OPD5 és OPK8-as primerek). Az értékelés során csak az 500 és 2000 bázispár közötti fragmentumokat elemeztük. Az egyedek RAPD profiljának felállításhoz összesen 41 fragmentum jelenlétét vagy hiányát írtuk le bináris kódolással. 20 marker az OPD5 primer, míg 21 marker az OPK8 primerrel végzett amplifikációból származott.

A polimeráz láncreakcióhoz (PCR) Eppendorf Mastercycler Gradient készüléket alkalmaztunk a következő programozással: kezdő denaturáció 95 °C-on 15 percig; denaturáció 95 °C-on 1 percig; bekötődés 38 °C-on 1 percig; lánchosszabbítás 72 °C-on 2 percig; a ciklus ismétlése (2-3-4-es lépés) 39-szer; végső lánchosszabbítás 72 °C-on 10 percig; tárolás 4 °C-on megszakításig. A reakcióelegy összeállításához Promega GoTaq Flexi polimerázt használtunk a következő receptúrát követve: 5–10 µg DNS, 1x-es mennyiségű puffer, 1,5 mM-os MgCl₂, 0,1 rész 4 µM-os primer, 0,01 rész egyenként 10mM-os dNTP mix, 0,75 unit polimeráz enzim. A fragmentumok elválasztása agaróz gélelektroforézis alkalmazásával történt, a következő paraméterekkel: 1,75%-os gélen, 120 V feszültségen 3 órán át futtatva, 5000-100 bázispár tartományú méretstandarddal. A mintázatot UV fényel átvilágítva digitálisan fotóztuk.

A futtatás eredményeként kapott genotípus-mintázat kiértékelése Kodak 1D elemző szoftver segítségével történt. A binárisan kódolt egyedmintázatok elemzéséhez GenAlEx 6.4 (Peakall és Smouse 2006) szoftvert használtunk. A szoftver segítségével megállapítható volt az egyes populációk genetikai változatossága, egymáshoz viszonyított genetikai távolsága. Az elemzés során nyert genetikai távolságmátrixból a Statistica 6.0 (StatSoft. Inc. 2001) szoftver segítségével dendrogram készült, mely grafikusán ábrázolja az egyes populációk egymáshoz viszonyított genetikai távolságát.

PCR-RFLP módszer

A sejtmagi DNS mellett a kloroplaszt DNS vizsgálata is célja volt a kutatásnak. A kloroplaszt markerek uniparentális öröklődésük és „univerzalitásuk” révén különösen alkalmasak egy faj állományainak leszármazástani, vagy akár közeli rokon fajok filogenetikai vizsgálataira (Heinze 2007). Különösen igaz ez a maternálisan öröklődő plasztisz genomra, mivel a maggal történő génáramlás általában viszonylag korlátozott, és így helyi mintázatok fennmaradása is lehetséges (Mátyás 2002a). A cpDNS elemzése PCR-RFLP vizsgálattal történt. A módszer egy kloroplaszt specifikus primerpárokkal végzett PCR reakción alapszik. A PCR reakciót követően a felszaporított célszekvenciákat restrikciós endonukleázokkal hasítottuk. Az így létrehozott fragmentumok (szekvenciák) a szakirodalom alapján (Lexer és mtsai 2005) alkalmasak az alapfajok elkülönítésére, valamint a fajon belüli változatosság vizsgálatára. A vizsgálatok során 4 primerpár-restrikciós endonukleáz kombinációt alkalmaztunk. Az emésztést követő fragmentelválasztás után a gélfotók elemzése, valamint a fragment-mintázatok értékelése a RAPD vizsgálat esetében ismertetettel azonos módszer szerint történt.

A kutatáshoz a markerek kiválasztása az alábbi kloroplaszt adatbázisból történt Lexer és mtsai (2005) nyomán: www.bfw.ac.at PRIM.html. Az alkalmazott cpPrimer és restrikciós enzim (New England Biolabs Inc.) kombinációkat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: PCR-RFLP vizsgálatokhoz használt primer – endonukleáz kombinációk
Table 2: Primer – restriction endonuclease combinations used for the PCR-RFLP analyses

cpPrimer	Restrikciós endonukleáz	Vizsgált fragmentumok hossza (bp)	Vizsgált fragmentumok száma
Rpl16ex1f + rps3r2	Hha I + Eco RI	280	2
Rpl16R1516 + rpl16F71R	Eco RI	310–380	5
Rps3f2 + ccmp10R	Hha I + Ssp I	205–320	5
ccmp10R + trnHM	Msp I	285–385	7

A primerek, valamint a PCR protokoll kiválasztása Grivet és mtsai (2001) munkája, valamint a <http://bfw.ac.at/200/1859.html> adatbázis alapján történt. Az elektroforetikus mintázat megjelenítését és dokumentálását a RAPD vizsgálatoknál ismertetett módon végeztük.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

RAPD vizsgálatok

Az egyes populációkra jellemző, RAPD vizsgálatok során nyert diverzitás értékeket a 3. táblázat tartalmazza. A populációk genetikai diverzitásának, ezáltal alkalmazkodó-képességének értékelése a megfigyelt allélszám és az allélgyakoriságok alapján számított Shannon-index (*Shannon's Information index*, Allaby 2004) alapján történt.



3. táblázat: RAPD elemzés során számított genetikai diverzitás értékek
Table 3: Genetic diversity indices derived from the RAPD analyses

Populáció	Egyedszám	Átlagos lókuszonkénti allélszám	Effektív allélszám	Shannon-index	Heterozigócia
FhBs	15	1,098	1,235	0,234	0,149
FhDr	30	1,610	1,161	0,212	0,120
FhKe	10	0,976	1,202	0,202	0,127
FhSz	18	0,976	1,189	0,192	0,121
FhMe	12	0,878	1,158	0,176	0,108
FhZs	14	0,976	1,148	0,174	0,104
FhMo	15	0,951	1,129	0,155	0,091
FhBk	16	0,756	1,101	0,124	0,073
FhKs	11	0,683	1,106	0,122	0,073
FhKb	7	0,659	1,104	0,118	0,071
ReBs	14	1,415	1,294	0,284	0,180
ReVi	6	0,976	1,215	0,212	0,134
ReZs	16	1,244	1,182	0,206	0,123
ReKe	15	1,073	1,168	0,180	0,109
ReMe	27	1,195	1,156	0,175	0,104
ReKs	11	0,951	1,158	0,168	0,103
ReBk	18	1,122	1,138	0,161	0,094
ReDr	12	0,829	1,137	0,147	0,090

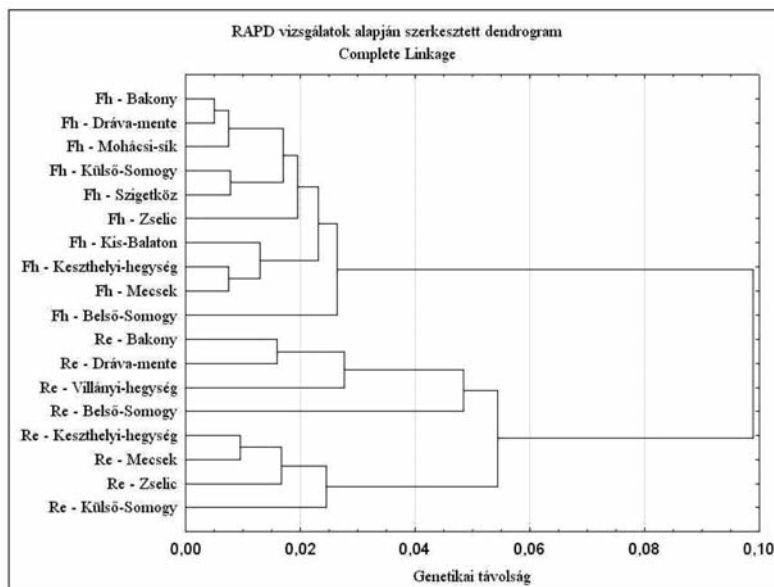
Jelmagyarázat: **Fh** – fehér nyár, **Re** – rezgő nyár; **Bk** – Magas-Bakony, **Bs** – Belső-Somogy, **Dr** – Dráva mente, **Kb** – Kis-Balaton, **Ke** – Keszthelyi-hegység, **Ks** – Külső-Somogy, **Me** – Mecsek, **Mo** – Mohácsi-sík, **Sz** – Szigetköz, **Vi** – Villányi-hegység, **Zs** – Zseli)

Key: **Fh** – white poplars, **Re** – trembling aspens; Regions: **Bk** – Magas-Bakony, **Bs** – Belső-Somogy, **Dr** – Dráva mente, **Kb** – Kis-Balaton, **Ke** – Keszthelyi-hegység, **Ks** – Külső-Somogy, **Me** – Mecsek, **Mo** – Mohácsi-sík, **Sz** – Szigetköz, **Vi** – Villányi-hegység, **Zs** – Zselic

A táblázatban a populációk a Shannon-index értékeik alapján fafajonként rangsorolva láthatók, azaz a legmagasabb értékekkel bíró, tehát legváltozatosabb populációk kerültek a rangsorban előre, míg a legkisebb változatosságot mutatók a sor végére. A táblázat alapján jól látható, hogy a legmagasabb genetikai változatosságot a belső-somogyi rezgő nyár és fehér nyár állományok, míg a legalacsonyabbat a kis-balatoni fehér nyár állományok mutatták. Utóbbi esetében az alacsony diverzitás érték feltehetőleg a kis mintaszámmal is összefügg. A teljes fajra számított heterozigócia (H_e) a fehér nyár esetén 0,104, a rezgő nyár esetén 0,117 értéket ért el, ami lombos fák tekintetében alacsonynak mondható.

Az egyes populációk Nei-féle genetikai távolsága alapján szerkesztett dendrogram az 1. ábrán látható. A klaszterek kialakítása a Statistica 6.0 szoftver *Complete linkage* módszerével történt, amely az egymástól legtávolabbi genotípusok összevetésén alapszik (Podani 1997). A dendrogram alapján megállapítható, hogy a RAPD vizsgálatok során alkalmazott két primer (OPD5, OPK8) alkalmas a két alapfaj egyedeinek elkülönítésére. Ezt mutatja, hogy a rezgő nyár és fehér nyár populációk jelentős kapcsolódási távolsággal külön ágra kerültek. Az egyes populációk genetikai távolsága a vártnál nagyobb eltéréseket mutat. Azt a feltételezést, mely szerint az egyes fajok földrajzilag egymáshoz közelebb elhelyezkedő populációi nagyobb rokonsági fokot mutatnak, a RAPD vizsgálatokkal nem sikerült igazolni. Feltűnő ugyanakkor, hogy a bakonyi

és Dráva menti, valamint a keszthelyi és mecseki fehér nyár és rezgő nyár állományok konzekvensen közeli rokonságot mutatnak. Az egyes populációk genetikai távolságának összetettebb vizsgálatához újabb primerek bevonását látjuk szükségesnek.



1. ábra: RAPD vizsgálatok alapján Complete linkage eljárással szerkesztett dendrogram (Statistica 6.0)

Figure 1: Genetic dendrogram based on the results of the RAPD analyses constructed by the Complete linkage method (Statistica 6.0)

A GenAIEx 6.4 program segítségével a genetikai távolságmátrix alapján AMOVA vizsgálatot is végeztünk fajonként, a molekuláris variancia mértékének, valamint annak populációk közötti és az egyes populációkon belüli megoszlásának meghatározása céljából. Az elemzés eredményeképpen megállapítható, hogy a genetikai variabilitás fő forrása a populációkon belüli variabilitás (a fehér nyár esetében 91%, a rezgő nyárak esetében 83%), míg a teljes variabilitáshoz a populációk közötti változatosság kisebb mértékben (9, illetve 17%-os arányban) járul hozzá. A populációk közötti differenciáltság mértéke adott területen kapcsolatba hozható az adott faj elterjedési mintázatával. Az egybefüggő vagy kevésbé tagolt elterjedési területtel rendelkező fajok populációinak differenciáltsága alacsonyabb, míg a tagolt, széttöredező elterjedési struktúra magasabb populációk közötti differenciáltsághoz vezet (Mátyás 2002b). A vizsgálat során kapott eredmények ennek megfelelően alakultak, hiszen a Dunántúlon a vizsgálatba vont két faj közül a fehér nyár rendelkezik összefüggőbb elterjedési területtel, a rezgő nyár elterjedési területe jóval tagoltabb.

PCR-RFLP vizsgálatok

A PCR-RFLP vizsgálatok során nyert diverzitás értékeket a 4. táblázat tartalmazza. A táblázatban az egyes populációkat fajonként a Shannon-index értékeik alapján rangsoroltuk.

4. táblázat: *cpDNS* markerek alapján számított genetikai diverzitás értékek (*Genalex 6.4*)
 Table 4: *Genetic diversity indices derived from the PCR-RFLP analyses (Genalex 6.4)*

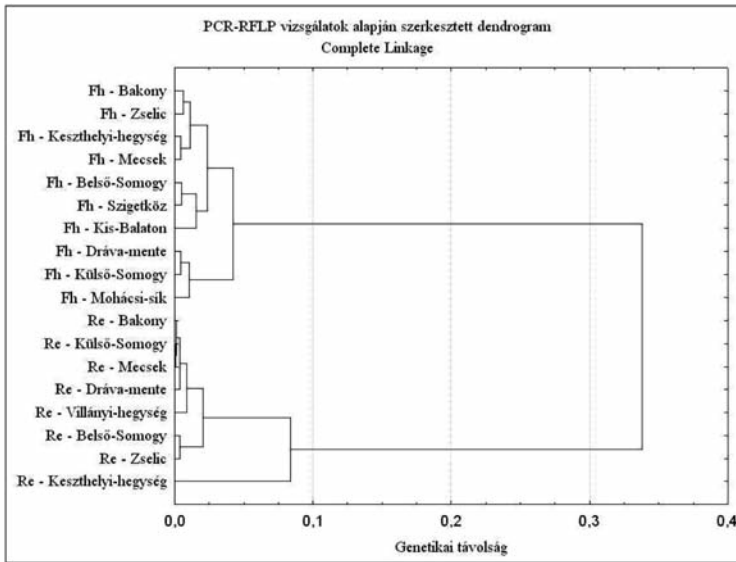
Populáció	Egyedszám	Átlagos lókuszonkénti allélszám	Effektív allélszám	Shannon-index	Megfigyelt haplotípusok száma	Haploid géndiverzitás
FhKb	7	2,250	2,163	0,608	4	0,347
FhBs	15	2,500	1,979	0,580	7	0,320
FhZs	14	2,250	1,929	0,556	4	0,311
FhDr	31	2,500	1,703	0,544	8	0,291
FhBk	16	2,000	1,826	0,510	4	0,309
FhKe	12	2,250	1,701	0,490	4	0,271
FhSz	18	2,250	1,677	0,486	6	0,284
FhKs	19	2,250	1,659	0,477	7	0,258
FhMe	12	2,000	1,683	0,450	4	0,264
FhMo	15	1,500	1,235	0,250	2	0,160
ReVi	14	1,750	1,574	0,376	5	0,227
ReBk	18	2,000	1,560	0,334	5	0,173
ReMe	27	2,000	1,428	0,333	4	0,188
ReKs	23	2,000	1,399	0,318	5	0,171
ReKe	16	1,500	1,392	0,312	4	0,217
ReDr	12	1,500	1,417	0,257	3	0,156
ReBs	16	1,500	1,171	0,184	3	0,102
ReZs	15	1,250	1,200	0,159	2	0,111

A fehér nyárok esetében a belső-somogyi állományok a RAPD vizsgálatokhoz hasonlóan magas diverzitás értéket mutattak. Ugyanakkor a sejtmagi DNS elemzésének eredményeivel ellentétben, ahol alacsony Shannon-index érték jellemezte, a kis-balatoni populáció ezen diverzitás tekintetében a legnagyobb értéket érte el. Megjegyzendő, hogy a kis-balatoni populáció a magas diverzitás értékeket alacsony egyedszám mellett adta, ami természetesen torzíthatja a valós genetikai sokféleséget, ezért a későbbi vizsgálatok során emelt mintaszám bevonása szükséges e populáció esetében. Legkevésbé változatosnak a mohácsi állományok bizonyultak, ami feltételezhetően emberi hatásnak köszönhető (a mintagyűjtés egyedül a Mohácsi-síkon érintett ültetett állományokat is). A RAPD vizsgálatok során kapott diverzitás sorrend a rezgő nyár populációk esetében is megváltozott a PCR-RFLP vizsgálat eredményei alapján. A legnagyobb Shannon-index értékek a villányi, bakonyi és a mecseki állományokat jellemezték, míg a legkevésbé diverznek a Dráva menti, belső-somogyi és zselici állományok bizonyultak. Ugyanakkor megállapítható, hogy a rezgő nyár populációk jóval kisebb változatosságot mutattak a fehér nyár populációkhoz képest.

Az egyes populációk Nei-féle genetikai távolsága alapján szerkesztett dendrogram a 2. ábrán látható.

A kloroplaszt-DNS vizsgálata alapján megállapítható, hogy a módszer szintén alkalmas az alapfajok elkülönítésére. A két csoport genetikai távolsága ugyanakkor a RAPD vizsgálatok alapján megállapítottához képest jóval nagyobb.

Jellemzően a fehér nyárok esetében a földrajzilag egymáshoz közel fekvő populációk a dendrogram alapján nem mutatnak szorosabb rokonságot. A rezgő nyárok esetében is csak részben érvényesül a genetikai és a földrajzi távolság közötti összefüggés. Kiemelhető e faj esetében is a belső-somogyi és a zselici populációk kisebb genetikai távolsága.



2. ábra: PCR-RFLP vizsgálatok alapján Complete linkage eljárással szerkesztett dendrogram

Figure 2: Genetic dendrogram based on the results of the PCR-RFLP analyses constructed by the Complete linkage method

AMOVA számítással megvizsgáltuk a kloroplaszt-DNS haplotípusokon alapuló molekuláris variancia mértékét fajonként, valamint annak megoszlását a populációkon belül, illetve azok között. A kapott eredmények nagyfokú hasonlóságot mutatnak a RAPD vizsgálat alapján számolt AMOVA értékekkel. A molekuláris variancia mértéke alapvetően a populációkon belüli diverzitásra vezethető vissza (fehér nyár esetében 97%, rezgő nyár esetében pedig 85%-ban), míg a teljes változatosság kialakításában a populációk közötti variancia kisebb szerepet játszik (3 és 15%). A két alapfaj tekintetében a sorrend azonos, azaz a fehér nyár mutat alacsonyabb populációk közötti differenciáltságot, ami, mint azt a RAPD vizsgálat esetében ismertettük, a Dunántúlon a fajra jellemző egységesebb elterjedéssel, tagolatlanabb areával magyarázható.

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálataink során modern molekuláris genetikai módszerekkel felmértük a fehér nyár és a rezgő nyár fontosabb dunántúli populációjának genetikai változatosságát. Összességében megállapítottuk, hogy a vizsgált populációk tekintetében a somogyi állományok diverzitás értékei kimagaslóak (a populációkat az allélszám és az allélfrekvencia értékeket figyelembe vevő Shannon-index alapján rangsoroltuk). A RAPD vizsgálatok során tesztelt primerek közül kettő esetében mutattunk ki fajspecifikus alléleket, azaz olyanokat, melyek csak az egyik fajra jellemzőek. A két molekuláris genetikai módszer vizsgálati eredményei alapján szerkesztett dendrogramok elemzése során nem sikerült szorosabb kapcsolatot kimutatnunk az egyes populációk genetikai és földrajzi távolsága között, ami újabb molekuláris markerek, valamint egyes populációk terén újabb egyedek vizsgálatba vonásának fontosságára hívja fel a figyelmet. A RAPD és a cpDNS vizsgálat során is feltárt molekuláris variancia elemzése során megállapítottuk, hogy a teljes variancia kialakításában döntő mértékben a populációkon belüli diverzitás vesz részt, a populációk közötti diverzitás aránya jóval kisebb. Továbbá a fehér nyár esetében a populációkon belüli variancia mindkét vizsgálat esetében magasabb értéket mutatott a rezgő nyáréhoz képest, ami a két faj dunántúli elterjedési mintázatával magyarázható. Vizsgálataink



kat a továbbiakban szeretnénk újabb populációk bevonásával bővíteni, így lehetőségeinkhez mérten minél szélesebb képet alkothatunk e két nagyon értékes faj hazai populációinak genetikai változatosságáról; az eredmények az erdészeti és természetvédelmi gyakorlat számára is fontos információkkal szolgálhatnak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A mintagyűjtés alkalmával segítőink, vezetőink voltak a Duna-Dráva Nemzeti Park, a Mecseki Erdészeti ZRt., a SEFAG Erdészeti és Faipari ZRt., a Bakonyi Erdészeti és Faipari ZRt., valamint a Kisalföldi Erdőgazdaság ZRt. munkatársai, akiknek ezúton is szeretnénk kifejezni hálás köszönetünket fáradozásaikért.

Kutatásunkat az OTKA 063321-es nyilvántartási számú pályázata támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Allaby, M. 2004: "Shannon-Wiener index of diversity." a Dictionary of Ecology. 2004. *Encyclopedia.com*. (April 12, 2010). <http://www.encyclopedia.com/doc/1O14-ShannonWienerindexfdvrsty.html>
- Bartha D. és Bordács S. 1990: Elektrophoretische Untersuchungen an Weißpappel-Populationen in Ungarn. *Die Holzzucht*, 44: 23–25.
- Bartha D. 1991: Gibt es Bodenrassen bei der Weisspappel? *Allgemeine Forst Zeitschrift* 46: 877.
- Bartha D. 1999: Phänologische und taxonomische Untersuchungen bei den einheimischen Populationen der Weisspappel (*Populus alba* L.). *Publ. Univ. Horti. Industriaeque Alimentariae* 59: 85–93.
- Bartha D. 2005: Ist die Graupappel eine eigene Art? Taxonomische Untersuchungen an den Populationen der Weisspappel (*Populus alba* L.). *Allgemeine Forst Zeitschrift/Der Wald* 60: 252–254.
- Bisztray Gy. 2001: Molekuláris genetikai markerek. 424. In: Velich I. (ed.): *Növénygenetika*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Bordács S. 2002: A DNS-polimorfizmus elemzéséhez alkalmazott módszerek. 53. In: Mátyás Cs. (ed.): *Erdészeti – természetvédelmi genetika*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Grivet D.; Heinze B.; Vendramin GG. and Petit RJ. 2001: Genome walking with consensus primers: application to the large single copy region of chloroplast DNA. *Molecular Ecology Notes* 1: 345–349.
- Hajósné Novák M. 1999: A PCR-technikán alapuló módszerek. 44–48. In: Hajósné Novák M. (ed.): *Genetikai variabilitás a növénynevelésben*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Heinze, B. 2007: A database of PCR primers for the chloroplast genomes of higher plants. *Plant Methods* 2007, 3: 4. <http://www.plantmethods.com/content/3/1/4>
- Koltay Gy. és Kopecky F. 1954: őshonos nyáraink leromlott öröklöttségének megjavítása. *Erdészeti Kutatások* 2: 65–86.
- Lexer, C.; Fay, M.F.; Joseph, A.; Nica, M.S. and Heinze, B. 2005: Barrier to gene flow between two ecologically divergent *Populus* species, *P. alba* (white poplar) and *P. tremula* (European aspen): the role of ecology and life history in gene introgression. *Molecular Ecology* 14: 1045–1057.
- Lexer, C.; Buerkle, C.A.; Joseph, J.A.; Heinze, B. and Fay, M.F. 2007: Admixture in European *Populus* hybrid zones makes feasible the mapping of loci that contribute the reproductive isolation and trait differences. *Heredity* (2007) 98: 74–84.
- Lexer, C.; Joseph, J.; Loo, M. Van, Barbará, T.; Heinze, B.; Bartha D.; Castiglione, S.; Fay, M. and Buerkle, C. A. 2010: Genomic Admixture Analysis in European *Populus* spp. Reveals Unexpected Patterns of Reproductive Isolation and Mating. *Genetics* 186: 699–712.
- Mátyás Cs. 2002a: A génszintű változatosság és elemzése. 15. In: Mátyás Cs. (ed.): *Erdészeti – természetvédelmi genetika*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Mátyás Cs. 2002b: Az allélváltozatosság statisztikai elemzése. 35–40. In: Mátyás Cs. (ed.): *Erdészeti – természetvédelmi genetika*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Peakall, R. and Smouse, P.E. 2006: GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288–295.

- Podani J. 1997: Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe. Scientia Kiadó. Budapest p.145.
- Sabatti, M.; D'Ovidio, R.; Tanzarella, O.A. és Scarascia Mugnozza, G.E. 2001: Assessment of geographic variation by RAPD markers among Italian open-pollinated progenies of *Populus alba* L. Genetic Resources and Crop Evolution 48(5): 423–428.
- Sánchez, N.; Grau, J. M.; Alba, N.; Manzanera, J. A. and de los Angeles Bruno, M. 2000: Genetic Characterisation of *Populus tremula* Regions of Origin in Spain Using RAPD Fingerprints. Silvae Genetica 49(2): 66–71.
- StatSoft, Inc. 2001. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749-1119, fax: (918) 749;2217, email: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>

Érkezett: 2011. május 17.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Idős fehér nyár

A dél-eurázsiai elterjedésű fehér nyár mindamelllett, hogy a hazai síkvidéki természetes erdőtársulások gyakori faja, egyben az alföldi tájkép egyik meghatározó eleme is. Erdészeti jelentősége elsősorban a szárazabb termőhelyek hasznosításában van. Genetikai állományának megőrzése ezért erdészeti és természetvédelmi szempontból egyaránt kiemelten fontos.

Fotó: Benke Attila

EGY ELEGYES TÖLGYES TAXONÓMIAI ÉS GENETIKAI SZERKEZETÉNEK ELEMZÉSE

Cseke Klára¹, Bordács Sándor² és Borovics Attila¹

¹Erdészeti Tudományos Intézet

²Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal

Kivonat

A vizsgálat célja egy tölgyfajokban (*Quercus* spp.) gazdag elegyes állomány genetikai szerkezetének feltárása egyedazonosításra alkalmas DNS mikroszatellit markerek alkalmazásával. A területen kijelölt időskorú állomány minden egyedét mintáztuk, majd numerikus taxonómiai mérések alkalmazásával meghatároztuk a faji helyzetüket. Az állományban két újulatfoltot felvételeztünk a szülői és az utódnemzedék genetikai sajátosságainak összehasonlítása céljából. Vizsgálatainkkal az összes idős egyed 9%-ánál tudtunk azonos genotípussal jellemezhető csoportokat meghatározni, ami tükrözi a területen hosszú ideje folyó sarjzartatás hatásait. Az utódok között szintén nagy számban azonosítottunk klónokat, ami gyökérsarjak útján létrejövő, vegetatív szaporodást jelez az állományban. Az újulat genetikai mintázatában nem találtunk számottevő eltérést az időskorú állományhoz képest, az allélgyakoriság értékekből származtatott mutatók magas genetikai diverzitást jeleztek. Az első újulatfolt egyedei képezte csoport a kocsányos tölgyekkel mutatott hasonlóságot, míg a második újulatfolt inkább a molyhos tölgyekre hasonlított a genetikai jellemzőik alapján.

Kulcsszavak: *Quercus* spp., DNS mikroszatellit markerek, genetikai változatosság, sarj, újulatfolt

TAXONOMIC AND GENETIC STUDY OF A MIXED OAK STAND

Abstract

A genetic study was performed in order to analyse the taxonomic and genetic composition of a mixed oak stand rich in different oak species (*Quercus* spp.). Microsatellite DNS markers were applied which are suitable for identification purpose. All the adult trees were sampled on the study plot and their taxonomic classification was accomplished by numerical taxonomy. Moreover two juvenile clumps were sampled with the aim of comparing the genetic pattern of the adult and juvenile generations. Based on the results of the genetic analysis, 9% of the adult trees had clonal origin referring to the long-term coppice management on the stand. Furthermore, clones were also discovered among the individuals of the juvenile clumps indicating vegetative propagation by root shoots. The genetic structure of the adult and juvenile groups were similar with high diversity indices. The two juvenile clumps showed different affinity with the pedunculate oak and pubescence oak species respectively based on the comparison of genetic patterns.

Keywords: *Quercus* spp., DNA microsatellite markers, genetic diversity, coppice, juvenile clump

BEVEZETÉS

A molekuláris genetikai módszereinek egyre nagyobb szerep jutott a növényekkel foglalkozó vizsgálatokban az elmúlt két évtizedben, így alkalmazásuk ma már rutinszerűnek tekinthető az erdei fafajok kutatásában is (Weising és mtsai 2005). A különböző DNS markerek különböző szinten nyújtanak információt a genetikai változatosságról. Egyes markerek a taxonómiai kutatásban segítenek, mások a különböző populációk, részpopulációk közötti, illetve a populációkon belüli változatosság felmérésére, az elkülönülés mértékének megadására nyújtanak lehetőséget. Az egyedek közötti variabilitás vizsgálatára ma már olyan DNS markerek állnak rendelkezésünkre, amelyek megfelelő felbontóképességük révén az egyedi eltérések kimutatására is alkalmasak, tehát „genetikai ujjlenyomat” készíthető általuk (*genetic fingerprinting*). Az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer az ún. mikroszatellit markerezés. Ezek a más néven SSR (simple sequence repeats) vagy STR (simple tandem repeats) szekvenciáknak hívott régiók a DNS különböző pontjain, elszórva előforduló, ismeretlen funkciójú szakaszok. Jellemzően egy rövid, 1–5 bázispárból álló motívum nagyszámú ismétlődéséből állnak. Az ismétlődések hossza egyenként nagy változatosságot mutat (Weising és mtsai 2005).

Az erdészeti kutatásban alkalmazva a módszer lehetőséget nyújt az állományok genetikai szerkezetének, az állományok közötti beporzási viszonyoknak jobb megismerésére. A mikroszatellit markerek alkalmazásával elért első jelentős erdészeti eredményt Dow és Ashley (1996) közölte. Egy amerikai tölgyfaj, a *Quercus macrocarpa* egyik, nagyobb erdőtümböktől távol eső, szigetszerűen elhelyezkedő 5 ha-os állományában vizsgálták a szülő- és utódegyedek közötti rokonsági kapcsolatokat. Az állományon kívülről érkező pollen magas (kb. 50%) aránya mellett azt is kimutatták, hogy az utópopuláción belül 4 anyafa biztosította az utódok mintegy 80%-át. Az európai fehér tölgyek alakkörét érintő vizsgálatok között elsőként Streiff és mtsai (1999) alkalmazták ugyanezen markereket, és kocsányos illetve kocsánytalan tölgy állományban mérték a két faj között előforduló hibridizációs eseményeket. A vizsgálat eredményei alapján, az előzetes várakozásokkal ellentétben, csak kismértékű introgressziót tapasztaltak. Gugerli és mtsai (2007) ugyanezen két faj között vizsgálták egy esetleges hibridzóna kialakulását egy intenzíven mintázott erdőrésztletben, szintén mikroszatellit markereket alkalmazva. Eredményeik szerint a hibrid egyedek előfordulása ritka volt az időskorú állományban. Curtu és mtsai (2006) egy a Keleti-Kárpátokban található, vegyes taxonómiai összetételű tölgyállomány genetikai szerkezetét tárta fel mikroszatellit markerekkel. További vizsgálataik során (Curtu és mtsai 2007) sikerült hibrid egyedeket is azonosítaniuk a genetikai mintázatuk összevetésével a *Q. robur* és *Q. frainetto*, illetve a *Q. pubescens* és *Q. frainetto* fajok között.

Az egyedazonosításra alkalmas DNS-motívumok segítségével az állományban előforduló sarj eredetű, azonos genotípussal jellemezhető egyedek is kimutathatók. A kocsányos és kocsánytalan tölgyek esetében a spontán vegetatív szaporodási forma nem gyakori. Ugyanakkor a sarjzartatás, a legeltetés vagy a vad általi rágás, sőt a széldöntés vagy tűzkár is kiválthatja a tő- és gyökérsarjak képzését. A szakirodalomban – az előzőekben ismertetett, fajok közötti beporzást valamint a génáramlást feltáró kutatások mellett – viszonylag ritkán találkozhatunk a sarjzartatásnak, sarjképződésnek a tölgyesek genetikai szerkezetére gyakorolt hatásának elemzésével. Kivételként említendő két Hollandiában végzett kutatás (Copini és mtsai 2005, Bakker és mtsai 2001), amelyek a több évszázados sarjzartatás és legeltetés hatására kialakult kocsányos és kocsánytalan tölgyállomány nagy kiterjedésű sarjcsoportjainak genetikai jellemzőit írta le. Mindkét publikáció kiterjedt sarjeredetű klóncsoportokról számolt be, amelyeken belül az egyedek egymástól akár 10 méterre helyezkedtek el. Egyes esetekben megfigyelték a különböző sarjcsoportok „összenövését” is, amikor a különböző eredetű sarjak egy kisebb területen vegyesen jelentek meg.

Vizsgálatainkat egy tölgygenetikával foglalkozó nemzetközi projekt („OAKFLOW QLK5-2000-00960; 2001–2005”) keretében kialakított, finomléptékű genetikai elemzésekre lehetőséget adó mintaterületen végeztük. Tanulmányunk a következő kérdésekre keresi a választ: 1. Milyen taxonómiai eloszlást mutat az

elegyes tölgyes? 2. Alkalmazható-e a mikroszatellit markerezés a tölgyegyedek és -fajok azonosítására? 3. Mennyire hasonlít az újulat és a szülők genetikai szerkezete?

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgált növényanyag és a numerikus taxonómiai besorolás

A kijelölt mintaterület közel 4 hektár nagyságú, Sopron és Fertőrákos között, a Szárhalmi-erdő Kecse-hegyi kilátója alatt terül el (Fertőrákos 11/A). A területen 380 idős egyedtel jelöltünk ki. Ezeket sorszámoztunk, majd meghatároztuk földrajzi koordinátáikat. A térképi alapadatokat taxonómiai, fenológiai és genetikai adatokkal egészítettük ki, amelyekből adatbázist hoztunk létre ArcMap 9.0 térinformatikai szoftver segítségével. A genetikai vizsgálatokhoz mind a 380 fáról gyűjtöttünk levélmintát. Az utódnemzedék vizsgálatához két újulatfolt 37 és 38 csemetéjét mintáztunk meg.

Minden vizsgálatba vont időskorú egyed esetében numerikus taxonómiai határozást végeztünk, amely a levél alakú tulajdonságait, illetve a szőrözöttségének mértékét veszi alapul, és a különböző szűken értelmezett tölgyfajok pontos taxonómiai besorolása mellett lehetőséget nyújt a hibrid egyedek azonosítására is (Borovics 2000). A vizsgálatához egyedenként minimum 5 levelet gyűjtöttünk, lehetőség szerint a korona délkeleti, fénynek kitett alsó harmadából. Az alkalmazott módszerről és határozófüggvényekről részletes információ a *Quercologist* internetes határozóprogram oldalán érhető el (<http://ngt-erdeszet.emk.nyme.hu/quercologist/default.htm>).

Mikroszatellit elemzés

A DNS extrakcióhoz fiatal levélszövetet használtunk, a kivonást QIAGEN extrakciós készlettel (Dneasy Plant Mini Kit) végeztük. A PCR reakció segítségével a következő négy mikroszatellit markert vizsgáltuk: ZAG 1/5, ZAG 9, ZAG 104 (Steinkellner és mtsai 1997) és MSQ 13 (Dow és mtsai 1995). A PCR reakció körülményeinek beállításakor az irodalmi leírást követtük. A mikrosatellit fragmentumok pontos méretének meghatározása (fragmentanalízis) ABI Prism 310-es genetikai analizátorral történt. A fragmentumhosszak kódolását a GeneMapper szoftver segítségével végeztük.

Statistikai értékelés

A fragmentanalízis során nyert nyers mikrosatellit hossz adatsort, vagyis az egyes egyedek genotípusát a GenAlEx 6.4 (Peakall és Smouse 2006) populációgenetikai szoftver segítségével elemeztük, a következő mutatók vizsgálatával:

Az azonos genotípust valószínűség (P_{ID}) mutató segítségével ellenőriztük, hogy az alkalmazott négy mikroszatellit marker megfelelő felbontóképességgel rendelkezik-e az egyedi szintű azonosításhoz. A P_{ID} mutató annak a valószínűségét adja meg, hogy az adott mintasorból véletlenszerűen kiemelt két egyed azonos genotípussal rendelkezik (Weising és mtsai 2005). Értéke 0 és 1 között alakul. Minél közelebb áll a 0-hoz, annál megbízhatóbb az egyedazonosításra alkalmazott markerek köre, illetve annál kisebb a valószínűsége a véletlenszerűen megjelenő azonos genotípusoknak.

A két nemzedék allélszerkezetének összevetésére vizsgáltuk az allélok lokuszonkénti átlagos számát (N_a), valamint a gyakorisági értékekkel súlyozott effektív allélszámot (N_e). A genetikai diverzitás értékelésére a következő, az allélgyakoriság értékekből származtatott mutatókat számítottuk: Shannon-index (I), várt heterozigócia (H_e), megfigyelt heterozigócia (H_o), amely a heterozigóták tényleges számát jelenti osztva a



mintaszámmal, fixációs index (F) (Weir 1996). A populációgenetikai elemzéseket két szempont szerint is elvégeztük. Egyfelől elemeztük a területen található összes egyed (N) genetikai mintázatát, függetlenül a kialakult klón csoportok előfordulásától. Összehasonlítóképpen ugyanezen diverzitási mutatókat megvizsgáltuk kizárólag az egyedi genotípusok (G) figyelembevételével – tehát az ismétlődő genotípusok kihagyásával –, így szemlélítve azt az esetleges genetikai következményt, amelyet a sarjztatás okozta klón csoportok kialakulása eredményezhet. A G/N hányadossal kifejeztük az egyes csoportokban a vegetatív szaporodás mértékét, arányát (Weising és mtsai 2005).

A molekuláris variancia analízissel (AMOVA) a genetikai változatosság megoszlását vizsgáltuk az összehasonlítás alapját képező csoportokon belül és a csoportok között, jelen esetben a három fő tölgyfajcsoportra (kocsányos tölgy, kocsánytalan tölgyek és molyhos tölgyek) jellemző egyedi genetikai sajátosságok összehasonlítása érdekében. Az elemzésből nyert F_{st} értékkel a csoportok közötti differenciáltság mértékét adhatjuk meg (Weir 1996).

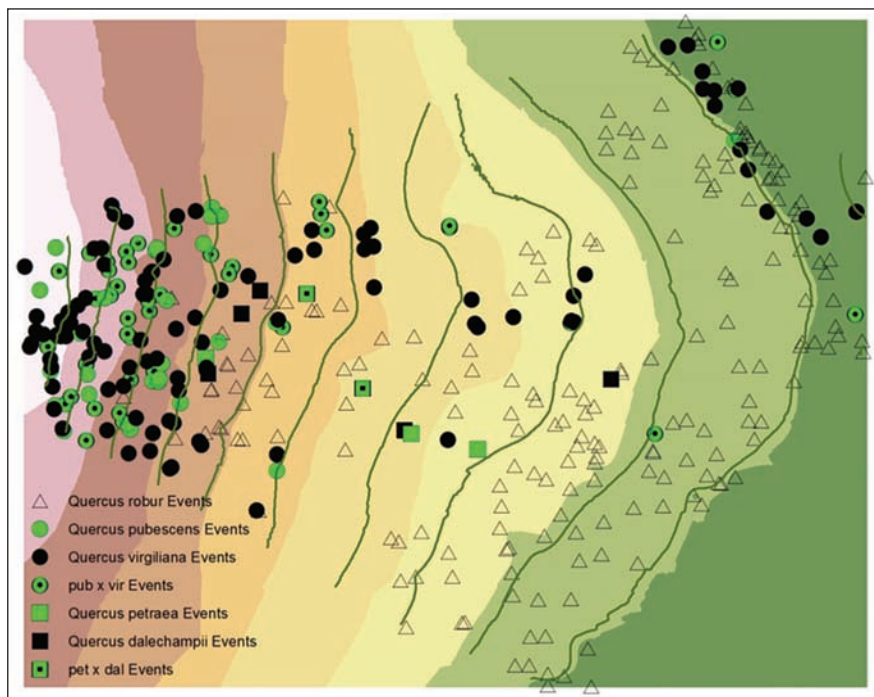
A területen felvételezett két újlattolt egyedei és az időskorú állomány három fő taxonómiai csoportba sorolt egyedei között számítottuk a Nei-féle genetikai távolságot is (Nei 1978). A csoportok egymáshoz viszonyított helyzetét ezután egy dendrogramon (UPGMA szerkesztési elv alapján) grafikusán is ábrázoltuk (Podani 1997).

EREDMÉNYEK

Taxonómiai összetétel

A vizsgált tölgyegyedek taxonómiai megoszlása a következőképpen alakult a numerikus taxonómiai elemzés alapján: A vizsgálatba vont 378 egyed 53%-a, 200 egyed kocsányos tölgy (*Qu. robur* L.). Az állomány másik hangsúlyos részét a molyhos tölgyek képezték 43%-os részaránnyal. Ebből 29 egyed szűken értelmezett molyhos tölgy (*Qu. pubescens* Willd.), 98 egyed olasz tölgy (*Qu. virgiliana* Ten.), valamint 41 hibrid jellegű egyed volt. A vizsgált területen a kocsánytalan tölgyek alakköre mindösszesen 10 példánnyal volt képviselve. Ebben a csoportban dominált a szárazságtűrőbb dárdás karéjú kocsánytalan tölgy (*Qu. dalechampii* Ten.), illetve a *Qu. petraea* × *dalechampii* hibrid. Az atlantikusabb, kiegyenlítettebb klímát kedvelő szűken értelmezett kocsánytalan tölgy (*Qu. petraea* (Matt.) Liebl.) mindössze két egyed volt (Mátyás 1967).

A vizsgált terület jellegzetessége a néhány száz méteren belül jelentkező jelentős termőhelyi különbség, amely a térszintemelkedésből és a száraz-üde termőhelyi átmenetből adódik. A termőhelyi viszonyok karakteres különbségei jól visszatükröződnek a fajok elterjedésében is. Az üdebb völgyi helyzetben dominálnak a kocsányos tölgy egyedek, illetve a patakmeder közelébe, az állományszegélybe lehúzó molyhos tölgyek a mezofil termőhelyi viszonyokhoz alkalmazkodott olasz tölgy egyedek közül kerülnek ki. A szárazabb, naposabb kitettségű dombtetőn pedig túlnyomóan a szűken értelmezett molyhos tölgy egyedek csoportjai jelennek meg. A kocsánytalan tölgy fajcsoport egyedei – csertölgyekkel (*Q. cerris* L.) elegyedve – a kocsányos és molyhos tölgyek közé ékelődtek. Az 1. ábrán a fajok térbeli eloszlását mutatjuk be, amely során az ökológiai gradienssel való összefüggés is jól nyomon követhető. Itt érdemes megjegyezni, hogy a csertölgy nem képezte a jelen kutatás tárgyát tekintve, hogy az európai nemes tölgyektől taxonómiai és genetikailag is jól elkülöníthető, azokkal nem kereszteződik. Ugyanakkor a jövőben érdemes lesz figyelmet szentelni az állományban betöltött szerepére, az esetleges klimatikus és termőhelyi változások szempontjából, az állományszerkezetre és fajösszetételre gyakorolt hatásaira. Bár a kocsánytalan tölgy egyedek feltűnően alacsony egyedszáma a mintaterületen felvetheti annak a gondolatát, hogy a cserelelverseny miatt szorult ki az állományból, azonban csupán a mintaterületen végzett megfigyelések alapján ez a konklúzió egyértelműen nem vonható le.



1. ábra: A vizsgált fajok eloszlása és az ökológiai gradienssel való összefüggésük a területen
 Figure 1: Distribution of taxons and the ecological gradient on the study plot.

Az egyedek azonosítása genetikai ujjlenyomatuk alapján

A nulla közeli P_{ID} mutató ($P_{ID} = 1,1 \times 10^{-7}$) bizonyítja, hogy a klóncsoportok egyedei valóban azonos genotípusúak, az alkalmazott négy mikroszatellit marker mintázata megfelelő változatosságot eredményezett az egyszintű azonosításhoz.

A vizsgált 380 egyedből 12 kocsányos tölgy és 14 molyhos tölgy klónpár képezte csoportot azonosítottunk. A molyhos tölgyek esetében további 4 esetben hármás klóncsoportot is találtunk. A fentiek alapján tehát az összes idős példány 9%-ánál tudunk azonos genotípussal jellemezhető csoportokat meghatározni, ami tükrözi a területen hosszú ideje folyó sarjzartás hatásait. A klónok minden esetben egymás közvetlen közelében helyezkedtek el, több esetben a terepen is megfigyelhető volt a csokros növekedés, ami a tuskóról való újrasarjadást jelzi. Két molyhos tölgy pár esetében volt megfigyelhető a klónok távolabbi elhelyezkedése (6,8 illetve 7,9 m-re), ami gyökérsarjak megjelenésére utal. További két kocsányos tölgy és két molyhos tölgy pár esetében a távolság 2 és 3 m között alakult, ami szintén gyökérsarjakról való vegetatív terjedést valószínűsít.

Összességében elmondható, hogy a molyhos tölgyek csoportjánál gyakoribb és változatosabb (hármás tőrsarjak, gyökérsarjak) volt a vegetatív szaporodási, illetve fennmaradási stratégia.

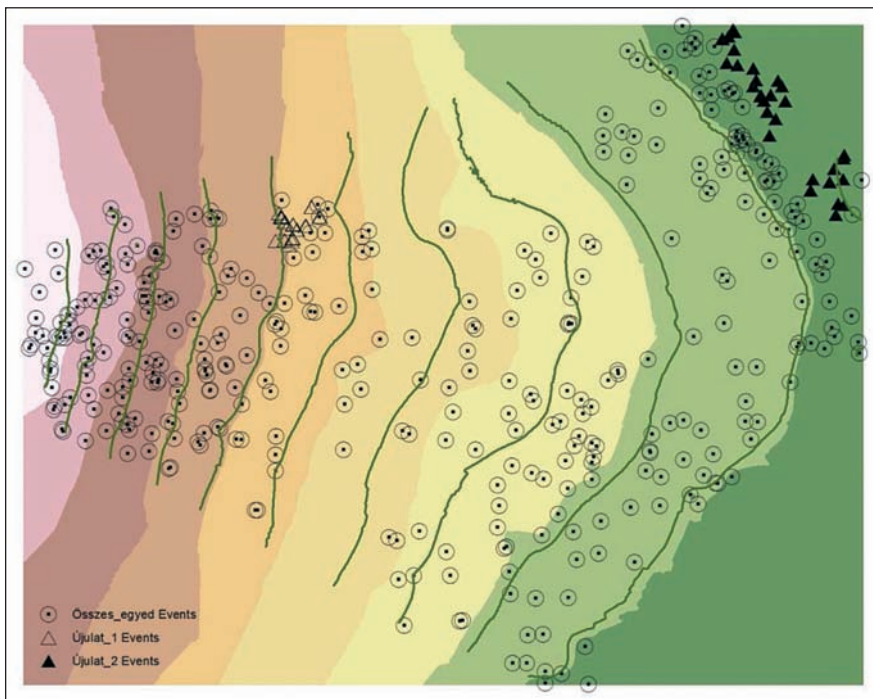
A fajok genetikai elkülönülése

A vizsgált egyedek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a tölgyfajok genetikai szerkezetükben (allélösszetétel, allélgyakoriság) nem különböztek élesen, vagyis nem lehet őket genetikai jellemzők alapján élesen szétválasztani. Ez egybevág az eddigi megfigyelésekkel, mely szerint az európai fehér tölgyek (*Quercus* vagy *Lepidobalanus* alnemzetség fajai) földtörténeti viszonylatban csak viszonylag későn váltak szét. Azt is mondhatjuk,

hogy a vizsgált alakkörben jelenleg is zajlik a fajképződési, elkülönülési folyamat, amely együtt jár a fajok közötti folyamatos géncserével, kölcsönös beporzással (Petit és mtsai 2002, Scotti-Saintagne és mtsai 2004). Ebből következően a további populációgenetikai elemzéseket a tágon értelmezett (sensu lato) tölgyfajokra vonatkoztatva végeztük el. A három fő európai fehér tölgy alakkör (*Qu. robur*, *Qu. petraea* s.l., *Qu. pubescens* s.l.) genetikai differenciáltságát is megvizsgáltuk a rendelkezésünkre álló minták alapján. A varianciaanalízis során nyert F_{st} értékek kifejezik a teljes genetikai változatosságnak a csoportok közötti változatosságból eredő hányadát, és így utalnak az elkülönültség mértékére. A teljes és klónokkal korrigált adatsoron elvégzett számítások meglepő módon csaknem ugyanazt az eredményt hozták. A vizsgált mintáink alapján a kocsányos tölgy és molyhos tölgyek között 0,076 értéket kaptunk (függetlenül a klónok figyelembevételétől), ami összehasonlítva egy, a Keleti-Kárpátokban végzett hasonló finomléptékű vizsgálat 0,113 eredményével (Curtu és mtsai 2006), nem utal markáns izolációra. A kocsányos tölgy és kocsánytalan tölgyek esetében egészen csekély genetikai differenciáltságot tapasztaltunk (0,037), összevetve a már említett vizsgálat 0,096-os értékével. Ugyanakkor a kocsánytalan tölgyek és molyhos tölgyek közötti genetikai differenciáltság magasabb (0,083, illetve a klónokkal korrigált adatsor esetében 0,085), szemben Curtu és mtsai (2006) által mért 0,045-ös értékkel. A területen talált kocsánytalan tölgyek tehát alacsony mintaszámuk ellenére is mutatnak egyedi genetikai sajátosságokat a másik két tölgy csoporttal összehasonlítva.

Az újulat genetikai szerkezetének összehasonlítása a szülői nemzedékkel

A kijelölt területen két újulatfoltot vizsgáltunk (2. ábra, az 1. újulatfolt \triangle jellel, a 2. újulatfolt \blacktriangle jellel jelölve). Az újulat egyedeinek genetikai azonosítása során a P_{ID} érték $2,3 \times 10^{-7}$ volt, ami alapján az egyező genotípussal rendelkező egyedekről kimondható, hogy klón eredetűek.



2. ábra: A vizsgált két újulatfolt elhelyezkedése az állományban
 Figure 2: Location of the two analysed juvenile clumps in the adult stand
 (Key: \circ adult trees, \triangle juvenile clump No.1, \blacktriangle juvenile clump No. 2)

Az 1. újulatfolt 37 egyede viszonylag kis területen sűrűn helyezkedett el. Meglepő módon viszonylag nagy számú azonos genotípusú sarjait azonosítottunk be. A 37 egyedből hat klónpárt, további két esetben három egyedből álló, és egy esetben négy egyedből álló sarjcsoportot is találtunk. A fennmaradó 15 egyed egymástól elkülönülő, önálló genotípussal rendelkezett, tehát esetükben nagyobb a magról való szaporodás lehetősége. Az egyes sarjcsoportok egyedei minden esetben egymás közvetlen közelében csoportosultak.

A 2. újulatfolt az állomány alsó határán, mélyebb fekvésű területen volt. Kiterjedését tekintve nagyobb, mint az első, és két kisebb csoportra osztható. Összesen 38 egyedet felvételeztünk, amelyek közül csak öt darab két egyedből álló sarjpart sikerült azonosítanunk.

A fentiekből levonható az a következtetés, hogy a természetes újulatot nem csupán a generatív szaporodásból származó magoncok képezhetik, hanem a helyi, jól alkalmazkodott egyedek gyökérsarjai is jelen lehetnek. Azokat az időskorú egyedeket azonban, amelyekről a gyökérsarjak származhattak, a vizsgálati területen nem találtuk meg. Ennek két oka lehet: 1. kitermelték az egyedet, amely ezt követően képzett gyökérsarjakat; 2. a mintázott területen kívüli példány sarjait azonosítottuk. Ez utóbbit valószínűsíti, hogy mindkét újulatfolt a terület szélén helyezkedett el.

Az 1. és 2. táblázatban a szülők és az újulat képezte két részpopuláció főbb genetikai jellemzőit hasonlítottuk össze, először a tényleges populációt alkotó összes egyedet figyelembe véve (N), majd az ismétlődő genotípusok kihagyásával korrigált adatsoron (G). Ezzel az összehasonlítással a klónok jelenlétéből fakadó esetleges különbséget kívántuk bemutatni. A kétféle számítási módszer összevetésekor látható, hogy nincs drámai eltérés a sarjak megjelenésével, az állomány egyensúlyi helyzetben van. Erre utalnak a fixációs index (F) 0 körüli értékei is, szintén jelezve a közel egyensúlyi állapotot. Ez az egyébként minden csoportban magas értékekkel megjelenő megfigyelt és a várt heterozigócia (H_o , H_e) adatok hasonlóságából ered. Az újulat és a szülői csoportok összehasonlításakor egyedül a megfigyelt allélszámban (N_a) tapasztalhatunk jelentősebb eltéréseket, ez azonban a mintaszámok egyenlőtlenségével, jelentős eltéréseivel magyarázható. Ezt támasztja alá az is, hogy a gyakorisággal súlyozott effektív allélszám (N_e) esetében az eltérés már alig volt kimutatható. A két újulatfolt genetikai szerkezetét összevetve látható, hogy az allélgyakoriságon alapuló diverzitási indexekben nincs szembeutó különbség.

Az egyedi genotípusok és a tényleges egyedszám aránya (G/N) megmutatja az egyes csoportokra jellemző, elkülöníthető genotípusok arányát, és utal a klónok különböző arányú jelenlétére (a 2. táblázat utolsó oszlopa). Értéke a kocsánytalan tölgy esetében 1, mivel az idősebb állományban ennél a fajnál nem találtunk azonos genotípusból álló sarjcsoportot. Ezzel szemben a molyhos tölgyek esetében kapott 0,881 érték közel 12%-os klónjelenlétre utal. Az 1. újulatfolt esetében számított 0,649 érték jelzi a sarjképződés 30%-ot meghaladó arányát.

1. táblázat: A szülői csoportok és a vizsgált újulatfoltok genetikai szerkezetének főbb adatai és diverzitási mutatói

Table 1: The main genetic parameters and diversity indices of the adult stand in comparison with the juvenile group

	N	N_a	N_e	I	H_o	H_e	F
Szülők/Parents (<i>Qu. petraea</i> s.l.)	10	9,250	6,950	1,996	0,900	0,829	-0,081
Szülők/Parents (<i>Qu. robur</i>)	200	24,250	8,653	2,368	0,833	0,856	0,027
Szülők/Parents (<i>Qu. pubescens</i> s.l.)	168	28,000	9,584	2,566	0,872	0,881	0,010
Újulatfolt 1./Juvenile clump 1	37	14,000	7,429	2,168	0,811	0,834	0,021
Újulatfolt 2./ Juvenile clump 2	38	14,000	7,164	2,215	0,908	0,859	-0,057

(a négy vizsgált mikroszatellit lokusz értékeinek átlaga), ahol N: egyedszám, N_a : tényleges allélszám, N_e : effektív allélszám, I: Shannon-index, H_o : megfigyelt heterozigócia, H_e : várt heterozigócia, F: fixációs index

(mean across the four microsatellit loci analysed), where N: sample size, N_a : number of alleles, N_e : number of effective alleles, I: Shannon's information index, H_o : observed heterozygosity, H_e : expected heterozygosity, F: fixation index

2. táblázat: A szülői csoportok és a vizsgált újulatfoltok genetikai szerkezetének főbb adatai és diverzitási mutatói
Table 2: The main genetic parameters and diversity indices of the parent groups in comparison with the two juvenile clumps

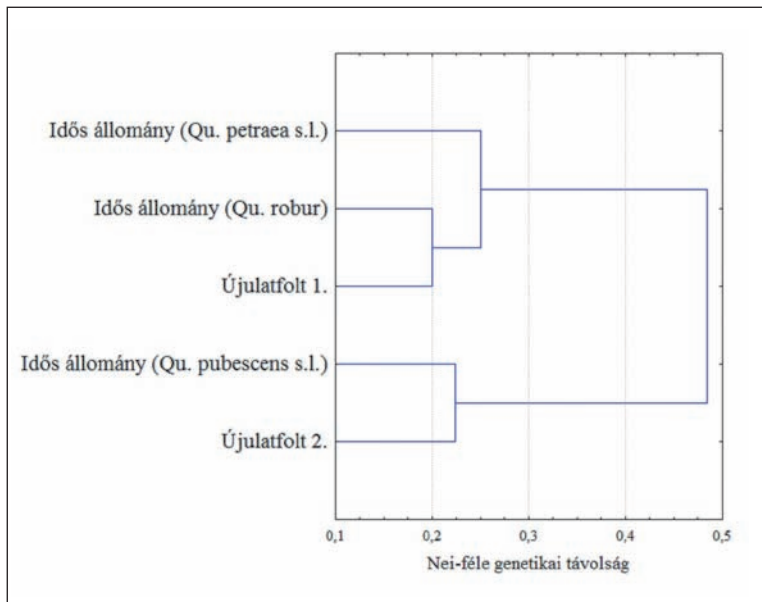
	G	N _a	N _e	I	H _o	H _e	F	G/N
Szülők/Parents (<i>Qu. petraea</i> s.l.)	10	9,250	6,950	1,996	0,900	0,829	-0,081	1,000
Szülők/Parents (<i>Qu. robur</i>)	186	23,750	8,672	2,360	0,832	0,855	0,027	0,930
Szülők/Parents (<i>Qu. pubescens</i> s.l.)	148	28,000	9,708	2,565	0,875	0,880	0,006	0,881
Újulatfolt 1./Juvenile clump 1	24	14,000	7,916	2,229	0,833	0,842	0,006	0,649
Újulatfolt 2./ Juvenile clump 2	33	14,000	7,420	2,243	0,909	0,863	-0,054	0,868

(a négy vizsgált mikroszatellit lokusz értékeinek átlaga) klónok nélkül, ahol G: egyedi genotípusok száma, Na: tényleges allélszám, Ne: effektív allélszám, I: Shannon-index, Ho: megfigyelt heterozigócia, He: várt heterozigócia, F: fixációs index, G/N: egyedi genotípusok aránya

(mean across the four microsatellit loci analysed) without clones, where G: number of identical genotypes, Na: number of alleles, Ne: number of effective alleles, I: Shannon's information index, Ho: observed heterozygosity, He: expected heterozygosity, F: fixation index, G/N: proportion of unique genotypes

A két vizsgált újulatfolt, valamint az állomány három tölgyfajba sorolt időskorú egyedei között számított genetikai távolság (Nei 1978) és UPGMA dendrogram szerkesztési eljárás alapján az öt csoport közötti genetikai kapcsolatot ábráztuk (3. sz. ábra). Az ábrán látható, hogy az 1. újulatfolt egyedei a kocsányos tölgy csoporttal mutatnak nagyobb hasonlóságot, míg a 2. újulatfolt egyértelműen inkább a molyhos tölgyekhez áll közelebb.

Az idős állományban, illetve az újulatban egyaránt megjelenő sarjak egyértelműen jelzik, hogy nem csupán a mesterséges, emberi hatásra bekövetkezett vegetatív felújulás zajlott az állományban, hanem



3. ábra: A két vizsgált újulatfolt és a különböző taxonómiai csoportok egymáshoz viszonyított helyzete a Nei-féle genetikai távolságuk alapján (UPGMA dendrogram)

Figure 3: The genetic relationship between the taxonomic groups and the two analysed juvenile clumps based on the Nei's genetic distance matrix (UPGMA dendrogram), where Idős állomány denotes adult stand and Újulatfolt denotes juvenile clump

természetes szaporodási stratégiaként is jelen van mindhárom tölgy fajcsoport esetében. Ezen kívül az újulatnál számba kell venni a vad okozta újrasarjadás lehetőségét is.

KÖVETKEZTETÉSEK

Vizsgálataink során egy Sopron határában található, európai fehér tölgy fajokban és hibridekben igen gazdag erdőrészet taxonómiai és genetikai jellemzőit vizsgáltuk térinformatikai lehetőségeket is felhasználva. A területen kocsánytalan tölgyek (*Q. petraea*, *Q. dalechampii*), molyhos tölgyek (*Q. pubescens*, *Q. virgiliana*) és kocsányos tölgy (*Q. robur*) egyedek is előfordultak. A csertölgy (*Q. cerris*) jelenlétét is megfigyeltük, de a további vizsgálatból kizártuk amiatt, hogy nem képez szaporodási közösséget a nemes tölgyekkel, így genetikailag is élesen elválik azoktól. A területen jelentős számban azonosítottunk köztes morfológiát mutató, feltételezhetően hibrid eredetű egyedeket is. Az egyedek taxonómiai besorolásával és elhelyezkedésük térbeli ábrázolásával összefüggés mutatható ki a fajok eltérő ökológiai igényére vonatkozóan.

Az alkalmazott mikroszatellit markerezési módszer, az egyedekre jellemző DNS-motívumok vizsgálata alapján, lehetőséget nyújtott az egyes fák genetikai azonosítására. Az azonos genotípussal jellemezhető egyedek viszonylag magas aránya (9%) jelzi a hosszú ideje folyó sarjzartatás következményeit az állományban. Összehasonlítva ugyanakkor más sarjerdőkben végzett, hasonló vizsgálatok eredményeivel (Bakker és mtsai 2001, Copini és mtsai 2005), az általunk kapott 9%-os sarjárány nem jelez drámai változást az állomány genetikai szerkezetében.

A vizsgálat egyik érdekes eredménye volt a mindkét újulatfoltban megtalálható sarjeredetű fiatal egyedek magas aránya (35% és 13%). Ez a tény egyértelműen jelzi, hogy a területen nem csupán a generatív reprodukció, hanem a vegetatív szaporodás is szerepet kap. Feltételezhető, hogy a gyökérsarjak révén a helyi viszonyokhoz jól alkalmazkodott időskorú egyedek foglalják el a nekik alkalmas mikrotermőhelyeket.

Az újulat genetikai sajátosságai nem mutatnak éles különbséget az időskorú állományhoz viszonyítva. A tényleges allélszám ugyan alacsonyabb az újulat esetében, azonban az effektív allélszámban ez a különbség már kiegyenlítődik. A kiemelkedően magas heterozigócia értékek, valamint az allélgyakoriságokból származtatott Shannon-index magas genetikai diverzitásra utalnak a természetes újulatban. A vizsgálatban elemeztük a különböző tölgyfajok genetikai elkülönülésének mértékét is. Ugyan nem találtunk markáns elkülönülést a csoportok genetikai távolsága (Nei 1978), illetve a csoportok közötti genetikai változatosság arányában (F_{ST} értékek), azonban a két újulatfoltba tartozó egyedeket így is sikerült valamely faji csoporthoz sorolni a genetikai mintázatuk alapján. Mindezek alapján elmondható, hogy az 1. újulatfolt a kocsányos tölgyek alakköréhez hasonlított jobban, számos sarjjellegű egyeddel, a 2. újulatfolt viszont inkább a molyhos tölgyekhez állt közelebb. Ez részben az elhelyezkedésükből is következhetett.

Összefoglalásképpen elmondható, hogy az újulatban is kimutatott jelentős „klónhatás” alig befolyásolta a genetikai szerkezetet. Jól alkalmazkodott, értékes állományokban, génmegőrzést szolgáló in situ génrezervátumokban a természetes úton megjelenő generatív utódnemzedékek létrejöttét és fennmaradását segítő beavatkozások mellett a sarjzartatásnak is lehet létjogosultsága. Vizsgálati eredményeink rámutatnak, hogy a hosszú ideje folytatott sarjzartatás hatására gazdasági szempontból leromlott erdőállományok is hordozhatnak magas genetikai értékeket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk kifejezni köszönetünket a terepi munkában való részvételükért kollégáinknak, Páli Lászlónak és Takács Rolandnak, valamint a laboratóriumi vizsgálatok kivitelezéséért Kanizsai Andrásnénak.

A kutatást az OTKA T 46940 és az OAKFLOW QLK5-2000-00960 számú pályázatok finanszírozásával végeztük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bakker, E.G.; Van Dam, B.C.; Van Eck, H.J. and Jacobsen, E. 2001: The description of clones in ancient woodland of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl. with microsatellites and AFLP. in: Bakker E.G. (edit.) 2001: Towards molecular tools for management of oak forests. Alterra Green World Research. Wageningen. p. 34–43.
- Borovics A. 2000: Keresztezési kísérletek és taxonómiai vizsgálatok az őshonos tölgyek hazai alakkörében. PhD értekezés (NYME EMK).
- Copini P.; Buiteveld J.; den Ouden J. and Sass-Klaassen U.G.W 2005: Clusters of *Quercus robur* and *Q. petraea* at the Veluwe (The Netherlands). Centre for Genetic Resources Report 1. CGN/DLO Foundation. Wageningen. p. 19.
- Curtu A.L.; Gailing O.; Leinemann L. and Finkeldey R. 2006: Genetic Variation and Differentiation Within a Natural Community of Five Oak Species (*Quercus* spp.). *Plant Biology* 9. p. 116–126.
- Curtu A.L.; Gailing O. and Finkeldey R. 2007: Evidence for hybridization and introgression within a species-rich oak (*Quercus* spp.) community. *BMC Evolutionary Biology* 2007, 7: 218
- Dow B.D.; Ashley M.V. and Hove H.F. 1995: Characterization of highly variable (GA/CT)*n* microsatellites in the bur oak *Quercus macrocarpa*. *Theoretical and Applied Genetics* 91: 137–141.
- Dow, B.D. and Ashley, M.V. 1996: Microsatellite analysis of seed dispersal and parentage of saplings in bur oak, *Quercus macrocarpa*. *Molecular Ecology* 5: 615–627
- Gugerli F.; Walser J.-C.; Dounavi K.; Holderegger R.; Finkeldey R. 2007: Coincidence of Small-scale Spatial Discontinuities in Leaf Morphology and Nuclear Microsatellite Variation of *Quercus petraea* and *Qu. robur* in a Mixed Forest. *Annals of Botany* 99: 713–722.
- Mátyás V. 1967: A tölgyek dendrológiai ismertetése in: Keresztesi B. (szerk.) 1967: A tölgyek. Akadémiai Kiadó. Budapest. pp. 51–71.
- Nei M. 1978: Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89: 583–590.
- Oakflow Final Report 2004: OAKFLOW: Intra and interspecific gene flow in oaks as mechanisms promoting diversity and adaptive potential. EU-programme: 5. Frame Research Programme 1.1.5 Sustainable agriculture, fisheries and forestry. EU project number: QLK5-2000-00960
- Peakall R. and Smouse P.E. 2006: GenA1Ex 6.4: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*. 6: 288–295.
- Petit R.J.; Brewer S.; Bordács S.; Burg K.; Cheddadi R.; Coart E.; Cottrell J.; Csaiik U.M.; van Dam B.; Deans J.D.; Espinel S.; Fineschi S.; Finkeldey R.; Glaz I.; Goicoechea P.G.; Jensen J.S.; König A.O.; Lowe A.J.; Madsen S.F.; Mátyás G.; Munro R.C.; Popescu F.; Slade D.; Tabbener H.; de Vries S.G.M.; Ziegenhagen B.; Beaulieu J.L.; Kremer A. 2002: Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management* 156: 5–26.
- Podani J. 1997: Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeldtárás rejtelmeibe. Scientia Kiadó. Budapest. p. 145.
- Scotti-Saintagne, C.; Mariette, S.; Porth, I.; Goicoechea, P.G.; T. Barreneche, T.; Bodenes, C.; Burg, K. and A. Kremer, A. 2004: Genome scanning for interspecific differentiation between two closely related oak species (*Quercus robur* L. and *Qu. petraea* (Matt.) Liebl.). *Genetics*. 168: 1615–1626.
- Steinkellner, H.; Fluch, S.; Turetschek, E.; Lexer, C.; Steiff, R.; Kremer, A.; Burg, K and Gloessl, J. 1997: Identification and characterization of (GA/CT)*n* microsatellite loci from *Quercus petraea*. *Plant Molecular Biology* 33, 1093–1096.
- Streiff, R.; Ducouso, A.; Lexer, C.; Steinkellner, H.; Gloessl, J. and Kremer A. 1999: Pollen dispersal inferred from paternity analysis in a mixed oak stand of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Molecular Ecology* 8: 831–842.
- Weir B.S. 1996: Genetic Data Analysis II. Sinauer Associates Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts. p.166.

- Weising K.; Nybom H.; Wolff K. and Kahl G. 2005: DNA Fingerprinting in Plants Principles, Methods and Applications. CRC Press, Boca Raton. p. 9, 43, 217–218.
- ArcMap 9.0 Software. <http://www.esri.com> (2011-05-13)
- GeneMapper 4.0 Software. <http://www.appliedbiosystems.com> (2011-05-13)
- Quercologist. Határozóprogram a Kárpát-medence tölgyfajainak meghatározásához. <http://ngt-erdesztet.emk.nyme.hu/quercologist/default.htm> (2011-05-13)

Érkezett: 2011. május 17.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Albínó tölgymagonc

A természet halálos kimenetelű játéka. Spontán mutáció következtében teljes klorofilhiányos (ezért életképtelen) tölgymagonc megjelenése a bogdásai plantázs utódgenerációjában. A magonc a sziklevelekben tárolt tápanyagok felélése után elpusztult. Ritka jelenség, esetünkben 1400 egyed közül ez volt az egyetlen, amely a vad típustól bármilyen formában eltért. A dísznövény kertészek számára az ilyen rendellenesség egy-egy új fajta előállításának kiindulópontja lehet, ami rendszerint csak vegetatív úton (oltás, dugványozás) tartható fenn.

Fotó: Borovics Attila

NYÁR GENOTÍPUSOK AZONOSÍTÁSA DNS UJJLENYOMATUK ALAPJÁN

Cseke Klára, Benke Attila és Borovics Attila

Erdészeti Tudományos Intézet

Kivonat

Kutatásunk célja a nyár genotípusok molekuláris genetikai azonosítását lehetővé tevő módszer tesztelése volt. A kutatáshoz mikroszatellit (SSR) technikát választottunk, amely a növényi genomban nagy számban jelenlévő, ismétlődő szekvencia motívumok vizsgálatán alapul. Az alkalmazott kilenc marker segítségével az egyedek ujjlenyomatszintű azonosítása valósítható meg. Ennek megfelelően a genotípus adatok a fajtákra jellemző azonosító kódként használhatók. A módszert 36, a nyárnemesítés szempontjából fontosabb nyárfajta, fajtajelölt és kísérleti klón példáján mutatjuk be. A módszer alkalmas lehet a jövőben a hazai nemesnyár fajták fajtavédelmében, szaporítóanyag felügyeletében történő alkalmazásra.

Kulcsszavak: nyárfajták, mikroszatellit markerek, genetikai azonosítás, fajtavédelem

IDENTIFICATION OF POPLAR GENOTYPES BASED ON DNA FINGERPRINTING METHOD

Abstract

A molecular genetic method was tested in order to identify poplar genotypes based on their DNA fingerprints. Applying nine microsatellite (SSR) markers the individuals were clearly distinguishable from each other. Therefore, the genetic code resulted from the analysis can be used as an identification code for each individuals. The study presented here comprises the method description by the genetic identification of 36 poplar cultivars and candidate clones. The method is proposed for variety protection and for the official control of reproductive materials as well.

Keywords: poplar cultivars, microsatellite markers, genetic identification, cultivar protection

BEVEZETÉS

A nemesnyár-termesztés egyik sajátossága, hogy kizárólag fajtákkal dolgozik, amelyek vegetatív úton fenn tartott és továbbszaporított klónok. Bár a vegetatív továbbszaporítás módja eltérő lehet (dugványozás – *Aigeros* DUBY szekcióba tartozó fajok, oltás – *Leuce* DUBY szekció fajai esetén), a cél minden esetben ugyanaz: a nemesítői munka során létrehozott, a gyakorlati felhasználás szempontjából meghatározó kiváló fenotípusos jelleget mutató egyedek genetikai állományának változatlan formában történő továbbörökítése, azaz magának az egyednek a klónozása. Tehát egy adott fajta minden egyede egy adott genotípust képvisel,



vagyis egy egyedre vezethető vissza, azaz a DNS információtartalma e fajtán belül minden egyedben megegyező. Így abban az esetben, ha az adott nemesnyár fajta genetikai mintázata ismert, klónjai laboratóriumi körülmények között is azonosíthatóvá válnak.

A genetikai ujjlenyomat (*genetic fingerprint*) – akárcsak a hagyományos ujjlenyomat – az egyedek azonosítását teszi lehetővé. Ebben az esetben azonban morfológiai jellegek helyett a DNS bizonyos szakaszainak egyedi mintázatát vizsgáljuk.

Az ún. mikroszatellit régiók kódoló funkció nélküli, nem génjellegű DNS szakaszok. Jellegzetesen egy rövid, 1-5 bázispárból álló szekvenciamotívum nagyszámú ismétlődéséből állnak. Erre utal a gyakorlatban elterjedt szinonim elnevezésük is, az SSR (*simple sequence repeat*). Az ismétlődések számában – és így a mikroszatellit régió hosszában – nagy egyedi különbségek lehetnek. Változatosságuknál fogva alkalmasak a genom részletes vizsgálatára, egy adott faj populációgenetikai vagy leszármazástani kutatására, illetve az egyes egyedek azonosítására (Hajósné Novák 1999).

A nyár nemzetség fajaira (*Populus* spp.) számos mikroszatellit markerrégiót azonosítottak (PTR-sorozat *P. tremuloides* genomból [Rahman és mtsai 2000, Rajora és Rahman 2001]; WPMS-sorozat *P. nigra* genomból [van der Shoot és mtsai 2000, Smulders és mtsai 2001]; PMGC-sorozat *P. trichocarpa* genomból [The International Populus Genome Consortium http://www.ornl.gov/sci/ipgc/ssr_resource.html]; ORPM-sorozat *P. trichocarpa* genomból [Tuskan és mtsai 2004]), amelyek általában a különböző szekcióba tartozó nyár fajoknál egységesen megtalálhatóak, tehát a *Populus* nemzetségen belül univerzálisan alkalmazhatóak. Ezek után az első, marker-régiókat leíró és tesztelő vizsgálatok után megjelentek a kereskedelmi forgalomban megtalálható fontosabb nyár fajták genetikai azonosítását célzó vizsgálatok. Rajora és Rahman (2003) Kanadában 17 nemes nyár (*Populus x euramericana* GUINIER) fajtát különített el, amelyhez mindössze négy mikroszatellit marker elegendő volt (PTR-sorozat). Khasa és mtsai (2003) egy kanadai géngyűjteményben 15 kétséges eredetű nyár klón szülőit azonosította be négy mikroszatellit marker (PMGC-sorozat) segítségével. A Fossati és mtsai (2005) által végzett nemesnyár klónazonosítás felhívta a figyelmet a nemesítés és a fajtaminősítés során felbukkanó esetleges hibákra. Vizsgálatainkban 66, elsősorban Olaszországban nemesített nyár klón genetikai ujjlenyomatát készített el, hat mikroszatellit marker alkalmazásával (PMGC 14, WPMS 9, 14, 16, 18, 20). A vizsgálatok során olyan fajtákat is találtak, amelyek genetikailag egyetlen klónnak tekintendők, annak ellenére, hogy a DUS vizsgálatot is magában foglaló fajtaelismerés során korábban önálló fajtaként jegyezték be őket. Rathmacher és mtsai (2009) a nyár fajtaazonosítás módszertanára egy standard eljárást dolgoztak ki, hét mikroszatellit marker (PMGC 14, 2163, WPMS 5, 9, 14, 18, 20) alkalmazásával. Eredményeik szerint a jövőben lehetőség nyílna különböző laboratóriumok eredményeinek összehasonlítására, valamint egy egységes nemzetközi fajtanyilvántartás kialakítására is.

Az Erdészeti Tudományos Intézetben 2007 óta végzünk ujjlenyomat szintű genetikai egyedazonosítást. Különböző nyár fajok (*Populus* spp.) esetében eddig 16 mikroszatellit markert vizsgáltunk, és összesen 94 nyár klón genetikai azonosító kódja áll rendelkezésünkre, ideértve a fajtasortimentben szereplő összes hazai és a jelentősebb külföldi fajtákat, fajtajelölteket, illetve a nemesítés során előállított ígéretes klónokat.

Ebben a munkában a legfontosabb 36 nyár fajta és fajtajelölt példáján kívánjuk bemutatni a módszerben rejlő lehetőségeket.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgált növényanyag

Az itt bemutatott vizsgálathoz az ERTI Bajti Csemetekertjében található nyár fajtagyűjteményből választottuk ki az 1. számú táblázatban szereplő növényanyagot. A minták kiválasztásakor természetesen a legfontosabb hazai fajtákra és ígéretes fajtajelöltekre koncentráltunk. A mintasort kiegészítettük olyan külföldön nemesített fajtákkal, amelyeknek szintén nagy a jelentőségük a hazai gazdálkodásban. Annak érdekében,

1. táblázat: A vizsgálathoz kiválasztott 36 genotípus és azok taxonómiai besorolása
 Table 1: The 36 genotypes with their taxonomic classification selected for analysis

Fajtanév, klónazonosító	Taxonómiai besorolás
'Durvakérgű'	<i>P. deltooides</i>
Jegyenenyár (kultúrváltozat)	<i>P. nigra</i>
'Lovasiskola'	<i>P. nigra</i>
'Agathe-F'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Aprólevelű'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'BL'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Blanc du Poitou'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'H-328'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'I-45/51'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'I-154'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'I-214'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'I-273'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Koltay'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Kopecky'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Pannónia'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Rábamenti'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Robusta'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Sudár'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Sv-778'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Sv-871'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Sv-879'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Sv-890'	<i>P. x euramericana (P. deltooides x P. nigra)</i>
'Adonis'	<i>P. deltooides x P. x euramericana</i>
'S-298-8'	<i>P. deltooides x P. x euramericana</i>
'Tripló'	<i>P. deltooides x P. x euramericana</i>
'Muhle Larsen'	<i>P. trichocarpa</i>
'V-24'	<i>P. trichocarpa</i>
'Beaupre'	<i>P. x interamericana (P. trichocarpa x P. deltooides)</i>
'Unal'	<i>P. x interamericana (P. trichocarpa x P. deltooides)</i>
'Raspalje'	<i>P. x interamericana (P. trichocarpa x P. deltooides)</i>
'Sv-490'	<i>P. x interamericana (P. deltooides x P. trichocarpa)</i>
'Sv-487'	<i>P. x interamericana (P. deltooides x P. trichocarpa)</i>
'Kornik-21'	<i>P. maximowiczii x P. x berlinensis</i>
'Meggylevelű'	<i>P. maximowiczii x P. trichocarpa</i>
'Villafranca'	<i>P. alba</i>
'Favorit'	<i>P. alba x P. grandidentata</i>

hogyan ellenőrizhessük az esetleges taxonómiai elkülönülést, a vizsgálatba a nyárnemesítés fontosabb alapfajai közül is vontunk be egyedeket. Így vizsgáltunk két fekete nyár (*Populus nigra* L.) genotípust (jegenyenyár, 'Lovasiskola') és két nyugati balzsamos nyár (*Populus trichocarpa* TORR. et GRAY) genotípust ('Muhle Larsen', 'V-24'). Az amerikai fekete nyárat (*Populus deltoides* MARSCH.) a 'Durvakérgű', a *Leuce* szekciót pedig a 'Villafranca' (*Populus alba* L. cv. Villafranca) és a 'Favorit' (*Populus alba* L. x *Populus grandidentata* MICHX. cv. Favorit) fajták képviselik.

Mikroszatellit analízis

A DNS kivonásához fiatal levélszövetet használtunk, amelyet folyékony nitrogénnel lehűtve, mozsárban porrá őröltünk. Az így feltárt növényi mintából QIAGEN DNS-izoláló készlettel (DNeasy Plant Mini Kit) nyertük ki a DNS-t. A kivont DNS-koncentrációját agaróz gélelektroforézis (0,5%-os) során ellenőriztük.

A vizsgálatához 9 mikroszatellit markerrégiót alkalmaztunk, amelyeket korábbi publikációk alapján választottunk ki (Fossati és mtsai 2005; Rathmacher és mtsai 2009). A WPMS-sorozatból (van der Shoot és mtsai 2000; Smulders és mtsai 2001) hat marker származott, amelyek a következők voltak: WPMS 5, 9, 14, 16, 18, 20. A PCR reakció összeállításakor a szakirodalomban közölt információkat követtük. Három további marker a *Populus trichocarpa* genomból leírt PMGC-sorozatból került ki (PMGC 14, 2163, 2060), a PCR reakció összeállításához szükséges információk a The International Populus Genome Consortium hivatalos weboldalán megtalálhatók (http://www.ornl.gov/sci/ipgc/ssr_resource.htm).

A mikroszatellit fragmentumok pontos méretét (fragmentanalízis) ABI Prism 310-es genetikai analízátorral határoztuk meg. A lézeres detektálásra C-mátrixot (DS-34) alkalmaztunk, 6-FAM, TET, HEX fluoreszcens jelölésekkel és TAMRA-500 belső méretstandarddal. A fragmentumhosszak lekódolását a GeneMapper szoftverrel végeztük.

Statisztikai értékelés

A fragmentanalízis során nyert mikroszatellit hosszának adatsorát, vagyis a markerek alléllösszetételét és az egyes egyedek genotípusát a GenAlEx 6.4 (Peakall és Smouse 2006) populációgenetikai szoftver segítségével elemeztük.

Az alkalmazott kilenc mikroszatellit marker felbontóképességét, így alkalmasságát az egyedszintű azonosításra egy statisztikai mutató segítségével ellenőriztük. Az azonos genotípus valószínűség-mutató (P_{ID}) annak a valószínűségét adja meg, hogy az adott mintasorból véletlenszerűen kiemelt bármely két, egymással genetikailag nem azonos egyed alléllösszetétele megegyezik (Weising és mtsai 2005). Értéke, amely 0 és 1 között változhat, minél közelebb áll a 0-hoz, annál megbízhatóbb az egyedazonosításra alkalmazott markerek köre (így értelemszerűen annál kisebb a valószínűsége, hogy eltérő klónok esetében azonos alléllösszetételt állapítunk meg).

Ezt követően ellenőriztük, hogy minden vizsgált minta egyedi genotípuskóddal rendelkezik-e. Összefoglaltuk a vizsgált markerek főbb statisztikai mutatóit: a megfigyelt allélszámot (N_a), a gyakorisági értékekkel súlyozott effektív allélszámot (N_e), valamint az allélgyakorisági értékekből származtatott mutatókat, mint a Shannon Információs Indexet (I), a várt heterozigóciát (H_e), a megfigyelt heterozigóciát (H_o), valamint az előző két mutatóból levezethető fixációs indexet (F). Ez a populációgenetikai kutatásokban gyakran alkalmazott index ún. nullallélok jelenlétét jelezheti, amelyek olyan allélkieséseket jelentenek, amelyek egy mutáció hatására meghiúsuló amplifikációból erednek (Weising és mtsai 2005).

A GenAlEx 6.4 program segítségével kiszámítottuk a minták genetikai távolságát, páronkénti összehasonlításban. A genetikai távolságok alapján dendrogramot szerkesztettünk, amelyen az egyedeket genetikai rokonságuk alapján csoportokba rendeztük, és ezzel az egymáshoz viszonyított rokonsági-leszármazási kap-

csolatukat szemléltettük. A klónok csoportosítása a klaszteranalízis UPGMA eljárásával készült (Podani 1997). A dendrogram szerkesztéséhez a Statistica 6.0 (StatSoft. Inc. 2001) programot használtuk.

EREDMÉNYEK

Az alkalmazott kilenc mikroszatellit markerrel sikerült egyedileg azonosítanunk a vizsgálatba vont legfontosabb hazai és külföldi nyár fajtákat, fajtajelölteket, illetve kísérleti klónokat. A markerek kombinációjából nyert azonos genotípus valószínűség-mutató értéke nullához közelített ($P_{ID} = 2,3 \times 10^{-13}$). Ez alapján kijelenthető, hogy ilyen markerszám mellett a téves genotípus-azonosítás valószínűsége elhanyagolható.

A 2. táblázatban a jelen tanulmányhoz kiválasztott kilenc mikroszatellit marker főbb statisztikai mutatóit foglaltuk össze, a 36 vizsgálatba vont genotípus elemzése alapján.

2. táblázat: A 36 vizsgálatba vont nyár genotípus azonosítására kiválasztott kilenc mikroszatellit marker főbb statisztikai adatai
Table 2: Main statistic parameters of the selected 9 microsatellite markers based on the analysis of 36 poplar genotypes

	PMGC 2163	PMGC 2060	PMGC 14	WPMS 9	WPMS 20	WPMS 16	WPMS 18	WPMS 14	WPMS 5
N	36	32	34	33	34	36	35	36	36
N_a	18	13	14	15	10	13	11	17	23
N_e	5,226	4,613	7,114	8,475	3,959	5,355	5,052	7,043	13,787
I	2,184	1,966	2,240	2,374	1,722	2,027	1,954	2,355	2,852
H_o	0,889	0,875	0,941	0,242	0,735	0,861	0,771	0,861	0,944
H_e	0,809	0,783	0,859	0,882	0,747	0,813	0,802	0,858	0,927
F	-0,099	-0,117	-0,095	0,725	0,016	-0,059	0,038	-0,004	-0,018

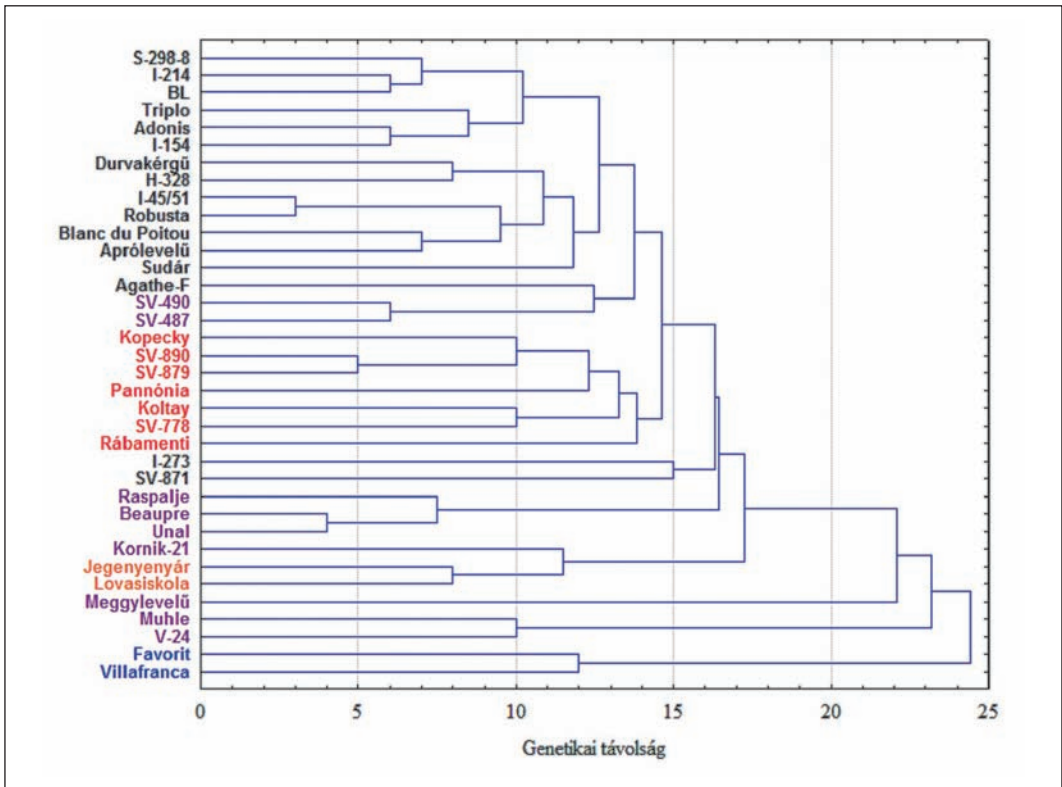
A statisztikai adatok alapján megállapítható, hogy a leginformatívabb marker a WPMS 5-ös volt, 23 különböző alléllal, a legmagasabb effektív allélszámmal ($N_e=13,787$) és magas heterozigóta aránnyal ($H_o=0,944$). A legkevesebb allélt a WPMS 20-as és WPMS 18-as markereknél kaptuk, ahol 10 illetve 11 különféle hosszváltozatot mértünk. Ez az érték azonban még így is meglehetősen nagy változatosságot jelent a 36 egyedből álló mintasornál. A WPMS 9-es marker esetében a várthoz képest igen alacsony heterozigóciát tapasztaltunk ($H_o=0,242$), tehát a minták többsége homozigóta genotípussal rendelkezett. A kiemelkedően magas, pozitív fixációs érték ($F=0,725$) szintén ezt jelzi. Ez nagy valószínűséggel mutáció következtében kialakult nullalélok jelenlétére hívja fel a figyelmet.

Az 1. számú ábrán a vizsgálatba vont 36 nyár genotípus kapcsolatát ábrázoltuk, a genetikai távolság mátrix alapján szerkesztett dendrogramon.

A dendrogram több nagyobb ágra bomlik, amelyeken belül a genetikailag hasonlóságot mutató klónok további kisebb csoportjait különíthetjük el.

A felső főágon (a 'Raspalje' fajta „felett”) található valamennyi euramerikai nemesnyár hibrid, köztük külön alcsoportot képeznek az ERTI Sárvári Kísérleti Állomásán nemesített fajták és fajtajelöltek ('Kopecky', 'Pannónia', 'Koltay', 'Rábamenti', illetve 'SV-890' és 'SV-879' testvérklónok, 'Sv-778', piros színnel kiemelve). Szintén a diagram felső felén, más csoportoktól jól elkülönülten jelennek meg a *P. deltoides* anyai és *P. trichocarpa* apai szülőkkal rendelkező sárvári fajtajelöltek ('Sv-487' és 'Sv-490' testvérklónok, lila színnel jelölve). Érdekeség, hogy a reciprok keresztezésből származó *P. x interamericana* BROCKH. hibridek ('Raspalje', 'Beaupre', 'Unal', szintén lila színnel jelölve) a diagram alsó felén alkotnak különálló csoportot. A módszer hatékonyságát mutatja, hogy az egy keresztezési kombinációból származó klónok egymás mellett vagy

egymáshoz nagyon közel helyezkednek el, azaz a közeli rokonság jól kimutatható ('Sv-487' – 'Sv-490', 'Sv-879' – 'Sv-890', 'Pannónia' – 'Kopecky'). Ugyancsak érdekesség, hogy a triploid fajták ('Adonis', 'Triplo', 'S-298-8') szintén közeli rokonságot mutatnak, így a dendrogramon egymáshoz közel helyezkednek el.



1. ábra: A vizsgálatba vont 36 nyár genotípus egymáshoz viszonyított helyzete a genetikai távolságuk alapján szerkesztett UPGMA dendrogramon (Podani 1997) ábrázolva

Fig. 1: Genetic dendrogram of the analysed 36 poplar genotypes based on their genetic distances

Az alsó főágon a taxonómiaiag élesebben elkülönülő csoportok találhatók. Mint látható, a fehér nyárak (*Leuce*) szekciójába tartozó fajták ('Villafranca', 'Favorit', kék színnel jelölve) a dendrogram alsó részén, teljesen külön ágon jelennek meg. Szintén külön csoportot alkot a két *P. trichocarpa* egyed is ('Muhle Larsen', 'V-24', lila színnel jelölve). A 'Meggylevelű' fajta ezektől távolabb, külön ágon található. Az európai fekete nyárak (jegenyenyár, 'Lovasiskola', narancssárga színnel) az euramerikai nyáraktól jól elkülöníthető ágra kerültek, távolabbi rokonságot mutatva velük, mint például az interamerikai hibridek. Érdekességként kiemeljük a 'Kornik-21' fajtajelölt dendrogramon elfoglalt helyzetét. Annak ellenére, hogy ezt a nemesnyár klónt *P. maximowiczii* HENRY x *P. x berlinensis* DIPPEL (*P. laurifolia* LEDEB x *P. nigra* L. cv. *Italica*) hibridként jelentették be állami elismerésre, a fekete nyárakkal mutat a dendrogram szerint közelebbi rokonságot – megjelenésében is sokkal inkább mutat *P. nigra* jegyeket. Gergác (2000) *Populus pyramidalis* és *Populus x berlinensis* hibridként említi, azaz anyai szülőként egy oszlopos alakú, nőivarú fekete nyárat nevez meg. A fenti vizsgálatokból ugyan messzemenő taxonómiai következtetéseket nem lehet levonni, de arra mindenképpen alkalmasnak tűnik, hogy a bizonytalan származású fajták, fajtajelöltek ellenőrzésének lehetőségére rámutatasson.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a tanulmányban 36 kiválasztott nyár genotípus – államilag elismert fajta, fajtajelölt és kísérleti klón – példáján mutattuk be a genetikai ujjlenyomat segítségével történő egyedazonosítás lehetőségét. A vizsgálathoz 9 mikroszatellit markert alkalmaztunk, amelyek nagy allélváltozatosságuk révén megfelelő felbontóképességgel rendelkeznek az egyedazonosítás szintű elkülönítéshez. Ennek megfelelően a vizsgálatba vont 36 nyár genotípus egyedileg azonosítható volt. Ezt szemlélteti a vizsgálati eredményekből szerkesztett dendrogram is, a közeli rokonságban álló genotípusok közötti alacsony genetikai távolsággal, illetve a jól elhatárolható, főbb taxonómiai csoportokkal.

A mikroszatellit markerek alkalmazásának – a nyár genetikai markerezésében és fajtaazonosításában – szakmai jelentősége számos területen tetten érhető. A nemesítők a keresztezések megtervezéséhez használhatják, hiszen a távoli genotípusok kiválasztásával nagyobb valószínűséggel érhetnek el heterózisos utódokat. A fajtafenntartás szempontjából is kimagasló jelentősége lehet az eredményeknek, hiszen gyakran olyan fajtaakat vonnak termesztésbe, melyek egymástól csak több morfológiai bélyeg együttes értékelése alapján különböztethetők meg, illetve esetenként (azonos keresztezési kombinációból való származás, közös vagy közeli rokon apai vagy anyai szülő) a fajtahatározás fenotípus alapján nagy biztonsággal el sem végezhető. A DNS ujjlenyomat ugyanakkor megfelelő eszköznek tűnik az illegális fajtahasználát kiszűrésére. A nem jogszzerű használatból fakadó vitás esetekben az egyedazonosításra alkalmas genetikai vizsgálat bizonyító tényezőként használható fel.

A szaporítóanyag-felügyelet számára ugyancsak fontos lehet a genetikai markerekre alapozott fajtaazonosítás. A szaporítóanyag-bázisok, erdészeti vagy energetikai nyárültetvények nem körültekintő, illetve jogszerűtlen telepítése (nem a bejelentett vagy előírt fajta felhasználása) során kialakult vitás esetek tisztázása esetenként csak genetikai vizsgálatokkal lehetséges. A törzsültetvények, központi anyatelepek, üzemi anyatelepek fontos bázisai a fajtafenntartásnak, szaporítóanyag-gazdálkodásnak. Az ilyen ültetvények telepítése, fenntartása során előforduló esetleges fajtakeveredés az általunk alkalmazott módszerrel feltárható, így a hibák javíthatók az ültetvények felszámolása és költséges újratelepítése nélkül.

A szaporítóanyag előállítás során előforduló tévedések, vitás kérdések tehát éppúgy tisztázhatók ezzel a gyors laboratóriumi módszerrel, mint egy esetleges illegális fajtahasználát kérdése vagy egy fajta származására vonatkozó kétely anélkül, hogy a fajtákra jellemző egyedi határozóbélyegek megjelenésére akár éveket kelljen várunk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Fossati, T.; Zapelli, I.; Bisoffi, S.; Micheletti, A.; Vietto, L.; Sala F. and Castiglione, S. 2005: Genetic relationship and clonal identity in a collection of commercially relevant cultivars assessed by AFLP and SSR. *Tree Genetics & Genomes*. 1: 11–19.
- Gergác J. 2000: Helyzetkép a magyar erdészeti növénynemesítésről. *Magkutató, termesztés, kereskedelem*, XIV. (1): 7–11.
- Hajósné Novák M. (szerk.) 1999: Genetikai variabilitás a növénynemesítésben. *Mezőgazda Kiadó*. Budapest. p. 49.
- Khasa, D.P.; Nadeem, S.; Thomas, B.; Robertson, A. and Bousquet, J. 2003: Application of SSR markers for parentage analysis of *Populus* clones. *Forest Genetics* 10(4): 273–281.
- Peakall, R. and Smouse, P.E. 2006: GENALEX 6: Genetic analysis in Excel. *Population genetic software for teaching and research*. *Molecular Ecology Notes*. 6: 288–295.
- Podani J. 1997: Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe. *Scientia Kiadó*. Budapest. p. 145.
- Rahman, M.H.; Dayananda, S. and Rajora, O.P. 2000: Microsatellite DNA markers in *Populus tremuloides*. *Genome* 43: 293–297.



- Rajora, O.P. and Rahman, M.H. 2001: Microsatellite DNA markers and their usefulness in poplars and conservation of microsatellite DNA loci in Salicaceae. in Müller-Starck G. and Shubert R. (eds.) 2001: Genetic Response of Forest Systems to Changing Environmental Conditions. Vol. 70 (For. Sci.). 105–115.
- Rajora, O.P. and Rahman, M.H. 2003: Microsatellite DNA and RAPD fingerprinting, identification and genetic relationship of hybrid poplar (*Populus x canadensis*) cultivars. Theoretical and Applied Genetics. 106: 470–477.
- Rathmacher, G.; Niggemann, M.; Wypukol, H.; Gebhardt, K.; Ziegenhagen, B. and Bialozyt, R. 2009: Allelic ladder and reference genotypes for a rigorous standardization of poplar microsatellite data. Trees. 23: 573–583.
- van der Schoot, J.; Pospiskova, M.; Vosman, B. and Smulders, M.J.M. 2000: Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). Theoretical Applied Genetics. 101 (1–2): 317–322.
- Smulders, M.J.M.; van Der Schoot, J.; Arens, P. and Vosman, B. 2001: Trinucleotide repeat microsatellite markers for black poplar (*Populus nigra* L.). Molecular Ecology Notes 1(3): 188–190.
- StatSoft, Inc. 2001: STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, email: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>
- Tuskan, G.A.; Gunter, L.E.; Yang, Z.K., Yin, T.M., Sewel, M.M. and DiFazio, S.P. 2004: Characterization of Microsatellites Revealed by Genomic Sequencing of *Populus trichocarpa*. Canadian Journal of Forest Research. 34(1): 85–93.
- Weising, K.; Nybom, H.; Wolff, K. and Kahl, G. 2005: DNA Fingerprinting in Plants Principles, Methods and Applications. CRS Press. p. 42, 217.
- The International Populus Genome Consortium: http://www.ornl.gov/sci/ipgc/ssr_resource.html (2011-05-13)

Érkezett: 2011. május 17.
Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.

NYÍRSÉGI AKÁCOSOK TÁJI FATERMÉSI TÁBLÁJA

Rédei Károly, Csiha Imre, Keserű Zsolt, Kamandiné Végh Ágnes és Rásó János

Erdészeti Tudományos Intézet

Kivonat

Magyarországon az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) a legfontosabb állományalkotó exóta lombos fafaj. Kedvező természettechnológiai tulajdonságai, valamint fájának egyre bővülő felhasználási lehetőségei révén jelenlegi területe hazánkban megközelíti a 420 ezer hektárt. Termesztési körzetei közül meghatározó jelentőségű a Nyírség erdészeti táj, ahol mintegy 23 000 ha akácos tenyészik. Növekedési menetük és fatermésük mind pontosabb meghatározására készült el a kísérleti parcellák faállomány-felvételeire épülő táji numerikus fatermési tábla, amely a táji erdészet-politikai irányelvek indoklásánál is előnyösen használható.

Kulcsszavak: fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.), táji fatermési tábla, Nyírség (ÉK-Magyarország)

LOCAL YIELD TABLES FOR BLACK LOCUST AT NYÍRSÉG

Abstract

In Hungary the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) can be considered as the most important stand-forming exotic tree species. Due to its favorite growing technological characteristics as well as its wood utilization possibilities the present area occupied by black locust stands amounts to 420 thousand hectares. Of its growing districts Nyírség (North-East Hungary) has a distinguished importance where the area of black locust stands is about 23,000 hectares. To determine their growth rate and yield as exact as possible a local numerical yield table has been constructed on the basis of surveys of the experimental plots established in black locust stands. The yield table can be favourably used for the explanation on the local forest-oriented directives as well.

Keywords: black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), local yield table, Nyírség (North-East Hungary)

BEVEZETÉS

A Nyírség Magyarország legjelentősebb akáctermesztő tája, itt tenyésznek az ország legjobb hozamú akácosai. Ezen akácok egy része – kiváló vagy jó genetikai tulajdonságaik révén – képezi alapját a hazai akác génbank fenntartásának, valamint a jó minőségű szaporítóanyag (magcsemete) előállításához szükséges ellenőrzött származási helyű magmennyiség megtermelésének.



A tájban gazdálkodó NYÍRERDŐ Zrt. (Nyíregyháza) akácosainak területe 22671 hektár (megközelítőleg 5,4%-a az ország összes akácosának), amelyek fatermési osztályok (Rédei 1984) szerinti megoszlása a következő: (Forrás: ÁESZ, 2008).

A fatermési osztályok szerinti%-os területmegoszlás az alábbi:

I. fatermési osztályban:	0,4%
II. fatermési osztályban:	2,7%
III. fatermési osztályban:	16,0%
IV. fatermési osztályban:	31,7%
V. fatermési osztályban:	25,7%
VI. fatermési osztályban:	23,5%

A fenti adatsorból kitűnik, hogy az első három fatermési osztályba tartozik az erdőgazdaság akácosainak mintegy 1/5-e, az első négy fatermési osztályba pedig valamivel több, mint a fele (50,8%). Ezek mindenképpen jobb arányok, mint az ország összes akácosát figyelembe vevő viszonzyszámok.

A Nyírerdő Zrt. akácosainak fatérfogata 2 442 255 m³ (kb. 5,7%-a az ország összes akácállományának). (Forrás: ÁESZ, 2008).

Az 1 ha-ra eső fatérfogat (m³) fatermési osztályonként a következő:

I. fatermési osztályban:	244,8 m ³ /ha
II. fatermési osztályban:	183,1 m ³ /ha,
III. fatermési osztályban:	165,4 m ³ /ha,
IV. fatermési osztályban:	129,3 m ³ /ha,
V. fatermési osztályban:	93,1 m ³ /ha,
VI. fatermési osztályban:	44,3 m ³ /ha.

A kimutatás alapján az I és VI. fatermési osztály értékei közötti különbség majdnem hatszoros, ami azt is érzékelteti, hogy a térség akácosai rendkívül heterogén termőhelyi (ökológiai) viszonyok között tenyésznek.

Az erdőgazdaság összes akácosát tekintve az 1 ha-ra eső fatérfogat 143,3 m³/ha, a területtel súlyozott kor 24 év, a területtel súlyozott fatermési osztály III.

A tájban tenyésző akácosok növekedési menetének és fatermésének mind pontosabb meghatározására készült el a kísérleti parcellák faállomány-felvételére épülő táji numerikus fatermési tábla, amely a táji erdészeti politikai irányelvek indoklásánál is előnyösen használható.

Általánosságban elmondható, hogy az akácállományok fatermésének, illetve földfeletti dendromasszájának számbavételével kapcsolatos szakirodalmi feldolgozások elsősorban hazai vonatkozásúak (Fekete 1937, 1960, Sopp 1974, Keresztesi 1986, Rédei 2007), ugyanakkor viszonylag kevés a nemzetközi adatközlés (Birlanescu 1977, Bridgen 1992, Park 1996, Kohán 2007). Ezen publikációknak összehasonlító értékelése nem tárgya tanulmányunknak.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A fatermési tábla megszerkesztéséhez szükséges alapadatok felvétele 105 erdőrészletben (mintaterületen) történt (1. ábra). A kitűzött mintaterületek négyzet alakúak, nagy többségében 1000 m² területűek, határvonalaik megjelölése maradandó fehér festékkel történt. A kísérleti parcellák összes területe 9,295 ha.

A faállomány-felvételek során mértük, illetőleg a felvételi adatokból számítottuk a főállomány, a mellékállomány és az egészállomány átlagos magasságát, átlagos átmérőjét, fatérfogatát, körlapösszegét és törzsszámat 1 ha-on.



1. ábra: A mintaterületek elhelyezkedése
Figure 1: Locations of the sampling plots

A faállományok fatérfogatának meghatározásához használt alapösszefüggés Sopp (1974) alapján a következő volt:

$$v = 10^{-8} d^2 h^1 (h/[h - 1.3])^2 [-0.6326 d h + 20.23 d + 0.0 h + 3034],$$

ahol

v = egyes fa térfogata (m^3), d = mellmagassági átmérő (cm) és h = famagasság (m).

A fő-és mellékállomány elkülönítésében az érvényben lévő országos akác erdőnevelési modell alapelveit és előírásait vettük figyelembe, vagyis:

- az ökológiai adottságok és a termelési cél függvényében az optimálishoz közelálló ha-onkénti törzsszám és körlepősszeg fenntartását a termelési ciklus különböző szakaszaiban,
- a faállomány szerkezet egyes tényezőinek szabályozásával a célválaszték(ok) minél rövidebb idő alatti előállítását.

A felvett faállományok korát és eredetét az erdőtervi leírások, illetve a helyszíni vizsgálatok alapján állapítottuk meg.

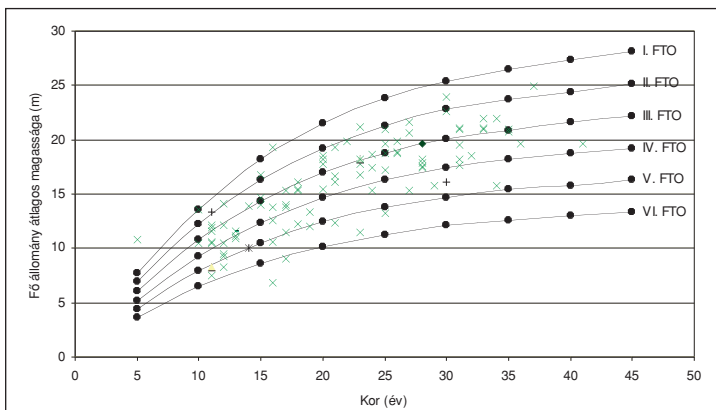
A felvett faállományok korosztályok szerinti megoszlása az alábbi:

1–5 éves korosztályba tartozik:	2 db	1,9%
6–10 éves korosztályba tartozik:	10 db	9,5%
11–15 éves korosztályba tartozik:	9 db	8,6%
16–20 éves korosztályba tartozik:	13 db	12,4%
21–25 éves korosztályba tartozik:	13 db	12,4%
26–30 éves korosztályba tartozik:	18 db	17,1%
31–35 éves korosztályba tartozik:	19 db	18,1%
36–40 éves korosztályba tartozik:	10 db	9,5%
41–45 éves korosztályba tartozik:	5 db	4,8%
46–50 éves korosztályba tartozik:	6 db	5,7%
Összesen:	105 db	100,0%

A felvétellel érintett akácosok fatermési osztályok szerinti (Rédei 1984) megoszlása a következő:

I. fatermési osztályba tartozik:	26 db	24,7%
II. fatermési osztályba tartozik:	36 db	34,3%
III. fatermési osztályba tartozik:	23 db	21,9%
IV. fatermési osztályba tartozik:	14 db	13,3%
V. fatermési osztályba tartozik:	3 db	2,9%
VI. fatermési osztályba tartozik:	3 db	2,9%
Összesen:	105 db	100,0%

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK



2. ábra: Magassági szórásmező a Nyírerdő ZRt. területén a kor és a főállomány átlagos magassága függvényében (Rédei 1984 nyomán)

Figure 2: Standard deviation of height growth plotted against the age and the mean height of the main stand on the area of the Nyírerdő Joint Stock Company (by Rédei 1984)

A fatermési tábla szerkesztéséhez 105 a faállomány-felvétel adatát használtuk fel. A táblaszerkesztés legfontosabb alapösszefüggéseinek (főállomány átlagos magassága a kor függvényében) ellenőrzésére további

90, egyéb célú ERTI állományfelvétel adatát is felhasználtuk. Az adatok értékelése azt bizonyította, hogy a vizsgálatba vont akácok főállománya átlagos magasságának növekedésmenteként az országos akác fatermelési tábla (Rédei 1984, Rédei és Gál 1985) megegyező adatai elfogadhatók (2. ábra).

A numerikus fatermelési tábla hat, azonos relatív magassági növekedési menetű, egyenlő sávzélességű fatermelési osztályra bontva tartalmazza a fő-, mellék- és egészállományra vonatkozóan a főbb állományszerkezeti és fatermelési adatokat (1. táblázat).

1. táblázat: Táji akác fatermelési tábla a Nyírségben tenyésző akácokra
Table 1: Local yield table for black locust stands (Nyírség)

1 ha

Kor	A főállomány					A mellékállomány					Az egészállomány					Összes előhasználat	Előhasználati részarány	Összes fatermés		
	átlagos		fatérfogata	körtáplósszege	törzsszáma	átlagos		fatérfogata	körtáplósszege	törzsszáma	átlagos		fatérfogata	körtáplósszege	törzsszáma			fatérfogata	átlagnövedéke	folyónövedéke
	magassága	átmérője				magassága	átmérője				magassága	átmérője								
	H _g	D _g	V _b	G	N	H _g	D _g	V _b	G	N	H _g	D _g	V _b	G	N			V _b	átlagnövedéke	folyónövedéke
év	m	cm	m ³	m ²	db	m	cm	m ³	m ²	db	m	cm	m ³	m ²	db	m ³	%	m ³	m ³ /év	m ³ /év
Fatermelési osztály: I.																				
5	7,7	6,4	33	6,0	1887	5,8	3,4	8	1,5	1587	7,2	5,2	41	7,5	3474	8	19,8	41	8,3	0,0
10	13,6	11,9	84	10,7	963	10,4	8,0	37	4,6	924	13,1	10,2	121	15,4	1887	45	34,7	129	12,9	17,5
15	18,2	16,6	141	14,6	673	13,8	11,5	29	3,0	290	17,6	15,3	169	17,6	963	73	34,3	214	14,3	17,0
20	21,5	20,6	194	17,8	535	16,4	14,0	23	2,1	138	20,8	19,4	217	19,9	673	97	33,2	291	14,5	15,4
25	23,8	23,8	241	20,4	457	18,2	15,8	18	1,5	78	23,1	22,8	259	21,9	535	115	32,2	356	14,2	13,0
30	25,4	26,5	280	22,4	407	19,4	17,0	14	1,1	50	24,7	25,6	294	23,6	457	129	31,5	409	13,6	10,6
35	26,5	28,8	312	24,2	373	20,2	17,8	11	0,8	34	25,8	28,0	323	25,1	407	140	30,9	452	12,9	8,7
40	27,3	30,8	341	25,8	347	20,8	18,4	9	0,7	26	26,6	30,1	350	26,5	373	149	30,4	490	12,3	7,6
45	28,1	32,8	369	27,3	323	21,4	19,0	9	0,7	24	27,3	32,1	378	28,0	347	158	30,0	527	11,7	7,5
Fatermelési osztály: II.																				
5	6,9	5,7	28	5,4	2126	5,2	2,8	6	1,1	1802	6,5	4,6	34	6,5	3928	6	17,4	34	6,8	0,0
10	12,2	10,6	70	9,7	1085	9,3	6,9	28	3,9	1041	11,7	9,0	99	13,6	2126	34	32,8	105	10,5	14,2
15	16,3	14,9	117	13,2	758	12,4	10,0	23	2,6	327	15,7	13,6	140	15,7	1085	57	32,9	174	11,6	13,9
20	19,2	18,4	161	16,0	603	14,6	12,3	18	1,8	155	18,6	17,3	180	17,9	758	76	31,9	237	11,8	12,5
25	21,3	21,3	200	18,4	515	16,2	13,9	14	1,3	88	20,7	20,4	214	19,7	603	90	31,1	290	11,6	10,6
30	22,8	23,7	232	20,3	459	17,3	15,0	11	1,0	56	22,1	22,9	243	21,3	515	101	30,4	333	11,1	8,6
35	23,7	25,7	258	21,8	420	18,1	15,7	9	0,8	39	23,0	25,0	267	22,6	459	110	29,9	368	10,5	7,0
40	24,4	27,6	282	23,3	391	18,6	16,3	7	0,6	29	23,7	26,9	289	23,9	420	118	29,4	399	10,0	6,2
45	25,1	29,4	305	24,7	364	19,2	16,8	7	0,6	27	24,4	28,7	312	25,3	391	125	29,1	430	9,5	6,1
Fatermelési osztály: III.																				
5	6,1	5,0	24	4,8	2431	4,6	2,2	4	0,8	2070	5,7	4,0	28	5,6	4501	4	14,3	28	5,5	0,0
10	10,8	9,4	58	8,6	1241	8,2	5,8	21	3,2	1190	10,3	7,9	79	11,8	2431	25	30,3	83	8,3	11,1
15	14,3	13,1	95	11,7	867	10,9	8,5	17	2,1	374	13,8	11,9	113	13,9	1241	43	30,9	138	9,2	11,0
20	17,0	16,3	131	14,3	689	12,9	10,6	14	1,6	178	16,4	15,3	145	15,8	867	57	30,3	188	9,4	9,9
25	18,8	18,8	162	16,4	588	14,3	12,0	11	1,1	101	18,2	18,0	173	17,5	689	68	29,7	230	9,2	8,4
30	20,1	20,9	188	18,1	525	15,3	12,9	9	0,8	63	19,4	20,2	196	18,9	588	77	29,0	264	8,8	6,9
35	20,9	22,7	209	19,5	481	16,0	13,6	7	0,6	44	20,3	22,1	216	20,1	525	64	28,6	292	8,4	5,6
40	21,6	24,3	228	20,8	447	16,4	14,1	6	0,5	34	20,9	23,7	233	21,3	481	89	28,2	317	7,9	4,9
45	22,2	25,9	247	22,0	417	16,9	14,5	6	0,5	30	21,5	25,3	252	22,5	447	95	27,8	342	7,6	4,9

1. táblázat (folytatás)

Table 1 (cont.)

Kor	A főállomány					A mellékállomány					Az egészállomány					Összes előhasználat	Előhasználati részarány	Összes fatermés				
	átlagos		fatérfogata	körlepösszege	törzsszáma	átlagos		fatérfogata	körlepösszege	törzsszáma	átlagos		fatérfogata	körlepösszege	törzsszáma			Összes előhasználat	Előhasználati részarány	fatérfogata	átlagnövedéke	folyónövedéke
	magassága	átmérője				magassága	átmérője				magassága	átmérője										
	H _g	D _g	V _b	G	N	H _g	D _g	V _b	G	N	H _g	D _g	V _b	G	N					m ³	%	m ³
m	cm	m ³	m ²	db	m	cm	m ³	m ²	db	m	cm	m ³	m ²	db	m ³	%	m ³			m ³ /év	m ³ /év	
Fatermési osztály: IV.																						
5	5,2	4,4	19	4,2	2834	3,9	1,6	2	0,5	2453	4,9	3,4	22	4,7	5287	2	10,5	22	4,3	0,0		
10	9,3	8,1	47	7,5	1447	7,1	4,7	15	2,4	1387	8,9	6,7	62	10,0	2834	17	27,1	64	6,4	8,5		
15	12,4	11,4	76	10,3	1010	9,4	7,1	13	1,7	437	11,9	10,3	89	12,0	1447	30	28,4	106	7,1	8,4		
20	14,7	14,1	104	12,5	803	11,2	8,8	10	1,3	207	14,2	13,2	114	13,8	1010	41	28,1	144	7,2	7,6		
25	16,3	16,3	128	14,3	686	12,4	10,1	8	0,9	117	15,7	15,6	136	15,3	803	49	27,6	177	7,1	6,5		
30	17,4	18,2	148	15,8	612	13,3	10,9	6	0,7	74	16,8	17,5	154	16,5	686	55	27,2	203	6,8	5,3		
35	18,2	19,7	164	17,1	560	13,8	11,5	5	0,5	52	17,6	19,1	169	17,6	612	60	26,9	225	6,4	4,3		
40	18,7	21,1	179	18,2	521	14,2	11,9	4	0,4	39	18,1	20,6	183	18,6	560	65	26,5	244	6,1	3,8		
45	19,2	22,5	194	19,3	486	14,6	12,3	4	0,4	35	18,6	22,0	198	19,7	521	69	26,2	263	5,8	3,8		
Fatermési osztály: V.																						
5	4,4	3,7	15	3,6	3388	3,3	1,0	1	0,2	2964	4,1	2,8	16	3,8	6352	1	6,0	16	3,3	0,0		
10	7,9	6,9	36	6,5	1730	6,0	3,6	10	1,7	1658	7,5	5,5	46	8,2	3388	11	22,7	47	4,7	6,1		
15	10,5	9,6	57	8,8	1208	8,0	5,6	9	1,3	522	10,1	8,6	67	10,1	1730	19	24,8	78	5,2	6,2		
20	12,5	11,9	79	10,7	961	9,5	7,1	7	1,0	247	12,0	11,1	87	11,7	1208	27	25,0	106	5,3	5,6		
25	13,8	13,8	97	12,3	820	10,5	8,1	6	0,7	141	13,3	13,1	103	13,0	961	32	24,9	130	5,2	4,8		
30	14,7	15,4	113	13,6	732	11,2	8,9	4	0,5	88	14,2	14,8	117	14,1	820	37	24,7	149	5,0	3,9		
35	15,4	16,7	125	14,6	670	11,7	9,3	4	0,4	62	14,8	16,2	129	15,1	732	40	24,5	165	4,7	3,2		
40	15,8	17,9	136	15,6	623	12,0	9,7	3	0,3	47	15,3	17,4	139	15,9	670	43	24,2	179	1,4	2,8		
45	16,3	19,0	147	16,5	581	12,4	10,0	3	0,3	42	15,7	18,6	150	16,9	623	46	24,0	193	4,3	2,8		
Fatermési osztály: VI.																						
5	3,6	3,0	12	3,0	4200	2,7	0,4	0	0,0	3742	3,3	2,2	12	3,1	7942	0	1,4	12	2,4	0,0		
10	6,5	5,6	27	5,4	2144	4,9	2,5	5	1,0	2056	6,1	4,4	32	6,4	4200	5	16,7	33	3,3	4,1		
15	8,6	7,9	43	7,3	1497	6,5	4,2	5	0,9	647	8,2	7,0	48	8,2	2144	11	19,8	54	3,6	4,2		
20	10,2	9,8	58	8,9	1191	7,7	5,4	5	0,7	306	9,7	9,0	63	9,6	1497	15	20,8	73	3,7	3,9		
25	11,3	11,3	71	10,2	1017	8,6	6,2	4	0,5	174	10,8	10,7	75	10,7	1191	19	21,0	90	3,6	3,3		
30	12,1	12,6	82	11,3	907	9,2	6,8	3	0,4	110	11,6	12,1	85	11,7	1017	22	21,1	104	3,5	2,7		
35	12,6	13,7	91	12,2	831	9,6	7,2	2	0,3	76	12,1	13,2	93	12,5	907	24	21,0	115	3,3	2,2		
40	13,0	14,6	98	13,0	772	9,9	7,5	2	0,3	59	12,5	14,2	100	13,2	831	26	21,0	125	3,1	2,0		
45	13,3	15,6	106	13,7	720	10,1	7,8	2	0,2	52	12,8	15,2	108	14,0	772	28	20,8	134	3,0	2,0		

Szerkesztésmenete az oszlopok sorrendjében a következő:

1. A faállomány életkora (jele később: A),
2. H_{gf0} = a főállomány körlappal súlyozott átlagos magassága:

$$H_{gf0\%} = 0,07940 + 7,19170 \cdot A - 0,16029 \cdot A^2 + 0,00130 \cdot A^3$$
 (báziskor: 25 év, ahol H_{gf0%} = 100),

3. $D_{gfő}$ = a főállomány átlagos mellmagassági átmérője (cm):
 $D_{gfő} = (78,78434 + 0,84862 \cdot A) H_{gfő} / 100$, ($r = 0,799$, $n = 105$),
4. $V_{bfő}$ = a főállomány bruttó összes fatérfogata (m^3ha^{-1}):
 $V_{bfő} = G_{fő} \cdot HF_{fő}$,
 $HF_{fő}$ = a főállomány alakmagassága:
 $HF_{fő} = 2,52726 + 0,39091 H_{gfő}$, ($r = 0,989$, $n = 105$),
5. $G_{fő}$ = a főállomány körlapösszege (m^2ha^{-1}):
- $$G_{fő} = \frac{D_{gfő}^2 \cdot \Pi}{4 \cdot 10000} \cdot N_{fő}$$
6. $N_{fő}$ = a főállomány törzsszáma ($dbha^{-1}$):
 $N_{fő} = e^{9,52993 - 1,07376 \ln D_{gfő}}$, ($r = 0,952$, $n = 105$),
7. $H_{gmell.}$ = a mellékállomány körlappal súlyozott átlagos magassága (m):
 $H_{gmell.} = -0,08079 + 0,76572 \cdot H_{gfő}$, ($r = 0,941$, $n = 105$),
8. $D_{gmell.}$ = a mellékállomány átlagos mellmagassági átmérője (cm):
 $D_{gmell.} = -2,39714 + 0,76294 \cdot H_{gfő}$, ($r = 0,939$, $n = 105$),
9. $V_{bmell.}$ = a mellékállomány bruttó összes fatérfogata (m^3ha^{-1}):
 $V_{bmell.} = G_{mell.} \cdot HF$ (HF számítását lásd a 4. pontnál),
10. $G_{mell.}$ = a mellékállomány körlapösszege (m^2ha^{-1}):
- $$G_{mell.} = \frac{D_{gmell.}^2 \cdot \Pi}{4 \cdot 10000} \cdot N_{mell.}$$
11. $N_{mell.}$ = a mellékállomány törzsszáma ($dbha^{-1}$): a főállomány 5 évenkénti törzsszám- csökkentéséből számolva.
12. $H_{geg.}$ = az egészállomány körlappal súlyozott átlagos magassága (m):
 $H_{geg.} = -0,28441 + 0,98240 \cdot H_{gfő}$, ($r = 0,998$, $n = 105$),
13. $D_{geg.}$ = az egészállomány átlagos mellmagassági átmérője:

$$D_{geg.} = \sqrt{\frac{G_{eg.} \cdot 10000}{N_{eg.} \cdot \Pi}} \cdot 2,$$

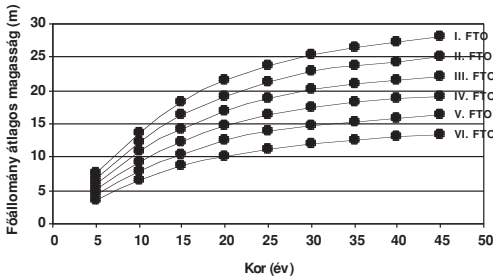
14. $V_{beg.}$ = az egészállomány bruttó összes fatérfogata (m^3ha^{-1}):
 $V_{beg.} = V_{bfő} + V_{bmell.}$,
15. $G_{eg.}$ = az egészállomány körlapösszege (m^3ha^{-1}):
 $G_{eg.} = G_{fő} + G_{mell.}$,
16. $N_{eg.}$ = az egészállomány törzsszáma ($dbha^{-1}$): $N_{eg.} = N_{fő} + N_{mell.}$,
17. összes előhasználat = a mellékállomány bruttó összes fatérfogatának összege (m^3ha^{-1}),

$$18. \text{ előhasználati részarány} = \frac{\text{összes előhasználat}}{\text{összes fatermés térfogata}} \cdot 100 (\%),$$

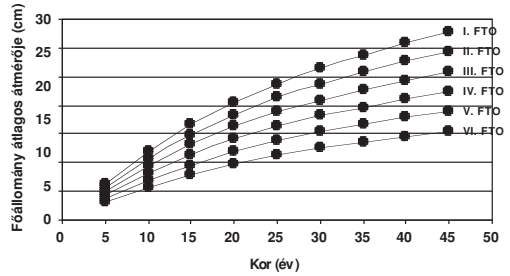
$$19. \text{ az összes fatermés} = V_{b \text{ összes}} (\text{m}^3 \text{ha}^{-1}),$$

$$20. \text{ az összes fatermés átlagnövedéke} = \frac{V_{b \text{ összes}}}{A} (\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{év}^{-1}),$$

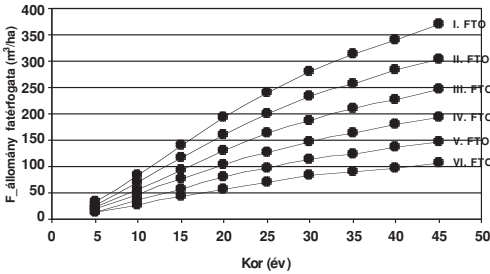
21. az összes fatermés folyónövedéke = az összes fatermés 1 évi növekménye (5–5 éves intervallumokon belül) ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{év}^{-1}$).



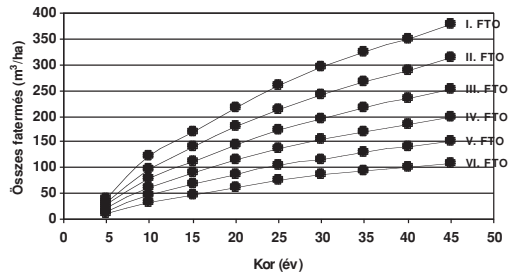
a) A főállomány átlagos magassága a kor függvényében
a/ Mean height of the main stand, plotted against the age



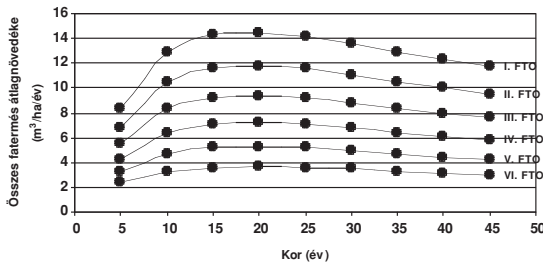
b) A főállomány átlagos átmérője a kor függvényében
b/ Mean diameter of the main stand, plotted against the age



c) A főállomány fatérfogata a kor függvényében
c/ Volume of the main stand, plotted against the age



d) Az összes fatermés a kor függvényében
d/ Total yield, plotted against the age



e) Az összes fatermés átlagnövedéke a kor függvényében
e/ Mean annual increment of the total yield, plotted against the age

3. a–e ábra: Nyírségi akácos faállomány-szerkezeti és fatermési adatai a kor függvényében

Figure 3. a–e: Data of stand structure and yield of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands as a function of the age (Nyírség)

A fatermelési tábla használatánál, a tényleges fakészlet megállapításakor körlap- viszonyzámmal dolgozzunk (G/G_0 , ahol G = a főállomány tényleges körlapösszege 1 ha-on, G_0 = a fatermelési tábláról kiolvasott körlapösszeg). Vagyis $V = V_0 \cdot G/G_0$, ahol V_0 a fatermelési táblából a körlapösszeghez hasonló módon kiolvasott fatérfogat.

A tényleges körlapösszeg meghatározása a hálózat (törzsszám) és $D_{1,3}$ ismeretében számítás útján, vagy pedig az ismert mérőeszközök valamelyikével közvetlenül történhet.

Az országos érvényű akác fatermelési tábla (Rédei 1984) adataival összevetve jelen táblázatot, mindekelőtt a ha-onkénti törzsszám értékeik térnek el. A főállomány törzsszámára vonatkoztatott százalékos eltérés arányszámai a fatermelési osztályok csökkenő sorrendjében (rosszabbodásával) 30 éves korban a következő: 92,3 – 91,4 – 90,1 – 89,6 – 88,5 – 87,1. Ez a tény az adott táji akáctermesztés egyik sajátosságát is mutatja: az országos átlagtól valamelyest eltérően a ritkább, de erőteljesebb nevelővágások rendszerét. A kisebb ha-onkénti törzsszámból következő nagyobb átmérőnövekedés mértéke (a különbség 30 éves korban a fatermelési osztály függvényében 4–5% között volt) ugyanakkor nem kompenzálta teljes mértékben a rendre kisebb törzsszámból adódó főállományra vonatkoztatott fatérfogat csökkenést. Ugyanakkor ennek mértéke az országos érvényességű fatermelési táblához viszonyítva 30 és 35 éves korra vetítve minden fatermelési osztályban 3%-on belül volt.

A fatermelési tábla fontosabb összefüggéseit grafikus formában is közöljük. A 3. a–e ábrákon a főállomány átlagos magassága, átlagos átmérője, fatérfogata, továbbá összes fatermelése és az összes fatermelés átlagnövedéke látható.

ÖSSZEFOGLALÁS

A jelen publikációban bemutatott, a Nyírség természeti tájra készített akác fatermelési tábla az első lokális jellegű munka a hazai akácutatás történetében. A programozható szerkesztésmentet lehetővé teszi a tábla információtartalmának igény szerinti bővítését, alakíthatóságát. Az ilyen jellegű fatermelési táblák (mércek) valamelyest jobban tükrözik a táji természettechnológiai (erdőnevelési) sajátosságokat, másrészt utalnak az adott tájban tenyésző akácok minőségi és mennyiségi változásának trendjére is.

A táji fatermelési tábla a következő területeken használható eredményesen:

- a tájban tenyésző akácok statisztikai jellegű számbavételében,
- az érintett akácok vágásbesorolása során, a fatérfogat-becslések elvégzésében (Rédei 2006),
- táji akác erdőnevelési (fatermesztési) modellek kidolgozásánál, illetve korszerűsítésében (Rédei 1995, Rédei és Meilby 2009),
- az akácok sarjzartatási kritériumainak fatermelési alapon történő elbírálásánál (Rédei 1997, 2005), valamint a táji fafaj-politikai irányelvek kidolgozásában, illetve azok indoklásánál.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a NYÍRERDŐ Zrt. (Nyíregyháza) vezetésének és mindazon dolgozóinak, akik közreműködésükkel hozzájárultak a fenti eredmények eléréséhez. Továbbá köszönet illeti Juhász István tudományos munkatársát (ERTI, Sopron) a statisztikai adatok összegyűjtésében végzett közreműködéséért.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- Birlanescu, E. 1977: Certetari provind ameliorarea salcinului (*Robinia pseudoacacia* L.). Studii si cercetari Silvicultura, Bucuresti. 3: 441–453.
- Bridgen, M.R. 1992: Plantation silviculture of black locust. In Hanover, J.W., Plesko, S. (eds). Black locust: Biology, Culture and Utilization. Proceedings. Michigan State University, USA. 21–32.
- Fekete Z. 1937: Akác fatermési táblák a Magyar Alföld számára. Sopron.
- Fekete Z. 1960: Akácok újrafelvetelének eredményei. Erdészeti Kutatások, (56): 3–43.
- Keresztesi B. 1986: Az akác termesztése rövid vágásfordulóban. Erdészeti Kutatások, (78): 15–28.
- Kohán S. 2007: Niektoré vysledky hodnotenia rastu a objemovej produkcie agáta bieleho (*Robinia pseudoacacia* L.) pri rozlicnych sposoboch pestovania v oblasti vychodoslo-venskej níziny. Lesnícky casopis – Forestry Journal (53): 107–116.
- Park, Y.G. 1996: The prospects for the utilisation of *Robinia pseudoacacia* in Korea. Kor. J. Apicult. (11): 25–57.
- Rédei K. 1984: Akácok fatermése. ERTI Kutatási jelentés. Kecskemét.
- Rédei K. és Gál J. 1985: Akácok fatermése. Erdészeti Kutatások, (76–77): 195–203.
- Rédei K. 1995: A növedéfköszítő gyérítések hatása az akácok (*Robinia pseudoacacia* L.) hozam- és értékváltozására. Erdészeti Kutatások, (85): 79–90.
- Rédei K. 1997: The Effect of Regeneration Methods on the Yield of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Stands in Hungary. Silva Lusitana, 5(1): 71–77. EFN, Lisboa, Portugal.
- Rédei K. 2005: A gyökérsarjról történő akác-felújítási mód megválasztásának fatermési kritériumai. Erdészeti Lapok.CXL.11: 324–325.
- Rédei K. 2006: Az akác termesztés-fejlesztésének biológiai alapjai és gyakorlata. Agroinform Kiadó, Budapest.
- Rédei K. and Meilby H. 2009: Effect of Thinning on the Diameter Increment in Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Stands. Acta Silvatica and Lignaria Hungarica, (5): 63–74.
- Sopp L. 1974: Fatömegszámítási táblázatok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Érkezett: 2011. május 12.
Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.

A SZELÍDGESZTENYE KÉREGRÁK ELLENI BIOLÓGIAI VÉDEKEZÉS TAPASZTALATAI A SOPRONI-HEGYSÉGBEN

Vidóczi Henriett

SEFAG Zrt., Iharosi Erdészet

Kivonat

A szelídgesztenye kéregrák (*Cryphonectria parasitica*) ellen egyetlen hatékony, biológiai módszerrel lehet védekezni. A módszer sikeres alkalmazásának feltétele a kórokozó vegetatív kompatibilitási típusainak meghatározása és adekvát csökkent virulenciájú (hipovirulens) törzsek kijuttatása a területre. A Soproni-hegyvidék termőkörzetéhez tartozó Ágfalván 1996-tól 2000-ig végeztünk gyógyító kezeléseket egy fiatal szelídgesztenye-ültetvényben. A rákos kéregsebeket rendszeresen körbeoltva nyolc év alatt a fák közel teljes gyógyulását értük el. Az alkalmazott biológiai védekezés során fontos szempont volt az izolált törzsek virulenciájának meghatározása, az esetleges hipovirulencia minél egyszerűbb megállapítása. A szelídgesztenye és a kórokozó in vitro kölcsönhatásának vizsgálata egy a gyakorlatban gyorsan és megbízhatóan alkalmazható tesztet eredményezett.

Kulcsszavak: szelídgesztenye, *Cryphonectria parasitica*, biológiai védekezés, kompatibilitási típus, hipovirulencia

EXPERIENCE OF BIOLOGICAL CONTROL OF CHESTNUT BLIGHT IN THE SOPRON MOUNTAINS

Abstract

There is single efficient method for the biological control of chestnut blight caused by *Cryphonectria parasitica*. The condition of successfully using the method is to determine the vegetative compatibility types of the pathogen and to apply adequate, hypovirulent strains on the site. Curative treatments were carried out in a young chestnut grove at Ágfalva belonging to the growing district of the Sopron mountains between 1996 and 2000. Regularly inoculating the area around the cankers, the trees almost completely recovered during eight years. Determining the virulence of the isolated strains and the eventual hypovirulence the easiest way possible was of primary importance during the applied biological control. In vitro studying the relationship of chestnut and the pathogen resulted in a rapid and reliable test method for practice.

Key words: chestnut, *Cryphonectria parasitica*, biological control, compatibility type, hypovirulence

BEVEZETÉS

Sopronnak és a Soproni-hegységnek jellegzetes fája a szelídgesztenye. A Lővérekből indulva a telepített gesztenyéseken át egészen a hegység legtávolabbi erdőrészéig mindenütt találkozhatunk vele. Néhány évtizeddel ezelőtt azonban a Soproni-hegyvidéket is elérte a szelídgesztenye járványos pusztulását okozó kéregrákbetegség, amellyel a környező gesztenyeültetvények és a természet szerű erdőtársulások szelídgesztenyéi is megfertőződtek és pusztulásnak indultak. A betegség okozója egy Ázsiából származó, onnan amerikai közvetítéssel Európába behurcolt mikroszkopikus gombafaj, a *Cryphonectria parasitica* [(Murrill) M. E. Barr, 1978]. A betegség leküzdése és az epidémia megállítása a hagyományosan alkalmazott növényvédelmi eljárásokkal nem volt lehetséges. Az áttörést egy környezetkímélő biológiai védekezés jelentette, amely a kórokozó csökkent virulenciájú törzseinek elterjesztésén alapszik (Roane és mtsai 1986). Ezeknek a csökkent virulenciájú (hipovirulens) törzseknek a citoplazmája kettősszálú RNS-t tartalmaz, amelynek európai típusa a *Cryphonectria hypovirus 1* (CHV 1) (Heiniger és Robin 2001). A CHV-1 laboratóriumi és természetes körülmények között is átadható egy virulens törzsnek, amely ezután maga is hipovirulenssé válik. A hipovirulens törzsek támadását a szelídgesztenyefa képes leküzdni, az általuk okozott hipovirulens rákosodások alatt a kambium és a hancs életképes marad. A CHV-1 transzmisszió viszont csak egymással kompatibilis törzsek között jöhet létre. Ezért egymáshoz való viszonyukat tekintve a kórokozó izolátumait vegetatív kompatibilitási típusokba sorolták.

Ennek a kutatásnak a célkitűzése volt a hegyvidéken előzőekben meghatározott és konvertált, immár hipovirulens törzsek szabadföldi oltási kísérletekben való alkalmazhatóságának vizsgálata, javaslatok a kezelések racionalizálására és hatékonyságuk fokozására. További cél volt az európai teszter törzsekkel való kompatibilitási viszonyok meghatározása, amelyekből következtethetünk a járvány kialakulására, és a továbbiakban célzottan kereshetünk megfelelő hipovirulens törzseket hazánkban. Mivel az alkalmazott biológiai védekezés egyik alappillére a helyi hipovirulens törzsek felkutatása és felhasználása, ezért kidolgoztam egy megbízható *in vitro* virulencia tesztet a hipovirulens törzsek elkülönítésére. A terepi mintagyűjtés 1997–2000 között, a biológiai védekezési kísérletek 1996–2004 között zajlottak.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az *in vitro* virulencia tesztekben négyhetes, 0,2 ppm benzil-amino-purinnal kiegészített P24 táptalajon (Teasdale 1992) szaporított szelídgesztenye-hajtásokat használtam. A hajtások szárát fertőztem meg az alábbi *C. parasitica* törzsek tenyészetével: S21 – virulens, S21 x R5 – konvertált hipovirulens, R5 – hipovirulens, kontroll – csak sebzés történt. A fertőzéshez szikével kb. 2 mm-es U alakú sebet ejtettem a száron, majd ebbe helyeztem az aktívan növekedő kb. 2 mm³-es micélium-darabkát. Egy-egy sorozatban 14 hajtástenyészetet fertőztem meg. A tenyészeteket szobahőmérsékleten, a megszokott megvilágításban tartottam, az eredményeket harminc nap elteltével értékeltem.

Az általam azonosított hat soproni vegetatív kompatibilitási típust harminc európai teszter törzsszel (Cortesi és mtsai 1998) hasonlítottam össze. A vegetatív kompatibilitási teszteket Vidóczy és mtsai (2005) után végeztem: burgonya-dextróz-agaron (plusz 100 mg/l L-methionin, 1 mg/l biotin) párban tenyésztettem a törzseket. Egy Petri-csészébe kilenc pár került. Szobahőmérsékleten hét napig sötétben, majd hét napig természetes fényben való inkubálást követően értékeltem az eredményeket.

A kórokozó konvertált és RAPD analízissel azonosított helyi törzseit használtam fel a terepi oltási kísérletek során. Az oltásokat az ágfalvi gesztenyésben végeztük. Ágfalva határában található egy fiatal, az 1970-es években kőszegszerdahelyi és iharosberényi fajtákból telepített gesztenyés. A gesztenyésben a sorok távolsága 10 méter, a tőtávolság változó. A fák magassága 5–8 méter, ami lehetővé teszi a magasabban található

nekrózisok biztonságos kezelését is. A terület kezelői minden évben kivágták és elégették az elpusztult fákat, így a járvány terjedése ebben az ültetvényben mérsékeltebbnek mondható. 1996 tavaszán három beteg fa oltásával kezdődtek az első hipovirulens kezelések a területen. 1996-tól 2000-ig rendszeresen elvégeztük a szükséges oltásokat, eltávolítottuk a beteg ágakat, és értékeltük az eredményeket. Az első oltásokhoz egy Franciaországból származó Bf jelű hipovirulens törzset használtunk fel. A helyben izolált A3 jelű törzset konvertálva, az így létrejött A3xBf hipovirulens törzs tenyésztésével végeztük az első kezeléseket. Néhány esetben sikertelennek tűnt az oltás, ezekből a nekrosisokból kéregmintát vettem, izoláltam a gombát, magyarországi hipovirulens törzssel konvertáltam, a konverziót és a konvertált törzs eredetivel való azonosságát RAPD analízissel igazoltam. Ennek eredményeképp oltásokat végeztünk az S21xR5 törzssel (S = Sopron, R = Rezi) is.

Az „oltás” a gyakorlatban azt jelentette, hogy minden egyes nekroszist a megfelelő hipovirulens gombatörzs laboratóriumi tenyésztésével körbeoltottunk (1. ábra). Az oltásokhoz a seb szélén, de még az élő kéregbe egymástól 4–5 cm távolságra, 6 mm Ø lyukakat fúrtunk, ezekbe helyeztük a gombafonalakkal átszótt táptalajdarabkát, majd gombaölő szert nem tartalmazó, méhviasztartalmú, hidegben is könnyen kenhető sebkezelővel lezártuk a lyukat (Vidóczy és mtsai 2000). A későbbiekben a bizonytalan gyógyulást mutató nekrosisok esetén kombinált kezelést is alkalmaztunk: a lyukakba felváltva helyeztünk a két konvertált hipovirulens törzs tenyésztéséből. Eltérő jellegű kezelést alkalmaztunk néhány esetben: súlyosan fertőzött, nagyszámú rákosodástól szenvedő fákon nemcsak a nekrosisokat oltottuk körbe, hanem a törzset is hosszában végigoltottuk, a tőtől kezdve az erősebb vázágakon folytatva egészen a koronáig. Több, erősen sporuláló rákosodás esetén a leváló, fertőzött kérget eltávolítottuk, ezzel is csökkentve a további fertőzéseket.



1. ábra: Hipovirulens törzs alkalmazása a kéregelhalás körül
Figure 1: Application of a hypovirulent strain around the bark lesion

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Egy *C. parasitica* gombatörzsben a hipovirulencia igazolása biztosan csak a kettősszálú RNS-ek kimutatásával lehetséges. Ez egy jól felszerelt mikrobiológiai laboratóriumi háttérrel igénylő, meglehetősen költséges vizsgálat. A hagyományos, szelídgesztenyesarjakon végzett virulencia tesztek csak tájékoztató jellegűek (Heiniger és mtsai 1999).

Természetes körülmények között a kórokozó virulens törzseivel fertőzött gesztenyefa néhány éven belül elpusztul, miközben a szállítószövetek szétroncsolódnak, és a növekedő nyílt rákosodás körülveszi a fa törzsét. Ugyanakkor hipovirulens gombatörzs támadásakor felületi rák keletkezik, amely okoz ugyan elváltozást a kérgen, de terjedése lassú és behatárolt, a kambiumot nem pusztítja el, és nem zárja el a víz- és anyagcsere-szállítást. Ennek a vizsgálatnak az volt a célja, hogy bizonyítsa, megállapítható egy gombatörzs virulenciája *in vitro* tenyésztett szelídgesztenye-hajtástenyészetek mesterséges fertőzésével.



2. ábra: *Virulens S21 és hipovirulens R5 gombatörzsszel in vitro fertőzött szelídgesztenye-hajtások*
 Figure 2: Chestnut sprouts inoculated with virulent S21 and hypovirulent R5 strains *in vitro*

A 2. ábrán jól látható, hogy a virulens S21 kórokozó aktív rákot idézett elő a hajtásokon, s ez előbb a sebzés feletti részek, majd a teljes hajtás pusztulásához vezetett. Az R5 hipovirulens törzs okozta elváltozásokra jellemző, hogy nem vezettek a hajtástenyészetek pusztulásához. A mesterséges hipovirulens fertőzések kisebb szöveti nekrozist okoztak ugyan, de nem okozták a hajtások elhalását. Összehasonlítva a virulens és a hipovirulens gombatörzs okozta nekrozisokat, több lényeges különbség mutatkozik. Míg az aktív rákosodások esetében jól látható az epidermisz alatt vertikálisan tovaterjedő micélium, addig a hipovirulens rákok határa éles, a kórokozó nem terjeszkedik akadálytalanul. Ez utóbbi esetekben a kevésbé mély nekrozisokat körülvevő szárrészek élénk zöld színűek, és maga a fertőzött rész is gyógyulónak tűnik. A virulens gombatörzs okozta nekrozisok szabálytalanok, éles határvonaluk nincs, a szövetek mélyére hatolnak, vertikális és

horizontális növekedésük gyors, a szövetek barnulását okozzák. A konvertált hipovirulens S21xR5 törzs hasonló tüneteket idézett elő, mint az R5 gombatörzs. A kórokozó fehér színű micéliuma jól láthatóan körülvette a nekrozisokat, amelyek nem okozták a hajtások vagy a mesterséges fertőzés feletti szár pusztulását. Összehasonlítva az R5 hipovirulens törzs okozta hatásokkal, a konvertált hipovirulens törzs okozta fertőzések után a tenyészetek növekedési erélye valamivel kisebb. Az egyes gombatörzsek okozta különbségek szignifikánsak, tehát ezzel a vizsgálattal egyértelműen elkülöníthetők egymástól a virulens és hipovirulens gombatörzsek. A fertőzések okozta mortalitás a következő: kontroll – 0%, S21 (virulens) – 75%, S21xR5 (konvertált hipovirulens) – 8%, R5 (hipovirulens) – 0%. A konvertált törzs esetén tapasztalt alacsony mortalitás azt jelzi, hogy a konverzió nem minden esetben teljes: a virulens telepnek maradhatnak olyan részei, amelyek fertőzőképesek.

Előző vizsgálataim során (Vidóczi és mtsai 2000) megállapítottam, hogy a hegységben a *C. parasitica* hat vegetatív kompatibilitási típusba tartozó törzse károsít. A vegetatív kompatibilitási típusok közül háromnak jelentős az elterjedése (SI, SII, SIII), másik három (SIV, SV, SVII) gyakorlatilag csak néhány izolátummal szerepel. A hegységhez közel, egy fertőszentmiklósi telepített gesztenyésben egy hetedik (SVI) típust is sikerült azonosítani. A kórokozó soproni törzsei általában egyszerre több EU-teszterrel is kompatibilisek voltak (1. táblázat). A kapott eredményeket összevetve a hazai és a nemzetközi szakirodalommal, következtettem a járvány kialakulására és további terjedésére.

1. táblázat: A *C. parasitica* vegetatív kompatibilitási típusai a Soproni-hegységben

Table 1: Vegetative compatibility types of *C. parasitica* in the Sopron mountains

Típus	SI	SII	SIII	SIV	SV	SVII
EU1	-	-	+	-	+	+
EU6	-	+	-	-	-	-
EU9	-	+	-	-	-	-
EU12	-	-	-	+	-	-
EU13	+	-	-	-	-	-
EU16	-	-	-	-	+	-
EU17	-	-	+	-	-	-
EU22	-	-	-	-	+	-
EU23	-	+	-	-	+	-
EU25	-	-	-	-	-	+
EU28	-	-	-	-	-	+

Az SI a domináns típus a Soproni-hegyvidéken, valószínűleg ez, a leginkább elterjedt törzs jelent meg itt először. Kompatibilis az EU-13 teszterrel, amely típus Ausztriában széleskörűen elterjedt, míg nálunk a soproni előforduláson kívül csak a Kőszegi-hegységben és a Mecsekben fordul elő. A Kőszegi-hegységben, Cákon természetes hipovirulens alakja is létezik. A hipovirulencia természetes megjelenése és a kórokozó első észlelése egy területen szoros korrelációt mutat (Robin és Heiniger 2001). Mivel ez idáig sem a Soproni-hegységben, sem a közeli Rozália-hegységben nem találtak hipovirulens törzset, feltételezhető, hogy a járvány első hulláma a Kőszegi-hegységből érkezett Sopron környékére, majd terjedt tovább keletre Fertőszentmiklós felé, ahol szintén megtalálható ez a típus. Összehasonlítva szlovák kutatók EU-kompatibilitási vizsgálataival jól látható, hogy az epidémia innen terjeszkedett a Kárpát-medence északi, elszigetelt szelídgesztenye-populációi felé (Juhászová és Bernadovicová 2001). Az SI típust egy francia származású hipovirulens törzssel sikerült konvertálni.



Az SII törzs, amely szintén elterjedt, az EU-6, EU-9 és EU-23 típusokkal volt kompatibilis. Ez alapján rokonságot mutat néhány Zala ill. Baranya megyei izolátummal: Sand, Rezi, Nemesetés, Zengővárkony (Radóczy 2001). Mivel a soproni szelídgesztenye-populáció ezektől a területektől távol fekszik, valószínűleg antropogén hatás (szaporítóanyag) révén került ez a kompatibilitási típus a területre. Természetes hipovirulens törzset – vizsgálataim idején – a kórokozó helyi populációjában nem találtam, de az SII törzs konvertálását Zala és Somogy megyei törzsekkel sikerült elvégezni. Fontos megjegyezni, hogy 2004 óta a Soproni-hegységben is megjelent és terjedőben van a hipovirulencia (Szabó és mtsai 2007).

A lokális elterjedésű SIII típus kompatibilitást mutatott az Ausztriában domináns EU-17 törzssel és a Zala és Vas megyében előforduló EU-1 törzssel. Mivel ez a törzs a nyugat-európai *C. parasitica*-populációra jellemző, és Ausztriában is széleskörűen elterjedt (Heiniger és Robin 2001), a Soproni-hegyvidéken pedig csak lokálisan, a határhoz közel, ezért valószínű, hogy a Rozália-hegységből származik. A kompatibilitási tesztek során egyhetes, párban történő tenyésztést követően az SIII kompatibilisnek bizonyult az EU-5 gombatörzssel is, de később sztrómák keletkeztek telepeik határvonalán. Hazánkban az EU-5 törzset a Zala megyei Sandon írták le (Radóczy 2001); az SIII konverziója végül is sikeresnek bizonyult – egy Sandról származó hipovirulens törzssel alakítottam át. Ez a konverzió azt bizonyítja, hogy a vegetatív kompatibilitási típusok nem határolódnak el élesen egymástól, és a teszt negatív eredménye ellenére is átadható a hipovirulencia.

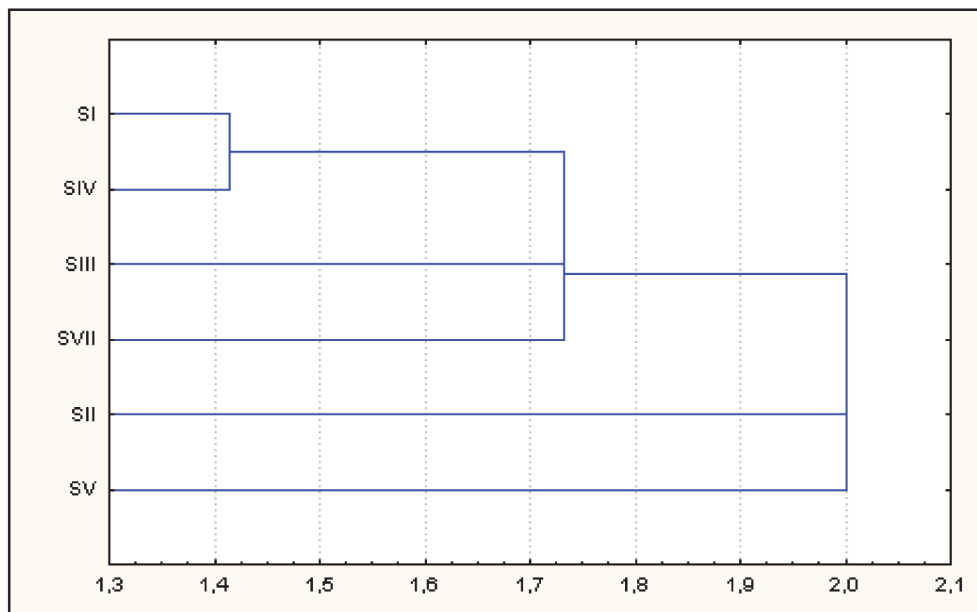
Az SIV típus szintén kis elterjedésű: egyik izolátum kompatibilitását tekintve az EU-12 teszterrel mutat rokonságot, amely gombatörzs széleskörűen elterjedt nemcsak hazánk legfontosabb szelídgesztenye-termőterületein (Radóczy 2001), de domináns a jugoszláv utódállamokban, Görögországban, Dél-Olaszországban, és kizárólagos az epidémia frontországának számító Romániában és Ukrajnában (Heiniger és Robin 2001). Feltételezhető, hogy ez a törzs a mediterráneum keleti országaiból jutott hozzánk, és terjesztette a betegséget a szelídgesztenye legtávolabbi, izolált populációi felé.

Az SV típus kis területen található meg, egy városzéli, frekvenciát gesztenyében, ahol egyszerre több kompatibilitási típus fordul elő. A terület valószínűleg az elsők között fertőződött meg a *C. parasitica*-val. 1997–98 között végzett vizsgálataim során még nem találtam meg a kórokozó ivaros alakját, azonban a gomba több évtizedes jelenléte miatt feltételezhetően már ezekben az években megkezdődtek az ivaros szaporodási folyamatok, s így a vegetatív kompatibilitást szabályozó gének rekombinációjával a populáció szegregálódott, új típusok jelentek meg, növelve a populáció diverzitását és ezzel megnehezítve a biológiai védekezést. Az ivaros alak megjelenését azóta leírták (Vidóczy és mtsai, 2007). Az SV törzs kompatibilis az EU-1, EU-16, EU-22, és EU-23 teszter törzsekkel.

Vélhetően hasonló az SVII jelű törzs eredete is. Ez a törzs kompatibilisnek bizonyult az EU-1, EU-25 és EU-28 teszter törzsekkel.

Ez utóbbi három törzs (SIV, SV, SVII) átalakítása sem a hazai, sem a hozzáférhető európai hipovirulens törzsekkel nem járt sikerrel. Emiatt korlátozottak a gyógyítási lehetőségek. A későbbiekben fontos teendő ezzel a három törzssel kompatibilis hipovirulens törzsek felkutatása. A hasonló vegetatív kompatibilitási típusok miatt (Radóczy 2001) célszerűen az Iharosberény, Pécsvárad, Zengővárkony, Rezi, Csepreg településekhez tartozó gesztenyésekben célszerű megfelelő hipovirulens törzseket felkutatni, illetve figyelemmel kísérni a Soproni-hegységben megjelenő természetes hipovirulens törzseket.

Mivel a EU-teszter törzsekkel végzett vizsgálatok során a relációk átmeneti típusokat mutattak, így lehetővé vált a rokonsági viszonyok cluster-analízise. Az alábbi dendrogram (3. ábra) a kórokozó soproni törzseinek rokonsági viszonyait ábrázolja. Eszerint a három domináns törzs jól elkülönül egymástól, a szexuális rekombináció eredményeként fellépő SV törzs az SII jelűvel, az SVII az SIII jelűvel mutat rokonságot. Az SIV törzs szoros rokonságban van az SI jelű törzssel. Tehát elképzelhető, hogy már ez a törzs is az ivaros szaporodási folyamatok eredménye: igaz, hogy a fent említettek szerint sokfelé elterjedt, de hazánkban leginkább azokra a területekre jellemző (Iharosberény, Zengővárkony, Rezi), ahol a betegség évtizedek óta jelen van, és a populáció szegregálódott (Radóczy 2001). Ehhez hasonlóan Sopronban is létrejöhett akár három endogén vegetatív kompatibilitási típus.



3. ábra: A kompatibilitási tesztek alapján szerkesztett dendrogram (single linkage)
Figure 3: Dendrogram based on compatibility tests (single linkage)

1996-ban a Soproni-hegységben, Ágfalván Szabó Ilona és Varga Mária elsőként kezdtek el hazánkban a gyógyító jellegű kezeléseket, konvertált, hipovirulens törzs kijuttatásával. Ezekbe a kísérleti kezelésekre kapcsolódtam be 1997-ben, majd folytattam később önállóan. Az ágfalvi kísérleti területen 1996 tavaszától 2000-ig folytattuk ezt a biológiai védekezési programot. Ez idő alatt 37 beteg szelídgesztenyefát kezeltünk az előzőekben leírt módszer szerint, fánként egy-négy alkalommal. Egy-egy fán átlagosan 1,4-szer oltottuk körül a nektrózisokat. Mivel a területen az előzetes felmérés szerint az SI kompatibilitási típus fordult elő, a kezelésekhöz az A3xBf francia törzzsel konvertált helyi gombatörzset használtuk, csökkentve az ivaros szaporodás megindulásával járó populáció-szegregálódást. A kezelt nektrózisok általában már egy év múlva a kezdődő gyógyulás jeleit mutatták: az oltási pontok helyén a szövet megduzzadt, és megindult a kalluszosodás. A kéreg felületén is jól kivehetők lettek a hipovirulens gombatörzs okozta elváltozások: hosszanti majd keresztirányban felrepedezett, nyomásra nem süppedt be, és nem vált le. Sztromatikus piknidiumok általában nem képződtek rajta.

Megfigyeléseim szerint a virulens micélium terjedése hosszanti irányban gyorsabb, mint oldalirányban. Több kezelésnél észrevehető, hogy a virulens hifák áttörtek a felső és alsó oltási pontokon, míg kétoldalt ez ritkán fordult elő. (Ha igen, ott más probléma is felmerült: a gesztenyefán a betegséget okozó és a kezeléshez használt gombatörzs kompatibilitása különbözött.) Ezért a későbbi kezeléseket már úgy végeztük, hogy a nektrózis alsó és felső részén nagyobb biztonsági távolságot hagytunk, így a hipovirulencia az oltási pontok által alkotott vonal teljes hosszán átadódott, bezárva ezzel a terjeszkedő virulens rákot.

A betegség gyakran ágvillaiban támadta meg a fát, ugyanis az ott megmaradó nedvesség kedvez a spórák megtelepedésének. Ilyen ágvilla rásokodásnak a kezelése csak alapos, a nektrózis teljes területét érintő oltással volt eredményes. Ugyancsak gondot jelentett a tőnél, a vastag kéreg alatt fejlődő nektrózisok határainak megállapítása. Gyakran szinte az egész területet érintette a kezelés. Végül ezek a bonyolult kezelések is eredményesek lettek, megindult a kalluszosodás, és a seb körülzáródott.

Néhány esetben – az oltások sikertelensége miatt – kéregmintát vettem, amelyből izoláltam a kórokozót, és meghatároztam a kompatibilitási típust. Kiderült, hogy az SII típus is jelen van a mintaterületen. Ezeket a

nekrózisokat az S21xR5 hipovirulens törzssel kezeltem. Előfordult, hogy addigra a nekrózis csaknem körülölelte a törzset, de még ekkor is volt remény a szövetek regenerálódására. A következő ábrán jól láthatók a kambium pusztulásával járó, nagy kiterjedésű virulens nekrózisok és az erőteljes kalluszosodás, ahogy a fa igyekszik leküzdeni a betegséget. Ezek a különlegesen szép gyógyulások a szelídgesztenye kiváló visszacszerző-képességét is bizonyítják (4. ábra).

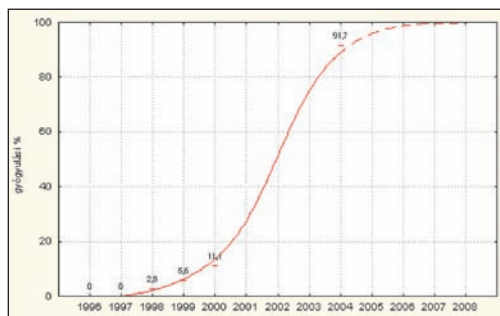


4. ábra: Nagy kiterjedésű rákosodás gyógyulása
Figure 4: Healing of an extensive canker

Mivel az SII kompatibilitási típus csak gócszerűen jelentkezett a területen, a későbbiekben ezen góccok közelében álló fákon a kompatibilitást nem vizsgáltam, hanem kombinált kezelést alkalmaztam. Az ilyen kombinált kezelések is eredményesek voltak. Amennyiben mindkét kompatibilitási típus jelen van (SI és SII), ezzel a kombinált kezeléssel nem viszünk be újabb, a vegetatív kompatibilitást szabályozó alléleket a területre.

Maga a gyógyulás aktív küzdelemmel járó folyamat, amely a szelídgesztenye, a virulens és a hipovirulens kórokozó között zajlik. Ezért minden eszközzel arra kell törekednünk, hogy a virulens kórokozó terjeszkedését gátoljuk, a hipovirulenciát pedig elterjesszük. Egy nekrózis esetén a fertőzött, sztromatikus piknídiumokkal teli kéregrész eltávolításával jelentősen csökkenthetjük a felülfertőzések esélyét. Emellett a mechanikai védekezéshez hasonlóan gátoljuk az újabb virulens nekrózisok megjelenését. Mivel a hipovirulens kórokozó nem okozza a szövetek pusztulását, preventív jelleggel is biztonságosan alkalmazhatjuk. Több súlyosan beteg fát is kezeltem, amelyeknél féltő volt, hogy a számos rákosodás egyike körülveszi a törzset, és ez a víz- és tápanyagszállítás blokkolásával a fa azonnali pusztulásához vezet. Különösen a vékonyabb törzsű fák esetében fordulhat ez elő. Több sikeres gyógyulás azt bizonyítja, hogy a törzs kerületének kb. 20–25%-a is biztosítja a fa fennmaradásához szükséges vízszállítást. Ebből kiindulva néhány fánál a törzset és a főtágakat teljes hosszában végigoltottam, kialakítva ezzel egy biztonsági zónát. A hipovirulens inokulum megtelepedése ebben a sávban megakadályozta a patogén terjeszkedését és a fa pusztulását. Az ágfalvi területen kívül oltásokat végeztünk a kertvárosban, szintén jó eredményekkel.

A kísérleti területen akkor minősítettem gyógyultnak egy fát, ha a kezelt nektrózisok teljes kerületükön erősen kalluszosodtak, esetlegesen spontán hipovirulens nektrózisok keletkeztek az ágakon, újabb virulens nektrózis viszont nem jelent meg (a koronában egy-két vékony gally elpusztulhatott). Az 1996-tól 2000-ig tartó kezelések eredményeként nyolc év alatt a szelídgesztenyefák több mint 90%-a meggyógyult. Az eredményeket a 5. ábra szemlélteti. Jól látható, hogy a fák gyógyulása hosszú, évekig tartó folyamat. Az első gyógyulások két év elteltével jelentkeztek, számuk eleinte lassan növekedett. 2001-ben, öt évvel az első kezeléseket követően vált intenzívvé a gyógyulási folyamat, és nyolc év után közeledik az állomány a teljes gyógyulás felé. Ez idő alatt a hipovirulencia terjedése általánossá vált: a legtöbb fán (nemcsak a kezeltéken) spontán hipovirulens rákok alakultak ki, és a szomszédos szelídgesztenyés erdőre is áttért a gyógyulási folyamat.



5. ábra: A gyógyult fák aránya az ágfalvi kísérleti területen
Figure 5: Ratio of healed trees in the Ágfalva experimental area

A hipovirulencia természetes terjedésével párhuzamosan újabb vegetatív kompatibilitási típusok jelennek meg, egyrészt a kórokozó természetes terjedésének hatására a szomszédos kiemelt jelentőségű termőtájokról (Kőszegi-hg., Rozália-hg.), ahol a *C. parasitica* más típusba tartozó törzsei is károsítanak. Emellett a kórokozó helyi populációján belül idővel egyre inkább általánossá válnak az ivaros folyamatok, és ennek következtében – a vegetatív kompatibilitást szabályozó gének rekombinálódásával – új, endogén vegetatív kompatibilitási típusok megjelenése várható. Végül meg kell említeni, hogy az esetleges mutagén hatások miatt növekedhet a diverzitás. A biológiai védekezés hatékony alkalmazása tehát a *C. parasitica* populációstruktúrájának naprakész ismeretében rejlik. Saját tapasztalataim szerint egy kezelt gesztenyében elegendő a sikertelennek tűnő oltások vizsgálatával az újonnan fellépő törzs azonosítása, kompatibilitásának meghatározása, hozzá megfelelő hipovirulens törzs felkutatása, majd a helyi virulens törzs konvertálása és genetikai azonosságának igazolása. Tapasztalataim szerint az ágfalvi kísérleti területen évente 1,9 m²-t terjedt a hipovirulencia. Ez öt év alatt 283 m²-t, tíz év alatt 1133 m²-t jelent. Tehát hektáronként tíz mesterséges fertőzéssel tíz év alatt, negyven fertőzéssel öt év alatt lehet elterjeszteni az adott hipovirulens törzset egy hasonló területen.

A *C. parasiticát* számos európai országban (Bissegger és Heiniger 1991, Luisi és mtsai 1992, Juhászová és Kulcsarova 2002) és hazánkban is széleskörűen megtalálták kocsánytalan tölgyön, s ezeken a fákon is nektrozisokat, esetenként pusztulást idéz elő (Szabó 2003, Tarcali és Radócz 2003). Emiatt a 2000-es evek közepétől hazánkban a *C. parasitica* kutatások nagyrészét áthelyeződtek erre az erdőgazdasági szempontból kiemelt jelentőségű fafajra. A szelídgesztenye biológiai vedelmevel kapcsolatban elért eredményekből kiindulva kezdődtek meg az első vizsgálatok (Szabó és mtsai 2009). A fiatal kocsánytalan tölgyesek esetén a fák egyedi vedelve megoldhatatlan, és a védekezési programnak eleve nagy teruletet kell érintenie, ennek kovetlezteben tolgyerdosıtesekben és fiatalosokban a járvány megfékezésének egyetlen kivitelezhető módja a megfelelő hipovirulens *C. parasitica* törzsek elterjesztése az adott területen.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Szabó Ilonának az egész kutatás folyamán nyújtott értékes segítségéért, és külön köszönet illeti Varga Máriát, amiért együtt dolgozhattam vele a szabadföldi kezelések során.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bissegger, M. and Heiniger, U. 1991: Chestnut blight (*Cryphonectria parasitica*) north of the Swiss Alps. *European Journal of Forest Pathology* 21 (4): 250–252.
- Cortesi, P.; Rigling, D. and Heiniger, U. 1998: Comparison of vegetative compatibility types in Italian and Swiss subpopulations of *Cryphonectria parasitica*. *European Journal of Forest Pathology* 28 (3): 167–176.
- Heiniger, U. and Robin, C. 2001: Chestnut blight in Europe: Diversity of *Cryphonectria parasitica*, hypovirulence and bio-control. *Forest Snow and Landscape Research* 76 (3): 361–367.
- Heiniger, U.; Roethlisberger, V.; Hoegger, P. and Rigling, D. 1999: Virulence tests for *C. parasitica*: *in vivo* and *in vitro*. COST G4 Multidisciplinary Chestnut Research. Sopron, Hungary. 5–9 May 1999: 41.
- Juhászová, G. and Bernadovicová, S. 2001: The results of biological control of chestnut tree (*Castanea sativa* Mill.) in Slovakia. COST G4 Multidisciplinary Chestnut Research. Final Meeting, May 23–27, 2001, Ascona, Ticino, Switzerland: 81.
- Juhászová, G. and Kulcsárová, K. 2002: A *Cryphonectria parasitica* (Murill) Barr előfordulása tölgyeken. 48. Növényvédelmi Tudományos Napok előadásainak összefoglalói. Budapest, 2002. március 6–7: 79.
- Luisi, N.; Gentile, T. M.; Sicoli, G. and Turchetti, T. 1992: Outbreaks of *Cryphonectria parasitica* on *Quercus* species and their epidemiological role. International Congress Recent Advances in Studies on Oak Decline, Selva di Fasano (Brindisi), Italy. 13–18 September 1992: 95–104.
- Radócz, L. 2001: Study of subpopulations of the chestnut blight (*Cryphonectria parasitica*) fungus in the Carpatian basin. *Forest Snow and Landscape Research* 76 (3): 368–372.
- Roane, M. K.; Griffin, G. J. and Elkins, J. R. 1986: Chestnut Blight, Other Endothia Diseases, and the Genus *Endothia*. APS Press. St. Paul. MN. USA
- Robin, C. and Heiniger, U. 2001: Chestnut blight in Europe: Diversity of *Cryphonectria parasitica*, hypovirulence and bio-control. *Forest Snow and Landscape Research* 76 (3): 361–367.
- Szabó I. 2003: Erdei fák betegségei. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest
- Szabó, I.; Varga, Sz.; Berényi, A. and Vidóczy, H. 2007: *Cryphonectria parasitica* in sessile oak in Hungary. In: Szabó I. (editor): IUFRO WP. 7.02.02 meeting, 21–26 May 2007, Sopron, Hungary.
- Szabó I.; Varga Sz. és Vidóczy H. 2009: A *Cryphonectria parasitica* előfordulása és jelentősége kocsánytalan tölgyön, a biológiai védekezés lehetőségei. *Növényvédelem* 45 (4) 208–212.
- Tarcali, G. and Radócz, L. 2003: Examination of Hungarian populations of *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr on oak. Proc. 3rd International Plant Protection Symposium (3rd IPPS) at Debrecen University, Debrecen, Hungary: 95–100.
- Teasdale, R. 1992: Formulation of plant culture media and applications thereof. International publication No. WO 92/07460, Patent No. Europe: 92902531.0, ForBio Pty Ltd., Queensland, Australia
- Vidóczy H.; Varga M.; Szabó I. és Radócz L. 2000: A szelídgesztenye-kéreggrák elleni biológiai védekezés lehetőségei a Soproni-hegyvidéken. *Növényvédelem* 36 (2): 53–59.
- Vidóczy H.; Varga M. és Szabó I. 2005: A szelídgesztenye-kéreggrák elleni biológiai védekezés tapasztalatai a Soproni-hegységben. *Növényvédelem* 41 (9): 405–412
- Vidóczy, H.; Varga, M. and Szabó, I. 2007: Chestnut blight and its biological control in the Sopron Hills, Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, Special Edition 2007: 199–206.

Érkezett: 2011. május 15.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.

A FAANYAGMOZGATÁS HATÁSA AZ ERDÉSZETI ÚTHÁLÓZATOK SZÁLLÍTÁSI ÉS FENNTARTÁSI KÖLTSÉGEIRE

Primusz Péter¹, Péterfalvi József², Kisfaludi Balázs¹ és Biczó Balázs²

¹Nyugat-magyarországi Egyetem, ERFARET Nonprofit Kft.

²Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

A faanyag árának közel felét az elszállításhoz szorosan kapcsolódó költségek (útépítés, útfenntartás, szállítás) teszik ki. Ezeknek a költségeknek a csökkentése nagymértékben befolyásolja az erdőgazdaságok jövedelmezőségét. Ezért összefüggést kerestünk a forgalomterhelés és az útfenntartás költségei között. Egy konkrét példán megmutatjuk a raksúly, a járműtípus és az útfenntartás költségeinek alakulását. Eredményeink alapján általánosan megfogalmazható javaslatot teszünk arra, hogy az erdőgazdaságok logisztikai rendszerébe milyen járműveket célszerű beállítani, amelyek alkalmazása esetén minimális lesz a teljes szállítási költség.

Kulcsszavak: faanyagszállítás, hasznos teherbírás, tengelyelrendezés, útfenntartás, pályaszerkezet-gazdálkodás

THE EFFECT OF TIMBER TRANSPORT ON THE MAINTENANCE AND CARRIAGE COST OF FOREST ROAD NETWORKS

Abstract

Nearly half of the price of timber is the costs of the transportation (road construction, road maintenance, transportation). Thus the profitability of forestry companies is highly influenced by these costs. That is why we attempted to identify correlation between traffic load and costs of the road maintenance. A specific example is presented of this correlation. A proposal is made for the appropriate payload and axle configuration regarding the average Hungarian forestry transportation problem and forest road condition.

Keywords: timber transportation, payload, axle configuration, road maintenance, pavement management system

BEVEZETÉS

Az erdő egyes részeinek megközelíthetőségét biztosító erdészeti utak megépítésük után fenntartásra szorulnak. Az erdészeti úthálózatok legnagyobb forgalmat lebonyolító és a legnagyobb költséggel létrehozott elemei az erdőterületet a közutakkal összekötő feltáró utak. Ezek kiépítési színvonala igazodva a forgalom nagyságához és eloszlásához eltér a közutaktól a burkolatszélességben és a pályaszerkezet vastagságában,

Levelező szerző/Correspondence:

Primusz Péter, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4., e-mail: primuszp@emk.nyme.hu



teherbírásában is. A jellemzően egy forgalmi sávós, a hajlékony útpályaszerkezetek csoportjába sorolható, de a közutakénál vékonyabb pályaszerkezetű erdészeti utak állapotát a földmű sokszor lecsökkent teherbírása és a faanyagszállításból származó lökésszerűen jelentkező nehéz forgalom jelentősen rontja. A folyamatosan jelentkező szállítási feladatok biztosítása megkívánja, hogy a fakitermelések várható nagysága és az utak állapota függvényében a szükséges útfenntartási beavatkozásokat végrehajtsuk. Ezek jobb megalapozását segítheti az alábbiakban ismertetett elemzés, amely az eddig ismert kutatási eredmények felhasználásával megkísérli megbecsülni azt, hogy az egyre nagyobb hasznos terhet szállító járművek, illetve járműszerevények kialakítása (főként tengelyelrendezése) milyen hatást gyakorol a faanyagszállítás és az útfenntartás együttes költségére. A költségek ismeretében pedig megadható az a szállítójármű, amely az adott szállítási feladatot minimális költséggel oldja meg a vizsgált útszakasz tönkremeneteli folyamatának bármely időpillanatában.

A témában eddig született publikációk az útpályaszerkezetek leromlásának folyamatával, az élettartam alatt szükséges útfenntartási beavatkozásokkal, valamint a szállítási, útépítési és útfenntartási költségek egymásra gyakorolt hatásával foglalkoznak. Közutakra az optimális tengelyterhelés számításával adható meg az ideálisnak tekinthető jármű, amely az útfenntartási stratégiának megfelelő leromlást okozza. Egyes számítások szerint a tengelyterhelés 10%-os változtatása a szállítással kapcsolatos összes költséget csupán 1%-kal változtatja meg (Rolt 1981). A várható költségek figyelembevétele mellett kalkulálja az optimális szállítási útvonalat egy brazil fejlesztésű döntéstámogató rendszer. A rendszer használhatóságát 2003-ban ellenőrizték (Lopes és mtsai 2003), és a fenntartási költségek mértékét a feltáróút kiépítési szintjével hozták kapcsolatba. Egy másik kutatás az adott szállítási feladatra leginkább megfelelő szállítójármű kiválasztásával foglalkozik (Aidin és Seyed 2009). A választás három szempont (választéknak megfelelő méret, a használt útnak megfelelő tulajdonságok és a szállítási költségek) alapján AHP (Analytical Hierarchy Process) módszerrel történik, amely szakértői pontozás alapján határozza meg az egyes szempontok fontossági sorrendjét. A szállítás összes költsége (beleértve az útépítés és útfenntartás költségét) és a szállítást végző járművek közötti összefüggéseket vizsgálva kimutatták, hogy van olyan optimális teherbírásúnak tekinthető szállítóeszköz, amellyel a legkisebb költséggel lehet megoldani az adott szállítási feladatot (Herpay 1973, Rumpf 1974a, Kosztka 1985, Aidin és Seyed 2009). Az erdészeti utak költségeinek minimalizálására már a tervezéskor törekedni kell, ezért Akay (2006) már a tengelytervezéskor figyelembe veszi a várható fenntartási költségeket és a szállítási feladatot. A közutak és az erdészeti utak pályaszerkezetének leromlásával és a szükséges útfenntartási beavatkozások tervezésével foglalkozó tanulmányok a hosszabb élettartamra történő méretezést hangsúlyozzák (Kosztka 1986, Gáspár 2004). Erdészeti utak esetében fontos, hogy rendelkezünk tudatos pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiával, mert csak így lehetséges, hogy egy adott úthálózat állapota és a várható szállítási feladat ismeretében optimálisan használjuk fel az útfenntartásra rendelkezésre álló pénzügyi keretet (Kosztka 1988, Kosztka és Péterfalvi 1993, Primusz 2006).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A tengelyterhelés rongáló hatásának meghatározása

Az útpályaszerkezetek tönkremenetelében a földmű teherbírásának és a rajtuk áthaladó nehéz forgalomnak van kiemelkedően fontos szerepe. Ezt először az 1950-es évek végén az USA-ban elvégzett nagyminta kísérletek igazolták. Ezek közül az ún. AASHO útkísérletek (American Association of State Highway Officials) eredményei váltak széles körben elismertté. A kísérletsorozathoz 470 féle pályaszerkezetet – homokos kavics, zúzottkő és aszfalrétegekből – építettek meg alacsony teherbírású (CBR ~2,5%) altalajon. A pályaszerkezeteket két éven keresztül műforgalommal terheltek. A szerkezetek állapotát szubjektív és objektív módszerekkel rendszeresen értékelték (Nemesdy 1985, Kosztka 2009). Egy adott vastagságú és összetételű pályaszerkezet

tönkremenetelét a tengelysúly és az áthaladási szám együttesen határozta meg. A kísérlet eredményei lehetőséget adtak arra, hogy az eltérő mértékű tengelyterheléseket egy egységnek tekintett (100 kN) tengely hatására számoljuk át. Az egységre történő átszámítás tényezőjével így kifejezhető egy adott tengely relatív rongáló hatása. A nagyminta kísérlet eredményeinek statisztikai feldolgozása alapján az átszámítási tényezőre az alábbi tapasztalati képletet állították fel:

$$\log(b) = a \cdot (T_i - T_s) \quad (1),$$

ahol b : átszámítási tényező (vagy rongáló hatás),
 a : szóló tengely esetén ($a = 0,0268$), tandem tengely esetén ($a = 0,01493$),
 T_s : szóló elrendezésnél 100 kN, tandem elrendezésnél 175 kN,
 T_i : a vizsgált tengely terhelése (kN).

Az (1) összefüggés jól közelíthető egy negyedfokú (vagy akár hatodfokú) parabolával:

$$b \approx \left(\frac{T_i}{100}\right)^4 \approx \left(\frac{T_i}{100}\right)^6 \quad (2),$$

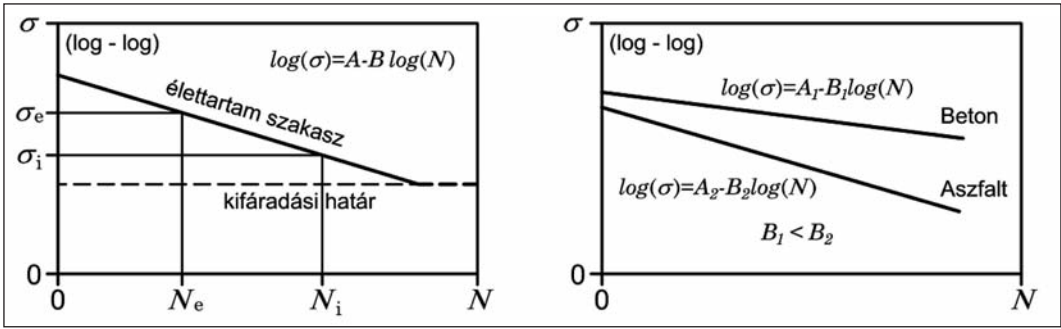
Ebből az összefüggésből az is látható, hogy a tengelysúly duplázása 16-szoros (2^4) vagy akár 64-szeres (2^6) rongáló hatást eredményez (Kosztka 2009). Az összefüggés csak hajlékony szerkezetekre érvényes. Merev és félmerev pályaszerkezeteknél a kitevő értéke magasabb (8–12). Az OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) nevű nemzetközi szervezet kiegészítő kísérleteket indított az útpályaszerkezetek leromlásának vizsgálatára. A kísérleteket Franciaországban végezték. A vizsgálatok alatt három pályaszerkezetet (két hajlékonyat és egy félmerevet) vizsgáltak 100, ill. 115 kN-os tengelyterhelések mellett, összesen 4,5 millió tengelyáthaladásig. Megállapították, hogy az AASHO kísérletek negyedik hatványos összefüggése csak nagyon általános esetben igaz (Horn 1995).

Kimutatták továbbá, hogy a rongáló hatás a tengelysúlyon kívül függ még a tengely és a gumibroncs típusától, valamint a tengely felfüggesztésétől is. Ezen tényezőket figyelembe véve a következő összefüggést állították fel (Koren 1986, Tóth 1988):

$$b = \left(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{T_i}{100}\right)^\alpha \quad (3),$$

ahol T_i : a vizsgált tengely terhelése (kN),
 α : kitevő (értéke aszfaltra 4–6),
 k_1 : a tengelytípustól függő tényező (értéke 0,45–1,00 között),
 k_2 : a gumibroncstól függő tényező (értéke 1,00–1,30 között),
 k_3 : a felfüggesztéstől függő tényező (értéke 0,95–1,00 között).

A pályaszerkezetek leromlásának vizsgálatára az empirikus módszerek mellett rendelkezésre állnak mechanikai alapú eljárások is. Ezek az eljárások a tényleges pályaszerkezet helyett annak elméleti modelljét vizsgálják. Ebben az esetben bemeneti adatként az adott anyag fáradási tulajdonságait kell ismernünk. Ezeket elsőként A. Wöhler vizsgálta laboratóriumi körülmények között. Azt tapasztalta, hogy periodikusan váltakozó terhelés hatására egy adott anyag tönkremeneteléhez szükséges ismétlésszám és az alkalmazott legnagyobb terhelés (feszültség) között logaritmikusszerű összefüggés áll fenn (1. ábra). Vagyis az anyag töréséhez annál kisebb terhelés kell, minél nagyobb a teher-ismétlésszám:



1. ábra: A Wöhler-görbe értelmezése (a), ill. az aszfalt és a beton eltérő kifáradási görbéje (b)
Figure 1: Wöhler-curve (a), fatigue curve of asphalt and concrete material (b)

$$\log(\sigma) = A - B \cdot \log(N) \quad (4),$$

- ahol σ : feszültség (N/mm²),
 A : az anyag által elviselhető legnagyobb feszültség (N/mm²),
 B : az anyag teherviselő képességének romlása az ismétlésszám függvényében,
 N : a teherismétlések darabszáma (db).

A különböző nagyságú (vagy különböző feltételek mellett ható) igénybevételek összesített károsító hatásának számítására a *Palmgren-Miner*-elv használható (Palmgren 1924). Eszerint egy adott terhelés az anyag fáradási ellenállását csak egy meghatározott mértékben használja ki. Vagyis egy adott tengelyáthaladás rongáló hatása meghatározható úgy, hogy egy adott anyag teherbírását mennyivel csökkenti. Célszerűbb azonban annak a megállapítása, hogy egy egységnek tekintett tengelyhez képest mekkora ennek a hatása. Ez a tényező a Wöhler-féle anyagtulajdonságok, valamint a *Palmgren-Miner*-elv ismeretében levezethető:

$$b = \left(\frac{T_f}{100} \right)^\alpha \quad (5),$$

- ahol T_f : a vizsgált tengely terhelése (kN),
 α : a kitevő értéke aszfaltnál (4–5), hidraulikusan kötött anyag esetén (12–20).

Látható, hogy az elméleti modellből a tapasztalati képlethez hasonló összefüggés vezethető le. Emiatt a számításainkban az AASHO útkísérletek eredményeképp meghatározott átszámítási tényező használata elfogadható.

A szállítandó fatérfogat átszámítása forgalomra

A faanyagszállítás különböző szállítójárművekkel történik, amelyeknek a pályaszerkezetet rongáló hatása is különböző, ennek eredményeként eltérő módon romlik a pályaszerkezet is. Azért, hogy a különböző járművek pályaszerkezetre gyakorolt hatását össze lehessen hasonlítani, a keresztmetszeten áthaladó tengelyeket egységesen egy 100 kN terhelésű tengely áthaladásának hatásában fejezzük ki, és a következő összefüggéssel számítjuk (Kosztka 2001):

$$F_{100} = \frac{Q}{q} \cdot B \quad (6),$$

- ahol F_{100} : a vizsgált időszak forgalma 100 kN egységtengely-áthaladásban kifejezve (db),
 Q : a vizsgált időszakban leszállított fatérfogat (kN),
 q : a reprezentatív jármű vagy szerelvény hasznos teherbírása (kN).

A tehergépkocsi tengelyeinek együttes rongáló hatása:

$$B = \sum_{i=1}^n b_{ai} + \sum_{i=1}^n b_{ri} \quad (7),$$

- ahol B : egy forduló hatása 100 kN egységtengely-áthaladásban,
 b_{ai} : az üres reprezentatív jármű egyes tengelyterheléseire rendelt átszámítási érték,
 b_{ri} : a rakott reprezentatív jármű egyes tengelyterheléseire rendelt átszámítási érték,
 n : a reprezentatív jármű tengelyeinek száma.

Az üres és a rakott tengelyek átszámítási tényezőjét az (1) összfüggéssel lehet számolni attól függően, hogy az adott tengely szóló vagy tandem elrendezésű. A szállított anyag fajlagos tömege (halomsűrűsége) és alakja, az anyagmozgató berendezés hasznos terhelhetősége (raksúlya), valamint rakfelületének nagysága és hasznos magassága együttesen meghatározzák az egy menetben elszállítható anyag mennyiségét (Kosztka 2001). A szállításban alkalmazott tehergépkocsinál ez meghatározza a tengelyterheléseket, amelyet az erdészeti utak pályaszerkezetének méretezésekor kell elsősorban figyelembe venni.

Mivel a szállítási feladatot m^3 -ben szokás megadni, ezért azt át kell számolni kN-ra. Ehhez elsősorban a szállított faanyag sűrűségét és becsült nedvességtartalmát lehet felhasználni. A sűrűség egy fafajon belül is lényegesen eltérhet a szakirodalomban közölt átlagértéktől (Kovács 1979), ezért az 1. táblázatban lévő adatok csak tájékoztató jellegűek. A frissen vágott fa nedvességtartalma kb. 50% (a szárazanyagra vonatkoztatva), ezért $1 m^3$ faanyag közelítőleg 9,6 kN-nak felel meg a táblázat szerint ($1 \text{ tonna} \sim 10 \text{ kN}$). Ezt az értéket még módosítják a szállítójárművek raktere által adott lehetőségek, amelyek kihasználása fenyőfélék esetében jó, lombos fafajoknál pedig – alakjukból fakadóan – rosszabb lehet. Továbbá befolyásolja még az a tény is, hogy Magyarországon a faállománnyal borított területek aránya fafajcsoportok szerint az akác (23%), a tölgy (21%), a cser (11%), a fenyő (12%) és a nyár (10%) dominanciáját mutatja (Kottek és mtsai 2008), így e fafajok sűrűségét nagyobb súllyal kell figyelembe venni az átszámítási tényező kialakításánál. Ezeket a szempontokat is figyelembe véve $1 m^3$ faanyag $\sim 10 \text{ kN}$ terhelésnek felel meg - fafajtól függetlenül - a további számítások során.

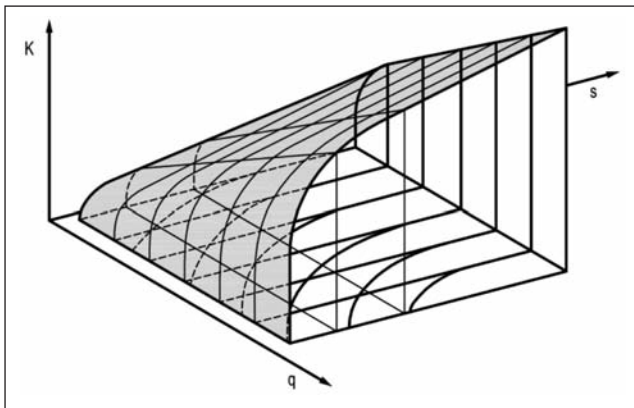
1. táblázat: A faanyag sűrűsége fafajtól és nedvességtartalomtól függően
 Table 1: The wood density depending on moisture content and species of tree

Sűrűség (to./m ³), eltérő nedvességtartalom mellett						
Fafaj	0%*	10%	20%	30%	40%	50%
Akác	0,736	0,810	0,883	0,957	1,030	1,104
Tölgy	0,682	0,750	0,818	0,887	0,955	1,023
Cser	0,812	0,893	0,974	1,056	1,137	1,218
Bükk	0,695	0,765	0,834	0,904	0,973	1,043
Gyertyán	0,790	0,869	0,948	1,027	1,106	1,185
EKL	0,651	0,716	0,781	0,847	0,912	0,977
Nyár	0,435	0,479	0,522	0,566	0,609	0,653
ELL	0,495	0,545	0,594	0,644	0,693	0,743
Fenyő	0,460	0,506	0,552	0,598	0,644	0,691
Átlag	0,640	0,704	0,767	0,832	0,895	0,960

*forrás: <http://www.soskn.sk/anyagismeret/7.3.htm>

A szállítási költség alakulása

Az erdőgazdálkodók jövedelmét a megtermelt faanyaggal való megfontolt gazdálkodás alapozza meg. A faanyag értékesítések a szállítási költség alakulása nagymértékben befolyásolja a megtermelt faanyag értékének erdészetnél maradó hányadát. Éppen ezért fontos, hogy a szállítási költségek alakulásának megértéséhez néhány nélkülözhetetlen fogalmat megismerjünk. Ezeket Kádas (1972) *Közlekedés-gazdaságtan* című könyve foglalja össze részletesen. A szállítás jellemzésére igen fontos fogalom a szállítási teljesítmény (T). Ez alatt az elszállított faanyagmennyiségnek (q) és a megtett útnak (s) a szorzatát értjük, mértékegysége [tkm]. A szállítási teljesítmény vagy volumen előállításához szükséges ráfordítások pénzértékben kifejezett nagysága a globális szállítási költség (K_{sz}). A szállítás költségeit költségnevek szerint alapvetően két nagy csoportra bonthatjuk. Az első csoportba a tevékenységgel arányos (proporcionális) változó költségeket, míg a másikba az úgynevezett fix költségeket soroljuk, melyek azonos nagyságrendben merülnek fel függetlenül a tevékenység terjedelmétől. Ennek megfelelően a teljes szállítási költség (K_{sz}) az állandó költségből (k_a) és a változó költségből (k_v) tevődik össze (Pankotai és Herpay 1965). A változó költségek közé tartoznak: az üzem- és kenőanyag-, a gumi-, a megtett kilométertől függő karbantartási és javítási munkák költségei valamint az úthasználati díjak is. Vagyis a változó költség főként a közvetlen anyag-, munka-, energiaráfordítások költségeiből tevődik össze. Az állandó költségek közé sorolhatjuk: a gépkocsi amortizációját, a biztosítási költségeket, a járművel kapcsolatos adókat, a hiteltörlesztést, a munkabért és közterheit, a távolléti (kiküldetési) díjakat, az étkezési hozzájárulást, a szállásköltséget, az általános költségeket stb. A k_a lényegében előkészítési költség, megfelelő kiegészítésekkel. Az állandó költség adott termelési kapacitás és adott üzemelési viszonyok között alig függ a szállítási volumentől. A változó költség viszont a szállítási volumennel arányosan változik.

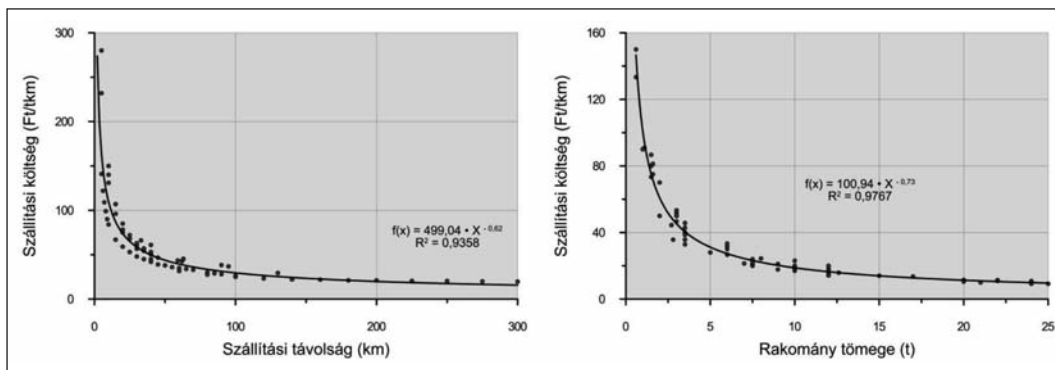


2. ábra: Költségfelület, adott áru szállítási költsége a távolság (s) és az áru tömege (q) függvényében
Figure 2: Surface of transport cost as a function of the distance and the weight of the product

Az átlagos szállítási költség adott szállítási távolságon (s) az elszállított faanyag mennyiségének (q) ismeretében a következő összefüggéssel becsülhető meg (Kádas 1972):

$$K_{sz} = c \cdot q^a \cdot s^b \quad (8),$$

- ahol K_{sz} : a szállítás teljes költsége (Ft),
 c : költségtényező (Ft/tkm),
 a, b : a szállítási költségnek a teherbírás, ill. a távolság szerinti elaszticitása,
 q : a szállítójármű rakománya (t),
 s : a szállítási távolság (km).



3. ábra: A fajlagos költség változása a szállítási távolság (a) és a rakomány tömege (b) függvényében
 Figure 3: Change of the specific transport cost as a function of the distance of transport (a) and weight of product (b)

A K_{sz} globális költség alakulásának q -tól és s -től való egyidejű függését a 2. ábra mutatja be.

A továbbiakban fajlagos költség alatt az átlagos szállítási költség és a szállítási teljesítmény hányadosát értjük, és K'_{sz} -vel jelöljük (Rumpf 1973), mértékegysége a [Ft/tkm]. Tehát a fajlagos költség az egységnyi szállítási teljesítmény költsége. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy ha a szállítási teljesítmény és a szállított faanyag tömege nem változik, akkor a szállítási távolság növekedésével a fajlagos költség általában csökken. A fajlagos szállítási költségek költségfüggvényét az erdőgazdaságok által szolgáltatott – a 2011-es évre vonatkozó – tarifatablázatok segítségével paramétereztük fel (3. a ábra). Jelenleg az erdőgazdaságok azonban csak a szállítási távolságot veszik figyelembe az árképzéskor. Ennek oka, hogy a faanyagszállításra gazdaságosan alkalmazható tehergépkocsik hasznos teherbírása közel azonos (kb. 12 tonna). Így a fajlagos költségeknek a rakomány méretétől függő változását a közúti szállításra jellemző fuvarozócégek – interneten elérhető – ártáblázatai alapján becsültük (3. b ábra). Ezek felhasználásával az összevont költségfüggvény a következő alakú:

$$K'_{sz} = 3250 \cdot q^{-0,75} \cdot s^{-0,6} \quad (9),$$

ahol K'_{sz} : a fajlagos szállítási költség (Ft/tkm).

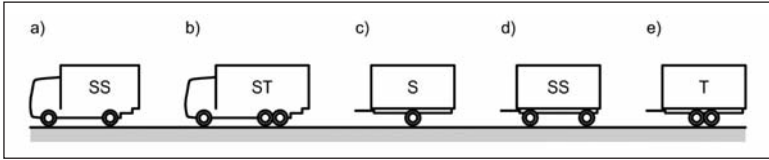
Az összefüggésből látható, hogy adott szállítási távolság mellett a gépkocsi teherbírásának növelésével a fajlagos szállítási költség mindig csökken, így a tengelyterhelés növelése látszik gazdaságosnak. Ezt az eredményt csak azért kaphattuk, mert elhanyagoltuk a rakodási idő szerepét (Rumpf 1976), valamint a növekvő útfenntartási költségeket (Kosztika 1985), amelyek igen nagy hatással vannak a tehergépkocsi-teherbírás optimális értékére. Jelenleg a faanyagszállításra alkalmas tehergépkocsik hasznos teherbírása közel azonos, így a szállítási távolság szerepe megnőtt, ezt a magas elaszticitási tényező is jelzi (-0,6).

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A járművek pályaszerkezet-rongáló hatásának meghatározása

A szállítási és az útfenntartási költségek összegzéséhez az szükséges, hogy a szállításban résztvevő tehergépkocsik hasznos teherbírását (q) összefüggésbe hozzuk azok tengelyeinek összegzett rongáló hatásával (B). A hasznos teherbírás növelése ugyanis a szállítási költségek esetén megtakarítást jelent, de ezzel szem-

ben megjelenik a megnövekedett útfenntartási költség (Primusz 2006). Ennek a hatásnak a vizsgálatához az erdészeti szállításban előforduló 120 db jármű (70 db tehergépkocsi és 50 db pótkocsi) üres és rakott állapotú tengelyterhelés-értékeit, valamint hasznos terhelését gyűjtöttük össze.

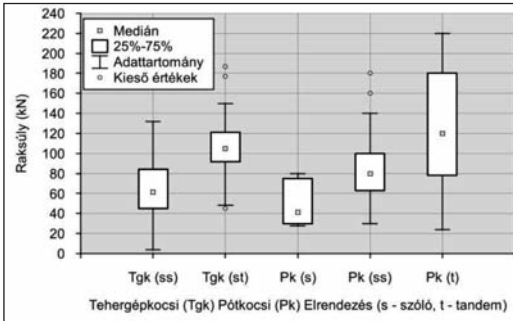


4. ábra: A számításban szereplő tehergépkocsik és pótkocsik tengelyrendezései

Figure 4: The axle arrangements of trucks and trailers in our calculations

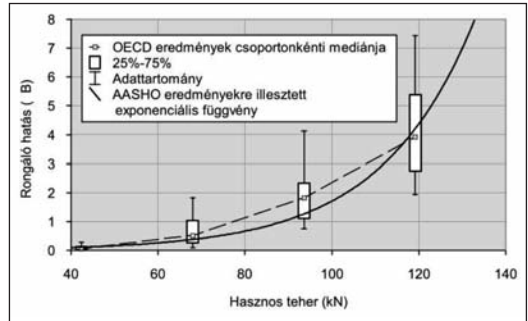
Az előforduló tehergépkocsi (tgk) és pótkocsi (pk) tengelyrendezéseit és azok kódolását a 4. ábra foglalja össze. Az összegyűjtött raksúly-adatsor jellemző mennyiségi ismérv eloszlásának tömör jellemzését adja az 5. box-plot ábra. A „doboz” közepén lévő pont a medián, a doboz lapjai pedig a kvartilisek. A dobozon belül található az adatok 50%-a. A dobozon túlnyúló vonalak (kerítés) az adatok terjedelmét mutatják. A kerítésen kívül lévő pontok pedig az úgynevezett kieső értékek, amelyek kívül esnek a vizsgálati tartományon. Jól látható, hogy tehergépkocsik esetében a jellemző raksúly 40–80 kN és 90–120 kN között van a tengelyrendezéstől függően.

Egy konkrét tehergépkocsi vagy pótkocsi egy fordulójának összegzett rongáló hatását a már bemutatott (7) összefüggéssel számítottuk. A számításnál az egyes tengelyek rongáló hatását az AASHO módszer (1) szerint vettük figyelembe. Ennek oka az volt, hogy ebben az esetben bemeneti adatként csak az adott tengely terhelését kell ismerni, így a rendelkezésre álló adatok alapján egyértelműen elvégezhetjük a számításokat. Ellenőrzésként az OECD által javasolt számítás (3) szerint is számoltuk a rongáló hatás mértékét. Itt problémaként jelentkezett, hogy a módszer több olyan paraméter ismeretét is igényelte, amelyek nem álltak rendelkezésünkre.



5. ábra: A raksúlyadatsor box-plot ábrázolása

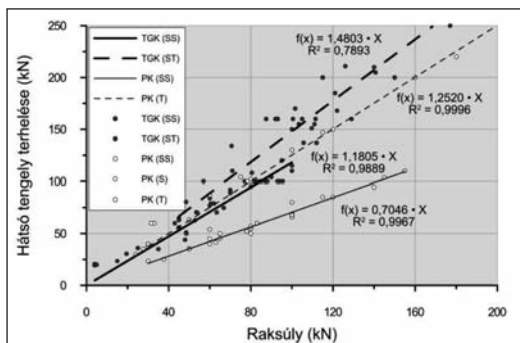
Figure 5: Box-plot representation of the payload data set



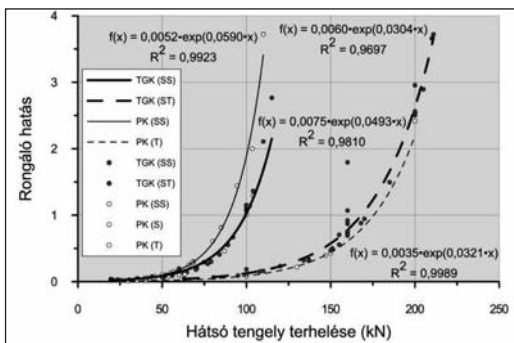
6. ábra: Az eltérő rongáló hatást becsülő képletek összehasonlítása

Figure 6: Comparison of the estimation formulas of the different fatigue effects

Emiatt minden lehetséges paraméter-variációban számítottuk a rongáló hatást járműtípusonként. Ezt a feladatot sajátfejlesztésű számítógép-program segítségével oldottuk meg. A számítás eredményeképp olyan adatpárokat kaptunk, amelyekben egy hasznos teher értékhez több rongáló hatás érték tartozott. A kapott értékek az AASHO módszer eredményei körül szóródtak. A 6. ábrán a szoló-szólo tengelyrendezésű tehergépkocsikra 4-es hatványkitevővel számított értékek láthatók. A hatványos összefüggés miatt a magasabb hasznos teher értékek felé az OECD módszerrel számított értékek szórása is egyre nagyobb. Mivel az AASHO módszerrel számított eredmények könnyen meghatározhatóak, és regressziós görbéjük az OECD-módszerrel számított eredmények tartományán belül marad, a további számításokhoz ezt a módszert használtuk fel.



7. ábra: A raksúly és a hátsó tengelyterhelés kapcsolata
Figure 7: Relationship between the rear axle load and the payload



8. ábra: A hátsó tengelyterhelés és a rongáló hatás kapcsolata
Figure 8: Relationship between the rear axle load and the fatigue effect factor

Ezek után összefüggést kerestünk a hasznos terhelés és a tengelyenként összegzett rongáló hatás között. Korábbi kutatásokból már ismert, hogy a hátsó tengelyterhelés és a raksúly között lineáris összefüggés áll fenn (Rumpf 1974a, Rumpf 1974b). Ezt az általunk összegyűjtött adatsoron végzett regresszió-analízis is megerősítette. Járműtípusonként és tengelyelrendezésenként a vizsgálat eredményeit a 7. ábra mutatja be. A hátsó tengelyterhelés és az összegzett rongáló hatás között pedig erős exponenciális kapcsolatot találtunk (8. ábra). A regressziós modellek összevonásából felállítható a hasznos terhelés és a rongáló hatás között keresett függvénykapcsolat:

$$B = \alpha \cdot e^{(\beta \cdot q)} \quad (10),$$

ahol B : egy forduló rongáló hatása 100 kN egység tengely-áthaladásban,
 q : hasznos terhelés (kN),
 α, β : paraméterek.

A (10) összefüggés pontosságát és paramétereit szállítójármű és tengelyelrendezés szerint a 2. táblázat foglalja össze. Az összefüggés szerint a hasznos terhelés növekedése a rongáló hatás exponenciális emelkedését okozza és így a várható útfenntartási költségeket is.

2. táblázat: Modellparaméterek szállítójármű és tengelyelrendezés szerint
Table 2: Model-parameters according to transport vehicle and axle arrangement

Paraméter	Tgk (ss)	Tgk (st)	Pk (ss)	Pk (s)	Pk (t)
Alfa (α)	0,0075	0,0060	0,0052	0,0049	0,0035
Béta (β)	0,0582	0,0450	0,0416	0,0701	0,0402
R ²	0,8800	0,8900	0,9700	0,9100	0,9900

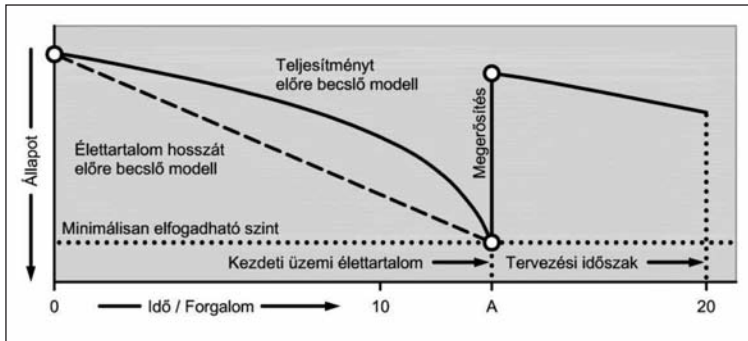
A regresszió-analízis segítségével felállított modell felhasználásával már a fajlagos szállítási költségek mellett a fajlagos útfenntartási költségek is megbecsülhetők a hasznos terhelés függvényében.

Az útpályaszerkezet leromlásának előrebecslése

Az útpályaszerkezet állapota az idő függvényében változik. Annak érdekében, hogy később az útfenntartási költségeket is meg lehessen határozni, szükség van a burkolat állapotát jellemző paraméterek időbeni változásának előrebecslésére. Számos statisztikai és analitikai eszköz áll rendelkezésünkre az előrejelzési

modellek kifejlesztéséhez. Ezek legtöbbje korrelációvizsgálatokat, regresszió-analízist vagy idősor-modelleket stb. tartalmaz. A gyakorlatban leginkább a mechanisztikus, empirikus és a regressziós leromlási modellek terjedtek el. Fontos, hogy a modell kialakításához „történeti” adatokat használjunk fel, valamint az, hogy pontosan fogalmazzuk meg elvárásainkat a modellel szemben (Gáspár 2003).

Az útpályaszerkezetek teljesítményét (performance) az egész élettartamra, vagyis a tervezési időszakra szokták előre becsülni az útgazdálkodási rendszerek. Ennek a teljesítőképességnek a jellemzésére több eltérő teljesítmény-mérőszámot (performance indicator) is kidolgoztak. Az útpályaszerkezetek teljesítményét tehát többféle állapotparaméter szerint lehet megadni. Ezek közül a legtöbb pályaszerkezet-gazdálkodási rendszer a következő négy burkolatállapot jellemzőt veszi figyelembe: használhatóság (járhatóság), teherbírás (szerkezeti megfelelés), felületi hibák és biztonsági paraméterek (keréknyomvályú, sűrűládaí együttható stb.). A használhatósági teljesítmény rendszerint a burkolat általános funkciójával hozható kapcsolatba (a járófelület állapota), és ezért főleg az úthasználók számára érdekes. Ugyanakkor az útpályaszerkezetek mechanisztikus értékelése (teherbírás) az útgazdálkodással foglalkozó mérnökök számára nélkülözhetetlen. Fontos a kétfajta jellemzés-típus közötti különbség megértése. A használhatóság a jelenlegi állapotot, a mechanisztikus vagy szerkezeti megfelelés pedig a burkolatnak a terheléssel (forgalommal) szembeni jövőbeli reakcióját jellemzi. A 9. ábra egy általános teljesítményt előre becsülő modell felépítését mutatja be.



9. ábra: Az élettartamot és a teljesítményt előre becsülő modell felépítése
Figure 9: Structure of the estimation model of the lifetime and of the performance

Az útpályaszerkezetek szerkezeti megfelelését általában behajlásméréssel határozzák meg. Ennek oka, hogy az 1960-as években az AASHO útkísérletek bebizonyították, hogy a burkolat behajlása, illetve a pályaszerkezet szükséges egyenérték-vastagsága szoros kapcsolatban áll az úton lefutott forgalom nagyságával, illetve az altalaj teherbírásával (CBR%). A teherbírás behajlásméréssel való vizsgálatára sajnos nincsen mindig mód, ezért indokolt a több rétegből felépülő útpályaszerkezetet egy egyen teherbírású réteggént felfogni. A továbbiakban ezért az eredeti útpályaszerkezetet egy olyan egyrétegű elméleti réteggént fogjuk fel, amelynek vastagsága eltér a geometria vastagságtól, de teherbírás szempontjából azzal mégis egyenértékű, anyaga pedig szabványos zúzottkő réteg (Herpay 1967, Rumpf 1971). Az AASHO kísérletek eredményei alapján az *Asphalt Institute* 1963. évi egyenérték-vastagságképlete, amellyel az erdészeti utak hajlékony pályaszerkezteinek méretezése is történik:

$$H_{e_{sz}} = (-14,5 + 14 \cdot \log(F_{100})) \left[\frac{2,5}{CBR\%} \right]^{0,4} \quad (11),$$

ahol $H_{e_{sz}}$: szükséges egyenérték-vastagság (cm),

F_{100} : a tönkremenetelhez szükséges egység tengely-áthaladás (db),

CBR : az altalaj teherbírása (%).

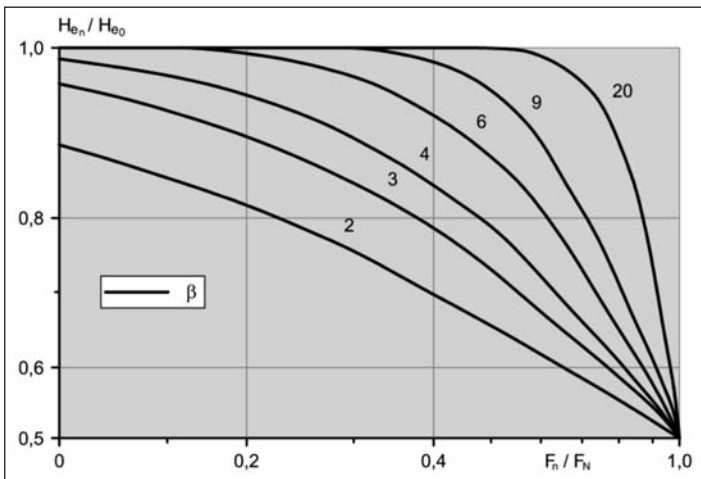
Az eredetileg beépített aszfaltrétegek, illetve az utántömörödésen már átesett burkolatok geometriai vastagsága lényegében a forgalom hatására már alig változik. A pályaszerkezet teljesítménycsökkenése, később pedig maga a tönkremenetel nem a mérhető szerkezeti elvékonyodásból, hanem a burkolat belső szerkezetében végbemenő mechanikai változásokból fakad. A forgalom hatására az egyenérték-vastagság változását tehát nem abszolút értelemben a vastagsági méret csökkenésével, hanem az ún. hatékony egyenérték-vastagság változásával állapíthatjuk meg (Tóth és Zsiga-Kiss 1986). Ez alatt az egyes rétegek egyenérték-tényezőinek csökkenését kell érteni. Az erre vonatkozó külföldi kutatásokból ismeretes a holland Molenaar (1983) képlete:

$$H_{e_n} = \frac{H_{e_0}}{1 + e^{\beta \cdot \log\left(\frac{F_n}{F_N}\right)}} \quad (12),$$

- ahol H_{e_n} : egyenérték-vastagság n db egységtengely-áthaladás után (ecm),
- H_{e_0} : egyenérték-vastagság 0 db egységtengely-áthaladás után (ecm),
- β : a pályaszerkezet merevségétől függő tényező (-),
- F_n : a már lefutott forgalom egységtengely-áthaladása (db),
- F_N : a tönkremenetelhez szükséges egységtengely-áthaladás (db).

Az összefüggés szerint az egyenérték-csökkenés mértéke a forgalmi hányados $\left(\frac{F_n}{F_N}\right)$ logaritmusától függ.

A β tényező nagysága pedig a teljes útpályaszerkezet merevségének függvénye (10. ábra), jellemzően 3–9 között változik. Megemlítendő még, hogy a képlet β értéktől függetlenül $H_{e_n} = 0,5 \cdot H_{e_0}$ eredményt ad, ha az $F_n = F_N$ azaz, ha a burkolat teljesen kimerül. Vagyis az útpályaszerkezet tönkremenetnek tekinthető, ha az egyenérték-vastagság virtuálisan a felére csökken. A fenti összefüggés igazolására kísérletsorozatot indítottak Hollandiában. A vizsgálat eredménye kimutatta, hogy az előrebecslő modell jól képes visszaadni a mérési eredményeket hajlékony útpályaszerkezetek esetében (Molenaar 1983).



10. ábra: Az útpályaszerkezetek merevségétől függő leromlási görbék alakja
 Figure 10: Failure curves of the pavements depending on the stiffness

A hatékony egyenérték-vastagság csökkenésének számszerűsítésére hazai mérések, kutatások közvetlenül nincsenek, de a HUMU (Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása, 1971) – a régi és az új bur-

kolat egyenérték-vastagsági szorzóinak megkülönböztetésével – lényegében erre számszerű előírást is tartalmazott. Később, a 80-as évek közepén Magyarországon is megindult az útburkolatok leromlási folyamatával és élettartalmával foglalkozó hosszabbtávú kutatási program. A számos eredmény közül a következő korrelációs összefüggés adódott ($R = 0.973$) az f fajlagos forgalombírás és az egyes megfigyelt útszakaszjellemzők között (Gáspár 2004):

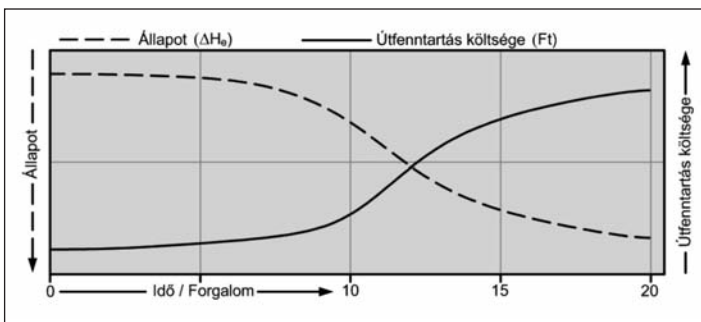
$$f = 139,9 \cdot N - 144,7 \cdot H_e - 62,6 \cdot CBR\% + 54777 \quad (13),$$

- ahol f : fajlagos forgalombírás (et./ecm),
 N : napi áthaladt 100 kN-os terhelésű egység tengelyek száma (et./nap),
 H_e : egyenérték-vastagság (ecm),
 CBR : az altalaj teherbírása (%).

A fajlagos forgalombírás a pályaszerkezet egy egységcentiméterére jutó egység tengelyek számát adja meg az út teljes élettartama alatt. A fenti összefüggés is a hatékony egyenérték-vastagság változás gondolatát tartalmazza, még ha nem is közvetlenül. A továbbiakban így a hajlékony útpályaszerkezetek hatékony egyenérték változását a (12) összefüggéssel írjuk le.

Az útfenntartás költségeinek előrebecslése

Az útgazdálkodás költségnevei között tartjuk nyilván az építés és a fenntartás költségeit. Az utépítési költségeket korábban megépült utak nyilvántartásaiból, becsléseiből és vizsgálataiból lehet származtatni. A fenntartási költségeket pedig abban az esetben, ha a gazdálkodást folytató szervezet rendelkezik útfenntartási rendszerrel (Maintenance Management System – MMS), akkor a nyilvántartott adatok elemzésével határozhatók meg. Sajnos jelenleg az erdőgazdaságok ilyen egységes rendszerrel nem rendelkeznek, így a fenntartási költségeket a burkolatállapot és a fenntartási munkákat végző brigádok teljesítménye alapján lehet előre becsülni. Az útfenntartási költségek körébe sorolhatók a javítás, a karbantartás és a felújítás költségei. Ezek egyrészt az út forgalomba helyezése óta eltelt időtől (anyagöregedés, kopás), másrészt az úton áthaladt nehézforgalom nagyságától függenek (Timár 2002). Egy adott pályaszerkezettel megépült út állapotának időbeni változását az 3.2-es pontban bemutatott leromlási görbe fejezi ki, amelynek segítségével meghatározhatók a szükséges beavatkozások időpontjai. A 11. ábráról az is jól leolvasható, hogy a fajlagos fenntartási költségek jövőbeni alakulása nagymértékben függ az út forgalmi terhelésétől és annak állapotromlásától. A leromlási modellek így egyben költségfüggvényként is szolgálnak.



11. ábra: Az útállapot romlása és a fenntartási költségek kapcsolata

Figure 11: Relationship between the deterioration of the road and the maintenance costs

A fenti megállapítások tükrében az útfenntartás átlagos költségét a hasznos egyenérték csökkenés mértékével fejezzük ki. Ehhez a teherbírás-változás leromlási modelljét (12) használhatjuk fel:

$$\Delta H_e = H_{e_0} \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\beta \cdot \log\left(\frac{n}{N}\right)}} \right) \quad (14),$$

ahol ΔH_e : a hasznos egyenérték csökkenés a forgalom függvényében (ecm).

Az összefüggés szerint a szállítási feladat által okozott hasznos egyenérték csökkenést kell visszapótolni, hogy az út kezdeti szolgáltatási színvonalát (állapotát) helyreállítsuk. Ennek megfelelően az erdőgazdasági utak átlagos fenntartási költségeit az Erdőfeltárási Tanszéken készült felújítási tervek költségbecslései alapján a következő összefüggéssel írhatjuk le:

$$K_f = a \cdot \Delta H_e + b \quad (15),$$

ahol K_f : egy m^2 út átlagos útfenntartási költsége (Ft/ m^2),
 a : egy ecm pályaszerkezeti réteg építési költsége egységnyi felületen (Ft/ecm · m^2),
 b : forgalomtól független állandó fenntartási költség (Ft/ m^2).

Az a tényező értéke a felújítási tervek alapján 250–350 Ft/ecm · m^2 között van. A b tényező egy, a forgalomtól függetlenül megjelenő állandó fenntartási költséget feltételez (Ft/ m^2). Ez a költség az, amelyet a még ki-váló állapotú utakon is megjelenő apróbb lokális hibák rendbetételére kell fordítani. Ezeknek a hibáknak a kijavítása azért fontos, mert az úthibák elfajulását akadályozzák meg, így az út leromlási folyamata lassítható, és a szállítás miatti fenntartási költségek alacsonyan tarthatóak. Mivel ezek a munkák tapasztalataink szerint sajnos sok esetben elmaradnak, így a további számítások alatt $b = 0$ feltételezéssel élünk. Ahhoz, hogy a szállítási és az útfenntartási költségeket összegezni tudjuk, a faanyagszállításból származó fenntartási költségeket is Ft/tkm-ben kell kifejezni:

$$K'_f = 1000 \cdot \frac{B_{sz}}{Q} \cdot K_f \quad (16),$$

ahol K'_f : egy tonna rakományra jutó átlagos útfenntartási költség (Ft/tkm) egy km hosszon
 Q : a vizsgált időszakban leszállított fatérfogat tömege (t),
 B_{sz} : a burkolatszélesség (m).

A szállítási (K'_{sz}) és a fenntartási költségek (K'_f) így már összegezhetők. A végső költségek kialakításánál figyelembe kell még venni azt a tény is, hogy a szállítójárművek útjuk nagy részét közúton teszik meg, melynek fenntartási költségei nem terhelik az erdőgazdaságokat. Így a járművek növekvő teherbírásából eredő kiadások ezen a szakaszokon elmaradnak:

$$K' = K'_f \left(\frac{R_f}{R_f + R_p} \right) + K'_{sz} \quad (17),$$

ahol K' : a faanyagszállítás és az útfenntartás együttes fajlagos költsége (Ft/tkm),
 R_f : a szállítással érintett erdészeti út hossza (km),
 R_p : a szállítással érintett közút hossza (km).



Az így felírt költségfüggvény már számíthatóvá teszi, hogy egy szállítási feladat milyen költségeket okoz adott útállapot mellett, illetve azt, hogy adott teherbírású útszakaszokon milyen forgalmi terhelés bonyolítható le gazdaságosan. Fontos még megjegyeznünk, hogy a szállítási költségeket leíró (9) összefüggés csak jól vagy közepesen járható útfelület esetén érvényes. Azon túl a fajlagos szállítási költségek már nem csökkennek, hanem folyamatosan növekednek a megtett út függvényében. Ezért csak a minimálisan elfogadható szint eléréséig használható a (K'_{sz}) összefüggés.

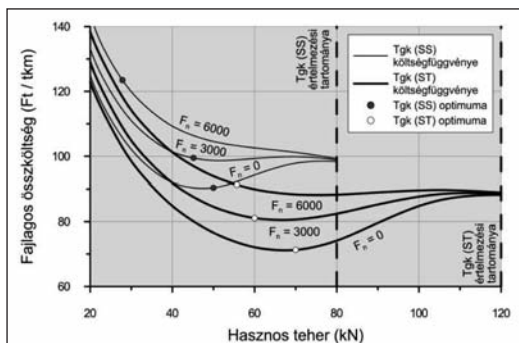
A modell bemutatása egy jellemző erdészeti út példáján

A felállított modell működését egy konkrét szállítási feladatra kidolgozott számpélda mutatja be. A számítással egy adott teherbírással rendelkező meglévő erdészeti út esetén keressük azt a hasznos teherbírással rendelkező tehergépkocsit, amellyel a szállítás folyamata gazdaságosan elvégezhető. A levezetett összefüggéseket az egyenérték-vastagságnak megfelelő tartományon belül vizsgáljuk. Kiindulási adatok:

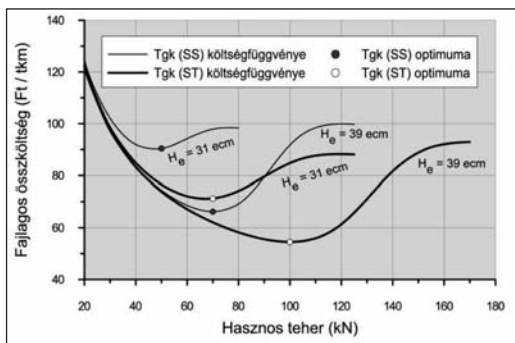
A szállítási feladat:	Q	$= 300\,000\text{ m}^3$
A meglévő út egyenérték-vastagsága:	H_e	$= 31,00\text{ ecm}$
A földmű teherbírása:	CBR	$= 5\%$
Az út terhelhetősége egységtengely-áthaladásban:	F_N	$= 10\,000\text{ db}$
Az úton már lefutott forgalomterhelés:	F_n	$= 0\text{ db}$
A hajlékony pályaszerkezet merevségi tényezője:	β	$= 3,0$
Az útburkolat szélessége:	B_{sz}	$= 3,5\text{ m}$
Szállítási távolság:	s	$= 50\text{ km}$
A szállítási távolság erdészeti útra eső része:	R_f	$= 20\text{ km}$
A szállítási távolság közútra eső része:	R_p	$= 30\text{ km}$
Rakodás költsége:	K_r	$= 400\text{ Ft / m}^3$

A (9) képlettel kiszámítjuk a szállítási költségeket. Ezek az értékek szóló és tandem tengely esetén megegyeznek. A (14) képlettel számítjuk a hasznos egyenérték csökkenéseket. Egy tonna rakomány átlagos útfenntartási költségeit egy km hosszon a (16) képlettel becsültük meg. A faanyagszállítás és útfenntartás együttes költségét pedig a (17) összefüggéssel összegeztük. A számítások alapján kapott költségfüggvényeket ábrázolva az alábbi következtetéseket vonhatjuk le. A fenntartási költségek az állapot leromlásával arányosan növekednek. Az állapotleromlás vége az út tönkremenetele, mely alatt az egyenérték-vastagság a felére csökken, ezért a függvények eredményeit is csak eddig a tartományig értékeltük. Ebből következik, hogy a fenntartási költség függvénye felülről korlátos. A szállítási költség a hasznos terhek növelésével egyre csökkenő tendenciát mutat. A 12-es grafikonról leolvasható, hogy tandem tengely esetén a 70 kN-os hasznos terhelésnél van a költségfüggvény minimuma. Szóló tengely esetén pedig ez az érték 50 kN hasznos terhelésnél található.

Az egyesített költségek mellett még megemlíthetjük az építési költséget, mely az általunk alapul vett út esetében 205 Ft/tkm. Megnövelve az eddig áthaladt forgalomterhelést nulláról $F_n = 3000$, majd $F_n = 6000$ -re, azt tapasztaljuk, hogy a költséggörbék minimuma egyre feljebb tolódik, miközben a hasznos teherbírás lecsökken (12. ábra). Ezért fontos nagyon, hogy az út teherbírása a szállítási feladattal arányos legyen. Ellenkező esetben a nagyobb terhelésű tehergépkocsik drasztikusan megnövelik a fenntartási költségeket. Meg kell jegyezni, hogy az ábrán csak az $F_n = 0$ függvényhez tartozó értelmezési tartomány határa van feltüntetve. A többi esetben, ha az optimum nem a minimumnak látszó helyen van jelölve, akkor a függvény azon a ponton túl nem értelmezhető. A számítás második felében a kiindulási utunk pályaszerkezetét megerősítettük 4 cm aszfaltréteggel (8 ecm). A beépített 4 cm aszfaltréteg fajlagos költsége körülbelül 23 Ft/tkm 2011-es árszinten. A szállítás és fenntartás együttes költségének változását a 3. táblázat foglalja össze. A 13. ábrán láthatjuk, hogy az egyesített



12. ábra: Költségfüggvény eltérő útállapot esetén
Figure 12: Cost function in case of different road conditions



13. ábra: Költségfüggvény az erősítő réteg után
Figure 13: Cost function after the strengthening course

költségértékek csökkentek, valamint a költségminimum eltolódott a magasabb hasznos terhelésű járművek irányába.

Egyértelműen megállapítható, hogy a tandem tengellyel rendelkező tehergépjárművek összköltsége lényegesen alacsonyabb, mint a szóló tengelyű járművéké, ezért ezek használata indokolt az erdészeti szállításban. A modell használatával lehetőség nyílik a szállítási és fenntartási költségek, az útállapot és a hasznos terhelésű gépjárművek egymásra hatásának együttes szemléltetésére. Ez elősegíti annak a komplex szemléltetnek a kialakítását, mely megalapozza a fenntartási stratégia szállítási stratégiába való integrálását.

3. táblázat: A szállítójárművek jellemzői a hasznos terheléstől és a tengelyrendezéstől függően
Table 3: Features of the transport vehicles depending on the axle arrangement and the payload

Szállító-jármű	q (kN)	B (-)	Forduló száma (db)	Egység-tengely áthaladás (db)	K'_{sz} (Ft/tkm)	ΔH_e (ecm)	K'_f (Ft/tkm)	K' (Ft/tkm)
Tgk (ss)	50	0,13768	60000	8261	73,8	11,867	16,61	90,41
Tgk (st)	70	0,14002	42857	6001	61,8	6,762	9,47	71,27
4 cm aszfalterősítés után								
Tgk (ss)	70	0,44100	42857	18897	61,80	3,148	4,41	66,21
Tgk (st)	100	0,54000	30000	16203	51,40	2,200	3,08	54,48

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatunk során összefüggést kerestünk az erdészeti szállítójárművek hasznos terhelése és a szállítással kapcsolatos meghatározó költségek alakulása között. Az összefüggés meghatározására költség-előrejelző modellt állítottunk fel, amely a raksúly függvényében adja meg a költségeket. A raksúly alkalmazása azért célszerű, mivel a gyakorlatban ennek meghatározása és ellenőrzése a legegyszerűbb. Feltételeztük, hogy a szállítás összköltségét a tényleges szállítási költség és a fenntartás költsége együttesen határozza meg. A fajlagos szállítási árakat erdőgazdasági, valamint általános fuvarozói tarifatablázatok függvényesítése alapján állapítottuk meg. Az árképzésben nem játszott szerepet a szállítási feladat nagysága, viszont a költségekhez hozzászámoltuk a rakodás költségeit. A szállítás m^3 -re vetített fajlagos költsége a távolság, valamint a raksúly növelésével csökkent. A fenntartási költséget a hatékony egyenérték-vastagság pótlás költségeként határoztuk meg elkészült tervek alapján. Értéke $250\text{--}350 \text{ Ft/ecm} \cdot m^2$ -re adódott. A hatékony egyenérték-vastagság csök-



kenését a lefutott forgalom függvényében a (14) képlettel számítottuk. A forgalom meghatározásánál adott szállítási feladat elvégzéséből indultunk ki. A szállítási feladat által generált forgalmat különböző raksúlyú járművek esetében vizsgáltuk a felállított regressziós modellek segítségével. A forgalmat egység tengely-áthaladásban kellett kifejezni a raksúly függvényében. Egy jármű egy fordulójának forgalomterhelését tengelyei hatásának összegeként számítottuk. A (10) képlettel összefüggésbe hoztuk a raksúlyt és a forgalomterhelést. A tengelyek egység tengelyre történő átszámítását az (1) AASHO formulával végeztük. A modellünk értékelésével kimutattuk, hogy adott útállapot és szállítási feladat esetén az alkalmazott feltételek mellett a költségfüggvénynek létezik optimuma. Ezzel kiválaszthatóvá vált a körülményeknek leginkább megfelelő – hasznos teherbírással rendelkező – tehergépkocsi. Így a modell az útfenntartási rendszerek értékes eleme lehet a későbbiekben. A szám példa alapján elmondható, hogy a jelenleg meglévő átlagos aszfaltburkolatú erdészeti utak esetén optimálisnak tekinthető az 50 kN hasznos terhelésű szóló, illetve a 70 kN hasznos terhelésű tandem hátsó tengelyelrendezésű tehergépkocsi. A modell felépítése alatt kétféle módon is igazoltuk, hogy robosztus becslések esetén a tengelyek rongáló hatásának meghatározására az AASHO formula alkalmazható. Emellett igazoltuk azt a korábbi megállapítást is, hogy a hátsó tengely terhelése és a raksúly között lineáris kapcsolat áll fenn. A későbbiekben figyelembe kívánjuk venni a szállítási árak útállapottól – és így raksúlytól – való függését, valamint az állandó, útállapottól független fenntartási költségek alakulását is. Végezetül fontos megjegyezni, hogy a fuvarozó cégek mindig abban lesznek érdekeltek, hogy egy forduló alatt a lehető legtöbb faanyagot szállítsák le, mert így tudják alacsonyan tartani fajlagos költségeiket. Ennek pedig az a hatása, hogy megnövekedett terhelés éri az útpályát, ami a feltáróutak rohamos tönkremeneteléhez vezet. Jelenleg az erdőgazdaságok a szállítási és a látenszen felhalmozódó fenntartási költségek együttes terhét kénytelenek elviselni, amiből csak tudatos útfenntartás esetén sikerülhet kitörni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban bemutatott eredmények a NyME-ERFARET Nonprofit Kft. és Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet együttműködése nélkül nem jöhettek volna létre. Külön köszönet illeti meg a Bakonyerdő Erdészeti és Faipari Zrt., valamint az Egererdő Erdészeti Zrt. munkatársait a költségelemzéshez szükséges adatok szolgáltatásáért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Akay, A. E. 2006: Minimizing total costs of forest roads with computer-aided design model, *S dhan* XXXI (5): 621–633.
- Burkhard, H. 1995: International Co-Operation on Infrastructure and Heavy Freight Vehicles Within OECD, 4th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions – USA
- Gáspár L. 2003: *Útgazdálkodás*, Akadémiai Kiadó, Budapest p. 360
- Gáspár L. 2004: *Útburkolatok élettartama*, Közúti és Mélyépítési Szemle, 54 (8): 2–6.
- Herpay I. 1967: Erdei utak pályaszerkezetének méretezése az új hazai utasítás szerint. *Az Erdő* XVI (8): 337–345.
- Herpay I. 1973: Kitermelő-anyagmozgató géprendszerek komplex értékelése. *Az Erdő* XXII (2): 60–67
- Kádas K. 1976: *Közlekedésgazdaságtan*, Tankönyvkiadó, Budapest
- Koren Cs. 1986: A nehéz gépjárművek tengelysúly-összetétele és egység tengelyre való átszámítása hazánkban. *Mélyépítéstudományi Szemle* XXXVI (10): 421–426.
- Kosztka M. 1985: Szállítójárművek típusváltozása és az erdészeti utak. *Az Erdő* XXXIV (2): 50–55
- Kosztka M. 1986: Az erdészeti utak új szemléletű pályaszerkezet tervezése. *Az Erdő* XXXV (5): 219–221.
- Kosztka M. 1988: Az erdészeti útdatbank. *Az Erdő* XXXVII (1): 23–26.
- Kosztka M. 2001: Erdészeti utak fenntartási rendszere. Kézirat, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron

- Kosztka M. 2009: Erdészeti útépités. Egyetemi tankönyv, Országos Erdészeti Egyesület, Budapest (p. 320)
- Kosztka M. és Péterfalvi J. 1993: Fenntartási feladatok a hazai erdészeti úthálózaton, Erdészeti Lapok CXXVIII (5): 130–132.
- Kottek P. 2008: Magyarország erdőállományai – 2006. MGSZH EI, Budapest, http://www.mgszh.gov.hu/erdeszeti_cd/index.htm
- Kovács I. 1979: Faanyagismerettan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 382
- Lopes, E. S.; Machado, C. C.; Souza, A. P. and Ribeiro, C. A. A. 2003: Harvesting and wood transport planning with SNAP III. program (Scheduling and Network Analysis Program) in a pine plantation in southeast Brazil, Revista Árvore XXVII (6): 831–836.
- Molenaar, A. A. A. 1983: Structural performance and design of flexible road constructions and asphalt concrete overlays, doctoral thesis, Technische Hogeschool, Delft (Netherlands)
- Nemesdy E. 1985: Útpályaszerkezetek méretezésének és anyagállandó-vizsgálatainak mechanikai alapjai. Kutatási rész-jelentés I., BME Útépitési Tanszék, Budapest
- Palmgren, A. G. 1924: Die Lebensdauer von Kugellagern (Life Length of Roller Bearings. In German), Zeitschrift des Ver-eines Deutscher Ingenieure 68 (14): 339–341.
- Pankotai G. és Herpay I. 1965: Erdészeti szállítástan, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 651
- Parsakhoo, A. and Hosseini, S. A. 2009: Formulation of the Truck Selection Process for Secondary Transportation in Hyrcanian Forests. World Applied Sciences Journal 6(2): 283–288.
- Primusz, P. 2006: Effects of the allowed axle load increase to the track structure of forest road network, Present and Future of Forest Opening-Up and Hydrology, Proceedings of the International Science Conference, Sopron, Hungary 21th–22th September, pp. 139–148
- Rolt, J. 1981: Optimum axle loads of commercial vehicles in developing countries. Transport and Road Research Laboratory Report 1002 (pp. 38), Rowthorne, Berkshire.
- Rumpf J. 1971: Erdőgazdasági útpályaszerkezetek méretezése, a szállítási feladat és a szállítást lebonyolító járművek alapján. Az Erdő XX (6): 249–259.
- Rumpf J. 1973: Az erdészeti szállítás összes költségének csökkentése optimális teherbírású gépkocsik alkalmazásával. Az Erdő XXII (9): 385–392.
- Rumpf J. 1974a: A szállítójárművek tengelyelrendezésének hatása a szállítás összes költségére. Az Erdő XXIII (2): 54–59.
- Rumpf J. 1974b: Az erdészeti szállítás összes költségének csökkentése optimális teherbírású és tengelyelrendezésű gépkocsik alkalmazásával. Doktori értekezés, Erdészeti- és Faipari Egyetem, Sopron
- Timár A. 2002: Közlekedési létesítmények gazdaságtana. Egyetemi jegyzet, Műgyegetemi Kiadó, Budapest (p. 156)
- Tóth E. 1988: Szemelvények a holland útfenntartási kutatási és fejlesztési munkából. Közlekedés- és Mélyépitéstudományi Szemle XXXVIII (9): 395–399.
- Tóth E. és Zsiga-Kiss E. 1986: Az útpályaszerkezetek teherbírás számításának néhány kérdése. Mélyépitéstudományi Szemle XXVI (10): 392–403.

Érkezett: 2011. május 16.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Gyapjaslepke gyilkosfűrész (*Glyptapantheles liparidis*)

A faj a gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) egyik jelentős természetes ellensége. Rizszemre emlékeztető bábjaival tölgyek, cserek kérgén gyakran találkozhatunk. Egy hernyóban akár 50 egyede is kifejlődhet (felső kép). Lárvai azonban csak olyan gazdában tudnak áttelelni, ami maga is hernyó alakban telet. Ennek a feltételnek a gyapjaslepke nem felel meg, hiszen peteként telet. A gyilkosfűrésznek így „teletőgazdára” van szüksége. A nagyon kevés ismert teletőgazda egyike a sárgafarú lepke (*Porthesia similis* – alsó kép). A faj hernyói polifágok, de legszívesebben erdei vadgyümölcsök leveleit fogyasztják. Ez a példa már önmagában is jól érzékelteti az elegység, illetve az elegyfajok erdővédelmi jelentőségét.

Fotó: Csóka György

ÚTMUTATÓ A SZERZŐK SZÁMÁRA

Az Erdészettudományi Közlemények évente legalább egy alkalommal megjelenő tudományos lap. Lektorált **magyar nyelvű, hazai, illetve közép-európai vonatkozású** tudományos publikációkat közöl a **tágabban értelmezett erdészettudomány** témaköréből. A Lapban való megjelenés szükséges minimális feltételei:

- A lap profiljához illeszkedő témájú kézirat,
- a formai előírásoknak megfelelő kézirat,
- magyar és angol nyelvű összefoglalók,
- magyar és angol nyelvű kulcsszavak,
- magyar és angol nyelvű ábraalírások,
- szabályszerű szövegekőzi szakirodalmi hivatkozások,
- a hivatkozott szakirodalom szabályszerű felsorolása.

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

A kéziratokat kizárólag elektronikus formában, a szerkesztoseg@erdtudkoz.hu e-mail címre kérjük.

TARTALOMJEGYZÉK

- 5 **Beköszöntő** – *Borovics Attila és Náhlik András*
- 7 **Az erdészeti szaksajtó története Magyarországon** – *Oroszi Sándor*
- 17 **A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban** – *Führer Ernő, Marosi György, Jagodics Anikó és Juhász István*
- 29 **Nagyfelbontású digitális talajtérképezés a Vaskereszt erdőrezervátumban** – *Illés Gábor, Kovács Gábor és Heil Bálint*
- 45 **Galériaerdők hatása a vízfolyások apadási görbéire és ennek információtartalma** – *Kalicz Péter, Gribovszki Zoltán és Király Géza*
- 59 **Alkalmazott elemzési módszerek a környezeti tényezők fák növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatában** – *Manninger Miklós, Edelényi Márton, Pödör Zoltán és Jereb László*
- 71 **A zöld duglászfenyő (*Pseudotsuga menziesii* var. *viridis*) növekedésének vizsgálata két különböző termőhelyen** – *Kondorné Szenkovits Mariann*
- 83 **Dunántúli *Leuce* nyár populációk genetikai vizsgálata RAPD és cpDNS markerekkel** – *Benke Attila, Cseke Klára és Borovics Attila*
- 95 **Egy elegyes tölgyes taxonómiai és genetikai szerkezetének elemzése** – *Cseke Klára, Bordács Sándor és Borovics Attila*
- 107 **Nyár genotípusok azonosítása DNS ujjlenyomatuk alapján** – *Cseke Klára, Benke Attila és Borovics Attila*
- 115 **Nyírségi akácok táji fatermési táblája** – *Rédei Károly, Csiha Imre, Keserű Zsolt, Kamandiné Végh Ágnes és Rásó János*
- 125 **A szelídgesztenye kéreggrák elleni biológiai védekezés tapasztalatai a Soproni-hegységben** – *Vidóczi Henriett*
- 135 **A faanyagmozgatás hatása az erdészeti úthálózatok szállítási és fenntartási költségeire** – *Primusz Péter, Péterfalvi József, Kisfaludi Balázs és Biczó Balázs*

English table of contents can be found on page 4.

www.erdtudkoz.hu

HU ISSN 2062-6711



9 772062 671009