



# Erdészettudományi Közlemények

4. évfolyam 2. szám

2014

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







### Mérések a lékben

A Bélkő (Bükk hegység) közelében lévő 95 éves bükkösben 2005-ben kezdődtek azok az összehasonlító mikroklímamérések, melyek elsősorban az eltérő állományviszonyok (zárt erdő, lék) csapadékmennyiségre, talajnedvességre és hőmérsékletre gyakorolt hatását vizsgálják. A képen a mérések érdekében vágott lék és a benne elhelyezett mérőállomás látható 2010 decemberében.

**Fotó és szöveg: Manninger Miklós** (NAIK ERTI, Budapest)



# Erdészettudományi Közlemények

4. évfolyam 2. szám



2014



**Főszerkesztő:**

*Csóka György (NAIK ERTI)*

**Helyettes főszerkesztő:**

*Lakatos Ferenc (NYME EMK)*

**Technikai szerkesztők:**

*Király Gergely (NYME EMK) és Hirka Anikó (NAIK ERTI)*

**A szerkesztőbizottság társelnökei:**

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

**A szerkesztőbizottság tagjai:**

*Albert Levente (NYME EMK)*

*Duska József (MEGOSZ)*

*Führer Ernő (NAIK ERTI)*

*Gőbölös Péter (Gyulaj Zrt)*

*Gribovski Zoltán (NYME EMK)*

*Kolozs László (NÉBIH EI)*

*Kovács Gábor (NYME EMK)*

*Sárvári János (MEGOSZ)*

*Szabados Ildikó (FM)*

*Szepesi András (FM)*

**Felelős kiadó:**

*Borovics Attila*

NAIK Erdészeti Tudományos Intézet

9600 Sárvár, Várkerület 30/A

**Címlapterv:**

Griffes Grafikai Stúdió

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

[www.griffes.hu](http://www.griffes.hu)

**Címlapkép:**

A 2007-es súlyos nyári aszályt követő tömeges fapusztulás a Mátra déli lejtőin (© Csóka György)

**ISSN 2062-6711**

**Nyomdai munkák:**

Agroinform Kiadó és Nyomda Kft.

1149 Budapest, Angol u. 34.

Ügyvezető igazgató: *Bolyki Etelka*

Felelős vezető: *Steckler Mária*

[www.agroinform.com](http://www.agroinform.com)

2014/69



## TARTALOMJEGYZÉK

<i>Mátyás Csaba és Borovics Attila:</i> <b>„Agrárklíma”</b>	7–8
<i>Jankó Ferenc:</i> <b>Az alföldi éghajlat-vitától a globális felmelegedésig: három tudománytörténeti fejezet Magyarországról</b>	9–20
<i>Bolla Bence, Kalicz Péter és Gribovszki Zoltán:</i> <b>Erdőállományok vízháztartása a kiskunsági homokhátságon</b>	21–31
<i>Csiha Imre és Keserű Zsolt:</i> <b>Szárazodó homoki termőhelyen álló idős fák gyökérzetének vizsgálata</b>	33–42
<i>Manningér Miklós és Pödör Zoltán:</i> <b>Zala megye csapadék- és hőmérsékleti viszonyai</b>	43–54
<i>Illés Gábor, Kovács Gábor, Laborczy Annamária és Pásztor László:</i> <b>Zala megye egységes talajtípus adatbázisának összeállítása klasszifikációs eljárásokkal</b>	55–64
<i>Csáki Péter, Kalicz Péter, Csóka Gergely, Brolly Gábor Béla, Czimber Kornél és Gribovszki Zoltán:</i> <b>Különböző felszínborítások hidrológiai hatásai a klímaváltozás tükrében Zala megye példáján</b>	65–76
<i>Illés Gábor, Kollár Tamás, Veperdi Gábor és Führer Ernő:</i> <b>A zalai faállományok magassági növekedésének és fatermésének kapcsolata a termőhelyi tényezőkkel</b>	77–89
<i>Horváth Anikó és Mátyás Csaba:</i> <b>Növedékcsökkenés előrevetítése egy bükk származási kísérlet alapján</b>	91–99
<i>Veperdi Gábor:</i> <b>Fatermési fok meghatározása az egészállomány átlagnövedéke alapján</b>	101–107
<i>Führer Ernő, Csiha Imre, Szabados Ildikó, Pödör Zoltán és Jagodics Anikó:</i> <b>Egy cseres faállomány föld feletti és föld alatti szerves-anyagának meghatározása</b>	109–119
<i>Bidló András, Szűcs Péter, Horváth Adrienn, Király Éva, Németh Eszter és Somogyi Zoltán:</i> <b>Telepített kocsánytalan tölgy és akác fiatalosok hatása a talaj szénkészletére néhány dunántúli erdőtelepítés példáján</b>	121–133



---

<i>Cseke Klára, Jobb Szilvia, Koltay András és Borovics Attila:</i> <b>Tölgypusztulás genetikai szerkezetre gyakorolt hatása</b>	135–147
<i>Berki Imre, Rasztovits Ervin és Móricz Norbert:</i> <b>Erdőállományok egészségi állapotának értékelése – egy új megközelítés</b>	149–155
<b>Az Acta Silvatica &amp; Lignaria Hungarica 10. kötetében megjelent tanulmányok címei és kivonatai</b>	157–160



## CONTENTS

<i>Csaba Mátyás and Attila Borovics:</i> <b>„Agrárklíma”</b>	7–8
<i>Ferenc Jankó:</i> <b>From regional to global climate change: Three chapters of science history from Hungary</b>	9–20
<i>Bence Bolla, Péter Kalicz and Zoltán Gribovszki:</i> <b>Water balance of forests in Kiskunság sandridge</b>	21–31
<i>Imre Csiha and Zsolt Keserű:</i> <b>Investigation of rooting zone of forest association growing under drying sandy site conditions</b>	33–42
<i>Miklós Manninger and Zoltán Pödör:</i> <b>Characterization of the temperature and precipitation condition of Zala County</b>	43–54
<i>Gábor Illés, Gábor Kovács, Annamária Laborczi and László Pásztor:</i> <b>Developing a unified soil type database for County Zala Hungary using classification algorithms</b>	55–64
<i>Péter Csáki, Péter Kalicz, Gergely Csóka, Gábor Béla Brolly, Kornél Czimber and Zoltán Gribovszki:</i> <b>Hydrological impacts of different land cover types in the context of climate change for Zala county</b>	65–76
<i>Gábor Illés, Tamás Kollár, Gábor Veperdi and Ernő Führer:</i> <b>Forests’ yield and height growth dependence on site conditions in County Zala Hungary</b>	77–89
<i>Anikó Horváth and Csaba Mátyás:</i> <b>Estimation of increment decline caused by climate change, based on data of a beech provenance trial</b>	91–99
<i>Gábor Veperdi:</i> <b>Determination of site quality index based on the mean annual increment of the growing stock at or near the rotation age</b>	101–107
<i>Ernő Führer, Imre Csiha, Ildikó Szabados, Zoltán Pödör and Anikó Jagodics:</i> <b>Aboveground and belowground dendromass in a stand of Turkey oak</b>	109–119

---

<i>András Bidló, Péter Szűcs, Adrienn Horváth, Éva Király, Eszter Németh and Zoltán Somogyi:</i> <b>The effect of afforestations on the carbon stock of soil in Transdanubian Region (Hungary)</b>	121–133
<i>Klára Cseke, Szilvia Jobb, András Koltay and Attila Borovics:</i> <b>The genetic pattern of oak decline</b>	135–147
<i>Imre Berki, Ervin Rasztoivits és Norbert Móricz:</i> <b>Health condition assessment of forest stands – a new approach</b>	149–155
<b>Titles and abstracts of papers published in the 10<sup>th</sup> volume of the Acta Silvatica &amp; Lignaria Hungarica</b>	157–160



## „AGRÁRKLÍMA”

A TÁMOP-4.2.2.A-11/1/Konv „AGRÁRKLÍMA”: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti- és agrárszektorban” című projekt 2014 novemberében zárul. Jelen kötet a projekt során elért eredményekből foglal össze kifejezetten az erdészeti szakterülethez kötődően néhányat, ízelítőt adva az eddigi munkából. A projekt során a NYME EMK döntéstámogató rendszere, a NAIK ERTI GeoPortálja és a NYME MÉK mezőgazdasági előrejelző rendszere elkészült, a következő időszakban a felhasználóbarát webes felületek kialakítása következik.

A kutatás alapkonceptiója szerint Magyarország területének jelentős része mind a természetes ill. természetközeli vegetáció, mind pedig a jelenlegi földhasználati módok tekintetében ökológiai határhelyzetben helyezkedik el. Ez azt jelenti, hogy az ökológiai körülmények megváltozása, ilyen lehet például a klímaváltozás, igen érzékenyen fogja érinteni a természetes illetve a természet közeli vegetációs egységeket, illetve az erre alapozott gazdálkodási ágazatokat (pl. erdőgazdálkodás, szántóföldi művelés, rétgazdálkodás). Az így bekövetkező változások előre becsülhetők, az ökológiai határhelyzet pedig klimatikus jellemzők alapján meghatározható. A változások érinteni fogják a földhasználati módok hozamait, azok technológiáját, a hasznosított fajok körét és az élő rendszerek ökológiai szolgáltatásait is. A projektben a három földhasználati forma komplex elemzését tűztük ki célul. Ennek megközelítésére három módszert alkalmaztunk: a múltban észlelt folyamatok, trendek, összefüggések retrospektív elemzését és az ebből számítható előrevetítést, a még nem tapasztalt környezeti változások mesterséges szimulálásából levonható tapasztalatokat, speciálisan létrehozott kísérletek eredményeinek újszerű, retrospektív értelmezését.

A munka eredményeként létrejött egy olyan informatikai alapon nyugvó döntéstámogató rendszer (DTR), amely előrevetíti az évszázad során várható változásokat, és egyúttal gyakorlati javaslatokat is kínál a megfelelő eljárások alkalmazására és a károk megelőzésére. Klimatikus és természetföldrajzi jellemzői alapján Zala megye, mint a DTR fejlesztés mintakörzete lekérdezhető, tesztüzeme befejeződött, következő lépés a közérthető webes felület kidolgozása.

A fejlesztések másik hangsúlyos pontja egy on-line adatszolgáltatási, kutatási és disszeminációs célokat egyaránt szolgáló, térinformatikai web-szerver üzembe helyezése. Ez a szerver a NAIK ERTI GeoPortálján keresztül érhető el.

A projekt harmadik pillére, a legnagyobb kihívás a természeti tőke változásainak felderítése és dokumentálása. Ennek megfelelően az informatikai fejlesztéseket megelőzve, ill. velük párhuzamosan futó kutatások közül kiemelendő a klímaváltozás által a környezet élő elemeire (növények, állatok, illetve ezek közösségei) gyakorolt hatás kimutatása. Mindezt a molekulák szintjéről építkezve az erdei életközösségekig bezárólag elemezve megállapításra került, hogy a legfőbb befolyásoló faktor a rendelkezésre álló víz mennyisége lesz, ami meghatározza a fákon megjelenő károsítókat és kórokozókat és ez által az egész erdőtársulás vitalitását, stabilitását és nem utolsósorban gazdasági jellemzőit. Ez utóbbiak meghatározására a projekt keretében létrehoztuk azokat az ún. helyi fatermési táblákat, amelyek felhasználásával a korábbiaknál pontosabban adhatjuk meg az erdőkben található fa mennyiségét, és az erdők növekedési sebessége is pontosabban becsülhető. A klímaváltozás erdőkre gyakorolt hatásának gazdasági értékelése során számításokat végeztünk a csökkenő

növekedés és a növekvő elhalás miatti fellépő pénzügyi veszteségek becslésére. A becslési feltételezésektől függően a következő 100 évben csak a bükk fafaj esetén 15–20 milliárd forint árbevétel elmaradására, illetve elvesztésére lehet számítani Zala megyében.

Reméljük, hogy a következő oldalakon olvasható tanulmányok segítik megértetni erőfeszítéseink célját. Bízunk abban, hogy kutatásainkkal hozzájárulhatunk a változásokhoz alkalmazkodni tudó erdőgazdálkodás kialakításához.



*Mátyas Csaba*  
a projekt szakmai vezetője



*Borovics Attila*  
NAIK ERTI

*Sopron-Sárvár*  
2014. október hava



# AZ ALFÖLDI ÉGHAJLAT-VITÁTÓL A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉSIG: HÁROM TUDOMÁNYTÖRTÉNETI FEJEZET MAGYARORSZÁGRÓL

Jankó Ferenc

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar*

## Kivonat

A tanulmányban három relatíve rövid epizódot mutatok be a hazai éghajlatkutatás történetéhez kapcsolódóan. Elemzem az alföldi éghajlat-vita csúcspontját, a Kaán–Réthly vitát, amelyben nemcsak két különböző személyiség mutatkozott meg, hanem a környezet-, illetve éghajlatváltozásról vallott eltérő elképzelések is szembe kerültek egymással. Két napilap szemléléssel bemutatom a szélsőséges időjárás hatását a sajtóra, illetve a közbeszédre, rámutatva a sajtónak a maihoz igen hasonló beállítottságára. Végül felelevenítem a globális klímaváltozási elmélet hazai bevezetésének körülményeit, kiemelve, hogy azt a régi éghajlatingadozási teória egyik képviselője vetette fel először, ám már az új tudósgeneráció vitte véghez, nemzetközi impulzusokból, részben szovjet közvetítés révén.

*Kulcsszavak:* éghajlatváltozás, éghajlatingadozás, tudományos vita, tudománytörténet

## FROM REGIONAL TO GLOBAL CLIMATE CHANGE: THREE CHAPTERS OF SCIENCE HISTORY FROM HUNGARY

### Abstract

I show three relative brief episodes in relation to the history of Hungarian climate research. I investigate the peak of the climate controversy of the Great Hungarian Plain, i.e. the Kaán–Réthly debate, where not only two different personalities, but also two different imaginations of environmental or climate change faced with each other. Second, I show the effect of extreme weather on the media and public discourse through newspaper coverage, pointing out the similar attitude of the press compared to the present. Third, I recall the circumstances of the introduction of the global climate change theory in Hungary. I highlight that a representative of the old idea, i.e. stable climate with climatic fluctuations, raised the new theory first, but the new generation extended it with international impulses, partly with Soviet transmission in the background

*Keywords:* climate change, climatic fluctuations, scientific controversy, science history



## BEVEZETÉS

A hazai és a nemzetközi tudománytörténetben figyelemre méltók azok az epizódok, amikor a környezet vagy szűkebben az éghajlat megváltozásának kérdése a figyelem középpontjába került. Magyarországon ilyen volt az ún. alföldi éghajlat-vita, amelynek történetét egy másik tanulmányban a dualizmus korától a második világháborúig részletesen feldolgoztam, s röviden utaltam a viták 1950-es évekbeli megújulására, illetve a jelennel való kapcsolódásokra. Mindezeket összefoglalva a viták két fő kérdése az volt, hogy erdősítéssel növelhető-e egy terület (az Alföld) csapadéka, illetve hogy az alföldi vízrendezési munkálatok megváltoztatják-e az Alföld éghajlatát, szárazabbá, csapadékhiányosabbá téve azt. Ezek a viták először az 1860-as évek közepén bontakoztak ki az Erdészeti Lapokban majd' húsz évvel a Tisza szabályozási munkálatainak megkezdése után Divald Adolf erdőmérnök, Érkövy Adolf kultúrmérnök és vitabeli ellenfelük Hunfalvy János geográfus között. Néhány csendesebb évtized után az alföldfásítási törvény megszületése idején került újra az éghajlati kérdés a figyelem középpontjába. A vitában erdészek, meteorológusok, vízépítő mérnökök, geográfusok, talaibanosok, botanikusok, történészek vettek részt, de annak lenyomatait megtalálhatjuk a sajtóban vagy a politikai szinten is. A vita a második világháború után az 1950-es évek sajátos politikai közegében újult ki rövid időre, amikor az országfásítási mozgalom adta annak közvetlen hátterét (Jankó 2013, 2014).

Jelen tanulmányban három szálát fejték ki részletesebben. Az 1930-as években a vita csúcspontját Kaán Károly erdész tudós-politikus, és Réthly Antal meteorológus közötti vitacikk-váltás jelentette. Ezt fogom először vizsgálat alá venni, elemelve a tudósok gondolatait, érvelései mögött a tudományról, a környezetváltozásról való elképzeléseiket is. Ezután a korabeli sajtón keresztül azt mutatom be, hogy mi szűrődött át a tudományból a közösségi szférákba, a közbeszédbe, levonva ezek tanulságait. Harmadrészt pedig azt a fejlődési vonalat igyekszem felvázolni, ahogy a magyar tudományosság eljutott a regionális éghajlatváltozás kérdésétől a globális éghajlatváltozás teóriáig. Itt elsősorban Berkes Zoltán mérföldkönek számító írására koncentrálok majd.

## A KAÁN–RÉTHLY VITA

A két világháború közötti klimatológiai viták csúcspontjaként tekinthető az a vitacikk-váltás, amely Kaán Károly és Réthly Antal között történt. Nevezettekét aligha kell bemutatni, Kaánt és Réthlyt nem egy szakma tartja neves elődjének. Itt csupán annyit emelnénk ki, hogy Kaán személyében egy a tudományt a politika esz-közének tekintő államférfiú volt a vita egyik résztvevője, akinek tanulmányai és könyvei kimondottan szakpolitikai célokat szolgáltak, egyértelműen a szükséges teendők szakmai alátámasztásaként funkcionáltak. Réthly Antal ezzel szemben a tiszta tudomány képviselőjeként tekinthető, aki érezhetően távolabb tartotta magát a politikától, bár az Országos Meteorológiai Intézet tisztségviselőjeként, majd vezetőjeként erre nem mindig volt lehetősége, ám írásaiban e távolságtartás markánsan kiütözik.

Réthly (1933) a Meteorológiai és Földmágnesség Intézet aligazgatójaként és egyetemi magántanárként a Földművelésügyi Minisztérium kiadványában publikálta azt a tanulmányt, amely Kaán Károly reakcióját kiváltotta. Az írás eredetileg a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet azon előadás-sorozatában hangzott el, ahol az alföldi vízszabályozásokat érő kritikákra, támadásokra kívántak reflektálni. Réthly ebben a tanulmányában is, mint oly sok helyütt másutt, alapvetően szakmaiatlannak, hozzáértést nélkülözőnek igyekezett beállítani azt a véleményt, amely a vízrendezéseknek éghajlatrontó hatást tulajdonított, s hozzáértőnek szinte kizárólag a meteorológusokat fogadta el. A vádakkal szemben rendre megfigyelési adatokat elemzett, részben a később publikált időjárás feljegyzéseit használta (lásd: *Időjárás események és elemi csapások Magyarországon*, Réthly 1962). Érdekes, hogy Réthly 1923-ban, tehát jóval a viták előtt publikálta, hogy a régi esőmérők 1912 előttről 10–15%-kal többet mértek a valósánál. 1933-as tanulmányában szándékosan korrigálás nélkül alkalmazta négy állomás adatát „melyekből még részrehajlással sem lehet kimutatni a csapadék egyirányú ál-

landó csökkenésér” (Réthly 1933: 150), viszont 1938-ban már azt írta, hogy „5-10 éves átlagokban tényleg kimutatható volna a csapadéknak bizonyos fokú csökkenése” (Réthly és Bacsó 1938: 259), ha az adatokat javítás nélkül vennék figyelembe. Vajon a plusz ötvennyi adatsor árnyalta a magyarázatot, vagy a számítási mód változtatása? (Vö. Jankó 2013: 58, t. i. Szántó István (1940) ugyanazzal az adatsorral igyekezett a szárazodást bebizonyítani, amivel Réthlyék annak hiányát.)

De Kaán Károly nem a módszertani problémák miatt reagált élesen Réthly tanulmányára a Vízügyi Közleményekben. Kaán személyes támadásnak vette azt, hogy Réthly mellékesen bírálta az alföldi fásítások előmozdítása érdekében éghajlatjavulást, több csapadékok kilátásba helyezőket is. Ezután – részben félreértve Réthlyt – hazai botanikusok mellett Köppenre és Geigerre, tehát külföldi meteorológusokra hivatkozva az erdők mikroklimatikus hatásait taglalta, mintha azt vitapartnere nem ismerné, majd az alföldfásítási törvény indoklását elemezte. Mindezt azzal a céllal, hogy Réthlyt nem hozzáértőnek, a mikroklimatikus hatásokat figyelmen kívül hagyónak, vádjait pedig céljukat tévesztőknek állítsa be: „*Réthly aligazgató úr [...] makroklimatológus szemszögéből bírálja tehát el ezt a kérdést és ezzel nagy tévedéseknek esik áldozatul* (Kaán 1933: 52).”

Réthly (1934) viszontválaszában sietett tisztázni Kaán félreértéseit, szavainak félremagyarázásait. Réthlyt természetesen bántották Kaán „bántó leckéztetési”, így nem maradt adós, ő is bemutatta Kaán hibás idézését, és a Kaán nevéhez fűződő alföldfásítási törvényjavaslatnak és indoklásának számos félreérthető megfogalmazását. Am békülékeny hangon zárta tanulmányát, „[h]a Kaán Károly államtitkár úr ömeltósága azt állítja, hogy mind ő, mind munkatársai az Alföld fásítása érdekében készített törvényjavaslatban lefektetett indoklásban és egyebütt is csupán mikroklimatikus hatásokra gondoltak, akkor azt el kell hinnem és akkor az államtitkár úr az én álláspontomat tette magáévá és ilyeténképpen köztünk nincs is véleménykülönbség” (Réthly 1934: 80), és később is igyekezett gesztusokat tenni Kaán irányába, pl. tisztelgő hivatkozással annak munkáira (Réthly és Bacsó 1938: 235).

Kaán viszont nemigen változtatott álláspontján – pl. fenntartotta, hogy az Alföld éghajlatának romlását a vízrendezések és az erdőpusztítások idézték elő (Kaán, 1939: 38) – s Réthly nevének említése nélkül újfent bírálta a Réthlynek tulajdonított makroklimatológiai álláspontot (Kaán 1939: 331), s részben korábbi – Réthlyvel vitázó – elemzéseit közölte újra utolsó nagy művében. Felteszem azt is, hogy Réthly válaszcikkét már nem vette kezébe, hivatkozás híján szövege erre utal. Némi gesztust azért ő is gyakorolt, amellet, hogy most már a mikroklima és makroklima fogalmakat pontosan elválasztva rögzítette, hogy az erdő nem növelheti a csapadékmennyiséget, a saját könyvénel egy évvel előbb megjelent Réthly és Bacsó kötetet kezébe véve idézte annak számára is helytálló megállapítását az alföldi fásítás szükségességéről (Kaán 1939: 347).

A vita résztvevői közül Réthlyben olyan tudóst láthatunk, aki megfigyelő, adatelemező megközelítéséből táplálkozva elvetette az egyirányú éghajlatváltozás gondolatát, s mint a harmadik fejezetben még látni fogjuk, az emberi tevékenységet elenyészőnek gondolta ahhoz, hogy az éghajlati rendszerbe bele tudna nyúlni, csak lokálisan tartotta tehát valósnak az ember környezet-alakító szerepét. Kaán viszont az egész Alföld képének emberi átalakításáról beszélt, s mindez szervesen illeszkedett a természetvédelem terén kifejtett úttörő munkásságához. Ezért a hazai tudományos életben a tágabban értelmezett ember okozta környezetváltozás gondolat egyik előfutáraként tekinthető.

## AZ 1934–35-ÖS ÉVEK VITÁINAK LENYOMATA A SAJTÓBAN

A globális éghajlatváltozás problémája a sajtóban egyrészt rendre a szélsőséges időjárási helyzetek idején kerül fókuszba. Ezt fontolóra véve, s mivel a két világháború közötti viták fokozódásához az 1934-es száraz tavasz és 1935-ös aszályos nyár is hozzájárult, a nevezett évekből szemléltem a Pesti Hírlap és a Népszava folyóiratszámait. Bognár Károly meteorológus (1935a) értékelése szerint az 1934 tavaszán tapasztalt szárazság





egyetlen egyszer sem fordult elő még a 20. században, azonban tanulmányának végén a lehetséges okokat keresve ő is rögzítette, hogy az aszály nem a vízrendezés miatt következett be. Az 1935-ös csapadékhiányos periódus nemcsak a nyarat érintette, hanem az ősz első két hónapjára is áthúzódott. Számos mérőállomáson a csapadék harmincéves átlagának harmada vagy fele esett csupán (Bognár 1935b).

A konzervatív Pesti Hírlap 1934 májusában a hisztériakeltés ellen közölt cikket, majd beszámolókat közölt a negyedik hete tartó országos szárazságról, de az amerikai aszályról is (Pesti Hírlap 1934a, 1934b, 1934c). A május 27-ei számban olvashatunk egy hosszabb írást Balla Antal tollából, aki a 19. századi vitákból Érkövy Adolfot, Hunfalvy Jánost idézte, de Réthly Antal gyűjtésére is kitért az elemi csapásokról, felvetve az Alföldet kiszárító folyószabályozások kérdését és az öntözőrendszerek hiányának problémáját. *„Amíg a szárazság elensúlyozásáról a modern technika fejlett és kitűnően bevált eszközeivel nem gondoskodunk, a fenyegető időjárási katasztrófa miatt állandóan kockán forog az egyre elsivatagosodó Dunamedencébe szorult kilencmilliónyi lakosságnak kenyere és élete.”* Cikkében a Rohringer Sándor műegyetemi tanár vezetésével véghezvitt, Kunszentmiklós és Izsák környéki vízlecsapolás nyomán keletkezett „kétségbeejtő szikes sivatag”-ot is felhozta például, amelyre nevezett a lap június 2-ai számában adott cáfolatot *„kívánatos, hogy szűnjön meg végre a szikektől való félelem, de különösen szűnjön meg a vízimunkálatok lebecsülése, mert az ármentesítés és lecsapolás a mai Magyarország létének alapfeltétele!”* (Pesti Hírlap 1934d, 1934e).

Az 1935-ös aszályokról már kevesebb híradást találni a Pesti Hírlapban. Egy cikk a kapcsolódó kormányintézkedésekről és a várva-várt eső megérkezéséről tudósított (Pesti Hírlap 1935a), egy másik pedig az időjárás-módosítás – a korban egyébként igen divatos – témájának szentelt néhány sort az amerikai légkondicionáló készülékekkel kapcsolatos fejlesztésekre utalva (Pesti Hírlap 1935b).

A Népszava sokkal aktívabb tudósítója volt az aszályoknak. Ennek az is lehet az oka, hogy a szociáldemokrata lap felismerte, hogy a rossz időjárás elsősorban a földműves vidéki lakosságnak árt, vagyis potenciális szavazóbázisának, s így próbált politikai tőkét kovácsolni a helyzetből. Ezt jól bizonyítja az az írás, ami 1934 tavaszán született: *„Most szárazság gyilkolja a reménysegeket és fenyegeti pusztulással az ember kenyerét. [...] Bizony, katasztrófa! A kevés és drága kenyér: a legnagyobb katasztrófa. Amikor a természet pusztít és nem adja meg, amit vér és verejték akar belőle kiemelni: katasztrófa. Amikor a természet csínálja: katasztrófa. Amikor az ember pusztít: árjavítás?”* (Népszava 1934c). Emellett számos tudósítást olvashatunk a rozs kiszántásáról, a világszerte tapasztalható szárazságokról, a fővárosi vízellátási zavarokról (Népszava 1934a, 1934b, 1934d, 1934e, 1934f). Cikkekben sürgetik a kormányintézkedéseket, ugyanakkor a pestvármegyei alispánt idézik, aki szerint a fenyegető ínség hangoztatása nem indokolt, és csak rontja a közhangulatot (Népszava 1934g, 1934h, 1934i). A humor sem hiányzik a mesterséges időjárás módosítás divatos témájához kapcsolódóan (Népszava 1934j), de komoly hangvételű cikkben is tárgyalták a kérdést (Népszava 1934k).

1934 júliusában H.E. cikkíró – aki feltehetőleg Héjas Endre az Országos Meteorológiai Intézet c. igazgatója – írásából többet megtudhatunk a kor éghajlatváltozással kapcsolatos közvélekedéséről. *„Érdekes, hogy újabban ismét fölbukkant az az állítás, hogy a rádióhullámok mégis csak befolyással vannak az időjárási viszonyok kialakulására. Természetesen ezek mind föltevések, amik bizonyításra szorulnak. A legvigasztalóbb még mindig Arrhenius elmélete, amely azt állítja, hogy a következő évezredben a föld mérsékelt égövén is pálmafák nőnek. [...] Az embernek régi vágya, hogy megszabaduljon az időjárás szeszélyétől és bizonytalanságától. Talán nincs már messze az idő, amikor az ember ezen a területen is diadalmaskodik”* (Népszava 1934l). Ez az idézet nem csak azért fontos, mert láthatjuk belőle, hogy a különböző kortárs technikai újdonságok milyen félelmeket váltottak ki az emberekből az időjárással kapcsolatban, és hogy milyen várakozások éltek a jövő technikai fejlődésével kapcsolatban. Bizonyosságot olvashatunk afelől is, hogy Arrhenius elmélete a növekvő szén-dioxid kibocsátás miatt felmelegedő globális klímáról sokak számára ismert lehetett, vélhetően annak köszönhetően, hogy Arrheniusnak az elképzelését kifejtő írásai magyarul is olvashatóvá váltak (Arrhenius

1909, 1922). Arrhenius Fourier és Tyndall üvegház elméletére építve a növekvő szén-dioxid tartalom miatt élehetőbbé váló Föld bolygóról vizionált számos nyelvre lefordított *A világok keletkezése* c. könyvében:

*„Ha a levegő szénsavtartalma a jelenlegi mennyiség felére csökkenne, akkor a hőmérséklet körülbelül 4 fokkal lenne kisebb a Föld felületén. Ha pedig negyedrésznyre fogyna, akkor a lehűlés 8 fokos lenne. Másrészt pedig, ha légkörünk kétszer annyi szénsavat tartalmazna, akkor ez 4 foknyi felmelegedést okozna, ha pedig négyszer annyit, akkor 8 foknyit. Azonkívül a szénsavtartalom csökkenése fokozná a hőmérsékleti különbséget a Föld különböző részei között, növekedése pedig viszont kiegyenlítené a meglévő hőmérsékleti különbségeket. [...] Sokszor hallunk panaszt amiatt, hogy az emberiség a Föld szénkészletét pazarolja, és nem gondol a jövőre. Megjeddünk attól a nagy pusztítástól, amelyet a tűzhányók heves kitörései napjainkban emberéletben és javakban okoznak. De talán vigasztalhat bennünket az, hogy itt is, mint sok más alkalommal, a veszteséggel előny is jár. A levegő szénsavkészletének növekedése folytán remélhetjük, hogy olyan idő felé tartunk, amelyben az éghajlat kedvezőbb és egyenletesebb lesz, különösen a Földnek hidegebb tájain; olyan idő felé, amikor a Föld a mostani termésnek többszörösét tudja megérlelni a gyorsan szaporodó emberiség javára”* (Arrhenius 1922: 39, 47–48).

Ezért is kiváltképp furcsa, hogy a korszak tudományos írásaiban nem találni hivatkozást Arrhenius munkáira, illetve elméletére (vö. Jankó 2013).

Visszatérve a Népszavára 1934-ből még egy olyan cikk olvasható, amelyben a Rooseveltnél elnök nevéhez fűzőtt, az ún. Dust Bowl környezeti katasztrófát követően tervbe vett gigantikus amerikai erdősáv-telepítésről számolnak be – itt a későbbi nagy szovjet természetátalakítás gondolati előfutárára ismerhetünk, a sztálini idea tehát precedens nélküli:

*„Roosevelt elnök a jövőre intézményesen akarja gátját vetni annak, hogy az ideihez hasonló aszálykatasztrófa előfordulhasson. Ezer mérföld hosszú és száz mérföld széles erdőövet ültetnek az Egyesült Államok közepén és ezt a hatalmas munkát, amilyenre nem volt példa a világtörténelemben, tíz év alatt hajtánák végre. [...] Száz erdősáv futna végig az Egyesült Államokon s az egyes erdősávok között lennének a termőföldek. Az erdők létesítéséhez három és fél milliárd darab csemetére lenne szükség. [...] Az erdők megvédenék a sávok között lévő termőföldeket és szárazság ellen, megjavítanák a talajt és enyhítenék a fahiányt. Ezenkívül azt is remélik, hogy bizonyos mértékig szabályoznák az időjárását”* (Népszava 1934m).

Az 1935-ös aszályok kapcsán még egy hosszabb lélegzetvételű írás érdemel figyelmet. Ennek TJ monogramot viselő szerzője az aszály bővebb következményeit elemezte az alföldi gazdálkodás szempontjából, a probléma lényegét abban látva, hogy nem épültek ki az öntözőművek, és túlzottan a szárazművelésben folytatható gabonatermelésre állt rá az ágazat. Utalt a korszak vitáira is, az 1863-as év aszályaira viszont már mint ellenpéldára hivatkozott, figyelmen kívül hagyva azt, hogy akkor szintén vita bontakozott ki az ármentesítések, az erdősítés és az éghajlatváltozás tekintetében: *„Úgy látszik, mintha az idejé aszálykár időszerűvé tenné az alföldi gazdálkodás problémáját. Szaktudósok és közéleti férfiak vitatkoznak a kérdésről. Egyik része azt állítja, hogy a folyók szabályozása, a csatornázás és a vadvizek mértéktelen levezetése okozta az Alföld mai katasztrófális helyzetét. A másik oldal kimutatja, hogy a belvízcsapolásokat megelőző időkben épűgy váltakoztak a csapadékos esztendők az aszályosokkal, mint ezidőszert. S ebben a másik oldalnak tökéletesen igaza is van. Még élnek öreg emberek, akik emlékeznek az 1863. évi nagy szárazságra, amikor pedig a mocsárterület volt még bőségben”* (Népszava 1935).

A sajtó, a maga formájában (TV, internet híján) látszólag nem játszott kevésbé jelentős szerepet az éghajlatváltozás kérdésének megítélésében, mint manapság. Fontosságára többen is felfigyeltek, pontosítva, helyreigazítva a lapokban hibásan, félreértelmezve megjelent információkat. Kenessey Béla (1931), a kor vezető vízmérnöke számos olyan írást szemlézett, amelyben a vízmérnököket az Alföld kiszáradásával vádol-



ták meg. Így utalt például a Pesti Hírlapban 1930-ban „Hogy lesz az Alföldből sivatag!” címmel megjelent írásra, majd többek között a Fővárosi Közmunkatanács elnökét, nyugalmazott pénzügyminisztert, nyugalmazott földművelésügyi államtitkárt (t. i. Kaán Károlyt) idézte, mint a vízrendezések bírálóját. Bacsó Nándor (1939) egy „délutáni lapban” „A Magyar-Alföldet nem lehet erdősíteni, mert nem kap elég esőt” címmel közölt írás kapcsán hívta fel a figyelmet a félreértésekre. Az újságíró által rosszul értelmezett interjúra Kaán Károly is reagált, amelyet helyreigazításokkal igyekeztek kezelni. Berkes (1943) pedig két tanulmányt ismertetett a Magyar Föld és a Tiszántúli Gazda lapokból, immár pozitív végkicsengéssel, ugyanis egyet értett az éghajlat utóbbi időkben tapasztalt sajátosságainak leírásával.

## A REGIONÁLISTÓL A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁSIG

A második világháborúig tartó vitákban a vízrendezés és az erdősítés makroklimatikus hatása ellen érvelő meteorológusok, geográfusok véleménye mögött olyan elképzelés körvonalazható, amely emberi léptékben változatlan, állandó éghajlatot tételez fel. Éghajlatingadozást tartottak csupán lehetségesnek, vagyis a klíma kilengését szárazabb, nedvesebb, melegebb vagy hidegebb irányba, de feltételeztek egy olyan „normális” vagy átlagos éghajlatot, ahova minduntalan visszatér egy adott térség. Ezt talán túlzás lenne paradigmának neveznünk, hiszen itt nem arról van szó, hogy ez a teória mozgatta volna a kutatásokat, nem kapcsolódott hozzá módszertani háttér, sajátos megközelítés, csupán keretezte a tudósok ezirányú gondolkodását, viszonyítási rendszerként működött. Alapvetően ez az elgondolás onnan táplálkozhatott, hogy régebben is voltak hidegebb, melegebb periódusok az emberiség történetében, az ingadozásoknak sohasem volt egy iránya, legalábbis amíg a történelemben vissza lehetett tekinteni a 19-20. század leíró, oknyomozó beállítottságú tudósainak. Ebbe a képbe illeszkedett végül is az ismert és fontos kérdésként felmerülő jégkorszakok ügye (lásd az Arrhenius idézetet), amely viszont emberi időléptéken kívüli eseménynek számított, de klímaingadozásnak is felfogható volt.

Nem hiába állapította meg később Dobosi Zoltán, hogy az egyirányú progresszív éghajlatváltozás és az éghajlatingadozás „éles megkülönböztetésének nincs sok értelme, mert ha pl. jelen időszakban az észlelési adatok mutatnának is egyirányú változást, ha nem ismerjük az okát, nem tudjuk eldönteni, hogy egyirányú változásról vagy oly hosszú periódusú ingadozásról van-e szó, amelynek periódushossza meghaladja az észlelési időszak hosszát. Éghajlatváltozás, éghajlatingadozás lényegileg azonos értelmű kifejezések. Legfeljebb azt a jelentéskülönbséget adhatjuk nekik, hogy a rövidebb periódusú éghajlatváltozásokat éghajlatingadozásnak, a hosszabb periódusúakat éghajlatváltozásoknak nevezzük, anélkül, hogy a kettő között határt tudnánk vonni” (Dobosi 1968a: 264). De ugyanezt a gondolatot megtaláljuk korábban is, Száva-Kováts Józsefnél (1952), vagy Dobosi korábbi (1964) és későbbi (Dobosi és Felméry 1977) jegyzeteiben is. Érdekesség, hogy itt már a szerzők, Száva-Kováts és feltehetően az ő munkájából ihletet merítve Dobosi is úgy indítja az éghajlatváltozásokról, -ingadozásokról szóló fejezetet, hogy már az emberi emlékezet, a hagyományok is arról tesznek tanúbizonyságot, hogy az éghajlat nem állandó, szárazabb és nedvesebb periódusok váltják egymást. Megjegyezzük, hogy az „éghajlatváltozás” mára nem teljesen a Dobosi féle értelmezésben váltotta az „éghajlatingadozás”-t a szakmai szóhasználatban.

Visszakanyarodva a két világháború közötti időszakra az emberi időléptékben állandó éghajlat, illetve az éghajlatingadozás teóriája a következő megfogalmazásokban körvonalazódik. Réthly Antal (1938) a Bacsó Nándorral írt kézikönyv éghajlati fejezetében az éghajlatot adott keretben mozogva mintegy állandónak tekintette, amely éghajlati keret tulajdonképpen az éghajlat statisztikai definíciójából, illetve számításából (30 éves átlagok) eredeztetett, s amint arra később Péczely György (1973) rámutatott: az éghajlat állandóságának feltételezése a fogalom statisztikai definíciójából is táplálkozott. A könyv további részeiben Réthly a korszak vitái miatt részletesen foglalkozott az erdők és a csapadékképződés kapcsolatával, illetve „Az ármentesítés és az

Alföld állítólagos éghajlatváltozása” címmel is önálló fejezetet közölt. Itt is leírta a másutt már hangoztatott vélekedést miszerint „[a]z éghajlatot emberi beavatkozással olyképp módosítani, hogy egyirányú változás álljon elő, nem lehet” (Réthly és Bacsó 1938: 266).

Cholnoky (1940) szenvedélyes hangon és a rá jellemző költői metaforákkal tör lándzsát ugyanezen elgondolás mellett:

„A folyószabályozás, az erdősisítés vagy az erdőpusztítás csak a növényzetet, meg a tájkép-típust változtatja meg, de az éghajlatot nem, soha! A nagy háborúk idején gyakran föltették a kérdést, hogy a sok ágyúzás, robbanás stb. nem okozhat-e valami időjárás-változást? Az 1940. év kivételes időjárásait a szörnyű háborúknak tulajdonítják. Ez teljesen kizárt dolog. Az egész óriási háború folyamán elhasznált lövedékek összes energiája nem ér föl egyetlen nagyobb zivatarban mutatkozó erők energiámnnyiségével. Az emberi műveltség kezdete óta s az egész történelmi idők folyamán az éghajlat sehol a Földön nem változott meg, s az ember mindennemű beavatkozása sem képes az éghajlaton csak egy jöttányit is változtatni, sőt még az időjárást sem tudja módosítani, mert mindezek olyan óriási nagy tünemények következményei, amelyekhez képest az ember nyomorult kis féreg a Föld felszínén s az ember élete múló, röpke sóhajlás, csak tisztavirágélet a nagy kozmikus és geológiai folyamatok évmilliói ciklusaihoz képest” (Cholnoky 1940: 424).

Ugyanebben az évben Berkes Zoltán is rögzítette, hogy „[é]ghajlatingadozások tehát vannak, sőt néha oly mértékűek és tartalmúak, hogy akinek nincs módjában 50–100 évet áttekinteni, egyenirányú változásnak gondolhatja azokat. Ezekben az ingadozásokban egy kb. 100 éves és egy kb. 70 éves szakasz található. A fordulópontok nagy területen egyszerre jelentkeznek, sőt az egész Földre kiterjeszkednek. Ezen változások oka, most már reámutattunk, csak a földi nagy légkörzés módosulásában kereshető, ezt pedig a napsugárzásváltozások kormányozzák” (Berkes 1940: 154). Egy későbbi tanulmányában olvasható megfogalmazása még inkább rávilágít, hogy a fogalmi megkülönböztetés mögött is az állandó éghajlat teóriája húzódozott meg: „[a]z éghajlatnak ingadozásai meteorológiai feljegyzések szerint is vannak, azonban a többévtizedes átlagértékekből levezethető éghajlat valamely helyen elég nagy mértékben állandónak tekinthető. [...] nem lehet beszélni az éghajlat állandó és egyirányú megváltozásáról, hanem csakis annak ingadozásairól” (Berkes 1943: 194).

Az állandó éghajlat, illetve az éghajlatingadozás elképzelése volt az alapja Szántó István (1940) kritikájának is, amely munkában a szerző az Alföld éghajlat-rosszabbodását igyekezett bizonyítani. „[L]esznek tárgyilagossá bírálatok, ezen a szűkreszabott könyvismertetésen túl, amelyek meg fogják dönteni a szerzőnek az éghajlatváltozásról vallott álláspontját és azzal szemben az éghajlatingadozások tényét fogják igazolni” (Bacsó 1940: 180). Más kérdés, hogy nem voltak további munkák, amelyek érdemben hivatkozták, vagy bírálták volna Szántót, a könyv így is, úgy is a sülyesztőbe került.

Ugyancsak Bacsó Nándor volt az, aki a második világháború után – egy növénytermesztők számára írt jegyzetben – némileg kimunkáltabb magyarázatot igyekezett adni a kérdésben.

„Az éghajlat állandó, azaz nem mutat egyirányú változást, alakulást. Erre mutatnak az utolsó két évszázadban műszerrel végzett megfigyelések adatai és ezt bizonyítja a történelmi események alapján végzett vizs-  
szakövetkeztetés. [...] [V]oltak ugyan a föld régebbi történetében nagyméretű éghajlati kilengések (jégkorszakok), ezek azonban szintén csak múló ingadozásoknak bizonyultak, mert lezajlásuk után az éghajlat visszatért eredeti, a Föld és a Nap egymáshoz való viszonya által meghatározott keretek közé. [...] A kisebb méretű éghajlatingadozásoknak az okát a tudomány a napfoltok számának változásában keresi” (Bacsó 1946: 84).

Nyoma sem volt ekkor még tehát a szén-dioxid szint változásához köthető antropogén eredetű éghajlatváltozás elméletének. Meg kell jegyezni azt, hogy minden a határainkon túl sem volt nagyon másképp. Arrhenius





elmélete feledésbe merült egy időre, majd az 1930-as évek aszályainak hatására egy amatőr meteorológus és mérnökember, Guy Stewart Callendar porolta le azt. Callendar régi szén-dioxid mérésekre és saját adataokra hivatkozva állította, hogy melegedik a Föld éghajlata, mégpedig a fosszilis energiahordozók égetése miatt. Sikerült publikálnia is elméletét, ám véleményével Callendar is sokáig egyedül maradt, a korszak tudósai a magyarokhoz hasonlóan csupán múltó éghajlati kilengésnek tulajdonították a szélsőséges időjárású éveket (Hamblyn 2009; Hulme 2009; Weart 2010). A 20. század első felének Magyarországon Arrhenius-hoz hasonlóan Callendar munkái is visszhang nélkül maradtak, amire egy magyarázat lehet, hogy pl. a földrajzhoz hasonlóan a korszak meteorológusai is elsősorban német és francia szakirodalmat olvastak.

Érdekesképpem említsem, hogy az Időjárás lapban az első Callendar hivatkozásra Wagnernél (1973) bukkanhatunk, míg Arrheniusra a Dobosi-féle egyetemi jegyzetekben találunk utalást, igaz nevét sajtóhiba révén *Arrheinus*-nak írták, s az elmélet feltehetően másodlagos interpretációja, főleg annak utolsó mondata is igencsak különös (ld. a Miskolczi-elméletet):

*„A levegő összetételében a geológiai történet során feltétlenül jelentékeny változások következtek be, és ezekben kétségkívül a vízgőz és széndioxid-tartalom módosulása vitte a főszerepet. S Arrheinus [sic!] erre alapított egy hipotézist, amellyel a jégkorszakkal összefüggő éghajlatváltozásokat akarta megmagyarázni. Nézte szerint egy vulkáni kitörésekben gazdag időszak erősen megszaportítja a levegőben a széndioxid mennyiségét. A széndioxid viszont nagy elnyelőképességénél fogva erős felmelegedést okoz, ami a víz felerősödött körfolyamatával együtt dús növényzet kifejlődéséhez vezet. A növényzet felhasználja a széndioxidot, ezzel lecsökkenti annak arányszámát, ezért lehűlés áll be. Ez a feltevés nem állja meg a helyét, mert kimutatták, hogy a légkör jelenlegi széndioxid-tartalma már a lehető legnagyobb elnyelőhatást gyakorolja, mert elnyeli az adszorpciókörzetébe tartozó összes hullámhosszakot, és így ennek a gáznak további gyarapodása az üveg-háztartásban már nem tudna lényeges változást előidézni”* (Dobosi 1968b: 42–43).

Jelenlegi ismereteink szerint Berkes Zoltán Éghajlatváltozás – éghajlatingadozás? című népszerűsítő könyvecskéje volt az, amely először foglalkozott hazánkban a szén-dioxid szint növekedése miatt lehetséges globális felmelegedés gondolatával. Az ezzel a munkával egy időben született Száva-Kováts fejezetben – külföldi szakirodalom alapján – a 19–20. század száz éve tartó egyirányú éghajlatváltozására találunk utalást, az okokat illetően azonban a szerző még tanácstalan: *„Hogy az általános cirkuláció erősödése a magasnyomású öv felhúzóásával megállt-e és az eddig egyirányban haladó hőmérsékletváltozás visszafordul-e az ellenkező irányba, azt ez idő szerint még nem tudjuk megmondani. Még kevésbé adhatunk feleletet arra a kérdésre, hogy az általános cirkuláció eddigi erősödését mi okozta”* (Száva-Kováts 1952: 350). A nagy természetátalakítás gondolatának időszakában született 1953-as *Magyarország éghajlatában* Bacsó Nándor és Kakas József minderre nem tett utalást, a kapcsolódó fejezetekben az éghajlatingadozás korábbi tanát rögzítették (Bacsó és mtsai 1953).

Csak sajnálni lehet, hogy Berkes – részben a műfaji sajátosságok miatt – mind a szövegközi hivatkozásokat, mind a kötet-végi irodalomjegyzék összeállítását mellőzte, ezért jelenleg még nem tudjuk pontosan ismereteinek forrását. A mindössze 55 oldalas, ám 13 részes könyv fejezetei a következők: 1. Az időjárás szélsőségei, 2. Az időjárás kialakulása, 3. A levegő mozgása, 4. Az általános légkörzés, 5. Az éghajlati tényezők és az éghajlat, 6. Az éghajlat ingadozásai Európában, 7. Az éghajlat változása a XIX. sz. végétől a XX. sz. elejére, 8. Az általános légkörzés erősödése a XX. század elején, 9. A Nap sugárzásának változásai, 10. A növények mint éghajlatjelző műszerek, 11. A jégkorszakok, 12. Az őslégkör, 13. Az éghajlat megváltoztatása, a természetátalakítás. A könyvet Láng Sándor (1954) recenzálta, aki maga is több tanulmányt szentelt később a témának (pl. Láng 1971).

Berkes jól láthatóan egyensúlyozott a kor által megkövetelt nagy szovjet természetátalakítás követendő példája és a korábban vallott elképzelései között, de hasonlóan össze kellett békítenie az éghajlatingadozás

tanát az antropogén éghajlatváltozás új elméletével. Ez utóbbira későbbi publikációi is rámutatnak: Berkes inkább a naptevékenység éghajlati hatását tartotta valószínűbbnek, a szén-dioxidra mint eshetőségre gondolt inkább, és az egyirányú éghajlatváltozás elképzelését később sem fogadta el (Berkes 1955, 1957, 1970, 1975).

A könyv 1. fejezetben Berkes röviden utalt az Alfölddel kapcsolatos éghajlati vitákra, majd a 7–9 fejezetekben ő is hosszan értekezett a Száva-Kováts által is említett 19–20. századi éghajlati trendekről, amelyeket elsődlegesen a napfoltciklusokhoz kötött. A jégkorszakok tárgyalásakor is igyekezett ragaszkodni az éghajlatváltozás-éghajlatingadozás fogalmi megkülönböztetéshez, amely – mint láttuk – az állandó éghajlat felfogásának egyik építőkövéül szolgált. „Láttuk, hogy az éghajlatban néha hosszabb időre terjedő, figyelemreméltó változások is fellépnek. Valójában azonban csak éghajlatingadozásokról beszélhetünk, mert 2-3 ezer év alatt az éghajlatnak lényegesebb egyirányú változását általában nem mutathattuk ki. Egyedül a telek melegebbé válása az utolsó két évszázadban mutatkozik folyamatos és nagyjában egyirányú változásnak. [...] A jégkorszakokat előidéző éghajlatingadozásoknak hossza tehát bár tízezer évvel volt mérhető, Földünk légkörének középhőmérséklete szempontjából még így is csak éghajlatingadozásokról beszélhetünk. Az éghajlat egyirányú változása csak hosszabb-rövidebb ideig tartott s azt mindig nyomon követte, kiegyenlítette az ellenkező irányú változás is” (Berkes 1953: 45 és 48).

A szén-dioxid problematikája az utolsó két fejezetben kerül elő; az érdekes állítások forrásának felderítéséhez a Berkes-hagyaték feltárására lenne szükség.

„A szén állandó és folyamatos elégetésével az emberiség lassan visszajuttatja a légkörbe az eredeti széndioxid-mennyiséget. Hozzájárulnak a légkör széndioxid-tartalmának növeléséhez azok a nagyméretű erdőirtások is, amelyek különösen az utóbbi 1–2 száz év óta mennek végbe. Csökkent tehát a Föld felszínén a széndioxid-fogyasztók állománya. Az erdőirtást részben művelhető talaj, részben pedig a papírgyártás fokozása érdekében végezték. Néhány évtized óta a kőolaj, illetve a benzin elégetése is egyre fokozódó mértéket ölt, ami szintén a széndioxid mennyiségének növelését okozhatja. Igaz, hogy az erdők helyén a természetett növények viszont széndioxidot fogyasztanak, de a betakarított növények szene végső fokon megint csak elégetésre kerül, s az emberek és az állatok is széndioxidot lehelnek ki. Számítások szerint a jelenlegi széndioxid-tartalom 10%-kal történő emelése már körülbelül 2 fokkal növelné a hőmérsékletet. Joggal merül fel tehát a gondolat, nem lehetne-e éghajlatunknak az utolsó évszázadban észlelt melegebbé válását a levegőburok széndioxid-tartalmának megnövekedésével magyarázni? A mérések tudniillik valóban azt bizonyítják, hogy jelenleg már néhány százalékkal több széndioxid van a levegőben, mint a XIX. században volt. A melegedés mértéke pedig, mint láttuk a sarkvidéken valamivel 1 fok felett van, ami körülbelül 5%-nyi széndioxid-tartalomemelésnek felel meg. Még a melegedés földrajzi eloszlása is támogatja ezt az elméletet, mert a széndioxid felhalmozódása, elsősorban a kontinensek felett, másodsorban a magasabb földrajzi szélességekben valószínű. A valószínűséget támogatja az is, hogy a tengerek vize elnyeli a széndioxidot, másrészt az általános légkörzés a levegőt a mérsékelt övekből a sarkvidék felé tereli a felső légrétegekben. Ily módon tehát elsősorban a magasabb szélességek és a sarkvidék kisugárzását csökkentené a felgyülemelő széndioxid és magyarázható lenne az ott tapasztalt erőteljes téli fölmelegedés” (i.m.: 53).

Berkes az utolsó fejezetben értékeli az elméletet, amelyet lehetőségnek nevez, „amely amellel szól, hogy emberi beavatkozással is van mód, még a nagytérségű éghajlat megváltoztatására is” (i.m.: 53). Ezután a kor-szellemnek megfelelően már a szovjet természetátalakítás és éghajlat-megváltoztatás vívmányaira tér át, s szóba kerülnek a hidegháborús alkalmazási lehetőségek is: atomenergia és mesterséges ciklonok, sarkvidéki jégpáncél elolvasztása, meteorológiai hadviselés (vö. Weart 2010).

Érdekes kérdésként adódik még, hogy vajon mi lehetett Réthly Antal véleménye az új elméletéről, ám ez a kutatás jelenlegi fázisában még nem ismert részleteiben. Egy fontos adalék, amikor nyugdíjazása utáni



főművének első kötete, az *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1700-ig* bevezetésében Réthly rávilágít, hogy munkájának egyik haszna a múltbeli éghajlatingadozások behatóbb kutatása lehet:

„Vannak kérdések, amelyekre csak évszázadokra visszanyúló feljegyzések alapján adhatunk választ. Ilyen kérdések pl. a szigorú, valamint az enyhe telek, az esős vagy forró nyarak szakaszossága; a májusi fagyok egyes évcsoportokban miként, milyen gyakorisággal lépnek fel; az esős, valamint a rendkívül száraz nyarak hány év időközében fordulnak elő; milyen összefüggés van bármely irányú szélsőséges telek és nyarak között; a pusztító árvizek felléptének milyen szakaszossága között. Mutatnak-e a meleg és hideg évcsoportok valamilyen évszázados ingadozást. Választ adnak ezek a régi megfigyelések arra is, hogy az éghajlat nem változik, hanem ingadozik, és ha időnként melegekedés mutatható ki, kétségtelenül vannak bizonyítékok a hűvösebbre válásra is” (Réthly 1962: 15).

Ha ismerte is Berkes Zoltán munkáját – ismernie kellett, mert közvetlen kollégák voltak, hiszen Réthly nyugdíjba vonulása után is volt közös munkájuk az északi fény-megfigyelésekről – a korabeli általános fogáshoz ragaszkodva a növekvő szén-dioxid szint miatt melegedő éghajlat teóriájának nem tulajdoníthatott nagy jelentőséget, legalábbis ez az idézet erről tanúskodik.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az új elmélet a hatvanas években vert gyökeret és a 70-es években vált elfogadottá, ebben érthetően a fiatal, újabb meteorológus nemzedék játszott úttörő szerepet. Információs forrásként egyfelől a külföldre, nyugatra jutó ösztöndíjasok (pl. Probáld 1974; Mészáros 1977), a külföldi konferenciákon, nemzetközi tárgyalásokon résztvevők szellemi „importjai” jelölhetők meg (Graics 1962; Békeffyné Csonka 1962; Ambrózy 1971, 1974, 1975, 1978). Utóbbiak közül egy igen fontos lökést jelentett a téma szempontjából a WMO éghajlati világkonferenciája 1979-ben (Szepesi 1979), de ekkor jelent meg Péczely (1979) *Éghajlattana* is, amelynek időtállóságát mutatja, hogy 2009-ig hat változatlan kiadást ért meg. Ebben Péczely nagy bizonyossággal értekezett a szén-dioxid teóriáról, a visszacsatolási mechanizmusokról, igaz alapvetően még ő is az éghajlatingadozás megnevezést használta.

Másfelől eleinte a szovjet tudományos munkákon keresztül érkezett a legtöbb impulzus, főleg Mihail Budyko munkáit kell itt megemlíteni (Aujeszky 1971, 1976; Budyko 1972), akinek a visszaemlékezése szerint 1971-ben még nagy csodálkozással és kétkedéssel fogadták egy leningrádi nemzetközi konferencián az általa előadott ember okozta éghajlatváltozás teóriáját (Budyko 1990). A nemzetközi fejlődéssel összevetve a magyar éghajlatkutatás tehát egyáltalán nem volt lemaradásban, az 1980-as évekre a hazai kutatások is kiszélesedtek ezen a téren.

Az alföldi éghajlatváltozáshoz és tágabban a magyar éghajlatkutatás történetéhez kapcsolódóan három témát igyekeztem körüljárni tanulmányomban. Ezek az „epizódok” is azt sugallták, hogy nemcsak az éghajlat változott a 20. század során, hanem a tudósok által elfogadott nézetek is formálódtak, alakultak. A Kaán–Réthly vitában nemcsak két különböző személyiség mutatkozott meg, hanem a környezet-, illetve éghajlatváltozásról vallott eltérő elképzelések is szembe kerültek egymással. A kétéves időmetszetben bemutatott sajtóelemzés viszont a sajtónak a maihoz igen hasonló beállítottságára világított rá, jóllehet a média nagy változásokon ment keresztül a 20. században. A harmadik fejezetben pedig a nemzetközi környezet változó kontextusában egy, még a régi éghajlatingadozási teória képviselője által elindított, ám az új tudósgeneráció által befejezett klimatológiai koncepcióváltás kezdeti időszakát elemeztem.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány megírásához az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és a TÁMOP 4.2.2. A-11/1/KONV-2012-0013 Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban c. projekt is hozzájárult. Köszönöm továbbá Probáld Ferenc ny. egyetemi tanár a kézirat átolvasása után tett hasznos megjegyzéseit, illetve a lektorok jobbító javaslatait.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Ambrózy P. 1971: Az ember hatása az éghajlatra. *Időjárás*, 75 (5–6): 382–383.
- Ambrózy P. 1974: A CAS hatodik ülésszaka. *Időjárás*, 78 (2): 124–127.
- Ambrózy P. 1975: Szimpózium a hosszútávú éghajlatingadozásokról. *Időjárás*, 79 (6): 383.
- Ambrózy P. 1978: Tanácskozás az éghajlatingadozásokról. *Időjárás*, 82 (2): 119.
- Arrhenius, S. 1907: Földünk és az égitestek mint az élőlények lakóhelyei. *Természettudományi Közlöny*, 39 (460): 665–679.
- Arrhenius, S. 1922: A világok keletkezése. Fordította Mende Jenő. Dick Manó kiadása, Budapest
- Aujeszky L. 1971: Budyko, M. I.: Éghajlatváltozások. *Időjárás*, 75(3–4): 241–242.
- Aujeszky L. 1976: Budyko, M. I.: Az éghajlatváltozások. *Időjárás*, 80(4): 242.
- Bacsó N. 1939: Az Alföld erdősíthetőségének kérdése a napilapokban. *Az Időjárás*, 43(7–8): 147–149.
- Bacsó N. 1946: Az éghajlaton elemei növénytermesztők számára. Budapest
- Bacsó N.; Kakas J. és Takács L. 1953: Magyarország éghajlata. OMSZ, Budapest
- Berkes Z. 1940: Éghajlatváltozás vagy éghajlatingadozás? *Az Időjárás* 44 (7–8): 149–154.
- Berkes Z. 1943: Megváltozott-e az éghajlat? *Az Időjárás*, 47(11–12): 193–195.
- Berkes Z. 1953: Éghajlatváltozás – éghajlatingadozás? Országos Meteorológiai Intézet Kis Népszerű Kiadványa 3, Bp.
- Berkes Z. 1955: Az éghajlat fogalmának meghatározásáról. *Időjárás*, 59(1): 44–45.
- Berkes Z. 1957: Újabb eredmények a naptevékenység változása és az általános légkörzés kapcsolatának vizsgálata terén. *Időjárás*, 61(3): 208–209.
- Berkes Z. 1970: Az időjárási elemek 73 napos éghajlati periódusáról. *Időjárás*, 74(5–6): 393–399.
- Berkes Z. 1975: Éghajlatunk szerkezetének néhány vonása a debreceni 120 éves csapadéksorozat tükrében. In: Felméry L. és Zách A. (eds): Réthly Antal emlékkönyv. MTESZ Magyar Meteorológiai Társaság, Budapest, 89–112.
- Békeffyné Csonka I. 1962: Tudományos előadás-sorozat Rómában az éghajlat változásairól. *Időjárás*, 66(2): 126–128.
- Bognár K. 1935a: Az 1934. évi tavasz szárazságának rendkívüliségéről. *Az Időjárás*, 39(9–10): 171–178.
- Bognár K. 1935b: Rendkívüli szárazság Magyarországon. *Az Időjárás*, 39(11–12): 222–233.
- Budyko, M. I. 1972: Stability of the Climate of our Age. *Időjárás*, 76(1–2): 9–18.
- Budyko, M. I. 1990: Interview of Mikhail Budyko by Spencer Weart on March 25, 1990, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA [<http://www.aip.org/history/ohiilist/31675.html>] Chohnoky J. 1940: Meteorológia. A csillagoktól a tengerfenéig. II. kötet. Franklin Társulat Kiadása, Budapest
- Dobosi Z. 1964: Éghajlaton. 2. kiadás. Kézirat. ELTE TTK, Tankönyvkiadó, Budapest
- Dobosi Z. 1968: Az éghajlat ingadozásai. In: Berényi D.; Dobosi Z. és Wagner R.: Éghajlaton. Tankönyvkiadó, Bp.
- Dobosi Z. 1968: A légkör sugárzáshatása. In: Berényi D.; Dobosi Z. és Wagner R.: Éghajlaton. Tankönyvkiadó, Bp.
- Dobosi Z. és Felméry Z. 1977: Klimatológia. 3. változatlan utánnomlás ELTE TTK, Tankönyvkiadó, Budapest
- Graics Á. 1962: Az éghajlat változásáról. *Időjárás*, 66(4): 234–238.
- Hamblyn, R. 2009: The whistleblower and the canary: rhetorical constructions of climate change. *Journal of Historical Geography*, 35: 223–236.
- Hulme, M. 2009: Why we disagree about climate change. Understanding controversy, inaction and opportunity. Cambridge University Press, New York
- Jankó F. 2013: Elfeledett viták az alföldi erdősítés és vízrendezés éghajlati hatásairól. *Földrajzi Közlemények*, 37(1): 51–63.
- Jankó F. 2014: Az „országfásítás” éghajlati vonatkozásai tudománytörténeti visszatekintésben. *Erdészeti Lapok*, 149(3): 84–85.

- Kaán K. 1933: Az Alföld csapadékviszonyai és az alföldi erdőtelepítések és fásítások. *Vízügyi Közlemények*, 15(2): 46–58.
- Kaán K. 1939: Alföldi kérdések. Stádium, Budapest
- Kenessey B. 1931: Az Alföld állítólagos kiszáradása, elszikesítése és öntözésének kérdése. *Vízügyi Közlemények*, 13(2): 3–27.
- Láng S. 1954: Berkes Zoltán: Éghajlatváltozás – éghajlatingadozás? Országos Meteorológiai Intézet Kis Népszerű Kiadványa, 3. szám. Budapest 1953 55 oldal. *Időjárás*, 58(3): 183–184.
- Láng S. 1971: Éghajlatingadozás a léghőmérséklet napi abszolút maximumainak és minimumainak időbeli eloszlása alapján. *Időjárás*, 75(1–2): 53–57.
- Mészáros E. 1977: A levegőkémia alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Népszava 1934a: Veszedelmes időjárás. 1934. május 8. 62(102): 12.
- Népszava 1934b: A szárazság. 1934. május 10. 62(104): 11.
- Népszava 1934c: Iszaptenger. 1934. május 13. 62(106): 1.
- Népszava 1934d: Vetésjelentés. 1934. május 13. 62(106): 4.
- Népszava 1934e: Zavarok a főváros vízellátásában. 1934. május 16. 62(108): 7.
- Népszava 1934f: Világszerte pusztít a szárazság. 1934. május 31. 62(120): 4.
- Népszava 1934g: Segítséget a szárazságtól sújtott vidékeknek. 1934. június 6. 62(124): 2.
- Népszava 1934h: A szárazság sürgős kormányintézkedéseket követel. 1934. június 6. 62(124): 5.
- Népszava 1934i: És mi lesz a fenyegető éhínség áldozataival!? 1934. június 15. 62(132): 3.
- Népszava 1934j: Kár Pál: Nálunk minden szépen ígérkezik. Szabályoztuk az időjárást – Soltvadányi tudósítás 1934. június 17. 62(134): 15.
- Népszava 1934k: Esőcsinálók. 1934. július 26. 62(106): 8.
- Népszava 1934l: H.E.: Szeszélyes időjárás 1934. július 28. 62(168): 10.
- Népszava 1934m: Erdősítés. 1934. augusztus 14. 62(182): 12.
- Népszava 1935: T.J: Az aszály és az alföldi gazdálkodás. 1935. augusztus 11. 63(182): 5.
- Pesti Hírlap 1934a: A májusi eső. 1934. május 3. 56(99): 1.
- Pesti Hírlap 1934b: Beszámolók az amerikai aszályról. 1934. május 9. 56(99): 5.
- Pesti Hírlap 1934c: A szárazság negyedik hete tart országszerte. 1934. május 10. 56(100): 3.
- Pesti Hírlap 1934d: Balla Antal: A nagy szárazságok Magyarországon. 1934. május 27. 56(119): 4.
- Pesti Hírlap 1934e: A nagy szárazságok Magyarországon. Rohringer Sándor műegyetemi ny. r. tanár nyilatkozata. 1934. június 2. 56(124): 6.
- Pesti Hírlap 1935a: H.A.: Az esőhiány. 1935. augusztus 3. 57(175): 7.
- Pesti Hírlap 1935b: Mesterséges időjárás. 1935. augusztus 20. 57(188): 14.
- Péczely Gy. 1973: Éghajlatunk múltja és jövője. *Léggör*, 18(3, 4): 65–70, 83–87.
- Probáld F. 1974: Budapest városklimája. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Réthy A. 1933: Az Alföld csapadékviszonyai. In: Sajó E. és Trummer Á. (eds): Újabb tanulmányok az öntözésről. M.K. Földművelésügyi Minisztérium, Budapest 148–177.
- Réthy A. 1934: Az Alföld csapadékviszonyai és a fásítás mikroklimatológiai indoklása. *Vízügyi Közlemények*, 16(1): 65–81.
- Réthy A. 1962: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1700-ig. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Réthy A. és Bacsó N. 1938: Időjárás-éghajlat és Magyarország éghajlata. Magyar Meteorológiai Társaság, Budapest
- Szántó I. 1940: Erdőtenyészet, éghajlat és lecsapolás a Kárpátok medencéjében az Alföldre való tekintettel. Sopron
- Száva-Kováts J. 1952: Éghajlatváltozások. In: Bulla B. (ed): Általános természeti földrajz. Tankönyvkiadó, Bp., 349–350.
- Szepesi D. 1979: Az éghajlati világkonferenciáról. *Időjárás*, 83(2): 112–116.
- Wágner M. 1973: Éghajlatváltozás vizsgálata hosszú hőmérsékleti sorok alapján. *Időjárás*, 77(6): 364–368.
- Weart, S. R. 2010: The idea of anthropogenic global climate change in the 20th century. *WIREs Climate Change* 1: 67–81.

*Érkezett: 2014. június 16.  
Közlésre elfogadva: 2014. október 6.*



# ERDŐÁLLOMÁNYOK VÍZHÁZTARTÁSA A KISKUNSAÍGI HOMOKHÁTSÁGON

Bolla Bence<sup>1</sup>, Kalicz Péter<sup>2</sup> és Gribovszki Zoltán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság, Erdészeti és Tervezési Osztály

<sup>2</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

## Kivonat

Cikkünk irodalmi adatokra és gyakorlati szakemberekkel folytatott tapasztalatcserékre alapozva ad képet a homokhátsági erdőállományok vízháztartási jellemzőiről. Munkánk során helyi mérésekből származó adatokat, megfigyeléseket is felhasználtunk. A homokhátsági erdők vízháztartását meghatározó elemeit, a kapcsolódó irodalmi adatok alapján, helyi mérési eredményekkel kiegészítve mutatjuk be röviden, a teljesség igénye nélkül. A homokhátsági erdőterületek vízháztartására gyakorolt hatását komplexen érdemes vizsgálni, egy-egy kiragadott tényező elemzésével ellentétben. A szakemberek véleménye eltérő és kevés részletes kutatási eredmény áll rendelkezésünkre a témával kapcsolatban. A száraz termőhelyi adottságokkal jellemezhető homokhátsági területek vízháztartási jellemzőinek megismerése, (a helyi mérésekből származó adatot felhasználásával együtt) erdőgazdálkodói szempontjából is lényeges lehet.

*Kulcsszavak:* homokhátság, erdőállományok vízháztartása, talajvízszint

## WATER BALANCE OF FORESTS IN KISKUNSAIG SANDRIDGE

### Abstract

In this article we would like to give a picture of the characteristic features of sand-land forests concerning their water balance, and in relation to forest hydrology, that is we would like to outline how to apply those features in the course of nature conservation treatment. We based our survey both on special literature and on exchanges of practical experience with experts. More detailed investigation of the general hydrology of Duna–Tisza Sandridge started in the 1970s and expert opinions differ widely over the effects of crops on ground water level, that is, whether we can establish a connection between the growing afforestation in the area and the decrease in groundwater levels. This study confirms that we need to broaden our knowledge about this special field during forestry and nature protection management, and to explore the water management of sand-land sites, which are characterized by dry growing features, even more in the future. The local measurements and experiences must be determining in rational management and conservation treatment, because significant part of forests are in protected areas in Kiskunság.

*Keywords:* sandridge, water balance of crops, nature conservation treatment, groundwater level



## BEVEZETÉS

Az alföldi erdőállományok vízháztartási jellemzőinek kutatásával Magyarországon az erdészeti szakma már régóta foglalkozik (Ijjász 1936). A Duna–Tisza közti homokhátság általános hidrológiájával azonban csak később, az 1970-es években kezdtek el részletesen foglalkozni (Major 1974). A szakemberek véleménye eltérő és ellentmondásos a homokhátsági erdők vízfelhasználásával kapcsolatban. Egyes szakemberek (Major és Neppel 1988; Szilágyi és mtsai 2011; Szilágyi és mtsai 2012) szerint az erdőállományok hatása jelentős lehet a talajvízre, más szakemberek (Szodfridt 1990; Járó 1992; Gőbölös 2002) szerint viszont nem hozható szoros összefüggésbe az erdőtelepítések hatása a talajvíz csökkenésével. Ahhoz, hogy a problémáról valós képet kapjunk, szükséges az erdőállományok vízháztartási jellemzőinek komplex vizsgálata. Az erdőgazdálkodás kapcsán fontos, hogy valós és megfelelő ismeretekkel rendelkezzünk az erdőállományok hidrológiai szerepéről.

## TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

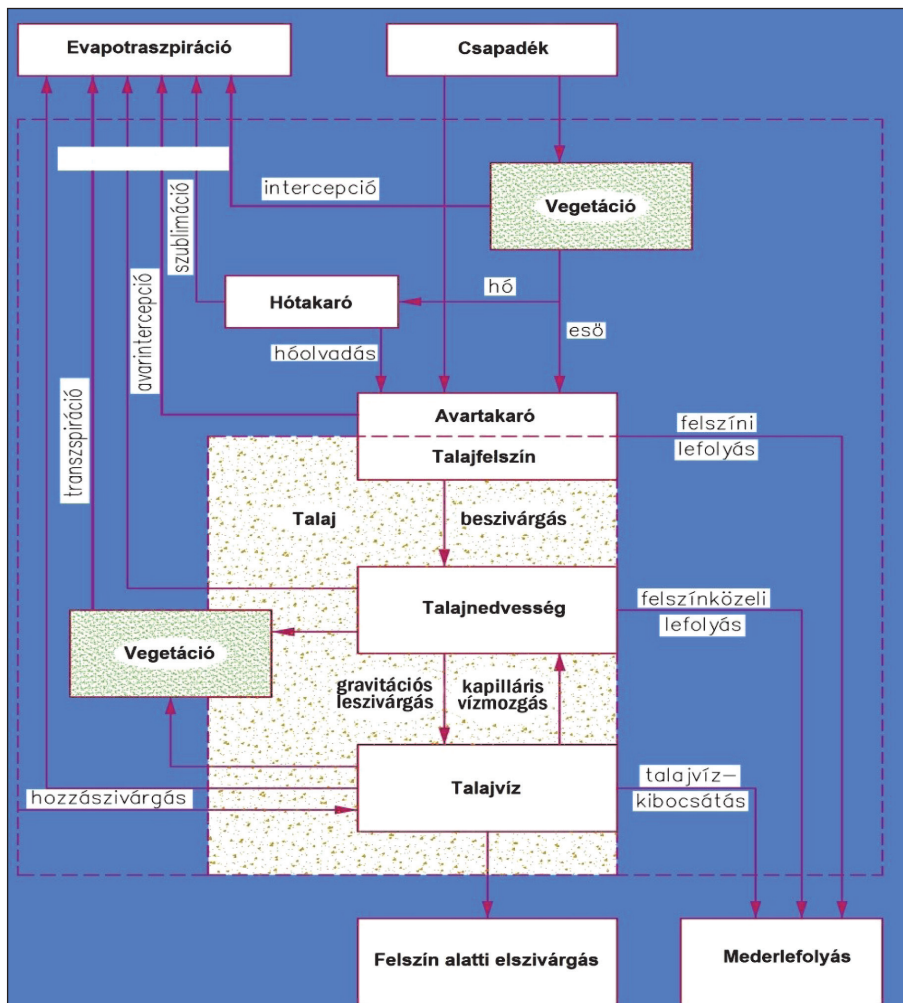
A Duna–Tisza közti homokhátságon a természetközeli állapotoknak megfelelően, az erdőállományok területfoglalása 35%-ra tehető, amely az alföldi átlagnál alacsonyabbnak mondható (Gőbölös 2002). A térségben végzett potenciális vegetációtípusok vizsgálata alapján elmondható, hogy a jellemző természetközeli vegetáció az erdőssztyepp (9110 Eurosibériai erdőssztyepp tölgyes (*Festuco-Quercetum*), 91N0 Pannon borókás-nyáras (*Junipero-Populetum*), 6260 Pannon homoki gyepp (*Festucetum vaginatae*)) volt. A száraz, hátság buckatetőkön általában homoki gyepek (*Festucetum vaginatae*) váltakoztak borókás-nyáras (*Junipero-Populetum*) erdőfoltokkal. A száraz klímaviszonyoknak megfelelően a buckatetőkön zárt erdőállományok természetes körülmények között – a borókás-nyarasok kivételével – nem voltak képesek kialakulni (Vámos és Keveiné 2009). Zárt erdők, mint pl. a gyöngyvirágos tölgyesek (*Convallario-Quercetum*), csak a buckák közötti laposokban jelentek meg természetes úton, mivel ezek az erdőtürelmesek fokozott vízigényüket a felszín közeli (2–3 m) talajvízből csak itt tudják kielégíteni. A gyöngyvirágos tölgyesek (*Convallario-Quercetum*) mellett kisebb területen a keményfás ligeterdők (*Faxino-Ulmetum*) is jelen voltak. Ezen erdők fennmaradását elsősorban a felszín közeli talajvíz határozza meg (Szodfridt 1994; Calder 1998; Móczár és mtsai 2011).

A Honfoglalás korában az Alföld erdőssültsége az erdőirtások és a legeltető állattartás hatására 20–25%-ra csökkent. Az európai marhakereskedelem, a legelő területek növelése és a fakitermelések hatására a hátság erdei jelentősen megfogyatkoztak a XVII. és a XVIII. századra. Az eredeti erdőtürelmesek csak foltokban voltak jelen, Kecskemét-Nagykőrös környékén és a Bácska löszhátság peremén. A Duna–Tisza közti homokhátság erdőssültsége 1789-ben 4,5%-ra csökkent (Bartha 1993; Bíró 2008). Újraerdősítése már a XIX. Században elkezdődött, de a legnagyobb fordulatot az 1923-as Alföldfásítási törvény és az 1950-es földrendezések hozták (Major és Neppel 1990). Az erdőtelepítések hatására az erdőssültség a hátságon a II. világháború előtti (1935) 6,6%-ról napjainkra 20% körüli értékre növekedett. Sajnálatos módon ebben az időszakban az erdőterületek növekedése mellett az őshonos fafajok (kocsányos tölgy, mezei szil, vénic szil, magyar kőris, mezei juhar, tatar juhar, fehér nyár, fekete nyár, fehér fűz, mézgas éger) aránya jelentősen lecsökkent, ugyanakkor a fehér akác, a nemes nyáras, az erdei nyír és a fekete nyír területe növekedett. Az Európai Unió vidékfejlesztési törekvéseivel összhangban tovább fog emelkedni Magyarország erdőssültsége, Führer és Járó (2000) szerint a Duna–Tisza közti homokháton akár 33%-os is lehet az erdőssültség. Mindez vélhetően a homokhátság vízháztartására is hatással lesz. Hegyvidéki erdeinknek vízháztartásra gyakorolt kedvező hatása közismert, a hátságot illetően azonban a kérdés még napjainkban is vita tárgyát képezheti (Gácsai 1998, 2000). Egyes szerzők (Major és Neppel 1988, 1990; Szilágyi és mtsai 2012) a homokhátsági erdők szerepét jobban kiemelték a talajvízszint süllyedése kapcsán, más szerzők (Szodfridt 1990) ezt cáfolták és alaposabb vizsgálódás után próbál-

ták reálisan megítélni a homokhátsági erdőállományok vízháztartásban betöltött szerepét. A rendelkezésünkre álló kevés erdőrésztlet szintű kutatás főleg a hátsági erdők intercepciós hatásával foglalkozik. 1995–2000 között Gácsi vizsgálta részletesen az erdei vízháztartást egy kecskeméti erdei fenyves példája alapján.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A munkánk során szakirodalmi adatokra és a gyakorlati szakemberekkel folytatott tapasztalatcserékre alapozva elemeztük a Duna–Tisza közti homokhátságon lévő erdőállományok vízháztartási jellemzőinek fontosabb paramétereit (1. ábra). Szakirodalmi kutató munkánkat helyi tapasztalatokkal és a helyi mérések adatfeldolgozásával is kiegészítettük. Cikkünkben objektíven próbáljuk bemutatni a homokhátsági erdőállományok vízháztartásával kapcsolatos eltérő szakmai véleményeket, ezzel érzékeltetve, hogy a kérdés rendkívül összetett és további helyi kutatásokat igényel.



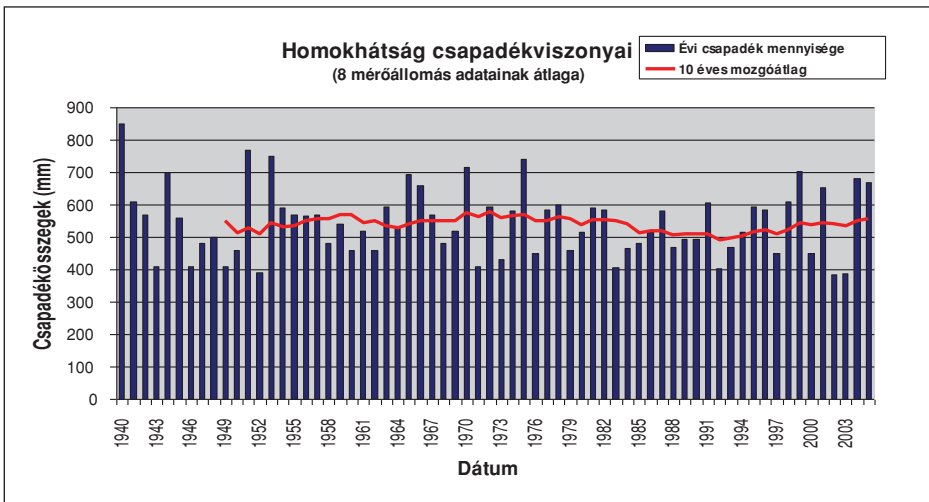
1. ábra: Az erdő vízháztartása (Kucsara 1996; Kucsara és mtsai 2013)  
 Figure 1: Water balance of forest (Kucsara 1996; Kucsara et al 2013)

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Az erdőben lezajló vízforgalmi folyamatok pontosabb megismerése, megértése érdekében, a következőkben áttekintjük az erdő vízháztartásának fontosabb elemeit (1. ábra) a Duna–Tisza közti homokhátságra vonatkozóan.

### Csapadék

A homokhátsági erdőállományok legfontosabb vízbevételei forrását az alacsony talajvízszintek miatt a makro-csapadékok jelentik. A helyi csapadék nagysága és eloszlása nagyban befolyásolhatja az erdősitések sikerességét a száraz termőhelyeken. A helyi csapadékösszegek időnként igen nagy területi változatosságot mutatnak, még a községhatárokon belül is. A helyi csapadékesemények (2. ábra) adatfeldolgozása során képet kaphatunk az erdősitések során alkalmazott fafajok további fejlődéséről, ami kulcsfontosságú lehet a jelenlegi száraz, néhol szélsőségesen ingadozó termőhelyi adottságokat figyelembe véve.



2. ábra: A homokhátság évi csapadékösszegei 1940–2005 között (helyi mérések: Bócsa, Bugac, Fülöpháza, Kecskemét, Kiskunmajsa, Kiskunhalas, Orgovány, Tázlár)

Figure 2: Precipitation rate of sandland in between 1940–2005 (local measurements: Bócsa, Bugac, Fülöpháza, Kecskemét, Kiskunmajsa, Kiskunhalas, Orgovány, Tázlár)

Az 1955. és 2005. közötti periódust megvizsgálva tizenkilenc esetben nem érte el az éves csapadék mennyisége az évi 500 mm-t, a 2002-es és 2003-as években még a 400 mm-t sem haladta meg. A szélsőséges termőhelyi adottságokat alátámasztja, hogy a fenti időszakban csupán három alkalommal (az 1970-es, 1975-ös és 1999-es években) érte el a 700 mm-t az éves csapadék összege.

### Intercepció

Az intercepció során a lehulló csapadék egy része a lomkoronán marad, majd onnan elpárolog, illetve egy bizonyos mennyiségét a levélzet fölveszi. A faállományok nagyobb levélfelületi indexe miatt, az intercepció során felfogott víz mennyisége nagyobb lehet, mint a lágyszárú növénytársulások esetében. Intercepció alatt leg-

többször a korona intercepcióját szokták érteni (Delfs 1955). A teljes intercepciós veszteséget viszont, a korona intercepció és az avarintercepció együtt jelenti.

A faegyedek lombkoronáján áthulló, valamint a fák törzsén lefolyó csapadékmennyiséget együtt állományi csapadéknak nevezhetjük.

Az intercepció mértékére az erdőállomány jellemzőinek döntő hatása van (1. táblázat). Ezek közül a legfontosabbak: a fafajok jellemzői (lombos vagy tűlevelű, ill. fényigényes vagy árnyéktűrő fafajokból áll-e az erdő; az adott faj a törzsén mennyi vizet képes levezetni stb.), a faállomány kora és szerkezete (a törzsek minősége, ágszerkezete, a korona alakja, a faállomány magassága), az állomány záródása, elegyaránya, szintezettsége, az egyes szintek záródása (Führer 1992). A faállomány jellemzői mellett fontos kiemelni az éves csapadék mennyiségi, időbeli eloszlását, valamint az egyes csapadékesemények nagyságát is.

Az állományi csapadék nagy része, amely a levélzetről lefolyik, valamint a koronán keresztülhullik, az avar-takaróra érkezik, míg törzsön lefolyó kisebb vízmennyiség a fatörzs és a gyökerek mellett közvetlenül a talajba jut. Az avarréteg és a vele szoros kapcsolatban lévő humusréteg a csapadék egy bizonyos mennyiségét visszatartja. Ezt a jelenséget nevezzük avarintercepciónak. Az avarintercepció során a leérkező csapadék egy részben szintén elpárolog.

1. táblázat: Idős és középkorú faállományokban meghatározott intercepciós veszteség százalékos megoszlása (a Kerekegyháza, Ménteleken, Püspökladányban és Gödöllőn végzett mérőssorozatok alapján)

Table 1: Interception losses of elderly and middle-aged tree stands (series of measurements round to Kerekegyháza, Méntelek, Püspökladány, Gödöllő)

Fafaj	Egyes fafajok intercepciós vesztesége (Járó 1980 és Magyar 1989, 1993 nyomán)	Intercepciós veszteség az ERTI kutatásai alapján (Sitkey 2004 nyomán)
Hazai nyár	24%	23%
Olasz nyár	25%	–
Óriás nyár	29%	–
Akác	9%	–
Kocsányos tölgy	–	24%
Fekete fenyő	24%	28%
Erdei fenyő	16%	25%

Az eddig közzétett kutatások alapján elmondható, hogy a lomb és fenyő állományokban a lehullott csapadék 60–70%-a hasznosulhat a növényi transzspiráció során. Tehát a korona és az avar intercepciója együtt 30–40%-ot is elérhet (Sitkey 2008). Magyarországi mérőssorozatok alapján az avarintercepció értéke 9–14% között változhat, a csapadékviszonyok függvényében (Führer 1992; Zagyvainé 2013).

## Transzspiráció

A növények fiziológiai folyamatokkal összefüggő aktív vízleadását transzspirációnak (párologtatásnak) nevezzük (1. ábra). A párologtatást olyan élettani folyamatnak tekinthetjük, amely során a növényi test a felvett víz legnagyobb részét vízgőz formájában bocsátja ki a légkörbe (Szalai 1994). A transzspiráció elengedhetetlen a növényi biomassza termelés során. A növényfajok egyedei több vizet adnak le, mint amennyire fel-tétlenül szükségük van testük felépítésére, valamint a tápanyagforgalmuk fenntartásához (Madas 1980; Lee 1980; Huff 1985). A transzspiráció tulajdonképpen párolgási (evaporációs) folyamatként is értelmezhető, hasonló tényezők (felületi feszültség, ellenállás) által szabályozva (Martin és mtsai 1976; Kelliher és mtsai 1993).





Az erdőállomány évi vízfelhasználását az állomány éves szerves anyag produktumának és a szerves anyag termeléséhez szükséges vízmennyiség szorzatából fejezhetjük ki, ezt vízfelhasználási egyenletnek nevezük (Járó 1981). A vízfelhasználási egyenlet szerint számíthatjuk az állománytípusok évi vízfelhasználását hektáronként mm-ben kifejezve (2. táblázat)

2. táblázat: A homokhátságon alkalmazott célállománytípusok éves vízfelhasználása (mm/év)

Table 2: Annual water using of woodtypes in sandridge (mm / year)

Fafaj	Faállománytípusok évi vízfelhasználása (Járó 1981. nyomán) (mm/év)
Kocsányos tölgy	441
Hazai nyár	800
Akác	279
Erdei fenyő	205
Fekete fenyő	185
Nemes nyár	680

Abban az esetben, ha az erdőállomány közvetlen kapcsolatban áll a talajvízzel, a fentiek (2. táblázat) alapján megállapítható, hogy az őshonos fafajok közül a kocsányos tölgy és a hazai nyárak nagy vízmennyiséget használnak fel a szerves anyag előállításában. A Duna–Tisza közti hátság erdészeti tájban tájidegennek számító akác és fenyő jóval kevesebb vizet használ fel. A nemes nyárak gyors, intenzív növekedési erélyükkel összhangban nagy vízmennyiséget igényelnek egységnyi száraz anyag előállításához. (Járó 1989).

A homokhátság változatos domborzati és hidrológiai adottságait is figyelembe véve nehéz pontosan meghatározni az egyes faállománytípusok vízfelhasználását. Gácsai az 1999-es évre, 481 mm-es szabad felszíni csapadékból 207 mm-es transzspirációs értéket adott meg egy középkorú erdei fenyves vizsgálat során.

## Evapotranszpiráció

Az evapotranszpiráció a növényzet és a talaj felületéről egyidejűleg a légkörbe jutó vízmennyiség, vagyis a növényzettel borított felszín párologásának összege (1. ábra). A tényleges evapotranszpiráció maximális háttértéke a potenciális (lehetséges) evapotranszpiráció, melynek egyik értelmezése: az a vízmennyiség, mely rövidre nyírt gyepfelületről adott meteorológiai feltételek mellett időegység alatt elpárolog, feltéve, hogy a folyamatot a víz hiánya nem korlátozza (Blaney 1956; Swift 1975; Szász és Tőkei 1997).

Abban az esetben, ha az adott erdőállomány talajvízkészletből többlet vizet tud felvenni megállapítható, hogy az őshonos faállománytípusok transzspirációs vízfelhasználása jóval nagyobb, mint a Duna–Tisza közti hátság erdészeti tájban tájidegennek számító akác, erdei fenyő, fekete fenyő faállománytípusok esetében. A nemes nyáras faállományok tekintetében ez a vízfelhasználási érték magasabb lehet, ha a talajvízkészlet elérhető mélységben helyezkedik el.

## Erdők hatása a talajvízre

Az Alföld vízrendezését az akkori vízügyi társulatok a XIX. század végén és a XX. század elején végrehajtották. A vízrendezési munkálatok során megtörtént a belvízcsatorna hálózat kiépítése a homokhátságon is.

A belvízelvezetés során több korábbi vizes élőhely kiszáradt, eltűnt vagy átalakult. A hátságon létesített belvíz-csatorna hálózat talajvíz-süllyesztő hatása mégis vitatott a szakemberek állásfoglalásai alapján.

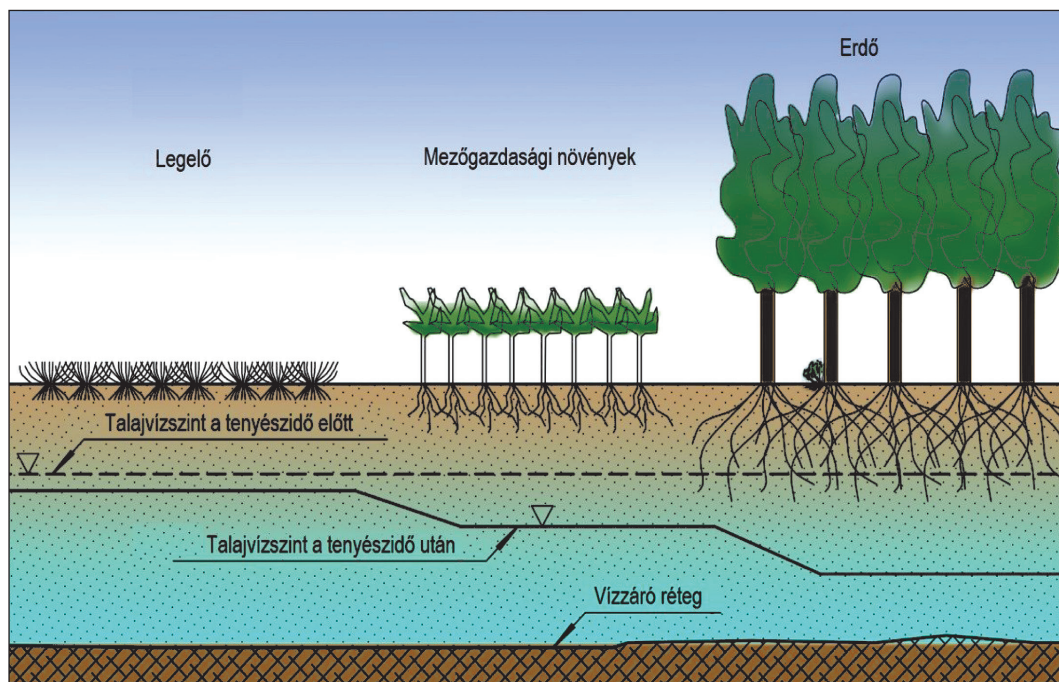
A talajvíz süllyedésére meglehetősen nagy hatást gyakoroltak, gyakorolnak a rétegvíz-kitermelések. Csak az 1960-as évektől az 1990-es évek elejéig a rétegvizek kitermelése több mint a nyolcszorosára nőtt (Pálfai 1993). A fenti tények figyelembevételével érdemes vizsgálni az alföldi erdőállományok talajvízszintre gyakorolt hatását.

A talajvízszint monitorozását az állami erdőgazdálkodók vezették be az 1900-as évek elején. Roth Gyula professzor úr javaslatára talajvízkút hálózat létesülhetett, amit Ijjász Ervin munkássága révén tovább bővítettek.

Az erdőállományok negatív szerepét tükröző kutatások szerint: a talajvíz az erdőállomány alatt egész évben alacsonyabban áll, mint a kontrollterületként szolgáló nyílt gyepek, vagy szántóterületek alatt (3. ábra). Az erdőállományok talajvíz-süllyesztő hatása azonban csak akkor érvényesül ilyen formában, ha a vizsgált állomány közvetlen kapcsolatban áll a talajvízzel.

A mért talajvízszintek közötti különbség a vegetációs időszakban nagyobb, a téli, nyugalmi állapotban kisebb. Itt lassú kiegyenlítődési folyamat figyelhető meg. A klimax (50–110 éves), idősebb erdőállományok nagyobb hatással vannak a talajvízszintre, mint a fiatal erdőültetések (Ijjász 1936, 1938, 1939; Sapanov 2000).

Több szakember is említi az alföldi erdőterületek nagyságrendi növekedését, és az ebből fakadó transzpirációs hatást alapul véve felelőssé teszik az erdőállományokat a talajvízszint süllyedésében (Major és Neppel 1988, 1990; Major 1993, 2002; Pálfai 1990–1993; Kovács és mtsai 2002; Szilágyi és mtsai 2012). Ugyanakkor egyes szerzők véleménye szerint, az Alföldön jelentkező csapadékhiány nem volt meghatározó faktor a talajvízszint lesüllyedések kapcsán (Pálfai és Major 1990).



3. ábra: A talajvízszint alakulása legelő, mezőgazdasági kultúra és erdőállomány esetében (Pankotai és Rácz 1975; Kucsara és mtsai 2013 alapján)

Figure 3: Distribution of ground-water at grassland, agricultural crop and Forest (Pankotai and Rácz 1975; Kucsara et al 2013)



Járó (1992) adatai szerint a Duna–Tisza közti homokhát erdőgazdasági táj utóbbi 100 évben telepített 100 000 ha új erdejéből 66 000 ha fenyő, melynek talajvízfogyasztása elhanyagolható. Simon (1976) valamint Járó és Sitkey (1995) nemes nyárasban végzett méréssorozatokra alapozva megállapította, hogy az olasz nyáras, gyeperős és szántó átlagos evapotranszpirációs értékei azonosak lehetnek. A szerzők véleménye szerint a korábbi nemes nyár telepítéseket, nem lehet a talajvízszint süllyedéssel kapcsolatba hozni.

Szesztay (1993) és Nováky-Szesztay (2002) nem az erdőterületek növekedését, hanem épp ellenkezőleg, a XV. századtól kezdődő erdőpusztításokat hozza összefüggésbe a talajvízszint változásával. Véleményük szerint az Alföld vízháztartásának művi jellege elsősorban a növénytakaróban bekövetkezett nagymértékű változás következménye. Kiemeli, hogy az erdősültség csökkenésével (a jelenlegi csekély erdősültségi viszonyok között) a területi párolgás csökkenés mellett a lefolyás növekedése és a hasznosítható vízkészletek drasztikus csökkenése is együtt jár. Major és Pálfai (1990) szoros kapcsolatot mutatott ki az erdők területe és az 1985-re szerkesztett talajvízszint süllyedés területei között. Az erdők talajvízszint-süllyesztő hatását igazolták a VITUKI ménteleki Komlói Imre kísérleti telepén végzett vizsgálatok alapján (Major 1993, 2002). A VITUKI Komlói Imre kísérleti telepén végzett vizsgálatai során megállapítást nyert, hogy az erdőknek jelentős hatása van a talajvízszint csökkenésére (Major és Neppel 1988). Az előző általános megállapítás több okból kifolyólag is vitatható, ahogy arra Szodfridt (1990, 1993, 1994) is rámutatott elemzése során. A vizsgálat területrészekén a talajvíz szintje helyenként 7 m alatt helyezkedik el. Ha a talajvíz ilyen mélységekben van jelen az erdőben, legyen az kocsányos tölgyes, hazai nyáras, akácos, vagy fenyő, nincsen közvetlen hatása a talajvízszint csökkenésére (Szabó és mtsai 2012). Az erdő inkább a beszivárgó csapadék mennyiségére van hatással az intercepción és a beszivárgó víz gyökér és kapilláris zónából való felvételén keresztül (Major és mtsai 1991; Kompár 2011). A Komlói Imre kísérleti telepen végzett vizsgálatok elemzése során érdemes figyelembe venni a következő tényeket, melyek a térség vízháztartására jelentős hatással vannak: a vizsgálati terület mellett több halastó is létesült, melyet a meglévő talajvízkészletből tartanak fenn szivattyúzással. A területet minden oldalról település veszi körül. Méntelek, Kecskemét, Kecskemét Úri-hegy, Kecskemét- Hetényegyháza, Kerekegyháza. A környező településeken a lakossági vízigények és a mezőgazdasági öntözésekre felhasznált vizek legnagyobb része a talajvízkészletből kerül kielégítésre. Megfigyeléseink szerint a térségben az engedély nélküli vízkivételek száma jelentősen megnövekedett (a talajvíz-kutak tizedének van csak vízjogi üzemelési engedélye). A talajvízszint süllyedéséhez nagyban hozzájárulnak a környező területeken végzett mélyfúrások, rétegvíz kitermelések is. Mindezek figyelembevételével megállapítható, hogy nem csak az erdők felelősek a talajvízszint süllyedéséért, hanem sokkal inkább a többi, fent felsorolt tevékenység hatása folytán kaptuk ezt a drasztikus csökkenést.

3. táblázat: A talajvízszint csökkenésért felelős tényezők százalékos megoszlása Pálfai (2010) szerint

Table 3: Percentage distribution of the responsible factors for the groundwater level decline, according to Pálfai (2010)

Időjárás (csapadék és párolgás)	50%
Rétegvíz kitermelés	25%
Talajvíz kitermelés	6%
Területhasználatban bekövetkezett változások (pl. Erdőterületek növekedése, mezőgazdasági technológia módosulása, növekvő terméshozamok)	10%
Vízrendezésben bekövetkezett változások	7%
Egyéb (szénhidrogén bányászat, településszerkezet vált. Stb.)	2%
Összesen:	100%

A talajvízszint süllyedésének problémakörét komplexen, több oldalról érdemes vizsgálni, ahogyan azt Pálfai (1990, 2010) is megtette. Munkája során (szakértői vélemények és szakirodalmi közlések alapján) meghatározta az egyes talajvízszintet csökkentő tényezők százalékos arányát (3. táblázat). A táblázat alapján el-

mondható, hogy az erdőállományok hatása nem jelentős a talajvízszint csökkenését illetően. Ez a megállapítás azonban csak regionális szinten lehet igaz. Lokálisan jelentősebb hatást gyakorolhat egy adott erdőállomány a talajvízre (mértétől, korától, eredetétől, kiterjedésétől függően), akár közvetlenül (ha a gyökérzet eléri a talajvízszintet), akár közvetett módon (az intercepciós veszteségen keresztül) is.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A Duna–Tisza közli hátság vízháztartásával több erdészeti és vízügyi szakember is foglalkozott. A szakemberek véleménye eltérő a homokhátsági erdőállományok talajvízre gyakorolt hatásával kapcsolatban. A cikk megírása során megpróbáltuk komplexen, több szempont alapján is elemezni, a homokhátsági erdőállományok vízháztartásával kapcsolatos kérdéseket. Egyes szerzők (Major és Neppel 1988, 1990) a homokhátsági erdők szerepét jobban kiemelték a talajvízszint süllyedése kapcsán, más szerzők (Szodfridt 1990) ezt cáfolták és alaposabb vizsgálatok után próbálták megítélni a homokhátsági erdőállományok vízháztartásban betöltött szerepét. A rendelkezésünkre álló kevés erdőrészlet szintű kutatás főleg a hátsági erdők intercepciós hatásával foglalkozik. 1995–2000 között Gácsi Zsolt vizsgálta részletesen, az erdei vízháztartást egy kecskeméti középkorú erdei fenyves példáján keresztül. A szakirodalmi elemzés során alapvető probléma volt, hogy az egyes szerzők által közölt adatok egymással nem összehasonlíthatók vagy termőhelyi, vagy időbeli eltérések miatt. A téma összetettségét tükrözi, hogy több szerző egymással ellentétes következtetésekre jutott vizsgálatainak során.

A hátság változatos mikro-domborzatát és hidrológiai viszonyait is figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a helyi mérésekből származó adatok felhasználására, a jövőben is nagy szükség lesz, az erdők vízháztartásának vizsgálata során.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk köszönetet mondani Manninger Miklósnak, hogy ötletekkel és jó tanácsokkal látott el minket a szakirodalmi kutatásaink során. Külön köszönet illeti Herbót Erzsébetet a cikk megírása során nyújtott segítségéért. Köszönet Sárkány Józsefnek, Kapócs Józsefnek, Vallai Zoltánnak, Vadász Józsefnek, Gál Mártonnak, Gál Józsefnek, Hegedűs Zoltánnak, Hegedűs Máténak, Tóth Sándornak és Tóth Andrásnak, hogy rendelkezésünkre bocsátották csapadékadataikat. Köszönet a lektoroknak a cikk megírása során nyújtott segítségükért. Ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A–11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bartha D. 1993: Az Alföld jelenkori vegetációjának kialakulása. Hidrológiai Közöny, 73 (1): 17–19.
- Bíró M. 2008: A Duna–Tisza köze fászáru vegetációjának átalakulása a 18. század óta, különös tekintettel a száraz homokterületekre. In: Kröel-Dulay Gy.; Kalapos T. és Mojzes A. (eds): Talaj-vegetáció-klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet. MTA ÖBKI, Vácrátót, 23–38.
- Blaney, H. F. 1956: Evaporation and evapotranspiration studies. IBID publ. N<sup>o</sup>. (40): 18–20.
- Calder, I. R. 1998: Water use by forests, limits and controls, Tree Physiology (18): 625–631.
- Delfs, I. 1955: Die Niederschlagszurückhaltung im Walde /Interzeption/. Mitteilungen des Arbeitskreises "Wald und Wasser". Nr.2. Koblenz, 54 pp.



- Führer E. 1992: Intercepció meghatározása bükk, kocsánytalan tölgy és lucfenyő erdőben. *Vízügyi Közlemények*, 74 (3): 281–294.
- Führer E. 1994: Csapadékmérések bükkös, kocsánytalan tölgyes és lucfenyves ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások*, 84 (1): 11–35.
- Gácsai Zs. 1998: Adatok az alföldi erdők és a talajvíz kapcsolatához III. *Erdészeti Lapok*, 133 (5): 158–159.
- Gácsai Zs. 2000: A talajvízszint észlelés, mint hagyományos, s a vízforgalmi modellezés, mint új módszer Alföldi erdeink vízháztartásának vizsgálatában. Doktori (Ph.D) értekezés, NyME, 69–93.
- Göbölös A. 2002: A „vízhiányos” erdőgazdálkodás kérdései a Duna–Tisza közti homokháton. *Hidrológia Közöny*, 82 (6): 324–326.
- Huff, D. D. and Swank, W. T. 1985: Modelling changes in forest evapotranspiration. In: Anderson, M. G. and Burt, T. P. (eds): *Hidrological Forecasting*, Wiley, Chichester, (England), 125–151.
- Ijjász E. 1936: Az erdészeti altalajvíz-megfigyelések eredményeinek rövid ismertetése. *Erdészeti Lapok*, 71 (9–10): 820–829.
- Ijjász E. 1938: Az erdő szerepe a természet vízháztartásában. *Hidrológiai Közöny*, 18 (1): 416–445.
- Ijjász E. 1939: A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel a nagyalföldi viszonyokra. *Erdészeti Kísérletek*, 42 (1): 107.
- Járó Z. 1980: Intercepció a gödöllői kultúr erdei ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások*, 73 (1): 7–17
- Járó Z. 1981: A hazai erdők vízfogyasztása. *Agrártudományi közlemények*, 40 (2–4): 353–356.
- Járó Z. 1989: Az erdő vízforgalma. *Az Erdő*, 124 (8): 352–355.
- Járó Z. 1992: A talaj szerepe az Alföldfásítás múltjában és jövőjében. In: Rakonczyai J. (ed): *Az Alföld fásítása, A Nagyalföld alapítvány kötetei 2, Nagyalföld alapítvány, Békéscsaba*, 41–46.
- Járó Z. és Sitkey J. 1995: Az erdő és a talajvíz kapcsolata. *Erdészeti Kutatások*, 85 (1): 35–49.
- Kelliher, F. M.; Leuning, R. and Schulze, E. D. 1993: Evaporation and canopy characteristics of coniferous forests and grasslands. *Oecologia*, (95): 153–163.
- Kompár L. 2011: A beszivárgás mértékének meghatározása Duna–Tisza közén hidrodinamikai és transzportmodellezéssel. *A Miskolci Egyetem Közleményei. „A” sorozat: Bányászat* 81. kötet, 411.
- Kovács J.; Szabó P. és Szalai J. 2004: A talajvízállás idősorok vizsgálata a Duna–Tisza közén. *Vízügyi Közlemények*, 86 (3–4): 607–624.
- Kucsara M. 1996: Az erdő vízháztartása (terv). In: Mátyás Csaba (ed): *Erdészeti ökológia, Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 218.
- Kucsara M.; Gribovszki Z. és Kalicz P. 2013: *Víztan. Egyetemi tananyag. TÁMOP 4.1.2.A/1–11/1–2011–0067 „Műszaki metaadatbázis alapú fenntartható e-learning és tudástár létrehozása”, Sopron*
- Lee, R. 1980: *Forest Hydrology*, Columbia University Press, New York, 332–334.
- Madas A. 1980: Az erdőgazdálkodás hatása és jelentősége az árvizek kialakulására. *Erdő és víz. Munkaértekezlet Sopron–Veszprém*, 12–22.
- Magyar L. 1989: A kerekegyházi és ménteleki intercepció mérésekről. *Összefoglaló jelentés. (Kézirat)*. ERTI, Kecskemét, 1968–1989, 2–6.
- Magyar L. 1993: „A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái” című konferencia előadása. *Erdészeti Lapok*, 128 (7–8): 211–312.
- Major G.; Major P. és Vargay Z. (1991): A Duna–Tisza közti Hátság lefolyási viszonyainak hatása a talajvízszint változására. *Vízügyi Közlemények*, 73 (2): 142–152.
- Major P. 1974: Síkvidéki erdők hatásának vizsgálata a talajvízpárolgás és tényleges beszivárgás folyamataira. *Hidrológia Közöny*, 54 (6): 281–288.
- Major P. és Neppel F. 1988: A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedések. *Vízügyi Közlemények*, 70 (4): 605–626.
- Major P. és Neppel F. 1990: VITA: Válasz Szodfridt István hozzászólására (Megjelent a *Vízügyi Közlemények* 1990. évi 3. füzetében a 287–291. oldalon.) *Vízügyi Közlemények*, 70 (4): 402–406.
- Major P. 1993: A Nagy-Alföld talajvízháztartása. *Hidrológia Közöny*, 73 (1): 40–43.
- Major P. 1994: Talajvízszint-süllyedések a Duna–Tisza közén. In: Pálfai I. (ed): *A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái, A Nagyalföld alapítvány kötetei 3, Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba*, 17–24.
- Major P. 2002: Síkvidéki erdők hatása a vízháztartásra. *Hidrológiai Közöny*, 82 (6): 319–323.
- Martin, J.; Leonard, L. and Stamp, D. 1976: *Principles of Field Crop Production (Third Edition)*, Macmillan Publishing Co., New York, 133–268.



- Móricz N.; Berki I. és Rasztoivits E. 2011: A Nagyalföld erdeinek állapota és hatásuk a talajvízszintre. In: Rakonczay J. (ed): Környezeti változások és az Alföld, Nagyalföld Alapítvány kötet 7, Nagyalföld alapítvány, Békéscsaba, 119–126.
- Nováky B. és Szesztay K. 2002: Éghajlat és víz a Kárpát-medence tájökológiájában, Hidrológiai Közöny, 82 (6): 308–314.
- Pálfai I. 1990: Összefoglaló ismertetés. In: A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodása (MTESZ Csongrád megyei munkacsoportja), Szeged, 2–4.
- Pálfai I. 1993: Talajvízszint-süllyedés a Duna–Tisza közén, Vízügyi Közlemények, 75 (4): 431–434.
- Pálfai I. 1995: A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái és megoldásuk lehetséges útjai. Vízügyi Közlemények, 77 (2): 144–161.
- Pálfai I. 2010: A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási sajátosságai. Hidrológia Közöny, 90 (1): 40–44.
- Pankotai G. és Rácz J. 1975: Erdészeti vízgazdálkodás, Egyetemi jegyzet, Sopron
- Sapanov, M. K. 2000: Water uptake by trees on different soils in the northern Caspian region, Eurasian Soil Sci., 33 (11): 1157–1165.
- Simon M. 1976: A talajvíz-magasság ingadozás hatása az „I 214” nyárfák növekedésére. Erdészeti Kutatások, 68 (2): 5–10.
- Sitkey J. 2004: Csapadékvíz vizsgálatok ökológiai bázisterületeken – In: Barna T. (ed): Tudományos eredmények a gyakorlatban (Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap), Alföldi Erdőkért Egyesület, Kecskemét, 32–37.
- Sitkey J. 2008: Vízforgalmi vizsgálatok erdőssztyepp klímában. In: Szulcsán G. (ed): Tudományos eredmények a gyakorlatban (Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap), Alföldi Erdőkért Egyesület, Kecskemét, 48–49.
- Swift, L.W.; Swank, W.T.; Manikin, J. B; Luxmore, R. J. and Goldstein R. A. 1975: Simulation of evapotranspiration and drainage from mature and clearcut deciduous forests and young pine plantation. Water Resources Research, 11 (4): 667–673.
- Szabó A.; Kiss K.; Gribovszki Z. és Tóth T. 2012: Erdők hatása a talaj és altalaj sóforgalmára, valamint a talajvíz szintjére, Agrokémia és talajtan, 61 (1): 195–209.
- Szalai I. 1994: A növények élete. I., JATE Press, Szeged, 141.
- Szász G. és Tókei L. 1997: Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 772.
- Szesztay K. 1993: Az Alföld vízháztartása, Vízügyi közlemények, 75 (4): 394–401.
- Szilágyi, J. and Kovács, Á. 2011: A calibration-free evapotranspiration mapping (CREMAP) technique. In: Labeledzki, L. (ed): Evapotranspiration, Vienna, 257–274.
- Szilágyi, J.; Kovács Á. and Józsa J. 2012: Remote-sensing based groundwater recharge estimates in the Danube–Tisza sand plateau region of Hungary, Journal of hydromechanic, 60 (1): 64–72.
- Szodfridt I. 1974: A talajvíz és a vegetáció kapcsolata Duna–Tisza köze homokterületén, Abstracta botanica, (2): 39–42.
- Szodfridt I. 1990: Hozzászólás: Major Pál és Neppel Ferenc: A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedése című cikkéhez. (Megjelent a Vízügyi Közlemények 1988. évi 4. füzetének 605–626. oldalán.) Vízügyi Közlemények, 72 (3): 287–291.
- Szodfridt I. 1993: Az erdő és a talajvizek kapcsolata Duna–Tisza közti hátságon. Hidrológia Közöny, 73 (1): 44–45.
- Szodfridt I. 1994: Az erdők és a talajvíz kapcsolata a Duna–Tisza közti homokhátságon. In: Pálfai I. (ed): A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái. A Nagyalföld alapítvány kötet 3, Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, 59–66.
- Vámos T. és Keveiné Bárány I. 2009: Az élőhelyek és a talajvíz összefüggése a Pusztaszeri Tájvédelmi Körzetben. Tájökológiai lapok, 7 (1): 103–115.
- Zagyvainé Kiss K. A. 2013: Az erdei avar tömege és víztartó képessége közötti összefüggés. Erdészettudományi Közlemények, 3 (1): 79–89.

*Érkezett: 2013. április 2.*

*Közlésre elfogadva: 2014. október 6.*



## Erdőtűz Új-Mexikóban

A klímaváltozás sokrétű hatásai különösen eklatánsan jelentkeznek a zárt erdők szárazsági (alsó, visszaszoruló) határán. Szélsőséges időjárási helyzetekben a látszólag csekély változások is szinte apokaliptikus következményekhez vezethetnek. Új-Mexikó északi részén, a Jemez hegységben, a felhalmozódott száraz erdei hulladék és a szélsőséges időjárás miatt 2011 júniusában tört ki erdőtűz. A Las Conchas tűz első napján készült felvételen a horizontális légörvényben gomolygó füstfelhő látszik (felső kép). A több mint 2 hétig tomboló erdőtűz összesen 61 ezer hektárnyi elegyes duglász- és kolorádófenyő állományt pusztított el (alsó kép).

**Fotó: Craig D. Allen** (U.S. Geological Survey)

**Szöveg: Mátyás Csaba** (NYME EMK, Sopron)

# SZÁRAZODÓ HOMOKI TERMŐHELYEN ÁLLÓ IDŐS FÁK GYÖKÉRZETÉNEK VIZSGÁLATA

Csiha Imre és Keserű Zsolt

NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Ültetvényszerű Fatermesztési Osztály

## Kivonat

Homoki erdőssztyepp tölgyeseink napjainkban csapadékban szegény, kedvezőtlen vízgazdálkodású, s a növényzet számára nehezen elérhető mélységben elhelyezkedő talajvízű területeken helyezkednek el. A vizsgálatba vont területen, annak ellenére, hogy az idős, zömében kocsányos tölgy főfafajú erdőtársulásokban számos jó növekedésű egyed található, az állomány felújítása néha megoldhatatlan nehézségekbe ütközik. Az erdőfelújításokban a telepített csemeték, vagy az elvetett magokból fejlődő újulat növekedése gyenge, egészségi állapota rossz, néhány év senyvedés után az állomány kiritkul, és a területet invazív gyomok veszik birtokukba. Az anyaállomány és a felújítás fejlődése közötti ellentmondás okának megismerése érdekében gyökérfeltárásokat végeztünk. Három fafaj, a kocsányos tölgy (*Quercus robur*), a fehér nyár (*Populus alba*) és magas kőris (*Fraxinus excelsior*) feltárt gyökérrendszere azt mutatja, hogy a vizsgált területen a ma tapasztalható idős állománykép nem a felszínen található száraz homoki termőhelyi adottságokra alapozva alakult ki, hanem a korábban magasabban elhelyezkedő talajvízszintnek, valamint az eltemetett réti talaj kedvezőbb tulajdonságainak köszönhető.

*Kulcsszavak:* gyökérfeltárás, homoki termőhely, fehér nyár, kocsányos tölgy

## INVESTIGATION OF ROOTING ZONE OF FOREST ASSOCIATION GROWING UNDER DRYING SANDY SITE CONDITIONS

### Abstract

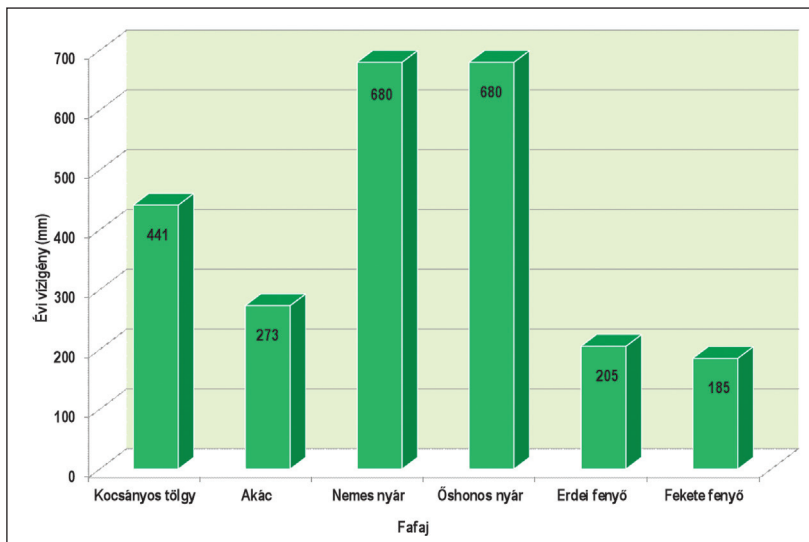
Today the Hungarian forest-steppe oak stands are grown mainly on unfavourable sandy sites. On these areas both the precipitation distribution and the water regime are unfavourable and the groundwater is in inaccessible depth for stands. In spite of that a lot of old high quality stem can be found in the investigated forest associations according to our experience the associations' regenerations sometimes encounter insolvable difficulties. In spite of that the rate of growth of the present stand relates to sufficient water quantity the growing of the planted seedlings and sowings is slow in the different forest regenerations. The state of health of the regrowth is bad, the stand becomes thinner and invasive weeds occupy on the area after a few years. We carried out root excavations to find out the reason of the different growth pattern between the regrowth and the original stand. On the area the investigated root systems of the three tree species – pedunculate oak (*Quercus robur*), white poplar (*Populus alba*) and common ash (*Fraxinus excelsior*) – show that the present old stand didn't evolve by means of dry sandy site but it developed due to the effect of the covered meadow soil.

*Keywords:* root excavation, sandy site, lowland oak stands

## BEVEZETÉS

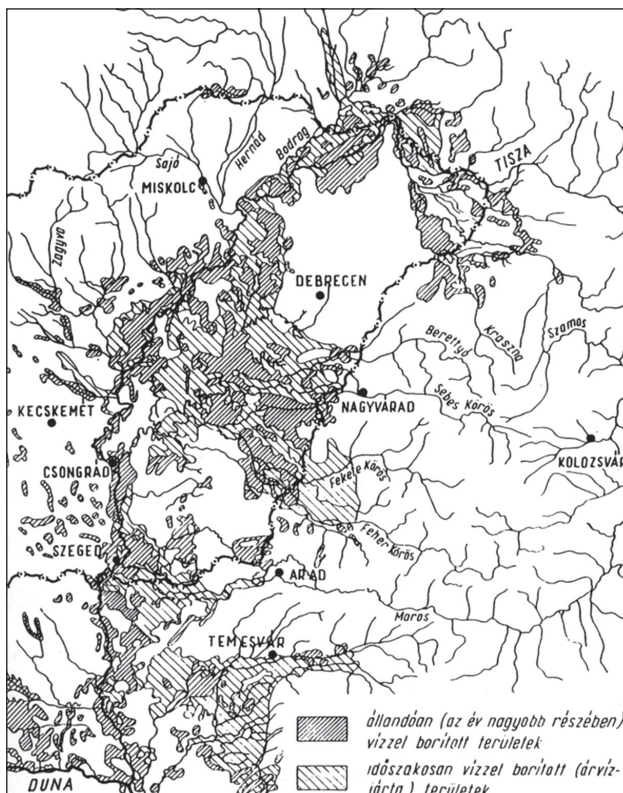
Napjainkban és a belátható jövőben is a meglévő és a telepítendő erdőterületeink sorsát, de főként az erdőgazdálkodás eredményességét, elsősorban a faállományok rendelkezésére álló víz mennyisége, időbeli eloszlása, és hozzáférhetősége határozza meg. A Tisza szabályozásával az alföldi területek vízrajza jelentős változáson ment keresztül (2. ábra). Nemcsak az állandó, hanem az időszakosan árvízzel elöntött területek nagy része is szinte teljesen eltűnt az Alföldről. Ennek ellenére Führer és Járó (1997) feldolgozása szerint az ártéri természetserű erők területe a vízrendezések előtti állapothoz képest nem változott, hanem csak áthelyeződött. Amíg a Tisza gyertyános-tölgyes klímájú szakaszán pl. csökkent a kocsányos tölgyesek területe, addig a Tisza erdőssztyep klímájú árterén növekedett. A hatvanas évektől viszont a nemes nyár állományok területe is jelentősen változott (növekedett). Ennek köszönhető, hogy összességében a Tisza árterén az erők területe a XIX. század végi állapothoz képest mára megduplázódott.

A folyamszabályozás természet átalakító munkájának máig ható, a környezetet hátrányosan érintő kedvezőtlen velejárója a korábban évről évre visszatérő időszakos felszíni vízborítás elmaradása. Ez nemcsak a növénytársulások számára nélkülözhetetlen többlet vízforrást szüntette meg a kontinentális időjárású alföldi területeinken, hanem a talajfejlődés folyamatát is befolyásolta. A Tisza szabályozásának, valamint a klímaváltozásnak a csapadék mennyiségére, eloszlására gyakorolt kedvezőtlen hatásának következtében az Alföldön természetfajok vízigényének biztosítása ma már bizonytalan, az erdőtársulások természetes úton történő felújíthatósága is egyre inkább nehezebbé válik. Az Alföldön elterjedtebb fafajok közül a csapadék általában csak az akác és a fenyők számára nyújt elegendő vízforrást (1. ábra, Járó 1981). A klímaváltozással kapcsolatos magyarországi kutatási eredmények a kedvezőtlen klimatikus hatások erősödését, így a csapadék mennyiségének, időbeli eloszlásának kedvezőtlen változását, valamint az egyre hosszabb idejű aszályos időszakok gyakoriságának növekedését vetítik előre (Gálos és mtsai 2007, 2009; Bartholy és mtsai 2010; Pieczka és mtsai 2011). Mindezek erdőgazdálkodásra gyakorolt negatív hatásai miatt az 1990-es évek közepétől az erdészeti kutatás homlokterébe került az erdő és a klíma közötti összefüggések mélyebb feltárása és a kapott eredmények gyakorlati hasznosítása (Szodfridt 1972; Führer és Mátyás 2005; Somogyi 2009; Führer 2010; Mátyás 2010; Mátyás és Gálos 2010; Führer és mtsai 2011a, 2011b, 2012; Gálos és mtsai 2012).



1. ábra: Alföldi fafajok évi vízigénye (Járó, 1981 nyomán)

Figure 1: Annual water demand of lowland tree species (by Járó, 1981)



2. ábra: A Tisza-völgy vízrajzi képe a szabályozás előtt (Vízrajzi Intézet, 1936 nyomán)

Figure 2: The hydrographical picture of the Tisza-valley before the river control (by Hydrography Institute, 1936)

Alföldünk egyes részein, kiemelten a kedvezőtlen vízgazdálkodású homoki területeken, napjaink erdőművelése azzal a feloldhatatlan kettősséggel találja magát szemben, hogy a megváltozott ökológiai adottságok (klíma, hidrológia) miatt a jó növekedésű, de kiöregedő állományok helyébe szinte lehetetlen a megelőző állomány minőségét utoléró erdőfelújítást végezni. E probléma jellemzi különösen a Duna–Tisza közti száraz homokhátat, de tapasztalható a hajdúsági, nyírségi homoki termőhelyeken vagy például a debreceni Nagyerdőben is. Annak érdekében, hogy a probléma megoldásához hozzájáruljunk és az ismert okok érvényesülését tisztázzuk, gyökérvizsgálatokat végeztünk néhány, kedvezőtlen homoki termőhelyen álló időskorú faegyednél.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A gyökérfeltárás nem ismeretlen sem a hazai, sem a nemzetközi kutatásban, bár igen nagy élőmunka igénye miatt meglehetősen ritkán alkalmazzák. A témával kapcsolatos hazai szakirodalomból kiemelt említést érdemel Magyar (1929), Majer (1958, 1961) és Tóth (1972) munkássága. Napjaink irodalmi anyagából Kárász (1984, 1986), Führer és Jagodics (2007), valamint Führer és mtsai (2011c) tevékenységét kell megemlíteni, akik a közelmúltban több társulásban, eltérő fajfajokkal és eltérő termőhelyeken alkalmazták ezt a módszert.

Három, technikájában eltérő feltárási módszert különíthetünk el (Köstler és mtsai 1968; Nicoll és Ray 1996; Watson és mtsai 1996; Csiha és Keserű 2003).





### 1) Vázis gyökérfeltárásos eljárás:

Az eljárás lényege, hogy a gyökérrendszer egészénél, vagy meghatározott részénél a talajt finom kézi módszerekkel eltávolítjuk. A felszínre kerülő gyökerek elhelyezkedését, mennyiségét, minőségét elsősorban vizuálisan értékeljük, majd esetleg mennyiségileg is feldolgozzuk. E módszerrel készült vizsgálatokról elsősorban Tóth (1972) és Kárász (1984, 1986) munkáiból értesülhettünk.

Az eljárás előnyének tekinthető, hogy részletes és pontos jól elkülöníthető képet kapunk az egyes fa és cserjefajok, valamint a légyszárú növénytakaró gyökérrendszerének térbeli vertikális és horizontális elhelyezkedéséről.

Az eljárás hátrányának tekinthető, hogy nehezen gépesíthető, igen sok precíz terepi munkát feltételez. A gyökérzet elhelyezkedésének dokumentálása nehézkes, bár megfelelő műszerezettséggel megoldható.

### 2) Monolitos gyökérfeltárásos eljárás:

Az eljárás lényege, hogy a kiválasztott fa vagy fák gyökereit talajjal együtt – általában 1 dm<sup>3</sup> – es monolitokkal kiemeljük, laboratóriumban a talajtól elválasztjuk, a gyökereket méret szerint szétválogatjuk, mennyiségüket lemérjük.

Az eljárás módszertana napjainkban elsősorban Führer munkáiból ismerhető meg (Führer és mtsai 2011c). Az eljárás előnyének tekinthető, hogy egzakt mérési eredményeket ad a gyökerek szintenkénti és szintek közötti elhelyezkedéséről, egyben lehetőséget ad a gyökérrendszer részletes kémiai elemzésére is. A mintavétel hibahatárainak figyelembe vétele mellett pontos képet ad a terület talajfelszín alatti gyökérmennyiségének becsléséhez.

Az eljárás hátrányának tekinthető, hogy megbízhatósága döntően függ a mintafák megfelelő – átlagot közelítő – kiválasztásától, továbbá jelentős terepi és laboratóriumi munkát igényel. A monolitok száma esetenként megközelítheti az ezres nagyságrendet. A talaj tulajdonságaitól függően a gyökerek elválasztása jelentős nehézségbe ütközhet, a gyökerek szétválogatása, szárítása, mérése és elemzése nagy munka és időráfordítást követel. Az erdőtalajban található különböző fa és cserjefajok valamint légyszárú növények gyökereinek szétválogatása bizonytalan.

### 3) Mintavételes gyökérfeltárásos eljárás:

Elsősorban a nyugati szakirodalomban találkozhatunk vele. Lényege, hogy a területen statisztikai mintavételi szabályokat figyelembevevő teljes területet beborító mintavételi rácsponatok mentén végzett fúrásokból nyert magmintákat talaj-szintenként elemzünk.

Az eljárás előnyének tekinthető, hogy statisztikai elemzéseket lehetővé tevő és teljes területre viszonylag nagy biztonsággal interpolálható eredményeket kapunk, aránylag kis terepi ráfordítás mellett.

Az eljárás hátrányának tekinthető, hogy magában nem ad lehetőséget vizuális értékelésre, laboratóriumi munkái az igen nagy mintaszám miatt esetenként meghaladhatja a monolitos feltárás igényét. A szükséges mintavételezés költséges és jelenleg nem áll rendelkezésre, hazai tapasztalatok az eljárással kapcsolatosan nincsenek.

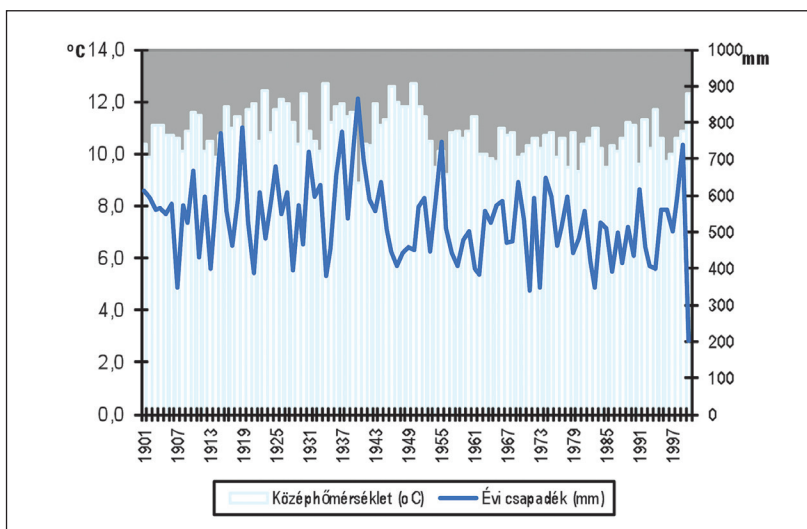
A módszer elterjedése a közeljövőben a technikai részletek megoldásával várható.

## A KÍSÉRLETI TERÜLETEK ISMERTETÉSE

Jelen munkánkban az ásoshtalmi Bedő Albert Középiscola, Erdészeti Szakiskola és Kollégium tanterdejében elvégzett gyökérfeltárások tapasztalatait ismertetjük. A szakiskola tanerdeje a Duna–Tisza köze erdőgazdasági táj délkeleti tájrészletében található, területe 441 hektár (Andrésiné 2006).

Az erdészeti táj klímája kontinentális, országosan az egyik legcsapadékszegényebb terület (500–550 mm). A területre jellemző kontinentális vonás a nagy hőmérsékleti ingadozás. A hideg tél és a forró nyár mellett a napi ingadozás is igen jelentős. Az erdő számára alapvető jelentőséggel bír a csapadék-, a légnedvesség és a hőmérsékleti viszonyok alakulása (Danszky és mtsai 1963).

Az évi átlag csapadékot tekintve az erdészeti táj déli, Baja környéki része a legcsapadékosabb (600–650 mm). A legszárazabb területek az erdészeti táj északkeleti, ill. középső részén találhatóak (500–550 mm). Július hónapban a 14 órás páratartalom gyakran 50% alatti (44–46%), ilyenkor a legszárazabb a levegő. Az évi átlagos hőmérséklet 10–10,5 °C (3. ábra).



3. ábra: A kísérleti terület átlagos hőmérséklet és csapadék adatai (Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)  
 Figure 3: Mean temperature and precipitation data of the experimental area (by Hungarian Meteorological Service)

1. táblázat: Ásotthalom átlagos csapadékmennyiségének alakulása két különböző időszakban  
 Table 1: Mean amount of precipitation during two different periods in Ásotthalom

Hónap	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Tenyészidőszaki összeg	Évi összeg
Csapadék (mm) 1931–1960	34	37	35	45	62	73	48	45	52	52	63	41	325	587
Csapadék (mm) 1981–2000	27	30	29	45	50	60	61	45	44	42	44	46	305	523

Az 1. táblázat jól mutatja, hogy az 1981–2000 között mért csapadékösszegek alacsonyabbak a korábbi időszakban mért értékeknél (1931–1960). A tenyészidőszaki csapadékösszeget tekintve a csökkenés 6%-os, míg az évi összeget figyelembe véve a különbség már a 10%-os csökkenést is meghaladja (11%). A csapadékösszeg csökkenő tendenciája a csökkenő talajvízszinttel társulva igen komoly gondokat okoz az erdőfelújítások, erdőtelepítések során (Führer és Járó 2000; Andrišiné 2006).

Azt a tényt, hogy alföldi területeink egyre szárazabbá válnak, a szakiskola talajvízkútjainak adatai is alátámasztják (4. ábra). A talajvízszint mélysége az 50-es évektől a 70-es évek végéig állandónak tekinthető, átlagban 3,5 m mélységben váltakozott le és föl az egyes évektől függően. Majd ezt követően meredeken süllyedt, és mára mélysége megközelíti az 5 m-t (Az ábrán az értékek a talajvízkút peremétől mért vízszintet jelölik).

A területen három faj, a kocsányos tölgy (*Quercus robur* (Linné, 1758)), a magas kőris (*Fraxinus excelsior* (Linné, 1758)), valamint a fehér nyár (*Populus alba* (Linné, 1758)) gyökérrendszerét vizsgáltuk. A faegyedek két erdőrészletben találhatóak, környezetükhöz képes kiemelkedő növekedésűek, szociológiai helyzetük a faállományban uralkodó volt.

A törzs kidöntésekor a fehér nyár 87 éves volt, magassága 38,2 m, míg a mellmagassági átmérője 78,4 cm volt. A kocsányos tölgy a törzs döntésekor 104 éves volt, a magassága 38 m, míg az átmérője 104 cm volt. A magas kőris adatai a törzs döntésekor: kora 104 év, magassága 37 m, átmérője 71 cm.

A fehér nyárnak van a legnagyobb erdőgazdasági jelentősége az őshonos nyárák közül. Gyors növekedésű, a termőhellyel szemben igénytelenebb faj. A térség erdőgazdálkodásában betöltött jelentős szerepét sokoldalú felhasználhatósága is elősegítette. A Duna–Tisza közti homokháton található a fehérynárasok 80%-a. A kocsányos tölgy a sík és az alacsonyabb dombvidékek fajtája. A kocsányos tölgy a tanulmányi erdő valamennyi erdőrészletében egyenesen fordul elő. A leggyakoribb elegy fajták a fekete dió és a fehér nyár.

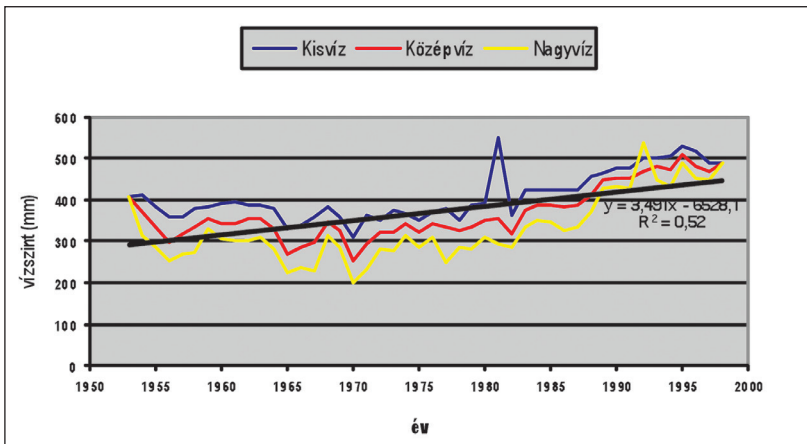
A megváltozott hidrológiai viszonyok következtében a térségben a természetes kocsányos tölgy állományok ma már egyre kisebb területen tenyésznek. A magas kőris Európában hatalmas elterjedésű faj, sík- és dombvidékeken elsősorban a vízfolyások mentén tenyészik. A tanulmányi erdőben főként elszórtan, kisebb csoportokban fordul elő.

A fehér nyár gyökérfeltárása az Ásotthalom 308E erdőrészletben, míg a kocsányos tölgy és a magas kőris gyökérrendszerének vizsgálata az Ásotthalom 306C erdőrészletben történt. Az erdőrészletek termőhelytípus-változatai az alábbiak:

- Ásotthalom 308E erdőrészlet: ESZTY-TVFLEN-HHK-KMÉ-H
- Ásotthalom 306C erdőrészlet: ESZTY-TVFLEN-HHK-MÉLY-H

A nyár esetén, egy géppel megnyitott feltáró gödörből indulva kézi módszerrel, a gyökérrendszer 25%-ának, a kőris és a tölgy esetében pedig vízszaggal a gyökérrendszer közel 50%-ának feltárása történt meg. A felvételi módszer a bevezetőben röviden ismertetett vázas feltárás volt.

A választott módszer mellett szólt a laza homokos szerkezet, mely lehetővé tette a gyökereknek a talajtól való viszonylag könnyű elválasztását.



4. ábra: Talajvízszint süllyedés az ásotthalmi szakiskola talajvízkútjának 1953-1998 között mért adatai alapján (a szakiskola adatai nyomán)

Figure 4: Groundwater table falling on the basis of data measured 1953-1998 in the watertable well of vocational school in Ásotthalom (by data of the vocational school)

## EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

### Fehér nyár (*P. alba*) gyökérfeltárásának tapasztalatai Ásotthalom 308 E (2001).

A kiválasztott faegyed egy ligeteseződő erdőrészlet egyik kiemelkedő, jó növekedésű törzse volt. A feltárás során az egyed gyökérrendszerének egy negyedét bontottuk ki kézi feltárással ügyelve a váz és vékony gyökérrendszer épségére. A munka során kibontott négy tartógyökér a törzstől eltávolodva hirtelen derékszögben meghajolva a mélybe tört és oldal-, vagy mellégyökér-képzés nélkül hatoltak le a száraz, egyöntetű lepelhomok rétegen keresztül 3 méteres mélységbe, – itt egy letemetett sötét színű, nyirkos réti talajrétegben elágazódtak számtalan vékony gyökérré (5. ábra). A négy feltárt gyökérből három közepes méretű gyökér egy „kürtőben” összefutva, míg a negyedik igen vastag gyökér magányosan, de szintén derékszögben törve haladt a mélybe. A feltárt gyökérrendszerből csak egy olyan vastag gyökér volt, amely a felszínnel párhuzamosan a száraz homokréteg felszíne alatt futott. Ez viszont a tőtől több mint húsz méterrel olyan vékony gyökerekre bomlott szét, amelyeket már nem lehetett nyomon követni.



5. ábra: Fehér nyár (*P. alba*) feltárt gyökérrendszere  
 Figure 5: Excavated root system of white poplar (*P. alba*)

Ez a feltárás megmutatta, hogy az idősebb faegyedek miatt ma látható kedvező állománykép nem a felszínen és annak közvetlen közelében található száraz homoktalajnak, hanem a mélyben eltemetett, valamikor jó vízellátottságú és tápanyagokban gazdag réti talajnak köszönhető. Az idős állománynak a korábban jobb vízellátottságú lepel homoktalajon keresztül, volt módja eljutni e kedvező talajrétegig. Napjaink száraz periódusában azonban, amikor a talajvízszint is mélyen a termőréteg alatt húzódik, a frissen telepített fiatal cseméteknek, vagy magvetésnek kevés, esetenként semmi esélye nincs ma már ennek a kedvező talajrétegnek az elérésére.

A gyökereknek derékszögű lefelé fordulása másrészt azt valószínűsíti, hogy valamikor ezekben a kürtőkben a gyökerek számára különösen kedvező körülmények voltak jellemzőek. Napjainkban sajnos nincs mód ezen ökológiai adottságok beazonosítására, de a jelenség rámutat az állati járatok és az elkorhadó régi gyökerek mentén kialakuló kedvező talajtani körülmények meghatározó jelentőségére.

A további felújításoknál mindenképpen érdemes lesz – fajtától függően – ennek a jelenségnek a figyelembevételére mély vagy mélyített ültetés, esetenként csúcsrügyes karódugvány alkalmazásával.

## Kocsányos tölgy (*Q. robur*) és magas kőris (*F. excelsior*) gyökérfeltárásának tapasztalatai Ásotthalom 306 C (2001).

Egy kocsányos tölgy és egy magas kőris törzs, egy keményfás erdőátulásban, egymás szomszédságban lett kijelölve. A cél annak megismerése volt, hogy a két faj gyökérrendszere milyen hasonlóságot, vagy eltérést mutat egymáshoz képest. A feltáró gödör megnyitását az egyedektől 5 méter távolságban markolóval kezdtük meg, majd az itt két és fél méter mélységben előkerült letemetett réteg elérése után a törzsek felé haladva vízszaggárral mostuk ki a gyökereket. Ezzel a módszerrel el kívántuk kerülni a módszer azon hibáját, hogy a vékony gyökereket elvágjuk, és így nem kerülhetnek ezek vizsgálatra. A módszer segítségével jól elválasztható volt a tölgy és a kőris gyökérrendszere, és egy távolabbról a vizsgálati területre behatoló fekete dió (*Juglans nigra* (Linné, 1758)) gyökere is (6. ábra).



6. ábra: Kocsányos tölgy (*Q. robur*) és magas kőris (*F. excelsior*) gyökérrendszere  
Figure 6: Root system of pedunculate oak (*Q. robur*) and common ash (*F. excelsior*)

Bár itt is tapasztalható volt a gyökereknek a réti talaj felé irányuló növekedése, mégis a felszín közelében kialakult egy sűrű, tömött, vékony gyökerekből álló zárt gyökérszóna. Jól elkülöníthető volt a felszín közelében a lágyszárú növények gyökértömege is. A mélybe „jégcsapszerűen”, függőlegesen lefelé hatoló gyökerek tömegét találtuk mindkét fajnál. A tölgnél viszonylag jól követhető főgyökér mellett a kőrisnél ezt helyettesítve, a gyökerek a letemetett réteget elérve számos vékony ágra bomlottak. A száraz homok rétegben azonban a felszíni 20-25 cm-es réteg kivételével nem volt gyökérelágazódás.



A gyökérvizsgálatok eredményeiből az alábbi, erdőgazdálkodást is érintő következtetések tehetők:

1. A területen feltárt három fajfaj gyökérrendszere azt mutatja, hogy a vizsgált területen a ma tapasztalható állománykép nem a helyenként 2,5-3 méteres vastagságú száraz homok rétegnek, hanem a korábbi, valószínűleg a nedvesebb periódusban mélybe kerülő kedvező szerkezetű, jó tápanyag-és vízellátottságú eltemetett szintnek köszönhető.
2. A közeljövőben fontos erdészeti feladat lesz az, hogy megfelelő erdőművelési eljárásokkal, különböző meliorációs eljárásokkal növelhető legyen a homok vízmegtartó képessége, ezzel elősegítve a fiatal állomány gyökérrendszerének mihamarabbi mélybe jutását. Egyéb módszerekkel, azaz mély vagy mélyített ültetéssel, talajjavító anyagok felhasználásával, esetleg talajárnyalással javítani szükséges a kiültetett csemetek életlehetőségeit addig a korig, míg a csemetek gyökereikkel elérik a mélyebben elhelyezkedő kedvezőbb talajszinteket. Annak kidolgozása azonban, hogy a nyárnál tapasztalt, a gyökereket mélybe vezető „kürtök” mesterséges kialakítása milyen eljárással végezhető, további vizsgálatokat igényel.
3. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a bemutatott termőhelyeken az eddig hagyományosan alkalmazott erdőfelújítási módszereknél mindenképpen nagyobb figyelmet és költségeket igénylő eljárásokra lesz szükség.
4. Fafajtól függően keresni kell a sarjaztatásos felújítási mód lehetőségeit.
5. Meg kell próbálni elősegíteni, hogy a területen letermelt idős állomány kiszedetlenül meghagyott tuskóinak elkorhadó gyökerei mentén a fiatal állomány gyökerei – a nyárnál látott módon – minél előbb a mélybe hatoljanak. Ehhez azonban meg kell gyorsítani a tuskók és gyökérrendszerük bomlását, valamint ajánlatos lenne kiugró fejlettségű, mikorrhizált csemetek alkalmazása is.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Alföldünk egyes területein – kiemelten a kedvezőtlen vízgazdálkodású homoki területeken – napjaink erdőművelése azzal a feloldhatatlan kettősséggel találja magát szemben, hogy az elmúlt évtizedekben jó növekedés mutatott, de mára kiöregedő állományok helyébe szinte lehetetlen a megelőző állomány minőségét utolérő erdőfelújítást elvégezni. E probléma jellemzi különösen a Duna–Tisza közti száraz homokhátság, de tapasztalható a Hajdúsági, Nyírségi homoki termőhelyeken vagy a debreceni Nagyerdő erdőfelújításaiban is.

Munkánk során egymástól független két területen kezdtünk vizsgálatokat: egy Debrecen közeli nemesnyár kísérletben és az ásothalmi Tanulmányi erdő területén.

Jelen munkánkban elsősorban az ásothalmi tapasztalatokat összegeztük, de szeretnénk jelezni, hogy tapasztalataink a két területen fő vonalaiban egybevágóak voltak.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Bedő Albert Középiskola, Erdészeti Szakiskola és Kollégium vezetésének és valamennyi munkatársának a terepi munkák során nyújtott segítségükért. Továbbá köszönet jár Dr. Führer Ernő és Dr. Tóth Béla hasznos szakmai tanácsaiért. Ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Andrésiné Ambrus I. 2006: A Tanulmányi erdő ökológiai viszonyai. In: Andrési P. (ed): Az ásothalmi Tanulmányi erdő. Bedő Albert Középiskola, Erdészeti Szakiskola és Kollégium. Ásothalom. 63–77.
- Bartholy J.; Pongrácz R. és Torma Cs. 2010: A Kárpát-medencében 2021–2050-re várható regionális éghajlatváltozás RegCM-szimulációk alapján. „KLÍMA-21” Füzetek, 60: 3–13.
- Csiha I. és Keserű Zs. 2003: Gyökérfeltárások tapasztalatai száraz, homoki termőhelyeken. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap kiadványa, Kecskemét, 56–63.
- Danszky I. (ed) 1963: VI. Nagyalföld erdőgazdasági Tájcsoport. Országos Erdészeti Főigazgatóság. Budapest.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek, 61: 98–107.
- Führer E. és Jagodics A. 2007: A klímaternyező és a klímajelző fajok szervesanyag-képzése közötti ökológiai összefüggés. In: Mátyás Cs, Vig P. (eds): Erdő és Klíma V. Sopron, Nyugat-magyarországi Egyetem, 269–280.
- Führer E. és Járó Z. 1997: A Tisza ártéri erdőinek változása. Erdészeti Kutatások, 86–87: 11–31.
- Führer E. és Járó Z. 2000: Az aszály és a belvíz érvényesülése a Nagyalföld erdőművelésében I. Erdészeti Tudományos Intézet Kiadványai, 12: 144 pp.
- Führer E. és Mátyás Cs. 2005: A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. Magyar Tudomány, 166 (7): 837–841.
- Führer, E.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Machon, A. and Szabados, I. 2011a: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*, 115 (3): 205–216.
- Führer E.; Marosi Gy.; Jagodics A. és Juhász I. 2011b: A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. *Erdészettudományi Közlemények*, 1: 17–28.
- Führer E.; Czupy Gy.; Kocsisné Antal J. és Jagodics A. 2011c: Gyökérvizsgálatok bükkös, gyertyános-kocsányos tölgyes és cseres faállományban. *Agrokémia és Talajtan*, 60 (1): 103–118.
- Führer E.; Horváth L.; Jagodics A.; Juhász I.; Kolozs L.; Marosi Gy.; Móringer A. és Szabados I. 2012: A klímaváltozás hatása az akácok fatermőképességére és árbevételére a Nagyalföldön. In: Csiha I. (ed): AEE Kutatói Nap, Tudományos eredmények a gyakorlatban. 9–13.
- Gálos B.; Mátyás Cs. és Jacob D. 2012: Az erdőtelepítés szerepe a klímaváltozás hatásának mérséklésében. *Erdészettudományi Közlemények*, 2 (1): 35–45.
- 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)
- Gálos B.; Lorenz Ph. és Jacob D. 2009: Szélsőségesebbé válnak száraz nyaraink a 21. században? „KLÍMA-21” Füzetek 57: 56–63.
- Járó Z. 1981: A hazai erdők vízfogyasztása. *Agrártudományi közlemények*, 40: 353–356.
- Kárász I. 1984: Az *Acer campestre* L. gyökérrendszerének szerkezete a síkfőkúti cseres-tölgyesben. *Botanikai közlemények*, 71: 79–100.
- Kárász I. 1986: Gyökérvizsgálatok Magyarországon. *Botanikai közlemények*, 73: 19–23.
- Köstler, J.N.; Brückner, E. und Biebelriether, H. 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Magyar P. 1929: Gyökérvizsgálatok csemetekerti és szikes talajban. *Erdészeti Kísérletek*, 2.
- Majer A. 1958: Bükk erdőtípusok gyökérszintvizsgálata. *Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Osztályának Közleményei*, 14: 117–134.
- Majer A. 1961: Gyökérosszenővessék előfordulása és jelentősége. *Erdészeti Kutatások*, 57(1–3): 165–186
- Mátyás Cs. 2010: Forecasts needed for retreating forests. *Nature*, 464 (7293): 1271.
- Mátyás Cs. és Gálos B. 2010: Erdőgazdálkodás és klimatikus szélsőségek: problémák és feladatok. „KLÍMA-21” Füzetek, 63: 25–32.
- Nicoll, B.C. and Ray, D. 1996: Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiology*, 16: 899–904.
- Piecza, I.; Pongrácz, R. and Bartholy, J. 2011: Comparison of simulated trends of regional climate change in the Carpathian Basin for the 21st century using three different emission scenarios. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 7: 9–22
- Somogyi Z. 2009: A klíma, a klímaváltozás és a fanövekedés néhány összefüggése. „KLÍMA-21” Füzetek, 56: 48–56.
- Szodfridt I. 1972: Vízgazdálkodási vizsgálatok néhány jellemző homoki termőhelyen. *Erdészeti Kutatások*, 68 (1): 51–62.
- Tóth B. (ed) 1972: Szikesek fásítása. Szikes fásítási kutatás és gyakorlat Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Watson, G.W.; Kelsey, P.K. and Woodtill, K. 1996: Replacing Soil in the Root Zone of Mature Trees for Better Growth. *Journal of Arboriculture*, 22:167–173.

Érkezett: 2013. március 27.

Közlésre elfogadva: 2014. október 6.

## ZALA MEGYE CSAPADÉK- ÉS HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAI

Manninger Miklós<sup>1</sup> és Pödör Zoltán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Erdőművelési és Ökológiai Osztály

<sup>2</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

### Kivonat

A klímaváltozás Zala megyére vonatkozó lehetséges következményeinek felméréséhez nélkülözhetetlen a csapadék és a hőmérséklet térségre vonatkozó jellemzőinek megismerése. Ennek érdekében vizsgáltuk Nagykanizsa és Zalaegerszeg 1901-től 2013-ig terjedő és vízforgalmi időszakok szerint csoportosított csapadékadatainak időbeli eloszlását, az időszaki változások trendjét, illetve kimutattuk az adatsorokban lévő töréspontokat. Az elemzéseket Nagykanizsa 1972-től kezdődő hőmérsékleti adataira is elvégeztük. Az eredmények szerint az időszaki csapadékösszegek változatossága jelentős (a CV 30% körüli), míg a hőmérsékletre vonatkozóan – a tárolási időszak kivételével – a CV értékek (5–7%) alacsonyabbak. Időszaktól és mérőhelytől függően a csapadéokra elsősorban a csökkenő trend jellemző, míg a hőmérséklet esetében a növekedés a meghatározó. A csapadék adatsorok töréspontjai a mérőhelytől és az időszaktól függően többnyire különböző években (1941-től 2000-rel bezárólag) jelentkeznek, tehát a vizsgált térségben nem tekinthetők általános érvényűeknek. A rövidebb nagykanizsai hőmérsékleti adatsorban a közelmúlt éveiben (2007 és 2008) is kimutathatók töréspontok.

*Kulcsszavak:* Zala megye, csapadék és hőmérsékleti idősorok, csapadékeloszlás, töréspont-elemzés

## CHARACTERIZATION OF THE TEMPERATURE AND PRECIPITATION CONDITION OF ZALA COUNTY

### Abstract

Considering the possible impacts of the climate change we investigated the time series of precipitation ranging from 1901 to 2013 at Nagykanizsa and Zalaegerszeg in Zala county. Firstly we aggregated seasonal sums from the monthly data according to the periods of the water cycle in the forest (storage: Nov-Apr, main consumption: May-July, maintenance: Aug-Oct, hydrological year: Nov-Oct), then we studied the distributions and trends in time, and analysed the break points. We also carried out these analyses on the temperature data of Nagykanizsa (1972–2013). The results show great variety in the seasonal precipitation sums (CV is about 30%), while the CV of the seasonal mean of the temperature – except from the storage period – is smaller (5–7%). Depending on the station and the period, mostly a decreasing trend can be detected for precipitation and the seasonal means of the temperature are increasing significantly. Break points appear in the time series of the precipitation from 1941 till 2000, but they occur mostly in different years on the different stations, thus they are not valid for the whole region. In the time series of temperature there are break points in the recent past.

*Keywords:* Zala county, time series of temperature and precipitation, distribution of precipitation, break point analyses



## BEVEZETÉS

Az éghajlatváltozás lehetséges következményeinek értékeléséhez elengedhetetlenül szükséges a meteorológiai jellemzők természetének ismerete, mert a forgatókönyvek által prognosztizált változások csak ennek birtokában értelmezhetők.

Jelen tanulmány célja, hogy Zala megyére vonatkozóan bemutassa a meteorológiai jellemzők közül a forgatókönyvekben kiemelt jelentőséggel bíró csapadék és hőmérséklet időbeli és – közvetve – térbeli változottságát.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Az értékelésben felhasznált adatok

A térséget két város, a megye déli részében fekvő Nagykanizsa és az északi részben található Zalaegerszeg adatsoraival jellemezzük. A két mérőhely így, ha fenntartásokkal is, de alkalmas a megye hőmérsékleti és csapadékviszonyainak bemutatására.

A hosszú távú (1901–2013) csapadék idősorok az Országos Meteorológiai Szolgálatól (OMSZ) vásárolt napi és havi jelentésekre, a szabadon hozzáférhető vízrajzi évkönyvekre, illetve a csapadékatadatok a mérések kezdetétől 1970-ig tartalmazó OMSZ-kiadvány (Hajósy és mtsai 1975) havi adataira épülnek. Ez utóbbinál a szerzők által jelzett mérőeszközökkel összefüggő mérési hiba szerint az adatokat javítottuk. A főleg a világháborúk miatt maradt méréseknél a megadott és a környező állomások adataiból interpolált hiánypótlást elfogadtuk.

Hőmérsékleti adatok csak Nagykanizsára és rövidebb időszakra (1972–2013) álltak rendelkezésre, melyek forrásai szintén az OMSZ havi jelentései.

Az értékeléshez a havi adatokat az erdő életciklusához igazodó vízforgalmi időszakok szerint (Járó 1989) csoportosítottuk. Ennek megfelelően képeztük a tárolási időszak (novembertől áprilisig), a fő vízfelhasználási időszak (májustól júliusig), illetve a fenntartási időszak (augusztustól októberig), valamint a hidrológiai év (novembertől októberig) csapadékösszegeit, illetve hőmérsékleti átlagait.

A csapadékeloszlás vizsgálatok az összehasonlítás érdekében három időintervallumra osztottuk a teljes időskálát. Az alapot az 1901–2000. közötti 100 év képezi, és ezen belül vizsgáltuk a meteorológusok által referencia időszakként értelmezett 1961–1990. közötti éveket is (Mersich és mtsai 2001). Az utolsó tizenhárom évet (2001–2013) az eloszlás szempontjából különválasztottan értékeltük.

A zalaegerszegi mérőállomás adataihoz hozzá kell tenni, hogy az 1882-től működő telephely 1997-ben megszűnt és 2000-től Nagykutason indultak újra a mérések. A köztes időszakot Zalatárnok adataival pótoltuk ki. Az áthelyezés, illetve adatpótlás hatásának ellenőrzésére Zalatárnok 1930 és 2006 között rendelkezésre álló havi csapadékadatait szintén bevontuk az elemzésbe.

### Az értékelésben alkalmazott elemző eljárások

Az időbeli változottságot az előbbi fejezetben említett adatsorok összeállítása után statisztikai mutatókkal jellemeztük. A gyakorisági eloszlás, a hisztogram mellett a következő statisztikai mutatókat alkalmaztuk minden mérőhelyen: időszaki minimum, időszaki átlag, időszaki maximum és variációs együttható (CV), ami az adatok átlaghoz viszonyított szórása %-ban kifejezve. Szász és Tőkei (1997) szerint az utóbbi a csapadék változékonyságának egyik legmegfelelőbb statisztikai paramétere.

A csapadék esetében a teljes (1901–2013) és a referenciának tekintett (1961–1990) idősorokon trendelemzést végeztünk. Ugyancsak vizsgáltuk a hőmérséklet 1972 és 2013 közötti változását. Az eredménytáblázatokban a szignifikáns változásokat (\*\*: 95%-os, \*: 90%-os megbízhatósági szinten) megjelöltük.

Hosszú idősorok esetében fennáll annak a lehetősége, hogy az adatsor nem homogén, lehetnek benne ugrásszerű változások. Ezek vizsgálatára és kimutatására a statisztikában különböző módszerek ismertek (Molnár 2003; Molnár és Izsák 2011). Ezek közül vizsgálatunkban a részátlagok Student-féle  $t$ -próbával való összevetését alkalmaztuk, melynek lényege, hogy a rendelkezésre álló adatsort egy adott év mentén kettébontjuk, és  $t$ -próbával vizsgáljuk, hogy az így kapott két részidősor átlagai között kimutatható-e statisztikailag is igazolható, szignifikáns eltérés. A választópontokhoz (évekhez) tartozó  $t$ -értékek sorozatából az abszolút értelemben maximális mutatja azt az évet, amely mentén az idősort kettéválasztva a két részidősor átlaga között maximális az eltérés. Amennyiben ez az eltérés statisztikailag igazolhatóan szignifikáns is az adott megbízhatósági szinten, akkor mondhatjuk, hogy ez a választópont töréspont is egyben.

A töréspont-elemzés során alkalmazott részidősorok minimális hosszát úgy választottuk meg, hogy a meteorológiában referenciaként említett 30 éves idősortól kezdve a közelmúlt változásait is kimutatni képes, statisztikai szempontból még elegendő hosszúságú 5 éves idősorig terjedjenek. A lehetséges töréspontok szignifikanciáját 95%-os megbízhatósági szinten vizsgáltuk.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### Csapadék

#### A csapadék időbeli változatossága

#### Nagykanizsa

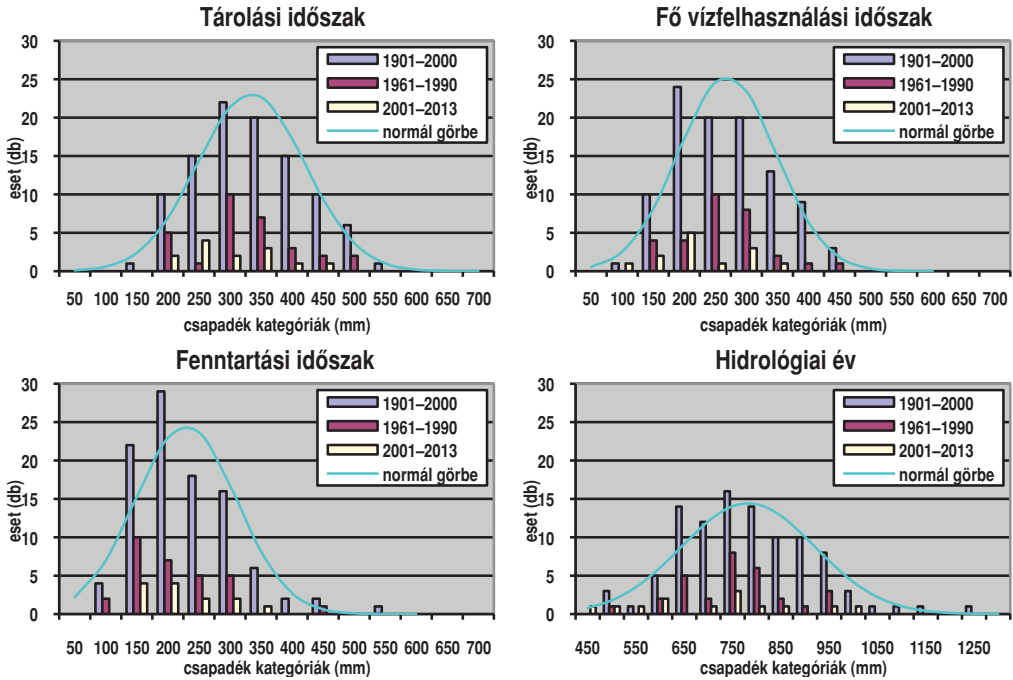
A csapadék időbeli változatosságát a gyakorisági eloszlással jellemeztük. Amint az 1. ábrán is jól látható, az időszaki csapadékösszegek széles határok között változnak. Ez azt mutatja, hogy a térség erdőállományainak sokféle időjárási körülményhez kell, kellett eddig is alkalmazkodnia.

A gyakorisági eloszlások a Kolmogorov-Smirnov próba alapján, 95%-os megbízhatósággal, a három időintervallumban (1901–2000, 1961–1990 és 2001–2013) nem különböznek. Az ábrákon a normál görbe mindig a leghosszabb időintervallumra vonatkozik.

1. táblázat: A csapadékviszonyok jellemzői Nagykanizsán (mm)  
Table 1: Statistical characteristics of the precipitation at Nagykanizsa (in mm)

Időszak		1901–2000	1961–1990	2001–2013	Időszak		1901–2000	1961–1990	2001–2013
Tárolás (XI–IV. hónap)	átlag	309	303	281	Fenntartás (VIII–X. hónap)	átlag	204	185	203
	min	122	156	162		min	58	85	134
	max	517	481	443		max	504	413	339
	CV (%)	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>		CV (%)	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>32</b>
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	átlag	244	239	203	Hidrologiai év (XI–X. hónap)	átlag	757	727	687
	min	97	112	51		min	454	479	435
	max	449	449	316		max	1218	944	971
	CV (%)	<b>32</b>	<b>31</b>	<b>36</b>		CV (%)	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>24</b>



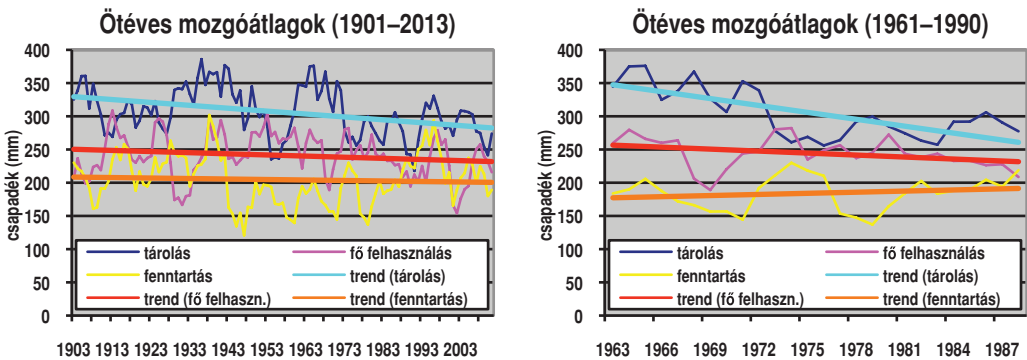


1. ábra: A csapadék időszaki eloszlása Nagykanizsán

Figure 1: Seasonal distribution of the precipitation at Nagykanizsa

A 1. táblázatban összefoglaltuk az időintervallumok legfontosabb jellemzőit. A szórás jelentős: a CV az egyes vízforgalmi időszakokban 28–40%, míg a hidrologiai év esetében 15–24%. Az időszak maximumok többszöröse az időszak minimumoknak.

A hosszú adatsorok lehetővé teszik az időbeli trendek vizsgálatát is. A görbék simítása érdekében a vízforgalmi időszakokra kiszámoltuk az ötéves mozgóátlagokat, s ezeken végeztük el a trendelemzést, melynek eredményeit a teljes időintervallumra (1901–2013), valamint a referencia évekre (1961–1990) a 2. ábrán, illetve a 2. táblázatban mutatjuk be. A változás mértékét – az összehasonlíthatóság érdekében – 100 évre kivetít-



2. ábra: Az időszaki csapadék változása Nagykanizsán

Figure 2: Changes of the seasonal precipitation at Nagykanizsa

ve (érték<sub>100</sub>) határozta meg. Fontos hangsúlyozni, hogy a trendek iránya függ a választott időintervallumtól, miként az az ábrákon a fenntartási időszak esetében meg is jelenik.

A trendek általában csökkenő csapadékmennyiséget jeleznek, különösen a referencia időszakban, illetve a tárolási időszakban.

A csökkenés erdőre gyakorolt hatásának értékelésekor egyrészt figyelembe kell venni a csapadék előbbiekben taglalt időbeli változatosságát, másrészt az időszaki csapadékösszegek sok részletet eltakarnak, így a csapadékformát és a csapadék intenzitását is. További szempont, hogy a felhasznált csapadékadatok szabad területi mérésekből származnak, miközben az erdő talajára, illetve talajába a veszteségek (intercepció, evaporáció, elfolyás), valamint az adott talaj tulajdonságai (pl. vízkapacitási jellemzők) miatt ennek csak időről-időre változó része jut le, illetve be.

A teljes nagykanizsai adatsorra vonatkozó töréspont-elemzések eredményeit a 3. táblázat foglalja össze. A vízforgalmi időszakokban az eredményül kapott töréspontok éve a részdíszorok hosszától független, ugyanakkor időszakonként különböző, tehát például más évben jelentkezik a tárolási időszakra nézve, és máskor a hidrológiai év esetén. A legkésőbbi töréspont a fő vízfelhasználási időszak adataiban mutatható ki (3. ábra), és a 30 éves minimális részdíszor esetén nincs is töréspont (a 2000-es év ekkor már kiesik a lehetséges intervallumból).

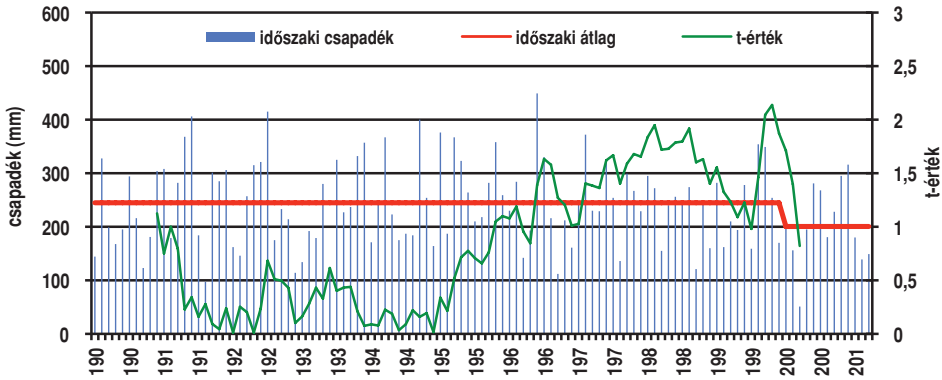
2. táblázat: A csapadékviszonyok trendjellemezői Nagykanizsán  
Table 2: Statistical characteristics of the precipitation trends at Nagykanizsa

Időszak		1901–2013	1961–1990	Időszak		1901–2013	1961–1990
Tárolás (XI–IV. hónap)	R <sup>2</sup>	0,138**	0,493**	Fenntartás (VIII–X. hónap)	R <sup>2</sup>	0,004	0,029
	előjel	–	–		előjel	–	+
	érték <sub>100</sub>	44	347		érték <sub>100</sub>	7	56
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	R <sup>2</sup>	0,026	0,106*	Hidrológiai év (XI–X. hónap)	R <sup>2</sup>	0,113**	0,377**
	előjel	–	–		előjel	–	–
	érték <sub>100</sub>	17	100		érték <sub>100</sub>	68	390

3. táblázat: A csapadék töréspont-elemzés eredményei Nagykanizsán (1901–2013)  
Table 3: Results of the break point analyses of precipitation data at Nagykanizsa (1901–2013)

A részdíszor minimális hossza (év)	30		10		5	
A töréspont lehetséges intervalluma	1931–1984		1911–2004		1906–2009	
Időszak	töréspont éve	átlag eltérése	töréspont éve	átlag eltérése	töréspont éve	átlag eltérése
Tárolás (XI–IV. Hónap)	1974	–41,6	1974	–41,6	1974	–41,6
Fő vízfelhasználás (V–VII. Hónap)	nincs	–	2000	–44,3	2000	–44,3
Fenntartás (VIII–X. Hónap)	1941	–34,4	1941	–34,4	1941	–34,4
Hidrológiai év (XI–X. Hónap)	1945	–64,1	1945	–64,1	1945	–64,1

A közelmúlt lehetséges töréspontjainak vizsgálata érdekében az 1960-ig tartó évek elhagyásával lerövidítettük az adatsort. Ezzel az 1961 előtti évek már nem befolyásolták az elemzés eredményét, melyet az 4. táblázatban összegeztünk. Az adatsor rövidítése miatt a 30 éves minimális részdíszorra a számításokat nem végeztük el.



3. ábra: Töréspont a fő vízfelhasználási időszakban (Nagykanizsa, csapadék)

Figure 3: Break point in the period of main water consumption (Nagykanizsa, precipitation)

A rövidített adatsor esetében a töréspontok száma csökkent: sem a fő vízfelhasználási időszakra, sem a hidrológiai évre vonatkozóan nem találtunk töréspontot. Ugyanakkor a tárolási időszakban a 10 éves minimális részdíszor esetében a teljes adatsorhoz hasonlóan 1974 jött ki, tehát ez az év egyértelműen töréspontnak tekinthető. Érdekes, hogy az összes töréspont-elemzést figyelembe véve a fenntartási időszakra itt megjelenő 1987-es töréspont az egyetlen, amikor az évet megelőző átlag kisebb, mint az év utáni.

A két díszor töréspont-elemzési eredményeit összegezve megállapítható, hogy az erdők növekedése szempontjából leginkább meghatározó fő vízfelhasználási időszak csapadékában nincs egyértelmű töréspont, hiszen a 2000-es év megjelenése függ a vizsgált díszor hosszától. Ugyancsak megállapítható, hogy az időszakos csapadék szempontjából – a bizonytalan 2000-es évet figyelmen kívül hagyva – a közelmúltban töréspontot nem sikerült kimutatni.

4. táblázat: A csapadék töréspont-elemzés eredményei Nagykanizsán (1961–2013)

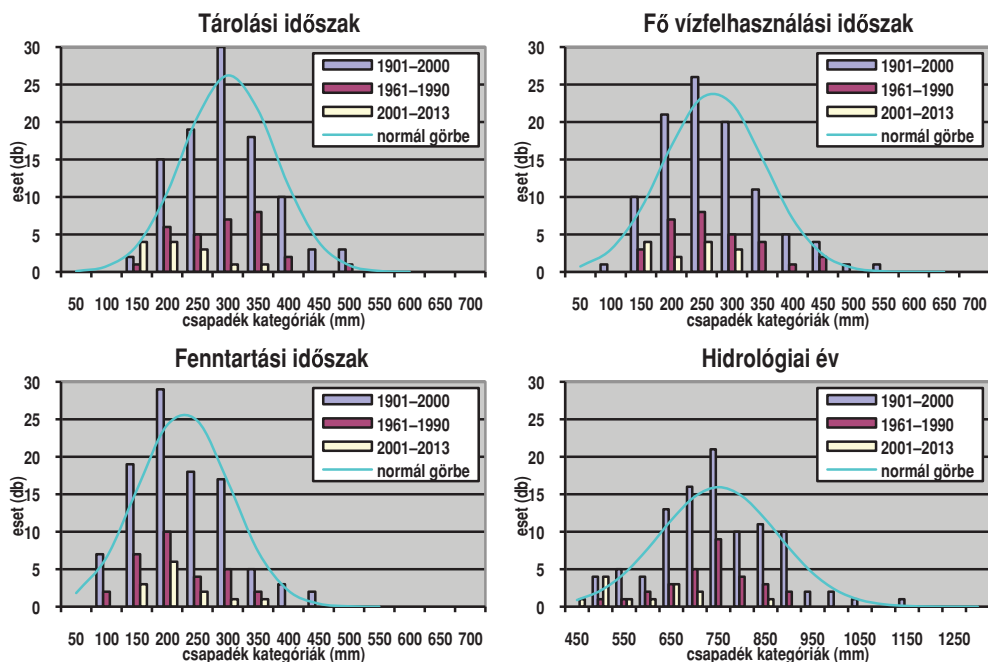
Table 4: Results of the break point analyses of precipitation data at Nagykanizsa (1961–2013)

A részdíszor minimális hossza (év)	10		5	
A töréspont lehetséges intervalluma	1971–2004		1966–2009	
Időszak	töréspont éve	átlag eltérése	töréspont éve	átlag eltérése
Tárolás (XI–IV. hónap)	1974	-68,1	1968	-85,3
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	nincs	-	nincs	-
Fenntartás (VIII–X. hónap)	1987	+46,4	1987	+46,4
Hidrológiai év (XI–X. hónap)	nincs	-	nincs	-

## Zalaegerszeg

A csapadék gyakorisági eloszlását a 4. ábra és az 5. táblázat adatai jellemzik. Nagykanizsához hasonlóan az időszakos csapadékösszegek ezen az állomáson is széles határok között változnak. A szórás itt is jelentős: az egyes vízforgalmi időszakokban a CV 27–38%, míg a hidrológiai év esetében 14–19%.

A gyakorisági eloszlások a Kolmogorov-Smirnov próba alapján, 95%-os megbízhatósági szinten, a három időintervallum (1901–2000, 1961–1990 és 2001–2013) két hosszabb időszakánál nem különböznek, de az utolsó 13 év – a zalaegerszegi mérőállomás áthelyezése utáni évek – a tárolási időszakra és a hidrológiai évre nézve különbözik a többitől.



4. ábra: A csapadék időszaki eloszlása Zalaegerszegen

Figure 4: Seasonal distribution of the precipitation at Zalaegerszeg

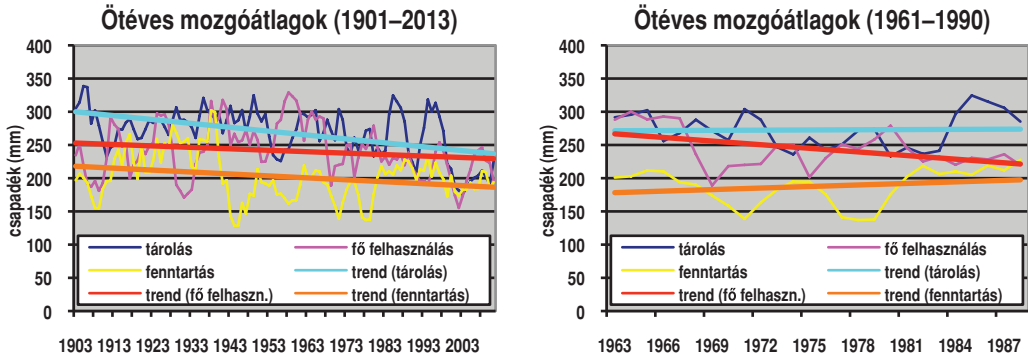
5. táblázat: A csapadékviszonyok jellemzői Zalaegerszegen (mm)

Table 5: Statistical characteristics of the precipitation at Zalaegerszeg (in mm)

Időszak		1901–2000	1961–1990	2001–2013	Időszak		1901–2000	1961–1990	2001–2013
Tárolás (XI–IV. hónap)	átlag	278	271	198	Fenntartás (VIII–X. hónap)	átlag	203	191	188
	min	105	105	116		min	55	92	140
	max	465	465	325		max	419	304	338
	CV (%)	27	28	32		CV (%)	38	34	31
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	átlag	245	245	198	Hidrológiai év (XI–X. hónap)	átlag	726	706	585
	min	94	125	111		min	478	495	446
	max	504	433	278		max	1147	896	842
	CV (%)	34	33	28		CV (%)	17	14	19

A hosszú adatsorokat Zalaegerszeg esetében is az ötéves mozgóátlagokkal vizsgáltuk. Az eredményeket a referencia évekre (1961–1990), valamint a teljes időintervallumra (1901–2013) az 5. ábrán, illetve a 6. táblázatban mutatjuk be.

A referencia időintervallumban (1961–1990) mind a tárolási, mind a fenntartási időszak csapadékösszege növekvő trendet mutat. A teljes vizsgált időszakra nézve viszont minden vízforgalmi időszakra csökkenő tendenciát láthatunk. Az ellentétes irányú változások megerősítik mindazt, amit a nagykanizsai adatok kapcsán már megfogalmaztunk: a trendek az intervallum megválasztásától is függenek, s a nagyfokú változatosság miatt az elkövetkező év, évek időjárás viszonyai nem adhatók meg előre.



5. ábra: Az időszaki csapadék változása Zalaegerszegen

Figure 5: Changes of the seasonal precipitation at Zalaegerszeg

6. táblázat: A csapadékviszonyok trendjellemezői Zalaegerszegen  
Table 6: Statistical characteristics of the precipitation trends at Zalaegerszeg

Időszak		1901–2013	1961–1990	Időszak		1901–2013	1961–1990
Tárolás (XI–IV. hónap)	R <sup>2</sup>	0,260**	0,001	Fenntartás (VIII–X. hónap)	R <sup>2</sup>	0,069**	0,047
	előjel	–	+		előjel	–	+
	érték <sub>100</sub>	59	9		érték <sub>100</sub>	29	77
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	R <sup>2</sup>	0,031	0,218**	Hidrologiai év (XI–X. hónap)	R <sup>2</sup>	0,234**	0,019
	előjel	–	–		előjel	–	–
	érték <sub>100</sub>	22	181		érték <sub>100</sub>	109	95

A teljes zalaegerszegi adatsorra vonatkozó töréspont-elemzések eredményeit a 7. táblázat foglalja össze. A vízforgalmi időszakokban az eredményül kapott töréspontok éve a részidősor minimális hosszától – a nagykanizsai eredményekkel ellentétben – már nem teljesen független, azaz a közelmúlt töréspontjai – a fenntartási időszakra vonatkozó 1941 kivételével – erősebbek, mint a 30 éves minimális részidősor esetén találtak. Szintén különbség, hogy a fő vízfelhasználási időszakban és a hidrologiai év esetén a töréspontok éve meg egyezik.

7. táblázat: A csapadék töréspont-elemzés eredményei Zalaegerszegen (1901–2013)  
Table 7: Results of the break point analyses of precipitation data at Zalaegerszeg (1901–2013)

A részidősor minimális hossza (év)	30		10		5	
A töréspont lehetséges intervalluma	1931–1984		1911–2004		1906–2009	
Időszak	töréspont éve	átlag eltérése	töréspont éve	átlag eltérése	töréspont éve	átlag eltérése
Tárolás (XI–IV. hónap)	1974	–40,2	1997	–74,6	1997	–74,6
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	1982	–39,2	2000	–50,2	2000	–50,2
Fenntartás (VIII–X. hónap)	1941	–42,8	1941	–42,8	1941	–42,8
Hidrologiai év (XI–X. hónap)	1968	–88,5	2000	–146,1	2000	–146,1

Az adatsor rövidítése után a Zalaegerszegrre kapott eredményeket a 8. táblázatban összegeztük.



8. táblázat: A csapadék töréspont-elemzés eredményei Zalaegerszegen (1961–2013)  
 Table 8: Results of the break point analyses of precipitation data at Zalaegerszeg (1961–2013)

A részidőszak minimális hossza (év)	10		5	
A töréspont lehetséges intervalluma	1971–2004		1966–2009	
Időszak	töréspont éve	átlag eltérése	töréspont éve	átlag eltérése
Tárolás (XI–IV. hónap)	1997	–71,2	1997	–71,2
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	2000	–44,4	2000	–44,4
Fenntartás (VIII–X. hónap)	nincs	–	nincs	–
Hidrológiai év (XI–X. hónap)	2000	–127,1	1968	–136,1

A rövidített adatsor esetében a töréspontok száma csökkent: a fenntartási időszakokra vonatkozóan nem találtunk töréspontot. Ugyanakkor a tárolási időszakban az 1997-es, a fő vízfelhasználási időszakban pedig a 2000-es év ismételt töréspontként jelentkezett.

Mivel az előbb említett évek egyben a mérőállomás-váltások éve is, ezért felmerült, hogy a töréspontok elsősorban ezzel függnek össze. Ellenőrzésül megvizsgáltuk az 1997 és 2000 közötti években hiánypótlásra használt Zalatárnok mérőállomás 1930-tól 2006-ig rendelkezésre álló adatait. A két állomásnál már ismertetett módon elvégzett töréspont-elemzések szerint a fenntartási időszakra nézve nem találtunk töréspontot, míg a többi időszakban a töréspontok éve – egy 1968-as, hidrológiai évre vonatkozó kivételével – eltértek mind a zalaegerszegi, mind a nagykanizsai adatokban kimutatottaktól. A legkésőbbi töréspont (1983) a fő vízfelhasználási időszakra vonatkozott, tehát Zalatárnok adatai sem az 1997-es, sem a 2000-es töréspontot nem támasztották alá.

### A csapadék térbeli változatossága

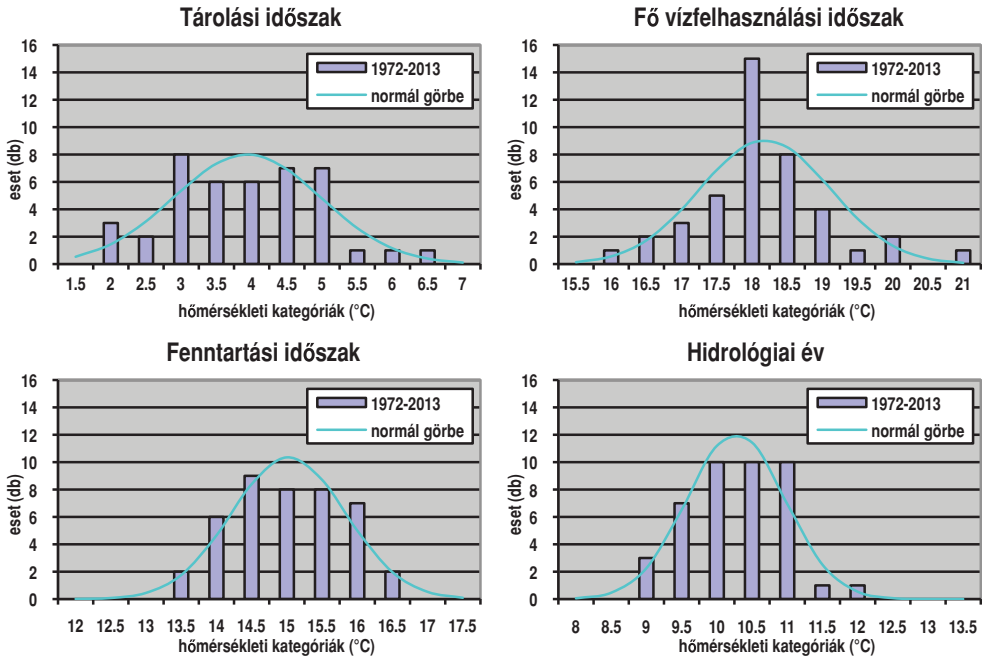
A csapadék nemcsak időben, hanem térben is rendkívül változatos. Ennek részletes bemutatására területi okokból nincs lehetőség, de a nagykanizsai és a zalaegerszegi adatsorok jellemzői (1–2. és 5–6. táblázat), valamint a töréspontokban mutatkozó eltérések (3–4. és 7–8. táblázat) mutatják a térbeli különbségeket is.

## Hőmérséklet

A rendelkezésre álló adatsorok a csapadékhoz képest rövidebbek, ezért a hőmérséklet hosszú távú változását nem tudjuk ugyanolyan időskálán bemutatni, mint a csapadékét. A jellemzéshez a nagykanizsai OMSZ állomás 42 éves (1972–2013) adatsorát használtuk fel. A csapadékhoz hasonlóan az értékeléshez a havi adatokat most is az erdő életciklusához igazodó vízforgalmi időszakok szerint csoportosítottuk.

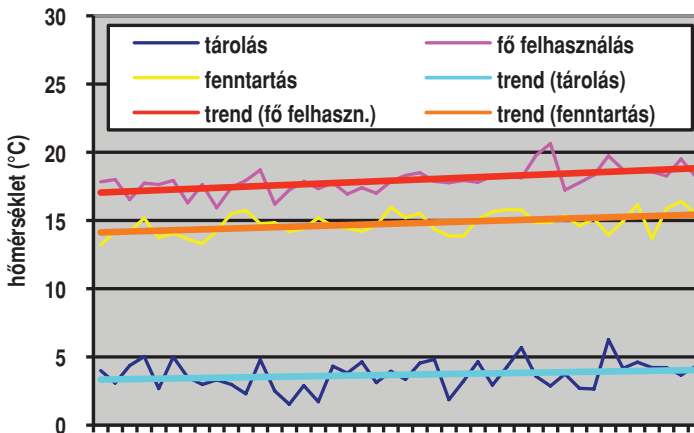
A hőmérséklet időbeli változatosságát is a gyakorisági eloszlással jellemeztük. Amint az a 6. ábrán is jól látható, az időszakos hőmérsékleti átlagok szintén széles határok között változnak, különösképpen, ha az erdészeti klímakategóriák hőmérsékleti különbségeihez, vagy akár a klímaváltozás feltételezett hőmérsékletnövekedéséhez viszonyítunk. Az időszakos átlagok az időszakon belüli szélsőértékeket elfedik, ezért az erdő még ennél lényegesen változatosabb időjárási körülményeket is képes elviselni.

A 9. táblázatban összefoglaltuk a 42 éves időintervallum legfontosabb jellemzőit. A csapadékkal szemben a hőmérsékletnél a CV csak a tárolási időszakban jelentős: ekkor értéke 28%. A többi vízforgalmi időszak és a hidrológiai év statisztikai szempontból kiegyenlített: a CV mindössze 5–7%. Ennél többet mond azonban, hogy a vízforgalmi időszakokban a maximumok és a minimumok között a különbség 3,2–4,8 °C, és a hidrológiai év esetében is eléri a 3,0 °C-ot.



6. ábra: A középhőmérséklet időszaki eloszlása Nagykanizsán (1972–2013)

Figure 6: Seasonal distribution of the temperature at Nagykanizsa (1972–2013)



7. ábra: Az időszaki középhőmérséklet változása Nagykanizsán (1972–2013)

Figure 7: Changes of the seasonal precipitation at Nagykanizsa (1972–2013)

A nagykanizsai állomás 42 éves adata alapján mindegyik időszaki átlaghőmérséklet – elsősorban a fő vízfelhasználási időszaké – növekvő trendet mutat (7. ábra, illetve 10. táblázat).

A csapadékhöz képest rövid adatsorok miatt a nagykanizsai adatsor töréspont-elemzését csak a két rövidebb minimális részdőszorra végeztük el. Az eredményeket a 11. táblázatban foglaltuk össze.

9. táblázat: A hőmérsékleti viszonyok jellemzői Nagykanizsán (°C)  
 Table 9: Statistical characteristics of the temperature at Nagykanizsa (°C)

Időszak		1972–2013	Időszak		1972–2013
Tárolás (XI–IV. hónap)	átlag	3,7	Fenntartás (VIII–X. hónap)	átlag	14,8
	min	1,5		min	13,2
	max	6,3		max	16,4
	CV (%)	28,4		CV (%)	5,5
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	átlag	17,9	Hidrológiai év (XI–X. hónap)	átlag	10,0
	min	15,9		min	8,6
	max	20,6		max	11,6
	CV (%)	5,2		CV (%)	6,9

10. táblázat: A hőmérsékleti viszonyok trendjellemezői Nagykanizsán  
 Table 10: Statistical characteristics of the temperature trends at Nagykanizsa

Időszak		1972–2013	Időszak		1972–2013
Tárolás (XI–IV. hónap)	R <sup>2</sup>	0,040	Fenntartás (VIII–X. hónap)	R <sup>2</sup>	0,229**
	előjel	+		előjel	+
	érték <sub>100</sub>	1,7		érték <sub>100</sub>	3,1
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	R <sup>2</sup>	0,329**	hidrológiai év (XI–X. hónap)	R <sup>2</sup>	0,232**
	előjel	+		előjel	+
	érték <sub>100</sub>	4,3		érték <sub>100</sub>	2,7

11. táblázat: A hőmérsékleti töréspont-elemzés eredményei Nagykanizsán (1972–2013)  
 Table 11: Results of the break point analyses of temperature data at Nagykanizsa (1972–2013)

A részidőszak minimális hossza (év)	10		5	
A töréspont lehetséges intervalluma	1982–2004		1977–2009	
Időszak	töréspont éve	átlag eltérése	töréspont éve	átlag eltérése
Tárolás (XI–IV. hónap)	nincs	–	2008	+0,6
Fő vízfelhasználás (V–VII. hónap)	1992	+1,1	1992	+1,1
Fenntartás (VIII–X. hónap)	1982	+0,9	1981	+1,0
Hidrológiai év (XI–X. hónap)	1998	+0,7	2007	+0,9

A trendelemzés eredményeihez hasonlóan a töréspontok is emelkedő átlaghőmérsékleteket mutatnak (11. táblázat). A fő vízfelhasználási időszakra nézve a legnagyobb a töréspontot megelőző és az utána következő évek időszakai átlaghőmérsékletének különbsége. Részben a rövidebb adatsornak is köszönhetően a csapadékkal szemben a hőmérséklet esetében a közelmúlt éveiben (2007 és 2008) is kimutathatóak töréspontok.



## ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány egyrészt jellemzi azokat a környezeti viszonyokat, melyek között a térség erdőállományai növekedtek, illetve növekednek, másrészt a változatosság szemléltetésén keresztül bemutatja a meteorológiai adatok értékelésének összetettségét és a klímaváltozási forgatókönyvek által megadott átlagos és/vagy térségi adatok értelmezésének nehézségeit.

A csapadék rendkívüli változatosságát a hisztogramok mellett a CV magas, az egyes éven belüli időszakokra 30%, míg a hidrológiai év esetében 20% körüli értéke mutatja. A hőmérsékletre vonatkozóan – a tárolási időszak kivételével – a CV értékek ugyan alacsonyabbak, de a vizsgált 42 év alatt a maximumok és a minimumok között a különbség a hidrológiai év esetében is eléri a 3,0 °C-ot.

Időszaktól és mérőhelytől függően a csapadéokra a csökkenő trend jellemző, míg a hőmérséklet esetében a növekedés a meghatározó.

Az elemzések alapján megállapítható, hogy – épp a térségi változatosságból adódóan – még ilyen kis térségben sem feltétlenül esnek egybe a statisztikailag igazolható töréspontok. A csapadék esetében a közelmúlt egyes vízforgalmi időszakokra vonatkozó 1997-es és 2000-es töréspontjai egyrészt nem jelentkeznek minden vizsgált állomáson, másrészt kimutatásuk a részidősor minimális hosszától is függ, tehát a vizsgált térségben nem tekinthetők általános érvényűeknek. A rövidebb nagykanizsai hőmérsékleti adatsorban a közelmúlt években (2007 és 2008) is kimutathatók töréspontok.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A–11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Hajósy F.; Kakas J. és Kéri M. 1975: A csapadék havi és évi összegei Magyarországon a mérések kezdetétől 1970-ig, OMSZ kiadvány, Budapest
- Időjárás havi jelentések (1971–2012), OMSZ kiadványok, Budapest
- Járó Z. 1989: Az erdő vízforgalma. *Az Erdő*, 33 (8): 352–355
- Mersich I.; Práger T.; Ambrózy P.; Hunkár M. és Dunkel Z. 2001: Magyarország Éghajlati Atlasza, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest
- Molnár J. 2003: A légnymási mező szerkezete és módosulása a Kárpát-medence térségében. Doktori értekezés, Debrecen, pp. 170.
- Molnár J. és Izsák T. 2011: Trendek és töréspontok a léghőmérséklet kárpátaljai idősoraiban. *Légkör*, 56 (2): 49–54.
- Szász G. és Tókei L. 1997: Meteorológia mezőgazdálknak, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó, 439–443.
- Vízrajzi évkönyvek (1966–2006), VITUKI kiadványok, Budapest

*Érkezett: 2014. július 27.*

*Közlésre elfogadva: 2014. október 8.*

# ZALA MEGYE EGYSÉGES TALAJTÍPUS ADATBÁZISÁNAK ÖSSZEÁLLÍTÁSA KLASSZIFIKÁCIÓS ELJÁRÁSOKKAL

Illés Gábor<sup>1</sup>, Kovács Gábor<sup>2</sup>, Laborczi Annamária<sup>3</sup> és Pásztor László<sup>3</sup>

<sup>1</sup>NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Erdőművelési és Ökológiai Osztály

<sup>2</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

<sup>3</sup>MTA Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani és Agrokémiai Intézet

## Kivonat

Az AGRÁRKLÍMA projekt keretében Zala megye területére vonatkozóan készítettünk talajtípus térképeket a mező-, és az erdőgazdálkodók részére. A térképek az erre a célra összeállított, geológiai, domborzati, hidrológiai térinformatikai adatbázis, és erdőtervi adatok felhasználásával készültek, kiegészítve a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer adataival. A termőhelyi erdőtervi és mezőgazdasági adatokat a környezeti változók adataival együtt értékeltük, aminek érdekében talajtípusok előfordulásának legjellemzőbb környezeti feltételrendszerét (szignatúrát) határozzuk meg. A szignatúrák segítségével hierarchikus és nem-hierarchikus osztályozási algoritmusokat dolgoztunk ki a talajtípusok térbeli helyének a felismerésére, és értékeltük azok pontosságát. A neurális hálózat módszert találtuk a leghatékonyabb talajtípus előfordulás becslési eljárásnak. Ismert talaj tulajdonságú területek adataival összevetve 67%-os besorolási eredményességet értünk el. A térképezési munkával egységes talajtípus adatbázist állítottunk elő Zala megye területére.

*Kulcsszavak:* talajtérképezés, térinformatika, klasszifikációs eljárások, erdő- és mezőgazdálkodás

## DEVELOPING A UNIFIED SOIL TYPE DATABASE FOR COUNTY ZALA HUNGARY USING CLASSIFICATION ALGORITHMS

### Abstract

Within the framework of AGRÁRKLÍMA project we prepared soil maps for both forest- and croplands of Zala County of Hungary. To achieve this we used a GIS database consisting of data on geology, relief, hydrology, (referred as environmental variables) and forestry, supported with data from the Digital Kreybig Soil Information System. The available set of site data from forestry and agricultural database was evaluated in relation to the environmental datasets. This process aimed at setting up signatures for all soil types by signature of the most strongly related environmental feature sets for each soil type. Using these signatures we trained hierarchical and non-hierarchical classification tools to identify the spatial extent of soils in Zala County. Neural networks were found to be the most effective mapping tool. Making a validation with a data set of known soil characteristics we found 67% correct classification rate for the county. Additionally, we set up a joint soil type database for county Zala.

*Keywords:* soil mapping, GIS, classification tools, farming, forest management



## BEVEZETÉS

A megbízható adatokat szolgáltató talajinformációs rendszerek jelentősége, a természeti erőforrások fenntartható hasznosítása és megőrzése miatt, növekszik. Ezt hazai és nemzetközi erőfeszítések bizonyítják (Tóth és mtsai 2008; Sanchez és mtsai 2009; Omuto és mtsai 2013; Arrouays és mtsai (eds) 2014). A talajok állapotára, folyamataira, funkcióira vonatkozó aktuálisan rendelkezésre álló, illetve a felhasználók által specifikusan megkívánt információk nem feltétlenül egyeznek. Korábbi adatgyűjtés, felvételezés, térképezés célja, az annak alapján elvégzett munka, illetve az ezek eredményeképpen született adatok nem feltétlenül alkalmazhatók az új talajtani információkat igénylő problémakör kapcsán. Emiatt számos esetben a döntéshozók igényeinek kielégítése sem történhet megfelelő hatékonysággal. Ezen probléma megoldása érdekében számos próbálkozás született a meglévő talajtani információk kiegészítésére, javítására, harmonizációjára és integrálására. Gyakran felmerülő probléma, hogy különböző léptékekben nem áll rendelkezésre azonos tematikus információ. Léteznek például genetikus talajtérképek országos és üzemi léptékben, de a kettő közötti térbeli felbontásban nem. Márpedig számos esetben szükséges az üzemi térképek által lefedett területeknél jóval nagyobb kiterjedésben (megyékre, de akár az egész országra is) az országos térképek által nyújtott térbeli felbontást meghaladó térbeli információ. Az egész témakörnek a klímaváltozás még nagyobb hangsúlyt ad (Somogyi és mtsai 2013).

A hazai kutatóműhelyek munkái és eredményei közül leginkább összetettnek, a legnagyobb kiterjedésűnek a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR) (Pásztor és mtsai 2010) tekinthető. De – főleg a módszertani fejlesztések terén – meghatározóak a kisebb tájegységekre vonatkozó térképezési munkák is. Ide sorolhatók például a Bodrogköz térképezési munkái (Dobos és mtsai 2010), vagy a Balaton vízgyűjtőjében (Sisák és Pöcze 2011; Sisák és Benő 2014); vagy éppen a Hanságban végzett korábbi munkák (Illés 2004). Mindközben erősödik az igény egy országos és egységes talajinformációs rendszer kialakítására, illetve a már meglévő adatok ilyen jellegű felhasználására (Sisák és Bámer 2008; Waltner és mtsai 2014). Nemzetközileg e téren a talán legnagyobb ívű kezdeményezés az IUSS digitális talajtérképezési munkacsoportja által jegyzett GlobalSoilMap.net ([www.globalsoilmap.net](http://www.globalsoilmap.net)), amely finom léptékű és világméretű talajinformációs rendszer létrehozása céljából indult 2009-ben.

A jövőbeni földhasználatot megalapozó, egységes szemléletű, a klímaváltozás várható hatásait figyelembe vevő talajinformáció a hazai mezőgazdaság tervezhetősége érdekében szükséges. Ezen belül az agrárcélú hasznosítás megalapozásához – többek között –, a mezőgazdasági és az erdészeti célokat egyaránt szolgáló talajtérképek előállítására is kívánatos. Minthogy új talaj-felvételezésekre sem idő, sem pénzügyi fedezet nem áll rendelkezésre, így mind a mezőgazdasági, mind az erdőgazdasági hasznosítású területekre meglévő információkból kell a szükséges talajinformációkat előállítani. Erre vállalkoztunk az AGRÁRKLÍMA projektben Zala megyére. Törekvéseinket kezdetben néhány körülmény akadályozta:

A zalai erdőterületeken 44 209 erdőrészletből összesen 34 894-hez kötődik termőhelyi adat (faállományal borított erdőrészletek), amelyből mindössze 3348 erdőrészlet termőhely meghatározási módja a direkt termőhely-feltárás szelvényrel és laborvizsgálattal. Ez csak a területek 7,5%-át jelenti, amely feltárások fele két talajtípusra, az agyagbemosódásos barna erdőtalajra és a pszeudoglejes barna erdőtalajra korlátozódik. Összességében így kevés volt a minta a részletes térképezési célú munkához. Nem ismertek továbbá a felvételi adatok sem, így a direkt feltárások megbízhatósága sem becsülhető.

A megye mezőgazdasági területének talajtakarójára az alábbi adatforrások érhetők el:

- Az AGROTOPO adatbázis megyei kivágata. A talajfoltokra ebből kategória becslés nyerhető.
- A nagyméretarányú genetikus és földértékelési térképek kartogramjai. A megyére készült térképek részben térinformatikailag feldolgozottak, de ezek nem hívhatók le központi rendszerből. A térképek csupán a mezőgazdasági területek bizonyos hányadára készültek, így nem biztosítanak teljes térbeli lefedettséget.

- A Talajinformációs és Monitoring Rendszer (TIM) ugyan friss és nagy megbízhatóságú, viszont a megye területén csupán 59 szelvény van.
- A Kreybig térképekből szerkesztett és a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszerben (DKTIR) feldolgozott talajfoltokra erősen leegyszerűsített kategória adatok találhatóak.

A termőhelyi adottságok térbeli leírására, a talajszelvény adatok geostatistikai, adatbányászati és térinformatikai elemeket ötvöző, cél-specifikus, szakértői felügyelettel támogatott digitális talajtérképezést végeztünk. Statisztikailag értékeltük az erdészeti és mezőgazdasági termőhelyi adatokat. Jelen publikációban a talajtípusok térképi ábrázolásának módszerét és eredményeit mutatjuk be.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A termőhelyi adottságokat az üzemi genetikus térképezési módszertan és a magyarországi, talajtani-agrokémiai gyakorlatban alkalmazott termőhelyi kategóriarendszer szerint jellemeztük 20 m térbeli felbontású digitális talajtérképek segítségével.

Zala megye mezőgazdasági területének talajtípus térképeihez a referencia adatokat két forrásból vettük:

- A TIM adatbázis 59 megyei pontja és talajszelvényei.
- Az üzemi genetikus és földértékelési talajtérképekből a megyére rendelkezésre álló térképszelvények talajszelvényei.

A térbeli becsléshez a következő környezeti segédváltozókat használtuk.

- Zala megye digitális domborzatmodelljének elsődleges, illetve másodlagos deriváltjai: tengerszint feletti magasság, lejtőhajlás, sík- és profilgörbület, összegyülekezési raszter, topográfiai nedvesség index, LS faktor, ún. „mass balance index”, vízfolyás energia index, topográfiai pozíció index.
- 18 darab, 2009. és 2011. közötti időszakban készült MODIS műholdkép vegetációs index állománya (NDVI, illetve EVI).
- Két klímparaméter: évi átlagos csapadékösszeg, illetve a nyári hónapok középhőmérséklete.
- Magyarország 1:100.000-es méretarányú fedett földtani térképe (Pelikán és Pereg 2005).
- A digitális talajtérképezésben általánosan használt elemek mellett felhasználtuk a DKTIR talajtérképi egységeit, így a talajok fizikai- és kémiai tulajdonságait, illetve tájtermesztési besorolását. Ennek hatékonyságáról lásd Szatmári és mtsai (2013) és Pásztor és mtsai (2014).

A mennyiségi környezeti segédadatokat egységesítettük a pixelérték 0-255 skálára transzformálásával (Hengl 2009), a minőségi segédváltozókat (mint a DKTIR talajtérképi egységeit) indikátor változókká alakítottuk. A domborzati paraméterek származtatását SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) GIS környezetben végeztük. A genetikai talajtípus digitális térképezéséhez osztályozó fákat alkalmaztunk. Az osztályozó fák előállításához a STATISTICA szoftver (StatSoft, Inc.) adatbányászati modulját használtuk. A döntési fa algoritmusban a talajtípus jelentette az osztályozandó, függő változót, a környezeti segédadatok pedig a független változók halmazát. Az osztályozást különböző paraméterezéssel végeztük. Az osztályozás eredményeit alkalmaztuk a tanuláshoz használt, teljes területi fedettséget nyújtó, nagy térbeli felbontású fedvényekre. A pixel alapú kategorizálás eredményeképpen állt elő Zala megye mezőgazdasági területeinek 20 méteres térbeli felbontású genetikus talajtérképe.

Zala megye erdőterületeinek talajtípus térképeihez a részletes környezeti adatbázisából (klíma, domborzat, geológia, hidrológia), mint prediktor változókból, valamint a megye erdészeti adatbázisából talajtípusonként meghatároztuk a környezeti változók értéktartományait, amiket talajokra jellemző szignatúráknak nevezünk. A feladat végrehajtásához szakértői rendszert használtunk, amely tartalmazza a talajtípusok kialakulásának talajtani ismérveit (pl. az alapkötet – talaj relációt, vagy a hidrológiai viszonyok – talaj relációt), valamint



statisztikailag (leíró statisztikák, ill. eloszlás vizsgálat) írja le a talajtípusok előfordulásának jellemző környezetét. A mezőgazdasági területekre felsorolt változókon kívül alkalmaztuk a lejtő-, és a domborzatpozíció kategóriákat is (Hengl and Reuter 2007). Ekkor nem vettük figyelembe, hogy az egyes erdőrészteltek termőhely-meghatározási módját, mert a termőhelyi adatbázist a validációhoz használtuk fel.

A megbízhatóság növelése céljából a talajok szignatúrái alapján a Zala megyében található, közel 35 ezer erdőrészletből egy 15 ezres (15 430 db) szűkített adatbázist készítettünk. A szűkített adatbázisban a talajtípusra vonatkozó adatok koherensek a talajtani ismeretekkel és a környezeti adatokkal. Ezáltal 7,5%-ról, 34,9%-ra emeltük a megbízhatónak tekinthető termőhelyi adatok számát.

A szűkített adatbázist tanuló adatrendszerként használtuk az osztályozó eljárásokban. Az osztályozó eljárások között diszkriminancia analízist, klasszifikációs fákat, maximális valószínűségi osztályozót, illetve neurális hálózatokat alkalmaztunk. A vizsgálatokban a szűkített adatbázist véletlenszerűen tanuló és teszt adatrészre osztottuk, és azokon futtattuk az osztályozó algoritmusokat, majd értékeltük azok találati pontosságát. A legjobb osztályozási módszer kiválasztása után az erdőterületek talajtípus térképeit 20 méteres térbeli felbontással ArcInfo környezetben készítettük el. A mezőgazdasági- és az erdőterületek talajtípus eredménytérképeiből, az adatkategóriák egyesítésével – Patocska (2012) munkája nyomán – állítottuk össze a jelenlegi Zala megyei talajtérképeket. Az elkészült talajtérképek az erdő- és a mezőgazdálkodók számára megbízhatósági mérőszámmal ellátott talajinformációkat nyújtanak. A végleges talajtérképeket 100 méteres pixelméretben készítettük el raszter mozaikként, többségi szűrő feltétellel.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A Zala megyei erdőterületek talajtani szempontból változatos képet mutatnak. A csernozjom és a szikes talajok kivételével az összes talaj főtípus előfordul. A megye erdőterületein előforduló talajtípusok listáját az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat: Zala megye erdőterületeinek talajtípusai

Table 1: Soil types of forests in County Zala

Kód	Rövidítés	Talajtípus	Kód	Rövidítés	Talajtípus
110	SZV	Sziklás, köves vázталaj	440	PGBE	Pszudoglejes barna erdőtalaj
120	KV	Kavicsos vázталaj	450	BFOLD	Barna föld (Ramann-féle barna erdőtalaj)
130	FV	Földes vázталaj	460	RBE	Rozsdabarna erdőtalaj
150	HH	Humuszos homok talaj	470	KBE	Kovárványos barna erdőtalaj
210	NYO	Nyers öntéstalaj	480	CSBE	Csernozjom barna erdőtalaj
220	HO	Humuszos öntéstalaj	490	KMBE	Karbonátmaradványos barna erdőtalaj
230	LH	Lejtőhordalék talaj	710	TR	Típusos réti talaj
310	HK	Humuszkarbonát talaj	750	OR	Öntés réti talaj
320	RE	Rendzina talaj	760	LR	Lápos réti talaj
330	ER	Erubáz, fekete nyirok talaj	820	SL	Síkláp talaj
340	RA	Ranker talaj	910	RETIE	Réti erdőtalaj
350	CSERI	Cseri talaj	920	OE	Öntés erdőtalaj
410	SBE	Savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj	930	LHE	Lejtőhordalék erdőtalaj
420	PBE	Podzolos barna erdőtalaj	990	MEST	Mesterséges talajképződmény
430	ABE	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj			

Az 1. táblázat talajtípusainak erdőrészekbeni darabszám szerinti megoszlását a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A 2. táblázatból látható, hogy vannak ritka, sőt egyszer előforduló talajtípusok a megye erdőrészeiben. Ezek biztos térképezése statisztikai értelemben nem lehetséges.

2. táblázat: A talajtípusok megoszlása az erdőrészekben

Table 2: Soil type distribution in forest compartments

Rövid név	Darabszám	Rövidítés	Darabszám
PGBE	4 272	KMBE	176
TR	2 955	HO	107
LHE	1 333	KV	1
LR	1 305	SL	239
ABE	14113	MSR	1
FV	42	NYO	9
LH	19	KBE	15
CSERI	29	HK	2
OE	126	RA	184
OR	812	RE	642
RBE	3 653	ER	6
HH	170	SZV	143
RETIE	382	SBE	4
BFOLD	4 138	CSBE	1
MEST	15	Összesen	34 894

3. táblázat: A szűkített adatbázisban előforduló talajtípusok és elemszámuk

Table 3: Number of different soil types in the filtered database

Rövid név	Elemszám (db)	Rövid név	Elemszám (db)
SZV	78	RBE	425
FV	17	KBE	9
HH	26	KMBE	109
NYO	6	TR	224
HO	60	OR	367
LH	10	LR	553
RE	295	SL	171
RA	54	RETIE	75
ABE	8675	OE	48
PGBE	2303	LHE	367
BFOLD	1558	Összes	15 430

A szűkített (15 430 elemszámú) adatbázisba a 3. táblázat szerint kerültek az egyes talajtípusok. Ezek között is találunk statisztikai értelemben kis elemszámú típusokat. Belátható, hogy (1) hogy ezek a típusok az alapsokaságban is alulreprezentáltak, ami eleve gátat szab az elemszám növelésének, (2) e típusok zöme pl.: a nyers öntéstalajok jól meghatározott feltételrendszerben alakulnak ki, ami viszont megkönnyíti az azonosításukat.

Az adatbázison lefutott osztályozó algoritmusok eredményeit a 4. táblázatban foglaltuk össze. Ebben a táblázatban talajtípusonként, illetve összesítve is feltüntettük az osztályozási algoritmusok besorolási hatékonyságát.

4. táblázat: Az osztályozók pontossága talajtípusonként (%-ban)  
Table 4: Rate of correct classifications for classifiers by soil types

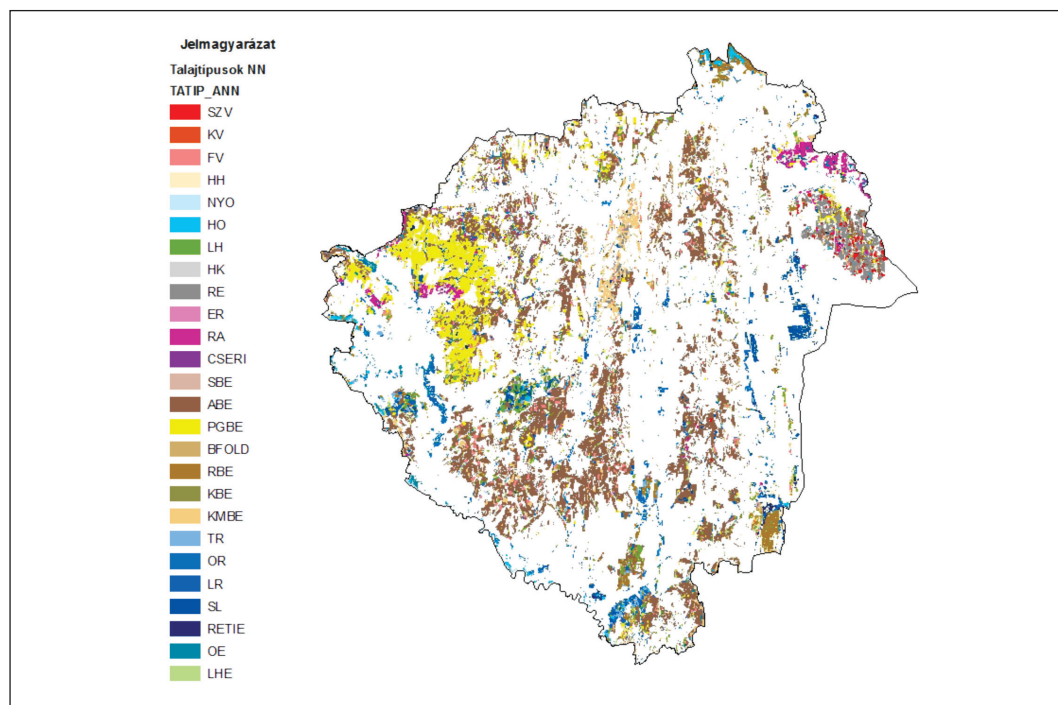
Talajtípus	Maximális valószínűségi osztályozó	Diszkriminancia analízis	Klasszifikációs fa	Neurális hálózat
SZV	<b>100,0</b>	60,0	0,0	59,4
KV	<b>43,6</b>	–	2,7	–
FV	32,0	–	32,6	<b>36,4</b>
HH	35,3	20,0	0,0	<b>68,4</b>
NYO	40,2	<b>100,0</b>	39,6	<b>100,0</b>
HO	35,9	<b>75,0</b>	38,9	56,5
LH	35,9	–	2,0	<b>50,0</b>
RE	39,1	62,5	48,9	<b>97,0</b>
RA	37,5	66,7	18,2	<b>100,0</b>
ABE	36,2	89,1	87,0	<b>92,7</b>
PGBE	41,1	46,0	61,9	<b>70,8</b>
BFOLD	<b>35,5</b>	11,6	0,0	10,6
RBE	35,1	47,4	16,3	<b>93,5</b>
KBE	37,1	<b>100,0</b>	0,0	42,9
KMBE	32,3	0,0	0,0	<b>47,8</b>
TR	39,0	29,6	0,0	<b>82,8</b>
OR	39,3	58,5	20,2	<b>63,8</b>
LR	38,1	40,4	14,3	<b>79,6</b>
SL	36,8	88,2	0,0	<b>93,9</b>
RETIE	<b>100,0</b>	0,0	20,0	63,2
OE	41,0	28,6	41,8	<b>60,5</b>
LHE	<b>33,8</b>	9,8	26,7	31,5
Összesített %	34,9	66,3	45,9	<b>77,5</b>

A 4. táblázatból látható, hogy általánosságban is és az egyes talajtípusok többségének esetében ugyancsak, a neurális hálózatok adták a legjobb eredményeket. A 22 talajtípusból 15 esetben a neurális hálózatok érték el a többi módszernél jobb besorolási eredményt. 5 esetben a maximális valószínűségi osztályozó, és



két esetben a diszkriminancia analízis adott jobb besorolási arányt. Ennek megfelelően a térképi ábrázolásnál a neurális hálózatok eredményeit használtuk fel. A mezőgazdasági és erdőterületek adatainak egyesítését követően a megye ágazatonkénti és összesített talajtérképeit az 1.–3. ábrák mutatják.

A talajtérképek a mezőgazdasági és erdészeti hasznosítású talajokat is tartalmazzák és együtt a megye teljes területét lefedik. A térképekhez megbízhatósági mérőszámokat is rendelhetünk a 4. táblázatnak megfelelően.



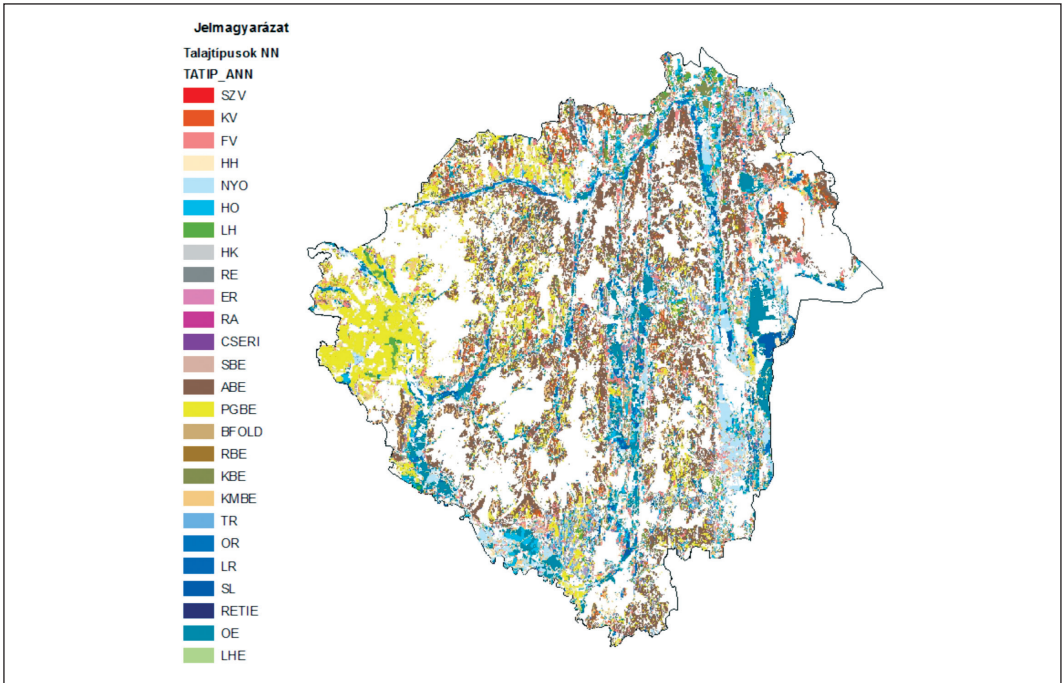
1. ábra: Zala megye erdőterületeinek talajtérképe  
 Figure 1: Soil map of woodlands in county Zala

A térképek megbízhatóságát az erdőterületeken a direkt termőhely feltárású erdőrészekre vizsgáltuk. A térképi becslés és a termőhely feltárás talajtípusa az esetek 56%-ban egyezett meg. Főtípus szinten pedig – vagyis amikor a becsült talajtípus és a feltárt típus egyaránt ugyanabba a főtípusba tartozik, pl.: réti talaj – 67%-os egyezést állapítottunk meg.

Az eredményeket biztatónak értékeljük, mivel esetünkben egyetlen, kimondottan a térképezés célját szolgáló helyszíni vizsgálat nélkül értük azt el.

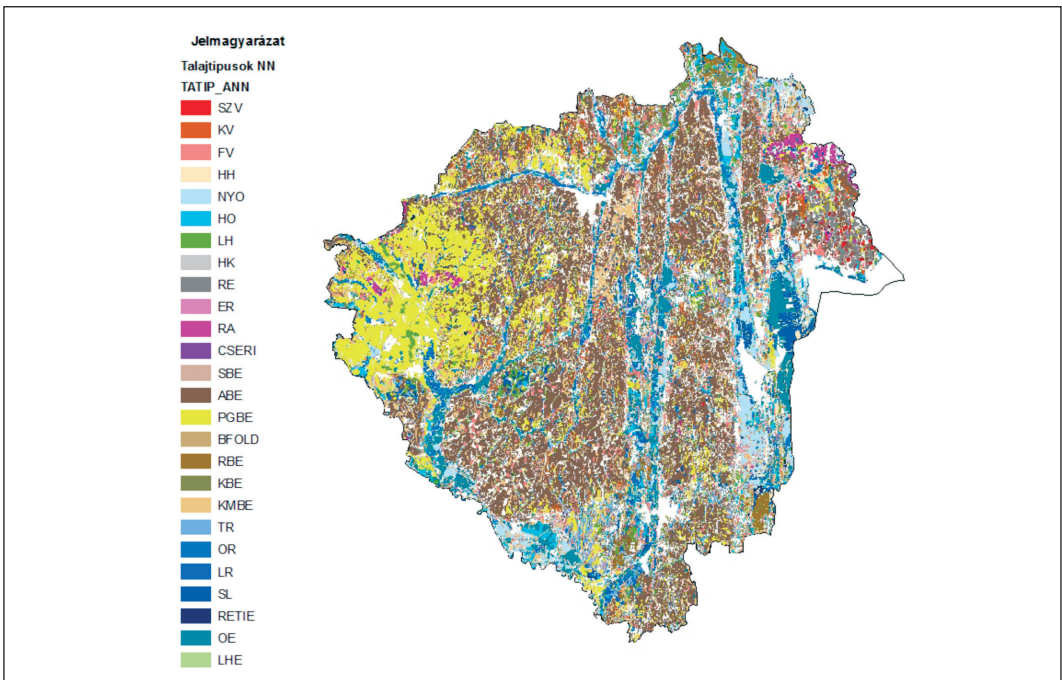
## KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy komplex térinformatikai adatbázisok és részleges talajtani adatok felhasználásával lehetőség van – legalább – a táji szintű földhasználat tervezésére. Részletesebb adatok és terepi felvételek esetén, kisebb területi egységekre (pár ezer ha) nagy megbízhatóságú talajtérképek előállíthatók elő.



2. ábra: Zala megye mezőgazdasági területeinek talajtérképe (Pásztor és mtsai 2014)

Figure 2: Soil map of croplands in county Zala (Pásztor és mtsai 2014)



3. ábra: Zala megye egységesített talajtérképe

Figure 3: Joint soil map of county Zala

A továbbiakban megvizsgáljuk, hogy a direkt termőhelyfeltárású erdőrészelek adataival hogyan javítható a talajtípusba sorolás pontossága.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás és ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrejelített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A kutatást támogatta még a K105167 OTKA pályázat.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arrouays, D.; McKenzie, N.; Hempel, J.; Richer de Forges, A.C. and McBratney, A. (eds) 2014: Global Soil Map. Basis of the global spatial soil information system. Proceedings of the 1st GlobalSoilMap Conference, Orléans France Oct.2013. CRC Press London.
- Dobos, E.; Bialkó, T.; Michéli, E. and Kobza, J. 2010: Legacy Soil Data Harmonization and Database Development. In: Boettinger, J.L.; Howell, D.W.; Moore, A.C.; Hartemink, A.E. and Kienast-Brown, S. (eds): Digital Soil Mapping – Bridging Research, Environmental Application, and Operation [Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer] (Progress in Soil Science), 309–323.
- Hengl, T. and Reuter, H.I. (eds) 2007: Geomorphometry Concepts, Software, Application. Developments in Soil. Science, 33: 765 pp.
- Hengl, T. 2009: A Practical Guide to Geostatistical Mapping. University of Amsterdam, Amsterdam.
- Illés G. 2004: Az Észak-Hanság termőhelyi viszonyai és az erdőállományok kapcsolata. Doktori (PhD) értekezés. Sopron.
- Omuto, C.; Nachtergaele, F. and Rojas, R. V., 2013: State of the Art Report on Global and Regional Soil Information: Where are we? Where to go? Global Soil Partnership Technical Report. FAO. Rome.
- Pásztor, L.; Szabó, J.; Bakacsi, Zs.; Laborczi, A.; Dobos, E.; Illés, G. and Szatmári G. 2014: Elaboration of novel, countrywide maps for the satisfaction of recent demands on spatial, soil related information in Hungary. In: Arrouays et al (eds): Global Soil Map. Orléans, France, 207–212.
- 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.
- Pásztor, L.; Szabó, J.; Bakacsi, Zs.; László, P. and Dobos, M. 2006: Large-scale Soil Maps Improved by Digital Soil Mapping and GIS-based Soil Status Assessment. Agrokémia és Talajtan, 55(1): 79–88.
- Patocskai Z. 2012: Az erdészeti és a mezőgazdasági földértékelési rendszer ökológiai alapjainak összehasonlítása, az egységesítés lehetséges módjai. Doktori (PhD) értekezés, Sopron.
- Pelikán P. és Peregi Zs. (eds) 2005: Magyarország földtani térképe 1: 100000. Magyar Állami Földtani Intézet. <http://mafiloczky.mafi.hu/Fdt100>.
- Sanchez, P. A.; Ahamed, S.; Carré, F.; Hartemink, A.E.; Hempel, J.; Huising, J.; Lagacherie, P.; McBratney, A.B.; McKenzie, N.J.; de Mendonca-Santos, M.L.; Minasny, B.; Montanarella, L.; Okoth, P.; Palm, C.A.; Sachs, J.D.; Shepherd, K.D.; Vagen, T.G.; Vanlauwe, B.; Walsh, G.; Winowieczki, L.A. and Zhang, G.L. 2009: Digital soil map of the world. Science, 325: 680–681.
- Sisák, I. and Benő, A. 2014: Probability-based harmonization of digital maps to produce conceptual soil maps. Agrokémia és Talajtan, 63(1): 89–98.
- Sisák I. és Bámer B. 2008: Hozzászólás Szabó József, Pásztor László és Bakacsi Zsófia „Egy országos, átnézetes, térbeli talajinformációs rendszer kiépítésének igénye, lehetőségei és lépései” című cikkéhez. Agrokémia és Talajtan, 57(2): 347–354.
- Sisák I. és Pócze T. 2011: A talaj fizikai féleségre vonatkozó adatok harmonizálása egy Balaton környéki mintaterületen. Agrokémia és Talajtan, 60(1): 259–272.



- Somogyi, Z.; Bidló, A.; Csiha, I. and Illés, G. 2013: Carbon balance of forest soils of an entire country: a Hungarian country-specific model based on local case studies. *European Journal of Forest Research*, 132: 825–840.
- Szatmári G.; Laborczi A.; Illés G. és Pásztor L. 2013: A talajok szervesanyag-készletének nagyléptékű térképezése regresszió krígeléssel Zala megye példáján. *Agrokémia és Talajtan*, 62(2): 219–234.
- Tóth, G.; Montanarella, L.; Stolbovoy, V.; Máté, F.; Bódis, K.; Jones, A.; Panagos, P. and van Liedekerke, M. 2008: Soils of the European Union. EUR 23439 EN. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- Waltner, I.; Michéli, E.; Fuchs, M.; Láng, V.; Pásztor, L.; Bakacsi, Zs.; Laborczi, A. and Szabó, J. 2014: Digital mapping of selected WRB units based on vast and diverse legacy data. In: Arrouays, D. et al (eds): *Global Soil Map: Basis of the Global Spatial Soil Information System* Taylor & Francis Group. London, 313–318.

*Érkezett: 2014. július 27.  
Közlésre elfogadva: 2014. október 9.*

# KÜLÖNBÖZŐ FELSZÍNBORÍTÁSOK HIDROLÓGIAI HATÁSAI A KLÍMAVÁLTOZÁS TÜKRÉBEN ZALA MEGYE PÉLDÁJÁN

Csáki Péter, Kalicz Péter, Csóka Gergely, Brolly Gábor Béla, Czimer Kornél  
és Gribovszki Zoltán

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar*

## Kivonat

Zala megye területi vízmérlegének vizsgálata Magyarország távérzékelési adatokon alapuló párolgástérképeinek (Kovács 2011) felhasználásával történt. A megye többéves (1999–2008) átlagos aktuális párolgási és többéves átlagos lefolyási térképei kiértékelésre kerültek a felszínborítás függvényében. A megye éves átlagos párolgása (577 mm/év) 88%-a volt az éves átlagos csapadékösszegnek (655,7 mm/év) a vizsgált időszakban. A legmagasabb párolgásértékek a vizek, valamint az erdők és természetközeli területek felszínborítási kategóriáknál jelentkeztek. A klímaváltozás párolgásra gyakorolt hatásának értékeléséhez a többletvízhatástól független területeken a Budyko-féle modellt használtuk ( $\alpha$ -paraméter). A többletvízhatású pixelekre egy lineáris  $\beta$ -paraméterű modell került bevezetésre. A két paraméter térképének, valamint klímamodellek csapadékösszeg- és középhőmérséklet-előrejelzéseinek felhasználásával történt az éves átlagos párolgás valamint lefolyás becslése a 21. század végéig. Az előrejelzés alapján az éves átlagos aktuális párolgás kb. 5%-kal növekedhet, míg a lefolyás a harmadára csökkenhet a század végére.

*Kulcsszavak:* evapotranspiráció, lefolyás, felszínborítás, Budyko-modell, klímaváltozás

## HYDROLOGICAL IMPACTS OF DIFFERENT LAND COVER TYPES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE FOR ZALA COUNTY

### Abstract

Water balance of Zala county was analyzed using remote-sensing based evapotranspiration maps for Hungary (Kovács 2011). Mean (1999–2008 period) annual evapotranspiration and runoff maps were evaluated in the context of land cover types (Corine Land Cover 2006). The mean annual evapotranspiration of Zala county (577 mm/year) was 88 percent of the mean annual precipitation (655.7 mm/year) in the examined period. The highest evapotranspiration values were determined for water bodies as well as forest and semi natural areas. For evaluating the effects of climate change on evapotranspiration we used the Budyko-type model ( $\alpha$ -parameter), moreover a linear model with  $\beta$ -parameter was introduced for the extra-water affected pixels. Applying the two parameter maps and future data of climate models (mean annual temperature and precipitation) evapotranspiration and runoff predictions have been estimated by the end of the 21st century. According to the predictions, the mean annual evapotranspiration may increase by 5 percent while the runoff may decrease to the one third to the end of the century.

*Keywords:* evapotranspiration, runoff, land cover, Budyko-model, climate change

Levelező szerző/Correspondence:

Csáki Péter, 9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.; e-mail: csakipeti.nyme@gmail.com



## BEVEZETÉS

A vízháztartási egyenleg segítségével meg tudjuk határozni egy adott terület térben és időben változó vízkészletét. A mérleg felállítása nem egyszerű feladat, de hosszabb időszak távlatában a készletváltozást elhanyagolva a következő alakra egyszerűsödik (Zsuffa 1996):

$$P = ET + R \quad (1)$$

ahol  $P$  a csapadék,  $ET$  a párolgás és  $R$  a lefolyás. Mindegyik tag mm-ben értendő a vizsgált időtartamra (pl. mm/év).

A lehulló csapadék nagy része az evapotranszpiráció révén visszakerül a légkörbe, és csak egy kisebb rész jut a felszín alatti és felszíni vízkészletekbe (Hewlett 1982). Magyarországon az evapotranszpiráció és a lefolyás aránya 90 és 10% körül alakul. Ezért a hidrológiai körfolyamat jobb megismeréséhez elengedhetetlen a párolgás minél pontosabb meghatározása. Emellett az éghajlatváltozás kutatása területén is fontos szerepet tölt be: segítségével megbízhatóbb klimatikus előrejelzéseket lehet készíteni (Kovács 2011).

## A TERÜLETI PÁROLGÁS SZÁMÍTÁSA

### A komplementáris elmélet

Bouchet (1963) fél évszázaddal ezelőtt dolgozta ki elméletét, mely szerint a területi (aktuális,  $ET_A$ ) és a potenciális ( $ET_P$ ) párolgás komplementáris összefüggésben van, az összegük egyenlő a nedves környezeti párolgás ( $ET_W$ ) kétszeresével:

$$ET_A + ET_P = 2ET_W \quad (2)$$

ahol mindegyik tag mm-ben értendő egy adott időintervallumra vonatkozóan.

A potenciális párolgás akkor jön létre, ha az uralkodó légköri feltételeket nedves felszínre vonatkoztatjuk, tehát csak az elérhető energia korlátozza a párolgást. A nedves környezeti párolgás főként a felszín nettó sugárzásának ( $Q_n$ ) függvénye.  $ET_P$  és  $ET_W$  között az a lényeges különbség, hogy az utóbbihoz elegendően nagy méretű (néhány  $km^2$ ), nedves (folyamatosan jó vízellátottságú) felszín szükséges, amely már befolyásolni tudja a környezeti változókat (Kovács 2011).

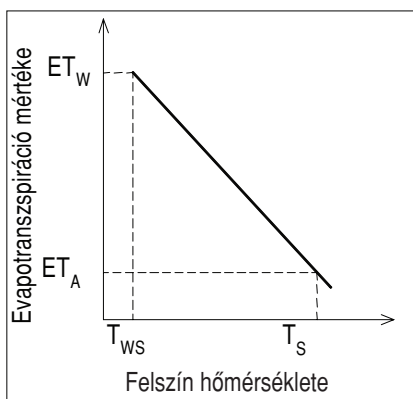
Tehát a 2. egyenlet szerint inverz kapcsolat van a területi és a potenciális párolgás között:

$$\Delta ET_A = -\Delta ET_P \quad (3)$$

### A CREMAP modell

Szilágyi és Józsa (2009) Morton komplementáris elméleten alapuló párolgásbecslő eljárását (WREVP, Morton és mtsai 1985) továbbfejlesztette egy MODIS adatokon alapuló térben osztott párolgászámítási módszerre. Szilágyi és Kovács (2010) ezt részben módosította, létrehozva az úgynevezett CREMAP (calibration-free evapotranspiration mapping technique) területi párolgásmodellt.





1. ábra: A CREMAP módszer lineáris transzformációjának sematikus ábrája (Kovács 2011 nyomán)  
 Figure 1: Schematic figure of the linear transformation of the CREMAP technique (after Kovács 2011)

A módszerük egy lineáris transzformáción alapul, melyhez két összetartozó pontpár szükséges (1. ábra): a nappali felszíni hőmérsékletek térbeli átlaga ( $T_S$ ) és a hozzá tartozó területi párolgás ( $ET_A$ ), valamint a felszín hideg (nedves) pontjaiból számolt átlaghőmérséklet ( $T_{WS}$ ) és a hozzá kapcsolódó nedves környezeti párolgás ( $ET_W$ ). E két összetartozó pontpár meghatároz egy egyenest a vizsgált időszakra (pl. egy hónapra), amivel cellánként leolvasható a párolgás értéke a felszíni hőmérséklet alapján (Szilágyi és mtsai 2011).

A MODIS-képek által kapott felszíni hőmérséklet adatok alkalmazását az indokolja, hogy mivel a párolgás nagy hőelvonással jár a felszínre nézve, a felszíni hőmérséklet térbeli változása integrált változóként tükrözi a párolgást befolyásoló tényezők térbeli változékonyságát (pl. talajban tározódott víz mennyisége, növényborítottság, területhasználat) (Kovács 2011).

A CREMAP modellel Kovács (2011) elkészítette Magyarország havi párolgástérképeit a 2000-2008 közötti időszakra, minden év márciusától novemberéig (a módszer nem alkalmas a téli hónapok párolgásának becslésére).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A Budyko-modell

A Budyko-modellt (Budyko 1974) gyakran használják a területi párolgás becslésére. A Budyko-görbe közelítésére számos megoldás született, ezek közül a legismertebbek a Schreiber (1904)-, az Ol'dekop (1911)-, a Turc (1954)-, a Pike (1964)-, a Budyko (1974) és a Porporato és mtsai (2004)-féle egyenletek (Gerrits és mtsai 2009). E modellek közül az egyik legkorábbi, a Schreiber-félet (1904, in Gerrits és mtsai 2009) használjuk, annak egyszerűsége miatt. Ez alapján a területi párolgás becslése (a továbbiakban a párolgás, a csapadék és a lefolyás mm/év-ben értendők):

$$ET_A = P(1 - \exp(-\phi)) = P \left( 1 - \exp \left( -\frac{ET_0}{P} \right) \right) \quad (4)$$

ahol  $ET_0$  a potenciális párolgás (Arora 2002).

A lefolyás meghatározása Schreiber alapján a következő (Fraedrich 2010):

$$R = P \exp \left( -\frac{ET_0}{P} \right) \quad (5)$$

Ebből a potenciális párolgás:

$$ET_0 = -P \left( \ln \left( \frac{R}{P} \right) \right) \quad (6)$$



$ET_0$  kifejezhető egy Magyarország területére érvényesnek tekintett kádpárolgási ( $ET_{pan}$ , U-típusú kádak adatai alapján kidolgozott) egyenlet függvényeként is a következőképpen (Nováky 1985):

$$ET_0 = f(ET_{pan}) = -\alpha ET_{pan} = -\alpha \left( 36400 \frac{T}{P} + 104 \right) \quad (7)$$

ahol  $\alpha$  kalibrációs paraméter, mely a felszínborítás változékonyságát adja meg (Keve és Nováky 2010),  $T$  pedig az éves középhőmérséklet ( $^{\circ}C$ ). A fentiek ismeretében az  $\alpha$  a következőképp számítható:

$$\alpha = -\frac{ET_0}{ET_{pan}} \quad (8)$$

Nováky szerint az éghajlati hatásvizsgálatokra a Budyko-modell osztott paraméterű változata alkalmazható (Nováky 1985, 1988, 2002). Az előző képlet alapján pixelenként számíthatjuk  $\alpha$ -t. Ennek meghatározása Zala megyére a következőképpen történt: a vizsgált kilenc éves időszakra számítottuk a potenciális párolgást (6-os egyenlet) és a kádpárolgást (a 7. egyenlet zárójelben lévő része) az aktuális párolgás térképek felbontásának megfelelő pixelekre ( $1 \text{ km}^2$ ), és ezek lettek a 8-as egyenletbe behelyettesítve.

A Budyko-féle  $\alpha$  paraméter nem használható, ha az  $ET_A$  értéke nagyobb, mint a  $P$ , ugyanis a 6. egyenlet nem értelmezhető az  $\ln$  utáni negatív előjelű  $R$  miatt (ezek főként a talajvíz-feláramlási területek és nagyobb víztestek), ezért másfajta összefüggés figyelembe vétele szükséges. Az ilyen „vizenyős” területeken az  $ET_A$  értéke általában jó összefüggésbe hozható az adott területre jellemző  $ET_{pan}$  értékekkel. Így az  $ET_A$  és az  $ET_{pan}$  hányadosaként egy másik kalibrációs paraméter,  $\beta$  számítható a következő képlet szerint (McMahon és mtsai 2012):

$$\beta = \frac{ET_A}{ET_{pan}} \quad (9)$$

A  $\beta$  meghatározása az  $\alpha$  paraméterhez hasonlóan történt, a többéves aktuális párolgás térkép felhasználásával és a kádpárolgás számításával, a 9. egyenlet alapján. A műveletekhez a térben osztott középhőmérséklet és csapadék adatok a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/ KONV-2012-0013 kutatásban rendelkezésre álltak.

A térben osztott paraméterek, a Budyko-féle  $\alpha$  és a kádpárolgási adatok alapján arányosító  $\beta$ , értékelhetők a felszínborítás függvényében, és alkalmasak a párolgás és lefolyás jövőbeni becslésére. Ehhez a térben osztott paraméter-értékeken kívül mindössze a klímamodellek térben osztott középhőmérséklet- és csapadék-összeg előrejelzéseire van szükség.

## Zala megye

Zala megye a Dunántúl nyugat-délnyugati részén helyezkedik el; északról Vas, keletről Veszprém, délről Somogy megye, nyugatról pedig Horvátország és Szlovénia határolja. Hazánk egyik legkisebb területű megyéje ( $3784 \text{ km}^2$ ), az ország területének mindössze 4%-át teszi ki [1].

Domborzatában meridionális völgyhálózattal erősen szabdaltságot mutató dombos felszíne az uralkodóak. A megye átlagos tengerszint feletti magassága  $184 \text{ m}$ , legmagasabb pontja a  $445 \text{ m}$  magas Köves-tető, mely a Keszthelyi-hegységben található.

Az éves középhőmérséklet átlagosan  $11,6 \text{ }^{\circ}C$  volt a vizsgált kilenc éves időszakban. A megye esőben és hóban gazdag terület, ahol az átlagosnál magasabb az évi csapadékösszeg. A vizsgált időintervallumban nyugaton nagyjából  $700 \text{ mm}$ , keleten pedig  $600 \text{ mm}$  volt az átlagos évi csapadékösszeg, a csapadék mennyisége ÉK-DNy-i irányban mutat növekvő tendenciát.

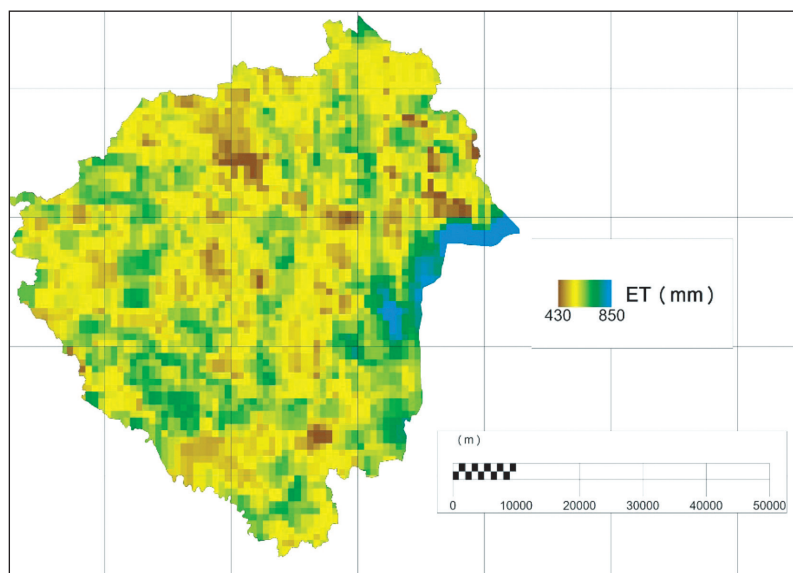
A tájhasználati módok közül uralkodóak a különböző mezőgazdasági területhasználatok, ezt követik az erdőgazdasági területhasználatok és a települési területfelhasználás. Az erdők és természetközeli területek felszínborítása jelentős, több mint a 37%-a a megye teljes területének (Corine Land Cover 2006, [2]).

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### A párolgás és a lefolyás értékelése

A Kovács (2011) által a 2000–2008-as időszakra készített havonkénti aktuális párolgás térképek felhasználásával készítettük a többéves átlagos aktuális párolgás térképet. A téli hónapok párolgásaként 20 mm-t hozzáadtunk az összegekhez (nagyjából ennyi a decembertől februárig tartó időszak párolgása). A térképeket, a statisztikai adatok kinyerését, valamint az ábrákat a DigiTerra Map v3 programmal készítettük.

A 2. ábrán Zala megye többéves (1999–2008) átlagos aktuális párolgásának térképe látható. Az átlagos  $ET_A$  kb. 577 mm/év volt a megyében, ez 88%-a a vizsgált időszakra vonatkozó éves átlagos csapadéknak (655,7 mm/év). Az ábrán a nagyobb városok jól kivehetők (a barna pixelek jelölik az alacsonyabb párolgásértékeket): Zalaegerszeg északon (kb. 470 mm/év), Nagykanizsa délen (kb. 482 mm/év), és Keszthely keleten (kb. 530 mm/év). A Balaton és a Kis-Balaton magas párolgása (kék és sötétzöld pixelek) mellett a megye DK-i és DNY-i részén is előfordulnak magas értékek.



2. ábra: Éves átlagos aktuális párolgás Zala megyében (1999-2008, 1\*1 km-es felbontás)  
 Figure 2: Mean annual actual evapotranspiration in Zala county (1999-2008, 1\*1 km resolution)

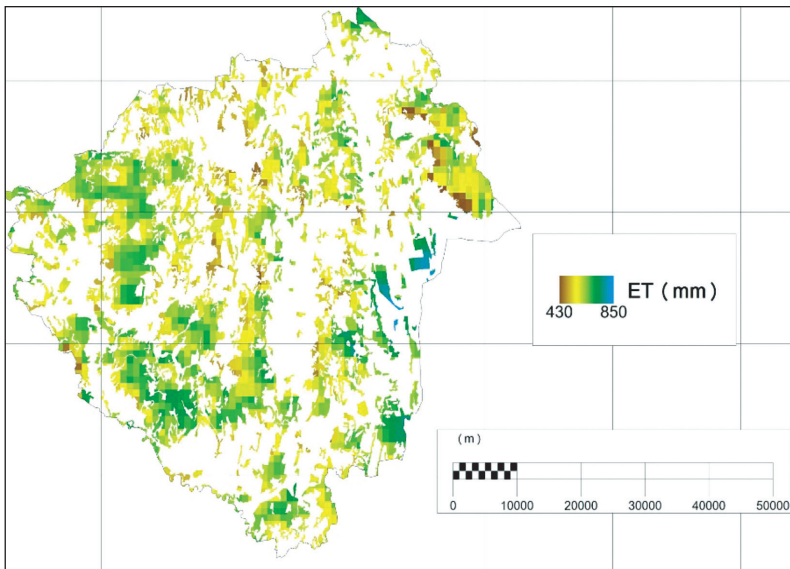
Az 1. táblázat tartalmazza az egyes felszínborítási típusokhoz (Corine Land Cover 2006 [2]) tartozó többéves átlagos párolgásértékeket. (Fontos megemlíteni, hogy mivel az 1x1 km-es felbontású raszteres párolgástérképeket vektoros felszínborítás térképpel vizsgáltuk, 1 pixelen belül több felszínborítási kategória is jelentkezhetett. Ezen „kevert pixelek” értéke több kategóriába is beszámításra került, ezzel tompítva a felszínborítási típusok között jelentkező különbségeket.) Az  $ET_A$  növekvő tendenciát mutat a mesterséges felszínektől a vizek felé. A szórás a legmagasabb a vizek esetében (97 mm).

1. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó többéves átlagos párolgásértékek (1999–2008)  
Table 1: Mean annual evapotranspiration rates of different land cover types (1999–2008)

Felszínborítási kategória	Párolgás éves átlag 1999–2008 (mm)				
	Min	Max	Átlag	P%*	Szórás
Mesterséges felszínek	450	703	562	86	38
Mezőgazdasági területek	434	721	569	87	35
Erdők és természetközeli területek	434	828	582	89	37
Vizenyős területek	461	729	622	95	53
Vizek	486	846	658	100	97

\*Az éves átlagos (1999–2008) csapadék %-ában.

Az erdők és természetközeli területekhez tartozó többéves átlagos párolgás térképi megjelenítése látható a 3. ábrán.

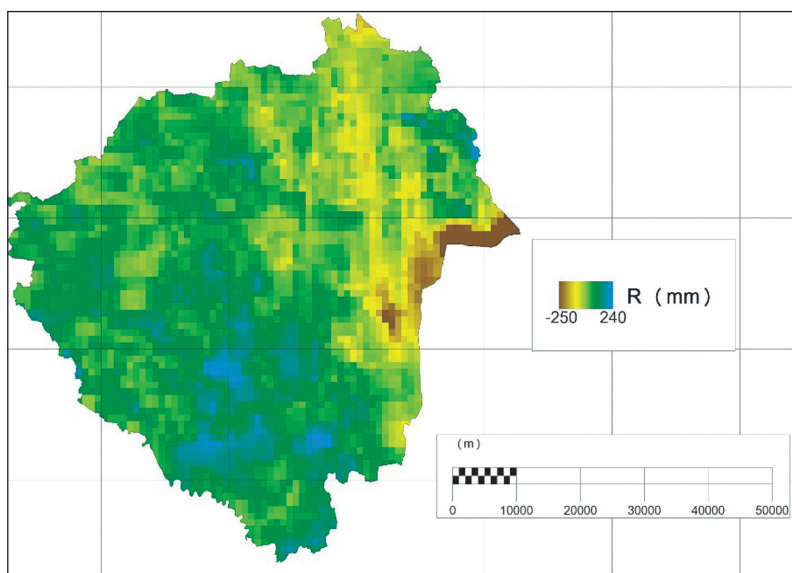


3. ábra: Erdők és természetközeli területek éves átlagos párolgása (1999–2008)  
Figure 3: Mean annual evapotranspiration over forest and semi natural areas (1999–2008)

Alacsonyabb értékek jellemzőek az ÉK-i (Keszthelyi-hegység), a középső és az É-i részekben fekvő erdőterületekre. Magasabb párolgásértéket mutatnak az erdők a vizenyős területek szomszédságában (Kis-Balaton környéke), valamint a megye DK-i részén, Zalaszentjakab határában, továbbá a Kerecseny és Zalamerenye közötti részen. Ugyancsak magasabb értékek jellemzőek Ny-on és DNy-on, különösen Letenye és Bázakerettye környékén.

A többéves (1999–2008) átlagos lefolyás (R) a vízháztartási egyenlet alapján (1. egyenlet), a többéves átlagos csapadék és párolgás különbségeként került előállításra.

Az K-i és ÉK-i részek alacsonyabb, míg a középső, D-i és DNy-i részek magasabb értékkel jellemezhetők (4. ábra). Az átlagos lefolyás kb. 78 mm/év volt a megyében a vizsgált időszakban, ami 12%-a az éves átlagos csapadéknak (655,7 mm/év).



4. ábra: Éves átlagos lefolyás Zala megyében (1999–2008)

Figure 4: Mean annual runoff in Zala county (1999–2008)

A legnagyobb lefolyás mesterséges felszíneken jelentkezik (2. táblázat), a mértéke csökken a további felszínborítási kategóriák esetében. Rendkívül alacsony lefolyás jellemző a vízenyős területekre, továbbá negatív a vizekre (ahol a párolgás általában nagyobb, mint a csapadék). Ez utóbbi felszínborítási kategóriánál jelentkezik a legmagasabb szórás (119 mm).

Erdők és természetközeli területek esetében alacsony a lefolyás a megye ÉK-i részén (Keszthelyi-hegység), valamint a vízenyős területek és a vizek (főleg a Balaton és a Kis-Balaton) szomszédságában. Ez utóbbi részeken negatív lefolyásértékek is megjelennek.

2. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó többéves átlagos lefolyásértékek (1999–2008)

Table 2: Mean annual runoff rates of different land cover types (1999–2008)

Felszínborítási kategória	Lefolyás éves átlag 1999–2008 (mm)				
	Min	Max	Átlag	P%*	Szórás
Mesterséges felszínek	-86	231	89	14	48
Mezőgazdasági területek	-88	231	87	13	45
Erdők és természetközeli területek	-181	214	77	12	46
Vízenyős területek	-98	140	2	0	58
Vizek	-250	211	-19	-3	119

\*Az éves átlagos (1999–2008) csapadék %-ában.

## Az $\alpha$ és $\beta$ paraméterek értékelése

A Budyko-típusú  $\alpha$  paraméter számítása a 6–8. egyenletek szerint történt. A paraméter egyes felszínborítási kategóriákhoz tartozó abszolút értékei a 3. táblázatban találhatóak. A mesterséges felszínektől az erdők és természetközeli területek felé haladva az  $\alpha$  abszolút értéke növekszik, a vizekhez és a vízenyős területekhez tartozik a legmagasabb érték, de mivel ezek kis pixelszámúak, kevésbé megbízhatóak.

3. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó Budyko-típusú  $\alpha$  paraméter (abszolút értékben)Table 3: The Budyko-type  $\alpha$  parameter (absolute values) of different land cover types

Felszínborítási kategória	$\alpha$ paraméter			
	Min	Max	Átlag	Szórás
Mesterséges felszínek	1,03	4,59	1,80	0,42
Mezőgazdasági területek	0,96	7,48	1,86	0,46
Erdők és természetközeli területek	0,96	7,48	1,98	0,51
Vizenyős területek	1,08	5,88	2,42	1,05
Vizek	1,15	6,30	2,16	0,87

Keve és Nováky (2010), a Bácsbodoki-Kígyós csatorna vízgyűjtőjére végzett vizsgálat kapcsán, különböző felszínborítási kategóriákra becsült Budyko-típusú  $\alpha$  értékeket. Az összevethető kategóriák alapján megállapítható, hogy az értékek hasonló tendenciát mutatnak az általunk számítottakhoz.

Ahogy arról már korábban volt szó, az  $\alpha$  paraméter nem számítható, ha a térképeken az adott pixelhez tartozó párolgásérték ( $ET_A$ ) magasabb, mint a hozzá tartozó csapadékérték ( $P$ ). Ez főként vizenyős területek és vizek esetében fordul elő. Ezekre a pixelekre egy másik paraméter, a  $\beta$  lett számítva, a 9. egyenlet alapján. Az egyes felszínborítási kategóriákhoz tartozó  $\beta$  értékek a 4. táblázatban találhatók.

A mezőgazdasági területektől  $\beta$  kismértékben növekszik a vizenyős területekig, majd jelentősebben nő a vizeknél. A legnagyobb maximum értékek a vizek mellett (1,08) az erdők esetében (1,07) tapasztalhatók, 7 és 8%-kal meghaladva a számított kádpárolgási (U-kádra vonatkozó) értéket.

4. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó  $\beta$  paraméterTable 4: The  $\beta$  parameter of different land cover types

Felszínborítási kategória	$\beta$ paraméter			
	Min	Max	Átlag	Szórás
Mesterséges felszínek	0,72	0,91	0,80	0,05
Mezőgazdasági területek	0,72	0,93	0,80	0,05
Erdők és természetközeli területek	0,72	1,07	0,81	0,06
Vizenyős területek	0,72	0,95	0,82	0,05
Vizek	0,76	1,08	0,91	0,09

## A párolgás és a lefolyás előrevetítése

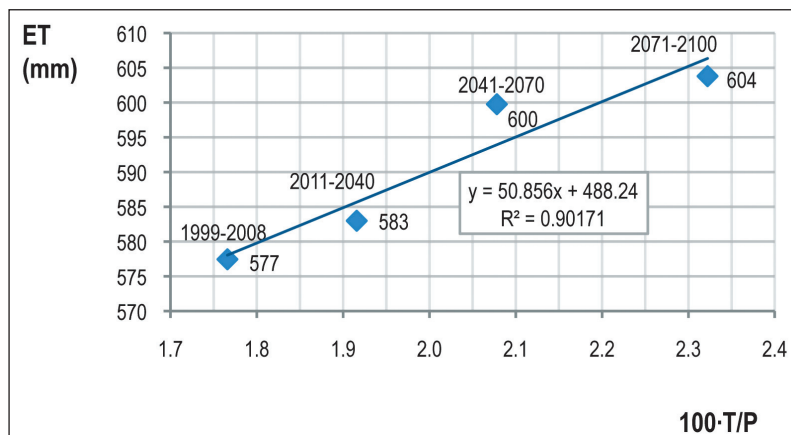
Zala megye párolgásának és lefolyásának jövőbeli becsléséhez az előállított Budyko- $\alpha$  és a  $\beta$  paraméterek térképei mellé hőmérséklet- és csapadékadatokra volt szükség. Ezek 12 regionális klímamodell (RCM) adatainak átlagolásával, három időszakra (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100) lettek előállítva (Csóka 2013).

Mint minden modell, a regionális klímamodellek is terheltek bizonyos mértékű hibával (például a szélsőséges időjárási eseményeket alulbecsülik, Bartholy és mtsai 2011), bár ez a sokéves átlagokat tekintve nem számottevő. Több modell eredményeinek átlagolásával megbízhatóbb végeredményhez jutunk, mivel az egyes modellek bizonytalanságait így csökkenteni tudjuk. Csóka (2013) vizsgálata alapján az átlagolt 12 RCM modellhibájának mértéke országos szinten elfogadható (az éves átlaghőmérséklet esetében átlagosan 0,63 °C, az éves csapadékösszeg esetében átlagosan 37,71 mm adódott).

Az aktuális párolgás jövőbeli, térben osztott adatai a 4., a 7. és a 9. egyenletek alapján készültek, a lefolyás pedig a csapadék- és a párolgás-adatok különbségként lett előállítva.



A vizsgált 1999–2008-as, valamint az előre jelzett három időszak (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100) becsült éves átlagos aktuális párolgása az éghajlati mutató ( $100 \cdot T/P$ , Nováky 1985) függvényében az 5. ábrán látható. Az előrejelzés alapján az éves középhőmérséklet jelentősen megnő a 21. század végére,  $11,6^\circ\text{C}$ -ról  $14,6^\circ\text{C}$ -ra. A csapadék tekintetében kismértékű, kb. 25 mm-es csökkenésről beszélhetünk. Ezek eredményeképp az éves átlagos aktuális párolgás kb. 27 mm-rel nőne meg (577 mm-ről 604 mm-re, a csapadék %-ában kifejezve 88%-ról 96%-ra).



5. ábra: Az éves átlagos párolgás alakulása az éghajlati mutató függvényében  
 Figure 5: The trend of mean annual evapotranspiration in the context of climatic index

A különböző felszínborítási kategóriák szerinti értékeket az 5. táblázat tartalmazza. A felszínborítási kategóriák szerint az éghajlati mutató növekedésével a vizenyős területek és a vizek párolgása jobban elrugaszkodik a többi kategóriáétól, esetükben az előrejelzés alapján 90–100 mm párolgásnövekedés várható a 21. század végére. A mesterséges felszínek, a mezőgazdasági területek, valamint az erdők és természetközeli területek párolgása fokozatosan nőhet, de az egymáshoz képesti arányokban nem változik jelentősen.

5. táblázat: A 1999–2008-as, valamint a jövőbeli három időszakhoz tartozó éves aktuális párolgás értékei az egyes felszínborítási kategóriák szerint, továbbá csapadék, középhőmérséklet és éghajlati mutató

Table 5: The annual actual evapotranspiration of different land cover types, moreover annual precipitation, mean annual temperature and climatic index belonging to the 1999–2008 and the three future period

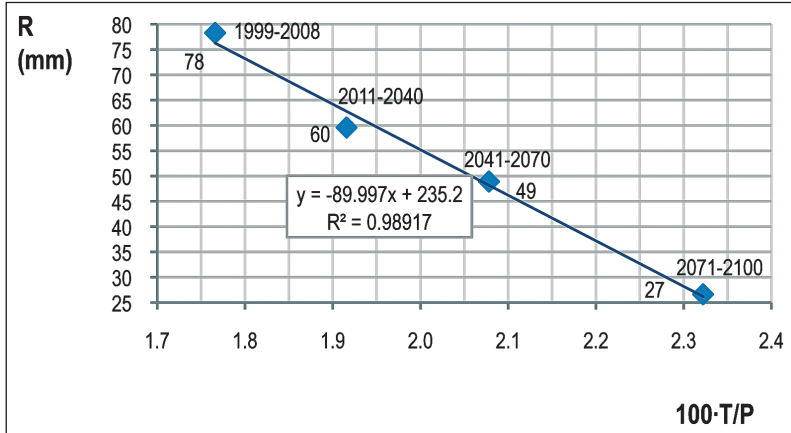
Időszak	Párolgás éves átlag (mm)					P (mm)	T ( $^\circ\text{C}$ )	100-T/P
	MF*	MGT	ETT	VT	V			
1999–2008	562	569	582	622	658	655,7	11,6	1,8
2011–2040	567	574	586	646	684	642,6	12,3	1,9
2041–2070	583	590	602	677	718	648,7	13,5	2,1
2071–2100	585	592	604	714	759	630,4	14,6	2,3
Meredekség	45,730	43,524	44,213	167,610	182,730	–	–	–
R <sup>2</sup> #	0,880	0,865	0,867	0,998	0,998	–	–	–

\* MF: mesterséges felszínek, MGT: mezőgazdasági területek, ETT: erdők és természetközeli területek, VT: vizenyős területek, V: vizek

# Determinációs koefficiens

Mindegyik trend 0,01-es szignifikanciaszint mellett elfogadható (a kritikus R-értékek táblázatával összehasonlítva, Orbay 1990).

A vizsgált 1999–2008-as, valamint az előre jelzett három időszak (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100) becsült éves átlagos lefolyása az éghajlati mutató függvényében a 6. ábrán látható. Az éves átlagos lefolyás esetében a 21. század végére 51 mm-es csökkenés detektálható, a lefolyás a csapadék %-ában durván a harmadára csökken (kb. 12%-ról 4%-ra).



6. ábra: Az éves átlagos lefolyás alakulása az éghajlati mutató függvényében

Figure 6: The trend of mean annual runoff in the context of climatic index

A különböző felszínborítási kategóriák szerinti lefolyás-értékeket a 6. táblázat tartalmazza. A vizek és a vizenyős területek esetében egyértelműen a többletpárolgás dominál, ez a század végére az előbbinél kb. –144 mm, az utóbbinál kb. –115 mm-es negatív vízmérleget eredményez az előrejelzés szerint. A mesterséges felszínek, a mezőgazdasági területek, valamint az erdők és természetközeli területek lefolyása egyre csökkenhet (pl. az erdők esetében kb. 77 mm-ről 29 mm-re), de az egymáshoz képesti arányokban nem változik jelentősen.

6. táblázat: A vizsgált 1999–2008-as, valamint az előre jelzett három időszakhoz tartozó éves lefolyás az egyes felszínborítási kategóriák szerint, továbbá csapadék, középhőmérséklet, valamint az évet jellemző éghajlati mutató

Table 6: The annual runoff of different land cover types, moreover annual precipitation, mean annual temperature and climatic index belonging to the 1999–2008 and the three future period

Időszak	Lefolyás éves átlag (mm)					P (mm)	T (°C)	100-T/P
	MF*	MGT	ETT	VT	V			
1999–2008	89	87	77	2	–19	655,7	11,6	1,8
2011–2040	71	69	59	–36	–58	642,6	12,3	1,9
2041–2070	61	59	50	–61	–86	648,7	13,5	2,1
2071–2100	40	39	29	–115	–144	630,4	14,6	2,3
Meredekség	–84,625	–83,215	–83,281	–205,770	–220,090	–	–	–
R <sup>2</sup> #	0,988	0,988	0,988	0,994	0,996	–	–	–

\* MF: mesterséges felszínek, MGT: mezőgazdasági területek, ETT: erdők és természetközeli területek, VT: vizenyős területek, V: vizek

# Determinációs koefficiens

Mindegyik trend 0,01-es szignifikanciaszint mellett elfogadható (a kritikus R-értékek táblázatával összehasonlítva, Orbay 1990).

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az egyik legkorszerűbb párolgásbecslő modellel (CREMAP) készített térképeket (Kovács 2011) felhasználva és továbbszerkesztve vizsgáltuk Zala megye területi vízmérlegét. Az előállított többéves (1999–2008) párolgás- és lefolyástérképek kiértékelésre kerültek a felszínborítás függvényében. A megye többéves átlagos párolgása 577 mm/év volt, ez 88%-át jelenti a vizsgált időszak éves átlagos csapadékösszegének (655,7 mm/év). A vizek, valamint az erdők és természetközeli területek felszínborítási kategóriáknál jelentkeztek a legmagasabb párolgásértékek. A többéves átlagos lefolyás 78 mm/év volt, ami 12%-a az éves átlagos csapadéknak. A legnagyobb lefolyás mesterséges felszíneken jelentkezett, a mértéke csökkent a további felszínborítási kategóriák esetében. A globális klímaváltozás párolgásra gyakorolt hatásának értékeléséhez a többletvízhatástól független területeken a Budyko-féle modellt használtuk ( $\alpha$ -paraméter), míg a többletvízhatású pixelekre egy lineáris  $\beta$ -paraméterű modellt vezettünk be. A két paraméter térképeinek, valamint klímamodellek csapadékösszeg- és középhőmérséklet-előrejelzéseinek felhasználásával történt az éves átlagos párolgás valamint az éves lefolyás jövőbeli becslése három időszakra (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100), térben osztott módon. Az előrejelzés alapján az éves átlagos párolgás körülbelül 27 mm-el növekedhet, míg a lefolyás közelítőleg a harmadára csökkenhet a század végére.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás és ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Gribovszki Zoltán publikációt megalapozó kutatása a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arora, V. K. 2002: The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff. *J. Hydrol.*, 265: 164–177.
- Bartholy J.; Bozó L. és Haszpra L. (eds) 2011: Klímaváltozás – 2011 Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Bouchet, R. J. 1963: Evapotranspiration reelle, evapotranspiration potentielle, et production agricole. *Annal. Agronom.*, 14: 543–824.
- Budyko, M. I. 1974: *Climate and Life*, Academic, Orlando, Fla.
- Csóka G. 2013: A klímaváltozás vízgazdálkodási hatásainak vizsgálata éghajlat-lefolyási modellekkel. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Fraedrich, K. 2010: A Parsimonious Stochastic Water Reservoir: Schreiber's 1904 Equation. *J. Hydrometeor.*, 11: 575–578.
- Gerrits, A. M. J.; Savenije, H. H. G.; Veling, E. J. M. and Pfister, L. 2009: Analytical derivation of the Budyko curve based on rainfall characteristics and a simple evaporation model. *Water Resources Research*, 45: 4.
- Hewlett, J. D. 1982: *Principles of forest hydrology*, The University of Georgia Press, Athens.
- Keve G. és Nováky B. 2010: Klímaváltozás hatásának vizsgálata a Bácsbokodi-Kigyós csatorna vízgyűjtőjén Budyko modell alkalmazásával. A Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Országos Vándorgyűlése (Sopron, 2010. július 7–9.)
- Kovács Á. 2011: Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.



- McMahon, T. A.; Peel, M. C.; Lowe, L.; Srikanthan, R. and McVicar, T. R. 2012: Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9: 11829-11910, doi:10.5194/hessd-9-11829-2012
- Morton, F.I.; Ricard, F. and Fogarasi, S. 1985: Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – Program WREVAP. National Hydrological Research Institute Paper #24, Ottawa, Ontario, Canada.
- Nováky B. 1985: A lefolyás éghajlati adottságai a Zagyva-Tarna vízrendszerben. *Vízügyi Közlemények*, 1: 78–93.
- Nováky B. 1988: A műszaki-hidrológiai jellemzők térképi bemutatásának módszertani kérdései. *Hidrológiai Közlöny*, 4: 193-206.
- Nováky, B. 2002: Mapping of mean annual actual evaporation on the example of Zagyva catchment area. *Időjárás (Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service)*, 3–4: 227–238.
- Orbay L. 1990: A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása. Dr. Kozák Antal előadásai alapján írt kézirat. Erdészeti és Faipari Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron.
- Priestley, C. H. B. and Taylor, R. J. 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather Rev.*, 100: 81–92.
- Szilágyi, J. and Józsa, J. 2009: Estimating spatially distributed monthly evapotranspiration rates by linear transformations of MODIS daytime land surface temperature data. *Hydrol. Earth System Sci.*, 13(5): 629–637.
- Szilágyi, J. and Kovács, Á. 2010: Complementary-relationship-based evapotranspiration mapping (CREMAP) technique for Hungary, *Periodica Polytechnica - Civil Engineering*, 54(2): 95–100.
- Szilágyi, J.; Kovács, Á. and Józsa, J. 2011: A calibration-free evapotranspiration mapping (CREMAP) technique. In: Labeledzki, L. (ed): *Evapotranspiration*. InTech, Rijeka, Croatia.
- Zsuffa I. 1996: *Műszaki hidrológia I.*, Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- [1] Zala megye: <http://www.terport.hu/megyek/magyarorszag-megyei/zala-megye> (hivatkozva: 2013. 11. 03.)
- [2] Corine Land Cover (2006): <http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006> (hivatkozva: 2013. 11. 03.)

*Érkezett: 2014. május 19.  
Közlésre elfogadva: 2014. október 7.*

# A ZALAI FAÁLLOMÁNYOK MAGASSÁGI NÖVEKEDÉSÉNEK ÉS FATERMÉSÉNEK KAPCSOLATA A TERMŐHELYI TÉNYEZŐKKEL

Illés Gábor<sup>1</sup>, Kollár Tamás<sup>1</sup>, Veperdi Gábor<sup>2</sup> és Führer Ernő<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Erdőművelési és Ökológiai Osztály

<sup>2</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

## Kivonat

A klímaváltozás erdőgazdálkodást érintő egyik legnagyobb kihívása a jövőbeni fajaválasztás szakmai alátámasztása lesz. A problémát a jelenleg alkalmazott gyakorlati módszerrel nem tudjuk teljes körűen megoldani. Az AGRÁRKLÍMA projekt keretében Zala megye erdőtervi adatainak, a NAIK ERTI hosszúlejáratú fatermési kísérletek mérési eredményeinek, valamint a projekt keretében létrehozott térinformatikai adatbázisnak a felhasználásával vizsgáltuk a faállományok magassági növekedésének termőhely-függőségét a megye területére vonatkozóan. A vizsgálatok során azonosítottuk azokat a termőhelyi és egyéb tényezőket, amelyek a faállományok növekedését döntően befolyásolják. Ezek ismeretében többváltozós regressziós módszerekkel a bükk, a kocsánytalan tölgy, a csertölgy és az erdei fenyő magassági növekedésének számszerűsítésére függvényeket készítettünk. A vizsgálatok alapján biológiai értelemben magas, 0,65–0,87 közötti, r-négyzet értékekkel jellemezhető összefüggéseket találtunk. A famagasságot leginkább meghatározó tényezőknek a faállományok kora, a klímát jellemző erdészeti ariditási index, a talajok termőréteg vastagsága és azok fizikai félesége bizonyult. A regressziós összefüggések és a megyére készült új fatermési táblák felhasználásával térképeket készítettünk, melyek a klímaváltozás miatti erdészeti ariditási index változásának következtében várható fatermési osztály és fatermőképesség változását mutatják. A módszer alkalmas arra, hogy a változó klímában, a fafajok változó növekedési erélyét becsülni lehessen, és így a jövőbeni fajaválasztást pontosítani tudjuk.

*Kulcsszavak:* klímaváltozás, famagasság, növedék becslés, térinformatika

## FORESTS' YIELD AND HEIGHT GROWTH DEPENDENCE ON SITE CONDITIONS IN COUNTY ZALA HUNGARY

### Abstract

One of the upcoming most severe issues in forestry in relation with climate change is set up a sound base for correct choice of applicable species. The current practice is unable to entirely solve this problem. Within the framework of AGRÁRKLÍMA project we investigated the site dependence of height growth for some species in county Zala. For the study we used data of different sources: forest management plans, long-term experimental plots of NARIC FRI for yield assessments, and site



characteristics. We identified the factors from the dataset, which have main influence on height growth of the following species: beech, sessile oak, turkey oak, scots pine. Using multiple regressions we derived functions to assess height growth of above species. We found biologically high values of R-square between 0.65 and 0.87. Beside the age of the stands the most influencing factors were: forest aridity index, rootable depth, and soil texture. Using the regression equations and the new yield tables for the county we prepared maps showing the expected change in yield classes and growth-capacity according to the increase of aridity index due to climate change. This method makes us able to support yield based choice of tree species for future afforestations and regenerations.

**Keywords:** climate change, tree height, yield assessment, GIS

## BEVEZETÉS

Az erdőgazdálkodásnak mindig fontos kérdései voltak az alábbiak:

- Milyen fafajokat ültessünk egy adott termőhelyre?
- Milyen lesz a várható növekedés?

Az egyes fák és faállományok magassági növekedésében két tényezőcsoport játszik döntő szerepet. Egyrészt a faj genetikai, biológiai sajátosságai, másrészt a fa környezeti, illetve termőhelyi adottságai. A magyarországi erdészeti szakirodalomban a napi gyakorlatot is meghatározó több alapvető összegző munka taglalja ezeket a kérdéseket (Babos 1954; Danszky 1963). A klímának, a hidrológiának és a talajoknak, mint a termőhely meghatározó elemeinek jelentőségét az erdészeti kutatók sosem kérdőjelezték meg. A termőhelyi kutatásokkal együtt, illetve azok mellett a faterméstani igyekezett, és igyekszik az egyes fafajokra jellemző növekedésmentet meghatározni (Béky 1981; Kovács 1983; Mendlik 1983; Solymos 1993). Az Erdészeti Tudományos Intézetben Solymos Rezső vezetésével indult kísérleti alapú faterméstani vizsgálatok is ezt a célt szolgálták (Béky és mtsai 1990). A faállományok és azok várható növekedési erélyét termőhely típusonként taglaló, mindeddig legátfogóbb, gyakorlati hasznosítású munka Járó Zoltán nevéhez fűződik (Járó 1970). Ezt a munkát legutóbb Tímár és mtsai (2005) újították meg, de ez is alapvetően az eredeti Járó-féle koncepciót követi. Az erdőtervezési irányelvekben ma még ezt a koncepciót alkalmazzák, vagyis a meghatározó termőhelyi paraméterek alapján, faterméstani szempontokat figyelembe véve (termőhely-állóság és hozam-optimalizálás) határozzák meg a felújításokban alkalmazható és alkalmazandó fafajok körét.

A klímaváltozás miatt új helyzet adódik. Az egyes termőhelyek olyan változatokba csúsznak át, amik jelenleg nem szerepelnek az erdőtervezési útmutatóban és így az nem ad automatikus megoldási lehetőséget a megváltozott termőhelyi adottságok kihasználására. Ilyen eset például az, amikor egy gyertyános tölgyes klímájú agyagbemosódásos barna erdőtalaj „föül” elmegy az a klíma, amiben a kérdéses talajtípus kialakulhatott, az új cseres-tölgyes klímában pedig nem opció jelenleg az agyagbemosódásos barna erdőtalaj. Ezen okok miatt tehát nem lehet minden esetben reális alternatívát adni a termőhelyek fatermési potenciáljára nézve. Ezért olyan vizsgálatokba kezdünk, amelyek összefüggésbe hozzák a termőhelyi és fatermési jellemzőket annak érdekében, hogy az egyes termőhelytípusokon alkalmazható célállományok és azok várható növekedése című, a gyakorlatban alkalmazott táblázatok megújítása, ill. kibővítése az új helyzetnek megfelelően megtörténhessen.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálatokat Zala megyében, a klímaváltozással leginkább érintet magyarországi területen végeztük el. Tekintettel arra, hogy az egyes fafajok magassági növekedése nagyban függ a termőhelyet jellemző klimatikus- és talaj-adottságtól, kerestük a közöttük fennálló kapcsolatot. A vizsgálatok kiindulási adatai négy for-



rásból származtak. Az egyik adatsorba Zala megye érvényes erdőtervi adatai tartoznak, melyeket a Zala megyei Kormányhivatal Erdészeti Igazgatósága bocsátott rendelkezésre. Ez az adatbázis több, mint 44 ezer erdőrészlet adatát tartalmazza, és a 2010-es évre jellemzőek. Második adatforrásunk a NAIK ERTI hosszúlejáratú kísérleti területeinek adatai a bükk, fafajra nézve Zala megye területén. Ezek az adatsorok közel 50 év korszakonkénti fatermési felvételeit tartalmazzák. A parcellák száma 9 db, melyek méréseit az eredmények validációjához használtuk. Az adatok 1961 és 2011 közötti időszakot jellemzik. Harmadik adatforrásunk, egy főleg környezeti segédváltozókat tartalmazó térinformatikai rendszer. Ezt a projekt keretében hoztuk létre és a megyére jelenleg jellemző klimatikus (OMSZ), hidrológiai (MÁFI), geológiai (MÁFI), talaj (TAKI) és a jövőbeni klimatikus viszonyokat (Hamburgi Klímakutató Központ) írja le. A fatermési osztály és a fatermőképesség alakulására vonatkozóan pedig az AGRÁRKLÍMA projekt keretében Zala megyére készült új fatermési táblák adatait (Veperdi 2013) használtuk fel.

A vizsgálatok első fázisa során az erdészeti adatbázisból leválogattuk azokat az erdőrészeket, amelyekben a főfafajok elegyaránya 50% feletti és koruk 25 évnél idősebbek. Erre azért volt szükség, hogy már beállt és kellően homogén faállományokat vizsgálhassunk. Ezekhez az erdőrészletekhez a térinformatikai adatbázisból hozzárendeltük a mai erdészeti gyakorlat szerinti (Járó 1970) termőhelyi paramétereiket:

- a hidrológiai kategóriát (TVFLEN-VIZB),
- a genetikai talajtípust,
- a termőréteg vastagságot (ISE-IMÉ),
- a talajfizikai féleséget (TÖ-NA) és végül
- az erdészeti ariditási indexszel (FAI) jellemzett klímát.

Ezek a változók – a genetikai talajtípus kivételével – egy ordinális skálán (jobb-rosszabb) értelmezhetőek, így paraméteres statisztikai próbáknak is alávethetőek (1. táblázat). A hidrológiai kategóriák változása a növekvő víztöbbletet, a termőréteg vastagság a begyökerezettség mélységét, míg a talaj fizikai félesége a vízáteresztő-, ill. vízvisszatartó-képesség mértékét jellemzi. Más meteorológiai paraméterek helyett a FAI alkalmazására azért került sor, mert az, a Magyarországon alkalmazott erdészeti klímaosztályok lehatárolására és jellemzésére lett kifejlesztve. Növekvő értékei az egyes fajok növekedése és vitalitása szempontjából kedvezőtlenebb klimatikus feltételeket mutatnak (Führer 2010; Führer és mtsai 2011).

A kiválasztott erdőrészletek adatai közül három paramétert használtunk:

- a fajtát,
- a faállomány korát (ezt logaritmus skálán ábrázoltuk a linearitás megteremtése miatt),
- végül pedig a famagasságot.

A klímafüggőség miatt vizsgáltuk a bükköt – *Fagus sylvatica* L. – B; a kocsánytalan tölgyet – *Quercus petraea* Matt. – KTT; a csertölgyet – *Quercus cerris* L. – CS; illetve nagyobb térfoglalása miatt az erdei fenyőt – *Pinus sylvestris* L. – EF. A felsorolt fajok Zalában 47 450 ha területet borítanak (1. ábra), ez a megye teljes erdőterületének 37,7%-a, a teljes élőfakészletnek pedig 50,6%-a.

A továbbiakban a vizsgálatokat fajonként végeztük el. Kerestük az egyes termőhelyi paraméterek és a magassági növekedés között kimutatható összefüggést, és hogy mutatnak-e az adatok érzékelhető strukturáltságot. Ezekhez alapstatisztikai vizsgálatokat, kategorizált diagramokat használtunk.

A famagasság alakulásának modellezésére többváltozós „stepwise” regresszió analízist használtunk. Független változónak a famagasságot tekintettük, a többi változó pedig prediktorként (magyarázó változó) szerepelt. A regressziós összefüggések felállításához az 1960–90, illetve az 1980–2010 közötti időszakok klimatikus tényadatait és növekedési adatait tekintettük kiindulásnak, amit az időszakok FAI értékei és az erdőtervi adatok reprezentáltak. A regressziós egyenletekkel reprodukáltuk az 1990-es évek végére és a jelenlegi kor- és fajösszetételre vonatkozó faállomány magasságokat és ezeket összehasonlítottuk a fatermési parcellák, illetve az erdészeti üzemterv adataival. A validáció után három jövőbeni időszakra állítottunk elő famagassági modelleket úgy, hogy a FAI értékek változtatásával érvényesítettük a várható klímaváltozás hatásait.

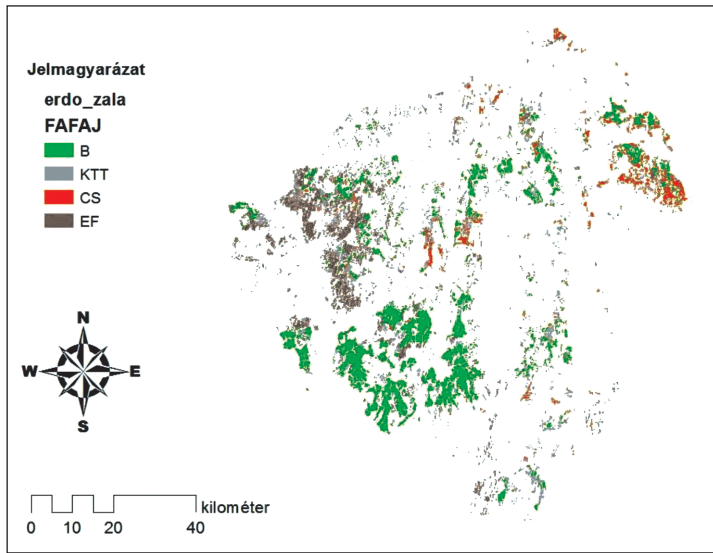
(A FAI-hoz szükséges alapadatokat a hamburgi klímakutató központ adatai jelentették). A modellezett időszakok a 2011–40, 2041–70 illetve a 2071–2100 időszakok voltak, amiket rendre a 2025, 2055, és 2085 dátumokkal jeleztünk.

1. táblázat: Az egyes termőhelyi jellemzők kategóriái és hatásuk értelmezése  
Table 1: Categories of site characteristics and the interpretation of their impacts

Hidrologiai kategória	Reprezentált hatás	Kód	Fizikai talajféleség	Reprezentált hatás	Kód	Termőréteg vastagság	Reprezentált hatás	Kód
TVFLEN – többlet vízhatástól független	A növekvő értékek átlagosan erősödő, vízhatást jeleznek	1	TÖ – törmelék	A növekvő értékek átlagosan növekvő diszponibilis víztartalmat jeleznek	1	ISE – igen sekély	A növekvő értékek a talaj begyökerezhető mélységének növekedését jelzik	1
SZIV – szivárgó víz		2	DH – durva homok		2	SE – sekély		2
VÁLT – változó vízellátású		3	H – homok		3	KMÉ – közép mély		3
IDŐSZ – időszakos vízhatás		4	NA – nehézagyag		4	MÉ – mély		4
ÁLL – állandó vízhatás		5	AH – Agyagos homok		5	IMÉ – igen mély		5
FELSZ – felszínig nedves		6	HV – homokos vályog		6			
VIZB – vízzel borított		7	KT – kotu, tőzeg		7			
			A – agyag		8			
			HA – homokos agyag		9			
			AV – agyagos vályog		10			
			V – vályog		11			

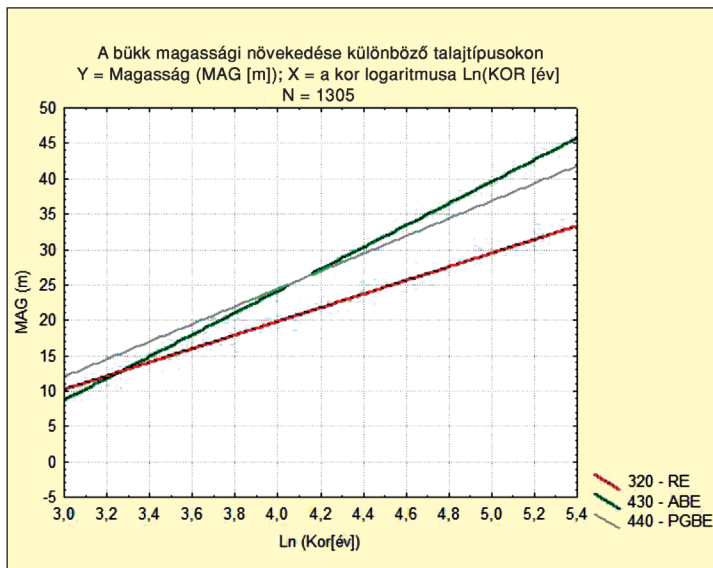
Az előremetszésnél az erdőterületek állományait korosbítottuk. Ennek folyamán figyelembe vettük a jelenlegi erdőtervi adatok alapján becsülhető legmagasabb átlagos állománykort fajonként. Amikor a korosbítás során az állományok kora túllépte volna ezt a maximum kort, akkor az új időszakban az adott állomány korát a korosbítás során adódott kor és a maximum kor különbözeteként vettük figyelembe. Így a korosztályszerkezet változását is becsültük. A klímaváltozás scenárióinak megfelelő modellezés során az adott erdőrészeket fajajait nem változtattuk, tehát minden erdőrészletben a jelenlegi fajösszetételt tartottuk meg.

A fajonként összeállított kor-magasság adatok birtokában az új, helyi fatermési táblák felhasználásával minden egyes erdőrészletre meghatároztuk a scenáriók időszakaira érvényes fatermési osztályt és fatermőképességet. Az egyes időszakok eredményeit ezután statisztikai és térinformatikai környezetben értékeltük fajonként és a megyére összességében is.



1. ábra: A vizsgált fajok aktuális területfoglalása (pixel méret 100 m)  
 Figure 1: Forest area covered by studied species (pixel size 100 m)

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK



2. ábra: A bükk magassági növekedése egyes talajtípusokon  
 Figure 2: Height growth of beech on different soils

A zalai, átlagosan is jónak mondható tenyészeti feltételek mellett leginkább a biológiai sajátosságok határozzák meg a növekedést. Ennek megfelelően a kornak mindig is meghatározó szerepe lesz a magassági növekedés alakulásában. A kor előrehaladtával az egyes fajok magassági növekedési erélyében megmutatózó különbségeket pedig elsősorban a termőhelyi paraméterek befolyásolják. A bükk különböző talajtípusokon lévő állományainak kor-magasság grafikonjai mutatják, hogy a talaj miként befolyásolja a magassági növekedés sebességét (2. ábra). A gyengébb tulajdonságú talajok (RE - rendzinák) esetén az egyenesek meredeksége kisebb, mint a jobb termékenységűeké (ABE – agyagbemosódásos barna erdőtalajok).

2. táblázat: Fajok kor-magasság regressziós vizsgálatai a termőhely függvényében  
Table 2: Site dependent age-height regressions for the studied species

Faj	Elemzés – N (db)	Prediktor változók	R-négyzet értéke
B	1305	Kor, FAI, termőréteg vastagság, fizikai talajféleség	0,65
KTT	635	Kor, FAI, termőréteg vastagság	0,87
CS	712	Kor, FAI, termőréteg vastagság, fizikai talajféleség	0,57
EF	2346	Kor, FAI, termőréteg vastagság, fizikai talajféleség	0,78

Az ok-okozati kapcsolatok érdekében végzett regressziós vizsgálatok az egyes fajok esetében szignifikáns, szoros eredményeket hoztak (2. táblázat), melyekből az alábbi megállapítások tehetők:

- a kornak a többi tényezőhöz képesti súlya 2–8-szoros értéket mutat, átlagban 4,5-szer nagyobb súlyú, mint a termőhelyi tényezők, vagyis a termőhely összhatása a magassági növekedés 20–25%-át magyarázza.
- A termőréteg vastagság és a kor pozitív korrelációban áll a famagassággal. A FAI értéke a cserétölgy kivételével negatív korrelációban áll a famagassággal. Ez azzal magyarázható, hogy Zalában a melegebb klíma hatása a cser számára még kedvező, ellentétben a többi fajjal.
- A fizikai talajféleség az erdőfenyőnél negatív, míg a cser és a bükk esetében pozitív korrelációban áll a famagassággal, míg a kocsánytalan tölgy esetében hatása nem mutatkozott szignifikánsnak. Azaz a cser és a bükk meghálálja a nagyobb diszponibilis vizet tartalmazó talajokat.

A cser és a bükk alacsonyabb  $R^2$  értéke azt jelzi, hogy e két fajnál a kor és a termőhelyi viszonyok mellett egyéb tényezőknek, így elsősorban az erdőnevelésnek is meghatározó lehet még a szerepe.

Az 1980–2010 évekre érvényes FAI értékek alkalmazásával készültek el a famagasság modellek és azok statisztikái (3. táblázat). A 4 fajra vonatkoztatott modell-eredményeket az aktuális erdőtervi adatokkal vetettük össze. Látható, hogy a regressziós modell a magasságértékeket a tény adatokhoz képest kissé felül becsüli. A modellértékek és a tény adatok eltérését bemutató hisztogramok megerősítik, hogy a regressziós modell átlagos hibája 0,5 és 1,4 m között, a szórása pedig 2,3 és 4,4 m között változik (3. ábra).

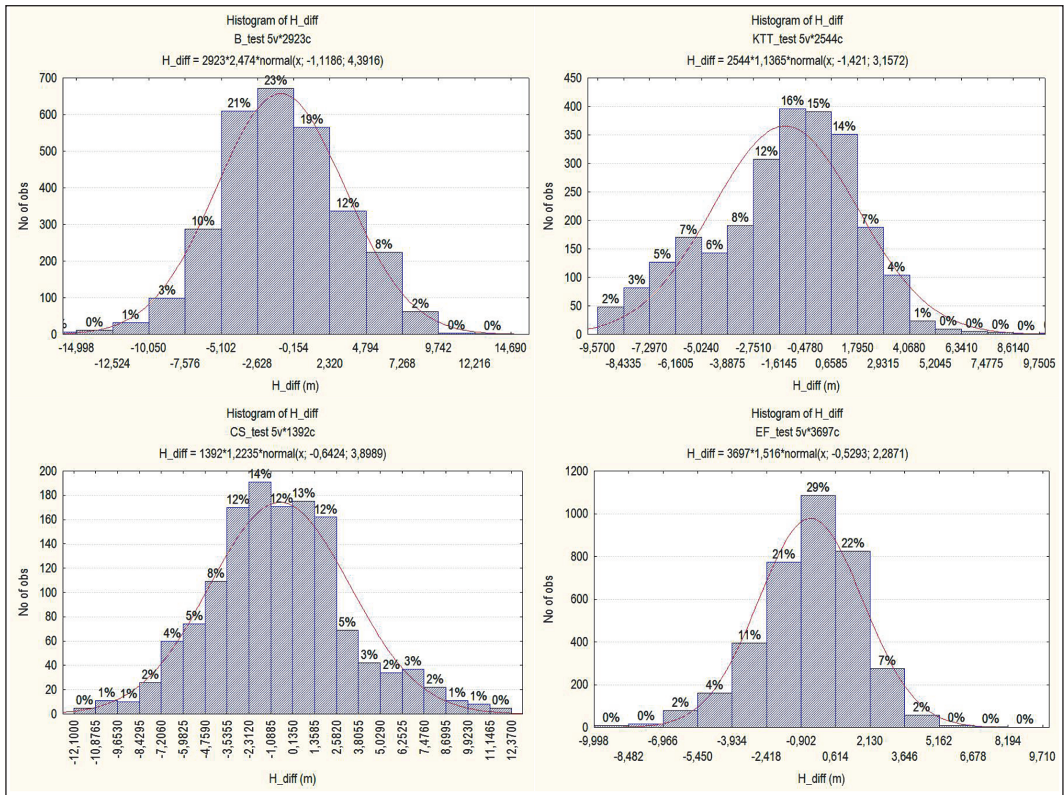
Az erdőtervi összehasonlítás mellett a regressziós eredményeket a NAIK ERTI zalai hosszúléjárátú bükkös területeinek aktuális adataival is összehasonlítottuk (4. ábra). Megállapítható, hogy regressziós becslés a kísérleti parcellák esetében is a korrallal jól követi a növekedési ütemet. A modell szerinti magasságok az üzemtervi adatok alá, néha fölé, de mindig a kísérleti parcellák adatai alá esnek. Ez utóbbi eredmény abból adódik, hogy a kísérleti parcellákat általában az átlagosnál jobb termőhelyeken jelölték ki, míg a regressziós modell az átlagosnál rosszabb területeket is felöleli. Ebben az összehasonlításban a modellünk üzemtervi adatokat felülbecslő trendje kedvező hatású.

Az üzemtervi és a hosszúléjárátú kísérleti adatokkal való összehasonlítás alapján a regressziós modellt alkalmasnak találtuk a fatermési osztályok becslésére.

3. táblázat: A regressziós modellek és az erdőtervi adatok statisztikái fajonként

Table 3: Statistics of regression models and of forest management plans' data

<b>B</b>	<b>N (db)</b>	<b>Átlag</b>	<b>Konf. int. -95%</b>	<b>Konf. int. +95%</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Szórás</b>	<b>Az átlag hibája</b>
Kor	2923	75,3	74,1	76,5	2,0	208,0	33,3	0,6
Magasság (m); erdőtervi adat	2923	25,6	25,2	26,0	0,0	46,0	10,4	0,2
Becsült magasság (m)	2923	26,7	26,4	27,1	0,0	46,8	9,7	0,2
Magassági differencia (m)	2923	-1,1	-1,3	-1,0	-34,8	14,7	4,4	0,1
<b>CS</b>	<b>N (db)</b>	<b>Átlag</b>	<b>Konf. int. -95%</b>	<b>Konf. int. +95%</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Szórás</b>	<b>Az átlag hibája</b>
Kor	1392	65,7	64,2	67,2	4,0	185,0	29,4	0,8
Magasság (m); erdőtervi adat	1392	21,0	20,6	21,5	0,0	40,0	8,5	0,2
Becsült magasság (m)	1392	21,7	21,3	22,0	0,6	33,7	6,8	0,2
Magassági differencia (m)	1392	-0,6	-0,8	-0,4	-12,1	12,4	3,9	0,1
<b>KTT</b>	<b>N (db)</b>	<b>Átlag</b>	<b>Konf. int. -95%</b>	<b>Konf. int. +95%</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Szórás</b>	<b>Az átlag hibája</b>
Kor	2544	39,0	37,7	40,4	1,0	173,0	34,9	0,7
Magasság (m); erdőtervi adat	2544	12,4	12,0	12,8	0,0	40,0	10,3	0,2
Becsült magasság (m)	2544	13,8	13,4	14,1	0,2	34,2	9,0	0,2
Magassági differencia (m)	2544	-1,4	-1,5	-1,3	-9,6	13,2	3,2	0,1
<b>EF</b>	<b>N (db)</b>	<b>Átlag</b>	<b>Konf. int. -95%</b>	<b>Konf. int. +95%</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Szórás</b>	<b>Az átlag hibája</b>
Kor	3697	46,6	45,9	47,3	1,0	147,0	22,5	0,4
Magasság (m); erdőtervi adat	3697	18,2	18,0	18,4	0,0	41,0	6,1	0,1
Becsült magasság (m)	3697	18,7	18,5	18,9	0,8	35,6	5,5	0,1
Magassági differencia (m)	3697	-0,5	-0,6	-0,5	-13,0	17,3	2,3	0,0



3. ábra: Az erdőtervi fmagasságok eltérése a modell szerint becsült magassáértékektől

(B – bükk balra fent; KTT – kocsánytalan tölgy jobbra fent; CS – cser balra lent és EF – erdei fenyő jobbra lent)

Figure 3: Difference between predicted tree height vs. management plan's data

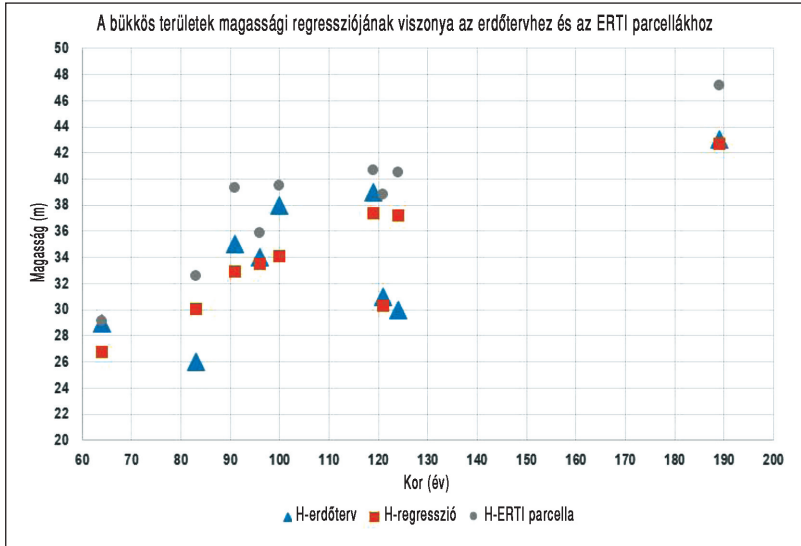
(B – beech upper left; KTT – sessile oak upper right; CS – turkey oak downward left and EF – scots pine downward right)

A klímaváltozás három szcenáriójának megfelelő 30 éves időszakokra (2011–2040; 2041–2070; 2071–2100) álltak rendelkezésre a meteorológiai adatok, illetve a belőlük származtatott erdészeti ariditási index értékei. Ez azt jelenti, hogy három 30 éves átlagos adattal dolgoztunk, amiket a 30 éves periódusok közepére vonatkoztattunk, nevezetesen 2025-re, 2055-re és 2085-re. Ezekre az időszakokra elkészítettük a vizsgált 4 faj esetében a 70 és 80 éves korok között várható fmagasság statisztikákat (4. táblázat). Ebben a korosztályban ugyanis a vizsgált fajok állományaiban a víz és tápanyagforgalom tekintetében már teljes körű egyensúly alakul ki és a biológiai, valamint az ökológiai adottságok hatása harmonikusan érvényesül. Az adatokból látszik, hogy:

- Az erdészeti ariditási index intervalluma az előre haladó szcenáriókban emelkedik. Míg az alsó értékhatár emelkedése 0,4 és 0,7 addig a felső határértéké 0,8 és 1,3. Vagyis a megyén belül az idő előre haladtával szélsőségesebb időjárási viszonyok fognak előfordulni.
- Amíg a büknél, az erdei fenyőnél és a kocsánytalan tölgnél 2025-, 2055- és 2085-re vonatkozóan egyértelmű magasságsökkenés prognosztizálható, addig a csernél 2055-re kicsiny növekedés, majd visszaesés következik be. Ez a tendencia jelzi, hogy a cser a hőmérséklet-emelkedést egy bizonyos határig növekedésben is megnyilvánuló módon meghálálja.
- A bükkre és a cserre adódó átlagmagasság értékek nagyobb szórása az mutatja, hogy e két fajjal előfordulása Zalában tágabb klímahatárok közé esik. Vagyis a bükk megtalálható mind a számára ide-



ális klímájú göcseji régióban, mind pedig a szárazabb keszthelyi hegységben, mint ahogy a csert is telepítették a számára már túlságosan csapadékos és hűvös területekre, valamint a szárazabb és melegebb helyekre egyaránt.



4. ábra: A bükkös kísérleti parcellák magassági adatai a regressziós és erdőtervi adatokkal (felvételek éve 2009-2011)  
 Figure 4: Height data of beech experimental plots compared with data of management plans and predictions

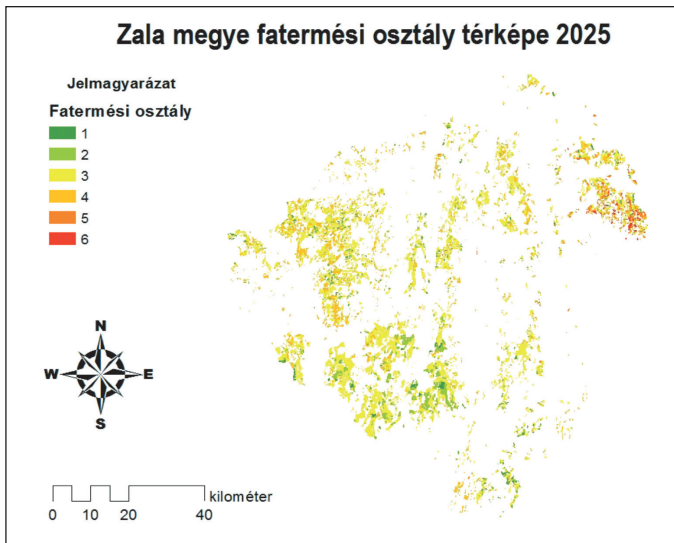
4. táblázat: A XXI. századra vonatkoztatott famagasság becslések statisztikái a 70 éves korosztályban (70–80 év)  
 Table 4: Statistics of assessed tree heights for 21st Century in age class 70 (between 70–80 yrs.)

Időszak	Fafaj (darabszám)	Várható famagasság (m)	A famagasság szórása (m)
2010 4,4 < FAI < 6,6	B (N=317)	28,8	4,1
	KTT (n=120)	24,9	2,7
	CS (n=224)	25,8	5,0
	EF (n=248)	25,0	1,8
2025 4,8 < FAI < 7,2	B (n=155)	27,6	2,9
	KTT (n=47)	24,1	0,6
	CS (n=109)	24,8	2,9
	EF (n=349)	24,4	0,7
2055 5,4 < FAI < 8,1	B (n=130)	27,4	3,2
	KTT (n=353)	23,7	0,6
	CS (n=108)	24,4	2,8
	EF (n=653)	23,8	0,9
2085 6,3 < FAI < 9,4	B (n=63)	23,9	2,4
	KTT (n=193)	23,6	0,7
	CS (n=53)	24,1	3,2
	EF (n=133)	22,9	1,4

A scenáriók szerint várható magassági növekedés ismeretében az új, zalai fatermési táblák (Veperdi 2013) alapján meghatároztuk a vizsgált időszakok főbb fatermési paramétereit az összes erdőrészlet vonatkozásában (5. táblázat).

5. táblázat: Főbb fatermési paraméterek alakulása Zalában a klímaváltozás nyomán  
Table 5: Main growth characteristics in county Zala under climate change

Az átlagos fatermési osztály változása területtel súlyozva					
Fafaj	FTO 1990	FTO 2010	FTO 2025	FTO 2055	FTO 2085
B	2	3	3	3	4
CS	4	4	4	4	4
KTT	3	3	3	4	4
EF	3	3	4	4	5
Az átlagos fatermési fok változása területtel súlyozva (m <sup>3</sup> /ha/év)					
Fafaj	FFOK 1990	FFOK 2010	FFOK 2025	FFOK 2055	FFOK 2085
B	7,16	6,67	6,71	6,29	5,58
CS	5,50	5,45	5,64	5,82	5,70
KTT	6,56	6,95	6,98	6,13	6,06
EF	5,27	5,12	5,09	5,07	4,62

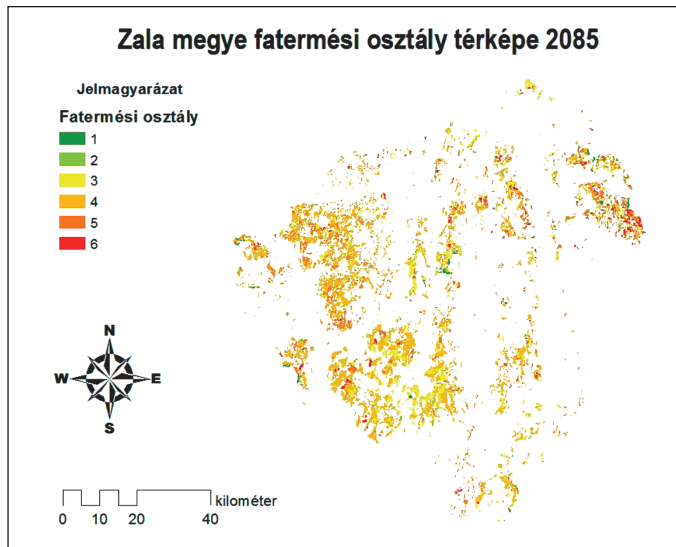


5. ábra: A vizsgált fafajok fatermési osztályainak megoszlása a megye területén 2011–2040 között  
Figure 5: Yield class map of 4 studied species between 2011–2040

A becslések szerint a változások a csertölgy kivételével a 2085-ös időszakra szignifikáns különbséget jelentenek. Összességében megállapítható a vizsgált fafajokra nézve, hogy 70–80 év múlva a faállományok 75 éves kori magassága várhatóan 1–2 méterrel fog átlagban elmaradni a maitól. A bükkösök esetében ez megyei szinten 2 fatermési osztály (FTO) csökkenést jelent, vagyis a ma átlagosan II. FTO-ból a IV.-be esnek le a zalai bükkösök. A kocsánytalan tölgyeseknél az átlagos fatermési osztály a III.-ból a IV.-be kerül át. A cse-

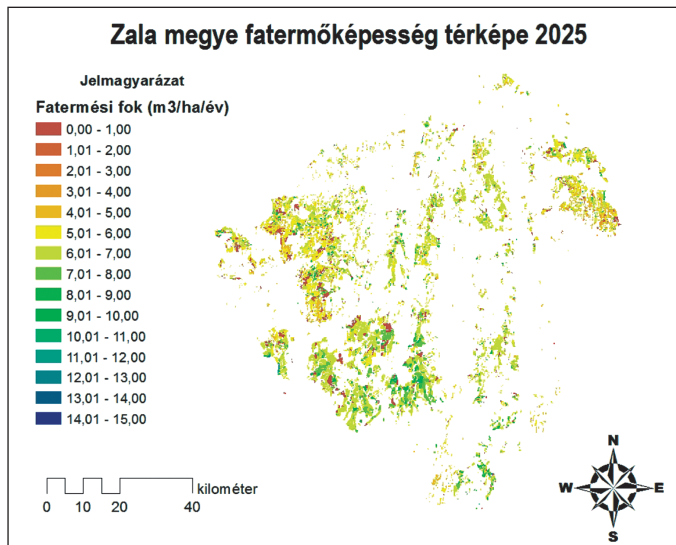
resek megtartják IV. fatermési osztályukat, az erdei fenyvesek pedig az átlagosan III. fatermési osztályukból az V.-be lépnek át (Veperdi 2013; Sopp 1974). Amíg a bükkösöknél a két fatermési osztály csökkenése mintegy 1,13 m<sup>3</sup>/ha/év növekedésvisszeséget jelent, addig a kocsánytalan tölgyeseknél a fatermési osztály átlagosan eggyel történő visszaesése már 0,92 m<sup>3</sup>/ha/év növekedéscsökkenéssel jár együtt.

A fatermőképesség és a fatermési osztályok változását bemutató térképek mutatják, hogy az következő 100 évben a faállományok szervesanyag-produkciója, azaz a megye fatermesztési potenciálja általánosságban, de főleg a dél-nyugati területeken jelentősen csökkenni fog (5–8. ábrák).



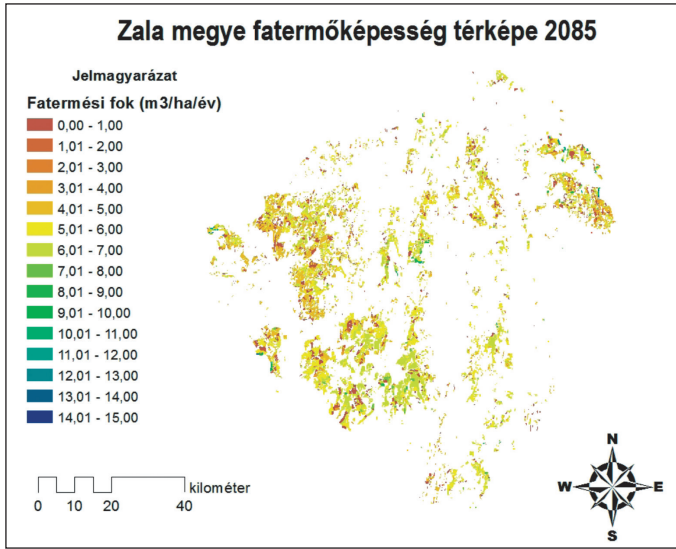
6. ábra: A vizsgált fafajok fatermési osztályainak megoszlása a megye területén 2071–2100 között

Figure 6: Yield class map of 4 studied species between 2071–2100



7. ábra: A vizsgált fafajok fatermési fok-megoszlása a megye területén 2011–2040 között

Figure 7: Growth potential of 4 studied species between 2011–2040



8. ábra: A vizsgált fajok fatermési fok-megoszlása a megye területén 2071–2100  
Figure 8. Growth potential of 4 studied species between 2071–2100

## KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok értékelése alapján megállapítható, hogy Zala megyében a klímaváltozás jelentősen fogja módosítani az erdőgazdálkodást. A melegebb klíma a vizsgált fajok növekedési erélyét, természetük jóvedelmezőségét a cser kivételével csökkenteni fogja, illetve a ma még kiemelkedő fontosságú, iparilag értékes bükkös faállományok jelentős részén a természeti feltételek a fajok számára esetleg meg is szűnnek. Helyettük a kedvezőbb adottságok mellett főleg kocsánytalan tölgygel, a gyengébb termőhelyeken pedig a cseres tölgyesekkel kell a század végére számolni. Ezért a klímaváltozás miatt újra kell gondolni és át kell értékelni az erdei termőhelyek hasznosítását és szükségessé válik a termőhely-tipológiai rendszerünk továbbfejlesztése is.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A–11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Babos I. 1954: Magyarország táji erdőművelésének alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Béky A. 1981: Mag eredetű kocsánytalan tölgyesek fatermése. Erdészeti Kutatások, 74: 309–320.
- Béky A.; Bondor A.; Gabnai E.; Hajdú G.; Halupa L.; Kiss R.; Mendlik G.; Rédei K.; Solymos R. és Veperdi G. 1990: A hozs-  
szülejárátú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek létesítésének, felvételének és fenntartásának továbbfejlesztett irányelvei. Erdészeti Kutatások, 82–83: 198–213.

- Danszky I. 1963: Magyarország erdőgazdasági tájainak erdőfelújítási és erdőtelepítési irányelvei. I–VI. OEF. Budapest.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „KLIMA-21” Füzetek, 61: 98–107.
- 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.
- Járó Z. 1963: Talajtípusok. OEF. Budapest
- Járó Z. 1970: Az egyes termőhelytípusokon alkalmazható célállományok és azok várható növekedése. Kézirat, Budapest.
- Kovács F. 1983: A csertőgyállományok fatermése. *Erdészeti Kutatások*, 75: 179–188.
- Mendlik G. 1983: Bükk fatermési tábla. *Erdészeti Kutatások*, 75: 189–198.
- Solymos R. 1993: Új fatermési tábla erdeifenyőre. *Erdészeti Kutatások*, 82–83: 357–382.
- Sopp L. 1974: Fatömegszámítási táblázatok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Tímár G.; Balogh L.; Kovács G. és Madas K. 2005: Megújult „Az egyes termőhelytípus-változatokon alkalmazható célállományok” című táblázat. *Erdészeti Lapok*, 140(3): 87–88.
- Veperdi G. 2013: Az új helyi fatermési modellek alkalmazása Zala megye adattári adatállományán. Kézirat, Sopron

*Érkezett: 2014. július 30.*

*Közlésre elfogadva: 2014. október 8.*



### Gyapottok bagolylepke

A gyapottok bagolylepke (*Helicoverpa armigera*) a klímaváltozás egyik „kedvezményezettje”. Észak-afrikai, dél-európai vándorlepke faj. Fél évszázada még csak egy-egy példánya került elő Magyarországról. Ma már tömegesen fogják a fénycsapdák, hernyói helyenként és időnként látványos károkat is okoznak. Enyhe teleken nálunk is sikeresen áttelelhet, ami a tömeges fellépését és kártételét alapozhatja meg.

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



# NÖVEDÉKCSÖKKENÉS ELŐREVETÍTÉSE EGY BÜKK SZÁRMAZÁSI KÍSÉRLET ALAPJÁN

Horváth Anikó és Mátyás Csaba

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar*

## Kivonat

A származási kísérletek egyedülálló lehetőséget kínálnak az előrevetített klímaváltozás erdei fajajokra gyakorolt hatásának tanulmányozására. 1998-ban a IUFRO szervezésében Európa szerte több bükk származási kísérlet létesült. Ezek közül ökológiailag fontos helyet foglal el a Zala megyei Bucsuta, mivel a helyszín a legközelebb fekszik a faj szászarsági erdőhatárához. A Bucsután elültetett külföldi származások az áttelepítéssel melegebb és szárazabb környezetbe kerültek, ezért a populációknak a megváltozott klímában megfigyelt reakciója értékes információként szolgálhat a jövőre nézve. Jelen tanulmány célja a gyors klímaváltozás következtében fellépő, nem kielégítő alkalmazkodottságból adódó növedékcsökkenés mértékének a meghatározása. Kiválasztottuk azt a klimatikus faktort, amely a legszorosabb összefüggést mutatta a vizsgált tulajdonsággal, jelen esetben az átmérővel. A klimatikus változók közül az Ellenberg-index bizonyult a legjelentősebbnek, így ennek függvényében határoztuk meg azt a növedékcsökkenést leíró függvényt, amely megadja az alkalmazkodottsági hiányból származó növedékcsökkenést. Az összefüggés felhasználható a feltételezett klímaváltozás hatásának előrevetítésére.

*Kulcsszavak:* közös tenyészkert, Ellenberg-index, szárazsági határ, alkalmazkodás, genetikai változatosság

## ESTIMATION OF INCREMENT DECLINE CAUSED BY CLIMATE CHANGE, BASED ON DATA OF A BEECH PROVENANCE TRIAL

### Abstract

Out of the 1998 series of the international beech provenance trials, one experiment was established in Bucsuta, SW Hungary. The site is close to the low-elevation, xeric distributional limit of the species. The climatic conditions are the most extreme compared with other experiments. Bucsuta is therefore the most suitable site to model responses of populations to sudden climatic changes, simulated by transfer. Plot averages of 15-year diameter, measured on the 5 largest trees per plot were analyzed. Out of the climatic variables, the ones determined by summer temperatures ( $T_{\max}$ , TQW) and drought conditions (DMI, EQ) were significant. Not surprisingly, Ellenberg's drought index has shown the best correlation and was selected for the characterization of ecodistance. The climatic distance between the provenance origin and the test site, and the 15-year diameter data were used to establish a linear transfer function of high significance ( $p=0.0006$ ). The regression (Fig. 3) indicates a monotonous decline which has no maximum value at "0" ecodistance, and may be used for the estimation of growth decline caused by changing climatic conditions.

*Keywords:* common garden, Ellenberg's climate quotient, xeric limit, adaptation, genetic variability



## BEVEZETÉS

A század végére előrevetített klímaváltozás sebessége meghaladja fafajaink természetes migrációs és adaptációs képességét (Davis és mtsai 2005; Mátyás 2005). Az átlaghőmérséklet-emelkedés mellett az extrém időjárási jelenségek (pl. aszály) gyakorisága és intenzitása is várhatóan növekedni fog, amely próbára teszi az erdei fajok ökológiai tűrőképességét (Gálos és mtsai 2010).

A közönséges bükk (*Fagus sylvatica* L.) egész Európában domináns és gazdaságilag fontos faj. Közép- és dél-európai elterjedését a csapadékhiány jelöli ki, ezért a klímaváltozás tükrében ezek a marginális populációk fokozott figyelmet érdemelnek. A szárazsági határon a rosszabbodó klimatikus feltételek következtében a növekedés visszaesése várható (Mátyás és mtsai 2009; Jezik és mtsai 2011; Hlasny és mtsai 2014). Az elhúzódozó aszályos periódusok miatt legyengült állományokban a kórokozókkal és kártevőkkel szemben megnövekedett fogékonyság már sok esetben a bükk tömeges pusztulását okozta (Jung 2009; Lakatos és Molnár 2009).

A bükk nagy elterjedési területén különböző klimatikus feltételekhez alkalmazkodott, ezért a makroklima által formált génkészlet az elterjedési terület különböző pontjain eltérő lehet. A génkészlet által meghatározott, az erdészet szempontjából fontos fenotípusos sajátosságok (pl. fakadási időpont, növekedési ciklus hossza) így nagymértékben különbözhetnek. A klímatolerancia tekintetében jelentős eltérések lehetnek, ezért az eltérő származású populációk összehasonlítása lehetőséget adhat a tolerancia vizsgálatára (Mátyás és Yeatman 1987).

Az eredetileg, a különböző származások teljesítményének összehasonlítása céljából létesült származási (közös tenyészkerti) kísérletek az erdei fajok klímatoleranciájának tesztelésére is alkalmasak. A teszthelyszín és a származási helyszínek klimatikus differenciája egy gyors klímaváltozásként is felfogható. Ezek a kísérletek lehetőséget adnak olyan fontos tulajdonságok, mint a fagyérzékenység, aszálytűrés, növekedési sajátosságok fajon belüli összehasonlítására, ami mind a szaporítóanyag-gazdálkodási stratégiák meghatározása szempontjából, mind pedig a gazdálkodók számára egyaránt fontos.

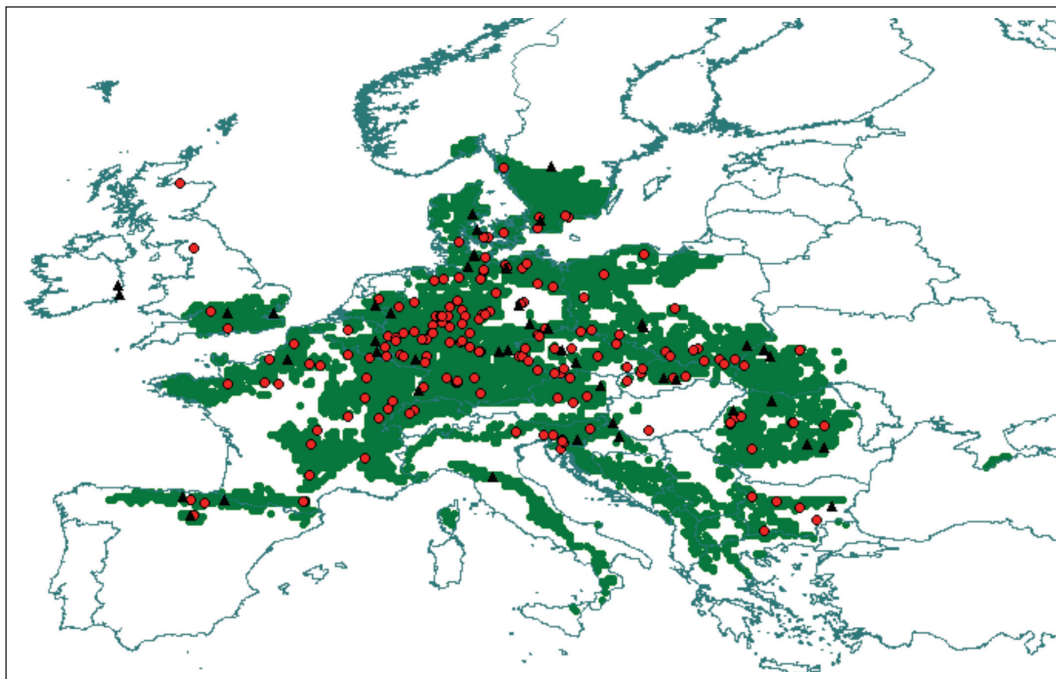
## IUFRO nemzetközi bükk származási kísérletek

Az 1990-es években az Erdészeti Kutatóintézetek Nemzetközi Szövetsége (IUFRO) a német szövetségi erdészeti kutatóintézet (Hamburg) szervezésében több sorozatban bükk származási kísérleteket kezdeményezett (Wühlisch 2007). 1995-ben 23, 1998-ban 28 bükk származási kísérleti helyszín létesült Európa szerte (1. ábra). A kísérlet tervezésekor fontos szempont volt, hogy lehetőleg a bükk egész elterjedési területéről származzon szaporítóanyag. Mindkét sorozat létesítésekor a szaporítóanyagot egy németországi csemetekertben nevelték 2 éves korig, majd innen szállították őket a különböző kísérleti helyszínekre.

A vizsgálat eredeti célja a korábbi, kisebb volumenű kísérletekben már bizonyított fajon belüli genetikai változatosság részletesebb feltárása, és a legplasztikusabb származások kiválasztása volt.

## A magyarországi kísérleti helyszín Bucsután

Magyarország az 1998-as, második kísérletsorozat létrehozásában vett részt Mátyás Csaba koordinálásában. A Zalaerdő Zrt. Bánokszentgyörgyi Erdészete területén, a Bucsuta 10/b erdőrészletben 15 országból 36 származás telepítése történt 3 ismétlésben (1. táblázat). A származások közül 32 külföldi. A mecseki Magyaregregy a nemzetközi sorozat magyar tagja, ezen kívül további három helyről beszerzett ha-



1. ábra: Az 1995-ös és 1998-as IUFRO nemzetközi bükk származási kísérletek teszthelyszínei (▲) és származási helyei (●), a bükk elterjedési területére vetítve (térkép: EUFORGEN)

Figure 1: Test sites (▲) and origins of beech provenances (●) of the 1995 and 1998 International Beech Provenance Trial, projected on the distribution map of European beech (source: EUFORGEN)

zai csemetékkel egészítették ki 36-ra a kísérletet (H1, H2, H3). A kísérleti terület egy 1997-ben tarra vágott, hőtörést szenvedett, szű- és vadkárosított 31 éves lucfenyő állomány helyén létesült, amit idősebb bükk, ill. tölgy állományok ölelnek körül. A terület 220 m tengerszint feletti magasságon, egy bükkös klímájú, többletvízhatástól független, agyagbemosódásos barna erdőtalajú területen található. A kísérleti helyszín 5–10°-os lejtésű, déli kitétségű, a területen vízmosás húzódik keresztül.

A kísérlet elrendezését nemzetközileg egységesen alakították ki. A parcellák mérete 10×10 m, parcellánként 50 db csemetét ültettek gödrös módszerrel (sortáv 2,0 m, tőtáv 1,0 m). Az ismétlésen belül a 36 parcella véletlenszerűen helyezkedik el. Az első ismétlés fekszik a legmagasabban, a harmadik pedig a legalacsonyabban, utóbbi lejtése a legkisebb és a dombláb hatása miatt a leghidegebb és a legnedvesebb terület is egyben.

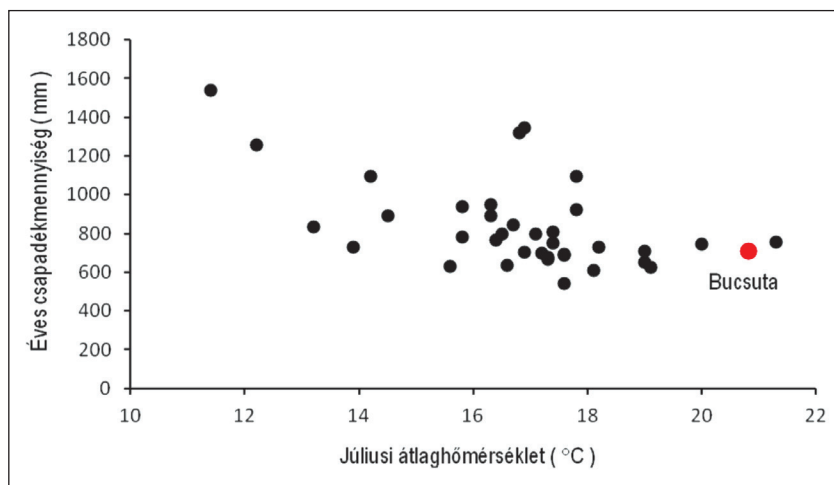
A 2. ábra Bucsuta és a Bucsután szereplő származások elhelyezkedését mutatja a klimatikus térben, a bükk szempontjából fontos klimatikus paraméterek, az éves csapadékösszeg és a júliusi átlaghőmérséklet függvényében. Bucsuta, a nem sokkal több, mint 700 mm éves csapadékkal és a csaknem 21 °C júliusi átlaghőmérséklettel már a bükk elterjedési határát súrolja (Czucz és mtsai 2013). Mint látható, a helyi származásnak minősíthető Bánokszentgyörgy ökológiai távolsága nagyobb, mint a meceki Magyaregregyé. A különbség az időközben megváltozott időjárással magyarázható (részletek a Klímaadatok fejezetben).



1. táblázat: A Bucsután szereplő származások földrajzi adatai, a múltbeli klímát jellemző (1950–2000) intervallum éves csapadék és júliusi középhőmérséklet értékei, valamint Ellenberg-index különbsége ( $\Delta EQ$ ) a bucsutai 15 éves átlagtól  
 Table 1: Geographic data, annual precipitation and July mean temperature of provenances in the period 1950–2000, as well as their Ellenberg's climate quotient deviation ( $\Delta EQ$ ) from the mean value of 15 years in Bucsuba

Nyt. szám	Származás neve*	Ország	Földrajzi szélesség	Földrajzi hosszúság	Tszfm (m)	Éves csapadék (mm)	Júliusi középhőmérséklet (°C)	$\Delta EQ$
1	<i>Perche</i>	FR	48,42	0,55	205	691	17,6	3,98
2	<i>Bordure Man.</i>	FR	49,53	0,77	80	689	17,6	3,90
6	<i>Plateaux Du</i>	FR	46,80	5,83	600	1097	17,8	13,22
8	<i>Pyrenees Or.</i>	FR	42,92	2,32	670	754	21,3	1,20
11	<i>Heinerscheid</i>	LU	50,08	6,12	423	844	16,7	9,66
13	<i>Soignes</i>	BE	50,83	4,42	110	810	17,4	7,97
14	<i>Aarnink</i>	NL	51,93	6,73	45	797	17,1	7,99
17	<i>Westfield 2002</i>	GB	57,40	-2,75	10	836	13,2	13,66
21	<i>Grasten, F.413</i>	DK	54,92	9,58	45	780	15,8	9,19
23	<i>Torup</i>	SE	55,57	13,20	40	634	16,6	3,27
26	<i>Farchau, 72A</i>	DE	53,65	10,67	55	676	17,3	3,86
27	<i>Graf Von W.</i>	DE	51,52	8,78	375	941	15,8	12,66
29	<i>Dillenburg</i>	DE	50,70	8,30	520	751	17,4	6,28
31	<i>Urach, 12A 13</i>	DE	48,47	9,45	760	894	16,3	11,22
32	<i>Ebrach</i>	DE	49,85	10,50	406	701	17,2	4,91
34	<i>Oberwil</i>	CH	47,17	7,45	570	923	17,8	10,16
35	<i>Hinterstoder</i>	AT	47,72	14,10	1250	1539	11,4	22,04
36	<i>Eisenerz</i>	AT	47,53	14,85	1100	1259	12,2	19,76
39	<i>Jaworze, 178F</i>	PL	49,83	19,17	450	950	16,3	12,29
40	<i>Tarwana, 81C</i>	PL	49,47	22,33	540	704	16,9	5,44
43	<i>Jawornik, 92B</i>	PL	49,25	22,82	900	764	16,4	7,98
46	<i>Domazlice-Vyhl</i>	CZ	49,40	12,75	760	893	14,5	13,21
48	<i>Jablonec N.N.</i>	CZ	50,80	15,23	760	731	13,9	10,43
49	<i>Brumov Sidonie</i>	CZ	49,05	18,05	390	799	16,5	8,80
51	<i>Horni Plana-Ce.</i>	CZ	48,85	14,00	990	1097	14,2	16,50
52	<i>Magyaregregy 60A</i>	HU	46,22	18,35	400	707	19,0	2,57
53	<i>Postojna Masun.</i>	SI	45,63	14,38	1000	1346	16,9	16,89
54	<i>Idrija-II/2, 14</i>	SI	46,00	13,90	930	1318	16,8	16,70
59	<i>Pidkamin</i>	UA	49,95	25,38		612	18,1	-0,13
64	<i>Nizbor</i>	CZ	50,00	14,00	480	541	17,6	-3,08
65	<i>Koino</i>	PL	49,92	20,42	400	729	18,2	4,48
67	<i>Bilowo, 115D116B</i>	PL	54,33	18,17	250	631	15,6	4,73
70	<i>Buchlovice</i>	CZ	49,15	17,32	410	669	17,3	3,59
H1	<i>Bánokszentgyörgy(helyi)</i>	HU	46,60	16,85	200	747	20,0	2,67
H2	<i>Farkasgyepű(Bakony)</i>	HU	47,20	17,65		625	19,1	-1,11
H3	<i>Ördöglyuk (Zempléni-hg.)</i>	HU	48,49	21,36	450	651	19,0	0,26
Bucsutai kísérlet (1998–2013 közötti átl. klímadatokkal)			46,57	16,67	220	707	20,8	

\*Az elemzésbe bevont származások dőlt betűvel szerepelnek.



2. ábra: Bucsuta és a kísérletben szereplő származások elhelyezkedése a klimatikus térben

Figure 2: Location of Bucsuta and of the provenances in the climatic niche of annual precipitation and July mean temperature

## A vizsgálat munkahipotézise

Az értékelés arra az elgondolásra épül, hogy a hosszú élettartamú fafajok, amelyek az évszázadok során alkalmazkodtak környezetük klímájához, a mostani, eddig még nem tapasztalt gyorsaságú klímaváltozáshoz nem lesznek képesek kellő mértékben alkalmazkodni, ami növedék visszaesésben nyilvánul meg. Az eltérő alkalmazkodottságú populációk közös tenyészkertben való felnevelése egy gyors klímaváltozásként is értelmezhető, aminek mértékét az ökológiai távolság határozza meg (Mátyás és Yeatman 1987). Az ökológiai távolság a származási hely és a kísérlet helyének főként klimatikus tényezőkben való eltérését jelenti. Az ökológiai távolság és a növedék visszaesés összefüggéséből meghatározható a jelen, ill. jövőbeli körülményekhez legjobban alkalmazkodott származások köre, illetőleg, hogy a szárazsági határon a klímaváltozás következtében milyen mértékű növedékvesztés várható.

## VIZSGÁLATI MÓDSZER

### Elemzett adatok

A növedécsökkenést leíró függvény meghatározásához az átmérő adatokat használtuk fel. A felvételezést 2013 tavaszán, a telepítéstől számított 15 éves korban hajtottuk végre a bucsutai kísérleti helyszínen. Az átmérő mérésével egyidőben parcellánként csak néhány egyed magasságmérésére került sor, mert az erős záródás miatt a pontos mérés nehézségekre ütközött. Mivel a magassági görbékből megállapított adatok csak származtatott magasságok, az értékeléshez inkább a mért átmérőket használtuk. A teljes átmérőfelvétel adatainak csak egy részét használtuk fel. Kizártuk az elemzésből azokat a parcellákat, amelyek megmaradása termőhelyi okokból nem megfelelő, ez elsősorban a lejtő alján elhelyezkedő harmadik ismétlést érintette. A nem értékelt parcellák miatt néhány származás kiesett az elemzésből. Ezen kívül kizártuk még a hegyvidéki származásokat is, eltérő viselkedésük miatt, így összesen 8 származás maradt ki az elemzésből (lásd 1. táblázat). Minden parcellában az 5 legvastagabb egyed átmérőjével számoltunk, ezzel is kizárva az alszorult vagy egyéb okból visszamaradt egyedek adatait. Ezek az egyedek egyébként az erdőművelési beavatkozások so-

rán kedvezményezett "V-fáknak" is tekinthetők, és egyben a populáció növekedési potenciálját jól jellemzik. A szűrés után megmaradt 44 parcellát – termőhelyi feltételeik azonossága okán – egységes adathalmazként kezeltük ("pooled analysis"), az ismétlések hatása elhanyagolhatóan bizonyult

## Klímadatok

A származások helyszínére vonatkozó hőmérséklet- és csapadékadatok (klimatikus változók) a WorldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) adatbázisból származnak, amely egy 50 éves intervallum (1950–2000) interpolált adatait tartalmazza. Míg a származások esetében a származási hely múltbeli klímája a meghatározó, amit ez esetben a fent említett intervallum reprezentál, addig a kísérleti helyszínen az aktuális időjárási körülmények a fontosak, vagyis annak az időszaknak az időjárása, amely a kísérletbe telepített származások reakcióját meghatározta. Mivel Bucsután meteorológiai mérőállomás létesítése nem volt megoldható, ezért a tőle 18 km-re fekvő nagykanizsai állomás 1998–2013-as időszakra vonatkozó adatait használtuk fel az elemzéshez. Vizsgálataink szerint az eltérés a két helyszín időjárási adatai között nem jelentős.

A hőmérséklet és csapadékadatokból 17 éghajlati változót, két kontinentalitási és három ariditási indexet (2. táblázat) határoztunk meg. Az így kapott klimatikus változók közül korreláció analízissel választottuk ki a legmeghatározóbb komponenset.

2. táblázat: Az eredeti származási hely klimatikus változói és a 15 éves kori átmérő korrelációanalízise (a  $p < 0,05$  (\*) és  $p < 0,01$  (\*\*)) szinten szignifikáns értékek megjelölve)

Table 2: List of climatic variables of original site used in the correlation analysis with 15-year diameter data (significant at  $p < 0.05$  (\*) and at  $p < 0.01$  (\*\*)) are marked)

Klimatikus változók	Pearson féle korrelációs együttható	Szignifikancia
Éves középhőmérséklet	0,345	0,190
Havi közepes hőingás	0,369	0,160
Izotermalitás	-0,110	0,680
A legmelegebb hónap max. hőmérséklete	0,582	0,018*
A leghidegebb hónap min. hőmérséklete	-0,014	0,960
Éves hőingás	0,430	0,096
A legcsapadékosabb negyedév középhőmérséklete	0,060	0,826
A legszárazabb negyedév középhőmérséklete	0,014	0,958
A leghidegebb negyedév középhőmérséklete	0,059	0,828
Éves csapadékösszeg	-0,405	0,120
A legcsapadékosabb hónap csapadékösszege	-0,181	0,503
A legszárazabb hónap csapadékösszege	-0,436	0,092
A legcsapadékosabb negyedév csapadékösszege	-0,303	0,254
A legszárazabb negyedév csapadékösszege	-0,345	0,191
A legmelegebb negyedév csapadékösszege	-0,298	0,263
A leghidegebb negyedév csapadékösszege	-0,237	0,377
Gorcziński Kontinentalitási Index (Gorcziński 1920) *	0,460	0,073
Kontinentalitás Index (Rasztovits és mtsai 2012)	0,399	0,126
De Martonne ariditási index (de Martonne 1941) *	-0,540	0,031*
Ellenberg-index (Ellenberg 1986) *	0,642	0,007**
FAI index (Führer 2010) *	0,415	0,110

\* az indexek képletei Rasztovits és mtsai (2012) tanulmányában megtalálható



## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A legfontosabb klimatikus változó kiválasztásához a származási helyszínek 50 évre (1950–2000) vonatkoztatott klimatikus változóinak korrelációját számoltuk a 2013-ban mért átmérő adatokkal. A korábbiakban említett okok miatt csak az 1. táblázatban dőlt betűvel szedett származásokat vontuk be az elemzésbe. Ezek közül 16 származásnak két, 12-nek pedig egy parcellaadatát használtuk fel. A korreláció analízis eredményei a 2. táblázatban láthatók. Szignifikáns értéket kaptunk a legmelegebb hónap maximum hőmérséklete, a De Martonne ariditási index<sup>1</sup> és az Ellenberg-index (EQ)<sup>2</sup> esetén. Az Ellenberg-index magas szignifikanciát mutatott, ennek az indexnek a jelentőségét a bükk esetében már korábbi kutatások is alátámasztották (Fang és Lechowicz 2006; Czúcz és mtsai 2013).

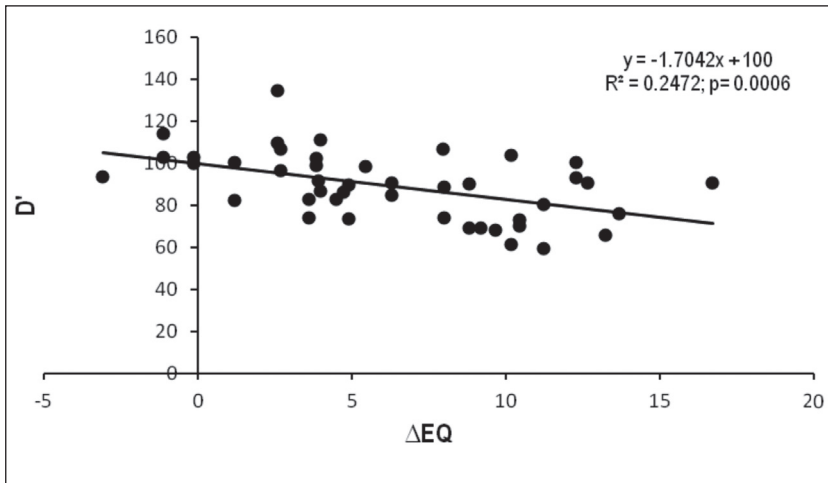
A klimatikus változó kiválasztása után meghatároztuk az áttelepítéssel létrejött ökológiai távolságot (ecodistance, Mátyás 1994), amely a kísérleti helyszín, vagyis Bucsuta és a származási helyek Ellenberg-indexének különbsége ( $\Delta EQ$ ). Az ökológiai távolság megmutatja, hogy mekkora az áttelepítéssel létrejött 'klímaváltozás' mértéke. A korábbiakban ismertetett munkahipotézis alapján, a szárazsági erdőhatáron az átmérőnövekedés visszaesése várható, ha az ökológiai távolság a kísérleti helyszín és az adott származás között pozitív értéket vesz fel. Az általánosan elfogadott értelmezés szerint a helyi feltételekhez alkalmazkodott „őshonos” populáció kellene a leggyorsabb növekedést produkálja. Azt azonban korábbi, más fajokkal végzett kutatások kimutatták, hogy más helyszínről hozott származások teljesítménye a helyi populációkét meghaladhatja (Mátyás és mtsai 2010). Az áttelepítés ill. a klíma megváltozása miatt jelentkező növedékváltozást ezért nem „0”  $\Delta EQ$  értéknél kulmináló, szimmetrikus haranggörbével kell leírni, hanem inkább a szárazodás irányában monoton csökkenő egyenessel. (Feltételezhető, hogy a növedécsökkenés trendje a szárazodás erősödésével inkább exponenciális összefüggést ír le, de ennek meghatározásához nem rendelkezünk elegendő adattal.)

A 2013 év tavaszán, a telepítéstől számított 15 éves korban mért növedék-visszaesés mértékét az elméletileg helyi viszonyokhoz alkalmazkodott ( $\Delta EQ=0$ ) populációhoz képest, annak százalékában határoztuk meg. A 3. ábrán látható, igen magas szinten szignifikáns korreláció ( $p=0,0006$ ) a származások között tapasztalható variancia mintegy 25%-át magyarázza ( $R^2=0,2472$ ). A számított egyenlet tehát azt a növedékvesztéséget adja meg, amely abból adódik, hogy egy bizonyos klímához alkalmazkodott populáció más klimatikus feltételek közé kerülve a helyi populációhoz képest mennyivel gyengébben növekszik. Másképpen kifejezve az egyenlet azt a növedék-visszaesést vetíti előre, amely a klíma gyors változása miatt a helyileg alkalmazkodott populációkat a jövőben érheti. Az összefüggés tehát alkalmas az előrevetített klímaváltozás hatásának előrejelzésére. Így például, ha egy 700 mm csapadékkal és 20 °C júliusi átlaghőmérséklettel rendelkező helyszín hőmérséklete 3,5 °C-kal megnő, ami hasonló a 2007-es IPPC jelentés alapján 2100-ra várható hőmérsékletemelkedéshez, akkor ez változatlan csapadék mellett kb. 10%-os növedécsökkenést eredményezhet.

Kedvező elhelyezkedése miatt a magyarországi kísérleti helyszín gyakorlatilag az egyetlen Európában, amely alkalmas a klímaváltozás negatív hatásainak előrejelzésére. A kísérlet egyedi helyszíne folytán rendkívül értékes, és ezért minden kiértékelési lehetőséget meg kell ragadni további információk nyerése érdekében. Mindemellert a kapott eredményt sokféle kontrollálhatatlan hiba terhelheti, ezért gyakorlati alkalmazása kellő óvatossággal kezelendő.

<sup>1</sup>  $DMI = [(P/T + 10) + 12p / (t + 10)] / 2$ ; P: éves csapadék; T: éves átlaghőmérséklet; p: legszárazabb hónap csapadéka; t: legszárazabb hónap középhőmérséklete

<sup>2</sup>  $EQ = (T_{max} / P) * 1000$ ;  $T_{max}$ : legmelegebb hónap középhőmérséklete, P: éves csapadék



3. ábra: Az alkalmazkodottsági hiány miatt fellépő növekedéscsökkenést leíró "áttelepítési" függvény, amely a 15 éves kori átmérő százalékos változását ( $D$ ) adja meg, a  $\Delta EQ$  értékkel kifejezett ökológiai változás függvényében

Figure 3: Increment decline caused by sub-optimal adaptedness. The "transfer function" defines the decline in percents of the mean diameter of the locally adapted provenance, in function of the change of the Ellenberg's drought index ( $\Delta EQ$ )

## KÖVETKEZTETÉSEK

A gyors és befolyásolhatatlan környezeti változások miatt nagy jelentőségű, hogy megismerjük az ökológiailag és gazdaságilag fontos fafajaink éghajlati alkalmazkodóképességét. Ebben nyújtanak egyedülálló segítséget a származási kísérletek, amelyek a fafajok klímateranciájának és fenotípusos plaszticitásának megismerését teszik lehetővé. Cikkünkben egy olyan megközelítést mutatunk be, amelynek segítségével becsülhető az előrevetített klímaváltozás következtében fellépő, alkalmazkodottsági hiány miatti növekedéscsökkenés. A kapott eredmények megerősítik, hogy a klimatikus szélsőségek erősödése vitathatatlanul a vitalitás csökkenését idézi elő, amely további veszteségek, betegségek és rovarkárosítások fellépését vetíti előre. A klímaváltozás negatív hatásainak becslése a fenntartható gazdálkodás (hozamszabályozás) és a szaporítóanyag-gazdálkodás szempontjából egyaránt fontos kérdés.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük a Zalaerdő Zrt. Bánokszentgyörgyi Erdészetének a kísérleti helyszín biztosítását és gondos fenntartását, Horváth Valériának a telepítés kivitelezését, G. von Wühlischnek és H.–J. Muhsnak a szaporítóanyag rendelkezésre bocsátását és Rasztovits Ervinnek a klimatológiai adatszolgáltatást. Ez a kutatás és tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a FORGER FP7-es projektek, valamint az „EVOLTREE” EU-s Kiválósági Hálózat támogatásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Czúcz B.; Gálhidy L. és Mátyás Cs. 2013: A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. Erdészettudományi Közlemények, 3: 39–53.
- Davis, M. E.; Shaw, R. G. and Etterson, J. R. 2005: Evolutionary responses to climate change. *Ecology*, 86: 1704–1714.
- De Martonne, E. 1941: Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie*, 51: 242–250.
- Ellenberg, H. 1986: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 4th Edition. Fischer, Stuttgart, Germany.
- Fang, J. and Lechovicz, M.J. 2006: Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus sylvatica* L.) species in the world. *Journal of Biogeography*, 33: 1804–1819.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. *Klíma 21 füzetek*, 61: 98–107.
- Gálos B.; Mátyás Cs.; Führer E.; Berki I.; Lakatos F.; Csóka Gy.; Drüsler Á.; Móricz N.; Rasztoivits E.; Somogyi Z.; Veperdi G. és Vig P. 2010: Erdők a szárazsági határon. *Klíma 21 füzetek*, 61: 84–97.
- Gorcinski, W. 1920: Sur le calcul du degré de continentalisme et son application dans la climatologie. *Geografiska Annaler*, 2: 324–331.
- Hlásny, T.; Barcza, Z.; Mátyás, Cs.; Seidl, R.; Kulla, L.; Merganičová, K.; Trombik, J.; Dobor, L. and Konôpka, B. 2014: Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? *Lesnický časopis – Forestry Journal*, 60: 5–18.
- Jezik, M.; Blazenec, M.; Strelcová, K. and Ditmarová L. 2011: The impact of the 2003–2008 weather variability on intra-annual stem diameter changes of beech trees at a submontane site in central Slovakia. *Dendrochronologia*, 29: 227–235.
- Jung, T. 2009: Beech decline in Central Europe driven by the interaction between *Phytophthora* infections and climatic extremes. *Forest Pathology*, 39: 73–94.
- Lakatos, F. and Molnár, M. 2009: Mass mortality of beech in Southwest Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 5: 75–82.
- Mátyás, Cs. 1994: Modelling climate change effects with provenance test data. *Tree Physiology*, 14: 797–804.
- Mátyás, Cs. 2005: Expected climate instability and its consequences for conservation of forest genetic resources. In: Geburek, Th.; and Turok J. (eds): *Conservation and management of forest genetic resources in Europe*. Arbor Publishers, Zvolen, 465–476.
- Mátyás Cs. és Yeatman C. W. 1987: A magassági növekedés adaptív változatosságának vizsgálata *P. banksiana* populációkban. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei, 1: 191–197.
- Mátyás, Cs.; Bozic, G.; Gömöry, D.; Ivankovic, M. and Rasztoivits, E. 2009: Juvenile growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European trials. *iForest*, 2: 213–220.
- Mátyás, Cs.; Borovics, A.; Nagy, L. and Újvári-Jármay, É. 2010: Genetically set response of trees to climatic change, with special regard to the xeric (retreating) limits. *Forstarchiv*, 81: 130–141.
- Rasztoivits, E.; Móricz, N.; Berki, I.; Pötzelsberger, E. and Mátyás, Cs. 2012: Evaluating the performance of stochastic distribution models for European beech at low-elevation xeric limits. *Időjárás / Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 116: 173–194.
- Wühlisch, G. von 2007: Series of international provenance trials of European beech. In: *Improvement and Silviculture of Beech*, Proc. the 7th Intern. Beech Symp. IUFRO Res. Gr.1.10.00, RIFR, Teheran, Iran 135–144.

Érkezett: 2014. június 2.

Közlésre elfogadva: 2014. október 6.





### Zöld lombhullás

Szélsőségesen száraz és meleg nyarakon a bükkök egy része a normál lombhullás előtt már akár 2–3 hónappal is, zölden elhullathatja leveleit. Az így kialakuló „záródáshiány” még további szárazodást is okozhat, a törzsre jutó megnövekedett besugárzás pedig felgyorsíthatja egyes kéreg alatt élő xilofág rovarok (pl. díszbogarak) fejlődését. A kép a Mátrában, 2007. augusztus 7-én, 650 m-es tengerszint feletti magasságban készült.

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

# FATERMÉSI FOK MEGHATÁROZÁSA AZ EGÉSZÁLLOMÁNY ÁTLAGNÖVEDÉKE ALAPJÁN

**Veperdi Gábor**

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar*

## **Kivonat**

A fatermési fok meghatározása újonnan szerkesztett helyi fatermési modellekből kiindulva az esetek túlnyomó többségében nem végezhető el az összfatermés átlagnövedéke alapján, mivel az összes fatermésre vonatkozó adatok nem állnak a modellek szerkesztőjének a rendelkezésére. Célszerű, hogy új modell szerkesztésekor az egészállomány (élőfakészlet) átlagnövedéke szolgáljon alapul a fatermési fok meghatározásához. Ez a mutató azonban nem vethető egybe az eddigi országos fatermési táblák adataiból számított fatermési fok értékeivel. A cikk javaslatot tesz az országos fatermési táblák egészállomány fakészletből meghatározott fatermési fok kiszámítására, illetve grafikus megjelenítésére.

*Kulcsszavak:* fatermőképesség, fatermési fok, egészállomány fatérfogata és átlagnövedéke

## **DETERMINATION OF SITE QUALITY INDEX BASED ON THE MEAN ANNUAL INCREMENT OF THE GROWING STOCK AT OR NEAR THE ROTATION AGE**

### **Abstract**

Recent research activities have proven that in case of new local yield tables the mean annual increment of the total production cannot be used to determine site quality index as total production is not known in most cases. This paper suggests using the mean annual increment of the growing stock as a basis of determination of site quality index. On the other hand, this value is not comparable with site quality indices derived from existing global yield tables. The paper presents a new method of site classification where site quality index is derived from growing stock data in global yield tables. Both a graphical method and numeric values are presented.

*Keywords:* site quality index, growing stock, and mean annual increment at or near rotation age



## BEVEZETÉS

Egy adott faállomány minőségi besorolásának fontos mutatói: a fatermési osztály, illetve a fatermési fok (fatermőképesség). Mindkét mutató meghatározása a faállomány kora és átlagmagassága alapján történik.

Fontos e két fogalom elkülönítése, mivel a szakmai közvéleményben esetenként összerosódhatnak.

**Fatermési osztály:** az adott faállomány (állomány-összetevő) magassági növekedésének az ország (vagy – helyi fatermési táblák esetén – egy adott körzet) összes azonos fajajú állományához viszonyított intenzitása, a legjobbtól a legrosszabbig I-től VI-ig terjedő római számokkal jelölve. Meghatározása az állomány-összetevő kora és átlagmagassága (esetenként: felsőmagassága) alapján történik. Relatív viszonyítási alap.

**Fatermési fok (fatermőképesség):** az összfatermés fatermési modell szerinti hektáronkénti átlagnövedéke 100% sűrűség és elegyarány feltételezésével, adott – fajonként megállapított – korban. Meghatározása az állomány-összetevő kora és átlagmagassága alapján történik. Mértékegysége:  $m^3/év/ha$ . Abszolút értéket tartalmazó viszonyítási alap.

Amint látható, e két fatermési mutató lényegesen különbözik egymástól. A fatermési osztály tehát relatív viszonyítási alap, míg a fatermőképesség mértékegységgel rendelkező mutatószám.

A fatermési osztályok („termőhelyi osztályok”) szerinti elkülönítés – különböző formákban – már az első hazai fatermési táblákban megjelentek (Király 2000; Greiner 1839, 1842, 1866, 1896; Feistmantel 1854). Meghatározása a XIX. század végétől a kor és az átlagmagasság alapján történt (Greiner 1896).

A fatermési fok használata viszonylag újkeletű. Király László alkalmazta az átdolgozott nomogramok esetében az adott termőhely fatermőképességének mérése céljából (Király 1966). Grafikus fatermési táblákban is jól kezelhető, csakúgy, mint a fatermési osztály. (Ez utóbbival közösen szerepel a nomogramok bal felső sarkában.) Mivel konkrét (mértékegységgel rendelkező) számadatot szolgáltat, alkalmazást nyert a különböző erdőrendezési algoritmusokban. Úgyszintén kiválóan alkalmas a különböző tényezők (biotikus, abiotikus) és a fatermés közötti kapcsolatok vizsgálatára, elemzésére.

A fatermési fok használatának igen nagy előnye, hogy általa korrekt módon határozható meg, illetve vethető egybe a különböző korú faállományok fatermése. A fatermési fokok helyes alkalmazása nem csupán a faterméstani jellegű vizsgálatok esetén nyit tág teret a faállományok értékelésére, hanem a fatermés életkortól független korrekt megjelenítése révén hasznos eszköze az egyéb diszciplínák (ökológia, erdőnevelés, erdészeti nemesítés, erdővédelem, talajtan, talaj-melioráció stb.) keretében bekövetkezett változások értékelésére is. E mutatószám használatának másik nagy előnye, hogy a faállományok fatermésének egybevetése során az eredményt jóval kevésbé befolyásolja azok gyérítettségi állapota, mivel a kor és az átlagmagasság alapján kerül meghatározásra.

A fatermési fok a fatermési táblákból (fatermési modellekből) származtatható érték. Eredeti értelemben vett meghatározásához azonban az összfatermés adataira van szükség, vagyis az élőfakészlet mellett ismerünk kell a meghatározás időpontjáig kitermelt előhasználati fatérfogatot (esetleg a száradék mennyiségét). Ez jelentős mértékben megnehezítheti a helyi modellek esetében történő alkalmazását, mivel az esetek túlnyomó többségében csupán a mindenkori élőfakészletek állnak a rendelkezésünkre.

Speciális vizsgálatok esetén az összehasonlíthatóság céljából célszerűnek látszik a fatermési fokokat az egészállomány fatérfogatára is kiszámítani mind az országos, mind pedig a helyi fatermési táblák adataiból, így az adott faállománytípus helyi modellje szerint számított fatermőképesség egybevethető az országos fatermési tábla alapján számított fatermőképességgel.

Megjegyzendő, hogy az egészállomány-adatokból számított helyi modellek fatermési fokának értékében természetesen tükröződik a mindenkori gyérítettségi állapot. Tekintettel azonban arra, hogy a helyi modellek is számos (esetenként többszáz) faállomány adataiból kerülnek megszerkesztésre, ez a hatás statisztikailag minden bizonnyal kiegyenlítődik.



Jelen cikkben az akácok országos fatermési táblájából az összfatermés és az egészállomány-adataiból, illetve a zalai, somogyi és tolnai akácok helyi fatermési tábla élőkészlet adataiból számított fatermési fokokat vizsgáltam.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Alapadatok

Az akácok országos fatermési tábláiból az adatokat, illetve a származtatott adatokat Rédei Károly és Gál János akác országos fatermési táblájából vettem át (Rédei és Gál 1985).

A Zala megyei, a Somogy megyei és a Tolna megyei helyi modellek szerkesztéséhez a NÉBIH Erdészeti Igazgatóságától megvásárolt FNM-I. adatokat, illetve adattári adatokat használtam.

A rendelkezésünkre bocsátott FNM-I. adatbázis nem az alapadatokat, hanem az egyedi felvételű mintakörök faállományának számított adatait tartalmazza. A megfelelő számításokat az NÉBIH Erdészeti Igazgatósága végezte el.

Az elemzés során az 1993 – 2007 évi adatbázisok származtatott értékeit használtam fel, az alábbi szűrési feltétellel: a főfafaj (akác) körlap szerinti elegyaránya 50%, vagy ennél magasabb legyen. Ideális esetben egyazon mintakörnek több ötvenkénti felvételére is sor került a fenti időszakban, így a modell a főbb faállomány-szerkezeti tényezők mintakörönkénti növekedésmenetének jellegével pontosítható volt.

A fatermési modellek (helyi fatermési táblák) szerkesztése során alapvető fontosságú a faállományok kora és átlagmagassága közötti összefüggés helyes modellezése. Az FNM adatokat emiatt bővítettem az adott körzet adott faállománytípusának (elegyarány > 50%) kor-magasság adatpárjaival (Dr. Gál János kigyűjtése). A többi adatot a modellszerkesztés további munkamenetében nem használtam fel, mivel az adattári adatok túlnyomórészt fatermési táblás becslési mód eredményei, ezért az alkalmazott fatermési tábla adatsorait kaptam volna eredményül. A faállományok életkorát és átlagmagasságát a terepen kell meghatározni a fatermési táblás becslési módhoz is.

A Zala, Somogy és Tolna megyei akácok helyi fatermési modelljéhez 10357, 12451, 8684 (összesen: 31492) adattári kor-átlagmagasság adatpárt, valamint 97, 139, 86 (összesen: 322) FNM-I. mintakör 195, 293, 170 (összesen: 656) felvételének adatbázisát használtam fel.

Az említett modelleket az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV projekt D. alprogramja (Erdészeti és szántóföldi biomassza-termesztés hozamai, kockázata és gazdasági hatása) D1. részprogramjának (Az erdőállományok növekedésmenetének és természeti kockázatainak változásai) keretében dolgoztam ki.

### A számítás menete

A faállományok életkorának függvényében a fenti alapadatok eloszlása a 30 éves referencia-kor (index-kor) kijelölését tette szükségessé. A vágásos üzemmódú akácok meglévő fatermési táblája esetén a fatermési fok: az összfatermés átlagnövedéke 25 éves (tehát nem 30 éves) korban. A zalai, somogyi és tolnai helyi modellek és az országos fatermési tábla adataiból számított fatermési fok értékeinek jobb egybevetetősége miatt az országos fatermési tábla egészállomány és összfatermés fatermőképességét úgy szintén 30 éves korra számítottam ki (Veperdi 2008).

Első lépésként megszerkesztettem a hat fatermési osztály adataiból a főállomány magassági növekedésmenetének vezérgörbéjét. (Ez a vezérgörbe megszerkeszthető az egyes korokhoz tartozó magassági adatok

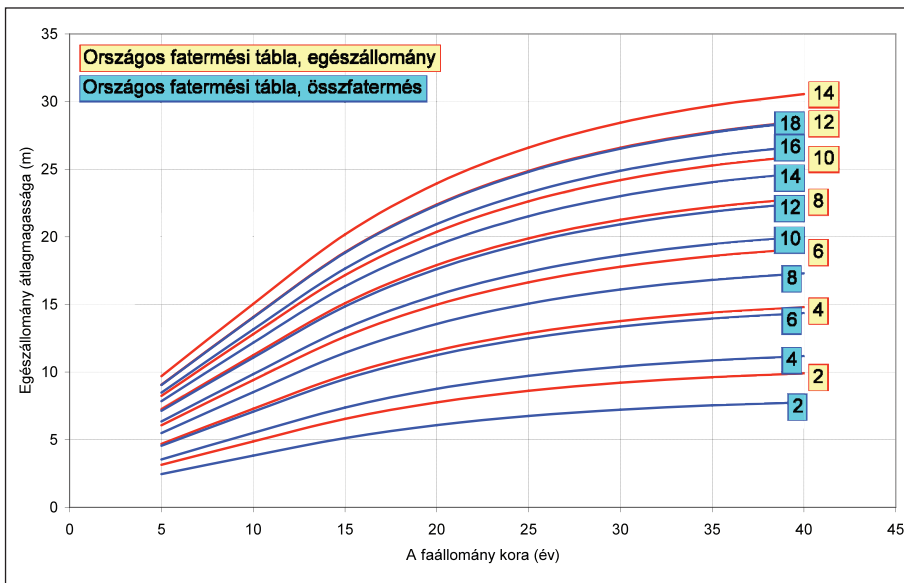
átlagolásával, vagy pedig egy másodfokú polinomiális trendvonal illesztésével.) Az akác fatermési tábla 5 éves időközökben mutatja az adatokat (5-40 év). Kiszámítottam, hogy az egyes korokhoz tartozó átlagmagasság hány százaléka a referencia-kori átlagmagasságnak (30 év). Ezt a százaléksort függvényesítettem a kor logaritmusára 1-5 fokú hatványának függvényében (H% érték).

A hat fatermési osztályhoz egyenként kigyűjtöttem a referencia-korhoz tartozó egészállomány átlagmagasságát, valamint az egészállomány, illetve az összfatermés átlagnövedékét. Meghatároztam a 30 éves korhoz tartozó átlagmagasság és átlagnövedékhez tartozó függvénykapcsolatot másodfokú polinomiális függvény alkalmazásával (független változó: átlagnövedék, függő változó: átlagmagasság), külön az egészállomány, és külön az összfatermés átlagnövedékének vonatkozásában. Az így kiszámított függvényparaméterekkel kiszámítottam az egészállomány átlagnövedékéhez, illetve az összfatermés átlagnövedékéhez tartozó magassági adatokat. Az így kiszámított magassági adatokat minden átlagnövedék-értékre és minden korra beszoroztam a H%-értékkel, és eredményül megkaptam a fatermési fokok görbéit a kor függvényében.

Hasonló módon történt a zalai, somogyi és tolnai akácok helyi fatermési modelljéből származtatott fatermési fokok a kiszámítása.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A fent ismertetett módon kiszámított adatsorokból először az országos fatermési tábla összfatermésének, illetve egészállományának fatermési fok értéksorait vettem egybe, amelynek grafikus megjelenítését az 1. ábra szemlélteti:

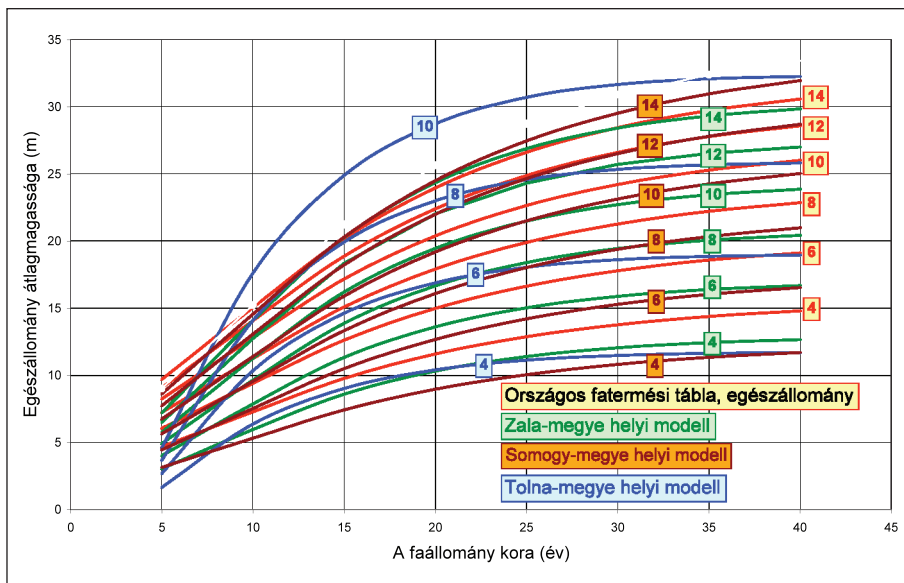


1. ábra: Akácok fatermőképessége a kor és az egészállomány átlagmagasságának függvényében az országos fatermési tábla adatai alapján (kék vonal: az összfatermés átlagnövedékéből számított, a piros vonal: országos fatermési tábla, egészállomány átlagnövedékéből számított fatermési fok)

Figure 1: Black locust site quality index as a function of age and growing stock average height; based on global yield table (blue line: data derived from mean annual increment of the total production; red line: data derived from global yield table, site index based on mean annual increment of the growing stock)

Az 1. ábra jól szemlélteti, hogy az országos fatermési tábla összfatermés-adatsorából levezetett fatermési fok (az ábrán: kék vonallal ábrázolva) nem hasonlítható össze az egészállomány adatsorokból levezetett fatermési fokkal (az ábrán piros vonallal ábrázolva), azoknál rendre alacsonyabb magasság-szinten futnak a görbék. Ennek oka: az összfatermés-adatokból az adott korra számított éves átlagnövedék magasabb, mivel tartalmazza az addigi előhasználatok során kikerült faanyag mennyiségét is. Az 1. ábra (és a 2. ábra) kapcsán megjegyzendő, hogy ha alacsonyabban fut egy-egy fatermési fok értékvonala, ez magasabb fatermésre utal, mivel ugyanazon korban ezt a fatermőképességet már alacsonyabb átlagmagasságnál eléri.

Az említett három megyei akác-modellből, illetve az országos akác fatermési táblából számított egészállomány fatermőképességek egybevetését a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A Zala-, Somogy- és Tolna megyék adataira számított helyi akác modellek alapján, illetve az akác országos fatermési tábla alapján számított egészállomány fatermőképesség értéksorainak egybevetése.

Figure 2: Comparison of black locust growth indices based on mean annual increment of growing stock of global yield table data and local yield tables of Zala, Somogy and Tolna counties

A 2. ábrát szemlélve megállapítható, hogy 10 éves kortól a Tolna-megyei akácok fatermőképessége a leggyengébb. A 12-nél alacsonyabb fatermési fokok görbéi a zalai és somogyi akácok fatermőképessége az országos átlagnál kedvezőbb értéket mutatnak, a 12 és magasabb fatermési fokok görbéi többé-kevésbé hasonló értéket mutatnak. Megjegyzendő, hogy a zalai akácok fatermése ezekben az értéktartományokban is többnyire kedvező.

Példaként néhány fatermőképesség-meghatározás eredményét az 1. táblázatban mutatom be.



1. táblázat: Példák az akácok fatermőképességének meghatározására az országos fatermési tábla összftermése és egészállománya, illetve a zalai, a somogyi és tolnai helyi modellek alapján számítva.

Table 1: Examples of back locust site indices based on total production and growing stock stock of global and local yield tables

A modell területi vonatkozása	Fatermési fok, m <sup>3</sup> /ha/év					
	kor (év)		H <sub>2</sub> (m)		kor (év)	
	20	20	25	25	30	25
Országos ft. tábla, összftermés	14,8		18,0		16,0	
Országos ft. tábla, egészállomány	9,7		12,0		10,7	
Zala megye helyi modell	10,3		12,5		11,5	
Somogy megye helyi modell	10,5		12,5		11,3	
Tolna megye helyi modell	7,1		8,2		7,9	

A példák is alátámasztják, miszerint:

- az összftermés átlagnövedéke alapján számított fatermőképesség nem vehető egybe az egészállomány átlagnövedéke alapján számított fatermőképességgel, ami alátámasztja az egészállományra vonatkoztatott fatermési fok számításának szükségességét;
- a Tolna-megyei akácok fatermőképessége lényegesen alacsonyabb a zalai és a somogyi akácokénál, illetve az országos átlagot képviselő országos adatoknál;
- a zalai és a somogyi akácok fatermőképessége között nincs számottevő eltérés.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiek alapján javaslom az egészállomány meghatározott korú átlagnövedékére is kiszámítani a fatermőképességet valamennyi főbb hazai faállománytípusra, amelyekre készült fatermési tábla. Ez a fatermőképesség nagyobb biztonsággal vehető egybe azoknak az állományoknak a fatermőképességével, amelyek esetében nem rendelkezünk összftermés-adatokkal.

A gyakorlat számára mindez jelentős mértékben megkönnyíti azon faállományok fatermésének egybevetését, összehasonlítását, amelyekre nem rendelkezünk összftermés-adatokkal. Mint fentebb szó esett erről, ilyen összftermés-adatsorokkal – kevés kivételtől eltekintve – csak a hosszúlejáratú fatermési kísérletek vonatkozásában rendelkezünk.

Amennyiben egy konkrét faállományunk fatermését az országos fatermési tábla fatermés-adataival szeretnénk egybevetni, akkor mindenképpen célszerű az adott országos fatermési táblában kiszámítani az egészállomány fatermési fokát.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Béky A.; Bondor A.; Gabnai E.; Hajdu G.; Halupa L.; Kiss R.; Mendlik G.; Rédei K.; Solymos R. és Veperdi G. 1991: A hosszúléjártú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek létesítésének, felvételének és fenntartásának továbbfejlesztett irányelvei. Erdészeti Kutatások, 82–83(2):198–213.
- Birck O.; Kiss R.; Márkus L.; Solymos R. és Tallós P. 1962: A hosszúléjártú erdőnevelési és faterméstani kísérleti területek kitérésének, felvételének és fenntartásának irányelvei. Erdészeti Kutatások, 58: 217-259 o.
- Feistmantel, R. 1854: Allgemeine Waldbestandestafeln, Wien.
- Greiner L. 1866: Fatermési táblák, Lőcse
- Greiner L. 1896: Fatermési táblák, Lőcse
- Greiner, L. 1839, 1842: Beiträge zur Kenntniz und Verbesserung des ungarischen Forstwesens und des Forstwesens im Allgemeinen.
- Király L. 1966: Új fatermési nomogram. Az Erdő, 15 101(8): 367-369.
- Király L. 2000: Fejezetek a dendrometria, faterméstani köréből (a hazai faterméstani fejlődése, dendrometriai, faterméstani alapfogalmak). Kézirat.
- Rédei K. és Gál J. 1985: Az akácok fatermése. Erdészeti Kutatások, 76-77:195-204.
- Veperdi G. 2008: Faterméstani. Oktatási segédanyag, Sopron.

*Érkezett: 2014. március 4.*

*Közlésre elfogadva: 2014. október 6.*





### Szellem-lucosok

Az ismétlődő viharok – több más fajjal együtt – többmillió nagyságrendben döntenek ki és törnek ketté lucokat. Ha az így keletkező nagymennyiségű friss holtfát pl. természetvédelmi megfontolásból nem távolítják el, az – különösen aszályos években – drámai mértékű szűkárkhoz vezethet. Ezek során még a vihar által nem, vagy csak kevésbé károsított állományokban is tömeges fapusztulás következhet be. A felső kép a Tátrai Nemzeti Parkban, az alsó pedig a Sumava Nemzeti Parkban készült.

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



# EGY CSERES FAÁLLOMÁNY FÖLD FELETTI ÉS FÖLD ALATTI SZERVES-ANYAGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Führer Ernő<sup>1</sup>, Csiha Imre<sup>2</sup>, Szabados Ildikó<sup>1</sup>, Pödör Zoltán<sup>3</sup> és Jagodics Anikó<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Erdőművelési és Ökológiai Osztály, Sopron

<sup>2</sup>NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Ültetvényyszerű Fatermesztési Osztály

<sup>3</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

## Kivonat

Az erdők szénforgalomban betöltött szerepének általános megítélése a klímaváltozás érvényesülése és mérséklése tekintetében pozitív. Ahhoz, hogy ezt magyarországi adatokkal is alátámaszthassuk, viszonyítási alapként ismernünk kell a hazai erdőkben tárolt szén mennyiségét. Feltételezve, hogy a klímaváltozás hatására melegebb és szárazabb körülmények fognak uralkodni, nagyobb jelentősége lesz az olyan őshonos fafajoknak, melyek az új helyzetben is életképesek maradhatnak. Ezek közé tartozik a cser, mely fafaj egy állományának föld feletti és föld alatti biomasz-tömegét határoztuk meg szétegyenértékben kifejezve. A mérések alapján az összes szerves anyag 70%-a a föld felett, 30%-a pedig a föld alatt, a talajban található. Az egyes kompartmentek aránya csökkenő sorrendben a következő: törzs 55%, gyökérzet 24%, ágak 13%, tuskó 6% és végül a levélzet 2%. A levélzet nélküli föld feletti és a föld alatti dendromassza aránya 2,3. A korábbi, más fafajokkal végzett vizsgálatok eredményeit is figyelembe véve meghatároztuk a klímfüggő arányszám és az erdészeti szárazsági index (FAI) közötti kapcsolatot, így az élőfakészlet és a klímfüggő arányszám ismeretében becsülhető a föld alatti dendromassza szénkészlete.

*Kulcsszavak:* cser, szénkészlet, klímaindex, arányszám

## ABOVEGROUND AND BELOWGROUND DENDROMASS IN A STAND OF TURKEY OAK

### Abstract

In general view, the role of forests in carbon cycle is considered to be positive in reference to the impacts and mitigation of climate change. To verify this by results in Hungary, we have to assess the amount of carbon stored in forests in Hungary as a basis for comparison. Expecting warmer and drier climate as an effect of the climate change, we have to prefer the native tree species that are able to survive and maintain vitality under the new conditions. Therefore in a stand of Turkey oak we investigated the compartments of aboveground and belowground dendromass in terms of carbon equivalent. According to the results, 70% of the total dendromass was above and 30% of it was below the ground. Percentage of the compartments in descending order are as follows: stems: 55%, roots 24%, branches 13%, trunks 6% and foliage 2%. The ratio of aboveground (without foliage) and belowground carbon stock is 2.3. Taking our previous results of other forest stands into account, we could determine the correlation of Forestry Aridity Index (FAI) and this ratio. Hence the carbon amount in belowground dendromass can be estimated based on the stand volume and this climate-dependent ratio.

*Keywords:* Turkey oak, carbon stock, climate index, ratio

Levelező szerző/Correspondence:

Führer Ernő, 9400 Sopron, Paprét 17.; e-mail: fuhrere@erti.hu



## BEVEZETÉS

A faállományok szervesanyag-készletének meghatározásával foglalkozó kutatások több mint száz éve kezdődtek, és elsősorban a föld feletti dendromassza, azaz az élőfakészlet tömegének megállapítására törekedtek. Magyarországon az 1950-es években indultak ilyen irányú kutatások (Járó és Horváthné 1959; Gyarmatiné 1978; Járó 1979, 1990; Ujváriné és mtsai 2001). A biomassza mennyisége mellett, annak kompartmentek szerinti eloszlása is fontos információt szolgáltat az egyes fajok klímatoleranciájának mélyebb megismeréséhez. A föld feletti szerves anyag nagy pontosságú becsléséhez a kiindulási adatok az erdészeti adatbankban rendelkezésre állnak, azonban a föld alatti dendromassza mennyiségére vonatkozóan a különböző ökológiai körülmények és fajok, illetve állománytípusok esetében nagyon kevés információval rendelkezünk. Az 1970-es évektől indultak az ökoszisztémák produkciójával és az ökológiai tényezők szerepével kapcsolatos nagyobb projektek, melyek a fontosabb fajok finomgyökérzetét is vizsgálták (Göttsche 1972; Hoffmann 1974; Persson 1979, 1980; Glatzel 1983; Karpov 1983; Blommborg és Hall 1986; Yin és mtsai 1989; Sanantonio 1990; Rastin 1991; Büttner és Leuschner 1994).

Hazánkban először az alföldfásítás, illetve szikfásítás keretében kezdődtek fák és cserjék gyökérzetére vonatkozó kutatások (Magyar 1929, 1961; Faragó 1960, 1972), melyek vázas rendszerű gyökérfeltárások voltak. Ezek a vizsgálatok elsősorban a termőhely-hasznosítás és a talajszerkezet hatásának kérdéskörében nyújtanak információt. Járó (1991, 1995) az 1990-es években több állományalkotó faj esetében végzett monolitos gyökérvizsgálatokat, melyek már a gyökérmennyiségre és -minőségre vonatkozóan is adtak eredményeket.

Az „Erdő-Klíma” kutatási program (NKFP 3/B/0012/2002) keretében 2003 és 2006 között három fontos őshonos faállománytípus (bükkös, gyertyános-kocsányos tölgyes, cseres) egy-egy optimális körülmények között tenyésztő állományának szervesanyag-mennyiségét határoztuk meg (Führer és Jagodics 2009; Führer és mtsai 2011a). Az adatokat a klíma és szervesanyag-képzés közötti összefüggések feltárása végett a klíma erdészeti szempontból fontos paramétereivel vetettük össze. Ezen összefüggések ismeretében lehetőség nyílik a klímaváltozás erdőgazdálkodásra gyakorolt közvetett hatásainak becslésére. A korábbi vizsgálatok eredményei az alkalmazott klímaparaméterek és az erdészeti szárazsági index (FAI) alapján két erdészeti klímaosztály (bükkös és gyertyános-tölgyes) termőképességének meghatározásához nyújtottak információkat, azonban a kocsánytalan tölgyes ill. cseres és erdőössztyepp klímaosztályokban jellemző szervesanyag- illetve szénkészletre vonatkozóan még nem rendelkezünk pontos adatokkal.

Jelen kutatás során egy tipikus kocsánytalan tölgyes ill. cseres klímában található cseres faállomány szervesanyag-mennyiségét, ennek kompartmentek szerinti eloszlását határoztuk meg. Ezen túlmenően a korábbi eredmények figyelembe vételével elemeztük, hogy a FAI-tól függően hogyan változik a föld feletti és föld alatti dendromassza szénkészletének aránya.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérleti objektum kiválasztásának egyik szempontja az volt, hogy a cser, mint faj az adott klímára jellemző erdőtársulás meghatározó alkotója legyen. Ezért a vizsgált faállomány erdészeti klímaosztálya kocsánytalan tölgyes ill. cseres. Ugyancsak fontos kiválasztási szempont volt, hogy a faállomány éves növekedése, vagyis szervesanyag-képzése még intenzív legyen, azaz kora az átlagnövedék kulminációs idejét ne haladja meg. Ekkor ugyanis a termőhely termőképességét szinte kizárólag a faállomány hasznosítja.

## A vizsgált állomány jellemzése

A kiválasztás során megvizsgáltuk a cserések előfordulását fatermőképesség szerint, majd olyan területek adatbanki leválogatását végeztük el, ahol tipikusan cseres klíma uralkodik és a szervesanyag-képzésnek a klímán, mint termőhelyi tényezőtől kívül nincsenek egyéb korlátozó tényezői. Így választottuk ki a teljes dendromassa (föld feletti és föld alatti) felvételezéséhez a Gödöllői-dombság erdészeti tájban, Valkó közelében található Vácszentlászló 34A erdőrészletet.

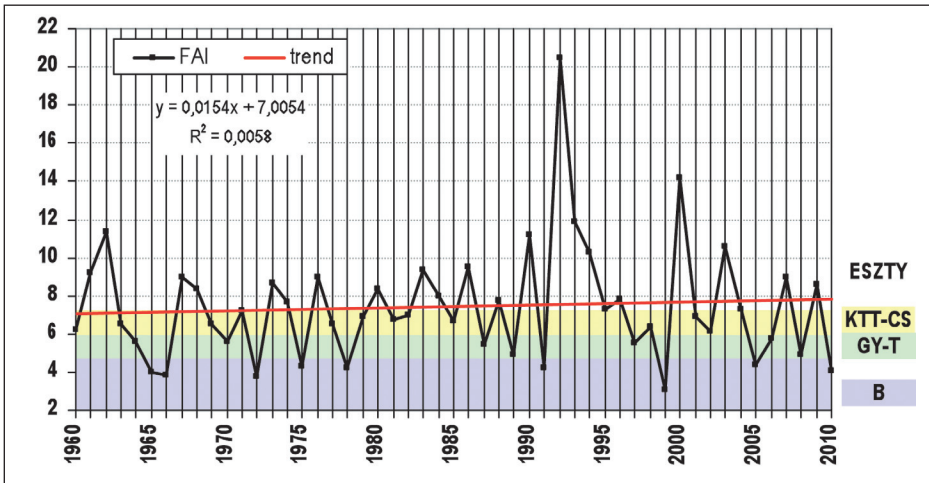
Az erdőrészlet 150–250 m tengerszint feletti magasságban, északi kitétségű domboldalon fekszik, lejtése 2,5–5°. Többlévtízhatástól független hidrológiájú, mély termőrétegű (140 cm), főleg vályog talajfizikai féleségű barnaföld jellemző a termőhelyre. A faállomány mag eredetű, kora 55 év, megfelelően zárt, főfafaja 96%-os elegyarányal a cser, ezen kívül 4%-nyi kocsányos tölgy fordul még elő a részlet északi sarkában, szórt elegyként. A cser II. fatermési osztályú, átlagmagassága 24 m, az átlagos mellmagassági átmérője 24 cm, záródása 90 %, a körlapösszeg 24,3 m<sup>2</sup>/ha, folyónövedéke 6,5 m<sup>3</sup>/ha/év, a fakészlete pedig 308 m<sup>3</sup>/ha. A faállomány alatt néhol sűrű cserjeszint alakult ki, melynek fajai a vadrózsa, cseregalagonya, mezei juhar, fagyal, egybibés galagonya, szeder, kökény, vadkörte. Cser és mezei juhar újulat található a részletben.

Az erdőrészletben egy 20 m × 17 m területű parcellát tűztünk ki, melyben törzsenkénti állomány-felvételezést végeztünk. A 340 m<sup>2</sup> nagyságú területen 18 törzs volt, ezek átlagos mellmagassági átmérője 25,2 cm, átlagmagassága 23,0 m, körlapösszege 0,9215 m<sup>2</sup> és átlagos fatérfogata 0,600 m<sup>3</sup>. Egy hektárra vonatkoztatva a törzsszám 529 db, a körlapösszeg 27,1 m<sup>2</sup>, a fakészlet pedig 317,6 m<sup>3</sup>, mely értékek kissé nagyobbak az egész erdőrészletre jellemző adatoknál.

A kísérleti terület az erdészeti szárazsági index (FAI) 50 éves (1961–2010) adatsora alapján a kocsánytalan tölgyes ill. cseres erdészeti klímakategóriába sorolható (Führer 2010; Führer és mtsai 2011b). Kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma ott alakul ki, ahol a FAI értéke 6,00 és 7,25 közé esik, a kísérleti objektumra számított átlagos értéke pedig 6,52. Az éves csapadékösszeg 50 éves átlaga 569 mm, míg az évi középhőmérséklet sokéves átlaga 9,7 °C. A tenyészidőszakban átlagosan 371 mm csapadékösszeg a jellemző, ebből 112 mm a legmelegebb, ún. kritikus hónapokban (július–augusztus) hullik. Ezen időszakokban az átlaghőmérsékletek pedig 15,6 °C és 20,0 °C. Az 50 éves perióduson belül az 1991–2010 időszakban a nyári hőmérsékletek emelkedő trendje figyelhető meg az 1961–1990 időszakhoz képest. Július–augusztus hónapokban a két időszak átlaghőmérséklete közti különbség eléri az 1 °C-ot. Amíg az éves csapadék csökkenő trendű, addig a nyári időszakban kismértékű növekedés figyelhető meg. Megállapítható továbbá az is, hogy az 1961-től 1990-ig terjedő bázisidőszakhoz képest az 1991–2010-es periódus szélsőségesebb időjárású, hiszen a kiugróan száraz évek (rendkívül magas FAI-érték: 1992, 2000) előfordulása gyakoribb, mint az azt megelőző időszakban (1. ábra).

## A dendromassa felvétele

A fő szervesanyag-képzés (V–VIII. hó) befejeződésekor, augusztus második felében végeztük el a föld alatti és föld feletti dendromassa helyszíni felvételét. A fatermési és állományszerkezeti viszonyok ismeretében a parcellán belül négy olyan törzset választottunk ki, amelyek az állományt reprezentálják. A négy törzset magában foglaló 8 m × 10 m-es területen található cserjéket és újulatot tömegmérés, valamint laboratóriumi vizsgálatok céljából összegyűjtöttük. A kísérleti parcellában a felvételkor feltűnően sok friss (zöld színű) cser levél borította a talajt, amelyek feltehetően az előző napi vihar következtében hullottak le. A cserjék eltávolítása után a terület négy sarkán és közepén 1–1 m<sup>2</sup>-ről mintát gyűjtöttünk ezekből a levelekből, majd a földön heverő száraz ágakat is összegyűjtöttük. Ezt követte a négy mintafa koronavetület mérése, és a törzsek egymáshoz viszonyított helyzetének felmérése.



1. ábra: A FAI érték alakulása a kísérleti területen az elmúlt 50 évben (B: bükkös klíma, GY-T: gyertyános-tölgyes klíma, KTT-CS: kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma, ESZTY: erdőssztyepp klíma)

Figure 1: FAI values and trend line of the past 50 years for the Turkey oak stand under investigation (B: section of beech climate category, GY-T: section of hornbeam-oak climate category, KTT-CS: section of sessile oak/Turkey oak climate category, ESZTY: section of forest steppe climate category)

A kijelölt négy mintatörzset kidöntöttük, és Führer és Jagodics (2009) által ismertetett metodika szerint elemeztük. A dendromassa szerves-anyagát két csoportba soroltuk:

- föld feletti szerves-anyag: lombozat, törzsfá és ágak,
- föld alatti szerves-anyag: tuskó és gyökér (gyökérfa), gyökérzet.

A kidöntött mintafák lombozatát leválasztottuk, élőnedves állapotban mértük a tömeget, majd átlagmintát vettünk a laboratóriumi vizsgálatokhoz. A törzs (fa és kéreg) és a nagyobb ágak tömegének meghatározása a gyakorlatban alkalmazott átmérőcsoportoknak (6, 8, 10, 12, ... cm) megfelelően a csúcstól mért darabolással történt (2. ábra). Az egyes darabokat a helyszínen lemértük, laboratóriumi vizsgálatok céljára a megadott átmérőcsoportoknál korongokat vágtunk. A vékonyabb ágakat átmérő szerint szétválogattuk, lemértük, és azokból is átlagmintákat vettünk.

A gyökérzet- és talajfeltáráshoz Járó (1995) által leírt módszer alapján a törzsek között a termőréteg mélységéig futóárkot ástunk, és az így kialakult szelvényfalakból 1 dm<sup>3</sup>-es talaj monolitokat (1500 db) szedtünk (3. ábra). A monolitokból a gyökereket átmérőcsoportok szerint kiválogattuk, légszáraz állapotban lemértük, és talajmélységenként átlagmintákat vettünk. Végül a mintafák tuskóinak kiemelését és talajtól való megtisztítását követően azok tömegének meghatározását a légszáraz állapot elérése után végeztük el.

Minden egyes kompartment (levél, hajtás, ágak, törzs, gyökér) átlagmintái laboratóriumba kerültek a szárazanyag-tartalom meghatározása végett. Az egyes kompartmentekből vett mintáknak mértük a tömegét élőnedves, légszáraz és abszolút száraz állapotban, valamint laboratóriumi vizsgálatok során meghatároztuk azok elemi szén és nitrogéntartalmát is. Az így kapott eredményeket a vizsgált állomány egy hektárjára vonatkoztatva értékeljük.





2. ábra. A kidöntött törzsek darabolása átmérőcsoportok szerint  
Figure 2: Stem of felled tree cut at specified diameters

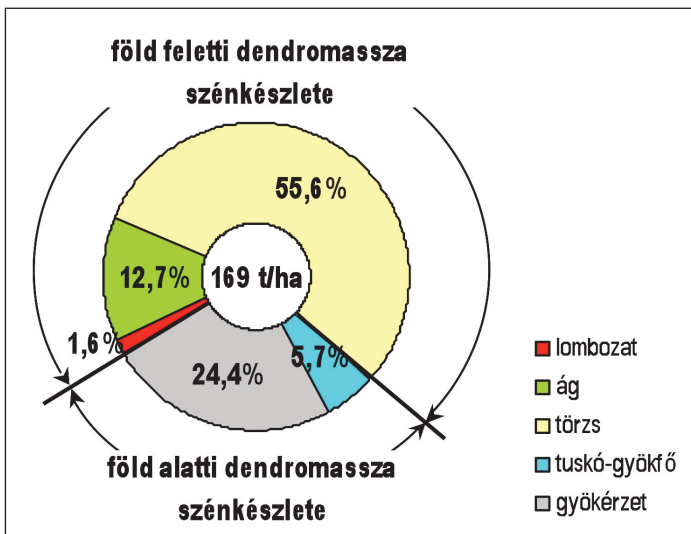


3. ábra. Gyökér- és talajfeltárás talajmonolitokkal  
Figure 3: Sampling of soil and roots applying the method of soil monoliths

## EREDMÉNYEK

A cseres ökoszisztéma föld feletti szervesanyag-mennyisége szénkészletben kifejezve hektáronként összesen 118 tonna (4. ábra). A cserjék szerves-anyagát is figyelembe véve a lombzatban található szén tömege ebből hektáronként 3 t, az ágszerkezetben pedig már 21 t széntömeg tárolódik. A dendromasszát tekintve a faállomány törzsei a legnagyobb széntárolók, ebben a kompartmentben egy hektárra vetítve 94 t szén halmozódott fel. Összességében tehát a föld feletti szénkészlet 2%-a a lombzatban, 18%-a az ágszerkezetben és 80%-a a törzsekben található.

Az ökoszisztéma föld alatti szénkészlete a föld felettinél kisebb, 51 t/ha. Ennek 20%-át a tuskó és gyöktő tömege teszi ki, 80%-át pedig a termőréteget sűrűn behalózó, különböző átmérőcsoportba sorolható gyökérszövet adja. Méréseink alapján a gyökérszövet abszolút száraz tömege a vizsgált cseresben 41 t/ha. Aránya a teljes dendromasszához (föld feletti és föld alatti együtt) viszonyítva valamivel több, mint 24%. A fiziológiai szempontból fontos, 2 mm-nél kisebb átmérőjű gyökerek aránya 20%, az 50 mm-nél vastagabb tartógyökerek aránya pedig 37%. A gyökértömeg 95%-a a talaj felső 100 cm-es rétegében található.



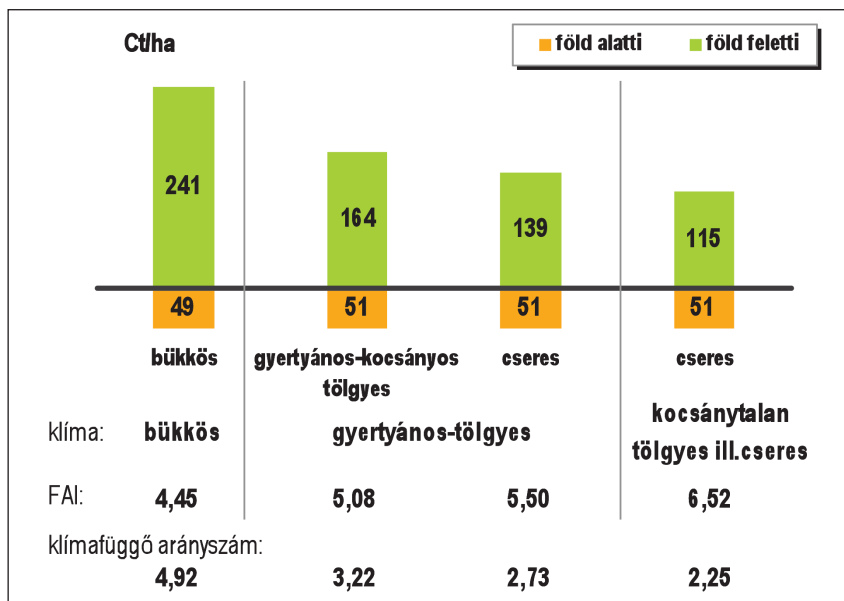
4. ábra: A cseres faállomány szénkészletének megoszlása a kompartmentek szerint  
 Figure 4: Carbon stock of the Turkey oak stand according to the compartments of dendromass

A vizsgált cseres ökoszisztéma föld alatti és föld feletti dendromasszájában összességében tehát 169 t az egy hektárra számított szénkészlet. Ennek 30%-a a föld alatti dendromasszában, 70%-a pedig a föld feletti dendromasszában található. Az egyes kompartmentek aránya csökkenő sorrendben így a következő: törzs 55%, gyökérszövet 24%, ág 13%, tuskó 6% és végül a levélzet 2%. A föld feletti és a föld alatti dendromassza aránya 2,3.

A mért adatokat összehasonlítottuk más klímában tenyésztő klímajelző fafajok hasonló mérési eredményeivel is (Führer és Jagodics 2009; Marjanović és mtsai 2011). A vizsgált állományok fejlődési stádiuma hasonló, növekedésük erélye a folyó- és az átlagnövedék kulminációs ideje közé esik. Koruk és állományszerkezetük is e stádiumnak megfelelő. E helyeken azonban a klimatikus viszonyok kedvezőbbek (alacsonyabb értékű szárazsági index), mint Valkó-Gödöllő környékén (5. ábra). Mindez pozitívan hat a szervesanyag-produkcióra, hiszen a föld feletti dendromassza a jobb körülmények mellett abszolút értékben és arányában is nagyobb. A klímát jellemző FAI érték csökkenésével a vizsgált faállományok szénkészlete egyértelműen növekszik. Amíg a nedvesebb és hűvösebb klímájú bükkös élőfakészletének széntömege több mint duplája (241 t/ha) a



valkói cseresének (115 t/ha), addig a föld alatti dendromassza tömege hasonló nagyságú. A különböző erdei ökoszisztémák fái tehát a rendelkezésükre álló termőréteget azonos mértékben, jól behálózzák, a klimatikus adottságoktól függően azonban az élőfakészletükben tárolt szénkészlet jelentősen különbözik egymástól. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy a klímában bekövetkező negatív tendenciák várhatóan a földfeletti dendromassza nagyságát, összességben pedig a faállományok élőfakészletét fogják csökkenteni. Mindez pedig drasztikusan befolyásolhatja negatív értelemben az erdőgazdálkodás jövedelmezőségét is.

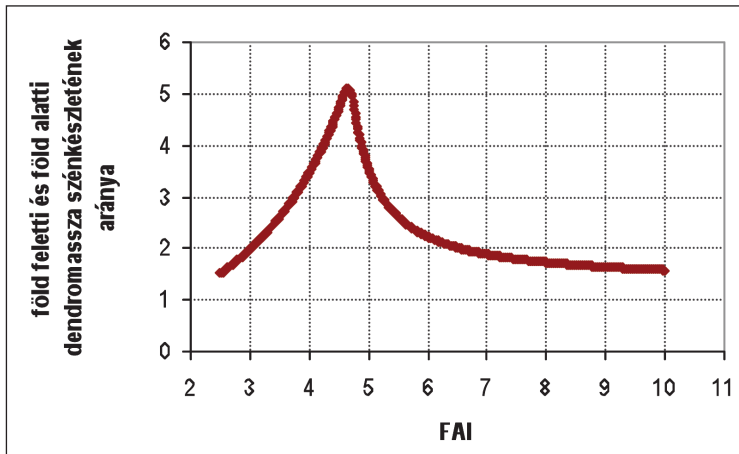


5. ábra: A föld feletti (levél nélkül) és föld alatti dendromassza szénkészlete a vizsgált állományokban  
 Figure 5: Carbon stocks of aboveground (without foliage) and belowground dendromass in the investigated forest stands

## AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTÁSA

Az eddigi megfigyelések alapján megállapíthatjuk tehát, hogy a kedvezőbb klímadottságok pozitívan hatnak a fák szervesanyag-produkciójára. Amennyiben az élőfakészlet szénttartalmát a gyökér, a gyökfő és a tuskó együttes szénttartalmához viszonyítjuk, egyértelműen látszik, hogy a föld alatti dendromassza egységnyi tömegű szénkészletére egy a klímától függő élőfakészlet szénkészlet tartozik. Vagyis rosszabb, azaz melegebb és szárazabb klímakörülmények között ez az arány csökken. Tehát, amíg a bükkös klímában tenyésző bükkösben e klímafüggő arányszám értéke 4,92, addig a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klímában lévő cseresben 2,25, a gyertyános-tölgyes klímában található cseresben viszont már 2,73, az ugyanitt található gyertyános-kocsányos tölgyesé pedig 3,22 (3. ábra). Természetesen a nagyon hűvös és igen csapadékos körülmények ugyancsak a klímafüggő arányszám csökkenését eredményezik. Ha tehát ismerjük a föld feletti dendromassza, azaz az élőfakészlet erdőtervi nagyságát, az alapján pedig a benne tárolt szén mennyiségét, akkor a klímafüggő arányszámmal osztva számítható a föld alatti dendromasszában tárolt szénkészlet nagysága is. Amennyiben kedvezőtlenebb talajadottságok, mint pl. vékonyabb termőréteg, vagy cementált vízzáró réteg miatt a föld feletti élőfakészlet kisebb, akkor a föld alatti dendromassza is ennek megfelelően kevesebb. Bár e megközelítés bizonyára nem érvényes minden esetre, mégis pontosabb becslési adatot szolgáltat annál a szemantikus számítási módnál, hogy a föld alatti dendromassza eléri a teljes dendromassza 20-25%-át.

További előnye, hogy a klímaváltozással összefüggően a módosuló föld feletti dendromassza arányában a föld alatti dendromassza szénkészletére nézve is közelítő adatokhoz juthatunk. A klímfüggő arányszám maximális értéke az eddigi megfigyelések alapján a bükkös és a gyertyános-tölgyes erdészeti klímaosztály határára jellemző klímakörülményeknél alakul ki (FAI: 4,65-4,85). Ekkor elegendő az evapotranszpirációhoz szükséges csapadék, és a vegetációs periódus átlaghőmérséklete is kedvező. A klímfüggő arányszám maximális tartományát jelző FAI értéknél alacsonyabb vagy magasabb tartományban a föld feletti és föld alatti dendromassza aránya is alacsonyabb. A konkrét mérési eredmények és egyéb elméleti megfontolások alapján a 6. ábrán láthatjuk azt az elméleti összetett görbét, aminek pontjai a FAI függvényében megfelelően közelítik a föld feletti és a föld alatti dendromassza viszonyát kifejező klímfüggő arányszámokat. A maximális aránytól balra és jobbra is egy-egy exponenciális jellegű csökkenést feltételezünk, ahol az előbbi egy gyorsabb, utóbbi egy lassabb ütemű csökkenést jellemez. 2,5 alatti és 10 feletti átlagos FAI értékkel a magyarországi viszonyok között gyakorlatilag nincs értelme foglalkozni.



6. ábra: A föld feletti és föld alatti dendromassza szénkészletének aránya a FAI függvényében  
Figure 6: Ratio of carbon stock in aboveground and belowground dendromass as a function of FAI

Ennek megfelelően Magyarország esetében az élőfakészlet szénkészletéből a 1. táblázatban közölt adatok segítségével becsülhetjük fajajtól függetlenül a föld alatti dendromassza aktuális szénkészletét, és amennyiben az élőfakészlet változni fog, akkor annak várható értékét is.

1. táblázat: A föld feletti és a föld alatti dendromassza szénkészletének arányszáma (Y) a FAI függvényében  
Table 1: FAI values and the correlated ratios of carbon stock in aboveground and belowground dendromass (Y)

FAI	Y	FAI	Y	FAI	Y	FAI	Y	FAI	Y
2,50	1,511	4,05	3,580	5,40	2,727	6,95	1,898	8,50	1,680
2,55	1,554	4,10	3,687	5,45	2,665	7,00	1,887	8,55	1,676
2,60	1,597	4,15	3,800	5,50	2,609	7,05	1,876	8,60	1,672
2,65	1,642	4,20	3,916	5,55	2,557	7,10	1,866	8,65	1,668
2,70	1,688	4,25	4,038	5,60	2,509	7,15	1,856	8,70	1,664
2,75	1,735	4,30	4,164	5,65	2,464	7,20	1,847	8,75	1,660
2,80	1,783	4,35	4,296	5,70	2,423	7,25	1,838	8,80	1,656

Az 1. táblázat folytatása

FAI	Y	FAI	Y	FAI	Y	FAI	Y	FAI	Y
2,85	1,832	4,40	4,434	5,75	2,385	7,30	1,829	8,85	1,652
2,90	1,883	4,45	4,578	5,80	2,349	7,35	1,820	8,90	1,648
2,95	1,935	4,50	4,728	5,85	2,315	7,40	1,812	8,95	1,645
3,00	1,989	4,55	4,886	5,90	2,284	7,45	1,804	9,00	1,641
3,05	2,044	4,60	5,048	5,95	2,254	7,50	1,796	9,05	1,638
3,10	2,100	4,65	5,100	6,00	2,226	7,55	1,789	9,10	1,634
3,15	2,158	4,70	5,026	6,05	2,200	7,60	1,782	9,15	1,631
3,20	2,218	4,75	4,777	6,10	2,175	7,65	1,775	9,20	1,627
3,25	2,279	4,80	4,430	6,15	2,152	7,70	1,768	9,25	1,624
3,30	2,343	4,85	4,146	6,20	2,130	7,75	1,761	9,30	1,621
3,35	2,408	4,90	3,909	6,25	2,109	7,80	1,755	9,35	1,618
3,40	2,475	4,95	3,709	6,30	2,089	7,85	1,748	9,40	1,615
3,45	2,544	5,00	3,537	6,35	2,070	7,90	1,742	9,45	1,612
3,50	2,616	5,05	3,389	6,40	2,052	7,95	1,736	9,50	1,609
3,55	2,689	5,10	3,259	6,45	2,034	8,00	1,731	9,55	1,606
3,60	2,765	5,15	3,144	6,50	2,018	8,05	1,725	9,60	1,603
3,65	2,844	5,16	3,123	6,55	2,002	8,10	1,720	9,65	1,601
3,70	2,925	5,17	3,102	6,60	1,987	8,15	1,714	9,70	1,598
3,75	3,009	5,18	3,081	6,65	1,973	8,20	1,709	9,75	1,595
3,80	3,096	5,19	3,061	6,70	1,959	8,25	1,704	9,80	1,593
3,85	3,186	5,20	3,042	6,75	1,946	8,30	1,699	9,85	1,590
3,90	3,279	5,25	2,951	6,80	1,933	8,35	1,694	9,90	1,588
3,95	3,376	5,30	2,869	6,85	1,921	8,40	1,690	9,95	1,585
4,00	3,476	5,35	2,794	6,90	1,909	8,45	1,685	10,00	1,583

## ÖSSZEFOGLALÁS

Egy kocsánytalan tölgyes ill. cseres erdészeti klímaosztályban tenyésző cseres ökoszisztéma föld feletti és föld alatti szénegyenértékben kifejezett dendromassza-tömegét határoztuk meg. A legfontosabb eredmények az alábbiak:

- A föld feletti szervesanyag-tömeg szénkészlete összesen 118 tonna hektáronként, ennek 80%-a a törzsekben, 18%-a az ágszerkezetben halmozódott fel, és csak 2%-a a lombzatban.
- A föld alatti dendromassza szénkészlete 51 tonna hektáronként, aminek 20%-a a tuskóban és gyökfőben, 80%-a pedig a termőréteget sűrűn behálózó gyökérzetben található.
- A fiziológiai szempontból fontos 2 mm-nél vékonyabb gyökerek aránya 20%, az 50 mm-nél vastagabb tartógyökerek aránya pedig 37%.
- A vizsgált cseres ökoszisztéma föld alatti és föld feletti dendromasszájában összességében tehát 169 t az egy hektárra számított szénkészlet. Ennek 30%-a a föld alatti dendromasszában, 70%-a pedig a föld feletti található.



- A klímát jellemző FAI érték csökkenésével a vizsgált faállományok szénkészlete egyértelműen növekszik. Amíg a nedvesebb és hűvösebb klímájú bükkös föld feletti szénkészlete több mint kétszerese (241 t/ha) a valkói cseresének (115 t/ha), addig a föld alatti dendromassa tömege hasonló nagyságú.
- Amennyiben az élőfakészlet szénttartalmát a gyökér, a gyökfő és a tuskó együttes szénttartalmához viszonyítjuk, akkor látszik, hogy föld alatti dendromassa egységnyi tömegű szénkészletére egy a klímától függő élőfakészleti (föld feletti) szénkészlet tartozik.
- Más klímaosztályban végzett hasonló mérések alapján egy bükkös klímában tenyésző bükkösben e klímafüggő arányszám értéke 4,92, addig a most bemutatott kocsánytalan tölgyes ill. cseres klímában lévő cseresben 2,25, a gyertyános-tölgyes klímában tenyésző cseresben viszont már 2,73, az ugyanabban a klímában található gyertyános- kocsányos tölgyesé pedig 3,22 (5. ábra).
- A klímafüggő arányszám maximális értéke a bükkös és a gyertyános-tölgyes erdészeti klímaosztály határára jellemző klímakörülményeknél alakul ki. A klímafüggő arányszám maximális tartományát jelző FAI értéknél alacsonyabb vagy magasabb FAI értékek mellett a föld feletti és föld alatti dendromassa aránya is alacsonyabb.
- A konkrét mérési eredmények és egyéb elméleti megfontolások alapján, az élőfakészlet szénkészletéből a föld feletti és a föld alatti dendromassa viszonyát kifejező klímafüggő arányszám (1. táblázat) segítségével becsülhetjük a föld alatti dendromassa aktuális nagyságát.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A–11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A korábbi eredmények az Erdő-Klíma program (NKFP3/B/0012/0012) és az OTKA 80305-80335 projektek keretében születtek.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Blomberg, W.J. and Hall, A.A. 1986: Effects of laminated root rot on relationships between stem growth and root-system-size, morphology, and a spatial distribution in Douglas-fir. *Forestry Sciences*, 32 (1): 202–219.
- Büttner, V. and Leuschner, C. 1994: Spatial and temporal patterns of fine root abundance in a mixed oak-beech forest. *Forest Ecology and Management*, 70 (1–3): 11–21.
- Faragó S. 1960: Homoki cserjék gyökérfeltárása. *Erdészeti Kutatások*, 56 (1–3): 341–360.
- Faragó, S. 1972: Investigations on the growth rate of Austrian pine (*Pinus nigra*) roots and side branches. *Erdészeti Kutatások*, 68 (2): 155–176.
- Führer E. és Jagodics A. 2009: A klímajelző fafajú állományok szénkészlete. „Klíma-21” Füzetek, 57: 43–55.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „Klíma-21” Füzetek, 61: 98–107.
- Führer E.; Czupy Gy.; Kocsisné Antal J. és Jagodics A. 2011a: Gyökérvizsgálatok bükkös, gyertyános-kocsányos tölgyes és cseres faállományban. *Agrokémia és Talajtan*, 60 (1): 103–118.
- Führer, E.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Machon, A. and Szabados, I. 2011b: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*, 115 (3): 205–216.
- Glatzel, G. 1983: Root distribution and soil water depletion in an Oak-Hornbeam stand (*Quercus petraea*, *Q. robur*, *Carpinus betulus*) and Spruce Thicket (*Picea abies*). In: Böhm, W.; Kutschera, L. und Lichtenegger, E. (eds): *Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung. Internationales Symposium vom 27–29. September 1982. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein, A-Irdning*. 65–88.

- Göttsche, D. 1972: Verteilung von Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil eines Buchen- und Fichtenbestandes im Solling. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, 88: 1–102.
- Gyarmatiné Proszts S. 1978: A trágyázás. In: Keresztesi B. és Solymos R. (eds): A fenyők termesztése és a fenyőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Hoffmann, G. 1974: Einfluss von Sommerdürre auf das Wurzelwachstum von Lärche (*Larix leptolepis*). In: Hoffmann, G. (ed): Ökologie und Physiologie des Wurzelwachstums. II. Internationales Symposium, Potsdam 1971. Berlin, Akademie Verlag.
- Járó Z. és Horváth E-né 1959: Tápanyag-körforgalom a magyar erdő egyes típusaiban. Erdészeti Kutatások, 6(1–2): 231–246.
- Járó Z. 1979: A kultúrerdők ökoszisztéma-vizsgálata. Monográfia. MTA Veszprémi Akadémiai Bizottság Kiadványai, 5 (1)
- Járó Z. 1990: A bükkösök szerves- és tápanyagforgalma. Erdészeti Kutatások, 80–81: 83–98.
- Járó Z. 1991: Lomberdők gyökérrendszere és gyökértömege. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények, 1: 5–22.
- Járó Z. 1995: A legfontosabb magyarországi természetszerű, származék és kultúr erdőtársulások évi szervesanyagképzése. 1385. számú OTKA pályázat.
- Karpov, V.G. (ed) 1983: Regulation factors of spruce forest ecosystems. Nauka, Leningrad. 317 p. (in Russian)
- Magyar P. 1929: Gyökérvizsgálatok csemetekerti és szikes talajban. Erdészeti Kísérletek, 31 (2): 117–165.
- Magyar P. 1961: Gyökérvizsgálatok. In: Magyar P.: Alföldfásítás II. Akadémiai Kiadó, Budapest, 86–104.
- Marjanović, H.; Alberti, G.; Balogh, J.; Czóbel, Sz.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Nagy, Z.; Ostrogović, M.Z.; Peressotti, A. and Führer, E. 2011: Measurements and estimations of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases – Forests. In: Haszpra, L. (ed): Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. Springer Science+Media B.V., Dordrecht – Heidelberg – London – New York. 121–156.
- Persson, H. 1979: Fine-root production, mortality and decomposition in forest ecosystems. Vegetatio, 41(2): 101–109.
- Persson, H. 1980: Spatial distribution of fine-root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in Central Sweden. Oikos, 34: 77–87.
- Rastin, N. 1991: Influence of waterlogging on root distribution, fine-root biomass and mycorrhizal number of norway spruce. In: McMichael, B.L. and Persson, H. (eds): Plant roots and their environment. Amsterdam, Elsevier, 319–331.
- Santantonio, D., 1990: Modeling growth and production of tree roots. In: Dixon, R.K.; Meldahl, R.S.; Ruark, G.A. and Warren, W.G. (eds): Process modeling of forest growth responses to environmental stress. Portland, Timber Press, 124–141.
- Ujváriné Jármay É.; Járó Z. és Ujvári F. 2001: A biomassza mennyisége, megoszlása és változatossága a nemzetközi lucfenyő származási kísérletben (IUFRO 1964/68). Erdészeti Kutatások, 90: 49–64.
- Yin, X.; Perry, J.A.; Dixon, R.K. 1989: Fine-root dynamic and biomass distribution in a *Quercus* ecosystem following harvesting. Forest Ecology and Management, 27 (3–4): 159–177.

Érkezett: 2014. június 30.

Közlésre elfogadva: 2014. október 6.





### Zöldár a Szigetközben

A 2010-es, Európa-szerte szélsőségesen csapadékos május komoly áradásokat okozott a Szigetközben is. Győrzámoly határában a szigeteken lévő erdőket 2–3 m-es víz borította. A hullámtéren rekedt farakatokat a víz felemelte és széthordta. Az árhullám levonulása után a szétszórt, iszappal borított faanyag összeszedése, feldolgozása komoly feladat volt.

**Fotó és szöveg: Greguss László Géza** (nyugdíjas erdőfelügyelő, Győr)



# TELEPÍTETT KOCSÁNYTALAN TÖLGY ÉS AKÁC FIATALOSOK HATÁSA A TALAJ SZÉNKÉSZLETÉRE NÉHÁNY DUNÁNTÚLI ERDŐTELEPÍTÉS PÉLDÁJÁN

Bidló András<sup>1</sup>, Szűcs Péter<sup>1</sup>, Horváth Adrienn<sup>1</sup>, Király Éva<sup>1</sup>, Németh Eszter<sup>1</sup>  
és Somogyi Zoltán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

<sup>2</sup>NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Erdőművelési és Ökológiai Osztály

## Kivonat

Az erdei ökoszisztémák a szárazföldi vegetációk közül a legfontosabb széntárolók közé tartoznak, és nagy kiterjedésük miatt jelentős szerepet játszanak a globális szénkőrforgalomban. A talajban tárolt – a faanyaghoz hasonló nagyságrendű – szén mennyiségéről, és ennek az emberi tevékenységek hatására bekövetkező változásáról magyarországi viszonylatban kevés adatunk van. Vizsgálataink során hat-hat kocsánytalan tölgy és akác fafajú erdőtelepítés talajának szénttartalmát mértük fel. Az erdők talajában tárolt szén mennyiségét összehasonlítottuk a mellettük található, hasonló termőhelyi adottságokkal rendelkező szántók talajával. Megállapítottuk, hogy az erdők talajában az avartakaró és az alatta felhalmozódó humusz miatt több esetben nagyobb mennyiségű szén található, mint a szántókon. Ugyanakkor az egyes talajrétegek esetén a különbség nem egyértelmű. Kijelenthetjük, hogy az erdőtelepítések bőséges avarjuk és humuszszintjük miatt már viszonylag rövid idő (5–20 év) alatt is növelhetik a talajon és talajban a tárolt szén mennyiségét, így hozzájárulhatnak a légköri széndioxid szint csökkentéséhez.

*Kulcsszavak:* talaj szénkészlete, szén-raktározás, erdőtelepítés, akác, kocsánytalan tölgy, avar

## THE EFFECT OF AFFORESTATIONS ON THE CARBON STOCK OF SOIL IN TRANSDANUBIAN REGION (HUNGARY)

### Abstract

Forest ecosystems are the most important carbon sinks, and the forest soils play an important role in the global carbon cycle. We have little data on the carbon stock of soils and its change due to human activities, which have similar value to carbon content of biomass. In our investigation we measured the carbon stock of soil in six stands of *Quercus petraea* and six stands of *Robinia pseudoacacia* after afforestations. We compared the carbon stock of forests with that of neighboring arable lands of the same soil conditions. We found larger quantity of carbon under the forest stands than in the arable lands (including the forest litter). However, differences were less clear in case of soil layers. In any event, the afforestations increase the carbon stock of soil (including the forest litter), and contribute to the mitigation of atmospheric carbon-dioxide

*Keywords:* carbon sequestration, mitigation, afforestation, *Robinia pseudoacacia*, *Quercus petraea*, litter



## BEVEZETÉS

A globális klímaváltozás előtérbe helyezte annak igényét, hogy a lehető legpontosabban meghatározzuk az erdőállományok szénmegkötését. Ennek fő oka az, hogy a klímaváltozást nagyban előidéző légköri széndioxid koncentrációjának növekedését az erdőkből származó (pl. a fakitermelések miatt jelentkező) szénkibocsátás fokozhatja; a szén erdők általi lekötése viszont azt mérsékelheti. Egy erdőterület ilyen szempontok szerinti értéke attól függ, hogy az adott erdőterületen milyen természeti folyamatok, és milyen emberi beavatkozások történnek. Ez utóbbiak vonatkozásában a hazai erdőkben fenntartható gazdálkodás folyik, ami biztosítja azt, hogy az erdőkből származó kibocsátás minimális, míg a szénlekötés viszont maximális legyen. Ha viszont a klímaváltozás az erdők jelenleg várt – drasztikusnak mondható – átalakulását eredményezi, akkor az nemcsak az erdők szénlekötésének jelentős csökkenéséhez vezet, hanem esetleg számottevő széndioxid-kibocsátással is számolni kell (Somogyi 2008a).

Az erdei ökoszisztémákban a szén-raktározás számos komponenst – ún. széntárolót – foglal magában, így pl. faállományt, a talajt és ennek részeként az avartakarót. A teljes ökoszisztéma szén-raktározása nagy és dinamikus kapcsolatban áll a környezettel, és az erdei talajok is fontos szerepet játszanak a globális szén-körforgalomban (Detwiler és Hall 1988; Bouwman és Leemans 1995; Richter és mtsai 1995; Sedjo 1992; Jabágygy és Jackson 2000; Lal 2005). A tájhasználatban történt változások hatással vannak a szén-raktározásra valamint a körforgásra egyaránt. A degradált mezőgazdasági talajok kisebb szerves szénkészlettel rendelkeznek, mint amit a természeti környezet lehetővé tenne (Schlesinger 1985; Post és Mann 1990; Davidson és Ackerman 1993; Lal 2005). A talajművelés csökkenti a talaj aggregációját, redukálja a talaj szervesanyagának fizikai védelmét, gyorsíthatja a szervesanyag lebomlását, valamint növeli a talajeróziót (Paul és mtsai 2002; Lal 2003, 2004). Mezőgazdasági területek erdősítése vagy a művelés elhagyása következtében visszatérő természetes vegetáció képes megfordítani a degradációs folyamatokat, valamint megtartani és fokozni a talaj szén-készletét (Post és Kwon 2000; Silver és mtsai 2000; Ross és mtsai 2002). A talaj szén-tartalmának mennyisége és minősége alá van rendelve olyan komplex tényezők interakciójának, mint a klíma, a talajok, az erdőgazdálkodás, vagy akár az állományalkotó fafaj avarjának kémiai összetétele (Lal 2005). A degradált talajok helyreállítása, a fokozott biomasszaprodukciónak, hozzájárul az atmoszférikus szén-dioxid kibocsátás arányának csökkentéséhez, ezáltal a klímaváltozás mérsékléséhez.

Mérsékelt égövi területeken az erdőállományok az egyik legfontosabb természetes szénmegkötők. Az állományok szénkészletét vizsgálva megállapítható, hogy a szén igen jelentős része, gyakran, több mint fele, nem a fa-biomasszában, hanem a talajban tárolódik. A talajban tárolt szén nagy része a talaj szervesanyagában (humuszában) található. Magyarországon a szénkészlet nagyságának és változásának becslésével erdőben először Führer és Járó (1989) foglalkozott, majd ezt követően további publikációk is napvilágot láttak (Führer és mtsai 1991; Führer 1994; Führer és Molnár 2003; Führer és Mátyás 2005; ÁESZ 2005; Buzás 2007; Somogyi és Zamolodchikov 2007; Barcza és mtsai 2008; Juhász és mtsai 2008; Somogyi 2008a, 2008b; Führer és Jagodics 2009; Juhász és mtsai 2009; Bidló és mtsai 2011a, 2011b; Juhász és mtsai 2011). A hazai erdők szénlekötését kb. másfél évtizede nemzetközileg elfogadott módszerek (Gytarsky és mtsai 2003; Eggleston és mtsai 2006) hazai adaptációja (Somogyi 2008b) alapján becsülik, és a becslések eredményeit évente közzéteszik (ENSZ 2012). Ezeket a módszereket azonban csak részben tudjuk adaptálni a kisebb térségek, erdőrésztlet-adataiból levezetendő szénlekötésének a becslésére. Ez a módszertani adaptáció egy modell kiépítésének a formájában (CASMOFOR) már korábban nagyrészt elkészült (Somogyi 2010).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Mintaterületek



1. ábra: A vizsgálati területek elhelyezkedése  
 Figure 1: The geographical location of sampling points

Vizsgálataink során két fajfaj: az akác és a kocsánytalan tölgy telepítéseinek a talaj szénkészletére gyakorolt hatását kívántuk megállapítani. A fajfaj választásnál figyelembe vettük, hogy melyek azok a fajfajok, amelyekkel hazánkban nagy kiterjedésű erdőtelepítés történik. A vizsgálati területek a Dunántúlon helyezkednek el (1. ábra). Az egyes állományokat úgy választottuk ki, hogy a telepítés óta különböző idő teljen el (3–27 év), és lehetőleg tájra „tipikus” termőhelyeket képviseljenek. Az állományok kiválasztásánál problémát jelentett, hogy az Erdőállomány Adattár az idősebb állományok esetén nem minden esetben tartalmazza, hogy erdőtelepítésre, vagy erdőfelújításra került-e már korábban sor. A vizsgált állományok minden esetben telepített erdők voltak. Az egyes állományokat térképen jelöltük, meghatároztuk a területek GPS-koordinátáit, illetve az állományok jellemzésére több fényképet készítettünk. A területek termőhelyi viszonyait az Erdőállomány Adattár adatai alapján, az 1. és a 2. táblázat tartalmazza, ahol az Erdőtervezési Útmutatóban alkalmazott rövidítéseket használtuk. Az adattárban szereplő termőhelyi besorolásokat a terepi vizsgálataink jórészt megerősítették.

1. táblázat: A vizsgált kocsánytalan tölgy erdőtelepítések legfontosabb adatai  
 Table 1: The most important data of measured *Quercus petraea* plantation

Község, tag, részlet	Kor (év)	Klíma	Hidrológiai viszonyok	Genetikai talajtípus	Termőréteg vastagság	Fizikai féleség
Hedrehely 29/I	15	GYT	VFLEN	RBE	MÉ	Homok
Hedrehely 29/J	11	GYT	VFLEN	RBE	SE	Homok
Vitnyéd 37/C	21	KTT	VFLEN	CST	ISE	Vályog
Kőszegdoroszló 10/E	20	GYT	VFLEN	PBE	MÉ	Vályog
Vitnyéd2 16/B	24	KTT	VALT	ÖRT	KMÉ	Vályog
Ágfalva 13/A2	11	GYT	VFLEN	ABE	KMÉ	Vályog



2. táblázat: A vizsgált akác erdőtelepítések legfontosabb adatai  
Table 2: The most important data of measured Robinia pseudoacacia plantation

Község, tag, részlet	Kor (év)	Klíma	Hidrológiai viszonyok	Genetikai talajtípus	Termőréteg vastagság	Fizikai féleség
Hedrehely 7/G	3	GYT	VFLEN	RBE	MÉ	Homok
Tokorcs 100/B	11	KTT	VFLEN	RBE	ISE	Homok
Kisbér 60/F	7	KTT	VFLEN	RBE	KMÉ	Homok
Hövej 14/A	9	KTT	VFLEN	BF	KMÉ	Vályog
Magyargencs 84/B	7	KTT	VFLEN	RBE	KMÉ	Homok
Magyargencs 85/A	9	KTT	VFLEN	KV	ISE	Durva homok

A vizsgált állományok, az erdészeti besorolás szerint, a gyertyános-tölgyes (GYT), illetve a kocsánytalan tölgyes ill. cseres (KTT) klímába tartoztak. Mindkét klíma alkalmas a zárt erdők létrejöttére, azonban a gyertyános-tölgyes klíma magasabb csapadék mennyiséggel és alacsonyabb hőmérséklettel jellemezhető. A vizsgált területeken csak a csapadékból származó víz állt a növények rendelkezésére, így többletvízhatástól független (VFLEN) hidrológiába tartoztak. Egy állomány esetén az Erdészeti Adattár változó vízellátást (VÁLT) jelzett, ezt azonban terepi tapasztalataink nem erősítették meg. A területeken a klimatikus viszonyoknak, az alapkőzetnek és az egyéb talajképződést meghatározó folyamatoknak megfelelően kavicsos vázталajjal (KV), cseri talajjal (CST), rozsdabarna erdőtalajokkal (RBE), barnafölddel (BFÖLD), agyagbemosódásos barna erdőtalajjal (ABE), podzolos barna erdőtalajjal (PBE) és öntés réti talajjal (ÖRT) találkoztunk. Nagy változatosság volt az egyes területeken a termőréteg vastagságában is, így az igen sekély (ISE) és sekély (SE) termőrétegű termőhelyek mellett, előfordultak közép mély (KMÉ) és mély (MÉ) termőréteggel is. Hasonlóan jelentős volt az eltérés a talaj fizikai féleségében is.

Arra nem volt lehetőségünk, hogy a telepítés előtti (sok évvel ezelőtti) állapotot vessük össze a jelenlegi állapottal, ezért ún. „hamis idősoros” vizsgálatot végeztünk, amelynek az volt a lényege, hogy egy időben vizsgáltuk a telepítés utáni és „előtti” állapotot. Azaz, az utóbbinál feltételeztük, hogy a telepítések közvetlen közelében lévő szántók, jelenleg azt az állapotot tükrözik, mint a telepített terület talaja a telepítés előtt. Igyekeztünk a telepítés közvetlen közelében lévő szántókat vizsgálni, feltételezve azt, hogy 50–100 méteren belül a termőhely jelentősen nem változik meg. Ennek elérése érdekében a vizsgálatokat olyan sík területen végeztük, ahol nem látszott változás a termőhelyben. Sajnos nem minden esetben volt lehetőségünk arra, hogy a szántó az erdő közvetlen közelében helyezkedjen el, illetve nem tudtuk megállapítani, hogy a szántón az elmúlt években milyen trágyázást alkalmaztak. Ennek ellenére – véleményünk szerint – a talajban bekövetkező főbb tendenciák kimutatására vizsgálatunk alkalmas. Két esetben (Hedrehely és Magyargencs községhatárok) egy-egy szántót, több erdőállomány kontroll területeként használtunk. Ezekben az esetekben is igyekeztünk biztosítani azt a feltételt, hogy a szántó az erdőállományok közelében legyen.

## Terepi felvételek

Mivel korábbi vizsgálataink azt mutatták, hogy a talaj felső szintjeinek igen nagy a változatossága, az egyes mintavételi helyeken, egymáshoz közel 10–10 mintavételi pontot jelöltünk ki véletlenszerűen. Ez a mintaszám már lehetőséget ad arra, hogy a kisebb termőhelyi különbségekből adódó eltéréseket kiegyenlítsük. A mintavételi pontokon a talajból 100 cm<sup>3</sup> térfogatú, Vér-féle henger segítségével bolygatatlan talajmintát vettünk a 0–5 cm-es, az 5–10 cm-es, a 10–20 cm-es, illetve a 20–30 cm-es szintből. A Vér-hengeres mintavételt

minden ponton, minden szintben háromszor végeztük el, és a három kivett mintát egy zacskóba tettük. Egy erdőállományból és a szántóterületről helyszínenként összesen 40–40 zacskónyi mintát gyűjtöttünk be. A Vér-féle hengeres mintavétel több esetben jelentős problémát okozott, mivel a talajokban nagy mennyiségű kavics volt. Ilyen esetekben a számítások során a terület átlagos térfogattömegével számoltunk, amit úgy képeztünk, hogy legalább 2–3 mintavételi pontban vettünk Vér-hengerrel mintát, majd ezek átlagával számoltunk. A talaj-minták vétele mellett az erdőállományokban mind a 10 mintavételi pontban, egy 30 × 30 cm-es fémkeret segítségével összegyűjtöttük az avartakarót is, amely alatt a nyers ásványi talajfelszín felett található bomlatlan és bomló avart értettük.

## Laboratóriumi vizsgálatok

A laboratóriumba behozott talaj és avarmintákat kiszárítottuk, majd meghatároztuk a tömegét. A száraz tömeg alapján a talajok esetén az ismert (100 cm<sup>3</sup>) térfogat segítségével kiszámítottuk a térfogattömeget, az avartakaró esetén annak 1 ha-ra vett mennyiségét. A lemért talajmintákat a szokásos módon készítettük elő a további laboratóriumi vizsgálatokhoz (Bellér 1997). Az előkészített mintákból meghatároztuk a talajok vizes és kálium-kloridos kémhatását.

A talajok szén- illetve humusz-tartalmának meghatározására az irodalmakban többféle módszer szerepel. A nemzetközi irodalmakban jelenleg az ún. égetéses szén, illetve nitrogéntartalom meghatározás a legelterjedtebb. Ennek a meghatározásnak a hátránya, hogy a meszes talajokon csak korlátozottan, illetve bonyolult előkészítések után alkalmazható és a kapott eredmény még ebben az esetben sem megbízható. Előzetes vizsgálataink során megpróbáltuk összehasonlítani a különböző talaj szén-meghatározási eljárások alkalmazhatóságát és megbízhatóságát (Bidló és mtsai 2011b), és ezek alapján az ún. FAO eljárást alkalmaztuk (Bellér 1997). Mivel ennek a módszernek a leírását az irodalom (Bellér 1997) részletes tartalmazza, erre most nem térnénk ki.

A terepi és a laboratóriumi vizsgálati eredményeinket táblázatban rögzítettük, és Excel, illetve Statistica programok segítségével értékeltük. A különböző helyeken az erdők és a szántók azonos rétegeből vett mintáinak eredményét hasonlítottuk össze t-próbával. Szignifikáns eltérést akkor állapítottunk meg, ha annak valószínűségi szintje 95%-nál nagyobb volt. A mintavételnek megfelelően minden összehasonlításban 10–10 eredmény szerepelt.

## EREDMÉNYEK

Mivel a két vizsgált faj eltérő tulajdonságokkal rendelkezik, az eredményeket külön értékeltük ki.

### A kocsánytalan tölgy telepítések hatása a talajra

#### A talajok kémhatása

A talajok összehasonlítása érdekében meghatároztuk az egyes minták vizes kémhatását (3. táblázat). (A magasabb kémhatást a táblázatban zölddel emeltük ki.) Az eredményekből látható, hogy a mintaterületek talajának kémhatása gyengén savanyú, savanyú, illetve erősen savanyú volt. A legalacsonyabb átlagos kémhatást a Somogyi-Homokvidéken található Hedrehelyen mértük az egyik tölgyes alatt, míg a legmagasabb kémhatással Ágfalva községhatárában találkoztunk a szántó alatt. A mért kémhatások megfelelőek az erdőtenyészet számára, ugyanakkor a hazai talajoknak csak kisebb részére jellemzők, mivel Magyarországon



a talajképző kőzet leggyakrabban meszes. Megjegyezzük, hogy szándékosan választottunk ki savanyú talajokat a vizsgálatra, mivel ezeknél nem kellett számolnunk a szénsavas mész széntartalmának hatásával. Bár az egyes kezelések (telepítés és szántó) talajának kémhatásában nem volt jelentős különbség, ennek ellenére a legtöbb esetben az eltérés szignifikáns volt. A területek felében az erdőállomány, másik felében a szántó alatt tapasztaltunk magasabb kémhatást). Ennek megfelelően az eltérést nem tudjuk az erdőtelepítés hatására visszavezetni. Mivel az összehasonlított területek egymáshoz közel helyezkednek el, a különbségnek valószínűleg nincsen termőhelyi oka. További vizsgálatokat igényelhet, hogy a gazdálkodás (pl. trágyázás) miként befolyásolhatja a talajok kémhatását.

3. táblázat: Az egyes talajrétegek átlagos ( $n=10$  db) kémhatása ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) a kocsánytalan tölgy állományokban és a szántókon (\*=szignifikáns eltérés a szántóhoz képest)

Table 3: The average acidity ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) of individual soil layers ( $n=10$ ) in *Q. petraea* plantation and in neighbouring arable land (\*= significant deviation compared to arable field)

Községhatár	KTT állomány				Szántó			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
	cm							
Hedrehely 29/I	4,36	4,45*	4,47*	4,39*	4,30	4,01	4,14	3,97
Hedrehely 29/J	4,42	4,39*	4,54*	4,64*	4,30	4,01	4,14	3,97
Vitnyéd 37/C	5,88*	5,58	5,71*	5,96*	5,39	5,16	5,11	5,08
Kőszegdorozsló 10/E	4,31*	4,13*	4,09*	4,20*	5,76	5,72	5,58	5,73
Vitnyéd 16/B	5,23	5,17*	5,03*	4,91*	5,47	5,90	5,92	5,88
Ágfalva 13/A2	5,73*	5,63*	5,69*	5,88	6,04	6,07	6,02	6,02

4. táblázat: Az egyes talajrétegek átlagos ( $n=10$  db) humusztartalma (%) a kocsánytalan tölgy állományokban és a szántókon (\*=szignifikáns eltérés a szántóhoz képest)

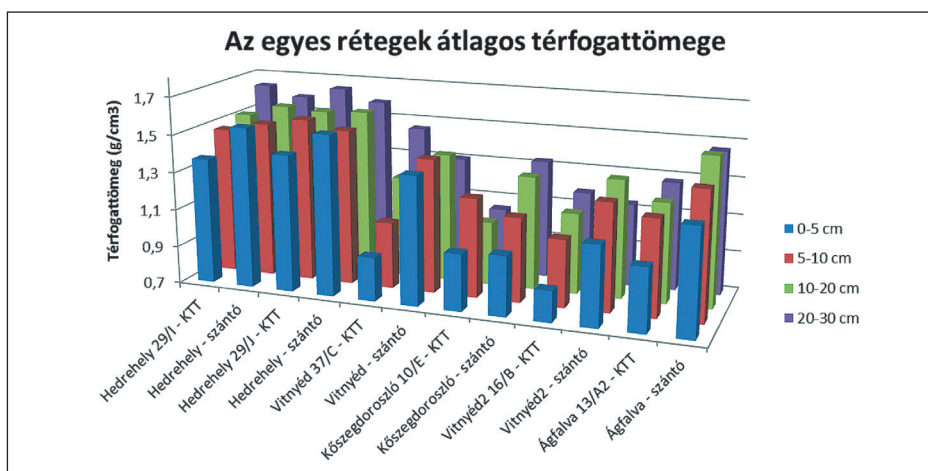
Table 4: The average humus content (%) of individual soil layers ( $n=10$ ) in *Q. petraea* afforestations and in neighbouring arable land (\*= significant deviation compared to arable field)

Községhatár	KTT állomány				Szántó			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
	cm							
Hedrehely 29/I	1,74*	0,90*	0,94	0,78*	1,61	1,43	1,19	1,36
Hedrehely 29/J	1,18	0,99	0,85*	0,83*	1,61	1,43	1,19	1,36
Vitnyéd 37/C	4,98*	3,54*	2,82	2,15	2,37	2,36	2,15	2,25
Kőszegdor. 10/E	6,51*	2,98	2,57	2,05*	2,76	2,75	2,83	2,93
Vitnyéd 16/B	7,02*	6,90*	5,65*	3,85	4,03	3,56	3,55	3,38
Ágfalva 13/A2	6,08*	4,41*	3,73*	3,22*	3,32	3,12	2,49	2,14

Eleméztük a talajok humusztartalmát (4. táblázat). Az egyes mintavételi pontokban jelentősen különbözött a talaj szervesanyag-tartalma. Az előzetes elvárásoknak megfelelően, a szervesanyag-tartalom az összes mintavételi pontban a legfelső humuszban gazdag 0–5 cm-es rétegben volt a legnagyobb és lefelé haladva fokozatosan csökkent. Az eredmények megerősítik Führer (2005) méréseit, miszerint egy természetes időskorú kocsánytalan tölgyes erdőben, ahol az erdei ökoszisztéma hatása már generációkon keresztül érvényesül, a felső 10 cm-es mélységben a szerves szén koncentrációja 2,3-szor, 3,3-szor és 4,8-szor volt magasabb, mint a 10–20, 20–30 és



a 30–40 cm-es talajrétegekben. Természetesen a rendszeresen forgatott szántó esetén ez a tendencia nem jelentkezik ilyen élesen. Ugyanakkor a közös tendenciák mellett, igen nagy különbség volt a vizsgálati pontok humusztartalmában. Hedrehely községhatár savanyú homok talajának humusztartalma az összes minta esetén alacsony volt. Ez egyaránt igaz az erdő és a szántó területekre is. Ugyanakkor ezen a területen, a legtöbb esetben, a szántó terület talajának humusztartalma magasabb volt, mint az erdőterületé. Ennek okát pontosan nem tudjuk, egyrészt lehetséges, hogy a terület kiválasztása nem volt megfelelő (a szántó és az erdő távolsága mintegy 500 méter volt), másrészt lehetséges, hogy az erdő telepítése előtti esetleges mélyforgatás csökkentette le a talajrétegek humusztartalmát. A többi vizsgálati pont vályog fizikai féleségű talaja kedvezőbb humuszellátottsággal rendelkezett. Ezeknél a pontoknál a legtöbb helyszínen és szintben az erdőállomány alatt volt magasabb a talaj humusztartalma, kivéve két esetben az alsó réteget. Az eltérés a legtöbb esetben szignifikáns volt. Összefoglalva megállapítható, hogy a kocsánytalan tölgy fiatalosok talajainak humusztartalma Hedrehely kivételével magasabb volt, mint a szántókon. Már az is megfigyelhető volt, hogy az erdő működésének (szervesanyag-forgalmának) hatására a felsőbb talajrétegekben a humusz-felhalmozódás elindult.



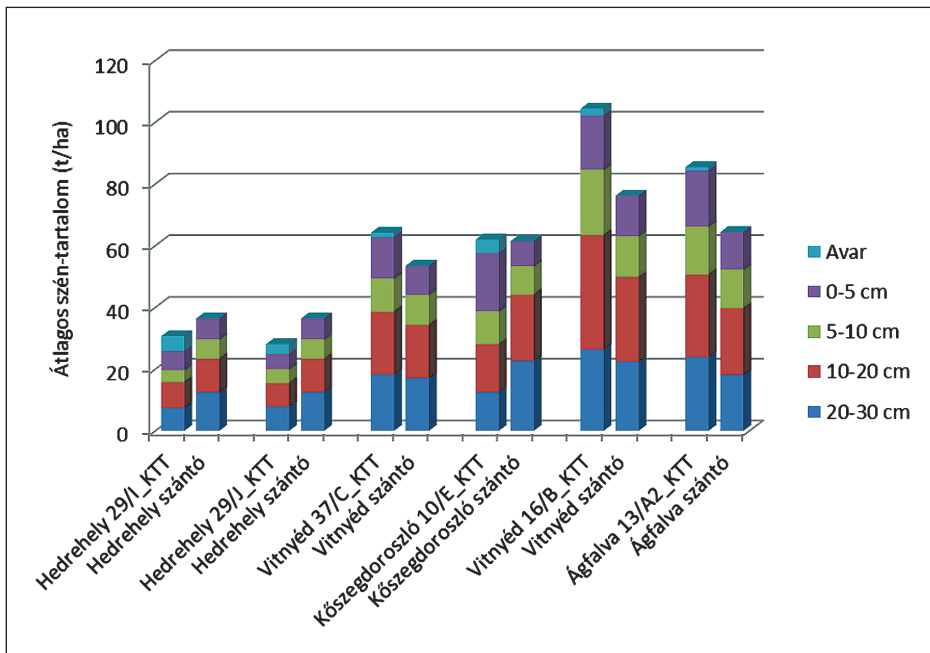
2. ábra: Az egyes rétegek átlagos térfogattömege  
 Figure 2: The average volume mass of individual soil layers

5. táblázat: Az egyes talajrétegek átlagos (n=10 db) szénkészlete (C t/ha) a kocsánytalan tölgy állományokban és a szántókon (\*=szignifikáns eltérés a szántóhoz képest)

Table 5: The average carbon stock (C t/ha) of individual soil layers (n=10) in Q. petraea plantation and in neighbouring arable land (\*= significant deviation compared to arable field)

Községhatár	KTT állomány					Szántó			
	Avar	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
		cm							
Hedrehely 29/I	4,77	6,2	3,9*	8,3	7,5*	6,8	6,3	10,8	12,5
Hedrehely 29/J	3,19	4,9	4,6	7,6*	7,8*	6,8	6,3	10,8	12,5
Vitnyéd 37/C	1,37	13,5*	10,8	20,3	18,2	9,5	9,7	17,2	17,1
Kőszegdor. 10/E	4,32	18,9*	10,6	15,5	12,6*	8,2	9,2	21,4	22,7
Vitnyéd 16/B	2,15	17,6*	21,2*	37,0	26,3	13,3	13,2	27,4	22,4
Ágfalva 13/A2	1,06	18,2*	15,5*	26,6*	24,0*	12,2	12,5	21,3	18,1

A humusztartalom és a térfogattömeg (2. ábra) segítségével számítottuk ki az egyes rétegekben tárolt szén mennyiségét (5. táblázat). Az ábrából (2. ábra) jól látható, hogy az elvárásoknak megfelelően a térfogattömeg a felső szintekről lefelé haladva nő. Az erdők alatt a térfogattömeg általában kisebb, mint a szántók alatt, ennek oka az lehet, hogy az erdőkben az elmúlt években (évtizedekben) nem tömörödött a talaj, míg a szántókön a rendszeres talajművelés hatására folyamatos a tömörödés, amit a talajművelés lazító hatása sem tudott ellensúlyozni. Külön számítottuk az avarban tárolt szén mennyiségét is. Vizsgálataink eredménye azt mutatta, hogy az előzetes elvárásoknak megfelelően a humusztartalomhoz hasonló képet kaptunk, az eltérések az eltérő térfogattömegekre vezethetők vissza. Hedrehely községhatárban a szántó talajának egyes rétegeiben tárolt szén mennyisége magasabb volt, mint az erdő alatt talált szén mennyiség. A többi vizsgálati helyen, az erdők talajának egyes rétegeiben tárolt szén mennyisége nagyobb volt, mint a szántókön tárolt szén mennyisége, még azokban a rétegekben is, ahol a szántó humusztartalma magasabb volt. A különbség azonban sok esetben nem szignifikáns.



3. ábra: A vizsgált területeken a talaj és az avar átlagos szénkészlete (C t/ha)  
Figure 3: The average carbon stock of soil and litter in measured points (C t/ha)

Az egyes rétegekben tárolt szén mennyiségi vizsgálata után meghatároztuk, hogy az avartakaróban és a talaj felső 30 cm-es rétegében összesen mennyi szén tárolódik a vizsgált területeken (3. ábra). Az összesített eredmény azt mutatja, hogy az avartakaró szénmennyisége általában nem tudja ellensúlyozni a talaj magasabb széntartalmát, így azokon a területeken, ahol a talajban alacsonyabb volt az erdők alatt a szénkészlet, az összes szénkészlet is alacsonyabb volt. Míg az erdőállományok alatt a talajok és az avartakaró összes szénkészlete 28,1 és 104,4 C t/ha között, addig a szántók szénkészlete – a vizsgált szintekben – 36,4 és 76,2 C t/ha. Ezen adatok nagyságrendileg azonosak Führer és Jagodics (2009) által három középkorú ökoszisztémában mért adatokkal ugyanakkor azoknál kissé magasabbak. További állományok vizsgálatát igényli annak megállapítása, hogy mi lehet az eltérés oka.

## Az akác telepítések hatása a talajra

### A talajok kémhatása

6. táblázat: Az egyes talajrétegek átlagos ( $n=10$  db) kémhatása ( $pH_{H_2O}$ ) az akác állományokban és a szántókon  
 (\*=szignifikáns eltérés a szántóhoz képest)

Table 6: The average acidity ( $pH_{H_2O}$ ) of individual soil layers ( $n=10$ ) in *R. pseudoacacia* plantation and in neighbouring arable land  
 (\*= significant deviation compared to arable field)

Községhatár	Akác állomány				Szántó			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
	cm							
Hedrehely 7/G	4,17	<b>4,24</b>	4,11	<b>4,20*</b>	<b>4,30</b>	4,01	4,14	3,97
Tokorcs 100/B	5,45	5,18*	5,21*	5,22*	<b>5,55</b>	<b>5,55</b>	<b>5,51</b>	<b>5,60</b>
Kisbér 60/F	<b>5,38*</b>	<b>4,80*</b>	<b>4,53</b>	4,53	4,49	4,30	4,42	<b>4,56</b>
Hövej 14/A	<b>6,74*</b>	<b>6,65*</b>	<b>6,68*</b>	<b>6,83*</b>	5,90	5,86	5,83	5,84
Magyargencs 84/B	4,21*	4,18*	4,30*	4,46*	5,82	<b>5,83</b>	<b>5,78</b>	<b>5,78</b>
Magyargencs 85/A	4,21*	4,26*	4,39*	4,45*	5,82	<b>5,83</b>	<b>5,78</b>	<b>5,78</b>

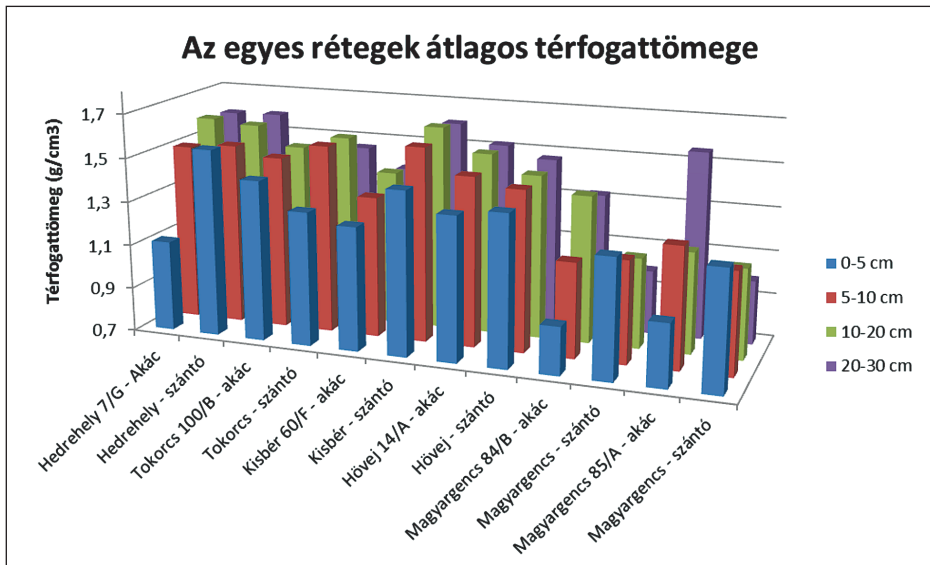
A vizsgált területek kémhatásának átlaga 4,0 és 6,8 között volt, ami savanyú illetve a gyengén savanyú kémhatásnak felel meg (6. táblázat). A legalacsonyabb kémhatást Hedrehelyen a szántó alatt, a legmagasabb kémhatás Hövej községhatárban az erdő alatt mértük. A egyes mintavételi helyeken az erdők és a szántók kémhatása között nem volt jelentős különbség, bár Hövej esetében az erdő alatt, Magyargencs esetén a szántó alatt volt szignifikánsan magasabb a kémhatás. Véleményünk szerint a kémhatás különbségek itt sem vezethetők vissza az erdőtelepítés hatására.

7. táblázat: Az egyes talajrétegek átlagos ( $n=10$  db) humusztartalma (%) az akác állományokban és a szántókon  
 (\*=szignifikáns eltérés a szántóhoz képest)

Table 7: The average humus content (%) of individual soil layers ( $n=10$ ) in *R. pseudoacacia* plantation and in neighbouring arable land  
 (\*= significant deviation compared to arable field)

Községhatár	Akác állomány				Szántó			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
	cm							
Hedrehely 7/G	<b>4,20*</b>	<b>1,65</b>	<b>1,09</b>	<b>0,72*</b>	1,61	1,43	<b>1,19</b>	<b>1,36</b>
Tokorcs 100/B	<b>3,06*</b>	<b>2,33*</b>	<b>2,22*</b>	<b>2,19</b>	2,02	2,08	2,00	2,03
Kisbér 60/F	<b>2,05*</b>	<b>1,58*</b>	<b>1,41*</b>	<b>1,54*</b>	1,31	1,20	1,03	0,96
Hövej 14/A	<b>2,99</b>	2,59*	2,25*	2,19	2,84	<b>3,10</b>	<b>2,99</b>	<b>2,51</b>
Magyargencs 84/B	<b>10,92*</b>	<b>4,62*</b>	<b>3,17*</b>	<b>2,74</b>	2,84	2,79	2,75	2,70
Magyargencs 85/A	<b>6,71*</b>	<b>3,52*</b>	<b>2,96</b>	<b>3,06*</b>	2,84	2,79	2,75	2,70

Az egyes mintavételi pontok talajának humuszkészletében, amit a humusztartalom és a térfogattömeg (4. ábra) segítségével számoltunk igen nagy különbség volt (7. táblázat). A legalacsonyabb humusztartalmakat a Hedrehelyi községhatárban mértük, de alacsony volt a szerves anyag tartalom Kisbér és Tokorcs községhatárban is. Mindhárom terület rozsdabarna erdőtalajjal és homok fizikai féleséggel volt jellemezhető. Kedvezőbb volt a humusztartalom Hövej községhatár vályogos barnaföldjén, illetve Magyargencs 85/A



4. ábra: Az egyes rétegek átlagos térfogattömege  
Figure 4: The average volume mass of individual soil layers

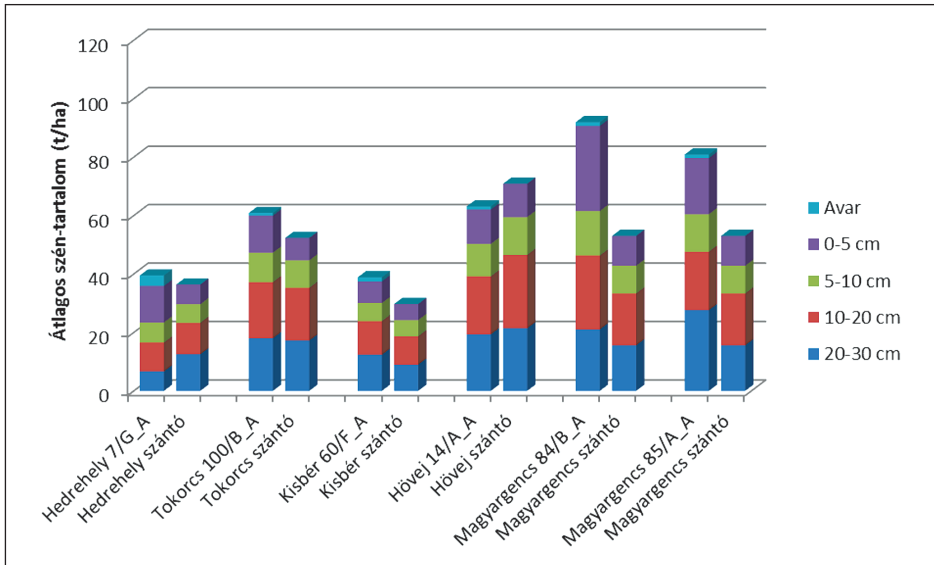
erdőrészlet durva homok fizikai féleségű kavicsos váztalaján. Utóbbi esetben kérdéses, hogy az Erdőállomány Adattárban szereplő termőhelyi besorolás megfelelő-e. Legmagasabb humusztartalommal Magyargencs 84/B erdő részletben talákoztunk, ahol homok fizikai féleségű rozsdabarna erdőtalaj szerepel az Erdőállomány Adattárban. Az erdők és a szántók talajának humusztartalmát összehasonlítva megállapítható volt, hogy a legtöbb vizsgált helyen az erdők alól vett minták humusztartalma magasabb volt az egyes rétegekben, mint a szántók alól vett mintáké. A mélyebb rétegek felé haladva a különbség csökkent, sőt egyes esetekben megfordult. Ennek oka lehet az, hogy az erdők alatt, mivel nincs forgatás, a szerves anyag elsősorban a felszínen (avartakaró), illetve a felsőbb szintekben halmozódik fel és csak lassan kerül a biológiai folyamatok révén a mélyebb talajrétegekbe.

8. táblázat: Az egyes talajrétegek átlagos ( $n=10$  db) szénkészlete ( $C$  t/ha) az akác állományokban és a szántókon  
(\*=szignifikáns eltérés a szántóhoz képest)

Table 8: The average carbon stock ( $C$  t/ha) of individual soil layers ( $n=10$ ) in *R. pseudoacacia* plantation and in neighbouring arable land  
(\*= significant deviation compared to arable field)

Községhatár	Akác állomány					Szántó			
	Avar	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
		cm							
Hedrehely 7/G	3,61	12,5*	6,8	9,9	6,7*	6,80	6,3	10,8	12,5
Tokorcs 100/B	0,89	12,7*	10,1	19,2	18,0	7,7	9,4	18,0	17,2
Kisbér 60/F	1,42	7,4*	6,2	11,5*	12,4	5,53	5,53	9,71	8,99
Hövej 14/A	1,05	11,8	11,1	19,9*	19,3	11,4	12,9	25,1	21,4
Magyargencs 84/B	1,26	29,1*	15,2*	25,3*	21,0*	10,2	9,5	17,8	15,6
Magyargencs 85/A	1,21	19,2*	12,8*	20,0*	27,6*	10,25	9,47	17,77	15,58

A kocsánytalan tölgyesekhez hasonló módon számítottuk az erdők alatt található összes szén mennyiségét. Az eredmény megegyezett a humusztartalmi értékekkel (8. táblázat). A felső rétegekben itt is egyértelműen jelentkezett az erdőállományok előnye, míg lefelé haladva ez az előny csökkent, illetve megfordult. Ennek ellenére a hat vizsgált állomány közül négy állomány összes talajrétegében az erdők alatt mértünk magasabb szénkészletet. Kissé változtat az eredményen, ha az avartakaróban tárolt szénkészletet is figyelembe vesszük (5. ábra).



5. ábra: A vizsgált területeken a talaj és az avar átlagos szénkészlete (C t/ha)  
 Figure 5: The average carbon stock of soil and litter in measured points (C t/ha)

## ÉRTÉKELÉS

A vizsgált hat kocsánytalan tölgy és hat akác állomány alapján kijelenthetjük, hogy az erdők talajában, az erdőtelepítés után több esetben mértünk megnövekedett széntartalmat a szántókhoz képest. Ez az adat megegyezik a korábbi hazai vizsgálatok eredményével (Horváth 2006). A növekedésnek két oka lehet. Egyrészt az erdőállományokból – különösen a telepítés utáni években – nem viszünk el szerves anyagot, így a lehulló levelek, gallyak folyamatosan felhalmozódnak az avarban (Járó 1958), amely fokozatosan alakul át humuszanyagokká, másrészt a szántón korábban jellemző, de a telepítés után megszűnő talajművelés miatt csökken a humuszlebomlás, hiszen az erdő talajrétegeiben rosszabbak a körülmények (kevesebb az oxigén) a lebontáshoz. A széntartalom növekedés azonban a talajban nem egyértelmű. További nagyszámú vizsgálatot igényel annak bemutatása, hogy a növekedés mely termőhelyen és fajfajok esetén igaz. Ugyanakkor meg kell jegyeznünk, hogy munkánk során nem vettük figyelembe a föld feletti állomány szénkészletét.

Vizsgálataink megmutatták, hogy az erdei ökoszisztémák talajának széntartalma elérheti, egyes esetekben meghaladhatja a föld feletti szervesanyagban tárolt szén mennyiségét. Az erdészeti beavatkozások nagyban befolyásolhatják az ökoszisztémák szénkészletét. Az erdőtelepítések során érdemes lenne számításba venni a talajok szénkészletének várható növekedését, és ez fontos érvként szolgálhat az erdőtelepítések mellett kiálló politikai és szakmai erőknél, döntéseik megalapozásához. Ha megfelelő számú adattal rendelkezniénk az erdőtelepítések szénmegkötéséről, akkor ez lehetővé tenné, hogy ezeket is bevonjuk Magyaror-



szágnak a Kiotói Jegyzőkönyv hatálya alatti szénkészlet-változási elszámolásába. Ezen keresztül esetleg egy újabb támogatási forrást nyerhetne az erdőgazdálkodás, éppen pl. erdőtelepítések finanszírozására.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Vidékfejlesztési Minisztérium támogatásával, és az „Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban” című (TÁMOP–4.2.2.A–11/1/KONV–2012–0013) projekt keretében valósult meg. A szerzők köszönetet mondanak Varga Zsófia és Stark Miklósné laboránsoknak, valamint Tímár József és Hartmann Ádám erdőmérnököknek a munka támogatásért.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- ÁESZ 2005: Hungary 2005. Global Forest Resources Assessment, Country Report 023, Rome.
- Barcza, Z.; Haszpra, L.; Somogyi, Z.; Hidy, D.; Churkinak, G. and Horváth, L. 2008: Estimation of the biospheric carbon dioxide budget of Hungary using the BIOME-EGC model. *Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 113: 203–219.
- Bellér P. 1997: Talajvizsgálati módszerek. Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Termőhelyismerettani Tanszék, Sopron, 118 pp.
- Bidló, A.; Juhász, P.; Szűcs, P. and Ódor, P. 2011a: Carbon stock of the soil in some West-Hungarian forested lands, *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-7803, EGU General Assembly.
- Bidló A.; Horváth A.; Kámán O.; Szűcs P. és Varga Zs. 2011b: Szén-, illetve humusz-tartalom meghatározási módszerek összehasonlító értékelő vizsgálata. *Kutatási jelentés, Sopron*, 22 p.
- Bouwman, A.F. and Leemans, R. 1995: The role of forest soils in the global carbon cycle. In: McFee, W. and Kelly, J.M. (eds): *Carbon forms and functions in forest soils*. Soil Science Society American, Madison, WI, 503–525.
- Buzás Z. 2007: Erdészeti politikánk „jutalma”. *Erdészeti Lapok*, 142 (7–8): 253–255.
- Davidson, E.A. and Ackerman, I.L., 1993: Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20: 161–193.
- Detwiler, R.P. and Hall, C.A.S. 1988: Tropical forests and the global carbon cycle. *Science*, 239: 42–47.
- Eggleston, H. S.; Miwa, K.; Ngara, T. and Tanabe, K. (eds) 2006: IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Hayama, Japan.
- ENSZ 2012: National Inventory Submissions 2011. [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/6598.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/6598.php)
- Führer E. és Járó Z. 1989: Az éghajlat változékonyságának és feltételezett változásának hatása az erdőállományokra, az erdőgazdálkodásra. In: *Az éghajlat változékonysága és változása I. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Országos Meteorológiai Szolgálat*, 63–69.
- Führer E.; Járó Z. és Márkus L. 1991: A magyarországi erdők szénmegkötő képessége és éghajlati hatások a hosszú termesztési idejű fák növekedésére. In: *Az éghajlat változékonysága és változása II. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Országos Meteorológiai Szolgálat*, 67–73.
- Führer E. 1994: A klímaváltozás és a szénforgalom összefüggése az erdőgazdálkodásban. *Biotechnológia és környezetvédelem*, 1.
- Führer E. és Molnár S. 2003: A magyarországi erdők élőfakészletében tárolt szén mennyisége. *Faipar*, 6 (2): 16–19.
- Führer E. és Mátyás Cs. 2005: A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. *Magyar Tudomány*, 166 (7): 837–841.
- Führer E. 2005: Az erdőgazdálkodás talajtani vonatkozásai. In: Stefanovits P. és Michéli E. (eds): *Talajok jelentősége a 21. században*. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 97–117.
- Führer E. és Jagodics A. 2009: A klímajelző fafajú állományok szénkészlete. „KLÍMA-21” Füzetek, 57: 43–55.



- Gytarsky, M.; Krug, T.; Kruger, D.; Pipatti, R.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K.; Wagner, F. and Penman, J. (eds) 2003: IPCC 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Intergovernmental panel of climate change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama Japan.
- Horváth, B. 2006: Kohlenstoff-Akkumulation im Boden nach Neuaufforstungen: Beitrag zur Reduzierung der C-Emission in Ungarn? Forstarchiv, 77: 63–68.
- Járó Z. 1958: Alommennyiségek a magyar erdők egyes típusaiban. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények, 1: 151–160.
- Jabágygy, E.G. and Jackson, R.B., 2000: The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications, 10: 423–436.
- Juhász P.; Bidló A.; Heil B.; Kovács G. és Patocskai Z. 2008: Bükkös állományok szénmegkötési potenciálja a Mátrában. Talajvédelem Különszám, Talajvédelmi Alapítvány, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, 409–416.
- Juhász P.; Bidló A.; Heil B. és Kovács G., 2009: Erdősítendő gyepterületek talajának szénmegkötési potenciálja a Cserehátban. In: Lakatos F. és Kui B. (eds): NYME EMK, Kari Tudományos Konferencia Kiadvány. NYME Kiadó, Sopron, 96–99.
- Juhász P.; Bidló A.; Ódor P. és Szűcs P. 2011: Erdőtalanok széntartalmának vizsgálata őrségi fenyőlevegyes lombérdőkben. In: Lakatos F.; Polgár A. és Kerényi-Nagy V. (eds): Tudományos Doktorandusz Konferencia, NYME EMK, Konferencia-kötet, Sopron, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 149–153.
- Lal, R. 2003: Soil erosion and the global carbon budget. Environment International, 29: 437–450.
- Lal, R. 2004: Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123: 1–22.
- Lal, R. 2005: Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management, 220: 242–258.
- Paul, K.I.; Polgase, P.J.; Nyakuengama, J.G. and Khanna, P.K. 2002: Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management, 168: 241–257.
- Post, W.M. and Kwon, K.C. 2000: Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biology, 6: 317–328.
- Post, W.M. and Mann, L.K., 1990: Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation. In: Bouwman, A.F. (ed): Soils and the greenhouse effect. J. Wiley and Sons, New York, 401–406.
- Richter, D.D.; Markewitz, D.; Wells, C.G.; Allen, H.L.; Dunscombe, J.K.; Harrison, K.; Heine, P.R.; Stuanes, A.; Urrego, B. and Bonani, G. 1995: Carbon cycling in a loblolly pine forest: implications for missing carbon sink and for the concept of soil. In: McFee, W. and Kelly, J.M. (eds): Carbon forms and functions in forest soils. Soil Science Society American, Madison, WI, 233–251.
- Ross, D.J.; Tate, K.R.; Scott, N.A.; Wilde, R.H.; Rodda, N.J. and Townsend, J.A. 2002: Afforestation of pastures with *Pinus radiata* influences soil carbon and nitrogen pools and mineralization and microbial properties. Australian Journal of Soil Research, 40: 1303–1318.
- Sedjo, R. A. 1992: Temperate forest ecosystems in the global carbon cycle. Ambio, 21: 274–277.
- Silver, W.L.; Ostertag, R. and Lugo, A.E., 2000: The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. Restoration Ecology, 8: 394–407.
- Schlesinger, W.H. 1985: Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: Trabalka, J.R. and Reichle, D.E. (eds): The changing carbon cycle: A global analyses. Springer-Verlag, New York, 194–220.
- Somogyi, Z. 2008a: Recent trends of tree growth in relation to climate change in Hungary. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 4: 17–27.
- Somogyi Z. 2008b: A hazai erdők üvegház hatású gázleltára az IPCC módszertana szerint. Erdészeti Kutatások, 92: 145–162.
- Somogyi, Z. 2010: CASMOFOR. In: Haszpra, L. (ed): Atmospheric greenhouse gases: The hungarian perspective. 201–228.
- Somogyi, Z. and Zamolodchikov, D. 2007: Forest resources and their contribution to global carbon cycles. In: Köhl, M. and Rametsteiner, E. (eds): State of Europe's Forests 2007. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (MCPFE–UNECE–FAO) Liaison Unit Warsaw, Warsaw, 3–17.

Érkezett: 2013. április 5.

Közlésre elfogadva: 2014. október 6.



## Búcsújárás

A meleg- és szárazságkedvelő tölgy búcsújáró lepke (*Thaumetopoea processionea*) tápnövényei a tölgyek, nálunk leggyakrabban cseren találkozhatunk vele. Az utóbbi 2 évtizedben európai elterjedési területe jelentősen megnövekedett. Olyan helyeken is feltűnt, ahol még sohasem, illetve az utóbbi 100 évben nem észlelték (pl. Észak-Németország). Ezzel egyidejűleg magyarországi kárterületei is növekvő trendet mutatnak. Erdővédelmi jelentőségén túl feltétlenül említést érdemel, hogy csalánzó hernyószőrei súlyos, fájdalmas bőrgyulladást okoznak.

Fotó: Csóka György (NAIK ERTI, Mátrafüred)

# A TÖLGYPUSZTULÁS GENETIKAI SZERKEZETRE GYAKOROLT HATÁSA

Cseke Klára<sup>1</sup>, Jobb Szilvia<sup>2</sup>, Koltay András<sup>3</sup> és Borovics Attila<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Nemesítési Osztály

<sup>2</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem, SEK-TTK, Biológiai Intézet

<sup>3</sup> NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Erdővédelmi Osztály

## Kivonat

Kutatásunk célja, egészséges és beteg egyedek alkotta részpopulációk genetikai szerkezetének összehasonlítása kocsányos- és kocsánytalan tölgyek esetében. A mintázás jelentős részben kizárja azon termőhelyi körülményekből fakadó tényezőket, amelyek szerepet játszhatnak az életképességbeli különbségekben. Ebből következően az egyes példányok betegségekkel szembeni ellenálló képességben megmutatkozó genetikai különbségek kimutatására ad alkalmat a vizsgálat. A növényi minták genetikai elemzését 6 mikroszatellit (SSR) lokusz (ZAG1/5, ZAG96, ZAG110, ZAG9, ZAG11, ZAG112) (SSR) és 7 izoenzim lokusz (IDH\_B, PGI\_B, AAP\_A, AAT\_B, ADH\_A, SKDH\_A, PGM\_B) vizsgálatával végeztük el. A részpopulációk genetikai diverzitását a lokuszonkénti allélszám, az effektív allélszám, Shannon diverzitási index, egyedi allélok száma, a várt- és tényleges heterozigócia, valamint az ezekből levezethető fixációs index alapján értékeltük. A kutatás egyik leginkább szembetűnő sajátága, hogy a kocsányos és kocsánytalan tölgyekre az izoenzim markerek vonatkozásában ellentétes tendenciájú eredményeket kaptunk. A kocsányos tölgy esetében a beteg, a kocsánytalan tölgy esetében pedig az egészséges részpopulációban találtunk allélszerkezetben kimutatható magasabb értékeket. Az allélszerkezettel hasonló összefüggést a heterozigócia értékekből levezethető fixációs index vonatkozásában sikerült igazolni. A mikroszatellit markerek esetében elsősorban az „egészséges” kocsányos tölgyek kiugróan magasabb allélikus változatossága figyelmet érdemlő. A vizsgált részpopulációk közötti genetikai távolság alapján a két tölgyfaj jól elkülöníthető csoportot alkot, amelyen belül az egészséges- és beteg egyedek alkotta részpopulációk szintén különválnak.

*Kulcsszavak:* kocsányos tölgy, kocsánytalan tölgy, tölgypusztulás, mikroszatellit analízis, izoenzim analízis, genetikai szerkezet

## THE GENETIC PATTERN OF OAK DECLINE

### Abstract

We have analysed the genetic pattern of oak decline through the comparison of subpopulations composed viable and declined trees growing close to each other on various stands. The applied sampling method excluded most of the site effects influencing viability. For the genetic investigation 6 nuclear microsatellite loci (ZAG1/5, ZAG96, ZAG110, ZAG9, ZAG11, ZAG112) and 7 isoenzyme loci (IDH\_B, PGI\_B, AAP\_A, AAT\_B, ADH\_A, SKDH\_A, PGM\_B) were applied. The genetic diversity of the analysed subpopulations were evaluated by different indices, such as number of alleles, effective



number of alleles, Shannon diversity index, number of private allele, expected- and observed heterozygosity, fixation index. The different tendency of results regarding isoenzyme markers in case of pedunculate and sessile oaks was a conspicuous speciality of the study. Higher allele diversity was detected in the declined pedunculate oak subpopulation, while in case of the sessile oaks the viable subpopulation showed higher values. A very similar tendency could be revealed with the calculation of fixation index based on the heterozygosity values. In case of the microsatellite markers the outstanding allelic diversity of the viable pedunculate oak subpopulation was remarkable. Based on the genetic distance among the analysed subgroups the two oak species compose two distinct clusters, and also the viable and declined subpopulations separate within the two main clusters.

**Keywords:** pedunculate oak, sessile oak, oak decline, microsatellite analysis, isoenzyme analysis, genetic structure

## BEVEZETÉS

A tölgypusztulás fogalma a magyar erdészeti szakirodalomban először az 1800-as évek végén jelent meg. A kezdeti irodalmi adatok elsősorban a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) kisebb-nagyobb területre kiterjedő elhalásáról tanúskodtak (Igmándy és mtsai 1984). A Maros két partján lévő állományok tömeges pusztulását figyelték meg elsőként (Rochel 1877), ezt követően 1910–15 és 1962–66 között lépett még fel, jelentős kocsányos tölgy elhalás hazánkban (Varga 1980). A kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Mattuschka) Lieblein) pusztulásáról a XIX. századból nincsenek irodalmi adatok, az 1978-as évet tekintik az első magyarországi felbukkanás időpontjának (Igmándy és mtsai 1986).

Hazánkban az 1970-es évek végén kezdődő tölgypusztulást gyors ütemű és nagy kiterjedésű elhalás jellemezte, ami kocsányos- és kocsánytalan tölgy állományokat egyaránt érintett. A témával foglalkozó kutatók elsősorban a kocsánytalan tölgy populációk vizsgálatára koncentráltak. Az adott területek állapotfelmérései (Igmándy és mtsai 1986) alapján megállapították, hogy a tölgypusztulás keletről indult az ország nyugati, dél-nyugati részei felé, legnagyobb mértékben az Északi-középhegység tölgyerdei váltak érintetté.

A pusztulás feltételezett okait feltáró kutatások kezdetben egy-egy biotikus, vagy abiotikus tényezőre összpontosítottak, de nem sikerült bizonyítani egyiknek sem a kizárólagos, döntő jelentőségét. A nemzetközi és a hazai vizsgálatok alapján végül arra a következtetésre jutottak, hogy a tölgypusztulás egy soktényezős leromlásos megbetegedés, amelynek következtében a fák abiotikus hatásokra legyengülnek és végül biotikus stresszhatások következtében fellépő fertőzések áldozataivá válnak (Bohár 1995; Standovár és Somogyi 1998).

Az abiotikus tényezők közül elsősorban az aszály hatását sikerült bizonyítani. Berki (1995) a csapadékhiányos évek során fellépő talajszárazságot és ennek következményeként a fákban kialakuló N hiányt tartotta a betegség egyik fő okának.

Fentieket támasztják alá Csóka és mtsai (2007) által végzett erdőmonitoring vizsgálatok. 1983-tól szolgáltatott adatokat a kocsánytalan tölgy állományokban található egészséges egyedek arányáról, illetve a mortalitásról. A rendelkezésre álló adatok alapján megállapították, hogy a kocsánytalan tölgyesek 2–3 egymást követő erősen aszályos év után mutatnak egészségi állapotromlást, a hatások pedig gyakran 1–3 év eltolódással kárláncolatokon keresztül jelentkeznek.

Mindemellett a kutatók többsége a biotikus tényezőket is a leromlási folyamat szerves részeinek tekintették, nélkülik valószínűleg gyakran nem történt volna meg a fa egyedek pusztulása (Vajna 1998).

A lehetséges okok feltárásában tehát elsősorban a külső tényezőkre (kórokozók, kártevők, abiotikus stressz) koncentráltak és kevés figyelmet szenteltek magára a tölgyre.

A molekuláris genetikai vizsgálatok során mind az izoenzyme, mind a DNS alapú AFLP és SSR markerek alkalmazása során kimutatható a kocsányos és kocsánytalan tölgy csoportok részleges elkülönülése, legalább bizonyos allélok gyakoriságértékeiben tapasztalható eltérés szintjén (Hertel és Degen 2000; Gömörly 2000; Gömörly és mtsai 2001; Mariette és mtsai 2002; Coart és mtsai 2002; Curtu és mtsai 2006).

A tölgypusztulás genetikai hátteréről azonban kevés információ áll rendelkezésre. Az első, hasonló koncepcióra épülő vizsgálat Müller-Starck (1985) nevéhez fűződik, aki a bükk (*Fagus sylvatica* L.) általános leromlással járó tünet együttesének genetikai hátterét vizsgálta egy bajorországi idős állományban, toleráns és érzékeny egyedekből képzett csoportok összehasonlításával. Az alkalmazott izoenzim lokuszok tekintetében egy általános diverzitásbeli különbség volt megfigyelhető a toleráns egyedek javára több diverzitási mutató tekintetében is (az allélok valamint genotípusok száma, a heterozigóták aránya és a többlokuszos diverzitás értékek). A több izoenzim lokusz esetében is megfigyelt szignifikáns eltérés a szerző szerint utalhatott a jelenség összetett jellegére. A tölgy fajok esetében egyetlen hasonló tanulmány készült (Sander és Franke 1999). A vizsgálat Németország Baden-Württemberg tartományának 10 kocsányos és kocsánytalan tölgy állományának mintázásával készült, izoenzim markerek alkalmazásával. Az eredmények alapján megállapítható volt, hogy a kocsánytalan tölgy egyedeket szignifikánsan kisebb mértékben érintette a tünetegyüttes, mint a kocsányos tölgyeket. Ezen túl, az érzékeny és ellenálló részpopulációk között is egyértelmű különbség volt kimutatható a genetikai diverzitás tekintetében, ahol a toleráns csoport magasabb diverzitási paraméterekkel rendelkezett. Sajnos az első hazai kezdeményezésére (Keresztesi 1990) tervezett izoenzim alapú genetikai vizsgálatok nem valósultak meg.

Kutatásunk alapjául az a felvetés szolgált, hogy a betegség lefolyása és végső kimenetele függ a stressztényezőkkel szembeni alkalmazkodó- és védekezőképességtől. Ennek alátámasztására a tölgypusztulás következtében megbetegedett, illetve egészséges tölgyek képezte csoportok genetikai diverzitás vizsgálatát végeztük. Kutatásunk központi kérdése, hogy a tölgypusztulással szemben az ellenállóbbnak tűnő („egészséges”) egyedek képezte részpopuláció genetikai szerkezete eltér-e a fogékonyabb („beteg”) egyedek képezte részpopulációjától?

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Mintagyűjtés

A vizsgálatok alapkonceptiója egymás közvetlen közelében elhelyezkedő, egészséges és beteg tölgy egyedpárok képezte részpopulációk genetikai struktúrájának összehasonlítása volt. A mintafák kiválasztása és minősítése az ERTI által korábban alkalmazott ötfokozatú egészségi skála alapján történt (Csóka 1992). Az általunk vizsgált egészséges mintafák valamennyi esetben a teljesen egészséges 5. osztályba tartoztak. A beteg fák esetében olyan egyedek kerültek kiválasztásra, melyek az előzetes vizsgálatok szerint, már évek óta a 3/4 (beteg, a pusztulás tüneteit mutató fa) vagy 3/2 (erősen beteg, de még élő fa) kategóriába tartoztak. Ezek mellett a beteg csoportba kettes minősítésű, azaz a mintagyűjtés évében elpusztult tölgyek is kerültek.

Az egyedpárok kijelölésénél elsődleges szempontként szerepelt, hogy a vizsgálatba vont fák a lehető legközelebb helyezkedjenek el egymáshoz, így csökkentve az ökológiai tényezőkből származó különbségeket. Elsőként a beteg egyedek kerültek kijelölésre, majd az ehhez legközelebbi (1–2 fmagasság távolság) egészséges fa. Ezek egymástól való átlagos távolsága 20–25 m között változott, amely érték függött az állomány korától és az erdőrészletben álló fák számától.

A mintagyűjtés Magyarország különböző 7 tájegység 9 településének körzetében (1. táblázat), kocsányos és kocsánytalan tölgy állományokban (két állomány esetében a két faj elegyesen fordult elő). Összesen 226 (113 egészséges és 113 beteg) fáról történt téli rügyek gyűjtése a genetikai vizsgálatokhoz.



1. táblázat: Vizsgált egyedek száma helyszínenként és fajonként

Table 1: The number of examined samples in the different populations of pedunculate and sessile oaks

Település	Mintaszám	
	Kocsányos tölgy (KST)	Kocsánytalan tölgy (KTT)
Bejcggyertyános (Kemeneshát)	40	–
Szenta (Belső Somogy)	10	–
Kaszó (Belső Somogy)	6	–
Buják (Cserhát)	36	22
Gyöngyössolyos (Mátra)	12	20
Szentendre (Pilis)	–	20
Dunaszentmiklós (Gerecse)	–	14
Nyergesújfalú (Gerecse)	–	34
Bajánsenye (Őrség)	–	12
Összesen:	104	122

## Genetikai vizsgálat

### Mikroszatellit analízis

A DNS kivonáshoz fagyaszttva tárolt téli rügyek fiatal levélszövetét használtunk, amelyet folyékony nitrogénnel lehűtve, moszárbán porrá őröltünk. Az így feltárt növényi mintából a Qiagen Plant Mini Kit segítségével végeztük a DNS extrakciót. A kinyert DNS koncentrációját agaróz gélelektroforézis (0,5%-os) során ellenőriztük. A PCR reakcióval a következő mikroszatellit markereket amplifikáltuk (zárójelben az F primer 5' végén található fluoreszcens jelölés látható): ZAG 1/5 (6-FAM), ZAG 9 (6-FAM), ZAG 110 (HEX) (Steinkellner és mtsai 1997), ZAG 11 (TET), ZAG 96 (TET), ZAG 112 (HEX) (Kamper és mtsai 1998).

A PCR mastermix az irodalmi utalás alapján, illetve optimalizálás után az alábbi receptúra szerint készült: a 15 µl végtérfogatban 5x Puffer (PromegaGoTaq Flexi) 4 µl; MgCl<sub>2</sub> ZAG 1/5 és ZAG 9 markereknél 1 mM (0,6 µl), többinél 2 mM (1,2 µl); Primer F, R egyenként ZAG 9-nél 0,25 pM (0,375 µl), ZAG 1/5-nél 0,75 pM (1,125 µl), többinél 0,34 pM (0,5 µl); dNTPmix (Promega 10 mM) 0,4 µl; Polymeráz (PromegaGoTaq Flexi) 0,4U; DNS-minta 1 µl (kb. 10 ng/µl). A PCR reakcióhoz Eppendorf Mastercycler Gradient készüléket használtunk a következő programozással: ZAG 1/5 és ZAG 9 kezdő denaturáció 95 °C 15 min, denaturáció 95 °C 50 sec, primer bekötődés 55 °C (ZAG 9 65 °C) 50 sec, lánchosszabbítás 72 °C 1 min 45 sec, előző három lépés ismétlése 35-ször, végső lánchosszabbítás 72 °C 10 min. További négy marker esetében kezdő denaturáció 95 °C 15 min, denaturáció 95 °C 30 sec, primer bekötődés 50 °C 30 sec, lánchosszabbítás 65 °C 1 min 30 sec, előző három lépés ismétlése 30-szor, végső lánchosszabbítás 65 °C 15 min.

Az amplifikáció sikerességét agaróz (1,75%) gélelektroforézis (120 V, 20 min) során ellenőriztük. Az UV fényen előhívott futtatási képet digitálisan fotóztuk a fragmentumok koncentrációjának becsléséhez, illetve a későbbi vizsgálathoz szükséges hígítás megállapításához.

A mikroszatellit fragmentumok pontos méretének meghatározása (fragmentanalízis) ABI Prism 310-es genetikai analizátorral történt. A 6-FAM, TET, HEX jelöléssel ellátott fragmentumokat multiplex futtatásban analizáltuk. A futtatáshoz C-mátrixot használtunk TAMRA belső méretstandarddal. A fragmentumhosszak leködölését a GeneMapper szoftverrel végeztük.



## Izoenzim analízis

Az izoenzim extrakció fagyasztva tárolt, téli rügmintákból történt, hűtött körülmények között. Az enzim extrakcióhoz kb. 5–6 darab, normál méretű rügy került feldolgozásra mintánként, amely során a rügypikkelyeket szikével eltávolítottuk, a levélkezdeményeket letisztítottuk, majd merkapto-etanol alapú extrakciós pufferrel homogenizáltuk. A különböző növényi enzimeket tartalmazó fehérje extraktumot filterpapírokkal felszívva, fagyasztva tároltuk a vizsgálat következő lépéséig. A fennmaradó rügyek, az esetleges további felhasználásig  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on lefagyasztásra kerültek. Az enzimek elválasztása keményítő gélelektroforézissel zajlott. A futtatások, az enzimek aktivitását megőrizve hűtött körülmények között zajlottak. A szeparáció egyfelől méret (és szerkezet) szerint történt. Ehhez három különböző pórusszerkezetű gélt alkalmaztunk, amelyek a megfelelő pH értékű pufferrendszerrel kombinálva, a vizsgálni kívánt enzimerendszerek szempontjából optimális futtatókörzeget jelentettek. Az előhívás a szeparáció második lépcsőfoka, amikor a gélben megtalálható enzimerendszerek közül egy, az adott enzim tevékenységére specifikus reakció lejátszásával, illetve a reakciótermék megfestésével, megjelenítjük a gélben különböző helyen elhelyezkedő enzimvariánsokat. Az inkubálás után előhívott mintázatot fénypadon átvilágítottuk és a kódoláshoz fotóztuk. A vizsgált enzimerendszerek elválasztásához alkalmazott reakciókörülmények a Müller-Starck és Ziehe (1991) által publikált protokoll-leírásban találhatóak meg.

Az izoenzim vizsgálatban az alábbi enzimerendszerek szerepeltek (zárójelben a név rövidítése és a nemzetközi Enzim Bizottság által bevezetett EC kód):

- Alaninaminopeptidáz (AAP/ EC 3.4.11.1)
- Aszpartát-amino-transzferáz (AAT/ EC 2.6.1.1)
- Glutamátdehidrogenáz (GDH/ EC 1.4.1.2)
- Izocitrátdehidrogenáz (IDH/ EC 1.1.1.42)
- Foszfoglükó-izomeráz (PGI/ EC 5.3.1.9)
- Foszfoglükomutáz (PGM/ EC 2.7.5.1)
- Sikimát-dehidrogenáz (SKDH/ EC 1.1.1.25)

A különböző enzimerendszerek izoenzim mintázatának genotípus kódolása Müller-Starck és Ziehe (1991) által közölt módon történt.

## Statisztikai értékelés

A fragmentanalízis során nyert nyers mikroszatellit-hossz adatsort és a zimogramok értékelésével kapott izoenzim genotípusokat további statisztikai eljárásokkal elemeztük. Az elemzéseket a GenAIEx 6.4 (Peakall és Smouse 2006) populációgenetikai szoftvert segítségével készítettük. A genetikai elemzés során a következő mutatókat vizsgáltuk:

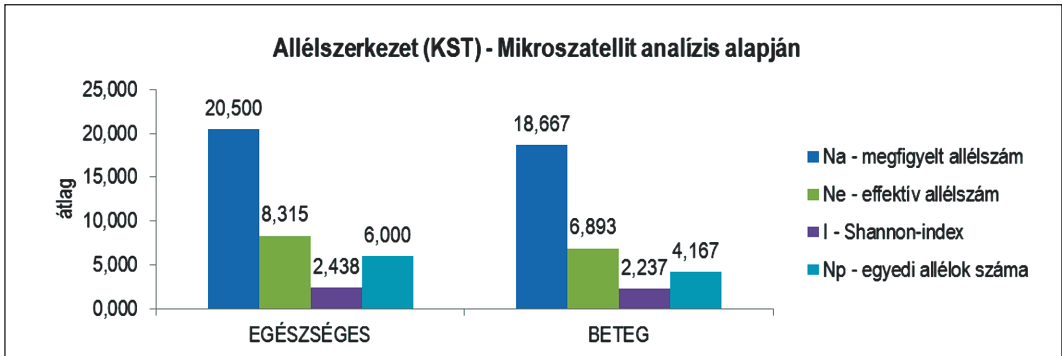
- $N_a$ : allélok lokuszonkénti száma;
- $N_e$ : effektív allélszám =  $1 / (\text{Sum } p_i^2)$ ;
- $I$ : Shannon diverzitási index =  $-\sum p_i \ln p_i$
- $N_p$ : egyedi allélok száma
- $H_e$ : számított heterozigócia =  $1 - \text{Sum } p_i^2$  (értéke 0-1);
- $H_o$ : megfigyelt heterozigócia = heterozigóták száma/mintaszám (értéke 0-1);
- $F$  fixációs index =  $(H_e - H_o)/H_e$  (heterozigóta hiány, vagy többlet a H-W egyensúlyi állapothoz képest)

A részpopulációk egymáshoz viszonyított genetikai távolságát Nei (1972) alapján számítottuk. A csoportok közötti genetikai kapcsolatot dendrogram szerkesztés segítségével ábrázoltuk, amelyhez az UPGMA (Sneath és Sokal 1973) eljárást alkalmaztuk.

## EREDMÉNYEK

### Kocsányos tölgyek

Kocsányos tölgy egyedpárok kijelölése és minták begyűjtése 5 település községhatárában található erdőállományból történt (1. táblázat). 52 egészséges-beteg fapárból képeztünk két részpopulációt, amelyek allélikus diverzitását és heterozigócia értékeit elemeztük. A vizsgált hat mikroszatellit lokusz átlagos allélszáma ( $N_a$ ), az effektív allélszám ( $N_e$ ), valamint a belőlük levezethető diverzitási paraméterek (Shannon index  $I$ , egyedi allélok száma  $N_p$ ) is az „egészséges” részpopulációban voltak határozottan magasabbak (1. ábra).

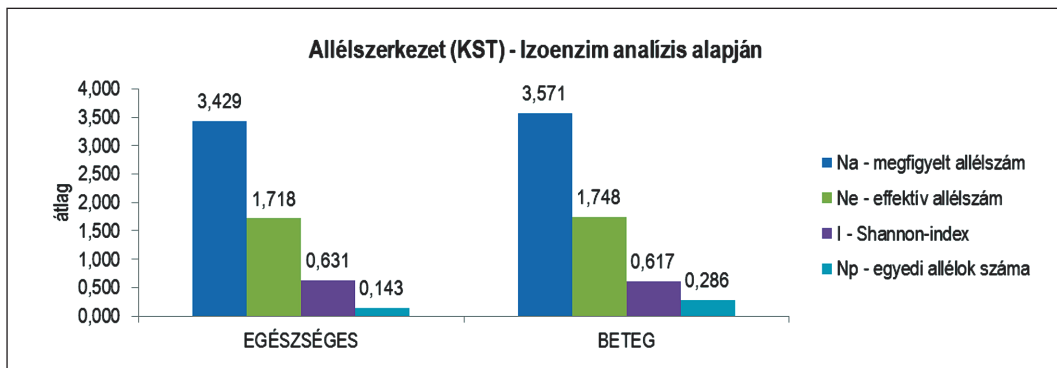


1. ábra: Egészséges- és beteg kocsányos tölgyek allélszerkezete (Mikroszatellit analízis – 6 lokusz átlaga)  
 Figure 1: Allelic patterns across the viable- and declined pedunculate oak subpopulations  
 (Microsatellite analysis – mean of 6 loci)

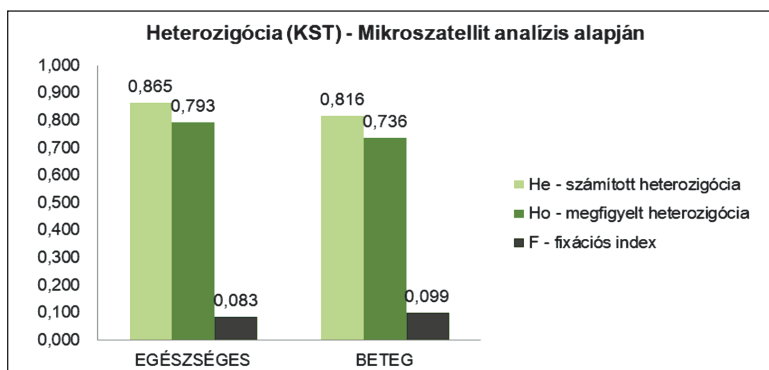
A megvizsgált 7 enzimrendszer együttes értékelése alapján, az előző markertípushoz képest ellentétes tendenciát mutatva, az átlagos allélszám ( $N_a$ ) és az effektív allélszám ( $N_e$ ), és a belőlük levezetett diverzitási paraméterek, ha kis mértékben is, de a „beteg” részpopulációban voltak magasabb értékűek (2. ábra).

A heterozigóták részarányának megállapításához, az allélszerkezetből számított ( $H_p$ ) és a részpopulációkban ténylegesen megfigyelt heterozigócia ( $H_o$ ) értéket, továbbá a heterozigóták Hardy-Weinberg egyensúlyi populációhoz képest kimutatható esetleges hiányát, vagy többletét jelző fixációs indexet ( $F$ ) értékeltük. A 6 mikroszatellit génhely együttes elemzésével nyert eredmények alapján megállapítható, hogy mindkét heterozigócia érték tekintetében megfigyelhető az „egészséges” egyedek képezte részpopuláció esetében a magasabb érték (3. ábra). Ugyanakkor elmondható, hogy a kocsányos tölgyek heterozigócia értékei mindkét csoportban kiugróan magasak a mikroszatellit markerek tekintetében. A fixációs index kis mértékben tér el pozitív érték felé a nullával jelzett egyensúlyi állapothoz képest, amely a heterozigóták ellen ható enyhe szelekciós folyamatot jelezhet az egészséges és beteg részpopulációkban.

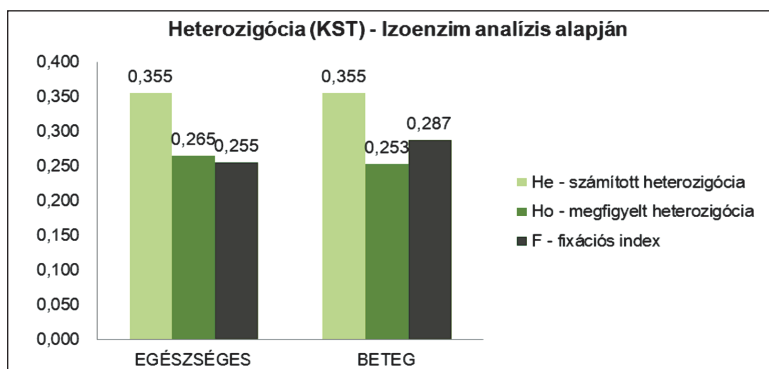
A 7 izoenzim génhely együttes vizsgálata alapján megállapítható, hogy a számított heterozigócia a „egészséges-beteg” részpopulációk esetében azonos, míg a megfigyelt heterozigócia érték az „egészséges” csoportnál kis mértékben magasabb (4. ábra). A mikroszatellit vizsgálatokhoz hasonlóan, jelen esetben is a fixációs index pozitív érték felé tolódik el az egyensúlyi állapothoz képest, bár ez esetben lényegesen nagyobb mértékű heterozigóta hiányra utaló értékeket kaptunk mindkét csoportban. A beteg egyedek képezte részpopuláció esetében magasabb fixációs index a heterozigóták nagyobb hiányára utal.



2. ábra: Egészséges- és beteg kocsányos tölgyek allélszerkezete (Izoenzim analízis – 7 lokusz átlaga)  
 Figure 2: Allelic patterns across the viable- and declined pedunculate oak subpopulations  
 (Isoenzym analysis – mean of 7 loci)



3. ábra: Egészséges- és beteg kocsánytalan tölgyek számított- és tényleges heterozigócia értékei, valamint a fixációs indexe  
 (Mikroszatellit analízis – 6 lokusz átlaga)  
 Figure 3: Expected- and observed heterozygosity, and fixation index across the viable- and declined sessile oak groups  
 (Microsatellite analysis – mean of 6 loci)

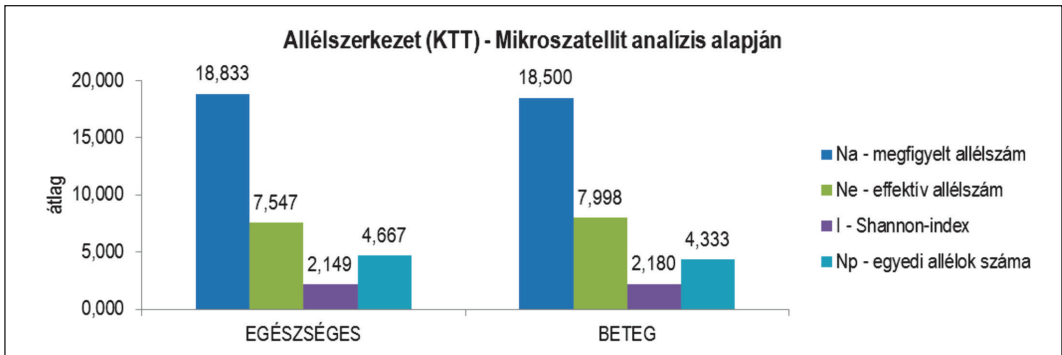


4. ábra: Egészséges- és beteg kocsányos tölgyek számított- és tényleges heterozigócia értékei, valamint a fixációs index  
 (Izoenzim analízis – 7 lokusz átlaga)  
 Figure 4: Expected- and observed heterozygosity, and fixation index across the viable- and declined pedunculate oak groups  
 (Isoenzym analysis – mean of 7 loci)

## Kocsánytalan tölgyek

Kocsánytalan tölgy egyedpárok kijelölése és minták begyűjtése 6 település községhatárában található erdőállományból történt (1. táblázat). 61 „egészséges-beteg” fapárból képeztünk két részpopulációt, amelyek allélikus diverzitását és heterozigócia értékeit elemeztük.

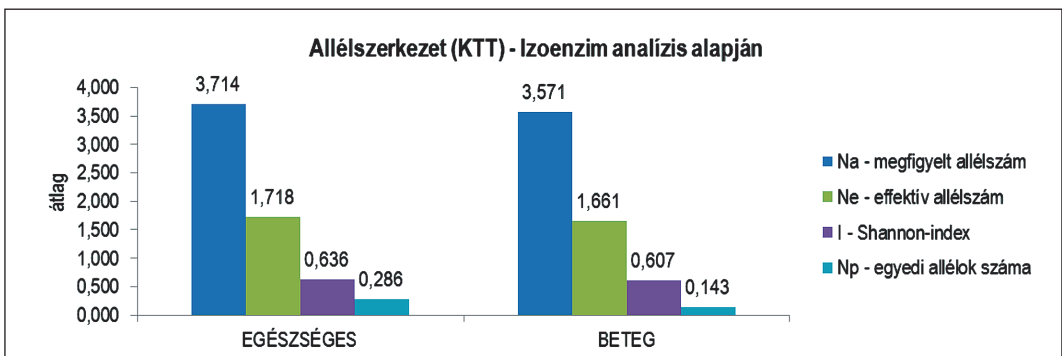
A vizsgált hat mikroszatellit lokusz átlagos allélszáma ( $N_a$ ), az effektív allélszáma ( $N_e$ ), valamint a belőlük levezethető diverzitási paraméterek elemzése alapján megállapítható, hogy a kocsányos tölgyhöz képest sokkal hasonlóbb a „beteg-egészséges” részpopulációk allélszerkezete. Lényeges és tendenciát is jelentő allélszerkezetben megmutatkozó eltéréseket a beteg-egészséges részpopulációknál nem mutatható ki a mikroszatellit markerezési eljárással (5. ábra).



5. ábra: Egészséges- és beteg kocsánytalan tölgyek allélszerkezete (Mikroszatellit analízis – 6 lokusz átlaga)  
Figure 5: Allelic patterns across the viable- and declined sessile oak groups (Microsatellite analysis – mean of 6 loci)

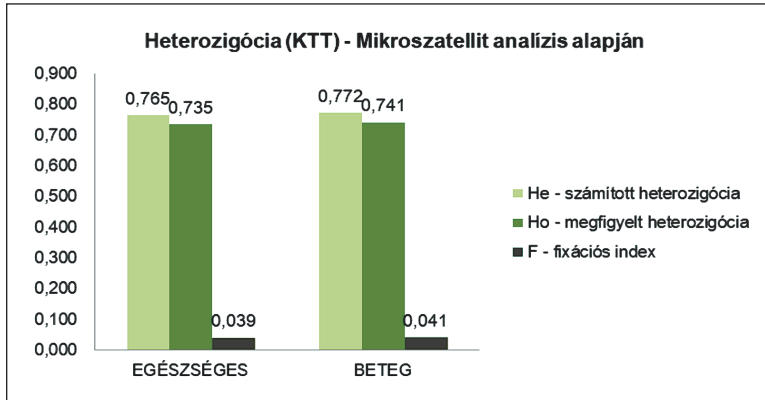
A vizsgált 7 izoenzim génhely együttes értékelése alapján az átlagos allélszám ( $N_a$ ) és az effektív allélszám ( $N_e$ ), valamint a belőlük levezetett diverzitási paraméterek, ha kis mértékben is, de az egészséges részpopulációban voltak magasabbak (6. ábra). Ez az eredmény a kocsányos tölgyhöz képest éppen ellentétes tendenciát mutat.

A kocsánytalan tölgyek szintén összevetettük a két eltérő markerezési eljárással az egészséges-beteg részpopuláció számított és megfigyelt heterozigócia értékeit, valamint az ezekből származtatott fixációs indexet (7. és a 8. ábra). A mikroszatellit elemzések alapján kapott heterozigócia értékek viszonylag magasnak bi-



6. ábra: Egészséges- és beteg kocsánytalan tölgyek allélszerkezete (Izoenzim analízis – 7 lokusz átlaga)  
Figure 6: Allelic patterns across the viable- and declined sessile oak groups (Isoenzyme analysis – mean of 7 loci)

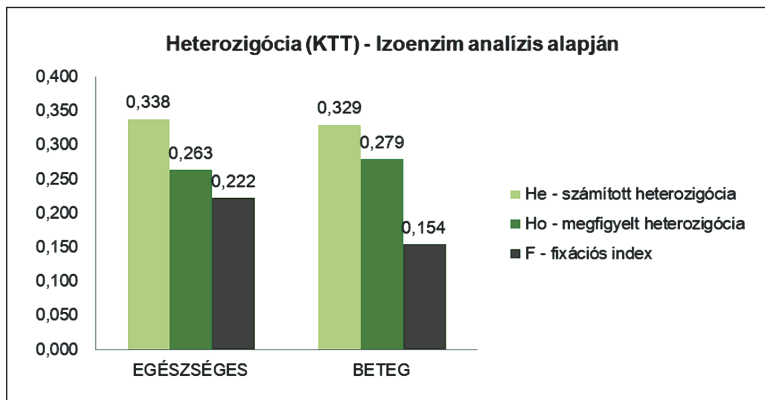
zonyultak (7. ábra), bár a kocsányos tölgy csoportok értékeitől elmaradnak. Az egészséges és beteg részpopulációkban kapott adatok nagyon hasonlóak, kiegyenlítettek, kis különbséggel jellemezhetőek. A megfigyelt- és számított heterozigócia érték mindkét csoportban közel azonos mértékű, ami egyensúlyra utal a vizsgált részpopulációkban. A fixációs index ennek megfelelően 0 körüli értékeket vesz fel, vagyis a heterozigótákkal szemben ezen markertípus esetében nem figyelhető meg jelentős szelekciós nyomás.



7. ábra: Egészséges- és beteg kocsánytalan tölgyek számított- és tényleges heterozigócia értékei, valamint a fixációs indexe (Mikroszatellit analízis – 6 lokusz átlaga)

Figure 7: Expected- and observed heterozygosity, and fixation index across the viable- and declined sessile oak groups (Microsatellite analysis – mean of 6 loci)

Az izoenzim vizsgálatok során nyert értékek elemzése alapján megállapítható, hogy a számított heterozigócia érték az egészséges részpopulációban volt magasabb, míg a megfigyelt heterozigócia ezzel ellentétesen a beteg részpopulációban volt magasabb értékű (8. ábra). Ebből következően a fixációs index az egészséges részpopulációban jelentősen magasabb, vagyis ez esetben a heterozigóták ellen ható erősebb szelekció az egészséges részpopulációban volt tapasztalható, ellentétben a kocsányos tölgyeknél tapasztaltakkal az izoenzim génhelyek esetében. Ez utalhat a homozigóták javára zajló szelekciós folyamatra.

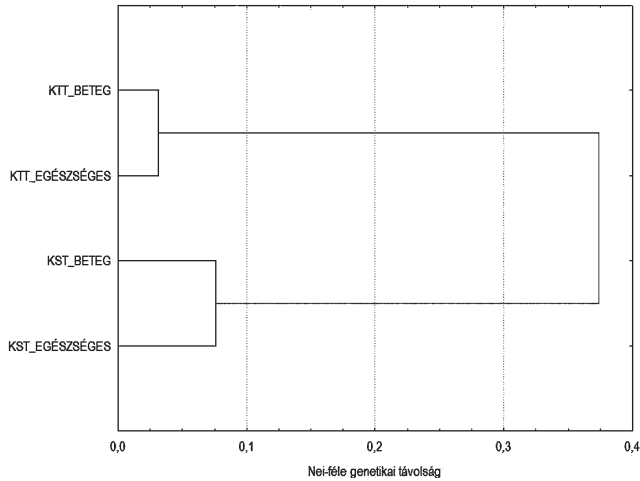


8. ábra: Egészséges- és beteg kocsánytalan tölgyek számított- és tényleges heterozigócia értékei, valamint a fixációs indexe (Izoenzim analízis – 7 lokusz átlaga)

Figure 8: Expected- and observed heterozygosity, and fixation index across the viable- and declined sessile oak groups (Isoenzyme analysis – mean of 7 loci)

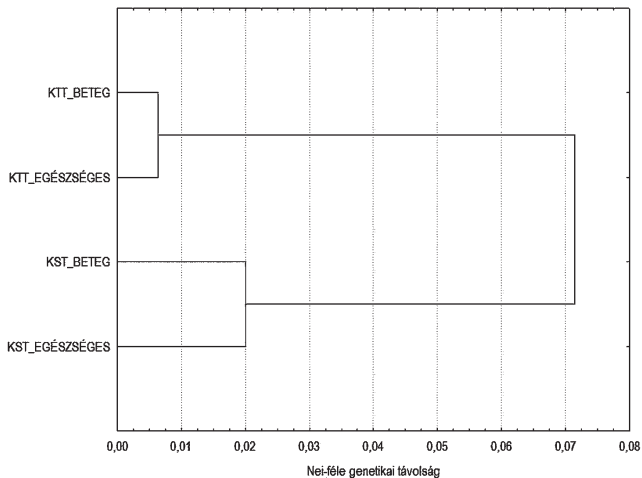
## Kocsányos és kocsánytalan tölgy részpopulációk összehasonlítása

A vizsgált részpopulációk közötti genetikai kapcsolatot a Nei-féle genetikai távolság alapján UPGMA dendrogramon ábrázoltuk. A két alkalmazott markerezési eljárás alapján hasonló szerkezetű ábrát kaptunk (9. 10 ábrák), de az elkülönülés mértékében jelentős különbség mutatható ki. A nagy változatosságot mutató mikroszatellit génhelyek együttes vizsgálata alkalmasabb a csoportok szétválasztására, nagyobb genetikai távolság mutatható ki általa. Az ábrák jól mutatják, hogy sok génhely együttes vizsgálata alkalmas a két tölgy-faj elkülönítésére is.



9. ábra: Kocsányos és kocsánytalan tölgyek egészséges és beteg részpopulációinak genetikai elkülönülése a Nei-féle genetikai távolságuk alapján szerkesztett UPGMA-dendrogramon /Mikroszatellit analízis/

Figure 9: Genetic distance across viable and declined subpopulations of the pedunculate and sessile oak population based on the Nei's genetic distance (UPGMA dendrogram) / Microsatellite analysis /



10. ábra: Kocsányos és kocsánytalan tölgyek egészséges és beteg részpopulációinak genetikai elkülönülése a Nei-féle genetikai távolságuk alapján szerkesztett UPGMA-dendrogramon /Isoenzym analízis/

Figure 10: Genetic distance across viable and declined subpopulations of the pedunculate and sessile oak population based on the Nei's genetic distance (UPGMA dendrogram) / Isoenzym analysis /



## ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során egészséges és beteg kocsányos- és kocsánytalan tölgyek képezte részpopulációk genetikai szerkezetét hasonlítottuk össze. A két faj, egészséges és beteg részpopulációjának kétféle genetikai markerezési eljárással kapott allélszerkezetben és a heterozigócia értékekben megmutatkozó genetikai jellemzői összesen 16-féle kombinációt eredményeztek, amelynek legfontosabb következtetéseit a 2. sz. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: Vizsgált részpopulációk legfontosabb populációgenetikai jellemzői

Table 2: The main population genetic characteristic of the investigated subpopulations

		Kocsányos tölgy		Kocsánytalan tölgy	
		egészséges	beteg	egészséges	beteg
Mikroszatellit	Allélszerkezet	+++			
	Heterozigócia	+			
Izoenzim	Allélszerkezet		+	+	
	Heterozigócia		+	++	

Magyarázat: a + száma jelzi a kapcsolat erősségét.

A táblázat egyik leginkább szembeűnő sajátága, hogy a két tölgyfaj esetében az izoenzim markerek vonatkozásában ellentétes tendenciájú eredményeket kaptunk. A mikroszatellit markerek esetében elsősorban az „egészséges” kocsányos tölgyek kiugróan magasabb allélikus változatossága figyelmet érdemlő. A mikroszatellit markerek véletlen mutációk által, jelentős genetikai változatosságot tudnak felhalmozni. Alkalmazkodási szempontból viszont ezeknek nincsen jelentősége. Semleges (neutrális) génhelyeknek számítanak, tehát inkább a véletlen, múltbéli eseményeket lehet vele értékelni. E vonatkozásban magyarázatot adhat az allélszerkezetben megnyilvánuló értékre, hogy a kocsányos tölgyeseink túlnyomó többsége ismeretlen eredetű és jellemzően kevert származású szaporítóanyagból létesült, ember által jelentősen befolyásolt „kültúrerdőknek” tekintendő, amely hozzájárulhatott a többféle variáns egyidejű jelenlétéhez. Az 5 helyszínen történő mintázás is hozzájárulhatott a változatos allélszerkezet kialakulásához. A heterozigócia vonatkozásában sokkal kiegyenlítettebb a mikroszatellit génhelyek szerkezete. A kocsányos tölgyek esetében szintén az egészséges részpopuláció mutatott enyhén magasabb értékeket, azonban a belőlük levezethető fixációs indexek mind a négy vizsgált esetben (fajonként és részpopulációnként) az egyensúlyihoz nagyon közeli, 0 értéket mutatták, amely az irányított szelekciós folyamatok hiányára utal. Ez megerősíti a mikroszatellit markerek neutrális jellegéről korábban elmondottakat.

Az izoenzim génhelyek esetében az elkülönülés sokkal alacsonyabb mértékű, amely abból következik, hogy ez esetben a teljes genom ténylegesen átíródó, fehérjéket kódoló régióit vizsgáljuk. Itt már érvényesülhet az egyes génváltozatokkal szembeni szelekció, egyes génhelyek eltérő alléljai között alkalmazkodásban megmutatkozó esetleges különbségek révén (Borovics és Mátyás 2013). Az allélszerkezetben a két faj vonatkozásában ellentétes irányú tendenciát tapasztaltunk. A kocsányos tölgy esetében a beteg, a kocsánytalan tölgy esetében pedig az egészséges részpopulációban találtunk allélszerkezetben magasabb értékeket. Ennek magyarázatát a két faj eltérő alkalmazkodási sajátágaiban kereshetjük, de érvényesülhet a kocsányos tölgyesek erősebb emberi hatásainak következménye is. Az allélszerkezettel hasonló tendenciát mutató összefüggést a heterozigócia értékekből levezethető fixációs index (heterozigócia hiány, egyensúlyi állapottól való eltérés mértéke) vonatkozásában is sikerült kimutatni. A kocsányos tölgy esetében a beteg részpopuláció esetében volt tapasztalható, igaz viszonylag kis különbséggel, nagyobb heterozigócia hiányra utaló magasabb fixációs érték,



addig a kocsánytalan tölgnél ezzel szemben az egészséges részpopuláció fixációs értéke a beteghez képest jelentősen magasabb volt, amely a heterozigóták nagyobb hiányára utal. Ez a homozigóta egyedek egyfajta többletét indikálja az egészséges részpopuláció vonatkozásában a kocsánytalan tölgy esetében. Ez összhangban van azzal az eredménnyel (Borovics és Mátyás 2013), amely szerint a kocsánytalan tölgyek számára kedvezőtlen körülmények között inkább az adott viszonyokhoz alkalmazkodott, elsősorban homozigóta állapotban jelen lévő allélváltozatok kerülnek túlsúlyba. Bár a mintázás során a fapárok kijelölésével igyekeztünk „kijteni” az ökológiai különbségeket, de az egyedek adott ökológiai viszonyokhoz történő eltérő reakcióival is számolnunk kell. Ezzel magyarázható az adott helyszínen „sikeres” és „kiszelektálódó” párok eltérő genetikai szerkezete.

A vizsgált részpopulációk közötti genetikai távolság alapján megállapítható, hogy a két alkalmazott markerezési eljárás alapján hasonló genetikai szerkezetet kaptunk, de az elkülönülés mértékében jelentős különbség volt kimutatható a mikroszatellit markerek javára. Ez a markertípus nagyobb változatosságával magyarázható. A két tölgyfaj jól elkülöníthető csoportot alkot, amelyen belül az egészséges- és beteg egyedek alkotta részpopulációk szintén különválnak, a kocsányos tölgy esetében nagyobb mértékben, azonban a genetikai elkülönülés ez esetben is alacsony szintűnek tekinthető.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A–11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Berki I. 1995: Éghajlatunk változása és a hazai tölgypusztulás. In: Tar K.; Berki I. és Kiss Gy. (eds): Erdő és Klíma Konferencia. Noszvaj, 1994. 06. 01.–1994. 06. 03. KLTE, 217–221.
- Bohár Gy. 1995: Krónikus és akut stresszállapot, valamint a másodlagos károsítók és kórokozók szerepe a kocsányos- és kocsánytalan tölgy, valamint a cser pusztulásában. In: Tar K.; Berki I. és Kiss Gy. (eds): Erdő és Klíma Konferencia. Noszvaj, 1994.06.01.–1994.06.03. KLTE, 222–229.
- Borovics, A. and Mátyás, Cs. 2013: Decline of genetic diversity of sessile oak at the retracting (xeric) limits. *Annals of Forest Science*, 70: 835–844.
- Coart, E.; Lamote, V.; De Loose, M.; Van Bockstaele, E.; Lootens, P. and Roldán-Ruiz, I. 2002: AFLP markers demonstrate local genetic differentiation between two indigenous oak species [*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] in Flemish populations. *Theoretical and Applied Genetics*, 105: 431–439.
- 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: 116–126.
- Csóka Gy. 1992: A hazai kocsánytalan tölgy-pusztulás menete 1983-tól napjainkig. *Erdészeti Lapok*, 127: 313–314.
- 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. kötet, Sopron, 229–239.
- Gömöry, D. 2000: Gene coding for a non-specific NAD-dependent dehydrogenase shows a strong differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea*. *For. Genet.*, 7: 167–170.
- Gömöry, D.; Yakovlev, I.; Zhelev, P.; Jedináková, J. and Paule, L. 2001: Genetic differentiation of oak populations within the *Quercus robur/Quercus petraea* complex in central and eastern Europe. *Heredity*, 86: 557–563.
- Hertel, H. and Degen, B. 2000: Distinguishing indigenous pedunculata and sessile oak (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* [Mattuschka] Liebl.) using genetic and morphological traits. (Unterscheidung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus*

- robur* L. und *Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.) mit Hilfe von genetischen und morphologischen Merkmalen). Forest Snow and Landscape Research, 75(1/2): 169–183.
- Igmándy Z.; Béky A.; Pagony H.; Szontagh P. és Varga F. 1986: A kocsánytalan tölgypusztulás helyzete hazánkban 1985-ben. Az Erdő, 35: 255–259.
- Igmándy Z.; Pagony H.; Szontagh P. és Varga F. 1984: Beszámoló a kocsánytalan tölgyeseinkben fellépett pusztulásról 1978–1983. Az Erdő, 33: 334–341.
- Kampfer, S.; Lexer, C.; Glossl, J. and Steinkellner, H. 1998: Characterization of (GA)<sub>n</sub> microsatellite loci from *Quercus robur*. Hereditas, 129: 183–186.
- Keresztesi B. (ed) 1990: A tölgyek komplex genetikai, taxonómiai és rezisztencia élettani kutatása, különös tekintettel a nemesítésre és az erdőpusztulásra. OTKA Zárójelentés, Budapest.
- Mariette, S.; Cottrell, J.; Csaikl, U.M.; Goikoechea, P.; König, A.; Lowe, A.J.; van Dam, B.C.; Barreneche, T.; Bodenes, C.; Streiff, R.; Burg, K.; Groppe, K.; Munro, R.C.; Tabbener, H. and Kremer, A.. 2002: Comparison of levels of genetic diversity detected with AFLP and microsatellite markers within and among mixed *Q. petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L. stands. Silvae Geneticae, 51: 72–79.
- Müller-Starck, G. 1985: Genetic Differences between „Tolerant” and „Sensitive” Beeches (*Fagus sylvatica* L.) in an Environmentally Stressed Adult Forest Stand. Silvae Genetica, 34 (6): 241–246.
- Müller-Starck, G. and Ziehe, M. 1991: Genetic variation in European populations of forest trees. Sauerländer's Verlag.
- Nei, M. 1972: Genetic distance between populations. American Naturalist, 106: 283–292.
- 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.
- Rochel K. 1877: A csálai kincstári erdőgondnokság tölgyeseinek száradásáról. Erdészeti Lapok, 16: 553–556.
- Sander, T. und Franke, A. 1999: Genetischer Vergleich geschädigter und nicht geschädigter Stiel- und Traubeneichenbestände (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) in Baden- Württemberg unter besonderer Berücksichtigung von Standort, Bestandesaufbau, bisheriger Bestandesbehandlung und anthropogenen Umweltbelastungen. Projektträgerschaft. Programm Lebensgrundlage. Freiburg
- Sneath, P. H. A. and Sokal, R. R. 1973: Numerical Taxonomy. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 230–234.
- Standóvári, T. and Somogyi, Z. 1998: Corresponding patterns of site quality, decline and tree growth in a sessile oak stand. European Journal of Forest Pathology, 28: 133–144.
- Steinkellner, H.; Fluch, S.; Turetschek, E.; Lexer, C.; Steiff, R.; Kremer, A.; Burg, K. and Glossl, J. 1997: Identification and characterization of (GA/CT)<sub>n</sub> microsatellite loci from *Quercus petraea*. Plant Molecular Biology, 33: 1093–1096.
- Vajna L. 1998: A fák nemspezifikus betegségek okozta elhalása erdei és gyümölcsös ökoszisztémában. Növényvédelem, 34 (5): 229–241.
- Varga F. 1980: A tölgypusztulás Magyarországon. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei, 2: 11–17.

Érkezett: 2012. április 13.

Közlésre elfogadva: 2014. október 6.



### Téli jégkár

Nem túl gyakori kárforma, mivel kialakulásához különleges időjárási körülmények szükségesek. Ugyanakkor „csapongó” téli időjárás esetén, például a Börzsönyben, rendszeresen előfordul. A jéglerakódás abban az esetben jön létre, ha erős, száraz hideget követően enyhe nedves légtömegek érkeznek, és a túlhűlt felületre hulló eső ráfagy a tárgyakra, így az ágakra is. Az erős terhelés miatt az ágak, koronák, extrém esetben a törzsek is eltörhetnek.

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

# ERDŐÁLLOMÁNYOK EGÉSZSÉGI ÁLLAPOTÁNAK ÉRTÉKELÉSE – EGY ÚJ MEGKÖZELÍTÉS

Berki Imre, Rasztovits Ervin és Móricz Norbert

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar*

## Kivonat

Az immár négy évtizede gyakran fellépő száraz időszakok hatására kocsánytalan tölgyeseink különböző intenzitással pusztulnak. Az általunk javasolt állományi egészségállapot-meghatározás számol a pusztulás miatti záródáshánnyal is. Ez az egészségi állapot mutató úgy képezhető, hogy a fapusztulás miatt lecsökkent záródást tovább csökkentjük a szárazságokat túlélő fák károsodottsági mértékének megfelelően. Olyan zonális fekvésű és mély termőrétegű kocsánytalan tölgy állományok szárazságfüggő egészségi állapotát határoztuk meg egy humid – száraz klimatikus gradiens mentén, amikben több évtizede nem volt erdőművelési beavatkozás. Egy 2011 augusztusában elvégzett felmérés alapján megállapítottuk, hogy a klímaváltozás hatására a humid klímán az állományok egészségi állapota 70–80% közötti, viszont félszáraz-száraz tájainkon mindössze 50% körüli.

*Kulcsszavak: Quercus petraea, szárazság, fapusztulás, állomány sűrűség, záródás, egészségi állapot*

## HEALTH CONDITION ASSESSMENT OF FOREST STANDS – A NEW APPROACH

### Abstract

The drought induced oak decline has been continuously observed for more than three decades in Hungary. We introduced a novel health assessment method based on the evaluation of the decline of stand density (compared to the density of the fully stocked stand) caused by drought-induced tree mortality. The health condition of the stand can only be assessed, if the decreased relative stand density due to the mortality is further reduced through concerning the health condition of the survived trees. Stands for the assessment were selected along a climatic gradient from the humid region in SW-Hungary to the continental-semiarid region in NE Hungary where no forest intervention was applied during the last decades. Results outline that the health status of the stands in SW Hungary is between 70–80% while near to its xeric limit around 50%.

*Keywords: Quercus petraea, drought, mortality, stand density, canopy closure, forest monitoring*





## BEVEZETÉS

Számos publikáció számolt be arról a mára már köztudott tényről, hogy az 1970-es évek óta súlyos aszályos időszakok léptek fel a Kárpát-medencében (Pieczka és mtsai 2011), de Európa déli- és keleti régióiban is.

E szárazodással párhuzamosan évtizedek óta fontos erdőalkotó fafajaink időnkénti tömeges pusztulása is zajlik. Közülük elsőként a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) súlyos károsodása jelentkezett. Pusztulásának okait számos szerző kutatta (pl. Jakucs és mtsai 1986; Igmándy és mtsai 1985; Berki 1991, 1995). E komplex jelenség magyarázatát végül is Vajna (1989, 1990) adta. Megállapította, hogy legfőbb okot a száraz időjárású évek jelentették. A fák vízhiányának hatására tömegesen léptek fel gyengültségi parazita gombák és lombfogyasztó rovarok. Kisebb mértékben a múlt erdőművelési hiányosságai, illetve lokálisan a légszennyezés is hozzájárultak a kocsánytalan tölgy állományok gyengültségi állapotának kialakulásához.

Az időjárás és a kocsánytalan tölgy megbetegedése közti összefüggés elemzéséről már az 1980-as és 90-es években is születtek közlemények (Führer 1989; Berki és Tar 1991; Berki 1995; Fodor 1995). Csóka és mtsai (2007, 2009) megállapítják, hogy a kocsánytalan tölgy egészségi állapotának romlása általában csak 2–3 egymást követő, erősen aszályos év hatására következik be. Csóka és Hirka (2011) szerint a száraz időszakok hatására legyengülő kocsánytalan tölgy különösen ki van téve a rovargradációk károsításának. A megbetegedés tápelemtartalmi összefüggéseivel többek között Führer (1990) és Berki (1993) foglalkozott. Igmándy és mtsai (1986) elemezték az egészségi állapot és a fatermés összefüggését.

A kocsánytalan tölgy egészségi állapotát hazánkban számos állományban követték és követik nyomon (Igmándy 1985; Tóth 1989; Csóka 1992; Csóka és mtsai 1999; Tóth és mtsai 2003). Később, az 1980-as évek végétől induló európai erdő egészségállapot megfigyelő rendszer (ICP) keretében hazánkban is számos fajra kiterjedő egészségállapot megfigyelés vette kezdetét.

Lényeges kérdés, hogy e fontos fajajunk hol tud fennmaradni a jövőben, és ott milyen fatömeg termelés és egészségi állapot várható (Czúcz és mtsai 2011). A klímaváltozással hazánkban a kocsánytalan tölgyön kívül más fajajok is közelebb kerültek szárazsági határukhoz (Mátyás és mtsai 2010).

## CÉLOK

- Zonális termőhelyű kocsánytalan tölgy állományok kiválasztása és egészségi állapotának felmérése, amelyek jól jelzik a makroklíma változásának hatását.
- A száraz időszakok hatására bekövetkező fapusztulások miatt lecsökkent záródás bevonása az állományok egészségügyi állapotának értékelésébe abból a célból, hogy ezzel, számszerűsített értéket adjunk (az erdőgazdálkodás számára is) a szárazságok miatt kieső fatömegekről.
- A "hagyományos" és a záródást is tartalmazó egészségi állapot meghatározási módszer eredményeinek összehasonlítása a fenti klimatikus gradiens mentén.

## A VIZSGÁLT ÁLLOMÁNYOK ÉS A TEREPI MÓDSZEREK

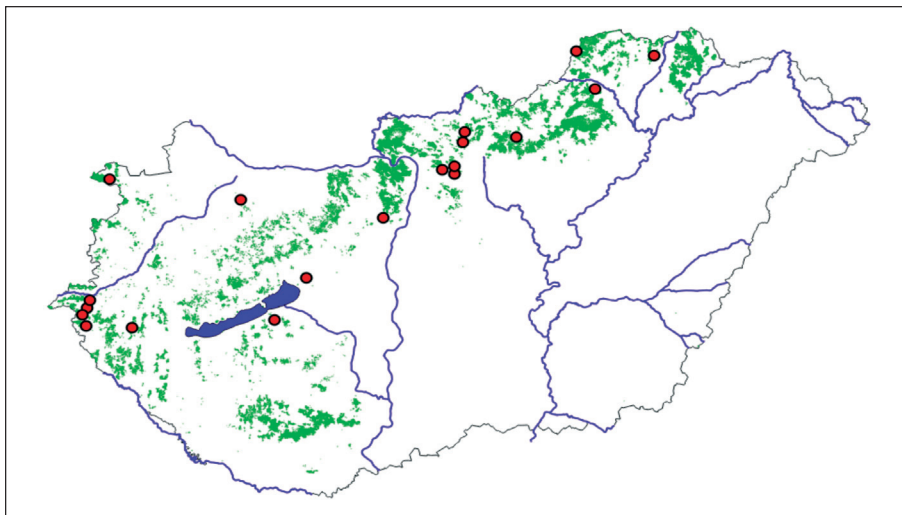
Magyarország humid, továbbá mezikus, valamint félszáraz-száraz tájain jelöltünk ki elegyetlen kocsánytalan tölgyeseket. Így az Őrségben, a Zalai-dombságban, Külső-Somogyban, a Mezőföldön az Etyeki-dombságban, a Gödöllői-dombságban, a Cserhátalján, a Bükkalján és a Cserhátban összesen 19 erdőrészlet zonális termőhelyű részén rögzítettünk 50 × 50 m-es kvadrátokat (1. ábra). Az állományok kora a helyszíni vizsgálatok évében (2011-ben) 60–100 év közötti volt.



A zonális termőhely egyrészt azt jelenti, hogy a kvadrátok többletvízhatástól független dombháton, löszös platókon, hegységperemi (maximum) néhány fokos lejtőkön vannak, tehát domborzati tagoltság nem befolyásolja a makroklima érvényesülését. Másrészt a talajok is zonálisak, azaz mély termőrétegű, döntően vályog fizikai féleségűek. A mindenhol pleisztocén hullóporos üledéken kialakult talajok típusa a fenti éghajlati gradiens mentén a (gyengén podzolos) agyagbemosódásos barna erdőtalaj, Ramann-féle barna erdőtalaj, csernozjom barna erdőtalaj irányban változik.

A szárazság okozta stresszt a Thornthwaite és Mather (1955) féle vízmérleg alkalmazásával számoltuk az 1961 és 2010 közötti időszakra, mellyel lehetőség volt a talaj nedvességekészletének havi bontású követésére. A talajból maximálisan kinyerhető vízkészletet a talaj fizikai féleségéből és a gyökérmélységből becsültük. Az erdők jelentős intercepciója miatt a havi csapadékot az intercepció veszteséggel korrigáltuk.

A szárazságstressz indexet Granier és mtsai (1999) módszerével számoltuk. Szárazság stresszt akkor feltételeztünk, amikor a talaj relatív kinyerhető nedvességekészlete a maximális érték 40%-a alá csökkent. E határérték alatt a sztómák záródása miatt a transzspiráció fokozatosan csökken. A havi talajnedvesség deficitet az aktuális és a határérték által meghatározott talajnedvesség különbségeként képeztük, majd a vegetációs időszakra összegeztük a maximális kinyerhető vízkészlet arányában.



1. ábra: A vizsgált kocsánytalan tölgy állományok elhelyezkedése  
 Figure 1: Location of the sessile oak stand in Hungary

Az 50 × 50 m-es kvadrátokba (a fák méretétől függően) 60–170 faegyed esett. Megmértük a törzsek átmérőjét, meghatároztuk a hektárokénti törzsszámot. Az élő fák egészségi állapotát a gallyak és ágak száradása miatt kialakuló koronaritkulás és a csúcscsúszáradás alapján állapítottuk meg. E tüneteket minden állományban ugyanaz a személy állapította meg faegyedenként 5%-os pontossággal, az állomány átlagát pedig százalék pontossággal adtuk meg. A közölt eredmények az első és egyetlen, 2011 augusztusában végzett helyszíni felmérésen alapulnak, a következő felvételezési időpont terveink szerint 2015-ben lesz.

Mivel fő célunk az volt, hogy az állományok egészségi állapotának meghatározásába bevonjuk a szárazságok okozta fapusztulás mértékét is, ezért olyan állományokat – pontosabban az állományokon belül olyan kvadrátokat – jelöltünk ki, ahol a fák pusztulását csak az öngyérülés és a szárazságok miatti vízhiány okozta. A múltban sem volt ezen kvadrátokban széldöntés, széltörés, vagy egyéb ok miatti törzshiány. Olyan állományokat választottunk tehát, ahol 2-3 évtizede nem volt erdőművelési beavatkozás (gyérítés), legfeljebb



száradékolás. A fatermési táblázatok (Sopp 1974) szerint ugyanis Magyarország kocsánytalan tölgyeseinek átlagos termőhelyi viszonyai között 25–30 év kell ahhoz, hogy egy középkorú állomány „kinőjön”, egy közepes erélyű gyérítést. Ennyi idő alatt válhatna tehát telítetté (100% közeli záródottságúvá) az állomány, ha nem lenne közben vízhiányos időszakok miatti pusztulás.

A gyérítésekkel évtizedek óta nem érintett állományokban a fák kiszáradása – jó közelítéssel – mindaddig a szárazság rovására írható, ameddig az állomány koronaszintje nem záródik, hiszen az öngyérülés ekkor kezd lendületet venni.

## A SZÁRAZ IDŐSZAKOK HATÁSÁRA ELSZÁRADT FÁK MENNYISÉGÉT FIGYELMBE VEVŐ EGÉSZSÉG ÁLLAPOT MEGHATÁROZÁS MÓDSZERE

Egy faállomány egészségi állapota időben változik. Az egészségromlás leggyakoribb elsődleges oka a vízhiány, ami vagy közvetlenül okoz károsodást, vagy biotikus kártételt indukál. Végeredményben mindkét féle károsodás eredményeképpen alapvetően kétféle súlyosságú tünet különböztethető meg:

1. A fák többségénél a gallyak, és ágak száradása következtében kiritkul a korona, és csúciszáradás is felléphet, de a fa nem szárad el, hanem hosszabb rövidebb időre túléli a szárazságot.
2. A szárazságok hatására számos faegyed elszárad, csökkenve ezzel az állomány záródását.

Optimális víz és tápanyag ellátottság esetén az állománysűrűség maximumát a fény korlátozott mennyisége szabja meg. Ilyen esetben ez jelenti az öngyérülés felső határát, tehát a hektáronkénti maximális egyedszámot. A fatermési táblázatokban ez a maximális hektáronkénti törzsszám szerepel.

A szárazságok hatására elpusztult fák miatt lecsökkent (relatív) állománysűrűség (záródás) százalékos értékét ( $D_{rel\%}$ ) úgy képezhetjük, hogy az illető állományban mért hektáronkénti törzsszámot, tehát az állománysűrűséget ( $D_{akt}$ ) osztjuk az illető állomány átlagos törzsméretjéhez tartozó (fatermési táblázatban található) telített állomány sűrűségével ( $D_{tel}$  db/ha) és szorozzuk 100-al.

$$D_{rel\%} = D_{akt}/D_{tel} \times 100.$$

Tehetjük ezt azért, mert Reinecke (1933) szerint egy faállomány öngyérülését az állomány átlagátmérője határozza meg. Az ő állománysűrűségi szabálya írja le a törzsméret és a hektáronkénti törzsszám összefüggését a (telített) maximális sűrűségű kezeletlen egykorú elegyetlen faállományok esetére.

A faállományok egészségi állapotának másik, eddig is széles körben alkalmazott (Tóth és mtsai 2003; Csóka és mtsai 2009; Eichhorn és mtsai 2010) indikátora a szárazságot túlélő fák koronájának egészségi állapota ( $E_{kor\%}$ ).

Az állomány egészségi állapotának ( $E_{áll\%}$ ) kétféle indikátorát úgy vonhatjuk össze, hogy a kiszáradt fák miatt lecsökkent relatív állománysűrűséget ( $D_{rel\%}$ ) tovább csökkentjük a szárazságot túlélő fák koronálatlóságának ( $E_{kor\%}$ ) megfelelően, az alábbiak szerint:

$$E_{áll\%} = (D_{rel\%} \times E_{kor\%})/100$$

E két lényeges indikátor értékének összevonásával, egyesítésével valósághűbben tudjuk értékelni a száraz időszakok hatását az erdőállományok egészségi állapotára.

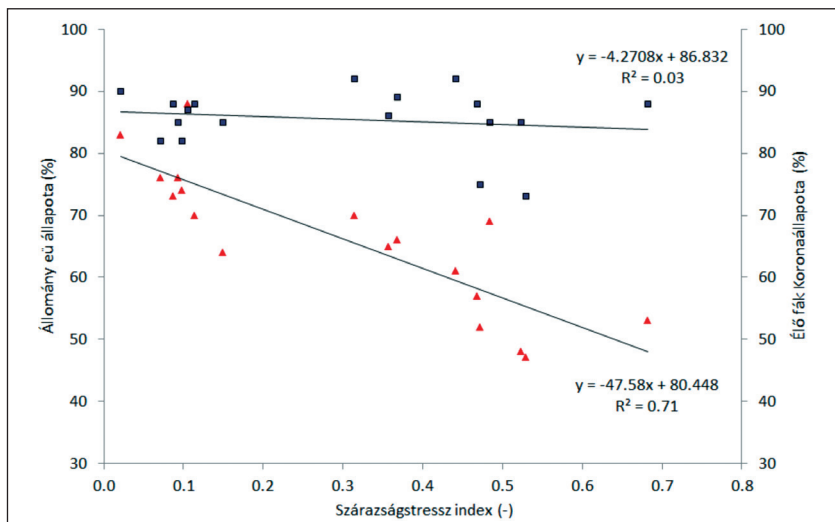
## A KÜLÖNBÖZŐ KLÍMÁJÚ KOCSÁNYTALAN TÖLGY ÁLLOMÁNYOK EGÉSZSÉGI ÁLLAPOTA

A 2. ábrán nagyon szembeűően látszik, hogy ha a vizsgált 19 kocsánytalan tölgy állomány egészségi állapotát pusztán a korona állapotával jellemezzük, akkor nem kapunk szignifikáns összefüggést az egészségi állapot és a szárazsági index között. Ha azonban az állomány relatív törzssűrűségét (záródását) és a koronaállapotot egy indexbe vonjuk össze (Eáll%, lásd a fentebb ismertetett módszert), akkor az így kapott állományi egészségi állapot és a szárazság stressz index között jó összefüggés adódik.

Az ábráról az is látható, hogy a nagyobb szárazságstressz indexű állományok esetén (az ábra jobb oldalán) a négyzetek távolabb vannak a háromszögektől, tehát fák koronaállapota, jelentősen jobb egészségügyi állapotot mutat, mint az ottani állományok „tényleges” egészségi állapota.

A humid régiók kocsánytalan tölgyeseinek (kombinált) egészségi állapota 70–80% közötti, félszáraz-száraz tájainkon pedig mindössze 50% körüli. Viszonyítási alapnak (tehát 100%-nak) a fatermési tábla (telített törzssűrűségű, tehát 100%-os záródottságú) állományait vettük. A fatermési táblák alapjául szolgáló törzsszám (maximális állomány sűrűség) felmérések az 1960-as években történtek, amikor még nem jelentkeztek a száraz időszakok, és nem volt (tömeges) tölgypusztulás. Korona állapotukat is elméletileg teljesen egészségesnek tekintettük.

Ha száraz esztendőket csapadékos évek követnek, akkor a nem súlyosan károsodott koronák (egészségi) állapota már évről évre jelentős javulást mutathat. Az állományi egészség állapot záródottsági (állománysűrűségi) összetevője oly módon mutatja a javulást, hogy alig lesz új száradás, és annak mértéke az illető állomány átlagátmérőjének (fokozott) növekedéséből következő öngyérülési érték alatt lesz. Így az állomány záródása megindul, de ez a folyamat jóval lassúbb, mint a túlélő fák koronájának javulása.



2. ábra: A klímatisz transzekt mentén vizsgált 19 db kocsánytalan tölgy állomány 2011-ben mutatott egészségi állapota a szárazság stressz index függvényében. A sötét négyzetek az egyes állományok élő fájnak korona állapotát (Ekor %) mutatják, a piros háromszögek pedig a relatív állománysűrűség figyelembevételével számolt állományi egészségügyi állapotot (Eáll%).

Figure 2: Health status of the investigated 19 sessile oak stands related to the drought stress index in 2011. Black squares indicate the crown condition of the living trees (Ekor %), red triangles indicate the health status of the stands taking into account the canopy closure (Eáll%).



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásunkat a TÁMOP 4.2.2.-A-11/1/KONV-2012-0013 számú projekt támogatta. Köszönetünket fejezzük ki továbbá Dr. Veperdi Gábornak tanácsaiért és az érintett erdőgazdaságoknak, akik az állományokra vonatkozó információkkal segítettek munkánkat.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Berki, I. 1991: Research into the cause of oak decay decline in Hungary. Proceedings of International Symposium on Ecological Approaches of Environmental Chemicals. Debrecen, 8–14.
- Berki I. 1995: Az északi-középhegységi kocsánytalan tölgypusztulás néhány okának vizsgálata. Kandidátusi értekezés KLTE, Debrecen
- Berki, I. 1993: Die Rolle von Eintrag, Klima und Boden beim Eichensterben in Ungarn. Proceeding „Stoffeintrage aus der Atmosphäre und Wald, Bodenbelastung in den Ländern von ARGE ALP und ALPEN-ADRIA“. Berchtesgaden, 248–254.
- Berki I. 1995: Éghajlatunk változása és a hazai tölgypusztulás. In: Tar K. et al (eds): Erdő és Klíma Konferencia. Noszvaj, 217–221.
- Berki, I. and Tar, K. 1991: Investigation of the Precipitation series in the North Hungarian Mountains with respect to the oak decay. Proceeding of the International Conference of Mountains Meteorology, Climatology and Aerology of the lower layers of Troposphere. Stara Lesna, 36–42.
- Csóka Gy. 1992: A hazai kocsánytalan tölgy-pusztulás menete 1983-tól napjainkig. Erdészeti Lapok, 127: 313–314.
- 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., Sopron, 229–239.
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. 2009: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink és bükköseink egészségi állapotára. Klíma-21 füzetek, 57: 64–73.
- Csóka, Gy.; Tóth, J. and Koltay, A. 1999: Trends of the sessile oak decline in North -Eastern Hungary. In: Forster, B. et al. (eds): Methodology of Forest Insects Disease Survey in Central Europe. Proceedings of the Second Workshop of the IUFRO WP. 7.03.10. Sion, 48–53.
- Csóka, Gy. and Hirka, A. 2011: Alien and invasive forest insects in Hungary (a review). Berichte Freiburger Forstliche Forschung, 89: 54–60.
- Czucz, B.; Gálhidy, L. and Mátyás, Cs. 2011: Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. Annals of Forest Science, 68(1): 99–108.
- Eichhorn, J.; Roskams, P.; Ferretti, M.; Mues, V.; Szepesi, A. and Durrant, D. 2010: Visual assesment of crown condition and Damaging Agents. Manual Part IV. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. UNECE ICP Forest Programme Co-ordinating Centre, Hamburg, 49 pp. (<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>)
- Fodor S. 1995: Tölgyhervadás és időjárás. In: Tar K. et al. (eds): Erdő és Klíma Konferencia. Noszvaj, 243–243.
- Führer E. 1989: Kocsánytalan tölgyes állományok megbetegedése és az időjárás közötti összefüggés elemzése. Az Erdő, 38(7): 296–296.
- Führer E. 1990: Beteg és egészséges kocsánytalan tölgy egyedek talajának és levelének összehasonlító elemzése. In: Környezetünk Savasodása. 1990.11.14. 1990.11.16.
- Granier, A.; Bréda, N.; Biron, P. and Villetto, S. 1999: A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. Ecol. Model., 116: 269–283.
- Igmándy Z. 1985: A kocsánytalan tölgy pusztulás Magyarországon. Magyar Tudomány, 30: 456–459.
- Igmándy Z.; Pagony H.; Szontagh P. és Varga F. 1985: A kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* MATT./Lieb) pusztulása hazánkban. Növényvédelem, 21(7): 311–311.
- Igmándy Z.; Traser Gy. és Vasas E. 1986: A kocsánytalan tölgypusztulás járványtól sújtott törzsek évgyűrűvizsgálata. Növényvédelem, 20(9): 406–406.

- Jakucs, P. 1988: Ecological approach to forest decay in Hungary. *Ambio*, 17(4): 267–274.
- Mátyás Cs.; Führer E.; Berki I.; Csóka Gy.; Drüszler Á.; Lakatos F.; Móricz N.; Rasztovíts E.; Somogyi Z.; Veperdi G.; Vig P. és Gálos B. 2010: Erdők a szárazsági határon. *Klíma-21 Füzetek*, 61: 84–97.
- Pieczka, I.; Pongrácz, R. and Bartoly, J. 2011: Comparison of simulated trends of regional climate change in the Carpathian basin for the 21st century using three different emission scenarios. *Acta Silv. Lign. Hung.*, 7: 9–22.
- Pretzsch, H. 2009: Forest dynamics, growth and yield. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Reinecke, L.H. 1933: Perfecting a stand-density index for even-aged forest. *Journal of Agricultural Research*, 46: 627–638.
- Sopp L. 1974: Fatömegszámítási táblázatok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. 1955: The water budget and its use in irrigation. In *Water, The Yearbook of Agriculture*. US Department of Agriculture: Washington DC, 346–358.
- Tóth J. 1989: Az Erdészeti Tudományos Intézetben folyó erdővédelmi kutatások eredményeinek összefoglalása. *Erdészeti Kutatások*, 81: 293–294.
- Tóth J.; Csóka Gy.; Hirka A.; Koltay A. és Leskó K. 2003: A magyarországi erdők egészségi állapota 2002, aktualitások. A Magyar Tudomány Napja 2002, Konferencia kötet, ERTI kiadvány, 17: 51–61.)
- Vajna L. 1989: A kocsánytalan tölgy pusztulásának kórok- és járványtani kérdései. *Erdő*, 38: 169–175.
- Vajna, L. 1990: Fungi associated with oak-decline. *EPPO Bulletin*, 20: 3.

*Érkezett: 2014. július 27.*

*Közlésre elfogadva: 2014. október 10.*





## Szalamandra

A foltos szalamandra (*Salamandra salamandra*) nálunk az Északi-középhegységben, a Soproni- és Kőszegi-hegységben, valamint az Órségben él. A hűvösebb, párásabb bükkösök, gyertyános tölgyesek faja. Elevenszülő, a kis szalamandrák május-júniusban lassú folyású, hideg, tisztavízű patakokban születnek. Nyár végén, ősz elején hagyják el a vizet. Szélsőségesen aszályos nyarakon a kiszáradó patakmedrek a fiatal állatok vesztőhelyévé válhatnak.

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



## AZ ACTA SILVATICA & LIGNARIA HUNGARICA 10. KÖTETÉBEN MEGJELENT TANULMÁNYOK CÍMEI ÉS KIVONATAI

Az Erdészettudományi Közlemények és az Acta Silvatica & Lignaria Hungaria (ASLH) kölcsönösen közlik a másik folyóirat legutóbbi kötetében megjelent tanulmányok címeit és kivonatait. Ehelyütt az ASLH 10. kötetének (2014) tartalmát mutatjuk be a megjelent írások címével és absztraktjával. A közlemények teljes terjedelmükben elérhetők és letölthetők a <http://aslh.nyme.hu> honlapról.

9–22. oldal: **A cserjeszint fejlődése Észak-Magyarországon egy tölgyes erdőben: az alsó lombkoronaszint** – Misik Tamás; Kárász Imre és Tóthmérész Béla

Egy magyarországi tölgyerdő cserjeszintjének a tölgypusztulás utáni strukturális változásait vizsgáltuk. Ez a dolgozat a következő kérdésekre fókuszál: (1) melyik fásszárú fajok reagáltak jobban a tölgyek pusztulását követően az erdő kondíciójára? (2) Milyen ökológiai tényezők magyarázhatják a fásszárú fajok sikeres válaszát a megváltozott fény- és hőviszonyokra? A monitoring területen a 8,0 m feletti egyedeknek a strukturális kondícióját vizsgáltuk. A tölgypusztulás kezdete után néhány *Acer campestre*, *Cornus mas* és *Acer tataricum* egyed jelent meg elérve a 8,0–13,0 m közötti magasságot. Szignifikáns eltérést találtunk a felső lombkorona denzitása és az alsó lombkorona borítása, illetve a felső lombkorona denzitása és a mezei juhar átlagos lombvetülete között. A kutatásunk megállapításai azt jelzik, hogy az erdő a cserjeszint jelentős strukturális átrendeződésével válaszolt a tölgypusztulásra, és három fásszárú faj pótolta a felső lombkorona jelentős lombvesztését. Ezek a fajok második lombkoronaszintet hoztak létre közvetlenül a tölgyek alatti lombkorona alatt.

23–30. oldal: **Három kiválasztott „fekete termésű” galagonyafaj genetikai vizsgálata: *Crataegus nigra* WALDST. et KIT., *C. pentagyna* WALDST. et KIT. és *C. chlorosarca* MAXIM.** – Kerényi-Nagy Viktor; Deák Tamás; Kósa Géza és Bartha Dénes

Jelen tanulmányban kárpát-medencei „fekete termésű” galagonyák, elsősorban a *Crataegus nigra* és közeli rokonainak genetikai kapcsolatait vizsgáltuk intergénikus cpDNS szekvenciák alapján. Jelentős infraspecifikus variabilitást a kelet-ázsiai *C. chlorosarca* fajnál tapasztaltunk, míg az eurázsiai *C. pentagyna* esetében korlátozott számú nukleotid polimorfizmust azonosítottunk. Az általunk vizsgált és az adatbázis eredetű referencia psbA-trnH szekvenciák alapján a Sect. *Crataegus* és Sect. *Sanguineae* osztályozások támogatást kapnak. A vizsgált taxonok, a *C. pentagyna* és a *C. monogyna* a Sect. *Crataegus*ba, míg a *C. nigra* és a *C. chlorosarca* a Sect. *Sanguineae* kládokra kerültek besorolásra. Vizsgálataink alapján a *C. nigra* a *C. × degenii* hibrid anyai szülője.

31–48. oldal: **A faalapú agglomerált anyagok folyadéksugaras vágásának optimalizálása** – Kvietková, Monika; Barcák, Štefan és Gašparík, Miroslav

E tanulmány az MDF, OSB és rétegelt lemezek abrazív szemcsés folyadéksugaras vágásának problémájával foglalkozik (GMA Garnet Australian, 80-as szemcseméret, 0,188 mm szitaméret), az anyagtulajdonságoktól és műszaki paraméterektől (anyagvastagság, vágási irány, szemcse-koncentráció és előtolási sebesség) függő vágásrés mérettel. A folyadéksugar longitudinális irányú belépése változásokat okoz az anyagban, mivel ez oldalirányban jobban szétteríti a vágásrés szélességét, MDF esetében átlag 0,20 mm-rel, OSB-nél átlag 0,30 mm-rel, rétegelt lemeznél pedig átlag 0,17 mm-rel. Az anyag kilépési oldalán a víz ezzel ellentétes hatást fejt ki. A vágásrés szélessége az anyagvastagsággal növekszik. A kísérletek megmutatták, hogy kimondottan a 400 mm/min előtolás az optimális, melynél a vágásrés szélessége a legkisebb a bemeneti és a kimeneti oldalon egyaránt. Szemcsekoncentráció tekintetében 450 g/min bizonyult optimálisnak.

49–64. oldal: **A vállalati környezeti teljesítmény fejlesztése** – Polgár András és Pájer József

A környezetirányítási rendszer (röviden: KIR) mögött rejlő valós környezeti teljesítmény (röviden: KT) érdekében a „Tervezési (Plan)” fázisban a környezeti tényezők és –hatások feltárása és elemzése, a releváns környezeti tényezők kiválasztása kiemelt fontosságú a rendszer kiépítése során. A tapasztalatok szerint az alkalmazott eljárások gyakran sajátosak, formálisak, a vállalat egyedi érdekei által meghatározottak. Munkánk során célként tűztük ki a változatos eljárások egységesen értelmezhető értékelését és egy olyan KIR fejlesztési modell megalkotását, amely alkalmazásával a fizikai KT javítható. A kvantitatív empirikus kutatást (2010–2011) az ISO 14001 nemzetközi szabvány szerinti KIR-t alkalmazó hazai és multinacionális vállalatok között (114 db) végeztük kérdőíves módszerrel. A létrehozott adatbázisban leíró és többváltozós statisztikai vizsgálatokkal meghatároztuk a releváns és a folyamatban szabályozható, az optimalizálásra ezért potenciálisan alkalmas változókat, a változó párok korrelációit és a témakör főbb teljesítmény dimenzióit jelentő változó csoportokat. Az azonosított teljesítmény dimenziókra alapozottan teljesítmény indexeket (4+1 db) hoztunk létre: környezetvédelmi motivációs (MOT), környezeti teljesítmény (KTM), környezeti hatáértékelési (KHÉ) és környezeti menedzsment (KMR), valamint az aggregált index (AGG). Értékeiken keresztül egységesen, relatív, számszerűsíthető módon megadható a vizsgált vállalati teljesítmény adott szintet jellemző értékelése a változatos vállalati folyamatokba történő beavatkozás nélkül. A KIR optimalizálási változók szélső értékei mentén az indexek érzékenységvizsgálatával a szignifikáns eltérést okozó változók jelentéstartalma alapján fejlesztési pontokat (36 db) és azok befolyását és területét azonosítottuk. E módszerrel létrehoztuk az önértékelésen alapuló KIR fejlesztési modellt.

67–76. oldal: **A talajnedvesség profil napi ingadozásán alapuló párolgásbecslő módszer** – Gribovszki Zoltán

A növényi vízfelvétel hatása sekély talajvízű területeken megjelenhet a talajnedvesség és a talajvízszint napi ciklusú ingadozásában is. Ez az ingadozás különösen erős lehet a nagy vízigénnyel jellemezhető, talajvízfüggő erdőtársulások esetében, ahol a vízfelvétel részben a kapilláris zónán keresztül történik. A talajnedvesség nagy frekvenciás mérésén alapuló új vízfelvétel becslésére alkalmas technika került kifejlesztésre, amely napon belül változó talajvízútánptólás figyelembevételével dolgozik. A módszer

nagy előnye, hogy talajspecifikus kalibrálás nélkül is megfelelő pontosságot szolgáltat. Az új eljárás az Alpok keleti lábainál fekvő Hidegvíz-völgy kísérleti vízgyűjtőjében található vízfolyásmenti égeres talajnedvesség profil adatain került tesztelésre. Az új módszerrel lényegesen nagyobb és az adott körülményeknek pontosabban megfelelő vízfelvétel számítható, mint a tradicionális talajnedvesség mérésen alapuló módszerekkel. Az új eljárás a talajvízből táplálkozó talajvízutánpótlódással számol, ami igen jelentős részét (akár 90%) is képezheti a száraz periódusokban az evapotranszpirációnak. Az előbbi okból kifejezetten javasolt az eljárás a párolgás becslésére, a sekély talajvíztükkörrel rendelkező talajvíz feláramlási zónákban, ahol a szokványos módszerek és az egyszerű egy-dimenziós hidrológiai modellek általában pontatlanul működnek.

77–90. oldal: **Különböző hidrológiai modellkoncepciók alkalmazhatósága magyarországi kisvíz-gyűjtőkön: esettanulmány a Bükkös-patak példáján** – *Torma Péter; Széles Borbála és Hajnal Géza*

A tanulmány célja, hogy két különböző hidrológiai modell koncepció alkalmazhatóságát teszteljük és vessük össze magyarországi kisvízgyűjtők esetén. A koncentrált paraméterű HEC-HMS modellt és a térben félig osztott TOPMODEL-t alkalmaztuk a Bükkös-patak vízgyűjtőjének kifolyási szelvényében kialakuló árhullámok számítására. A modelleket az eddig mért legnagyobb, 2010. májusi árhullámra kalibráltuk. A validációt egy rövid, kiterjesztett időszakra végeztük, amikor kisebb árhullámok alakultak ki. A térben félig osztott megközelítéssel elfogadható eredményeket kaptunk. A modellek összehasonlítását érzékenységvizsgálat segítségével végeztük. A paramétereken túl, a TOPMODEL esetében a digitális terepmodell felbontásának, míg a HMS esetében a modell összetettségének hatását vizsgáltuk. Az eredmények értékelése a közismert, illeszkedés jóságát leíró paraméterekkel történt.

91–101. oldal: **Avarintercepció modellezése egy kocsánytalan tölgyesben** – *Zagyvainé Kiss Katalin Anita; Kalicz Péter; Csáfordi Péter és Gribovszki Zoltán*

Az erdőben lezajló hidrológiai folyamatokat leíró modellek segítenek megbecsülni az erdészeti beavatkozások, és a klímaváltozás következményeit. Jelen munka egy hidrológiai modellel foglalkozik, ami egy középkorú kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) állomány avarintercepcióját becsüli. Az avar megelőző víztartalma és tározási kapacitása a modell fő paraméterei. Az avar megelőző víztartalmát a napi csapadék és hőmérséklet adatokból becsültük, melyek a Hidegvíz-völgyi kísérleti vízgyűjtőből származnak a három éves mérési periódus időtartamára (2006–2008). Az adatgyűjtést saját fejlesztésű eszközzel végeztük úgy, hogy a bolygatatlan avarminták tömegét zárt keretekben napi gyakorisággal mértük.

103–114. oldal: **Egy alföldi kocsányos tölgyes és egy szomszédos gyepterület talajvízfelvételeinek és sódinamikájának összehasonlítása** – *Gribovszki Zoltán; Kalicz Péter; Balog Kitti; Szabó András és Tóth Tibor*

Magyarország erdősültsége a 20. század folyamán 1,1 millió ha-ról 2,0 millió hektárra nőtt. Az Európai Unió támogatja az erdősítést, így évente megközelítőleg 15–18 000 hektár nagyrészt mezőgazdasági területet erdősítenek be az Alföldön. A felszínközeli talajvízszinttel rendelkező területeken, így a Nagyalföld jelentős részén is, az erdők talajvízfelvétele, főként a száraz periódusokban, igen nagymértékű lehet. Előbbiek mi-

att az erdők a talajvízszint süllyedését és egyes helyeken esetlegesen só-akkumulációt idézhetnek elő a talajvízben és a talajvízszint fölötti talajrétegekben az erősen negatív vízmérlegű területeken. Egy nagyalföldi mintavételi pontokat tartalmazó szisztematikus vizsgálat keretében kezdtük el keresni a fenti kérdésekre a választ. Jelen cikkben egy kocsányos tölgyes és egy szomszédos legelő talajvíz-felhasználását és só-felhalmozódásra gyakorolt hatását hasonlítjuk össze. A vizsgálatok szerint az erdő durván fél méterrel csökkenti a talajvízszintet és több, mint kétszeres a talajvízből történő vízfelvétele, mint a gyepevegetációnak. Az erdő nagyobb talajvíz-felhasználása viszont nincs arányban a sófelvételével, így mind a talajban, mind a talajvízben kismértékű só-akkumuláció tapasztalható. A klímaváltozás kapcsán a hosszabb száraz periódusokban előálló nagyobb párolgási kényszer (és nagyobb talajvízfelvétel) a mértéknél sokkal jelentősebb sófelhalmozódást okozhat.

## Útmutató a szerzők számára

Az Erdészettudományi Közlemények évente legalább egy alkalommal megjelenő tudományos lap. Lektorált **magyar nyelvű, elsősorban 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 szövegközi szakirodalmi hivatkozások,
- a hivatkozott szakirodalom szabályszerű felsorolása.

A kéziratok formai követelményeire vonatkozó részletes útmutató a [www.ertudkoz.hu](http://www.ertudkoz.hu) honlapról letölthető.

A kéziratokat kizárólag elektronikus formában, a [szerkesztoseg@ertudkoz.hu](mailto:szerkesztoseg@ertudkoz.hu) e-mail címre kérjük.

# TARTALOMJEGYZÉK

- 7 „Agrárklíma” – *Mátyás Csaba és Borovics Attila*
- 9 **Az alföldi éghajlat-vitától a globális felmelegedésig: három tudománytörténeti fejezet Magyarországról** – *Jankó Ferenc*
- 21 **Erdőállományok vízháztartása a kiskunsági homokhátságon** – *Bolla Bence, Kalicz Péter és Gribovszki Zoltán*
- 33 **Szárazodó homoki termőhelyen álló idős fák gyökérzetének vizsgálata** – *Csiha Imre és Keserű Zsolt*
- 43 **Zala megye csapadék- és hőmérsékleti viszonyai** – *Manninger Miklós és Pödör Zoltán*
- 55 **Zala megye egységes talajtípus adatbázisának összeállítása klasszifikációs eljárásokkal** – *Illés Gábor, Kovács Gábor, Laborczi Annamária és Pásztor László*
- 65 **Különböző felszínborítások hidrológiai hatásai a klímaváltozás tükrében Zala megye példáján** – *Csáki Péter, Kalicz Péter, Csóka Gergely, Brolly Gábor Béla, Czímber Kornél és Gribovszki Zoltán*
- 77 **A zalai faállományok magassági növekedésének és fatermésének kapcsolata a termőhelyi tényezőkkel** – *Illés Gábor, Kollár Tamás, Veperdi Gábor és Fűhrer Ernő*
- 91 **Növedécsökkenés előrevetítése egy bükk származási kísérlet alapján** – *Horváth Anikó és Mátyás Csaba*
- 101 **Fatermési fok meghatározása az egészállomány átlagnövedéke alapján** – *Veperdi Gábor*
- 109 **Egy cseres faállomány föld feletti és föld alatti szerves-anyagának meghatározása** – *Fűhrer Ernő, Csiha Imre, Szabados Ildikó, Pödör Zoltán és Jagodics Anikó*
- 121 **Telepített kocsánytalan tölgy és akác fiatalosok hatása a talaj szénkészletére néhány dunántúli erdőtelepítés példáján** – *Bidló András, Szűcs Péter, Horváth Adrienn, Király Éva, Németh Eszter és Somogyi Zoltán*
- 135 **Tölgypusztulás genetikai szerkezetre gyakorolt hatása** – *Cseke Klára, Jobb Szilvia, Koltay András és Borovics Attila*
- 149 **Erdőállományok egészségi állapotának értékelése – egy új megközelítés** – *Berki Imre, Rasztovits Ervin és Móricz Norbert*
- 157 **Az Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 10. kötetében megjelent tanulmányok címei és kivonatai**

*English table of contents can be found on page 5.*

[www.erttudkoz.hu](http://www.erttudkoz.hu)

HU ISSN 2062-6711



9 772062 671009