

„Időjárási fluktuációk hatása elegyes erdőállományok fafajainak növekedésére, szénallokációs folyamataira és vízgazdálkodására (*Short-term and long-term responses of growth, carbon allocation and water balance of canopy tree species*” to fluctuation and extremes of climate conditions in mixed deciduous forest stands)” c. OTKA K 101552 sz. pályázat szakmai beszámolója

Bevezetés, a pályázati program kapcsolódása nemzetközi együttműködésekhez

Pályázatunkban a Bükk-hegységben, cseres-tölgyes erdőállományban a 1980-as években kezdett erdőökológiai és ökofiziológiai kutatások folytatásaként hazai és nemzetközi együttműködések keretében arra kerestük a választ, hogy a termőhely klimatikus feltételeinek szezonon belüli és közötti változásai milyen hatással vannak a lombkoronaszint két domináns fafájának - kocsánytalan tölgy és csertölgy – növekedési- szénallokációs és vízgazdálkodási paramétereire. Továbbá célunk volt annak felderítése, hogy a fák válaszüreakciói felhasználhatók-e a két tölgyfaj egészségi állapotának jellemzésére és klíma- és aszály-érzékenységeinek a becslésére. A vizsgált erdőállomány, egyike a hazai hosszú-távú ökológiai kutatási területeknek (LTER) és tagja az európai LTER-Europe ökológiai hálózatnak.

A kutatási program nemzetközi együttműködések szempontjából is jelentős, mert a vizsgálati terület az erdőtüpus elterjedési területének peremén, az erdő és erdősztyep zóna határán helyezkedik el, ahol klímaváltozással összefüggésben fellépő időjárási fluktuációk és extrémítások fiziológiai hatásai erőteljesebben érvényesülnek. Feltételezhető, hogy ilyen klimatikusan sérülékeny termőhelyen a két fafaj szárazság toleranciájában és a fiziológiai határértékekben megnyilvánuló kis eltérés is jelentős hatással lehet a kompetícióra és az erdőállomány fajösszetételére.

A pályázatban megvalósult kutatásokkal és eredményekkel kapcsolódtunk három nemzetközi programhoz: FPS COST Action FP1106 STReESS (Studying Tree Responses to extreme Events: a SynthesiS) 2013-2016, FPS COST Action FP1206 EUMIXFOR (European mixed forests - Integrating Scientific Knowledge in Sustainable Forest Management.) 2012-2016, CA COST Action CA15226 CLIMO (Climate-Smart Forestry in Mountain Regions) 2016-2020.

A pályázati időszakban és az azt megelőzően az erdőállományban végzett kutatások eredményeivel kapcsolódtunk az LTER-Europe hálózat adatbázisához (DEIMS) és a COST STReESS DENDROGLOBAL és TREERING adatbázisaihoz. Az utóbbiak jól használhatónak bizonyultak az európai erdők fafajainak növekedésében és egészségi állapotában a klímaváltozással összefüggésben bekövetkező rövid- és hosszú-távú változások jellemzéséhez.

A pályázati időszakban elvégzett munkánk eredményeivel folyamatosan kiegészül a saját adatbázisunk, és ez a zárójelentés benyújtását követő időszakban is újabb elemzéseket és publikációk készítését teszi lehetővé, akár a munkában résztvevők közreműködők részvételével, akár szélesebb körben, további hazai és nemzetközi együttműködésekben.

Eredmények

A 2012-2016 közötti időszakban végzett munka kiterjedt a fák radiális törzsnövekedésének, szerves anyag allokációjának, nedváramlásának és a levelek gázcserével összefüggő vízhasznosítási efficencia vizsgálatára. A pályázatban tervezett terepi, *in situ* folyamatos monitorozó és kampány-szerű vizsgálatokat elvégeztük, amiket további, időközben szükségessé vált és fontosnak ítélt mérésekkel kiegészítettünk. A vizsgálati periódusra tervezett adatfeldolgozási, adatelemzési munkák szintén megtörténtek, és az eredmények összefoglalásra kerültek konferencia előadásokban, posztterekben, megjelent és megjelenésre előkészített kéziratokban. Fontos eredménynek tartjuk, hogy a pályázati programhoz kapcsolódóan már készült egy PhD értekezés (Demeter Zita), és a közel jövőben újabb benyújtása várható.

Az ökofiziológiai vizsgálatokhoz létrehoztuk a meteorológiai háttéradatbázist a vizsgálati területen korábban kiépített és a pályázati időszakban továbbfejlesztett monitoring rendszer adatai alapján. A következő klímparaméterek folyamatos regisztrálását végeztük: léghőmérséklet, relatív páratartalom, csapadék mennyiség, fotoszintetikusan aktív radiáció, légnyomás. 2012.03.21-én a meteorológiai torony tetejére (25m) egy klímaállomást szereltünk fel, és a lombkorona felett eddig mért paraméterek mérését kiegészítettük a globál sugárzás, a szélirány és –sebesség, és a felületi nedvesség 10 percenkénti regisztrálásával. A vizsgálati területen kijelölt alaphektárnyi területen a talajnedvesség folyamatos regisztrálását öt mélységben (60 cm-ig) négy mérőhelyen végeztük. A meteorológiai paraméterek és a talajnedvesség mérések 5-15 perces időfelbontással kerültek regisztrálásra.

A talajnedvesség ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) alapján számoltuk a relatív felvehető nedvességtartalom napi középértékét (REW), amely fiziológiai szempontból sokkal megelőlegebben tükrözi a vízellátottságot, a $\text{REW} < 0,4$ értékek vízdeficitet jeleznek. $\text{REW} < 0,4$ talajnedvességre a fák radiális növekedésének a leállása, a gázcsera folyamatok zavara várható. A napi REW középértékeket használtuk fel az aszály intenzitás (I) index számolásához, az index egy adott időpontig kumulált $\text{REW} < 0,4$ értékek alapján adható meg (Granier et al. 1999).

A vizsgálati évek klimatikus viszonyait a léghőmérséklet, a csapadékadatok és a De Martonne ariditási index alapján is jellemeztük. A csapadékeloszlás évek közötti eltéréseihez az évet fiziológiai szempontból eltérő periódusokra bontottuk és megadtuk a csapadék mennyiségét külön a fák fő növekedési időszakára (V-VII hó), a nyári aszályt érintő periódusra (VII-VIII hó), és a tárolási időszakra (XI-IV hó). A vizsgálati években az időjárási feltételek főbb jellemzőit és a 30 éves referencia periódus (1961-1990) átlagait a következő táblázatban foglaltuk össze:

		2012	2013	2014	2015	2016	30 éves átlag ref. periódus (1961-1990)
Csapadék	<i>Évi összes (mm)</i>	374	507	607	479	505	586
	<i>Növekedési időszak (V-VII, mm)</i>	171	192	246	118	191	204
	<i>Nyári aszály érzékeny időszak (VII-VIII, mm)</i>	69	25	223	137	126	133
	<i>Tárolási időszak (XI-IV, mm)</i>	192	253	148	134	216	238
	<i>Növekedési és tárolási összes (XI-VII, mm)</i>	363	445	394	252	407	442
Évi átlag hőmérséklet (°C)		11,7	11,2	12,3	11	11,3	10,4
Nyári napok száma (napi $T_{\text{max}} > 25$ °C)		92	62	58	77	76	
Hőségnapok száma (napi $T_{\text{max}} > 30$ °C)		33	19	9	41	12	
De Martonne-féle ariditás index		17,2	23,9	27,2	22,8	23,8	

A síkfőkúti területen az évi csapadékösszeg alapján 2012 volt az elmúlt 10 évben a második (374 mm), 2015 pedig a harmadik legszárazabb év (479 mm). Az egész évre számolt De Martonne ariditási index alacsony értékei alapján mindkét év száraz-félszáraz kategóriába sorolható. Ráadásul 2011 is száraz év

volt, ami fiziológiai szempontból fokozta a 2012 évi szárazság hatásai. Összevetve a 30 éves referencia periódus (1961-1990) átlagos évi csapadékmennyiségével (586 mm) ebben a két évben 36 % ill. 19 %-kal kevesebb csapadék hullott. A vizsgálati évek közül az éves csapadék mennyisége 2014-ben volt a legmagasabb (607 mm). 2014 volt az elmúlt 10 évben a második legcsapadékosabb év, bár a csapadék mennyisége a síkfőküti területen messze elmaradt a 2010 évitől (891 mm). A fák törzsnövekedésének a fő időszakában (V-VII hó) a legkevesebb csapadékot (118 mm) 2015-ben mértük, ez a referencia periódushoz viszonyítva 43 %-kal maradt el. 2014-ben az évi csapadék 40 %-a a növekedési periódusban hullott le. 2012 növekedési időszaka szintén száraz volt (171 mm), közel 20 %-kal maradt el a 30 éves átlagtól. Az aszály érzékeny periódusban (VII-VIII hó) a legkevesebb csapadékot 2013-ban (25 mm) mértük, ezt követte 2012. A kutatási időszakban 2014-ben a legnagyobb csapadék mennyiség mellett a legmagasabb évi középhőmérsékletet mértük (12,3 °C). 2012-ben a legkisebb csapadék mennyiség a 2014 évit megközelítő meleggel társult (11,7 °C). 2013 és 2016-ban a 30 éves átlagot megközelítő évi csapadékot mértünk. Ugyanakkor 2013-ban szélsőséges volt a csapadék eloszlása, az év első felében csapadéktöbbletet, a második felében pedig csapadékhiányt regisztráltunk. 2013-ban az átlagtól magasabb hőmérsékletet mértünk. 2016-ban a csapadék eloszlása kiegyenlítettebb volt.

A két fafaj hosszú-távú és klímával összefüggő növekedés-válaszait növedékcsp-vizsgálatok alapján elemeztük. A minták többségében 1910-től mérésre használható évgűrűket tudtunk mérni. A mérések a teljes évgűrűszélesség mellett, kiterjedtek a korai és a késői pászta szélességének a mérésére is. Az alapadatokat ARSTAN programmal dolgoztuk fel, ún. évgűrű-indexeket számoltunk, hogy a fáknál a korral összefüggő hatásokat leválasszuk a klímának tulajdonítható változásoktól. A növekedés és a klímáparaméterek - havi átlaghőmérséklet, a havi csapadékmennyiség és havi PDSI aszályindex - közötti összefüggéseket a DENDROCLIM2 programmal vizsgáltuk, és Pearson korreláció és Response Function koeficienseket alkalmaztunk. Az évgűrű-idősorok alapján megállapítottuk, hogy a termőhelyen a két tölgyfaj hosszú-távú növekedésmenete szoros korrelációt mutat, de a *Q. cerris* évgűrűszélessége és késői pásztájának a szélessége nagyobb. Mindkét faj dendrokronológiája szorosan követi az PDSI időbeli változásait és a csapadékhiányos évek főleg a késői pászta szélességét befolyásolják. Mindkét faj radiális törzsnövekedésének a mértéke elsősorban a tavaszi-kora nyári időszak (március-június) és a megelőző év nyári-őszi időszakának (augusztus-október) a csapadékmennyiségétől függ, a hőmérsékletnek pedig csak másodlagos a hatása. Az elemzések arra is rámutattak, hogy az aszályos években jelentkező növekedés visszaesések után a csapadékos vagy átlagos csapadékhozamú években a *Q. petraea* növekedésének a helyreállása hosszabb időt vesz igénybe, mint a *Q. cerris* esetében. Az eredményeket három nemzetközi (Nyitrai et al. 2012a, 2012b, 2013) és három hazai (Nyitrai et al. 2012, 2014, Mészáros et al. 2015) konferencián mutattuk be és 1 nemzetközi folyóiratban megjelent (Cailleret et al. 2016b) és 1 benyújtott és jelenleg átdolgozás alatt lévő közleményben (Nyitrai et al. átdolgozás alatt) foglaltuk össze.

Az élő fákon végzett évgűrűelemzések adatainak feldolgozása során felvetődött az a kérdés, hogy kimutathatók-e az évgűrűszélességek alapján a fák elhalását megelőzően a törzsnövekedésben változások, és azok visszavezethetőek-e klimatikus vagy biotikus okokra. Ezért a növedékcsp mintavételeket mindkét fajnál kiterjesztettük elhalt fákra is. A két tölgyfaj élő és elhalt fáinak hosszú-távú radiális törzsnövekedése és a klimatikus változók közötti összefüggésekre irányuló vizsgálatainkkal csatlakoztunk egy nemzetközi csoport munkájához, ami során kidolgoztunk egy olyan módszert, amely az évi radiális törzsnövekmény - mint indikátor - alapján alkalmas lehet a fák mortalitásának az előrejelzésére (Cailleret et al. 2016a). Szintén nemzetközi együttműködésben, a két tölgyfajra vonatkozó eredményekkel részt vettünk az európai erdők fő állományalkotó fajainál a növekedés mintázatok összehasonlító elemzésében és a különböző stressz faktorok által kiváltott mortalitást megelőző növekedésváltozások feltárásában (Cailleret et al. 2016b).

A síkókúti erdőállományban kijelölt 1 ha területen található összes fán (*Q. petraea* 197 db fa, *Q. cerris* 102 db fa) végzett mérések során kimutattuk, hogy az 1,3 m-en mért törzsátmérő (DBH cm) a *Q. cerris* esetében 17 %-kal, a körlapméret (BA cm²) pedig 34 %-kal nagyobb, mint a *Q. petraea* esetében. Az erdőállomány 1 ha-nyi területén a tölgyek összes BA értéke 24,8 m² ha⁻¹, aminek 40 %-a a csertölgyé és 60 %-a pedig a kocsánytalan tölgyé (Oláh et al. benyújtásra előkészített). A két faj fájának BA értéke az 1960-as évek végéig nem különbözött szignifikánsan és hasonló ütemben változott (Mészáros et al. 2015). Ezt követően a *Q. cerris* esetében erőteljesebb radiális növekedést állapítottuk meg, ezt tükrözi a két faj között jelenleg tapasztalt BA eltérés. Az ugyanezen a fákból vett növedécsapok feldolgozása során kimutattuk, hogy a BA évi növekményét számszerűen kifejező index, a BAI szintén a csertölgynél nagyobb, a 2005-2014 közötti 10 év átlaga (12,8 cm²/fa) 30 %-kal meghaladja a kocsánytalan tölgyét. A pályázati időszakban a mintafákon végzett folyamatos *in situ* dendrométeres méréseink eredményei ettől jelentősebb eltérést jeleztek a két faj között (Adorján et al. benyújtásra előkészített), a csertölgy BAI értéke 70 %-kal nagyobb volt, mint a kocsánytalan tölgyé. A két különböző módszerrel mért BAI értékek egyértelműen megerősítik, hogy ezen a termőhelyen a két faj közül a csertölgy az asszimilátumok nagyobb hányadát allokálja a földfeletti dendromassza növekedésére.

A vizsgálati években a két faj mintáinak (kocsánytalan tölgy: 13 db fa; csertölgy: 8 db fa) radiális növekedését finom-időfelbontású (5 perc) point-dendrométer szenzorok segítségével követtük nyomon. Ez az időfelbontás az adatok kétféle megközelítésben történő feldolgozását tette lehetővé. Egyrészt a törzsrádiusz napi maximális értékét használtuk fel a törzsnövekedés szezonális menetének a jellemzésére és a napi radiális törzsnövekedési ráták számolásához („daily approach”). Másrészt a törzsrádiusz teljes napi kontrakciós-expanziós ciklusát elemeztük („daily cycle approach”) és számoltuk a maximális napi kontrakció értékét (MDS μm), amit egy érzékeny, nem-destruktív módon mérhető vízhiány-stressz indikátornak tekintünk (Mészáros et al. 2013, 2014).

A növekedés szezonális menetét a napi maximális törzsrádiusz értékekhez illesztett három- és négyparaméteres Gompertz függvényekkel írtuk le (Adorján et al. 2016). A törzs növekedésének időbeli lefutása és a maximuma a vizsgálati években jelentősen eltért, de ahogyan azt az évgűrűanalízisek alapján vártuk, a növekedési válaszok évek közötti variabilitása a két fajnál közel hasonló volt. Mindkét fajra jellemző, hogy a törzs növekedése megkezdődik a rügyfakadás előtt. A vizsgálati években a két fajnál a csaknem egy időben indult el DOY 70 és DOY 104 között, átlagban 2 nap eltéréssel a *Q. cerris*-nél. A 2016 évet kivéve a kumulált radiális növekedés maximuma mindig a *cerris* esetében volt nagyobb. Mindkét fajnál a legszárazabb évben 2012-ben volt megfigyelhető a legkisebb növekedés, és leghamarabb állt le (*Q. petraea* DOY146; *Q. cerris* DOY157), 57 nap és 67 nap alatt lezajlott. Az öt év alatt a *Q. cerris* esetében a radiális növekedés maximuma és a BAI szoros korrelációban változott a növekedési időszak csapadékösszegével és a hő-összegével, a *Q. petraea* esetében azonban csak a hő-összeggel mutattunk szoros összefüggést. A 2013 évi tavaszi és nyár eleji csapadéktöbbletre mindkét faj a radiális növekedés maximumának emelkedésével és a növekedés időtartamának az emelkedésével reagált (*Q. petraea* 88 nap és *Q. cerris* 105 nap) érte el. A *Q. cerris* növekedése 2013-ban volt a legnagyobb, a *Q. petraea* növekedése a várttól elmaradt. Ebben valószínűleg közrejátszott az, hogy ennél fajnál 2012-ben erős nyári defóliáció játszódott le (Oláh et al. 2014), aminek késleltetett hatása a fák szerves anyagok raktárainak a kisebb mértékű feltöltődése miatt megmutatkozik a növekedésben. Amíg a *Q. cerris* esetében a radiális növekedés szempontjából 2016 csak a második legjobb év volt, a *Q. petraea* mintafák átlagos törzsnövekedése ebben az évben volt a legnagyobb.

A növekedési szezonban lejátszódó radiális növekedés intenzitásának a jellemzésére napi relatív növekedési rátákat (GR_d) számoltunk. A projekt időszak különböző éveiben a növekedés szezonális menetének az összevetéséhez a GR_d ráták 30 napos középértékeit (GR_{30d}) használtuk fel. 2012 kivételével a legnagyobb napi növekedés júniusban volt, a *Q. petraea* esetében 17-30 μm nap⁻¹, a *Q. cerris* esetében pedig 24-45 μm nap⁻¹. 2012-ben júniusban a GR_{30d} mindkét fajnál a többi évben mérthez

képest 80-90 %-kal kisebb volt. 2012-ben a GR_{30d} maximuma a *Q. petraea*-nál áprilisban (5 $\mu\text{m nap}^{-1}$), a *Q. cerris*-nél pedig májusban (10 $\mu\text{m nap}^{-1}$) jelentkezett. (Mészáros et al. 2013, Mészáros et al. benyújtásra előkészített). A napi növekedési ráta és a környezeti paraméterek interakciójának az elemzése során mindkét fajnál az edafikus tényezők kiemelkedő szerepét figyeltük meg, szoros pozitív összefüggést mutattunk ki a REW-vel. A napi növekedési ráta változásaira az aszályintenzitás szintén fontos befolyásoló tényező volt, és az aszály erősödésére mindkét fajnál szignifikáns csökkenéssel reagált. Ennek volt köszönhető a 2012 és 2015 évi alacsony BAI mindkét fajnál. Az atmoszférikus tényezők (ET, VPD, T) szignifikáns negatív hatása a fafajok napi növekedési rátájára főleg száraz és meleg időszakokban jelentkezett.

A dendrométeres mérések eredményeit két olyan indikátor-paraméter számolásához is felhasználtuk a vizsgálati évek növekedési szezonjaiban (április 1 – október 31), amelyek a korábbi tapasztalataink szerint jól jelzik a fák vízforgalmi egyensúlyában bekövetkező változásokat. Az egyik indikátor a törzsek napi maximális radiális zsugorodásának a mértéke (Maximum Daily Shrinkage, MDS), ami a törzsátmérő éjszakai feltöltődéskor mért legnagyobb és a napközbeni, a transzspirációs vízvesztés miatt mért legkisebb értékeinek különbsége. A másik indikátor a szakirodalomban ún. fa(törzs) vízdeficitként (ΔW μm) ismertté vált paraméter, amelyet a dendrométer szignálok szezonális görbéi és az ún. detrended analízissel történő simításukat követően kapott (Zweifel et al 2001, Oberhuber et al. 2015) görbe közötti különbséggel adható meg.

Kimutattuk, hogy az MDS mindkét fajnál a talaj vízdeficit érzékeny indikátora, elsőként állapítottuk meg, hogy a talaj relatív víztartalomban bekövetkező változások fiziológiai hatásainak az értelmezéséhez csak a REW 0,7-0,2 intervallumban mért értékeit szabad figyelembe venni, ebben a tartományban mindkét tölgyfajnál szoros negatív korrelációban változott a REW értékével (Mészáros et al. 2013, 2014, Oláh et al. 2016). REW 0,7-1 és REW 0,2-0 tartományban a talajnedvesség hatása az MDS-re gyengül. A REW 0,7-0,2 közötti talajnedvesség intervallumban az MDS-nek a REW csökkenésével párhuzamosan lejátszódó lineáris növekedése jól érzékelteti, hogy az éjszakai időszakban felvett vízmennyiségnek (radiális expanzió) a nappali időszakban végbemenő transzspiráció során egyre nagyobb hányada származik az elasztikus szövetekből, a háncsból és a szijács parenchimatikus elemeiből (radiális kontrakció). Ezek az eredmények megerősítik, hogy a fák xilémjében és floémjében lejátszódó vízmozgás szorosan összehangoltan megy végbe. Megállapítottuk, hogy az MDS a két faj esetében szignifikánsan eltér a REW 0,7-0,2 tartományban, és a *Q. petraea* esetében 10-15 μm -rel magasabb. A talajbeli vízdeficit szélső értékeinél, szélsőségesen száraz vagy csapadékos időszakokban a két faj MDS értéke hasonló. Az eredmények alapján levonható az a következtetés, hogy különböző fajok vízforgalmi reakcióinak az MDS alapján való összehasonlításához elsősorban a közepesen nedves időszakokat érdemes kiválasztani. Megállapítottuk, hogy az MDS változásában fontos szerepe van a hőmérséklet napi közép és maximális értékének, a relatív páratartalomnak és a VPD-nek, nincs vagy gyenge a szerepe a napi csapadékösszegnek. (Mészáros et al. közlésre előkészített) Az összefüggés-elemzések eredményei azt mutatják, hogy a legtöbb vizsgált talaj és atmoszférikus tényezőnek nagyobb hatása volt az MDS-re *Q. petraea* esetében, mint a *Q. cerris*-nél (Mészáros et al. 2013, Oláh et al. 2016).

Az öt vizsgálati év eredményei alapján levontuk azt a következtetést, hogy azon nyári időszakokban, amikor a REW a talaj felső 30 cm-ében tartósan a fiziológiai szempontból kritikus 0,4 érték alá csökkent a ΔW mindkét faj fájánál a 300-350 μm értékre emelkedett, ami nagymértékű vízdeficitet jelzett: 2012-ben július-szeptember, 2013 augusztus-szeptember, 2015 június-szeptember, 2016 július-szeptember. Mivel erre az időszakra a radiális törzsnövekedés már lelassult, vagy már be is fejeződött, a fák vízdeficitének a kialakulása főleg a következő évi törzsnövekedésben és a lombfejlődésben szerepet játszó szerves vegyületek raktárainak a feltöltődésében okozhatott zavart. A nagy nyári vízdeficitnek szénallokációt befolyásoló hatásával magyarázható a radiális törzsnövekedés és az előző év késő nyári, őszi csapadék mennyisége között szoros pozitív korreláció, amit az évgűrű-analízisek során mutattunk

ki (Nyitrai et al. 2013). A korábbi évek méréseit is figyelembe véve azt a következtetést vontuk le, hogy mindkét tölgyfajnál a ΔW a nyári vízhiány stressz kialakulásának rendkívül jó indikátora, és jól tükrözi, hogy a fák a vízfelvétel, a vízszállítás és a transzspiráció egyensúlyának a fenntartásához, a felvehető vízkészlet csökkenése során a belső, az elasztikus szövetekhez kapcsolódó raktáraikból egyre több vizet kényszerülnek felhasználni (Mészáros et al. 2014, Mészáros et al. közlésre előkészített kézirat). A tartósan magas ΔW jelzi, hogy a talaj alacsony felvehető vízkészlete akadályozza a vízraktárak feltöltődését, és ilyen körülmények között a szíjácsban a tág vízszállító elemekben kavitáció játszódhat le.

A fák vízforgalma szempontjából fontosnak tartottuk megismerni, hogy a fák törzsében kívülről befelé haladva a xilém víztartalma hogyan változik. A két fajnál a víztartalom térbeli mintázata különbözik. *Q. cerris* törzsében a szélesebb szíjácsfelületen magasabb – átlagosan 55-65 % (sza) – víztartalmat mértünk, mint a *Q. petraea* keskenyebb szíjácsában. A *Q. cerris*-nél a víztartalomban a szíjács és a geszt határán átmeneti csökkenést és a gesztben ismét emelkedést (70-80% (sza)) figyelhetünk meg. Ugyanakkor a *Q. petraea* fák xilémjében a víztartalom a gesztben további 10-20 %-os csökkenést mutatott. Az eredmények arra utalnak, hogy a *Q. cerris* esetében a gesztnek - a vízforgalom szempontjából inaktívnek tekintett xilém szövet -, a magas víztartalom miatt aszályos időszakban fontos szerepe lehet abban, hogy a szíjácsban a kavitáció elkerülhető legyen. Ez összecseng a *Q. cerris* törzsében korábban tomográf analízissel megállapított víztartalom eloszlással (Tognetti et al. 1996).

A fák vízforgalmát, az állomány vízegyensúlyát, és az aktuális evapotranszpirációját nagymértékben befolyásolja az, hogy az egyes fák törzsében mekkora a vízszállításban szerepet játszó felület nagysága. A munkánk során 78 db *Q. petraea* és 18 db *Q. cerris* fa esetében méréseket végeztünk a DBH és a szíjács terület ($SA\text{ cm}^2$) közötti összefüggés megállapításához, az allometrikus egyenletekre szükségünk volt a két faj és az állomány transzspirációjának a számolásához.

A két fajnál a DBH növekedésével az SA változása nem lineáris regressziós modellel írható le (Exponential Growth; Single, 2 Parameter $f=a*\exp(b*x)$): *Q. cerris* $y = 47,563e^{0,0596x}$ $R^2 = 0,8739$; *Q. petraea* $y = 20,836e^{0,0675x}$ $R^2 = 0,5791$). A csertölgy fái átlagosan 2,5-szer nagyobb szíjács felületet tartanak fenn ($SA\ 421\text{ cm}^2$), mint a kocsánytalan tölgy fái (170 cm^2). A csertölgy esetében ez a BA 50 %-át teszi ki, a kocsánytalan tölgy esetében azonban nem éri el a 30 %-ot. Az évgyűrűk száma a szíjácsban a *Q. cerris* esetében kétszer nagyobb (34), mint a *Q. petraea* esetében (17). A DBH és SA kapcsolatát leíró nem lineáris regressziós modell alapján a teljes faállományban 1,3 m-en a szíjács felület $7,82\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$, aminek nagyobb részét a *Q. cerris adja* ($4,29\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$), és a *Q. petraea* részesedése pedig ($3,53\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$). Ez arra utal, hogy állomány szinten a *Q. cerris* ugyan kisebb BA $\text{m}^2\text{ ha}^{-1}$ értékkel rendelkezik, de annak 42 %-a szíjács vezetőfelület, átlagosan 34 évgyűrűvel, ami nagyobb transzspirációs rátához vezethet. A kocsánytalan tölgy esetében 1 ha-on az SA a BA-nak csak 24 %-át teszi ki.

A fajok változó vízellátottsági feltételekhez való alkalmazkodása függ az ún. hidraulikus tulajdonságoktól, és a tulajdonságok plaszticitásától. A munkánk során a két faj hidraulikus tulajdonságait a Huber által bevezetett index (I_H) alapján jellemeztük. Az index az egységnyi levélfelületre (A_l) vonatkoztatott szíjácssterület (A_s) nagyságát fejezi ki ($I_H=A_s/A_l$), de gyakran használják a reciprokát is (A_l/A_s). Az index meghatározása az idős fák esetében a lombkoronaszintben történő mintavételekkel történik, értéke egyrészt utal arra, hogy a víztranszport és a levélfelületen történő transzspiráció egyensúlya/aránya milyen, másrészt tükrözi a levél specifikus konduktanciát. A síkfőkúti erdőállományban a 2015 évi nyár végi mérések során megállapítottuk, hogy a Huber index értéke mindkét faj fájának a lombkoronájában az alsó és felső szintek között eltér, a magassággal átlagban 50 %-os növekedését tapasztaltuk. A két faj között mindkét szintben ettől jóval kisebb különbséget mértünk, az I_H értéke a *Q. petraea* esetében 13 % ill. 22 % -kal magasabb volt. A *Q. petraea* esetében a magasabb

Huber index érték, és a vele korrelációban változó magasabb levél specifikus konduktancia valószínűleg a nagyobb kavitációval szembeni érzékenységet kompenzáló tulajdonság.

A 2012- 2016 évek növekedési szezonjában 4-12 db *Q. petraea* és 4-8 db *Q. cerris* fán végeztünk nedváramlás méréseket, a Granier-féle Heat Dissipation (HD) módszerrel, a törzsek É-i, ÉK-i oldalán kb. 0,7m magasságban elhelyezett szenzorokkal. A nedváramlás denzitást (SFD ml H₂O cm⁻² sec⁻¹) a Granier (1999) által javasolt egyenlet alapján számoltuk. Ezeket az értékeket használtuk az egyes mintafák szíjácsfelületére (SA) vonatkoztatott nedváramlásának (SF l h⁻¹) a számolásához. Az erdőállomány két tölgyfajának és a teljes faállománynak a napi transzspirációját (T mm nap⁻¹) az SFD és az SA alapján adtuk meg. A munkánk egyik fontos célkitűzése volt, hogy a klimatikus, talaj és ökofiziológiai paraméterek felhasználásával kísérletet tegyünk arra, hogy megfelelő model segítségével az állomány vízforgalmában a klimatikus fluktuációkkal összefüggésben várható változásokat leírjuk és a szimuláció eredményeit összevessük a mértekkel. A rendelkezésre álló adatbázis alapján az INRA EEF Joint Research Unit Forest Ecology and Ecophysiology INRA, Nancy intézetben kidolgozott BILJOU© Water Balance modellt tartottuk a legalkalmasabbnak (Granier et al. 2000).

A vizsgálati években kedvező talajnedvesség feltételek alatt (REW > 4) a *Q. cerris* esetében az SFD maximuma szignifikánsan nagyobb volt (1,6-1,8 l dm⁻² h⁻¹), mint a *Q. petraea*-nál. REW< 4 alatt az SFD faji eltérések csökkentek, és mindkét fafajnál alacsony - 0,2-0,4 l dm⁻² h⁻¹ - értékeket mértünk. Vizsgáltuk az SFD és az atmoszférikus tényezők közötti összefüggéseket. Kimutattuk, hogy az SFD napi maximumát és napi dinamikáját a PET, VPD és REW mellett jelentősen befolyásolja a fák szociális helyzete is, főként a lombkorona magassága (Kanalas et al. 2012). Az SF paraméter a vízforgalom interspecifikus eltéréseinek a jellemzésére alkalmasabbnak bizonyult. A két fafaj közül a *Q. cerris* esetében a nagyobb SA és SFD értékeknek köszönhetően az SF szignifikánsan magasabb volt, és ezáltal ez a faj az állományszintű transzspirációhoz, a kisebb egyedszáma ellenére, nagyobb arányban járul hozzá, mint a *Q. petraea*.

A nedváramlás méréseink eredményei alapján ezen a termőhelyen a két tölgyfaj összesített napi transzspirációja (T mm nap⁻¹) a potenciális evapotranszpirációhoz (PET) viszonyítva alacsony, a T/PET arány a vizsgálati években 0,2-0,3 között volt. A T és T/PET arány egyik fontos befolyásoló tényezője a LAI, amelyet minden vizsgálati évben direkt (avargyújtással) és indirekt (LAI2000 műszer) módszerekkel mértünk. 2012 és 2016 között a LAI 3,7-7,1 között változott (6.02, CV 24%), a legalacsonyabb értékét 2012-ben mértük. A LAI-ban a két tölgyfaj aránya összesen csak 62 %, de rajtuk kívül 28 %-os aránnyal részesedik a LAI-ból a második lombkoronaszintben jelenlévő *Acer campestre*, a maradék 10 % pedig a cserjeszintben lévő fajoknak (főleg *Cornus* sp.) tulajdonítható. Bár ebben a pályázatban nem terveztük, nedváramlás vizsgálatokat négy szezonban *A. campestre* fákra (2-4 fa) is végeztünk. Az *A. campestre* mintafák törzsében a tölgyekéhez hasonló nagyságú, vagy akár azokét jóval meghaladó (2016 nyarán 1,5-2,5 l dm⁻² h⁻¹) nedváramlás denzitás maximumokat figyeltünk meg. Az *A. campestre* esetében az SA m² ha⁻¹ a kocsánytalan tölgyétől 30 %-kal a csertölgyétől pedig 42 %-kal kisebb. Ennek ellenére azonban az állományszintű transzspirációhoz jelentősen hozzájárult, ezt a fajt is figyelembe véve a T/PET arány 0,4-0,5 közötti értékek között volt a vizsgálati években, ami megközelíti a lombhullató erdőállományokra megadott értékeket (Granier et al. 1999). A mért T/PET arány érzékenyen reagált a REW-nek 0,4 alá történő csökkenésére és az aszályérzékeny periódus (VII-VIII) csapadék mennyiségével szoros korrelációban növekedett.

A BILJOU© model megerősítette a T és T/PET arány évek között és szezonon belüli változásában megfigyelt trendeket, de az erdőállomány T/PET maximumára, a mértekhez képest magasabb - 0,4-0,8 - értékeket jelzett. A model szimuláció során a T és T/PET évek közötti variabilitását befolyásoló egyik legfontosabb tényező a LAI volt. A T és a T/PET arány szezonon belüli és évek közötti eltéréseiben a másik fontos befolyásoló tényező a REW csökkenése volt. A model eredmények a nedváramlás mérésekkel összhangban jelezték a REW befolyásoló hatását, 2012-ben a REW-nek a teljes szezonban

fontos szerepe volt az alacsony T/PET arány a kialakulásában, 2013-ban és 2015-ben pedig nyáron járult hozzá a T/PET 40-70 %-os csökkenéséhez.

A vizsgálati évek növekedési szezonjaiban az MDS és ΔW indikátorok alapján jelzett eltérő vízhiány-stressz és vízforgalmi zavar a fák levél vízpotenciál hajnali (Ψ_{pd}) h és déli (Ψ_{md}) értékeiben is jól kimutatható volt. A Scholander féle nyomáskamra alkalmazásával történt mérések során a lombkorona szintjei között a várakozásnak megfelelően kisebb-nagyobb eltérések mutatkoztak, a felső lombkoronaszintben a levelek vízpotenciálja mindig alacsonyabb volt. Az összes vizsgálati eredmény alapján elvégzett talajnedvesség (REW) és a levél vízpotenciál (Ψ) közötti összefüggésre a regressziós analízisek során a két fajnál, a vizsgálati szintekben és a hajnali és déli vízállapotokra hasonló, exponenciális csökkenés függvényekkel jól illeszthető mintázatot állapítottunk meg. Nedves és mérsékelt száraz talajnedvesség feltételek között (REW 1-0,3) adott időben, adott faj egyes szintjeiben a levél vízpotenciál közel azonos szinten volt, a REW küszöbérték alá csökkenésével, azonban meredeken csökkent, ami a talajnedvesség csökkenésével a vízfelvételben és szállításban a hidraulikus szabályozás szerepét hangsúlyozta. Ezzel párhuzamosan növekedtek a hajnali és déli vízpotenciál közötti különbségek. A REW és a vízpotenciál közötti összefüggését leíró exponenciális függvények paraméterei szignifikánsan eltértek a fajok között és lombkoronaszintek között (Mészáros et al. 2014, Oláh et al. 2016). A két fajnál a levél vízpotenciál válaszreakció, ugyanazon lombkoronaszintben, a magas REW értékeknél nem különbözik szignifikánsan, a talajvízdeficit erősödésével (REW < 0,2-0,1) azonban eltérést mutat, a *Q. petraea* esetében magasabb értékek figyelhetők meg, ami ennél a fajnál erősebb sztomatikus szabályozásra utal. A Ψ_{pd} és Ψ_{md} közötti különbségek ($\Delta\Psi$) alapján szintén arra következtettünk, hogy a két faj között az aszálytolerancia stratégiát tekintve vannak eltérések. A *Q. cerris* a gyengébb izohidrikus stratégiájú, vagy izohidrikus-anizohidrikus fajok kategóriájába sorolható, a *Q. petraea*-val összevetve ugyanazon talajnedvesség feltételek mellett nála a sztomatikus szabályozása szerepe kisebb, és ezáltal a fotoszintézis vízhasznosítási efficienciája (WUEi) is alacsonyabb, mint a *Q. petraea* esetében. Ez jó összhangban van a nedváramlás mérések eredményeivel, a nedváramlás denzitás a *Q. cerris* fáiban magasabb.

A vizsgálatainkat kiterjesztettük a ^{13}C -mal szembeni diszkriminancia mérésén keresztül a vízhasznosítási efficiencia vizsgálatára is. Az eredményeink bizonyítják, hogy a $\delta^{13}\text{C}$ nagyon jól használható ún. integrált indikátor, amelynek a változása jól tükrözte a két faj víz- és C-forgalmának az érzékenységet a különböző években és ugyanazon növekedési szezonban fellépő eltérő mértékű talajvízdeficittel szemben. Mindkét faj fáinak a lombkoronájában a magassággal és a szezon során jelentkező Ψ_{pd} csökkenésével és a $\Delta\Psi$ növekedéssel párhuzamosan a ^{13}C -mal szembeni diszkriminancia csökkenését állapítottuk meg. A *Q. cerris* leveleiben következetesen nagyobb a ^{13}C -mal szembeni diszkriminancia, alacsonyabb a $\delta^{13}\text{C}$, ami a transzspiráció gyengébb sztomatikus kontrolljára és alacsonyabb vízhasznosítási efficienciára utal (Mészáros et al. 2014, Mészáros et al. közlésre előkészítve).

Egy kétéves (2012 és 2013) vizsgálatosorozat során kimutattuk, hogy a hajnali levél vízpotenciál csökkenéssel szoros korrelációban növekszik a működő háncsban a szárazanyagra vonatkoztatott oldható NSC (nem strukturális szénhidrát) tartalom. Az eredményeink alapján arra következtettünk, hogy a fák talajvízdeficit idején az asszimilált szénnek nagyobb hányadát allokálják a háncs ozmotikus koncentrációjának a növelésére és fenntartására (Mészáros et al. készülő kézirat), ami a felhasználó szervek és folyamatok (gyökér, radiális törzsnövekedés) felé történő szénhidrát transzport rovására megy végbe. Az ozmotikus koncentráció plaztikus változásának kitüntetett szerepe van abban, hogy a háncs élő elemeinek turgor-állapota ne csökkenjen a funkcionálisan kritikus szint alá. Ezt a két tölgyfajnál egy fontos szabályozó mechanizmusnak tekintjük, hiszen a nappali időszakban a háncsból a transzspirációs vízáramba történő vízvesztés miatt bekövetkező radiális kontrakció (MDS) a hánccselemek turgorának a rovására megy végbe.

A támogatási időszak első részében a két faj vízforgalmi válaszreakcióira irányuló vizsgálatok mellett, a kocsánytalan tölgy esetében a levélmorfológiai bélyegek és izoenzimvizsgálati eredmények alapján elkülönülő genotípusok mintáin is indítottunk folyamatos sap-flow és dendrométeres monitoring méréseket. Az eredmények feldolgozása során a vizsgált ökoфизиологikai paraméterek alapján nem volt kimutatható szignifikáns eltérés a kocsánytalan tölgy és a hibridek között. A hibridek esetében a terepen megkezdett ökoфизиологikai vizsgálatokat kiegészítettük kontrollált laboratóriumi kísérletekkel. Az erdőállományban a *Q. petraea*, a *Q. pubescens*, *Q. virgiliana* és hibridjeiket (*Q. petraea* x *Q. pubescens* és *Q. virgiliana* x *Q. polycarpa* x *petraea*) reprezentáló fák fiatal lombleveleiből kalluszkultúrákat hoztunk létre, amelyek alkalmas rendszernek bizonyultak a hibridek szárazság-stressz érzékenységének a tesztelésére (Demeter et al. 2014). A vizsgálatához választott taxonok esetében az ERTI (Sárvár) Molekuláris genetikai laborjában végzett mikroszatellit analízisek alapján kimutattuk, hogy a *Q. petraea* (A149) genetikai szempontból elkülönült az összes többi vizsgált taxon egyedétől, továbbá, hogy a *Q. petraea* x *Q. pubescens* (D89) és a *Q. virgiliana* x *Q. polycarpa* x *petraea* (A211) hibridek a *Q. pubescens* (A75) és *Q. virgiliana* (B50) taxonokkal egy klaszterbe csoportosultak. A kallusz-tenyészetekben a vízhiány-stressz indukálásához PEG6000 ozmotikumot alkalmaztunk. A PEG 6000 hatására a legnagyobb vízvesztés a *Q. petraea*-nál, a legkisebb a *Q. pubescens*-nél következett be, a hibridek átmeneti képeznek. Az ozmotikus stresszre adott válaszreakciók (vízvesztés mértéke, peroxidáz és DNA-áz stressz-enzimek aktivitása) alapján a vizsgált taxonok szárazságtűrésére a következő sorrendet állapítottuk meg: *Q. petraea* < *Q. petraea* x *Q. pubescens* < *Q. petraea* x *Q. virgiliana* x *Q. polycarpa* < *Q. virgiliana* < *Q. pubescens*. Ezek a vizsgálati eredmények részletes elemzésre kerültek PhD értekezésben (Demeter 2014).

Következtetések

A fák vízforgalmával kapcsolódó levélszintű funkcionális jellegek (vízpotenciál, vízhasznosítási efficencia) és a nedváramlással kapcsolódó paraméterek alapján a vizsgált termőhelyen a két tölgyfaj közül a *Q. petraea* izohidrikus viselkedése erősebb, alacsony talajnedvesség tartalomnál, tartós vízhiány felléptekor következetesen magasabb levél vízpotenciállal és kisebb ¹³C szembeni diszkrimináciával reagál (nagyobb WUE_i-re utaló magasabb δ¹³C értékek), a nedváramlásának és transzspirációjának a lefelé történő szabályozása korábban és erősebben következik be. Mindkét tölgyfajnál a radiális törzsnövekedést legerősebben befolyásoló tényező a csapadék mennyisége és a hőmérsékletnek csak másodlagos szerepe van. Az eredményeink arra utalnak, hogy kedvező csapadékjárású szezonokban a napi növekedési ráta maximuma mindkét fajnál júniusban van. A talaj nedvességtartalmának a fiziológiai szempontból kritikus érték (REW=0,4) alá csökkenése a növekedési ráta csökkenését (2015) vagy a növekedés korai leállását idézte elő (2012), ebből a szempontból a *Q. cerris* toleránsabbnak bizonyult. A törzs radiális napi kontrakciója (MDS) a REW változásra érzékeny indikátornak bizonyult, a REW 0,2-0,7 tartományban mért értékei a fajok vízforgalom szabályozási stratégiájának a különbségeire utalnak. A csertölgynél megfigyelt alacsonyabb MDS a nagyobb törzsbeli vízraktározó kapacitás következménye, ami a vizsgált termőhelyen fontos szerepet kap az aszályos időszakokban a xilém kavitáció megakadályozásában vagy mérséklésében. A vizsgált termőhelyen, nyáron mindkét fajnál a xilém kavitáció veszélyére hívja fel a figyelmet a törzsek hosszan tartó radiális kontrakciója (ΔW), ami jól jelzi az éjszakai feltöltődés gyengülését és a törzsbeli belső vízraktárak kimerülését.

Az eredmények hasznosítása

A két tölgyfaj kontrasztos időjárású növekedési időszakokban megfigyelt ökofiziológiai válaszreakciói hozzájárulnak a hazai cseres-tölgyesekben megfigyelt vitalitásromlás okainak a megértéséhez, és a kocsánytalan tölgy esetében megfigyelt nagyobb mortalitásban közrejátszó fiziológiai folyamatok feltárásához. Az erdőtípus peremhelyzetű termőhelyén végzett vizsgálatok eredményei felhasználhatóak a klímaváltozással összefüggésben várható állományszerkezeti változások előrejelzéséhez és az erdészeti telepítések tervezéséhez.

A pályázati időszakban a tervezettől való eltérések

A pályázatban tervezett vizsgálatokat elvégeztük, és kiegészítettük az időközben szükségessé vált mérésekkel.

A pályázat kidolgozásában résztvevők személyében történtek változások, amelyek a NKFIH engedélyével történtek és a honlapon rögzítésre kerültek.

Irodalomjegyzék

Adorján, B., Oláh, V., Fenyvesi, A., Hepp, A., Mészáros, I. 2016: Use of continuously measured dendrometer data for estimation of stem radial growth of oak trees. In: Kiss I, Pincehelyi Z É (szerk.) XII. Environmental Scientific Conference of the Carpathian Basin, Beregszász, Ukrajna, 2016.06.01-2016.06.04, PTE TTK Szentágotthai János Protestáns Szakkollégium, Pécs. p. 88. (ISBN:978-963-429-050-6)

Demeter, Z., Kanalas, P., Máthé, C., Cseke, K., Szöllősi, E., M-Hamvas, M., Jámbrík, K., Kiss, Z., Mészáros, I. 2014: Osmotic stress responses of individual white oak (*Quercus section, Quercus subgenus*) genotypes cultured in vitro. *J. Plant Physiology*, 171: 16-24.

Demeter, Z. 2014: Szövettenyészetek alkalmazása fehér tölgy (*Quercus alnemzetség*) genotípusok ozmotikus stressztoleranciájának a vizsgálatára. PhD értekezés. DE Juhász Nagy Pál Doktori Iskola, Debrecen. pp. 73.

Granier, A., Bréda, N., Biron, P., Villette, S. 1999: A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological Modelling*, 116: 269-283.

Granier, A., Biron, P., Lemoine, D. 2000: Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100: 291-308.

Kanalas, P., Fenyvesi, A., Kis, J., Nyitrai, B., Oláh, V., Szöllősi, E., Demeter, Z., Mészáros, I. 2012: Comparative measurements of sap flow and trunk radial shrinkage in mature trees of two co-occurring oak species. *Proceedings of International Conference Biological Reactions of Forests to Climate Change and Air Pollution*, Kaunas, Litvánia, 2012.05.18-2012.05.24. p. 227.

Maxime Cailleret, Christof Bigler, Harald Bugmann, Julio Camarero, Katarina Cufar, Hendrik Davi, Ilona Mészáros, Francesco Minunno, Mikko Peltoniemi, Elisabeth M R Robert, María Laura Suarez, Roberto Tognetti, Jordi Martínez-Vilalta 2016: Towards a common methodology for developing logistic tree mortality models based on ring-width data. *Ecological Applications*, 26: 1841-

[66], Cailleret M, Jansen, J, Mészáros, I, Martínez-Vilalta J 2016: A synthesis of radial growth patterns preceding tree mortality. *Global Change Biology* 23: 1675-1690.

Mészáros, I., Kanalas, P., Nyitrai B., Kis, J., Fenyvesi, A., Oláh, V., Demeter, Z., Szöllősi, E. 2012: Diurnal and seasonal variation in stem radius and water status of mature sessile oak *Quercus petraea*

(Matt.) Liebl. and turkey oak *Quercus cerris* L. trees in relation to weather conditions. Proceedings of International IUFRO Conference Biological Reactions of Forests to Climate Change and Air Pollution, Kaunas, Litvánia, 2012.05.18-2012.05.24. p. 98.

Mészáros, I., Kanalas, P., Fenyvesi, A., Kis, J., Ander, I., Futó, I., Oláh, V., Szöllősi, E., Lakatos, Á., Tóth, Gy. D., Demeter, Z. 2012: Időjárási fluktuációk hatása zonális fafajok ökofiziológiai folyamataira. In: Bíróné Kircsi A (szerk.): Magyar Meteorológiai Társaság XXXIV. Vándorgyűlés és VII. Erdő és Klíma Konferencia. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31. Debrecen: Magyar Meteorológiai Társaság (MMT), 2012. p. &. (ISBN:978-963-8481-13-9)

Mészáros, I., Kanalas, P., Fenyvesi, A., Oláh, V., Szöllősi, E., Kis, J., Nyitrai, B., Ander, I. 2012: Időjárási fluktuációk hatása zonális fafajok ökofiziológiai folyamataira. In: Bartha, S., Máza, K. (szerk.)

9. Magyar Ökológus Kongresszus, Keszthely, 2012.09.05-2012.09.07. Programfüzet, Előadások és poszterek összefoglalói. Vácrátót, MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet, p. 72.

Mészáros, I., Kanalas, P., Nyitrai, B., Kis, J., Fenyvesi, A., Oláh, V., Demeter, Z., Szöllősi, E. 2013: Changes in stem radial growth increment and water status in two co-occurring oak species in relation to climatic variables in contrasting growing seasons. In: Arena C, Battipaglia G, Cherubini P, De Micco V, Sass-Klaassen U (ed.) Proceedings of INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD STRUCTURE IN PLANT BIOLOGY AND ECOLOGY, 17-20 April 2013, Naples, Italy. p. 181.

Mészáros, I., Nyitrai, B., Kanalas, P., Kis, J., Fenyvesi, A., Oláh, V., Demeter, Z., Szöllősi, E. 2013: Leaf Water Relations, Sap Flow Density and Stem Radial Changes in Two Co-Existing Oak Species In: WOHLGEMUTH, T., PRIEWASSER, K. (ed.) ClimTree 2013 International Conference on Climate Change and Tree Responses in Central European Forests, 1 to 5 September 2013. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL. p. 54.

Mészáros, I., Fenyvesi, A., Nyitrai, B., Kanalas, B., Kis, J., Oláh, V., Szöllősi, E., Lakatos, Á., Demeter, Z. 2013: Physiological responses of zonal forest tree species in contrasting growing seasons. In: Zimmermann, Z., Szabó, G. (ed.) VIII. Carpathian Basin Biological Symposium - I. Sustainable development in the Carpathian Basin" international conference, Budapest, 2013.11.21-2013.11.23. Gödöllő: Szent István Egyetem. p. 54.

Mészáros, I., Kanalas, P., Nyitrai, B., Oláh, V., Szöllősi, E., Fenyvesi, A. 2013: Multi-seasonal study of sap flow and stem shrinkage pattern in two co-existing oak species in a forest site vulnerable to climate change. ACTA HORTICULTURAE: TECHNICAL COMMUNICATIONS OF ISHS 991: Paper P53.

ISHS IX International Workshop on Sap Flow. Ghent, Belgium: 2013.06.04 -2013.06.07. (ISBN 978-90-66055-06-3)

Mészáros, I., Oláh, V., Kanalas, P., Nyitrai, P., Nagy, R., Lakatos, Á., Demeter, Z., Fenyvesi, A. 2014: Role of water budget traits and strategies in climate tolerance of zonal oak species In: Györgyey, J. (szerk.) 11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2014.08.27-2014.08.29. MTA Szegedi Biológiai Központ, p. 26.

Mészáros, I. Oláh, V., Szöllősi, E., Kanalas, P., Adorján, B., Sárvári, É. 2015: Állományalkotó fafajok fotoszintetikus aktivitása és növekedése változó klímában. A FÉNY A NÖVÉNYBIOLÓGIÁBAN. MTA Biol. Oszt. Előadóiülés, Budapest, 2015. 11.09.

Nyitrai B, Kis J, Kanalas P, Oláh V, Szöllősi E, Mészáros I 2012a: Tree ring responses of two co-existing oak species in the large period of forest decline based on analysis of increment cores from survived trees, In: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology 2012, TRACE Conference 2012.. Konferencia helye, ideje: Potsdam, Németország, 2012.05.09-2012.05.12. p. 106.

Nyitrai B, Kis J, Kanalas P, Oláh V, Szöllősi E, Mészáros I 2012b: Relationship between tree ring changes of two co-existing oak species and climate from North Hungarian Central Range., In: International Conference Biological Reactions of Forests to Climate Change and Air Pollution., Konferencia helye, ideje: Kaunas, Litvánia, 2012.05.18-2012.05.24.

Nyitrai, B., Kis, J., Kanalas, P., Oláh, V., Szöllősi, E., Mészáros I. 2013: Tree Ring Width, Earlywood and Latewood Analysis of 100-Year-Long Oak Chronologies at Síkfőkút LTER Site, Hungary. ClimTree 2013 International Conference on Climate Change and Tree Responses in Central European Forests, 1 to 5 September 2013. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL.

Nyitrai B, Kis J, Kanalas P, Oláh V, Szöllősi E, Mészáros I 2012: Éghajlati fluktuációk hatása cseres-
tölgyes fafajainak az évgűrűszélességére., In: Bartha S, Mázsa K (szerk.) 9. Magyar Ökológus
Kongresszus. Előadások és Posztterek Összefoglalói. Konferencia helye, ideje: Keszthely, Magyarország,
2012.09.05-2012.09

Nyitrai, B., Kanalas, P., Oláh, V., Nagy, R., Kis, J., Fenyvesi, A., Mészáros, I. 2014: Study of diurnal and seasonal dynamics of stem radial changes in oak species. In: Györgyey, J. (szerk.) 11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2014.08.27-2014.08.29. MTA Szegedi Biológiai Központ, p. 70. 1 p.

Oberhuber, W. Hammerle, A., Kofler, W., 2015: Tree water status and growth of saplings and mature Norway spruce (*Picea abies*) at a dry distribution limit. *Front Plant Sci.*, 6: 703.

Oláh, V., Nyitrai, B., Kanalas, P., Szöllősi E., Lakatos, Á., Fenyvesi, A. Mészáros, I. 2014 : Changes of leaf traits in the canopy of mature sessile oak trees after defoliation by caterpillars, In: Györgyey J (szerk.) 11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2014.09.27-2014.09, 2014

Oláh, V., Adorján, B., Fenyvesi, A. Hepp, A., Mészáros, I. 2016: Effects of soil water availability on trunk daily radial shrinkage dynamics and leaf water potential of two co-occurring oak species. In: Kiss, I., Pincehelyi, Z. É (szerk.) XII. Kárpát-medencei Könyezetudományi Konferencia = XII. Environmental Scientific Conference of the Carpathian Basin: 2016. június 1-4. Beregszász, Ukrajna. PTE TTK Szentágothai János Protestáns Szakkollégium, Pécs. p. 111.126 p. (ISBN:978-963-429-050-6)

Tognetti, R., Raschi, A., Béres, Cs., Fenyvesi, A., Ridder, H-W.: Comparison of sap flow, cavitation and water status of *Quercus petraea* and *Quercus cerris* trees with special reference to computer tomography. *Plant, Cell and Environment*. 19. 928-938. 1996

Zweifel, R., Item, H., and Häsler, R. (2001): Link between diurnal stem radius changes and tree water relations. *Tree Physiol.* 21, 869–877.

Publikálásra előkészített és készülő kéziratok

Adorján, B., Oláh, V., Fenyvesi, A., Hepp, A., Mészáros, I.: Difficulties in evaluation of fine time resolution dendrometer data: daily growth rates and cumulative growth (benyújtásra előkészített)

Adorján, B. Nyitrai, B., Kanalas, P., Fenyvesi, A., Mészáros, I. : Study of diurnal and seasonal dynamics of stem radial changes in oak species. (szerkesztés alatt)

Mészáros, I. Oláh, V., Adorján, B., Fenyvesi, A., Kanalas, P., Kis, J., Nyitrai, B. Multi-seasonal changes in leaf water relations, water use efficiency and radial growth of two co-occurring oak species in a low altitude forest. (benyújtásra előkészített)

Mészáros, I., Oláh, V., Adorján, B., Fenyvesi, A., Hepp, A. Mészáros, I.: Effects of soil water availability on leaf water potential and phloem soluble non-structural carbohydrate content in the trunk of oak trees (szerkesztés alatt)

Nyitrai, B., Kanalas, P. Oláh, V., Mészáros, I.: Dendroecological study of sessile oak and Turkey oak in a low altitude forest stand. (Annals of Forest Science benyújtott, bírálólat alapján átdolgozás alatt)

Oláh, V., Kanalas, P., Szöllősi, E., Kis, J., Nyitrai, B., Misik, T., Mészáros I. Long-term changes of an unmanaged mixed deciduous forest on the xeric limit of zonal forests, Síkfőkút LTER site, NE Hungary (benyújtásra előkészített)

Oláh, V., Adorján, B., Fenyvesi, A., Hepp, A. Mészáros, I. Effects of soil water availability on trunk daily radial shrinkage dynamics and leaf water potential of two co-occurring oak species (benyújtásra előkészített)