



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**Hagyományos (CAG) és a pot in pot (PIP) rendszerben nevelt
konténeres fás szárú dísznövények növekedése és néhány élettani
jellemzőjük összehasonlító vizsgálata**

Doktori (PhD) értekezés

DOI: 10.54598/000470

Ónody Éva

Budapest

2021

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Zámboriné dr. Németh Éva
egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Gyógy és Aromanövények Tanszék

Témavezetők: Sütöriné dr. Diószegi Magdolna
egyetemi adjunktus, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

Dr. Hrotkó Károly
ny. egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
2.1. A díszfaiskolai termesztés hazai és nemzetközi helyzete	9
2.2. A konténeres termesztés	10
2.2.1. A konténeres kultúra termesztési sajátosságai	10
2.2.2. Konténertípusok a faiskolákban	11
2.3. A pot in pot (PIP) termesztési rendszer bemutatása	15
2.3.1. A PIP rendszer telepítésének fizikai és gazdasági követelményei	16
2.3.2. A PIP rendszer tőkeigénye és költségstruktúrája	18
2.3.3. A PIP rendszerben nevelt növények sajátosságai, kutatási eredmények ...	19
2.4. A fás szárú növények fotoszintetikus aktivitását befolyásoló tényezők.....	21
2.4.1. A fényintenzitás és a hőmérséklet hatása a fotoszintetikus aktivitásra.....	21
2.4.2. A víz- és tápanyagellátás, valamint a növényi faktorok (levél életkor, lombszerkezet, sztóma karakterisztika, faji jelleg) hatása a fotoszintetikus aktivitásra.....	23
2.5. A fás szárú növények transzspirációjának sajátosságai, befolyásoló tényezők	25
2.5.1. A transzspiráció fizikai és fiziológiai folyamatai.....	25
2.5.2. A sztóma szabályozó szerepe a transzspiráció során.....	26
2.5.3. A környezeti tényezők kölcsönhatása és a transzspiráció kapcsolata.....	28
2.5.4. A transzspirációs ráta változásának napi üteme	29
2.6. A konténeres díszfaiskolai növények vízigényének és vízfogyasztásának sajátosságai	30
2.6.1. Az evapotranszspiráció szerepe a konténeres növények vízigényének megállapításában	31

3.	CÉLKITŰZÉSEK.....	34
4.	ANYAG ÉS MÓDSZER	36
4.1.	A kísérlet helyszínének és az alkalmazott konténeres termesztési rendszereknek a bemutatása	36
4.2.	A kísérlet beállítása.....	36
4.2.1.	A kísérleti parcella kijelölése	36
4.2.2.	A kísérleti növények kijelölése és beállítása	38
4.2.3.	A kísérleti növények leírása	40
4.3.	Morfológiai mérések.....	42
4.4.	Tápelem mérések.....	44
4.5.	Gravimetrikus vízfogyasztás mérések (IWC; DWU; RWU)	46
4.5.1.	Termesztőközeg nedvességtartalmát meghatározó mérések (GSWC)	46
4.5.2.	Konténeres növények vízfelhasználási hatékonyságának számítása	47
4.6.	Levél-gázcsere mérések.....	47
4.7.	Meteorológiai adatok.....	49
4.7.1.	A mérési napok meteorológiai adatai	50
4.8.	Statisztikai elemzések	50
5.	EREDMÉNYEK	52
5.1.	Morfológiai paraméterek.....	52
5.1.1.	Konténeres dísznövény taxonok vegetációs időszaki növekedése (növénymagasság, lombkorona átmérő, törzsátmérő).....	52
5.1.2.	Különböző konténeres termesztési rendszerekben nevelt, lomblevelű díszcserjék egyedi levélméretének és teljes levélfelületének összehasonlítása	56
5.1.3.	Különböző konténeres termesztési rendszerekben nevelt, lomblevelű díszcserje növényi részek friss - és száraz tömegének összehasonlítása.....	59

5.2.	Tápelem mérések	61
5.3.	Gravimetrikus vízfogyasztás mérések	62
5.3.1.	Termesztőközeg nedvességtartalmi mérések	68
5.3.1.1.	A termesztőközeg nedvességtartalmának (GSWC) és a relatív vízfogyasztásnak (RWU) a kapcsolata	69
5.3.2.	Konténeres díszcserjék vízfelhasználási hatékonysága	71
5.4.	Levél - gázcsere mérések	72
5.4.1.	Fotoszintetikus ráta és szén-dioxid asszimiláció	72
5.4.1.1.	Fotoszintetikus ráta napi átlaga (A_{nap}).....	73
5.4.1.2.	A fotoszintetikus ráta napszaki változása ($A_{napszak}$)	74
5.4.1.3.	Egységnyi levélfelület napi szén-dioxid asszimilációja ($A_{összeg}$).....	79
5.4.1.4.	A fényintenzitás ($PAR_{levél}$) és a fotoszintetikus ráta (A_{total}) kapcsolata	80
5.4.1.5.	A sztómakonduktancia (g_s) és a fotoszintetikus ráta (A_{total}) kapcsolata	81
5.4.2.	A transzspirációs ráta.....	82
5.4.2.1.	A transzspirációs ráta napi átlaga (E_{nap})	83
5.4.2.2.	A transzspirációs ráta napszaki változása ($E_{napszak}$)	84
5.4.2.3.	Egységnyi levélfelület napi transzspirációjának mennyisége ($E_{összeg}$).....	90
5.4.2.4.	A transzspiráció (E_{total}) és a vízstressz index kapcsolata.....	91
6.	EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK.....	93
6.1.	Az évjárathatás meteorológiai okai	93
6.2.	A morfológiai paraméterek alakulásának értékelése	93
6.2.1.	A növekedési jelleg értékelése	93
6.2.2.	A termesztéstechnológia hatása a morfológiai mutatókra	94
6.3.	A tápelemvizsgálatok értékelése	95
6.4.	A konténeres kísérleti növények vízfogyasztása.....	96

6.5.	A konténeres kísérleti növények levél-gázcserejének napi és napszaki alakulása	98
6.5.1.	A fotoszintetikus ráta alakulása	98
6.5.2.	A transzspirációs ráta alakulása.....	100
6.6.	Új tudományos eredmények.....	102
7.	ÖSSZEFOGLALÁS	103
8.	SUMMARY	106
9.	IRODALOMJEGYZÉK	109
10.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	118

1. BEVEZETÉS

A díszfaiskolák nagyszámú növényt állítanak elő viszonylag kis területen, azzal a kimeneti követelménnyel, melyben kulcsszerepe van a díszfaiskolai termék esztétikai megjelenésének. A konténeres kultúrák elterjedését megelőzően, az ágazatot az extenzív gazdálkodás jellemezte. Az 1970-es években bekövetkezett energiaválság hatására, az energiahordozók ára jelentősen megnövekedett, megnövelve ezzel a dísznövénytermesztés költségigényét. A megnövekedett termesztési költségeket, a területegységre jutó produktivitás növelése ellensúlyozta, melyet a konténeres kultúra elterjedése tett lehetővé. Az elmúlt évtizedek intenzív termesztési gyakorlatának tapasztalatai azt mutatják, hogy a növények ilyen módon történő előállítása tovább növelte az ágazati forrásigényt, különösen a vizét. A szakemberek felismerték, hogy a források hatékonyabb felhasználása, a produktivitás növelése és ezzel egyidejűleg a környezeti terhelés csökkentése jelentik az aktuális kihívásokat.

A víz- és a tápanyagutánpótlás menedzselése a konténeres kultúrákban, elválaszthatatlanok. A konténeres termesztőközeg csak korlátozott mennyiségben tartalmazza a növényi fejlődéshez szükséges tápelemeket, illetve öntözés nélkül hamar kiszárad. A gyökérzet korlátozott növekedési térrel rendelkezik a konténerben, az optimális fejlődés feltétele a gyakori műtrágyázás (oldott formában vagy lassan feltáródó granulátum formában is). A víz transzportszerepe az intenzív tápanyagutánpótlás következtében kiemelt, a kiszáradt közegből ugyanis a növény nem képes felvenni a tápanyagot. A napi többszöri öntözés hatékony gyakorlat a közeg nedvességének fenntartása érdekében. Az öntözési vízmennyiség követelményeket a növény vízigénye is alakítja. A konténeres termesztés az időjárástól csak részben függetlenített, a csapadék módosítja az öntözési igényt. Sok termelő egyszerű időzítőt használ az automata öntözőrendszereknél, az öntözés ütemezését pedig saját tapasztalatára alapozza. Ennek következtében a legtöbb növény öntözése empirikus alapon történik, néha alábecsülve, vagy túlbecsülve a vízigényt, és rontva a termesztett növények minőségét.

A pot in pot (PIP) rendszer egy alternatív termesztéstechnológiai módszer, mely a hagyományos szabadföldi termesztés és a föld feletti konténeres termesztés hibridje. A termesztésmód hazája az Amerikai Egyesült Államok, mint a konténeres

termesztésnek magának is. A PIP rendszer egyesíti a két termesztésmód előnyeit (optimális térállás, talaj támasztó - és szigetelő hatása, egész éves kitermelési lehetőség). A technológiából fakadóan, csepegtető öntözőrendszert telepítenek a PIP parcellákba, mely önmagában hatékonyabb vízfelhasználást biztosít, összevetve a konténeres kultúrák öntözési gyakorlatával, a felső szórófejes vízkijuttatással. A PIP technológia amerikai elterjedése óta, a tapasztalatok azt mutatják, hogy a PIP rendszerben nevelt növények jobb kondíciókkal rendelkeznek a hagyományos konténeres termesztésben nevelt növényekhez képest. Azonban a konténeres termesztés valamennyi típusát érintő, a gazdaságosabb vízfelhasználást, a csurgalékvíz szennyezettségét (műtrágya, herbicid és peszticid származékok) ezáltal a talajvízszennyezés csökkentését szem előtt tartó kutatások aktualitása a PIP rendszer esetében is fennáll.

A dísnövények nagy formagazdagságú, változatos termőhelyi származású növények. A fenntartható termesztés optimalizálását célzó, a növény víz-, tápanyag-, és környezeti igényeinek kielégítése, a folyamatosan változó fajtakínálat révén, kihívást jelent a szakembereknek. Célunk ezért az, hogy a konténeres termesztési rendszerek hatását a növény fejlődésére, produktivitására és vízigényére vonatkozóan, a választott taxonok esetében részletesen megvizsgáljuk.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A díszfaiskolai termesztés hazai és nemzetközi helyzete

A hazai díszfaiskolai termesztés (szabadföldi díszfák, díszcserjék) körülbelül 2000 hektáron folyt egy 2010-ben született, az Agrárgazdasági Kutató Intézet által kiadott tanulmány szerint (MDSZ, 2014). A legfrissebb adatok 2019-re vonatkozóan 2500 hektáron folyó díszfaiskolai termesztésről beszélnek. 2010-től hatályos az a kormányrendelet, mely a dísznövénytermesztés körében végzendő kötelező adatszolgáltatásról rendelkezik. Ezzel együtt azonban ma sem létezik egységes, átfogó adatforrás az ágazatról.

A fenti tanulmányok megállapítják, hogy a mezőgazdasági ágazatoknál fajlagosan nagyobb értéket állít elő a dísznövénytermesztés: hektáronként 7 MFt-ot, mely a hússzorosa a hagyományos szántóföldi kultúrák egy hektárra jutó termelési értékének. A hektáronkénti díszfaiskolai ágazat fajlagos árbevétele 5,7 MFt, melyet viszonylag kisszámú vállalkozás, illetve gazdasági egység termel meg (335 db). Az egész díszkertész ágazatra jellemző, hogy a termeszítők elsögenerációs, kisméretű családi vállalkozások. A piaci szerkezet elaprózodottnak mondható, monopolhelyzetű vállalkozások nincsenek.

A dísznövény termékek importja hazánkban magasabb, mint az export értéke. A faiskolai áruk a legjelentősebb export - és importcikkek közé tartoznak a termékcsoportok tekintetében. Legfontosabb külkereskedelmi partnereink a termékcsoport kategóriában, mely magában foglalja a faiskolai termékeket is: Németország, Románia, Hollandia, Szlovákia, Olaszország, Lengyelország, Ausztria.

Európai viszonylatban hasonló díszfaiskolai termeszítő területtel rendelkezünk, mint Ausztria, Dánia, vagy az Egyesült Királyság, a termelési értékünk azonban fele az európai átlagnak (M.o: 45 ezer euró/ha; EU átlag: 91 ezer euró/ha) (Jámbor és Török, 2020).

A konténeres termesztésről igen kevés statisztikai adattal rendelkezünk, mind hazai, mind nemzetközi szinten. A konténeres termesztés hazája az USA, nem meglepő tehát, hogy itt a faiskolai termékek közel 70%-a konténeres áru (Janick, 2011). A konténerben termesztett dísznövények ezen aránya Magyarországon körülbelül 50%, jellemzően az örökzöldeket és a díszcserjéket termesztik ilyen módon nagyobb tételben (Jankuné Kürthy et al., 2010; MDSZ, 2014).

2.2. A konténeres termesztés

Az üzemszerű konténeres termesztés az USA déli államaiból indult a második világháború után. Európában az 1960-as évektől (Schmidt és Tóth, 2004), Magyarországon az 1970-es évektől kezdődően beszélhetünk konténeres termesztésről. A hazai áru kínálat zömét a Sasad Tsz, a Szombathelyi Kertészeti Vállalat faiskolája (ma Prenor Kft.) és a Siófoki Állami Gazdaság Alsótekeresi Faiskolája állította elő. A konténeres termesztés alatt ma azt a nevelésmódot értjük, amelynek során kis térfogatú, relatíve kis mennyiségű közegben, egy vagy több tenyészidőszakon keresztül neveljük a növényt, az eladható méret eléréséig (Davidson et al., 2000). A magyar szakma a konténer kifejezést elfogadta és az edényes termesztés helyett a konténeres termesztés szóhasználat van érvényben.

2.2.1. A konténeres kultúra termesztési sajátosságai

A konténeres kultúra gyors terjedésének az egyik legfontosabb oka, hogy így módon hosszabbá válik a telepítési és értékesítési szezon, s a növényeket így legvonzóbb állapotukban (virággal, lombdísszel, terméssel) lehet piacra vinni. A konténerben nevelt növény gyökérzete csak minimális mértékben sérül átültetéskor, ezért vegetációs időszakban is végezhető a telepítés, s a gyökérzetet a vevő teljes egészében megkapja, ami jelentős előny a növények megeredésének vonatkozásában. A konténerben nevelt növények több hajszálgökeket fejlesztenek a szabadföldi termesztésben nevelt növényekhez képest (Judd et al., 2015).

A mai korszerű egységakománny-képző rendszerek a növények mozgatását és szállítását is megkönnyítik (Majsztrik et al., 2017). A konténeres termesztés alapvetően megoldást jelent a melegigényes fás szárú dísnövények előállításában, mely ezáltal a melegebb klímájú területeken történhet. A konténeres nevelés további megoldást jelent az átültetést nehezen tűrő, esetleg mikorrhiza kapcsolatokat igénylő fajok esetében is (Landis et al., 1990). Egységes növényanyag állítható elő a növény számára optimális közeg, tápanyag- és vízellátás vagy helyigény szabályozása által. Gazdasági előnye, hogy a szabadföldi termesztéssel szemben a befektetett tőke hamarabb megtérül, javul a cash flow, mely a hosszabb értékesítési szezonból is adódik. A szabadföldi termesztés során a növény tápanyagot von el a talajtól, így szükségessé téve a terület 'pihentetését' vagy vetésforgó alkalmazását. A konténeres termesztés során a növény gyökérzete nem érintkezik a talajjal. További előnyt jelent,

hogy a konténeres kultúra nem igényel olyan nehéz fizikai munkát, mint a szabadföldi növények kitermelése során az ásás, valamint a talajművelő gépek sem okozhatnak kárt ezáltal a növényben. A konténeres termesztés során fellépő anyagmozgatási feladatok, valamint az ültetés és a szállítás folyamatai jól gépesíthetőek a szabadföldi termesztéssel szemben (Schmidt és Tóth, 2004).

A konténeres termesztés alapvető hátrányaként említhető viszont a magasabb előállítási költség. Növelik az előállítás költségét az értékesítési méretet elért, de el nem adott növények, melyek kinövik az edényt, így szükséges az átültetésük, akár több tenyészidőszakon keresztül is. A konténeres kultúrában, a szabadföldi körülményekhez képest a gyökérszét növekedésének alapvetően a konténer mérete és alakja szab határt. A hosszabb időn át konténerben nevelt növények gyökérszete beoregedhet, az oldalirányban fejlődő gyökerek a konténer falának ütközve elfordulnak és körkörösén nőnek tovább.

Az edények kis térfogatából adódóan öntözőrendszer telepítése nélkül nem megoldható a termesztés. A konténertelepen víz- és csurgalékvíz-elvezető rendszer kiépítése szükséges (EU-s irányelv), mely hozzájárul a konténertelep viszonylag magas létesítési költségeihez. A hidegebb éghajlatú területeken téli fagyvédelem szükséges, a konténerek, főleg a kis térfogatúak, könnyen átfagynak. A szabadföldi termesztéshez képest intenzívebb a műtrágya és egyéb vegyszerhasználat, több növényvédelmi feladattal jár a termesztés. A közeg gyakori kimosódása következtében az oldott sók feldúsulnak a megmaradó közegben, a magas sókoncentráció káros hatással van a gyökérszetre nézve (Davidson et al., 2000).

2.2.2. Konténertípusok a faiskolákban

A több évtizedes tapasztalatokra alapozva az 1980-as évek végétől napjainkig számtalan technológiai újítás jelent meg a nyugat-európai és főleg az amerikai piacon. A konténeres nevelésben az egyik leggyakoribb probléma, hogy a gyökér, növekedésekor elérve a konténer falát, elfordul és többszörösen körbecsavarodik. A kiültetést követően a gyökérszét egymásra tekeredve nő tovább, és az idősebb, fásodott gyökerek ily módon elszorítják a nedvkeringést (Kramer és Boyer, 1995), másrészt a nagyobb fák instabillá válnak. Ha azonban a gyökereket telepítéskor széthajtjuk, a talajba belegyökeresedésre készíthetjük. A művelet elejét veszi annak is, hogy a fellazított, tápdús ültetőközegben egy gyors nyári kiszáradás vagy egy téli élettani kiszáradás, esetleg fagyás a növény pusztulását okozza. A körbefordult gyökerek

széthajtásával, s több helyen történő átvágásával lehetővé tesszük továbbá, hogy a stabil pányvázógyökérzet kialakulhasson (Schmidt és Tóth, 2004).

Az alábbiakban azokat a konténertípusokat, technológiai változatokat mutatjuk be, melyek az egészségesebb, piacképesebb növény előállítása szempontjából jelentenek alternatívát a hagyományos konténerekkel szemben.

Bordázott és áttört falú konténerek

Az USA-ban és Nyugat-Európában a gyökérzet körbecsavarodásának megelőzésére a bordázott falú konténereket ajánlják. Egy tanulmány a bordázott falú termesztési rendszerek hatását vizsgálta *Salix nigra*, *Buxus microphylla* és *Koelreuteria paniculata* fajok konténeres nevelésében. A kontroll a hagyományos, kör keresztmetszetű, merev falú konténer volt. A növények magasságának és törzsátmérőjének változását mérték, valamint egy 1-től 5-ig terjedő skálán osztályozták a körbefordult gyökérzet mértékét. A bordázott falú konténerben nőtt növények magasabbak és nagyobb törzsátmérőjűek lettek, mint a hagyományos konténerben nevelt növények. A *S. nigra* lényegesen kevesebb körbefordult gyökeret fejlesztett, míg a *B. microphylla* és a *K. paniculata* esetében a bordázottság nem eredményezett kevesebb körbefordult gyökeret. A kísérlet eredményeként arra a következtetésre jutottak, hogy a gyökérzet körbefordulása a bordázott belső fallal rendelkező konténerekben alapvetően fajspecifikusan alakul (Appleton, 1989).

A bordázott falú konténerek egy másik típusa, a légbuborékos (*air pot*) falú konténer, melynek oldalán, a fal síkjából kiemelkedő dudorok találhatóak. A termesztőközeg nem tölti ki a mélyedéseket, így a fejlődő gyökér, elérve a mélyedésekben lévő légréseket kiszárad és nem fejlődik tovább (Privett és Hummel, 1992).

Az áttört falú konténerekkel végzett kísérletben a *Swietenia mahagoni* gyökérzetének szerkezeti alakulását vizsgálták a szabadföldi kiültetést követően nyolc hónappal. A kiültetést megelőzően sima, merev falú, hagyományos konténerben és áttört falú konténerben nevelték az egyedeket. A kísérlet végén megállapították, hogy az áttört falú konténerben kevesebb volt a körbefordult gyökérzet aránya. Több oldalirányú és nagyobb keresztmetszetű gyökér fejlődött, szemben a sima falú, hagyományos konténerben nevelt növények gyökérzetével (Gilman et al., 2015).

Alacsony profilú konténerek

Az alacsony profilú konténerben való nevelés elméleti háttere az, hogy természetes körülmények között a fák gyökérzetének nagy része a talaj felső 45 cm-es rétegében helyezkedik el, a teljes gyökérzet több mint felét pedig a talaj felső 15 cm-es rétegében találjuk. A természetben elterjedt konténertípusok magassága és átmérője általában megegyezik. A nagyméretű faiskolai konténerek ezáltal arányaikban mélyebbek annál, mint amilyen mélységet a fa gyökérzetének zöme elfoglal a természetben (Kramer és Boyer, 1995). Egy kísérletben a konténer magasságának és térfogatának változtatásával azt vizsgálták, hogy a *Pyrus calleryana* 'Aristocrat' és a *Populus maximowiczii* 'Androskoggin' fajták számára mely konténermagasság és -térfogat optimális a gyökérzet és a növényzet fejlődése szempontjából. A kísérlet során négyféle magasságú, polisztirolból kialakított hengeres konténert töltöttek meg egyaránt 17 liternyi közeggel. Az edény átmérőjét a magasság függvényében változtatták. Arra az eredményre jutottak, hogy a 20 és 30 cm-es magasságig töltött polisztirol konténerekben szignifikánsan vastagabb lett a törzsátmérő a vegetációs időszak végén, mint a 10 és 40 cm magasságú konténerekben nőtt egyedeknél. Megállapították azt is, hogy a kisebb méretű konténer visszafogja a fák növekedését, míg a túl nagy konténerben, a földlabdát nem szövi át eléggé a gyökérzet, így az kiemeléskor könnyen széthullik. A kétszer is megismételt kísérletet követően a kutatók arra jutottak, hogy 113 literes konténerben biztonságosan termesztendő a *Pyrus calleryana* 'Aristocrat' fajtája. A fa gyökérzete nem fordult körbe az edényben és teljesen átszötte a közeget (Milbocker, 1991).

A konténerek falának réztartalmú szerrel történő kezelése

A növények a réz ion formában képesek csak felvenni. A réz ion formában rövid ideig elérhető a természetben, hamar komplexet alkot más szerves anyagokkal. A növényre nézve akkor toxikus, ha ion formában és nagy mennyiségben van jelen egyszerre. A konténerek belső falára felvitt réztartalmú szerekben a réz biológiailag inaktív állapotban, csak lassan és kis mennyiségben táródik fel. A természetközeg és a konténerfal határán megjelenő gyökerekre, a feltáródó réz növekedésgátló hatást fejt ki. A kísérletek azt mutatják, hogy a toxikus hatás kiváltásához, nem táródik fel

elegendő mennyiségű réz ion egy időben, illetve nem transzlokálódik a növény többi részében (Crawford, 2003).

Egy kísérletben réz-hidroxid tartalmú festékekkel vonták be a konténer belső falát. A rezes lemosó permetezésekhez használt Kocide™ 101 WP szerből, fehér akril latex festékhez és NuFilm-17 tapadásfokozó szerhez is 100-100 grammot keverték literenként. Kontrollként a festékhez és a tapadásfokozóhoz nem adagoltak réz-hidroxidot. A *Swietenia mahagoni* réz-hidroxid mentes festéknél 16-18%, a csak tapadásfokozóval kezelt konténerben pedig 25%-a nőtt körkörösén a gyökereknek. A réztartalmú festékekkel és tapadásfokozóval bevont falú konténerben 1% alattira csökkent a körkörösén nőtt gyökérzet aránya. A *Carpentaria acuminata* esetében, a réz-hidroxid kezelés hatására 50%-ról 15% alá csökkent a körkörösén nőtt gyökérzet aránya (Svenson és Broschat, 1992).

Konténer talajba süllyesztése

A konténer talajba történő süllyesztésével megvalósított termesztés kombinálja a szabadföldi és a konténeres termesztés előnyeit. A konténeres kultúra korábban tárgyalt előnyei a szabadföldi termesztéssel szemben ez esetben is mind érvényesülnek, azzal kiegészülve, hogy a közeg kevésbé melegszik át, és a talaj rögzítő hatása a konténer talajba süllyesztésével megvalósul.

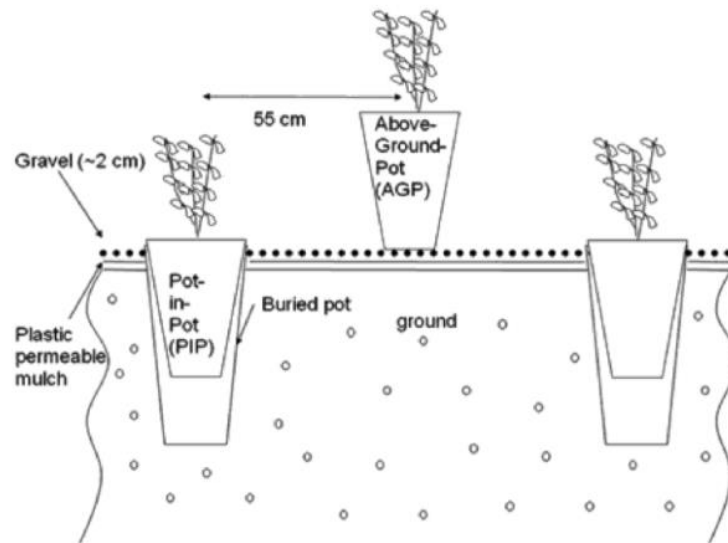
A szövetkonténer vagy szövetzsák talajba süllyesztése az egyik első ilyen termesztéstechnológiai megoldások egyike. Cole és munkatársai (1998) összegyűjtötték azokat az eredményeket, melyek alapján teljesebb képet kaphatunk a lesüllyesztett szövetkonténer hatásáról a növekedésre vagy a gyökérzet szerkezeti fejlődésére vonatkozóan (Cole et al., 1998). Egy lomblevelű örökzöld és egy félorokzöld fajt (*Ilex × attenuata* 'East Palatka' és a *Quercus laurifolia*) háromféle termesztési módszert alkalmazva neveltek két tenyésztési időszakon keresztül merev falú, műanyag konténerben, illetve rugalmas falú szövetkonténerben (*Gro-bags*, *Root Control*) szabadföldi kiültetéssel összehasonlításban. Az eredmények azt mutatták, hogy a hajtások és a gyökérzet száraz tömegének egymáshoz viszonyított aránya a szabadföldön és szövetzsákban nevelt *Q. laurifolia* egyedeknél magasabb arányú volt, mint az *I. × attenuata* 'East Palatka' esetében a hasonlóan nevelt egyedeknél. Ezekkel a módszerekkel mindkét faj több hajszálgyökeret (2 mm és annál kisebb átmérőjű gyökér) fejlesztett, azonban a teljes gyökérzet száraz tömege kisebb volt. A

gyökérlabdán belüli és kívüli gyökereket is értékelték olyan módon, hogy öt átmérőosztályba sorolták azokat. A legtöbb gyökér a gyökérlabda belsejében nagyobb, mint 10 mm átmérővel rendelkezőt mindkét faj esetében, függetlenül a termesztésmódtól. A hagyományos konténerben nevelt fák fejlesztették a legkevesebb 10 mm-es vagy annál nagyobb átmérőjű gyökereket a gyökérlabda belsejében (Gilman és Beeson, 1996). Egy hasonló kísérletben a *× Cupressocyparis leylandii*, a *Quercus hemisphaerica* és a *Pinus elliottii* fajokat vizsgálva azt tapasztalták, hogy a hagyományos konténerben nevelt egyedek nőttek a legalacsonyabbra, míg a szövetkonténerben és a szabadföldön neveltek magasságban nem különböztek egymástól, kivéve a Leylandi-ciprust, ahol is a szabadföldi egyedek magasabbra nőttek, mint a szövetkonténerben nőtt növények. Utóbbi konténerben nagyobb gyökérsűrűséget (gyökér száraz tömege egységnyi térfogatú talajban) mértek mindegyik faj esetében. A szabadföldi kiültetést követően azt tapasztalták, hogy a szövetkonténerben nevelt *× Cupressocyparis leylandii* és a *Pinus elliottii* nagyobb tömegben fejlesztett új gyökereket, mint az eredetileg is szabadföldön nevelt társaik (O'Connor et al., 2013).

2.3. A pot in pot (PIP) termesztési rendszer bemutatása

A PIP rendszer egy alternatív faiskolai termesztéstechnológiai módszer. A termesztéshez kialakított PIP parcellában ún. állandó konténereket süllyesztenek a talajba, melybe belehelyezik a termesztőcserepet, ami a termeszteni kívánt növényt tartalmazza (1. ábra) (Newman, 2014). Eredetét tekintve az 1980-as évek végén írták le először pot in pot néven az USA-ban (Geneve, 2017), azonban 1981-ben a módszert 'Minnesota System' néven már publikálták (Pellet, 1981).

A PIP termesztéstechnológia a növekvő trendet mutató konténeres termesztés részeként, alternatívájaként, a hazai faiskolai termesztésben is jelen van. Jellemzően a földlabdás termesztéssel szemben megjelenő előnyeit hangsúlyozzák: a növény egész évben értékesíthető, a termesztési cseréppel együtt szállítható, illetve a gyökérzet nem sérül az átültetéskor. A hagyományos, talajfelszín feletti konténeres termesztéssel szembeni legnagyobb előnyét azonban a környező talaj szigetelő hatása, illetve az így nyújtott támaszték jelenti. Jellemzően továbbnevelt fákat, nagyméretű cserjéket nevelnek ilyen módon (Ingram et al., 2016; Newman, 2014).



1. ábra. A PIP rendszer sematikus ábrázolása (Miralles et al., 2012).

2.3.1. A PIP rendszer telepítésének fizikai és gazdasági követelményei

Az USA-ban az 1990-es évek óta hektárszám növelik a faiskolák a PIP termesztési területeiket. A PIP termesztéstechnológia telepítésének fontosabb lépéseit, a követelményeket, ajánlásokat elsősorban az amerikai faiskolai szakemberek ajánlása, de lengyel és magyar ajánlásokat is figyelembe véve tárgyaljuk.

A terület kiválasztásánál célszerű figyelembe venni, hogy a terület nagyobb fokú lejtése ($> 3\%$) a víz felgyülemelését eredményezheti a lejtő alján, és így az az ott lévő növények gyökérzetét károsítja. A terület kiválasztásánál kardinális kérdés a talajadottság. A talajszerkezet jól strukturált, mélyrétegű, jó vízáteresztő képességgel kell, hogy rendelkezzen. Célszerű olyan területet választani, ahol legalább 60 cm mély a talaj az alapkőzetig. A homoktalajok gyorsan elvezetik a vizet, de nem biztosítanak kellő tartást az állandó cserépnek. A kötött talajok ebből a szempontból jobb választásnak tűnnek, de ott a vízelvezetést dréncsövek lefektetésével meg kell oldani. A szakemberek egyetértenek abban, hogy a lazább szerkezetű talajokon célszerűbb a PIP rendszer telepítése (Geneve, 2017; Halcomb és Fare, 2009).

A következő lépés a területen a helyek kijelölése az állandó cserepek számára. A sorok, illetve a lyukak távolsága, mérete a telepíteni kívánt növénytől is függ. A sortávnál a gépesítést is kell figyelembe venni. Ezt követi a lyukak ásása, mely történhet akár ásóval, de gödörfúró gép segítségével is. Ekkor lehetőség van próbalyukak ásására, a talaj vízelvezető képességének ellenőrzéséhez. A konténerek telepítését úgy érdemes kivitelezni, hogy a földből 3-10 cm-nyi kilátszódjon a cserépből, a környező talaj bemosódásának megelőzése céljából. A PIP termesztésben alkalmazott konténerekkel szemben támasztott első és legfontosabb követelmény az ellenállóság. Az állandó cserepeknek elég ellenállónak kell lenniük ahhoz, hogy a körülöttük lévő földet megtartsák, a föld ne tudja összenyomni őket. Az állandó cserép több éven keresztül is a földben tud maradni. Az állandó és termesztési cserepeknek olyan átmérőjűeknek kell lenniük, hogy egymásba ne ragadjanak, a termesztési cserép eltávolítása könnyű legyen. A különbségnek azonban túl nagyoknak sem szabad lenni. A telepítés során ún. szervizút kialakítása is szükséges lehet a kitermelés megkönnyítése céljából. A sorközök gyommentesen tartása megoldható geotextil lefektetésével, illetve füvesítéssel is (Geneve, 2017; Halcomb és Fare, 2009; Marczynski, 2001).

A PIP termesztésben – a hagyományos konténeres termesztéshez hasonlóan – a növények vízigényük szerint csoportosítandók. A hagyományos konténeres termesztésben a felső szórófejes öntözés terjedt el, míg a PIP rendszer esetében a csepegtető öntözés jellemző. A jó öntözési gyakorlat maximalizálja a növekedést és csökkenti a stresszt, mely utóbbi a naponta többszöri, kis vízáradag kijuttatással elérhető. Lényeges különbség, hogy a PIP rendszerben akár 2-3 napig is bírják a növények víz nélkül, míg a hagyományos, föld feletti konténerek esetében a meleg napokon súlyos károkat szenvedne a növény (Halcomb és Fare, 2009; McNeil et al., 1998). A faiskolai termesztés során az öntözővíz magas só koncentrációja általános és gyakori probléma. 1,5-2,0 mS/cm EC értékű víz optimálisan felvehető a növény számára. Minél kisebb az öntözővíz EC értéke, annál több tápanyag adagolható mellé, így kiegészítve az 1,5-2,0 mS/cm értékig. A termesztőközegben a tápelemeket a növények akkor tudják a legkönnyebben felvenni, ha a pH-érték 6,0-6,5. Az öntözővíz egyben tápoldat is, hiszen N, P, K, Ca, Mg, Cl tartalma tápelemként hasznosul (Bartha, 2011).

2.3.2. A PIP rendszer tőkeigénye és költségstruktúrája

A PIP rendszer hátrányaként a magas telepítési költséget jelölik meg a legtöbben. Az USA-ban egy négyzetméter pot in pot telepítése 2,7 USD (Bartha, 2011). Különböző termesztési módokon előállított növények tőkeigényét számították ki egy tanulmányban. A három faiskolai termesztésmód (szabadföldi - *in field* (IF); konténeres - above ground container (AGC); pot in pot (PNP)) tőkeigényét, a gépesítés és termelés költségeit mutatja az 1. táblázat. A piacképes növény teljes termelési költsége haszonlóan alakult a különböző termesztési módok között, a szabadföldön előállított *Lagerstroemia* sp. 7210,28 HUF (23,73 USD), a hagyományos konténerben nevelt növény 7204,20 HUF (23,71 USD) volt, míg a PIP minimálisan, de kevesebbe került, mint a másik két módon előállított növény, 6538,78 HUF (21,52 USD) volt növényenként. Tekintve hogy a kalkuláció kb. 20 évvel ezelőtti adatokkal számol, az arányokat, s nem a konkrét értékeket érdemes elsősorban figyelembe venni.

1. táblázat. A különböző faiskolai termesztésmódok költségigénye (USD) ~4 hektáros termőterületen, 3 éves termesztési ciklusra vetítve, a *Lagerstroemia* sp. példáján (McNiel et al., 1998)

Item	Production System (\$)		
	IF ^z	AGC ^y	PNP ^x
Capital requirement	210,840	223,170	224,260
Machinery/equipment operation	26,370	15,650	15,700
Fixed Cost	352,880	350,450	374,525
Per plant	18.58	16.35	16.05
Variable Cost	97,790	157,650	127,680
Per plant	5.15	7.36	5.47
Total Cost	450,670	508,100	502,205
Per plant	23.73	23.71	21.52

^zIn-field.

^yAboveground container.

^xPot-in-pot.

Egy közelmúltban született tanulmány azt vizsgálta, hogy a faiskolai növény teljes életciklusa során, mennyi üvegházhatású gázkibocsátás történik (*global warming potential*). A termelési ciklus alatt ez az érték pozitív, majd a kiültetést követően – a növény szén-dioxid megkötése következtében – az érték negatív. A számítást 5 cm törzsméretű faiskolában nevelt *Acer rubrum* fafajra, a növény teljes

életciklusára vonatkozóan végezték el. Az eredmény azt mutatja, hogy a szén-dioxid-egyenérték (CO₂e) végeredményben negatív, tehát a fa élete során több CO₂-ot köt meg, mint amennyi szén-dioxid kibocsátás történik a termelésben. A (CO₂e) kisebb a PIP rendszerben nevelt növényeknél és némiképp magasabb a földlabdásként kitermelt növények esetében. A költségösszetétel alapján a szabadföldi termesztés egyenlege kevesebb a PIP rendszerhez képest (250 és 236 USD) (Ingram et al., 2016).

2.3.3. A PIP rendszerben nevelt növények sajátosságai, kutatási eredmények

A PIP rendszer egyik legnagyobb előnyének tartják, hogy a környező talaj szigetelő hatása révén, mérsékli a gyökérszóna hőmérsékletének ingadozását. A gyökérszóna optimális hőmérsékleti határértékeinek meghatározásával kapcsolatosan több tanulmány is született az elmúlt évtizedekben. Ezeket foglalták össze Ingram és munkatársai (2015).

A nappól érkező elektromágneses sugarak egy részét a konténer felszíne és oldalfala elnyeli, egy részét visszaveri. A konténerfelületek által elnyelt hőenergia hővezetéssel jut el a termesztőközeg belsejébe, a gyökérszónához. A faiskolai termesztésben, gyakori a 1,5-2-3 literes konténerek használata. A kis térfogat:felület arány következtében, a gyökérszóna hőmérséklete gyorsan változik és extrémításokat mutat, mind a téli mind a nyári időszakban. A növény szempontjából optimális gyökérszóna hőmérséklet 26-29°C között mozog, 38°C fölött a növekedés megáll, ekkor hőstressz indukálta vízstressz és számos fiziológiai változás következik be a növényben. A kritikus hőmérsékleti érték, mely a sejtmembránok sérülését okozza, a kitétséggel lineárisan csökken, amennyiben a kitétség ideje exponenciálisan nő. A kutatások azt mutatják, hogy amennyiben a gyökérszóna hőmérséklete napi 6 órán át, 38-40 °C között alakul, az a növény fiziológiai folyamatainak indirekt sérüléséhez vezet. A rövid ideig tartó 46-52°C-os kitétség, a sejtmembrán sérülését okozza (Ingram et al., 2015). A gyökérszóna minimum hőmérsékleti határértékeit konténeres *Acer* sp. fajok esetében figyelték meg. Az *Acer rubrum* és az *Acer saccharum* fák gyökérfejlődése március elején, körülbelül egy hónappal a rügyfakadás előtt kezdődött. A gyökérszóna drasztikusan lelassult a rügyfakadás kezdetén, valamint ősszel is, amikor a közeg hőmérséklete 5-7°C-ra csökkent. A tél folyamán az *Acer rubrum* gyökérszóna teljesen leállt, *Acer saccharum* gyökerei azonban minimális aktivitást mutattak. (Harris és Fanelli, 1999).

A konténer talajba süllyesztésével, a hőenergia áramlási törvényszerűsége (termodinamikai főtétel) következtében, a magasabb hőmérsékletű hely felől, az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé áramlik a hőenergia. Így a PIP rendszerben télen, az altalaj felől érkező magasabb hőmérséklet mérsékli a konténer áthűlését. Nyáron a konténer hőmérséklete magasabb, mint az alsóbb talajrétegekben, így ekkor a konténertől áramlik a hőenergia az alsóbb rétegekbe. A PIP rendszerben a gyökérzetnél 1,5°C-kal hűvösebbet mértek, mint a föld feletti konténeres esetében (Ruter, 1996). A cserepek földbe süllyesztése csökkentett hőterhelést jelent a gyökérzet számára a nyár folyamán (Halcomb és Fare, 2009). A kutatások azt mutatják, hogy mindez jelentős hatással van a gyökérzet fejlődésére (Miralles et al., 2016) és a teljes növény egészségi állapotára (Mathers, 2003). Lombhullató fák esetében a gyökérzóna hőmérsékleti mérések (*Acacia smallii* és *Cercidium floridum*) azt mutatták, hogy a PIP rendszerben, április és október között 19°C volt az átlagos maximum hőmérséklet (Tempe, Arizona, USA), míg a hagyományos konténeres termesztésben ennél magasabb értéket detektáltak (Martin et al., 1999). A lomblevelű örökzöld *Myrtus communis* átlagos havi maximum közeghőmérséklete 6,3-8,6°C-kal volt alacsonyabb, ugyanakkor a havi minimum 2-5°C-kal magasabb a PIP rendszerben, mint a hagyományos rendszerben. Az egy éves termesztési ciklus végén megmérték a gyökérzet száraz tömegét, ami 14%-kal magasabb volt a PIP rendszerben, mint a hagyományos rendszerben nevelt mirtusz esetében (Miralles et al., 2009)

Ruter (1998) tanulmánya szerint a PIP termesztés és a csepegtető öntözés együttes hatásaként a vizsgált növények magassága és törzsátmérője 10%-os többletnövekedést mutatott (Ruter, 1998b). A PIP rendszerben a műtrágya hosszabb élettartamú, az alacsonyabb közeghőmérséklet következtében (Ruter, 1998a). Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a PIP-ben termesztett növények nagyobb biomassza- és szárazanyag-tartalmat produkáltak, különösen a gyökérzet esetében (Martin et al., 1999; Schluckebier és Martin, 1997)

2.4. A fás szárú növények fotoszintetikus aktivitását befolyásoló tényezők

A fotoszintetikus gázcsere a levél és a környezete között megy végbe. A szén-dioxid abszorpciója a sztómákon keresztül történik, hajtóereje a szén-dioxid koncentrációs gradiens a levél és a környezete között.

Számos környezeti tényező befolyásolja a fotoszintézist, ideértve a fényt, a hőmérsékletet, a levegő szén-dioxid koncentrációját, a levél és környezete vízgőznyomásának a különbségét, a természetes vízellátást, a talaj termékenységét, sótartalmát, a szennyező anyagok, kórokozók és kártevők jelenlétét, illetve e fentiek kölcsönhatását. Rövidtávon (napok-hetek) a sztómareguláció és a mezofil sejtek fotoszintetikus kapacitása által, míg hosszabb távon a növekedés ütemén illetve a levélfelület-változáson keresztül érvényesül a környezeti tényezők hatása. A sztómamozgást a megvilágítás periódusa is befolyásolja, fény hatására fotoaktív nyitódás jelentkezik (Hopkins és Hüner, 2004; Pallardy, 2008). Alábbiakban e tényezők szerepét tárgyaljuk részletesen.

2.4.1. A fényintenzitás és a hőmérséklet hatása a fotoszintetikus aktivitásra

Sötétben nincs fotoszintézis, csak légzési szén-dioxid termelés, a fényintenzitás növekedésével azonban emelkedik a fotoszintetikus ráta az ún. fénykompenzációs pontig. Ekkor a fotoszintetikus szén-dioxid megkötés és a légzési szén-dioxid termelés mértéke megegyezik, vagyis ekkor nincs nettó gázcsere a levél és környezete között. E ponton a növény a légzési szén-dioxidot hasznosítja a fotoszintézisben, nincs szervesanyag gyarapodás. A fénykompenzációs pont faji és genotipikus jelleget mutat (Pallardy, 2008). A fénykompenzációs pont a hőmérséklet függvénye is, mely a növényházi nevelésben télen könnyen meghaladhatja a megvilágítás mértékét, így a növények hamar eléri a fénykompenzációs pontot, ahol megszűnik a szervesanyag gyarapodás (Pethő, 2006). A fénykompenzációs pont fölötti további fényintenzitás növekedésével a fotoszintézis sebessége lineárisan növekszik, egészen a fénytelítettségig. Ezt követően a fényintenzitás növekedését nem követi a fotoszintetikus ráta emelkedése. Tekintve, hogy a C4-es típusú növényeknél (pl.: kukorica) nincs fénytelítődési pont, a fotoszintézis extrém nagyságig nőhet a fényintenzitás emelkedésével. A C3-as növényeknél azonban e ponton túl már nem növekszik, akár csökkenhet is a fotoszintézis sebessége (Hoffmann, 2011).

Pallardy (2008) korábbi tanulmányok összegzéséből megállapította, hogy a fák (*Acer saccharum*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus radiata*) lombkoronájának a fényhasznosítása (*light use efficiency*) magasabb a szórt fényben (felhős időben), mint direkt fény hatására. Ennek oka, hogy - noha a fotoszintetikus aktivitás csökken ugyan - szórt fényben a levélfelszínre eső fotoszintetikus fotonáram-sűrűség (PPFD) kisebb, mint direkt fényben, így a fényteltődési pont alatt maradva továbbra is van szén-dioxid asszimiláció. Az árnyéktűrő fajok fotoszintetikus apparátusa az alacsony, illetve a rövid ideig tartó besugárzáshoz alkalmazkodott. A fejlődésükhöz így a rendelkezésre álló fényt nagyobb hatékonysággal kell felhasználniuk. A díszcserjék között – a szukcesszióban és az erdő hierarchiájában elfoglalt helyük szerint – sok árnyéktűrő fajjal találkozunk (Schmidt és Tóth, 2006). E fajok nem igénylik, csupán elviselik az árnyékot. Egy kísérletben konténeres *Viburnum tinus* 'Eve Price' növényeket neveltek különböző fényintenzitásokon (a *Viburnum*-ok nagy része tipikus alsó koronaszintben élő faj). Azt találták, hogy a teljes napfény alatt nevelt egyedek oszlopos parenchima sejtjeinek száma nem nőtt meg, mint az a magas fényintenzitáshoz való akklimatizáció révén várható lett volna. A levelek árnyékban ugyanis vékonyabbak, de nagyobb felületűek, míg napon kisebbek, de vastagabbak. A magas fényintenzitáshoz pedig úgy akklimatizálódnak, hogy a mezofil szövet vastagabb lesz, melyben az oszlopos és szivacsos parenchima sejtek felelnek az asszimilátumok készítéséért és raktározásáért. A vastagabb mezofil réteg parenchima sejtjei nagyobb felületűek lesznek, így megkönnyítve a szén-dioxid diffúzióját és csökkentve a szövetközi folyadék mennyiségét és annak ellenállását (Fini et al., 2010).

A fotoszintézis intenzitását a fény és a hőmérséklet kölcsönhatása befolyásolja. A fotokémiai rendszert a fényintenzitás, míg a biokémiai folyamatokat a hőmérséklet szabályozza. Így a fényteltődési görbe alakulását a hőmérséklet is nagyban befolyásolja. A legtöbb mérsékelt égövi fajnál a fotoszintézis mértéke fagyponthoz közelről a hőmérséklet emelkedésével növekszik, míg eléri maximumát 15 és 25°C között. A téli nyugalmi időszakban vagy a néhány napig tartó fagyos, illetve a fagyponthoz feletti, de alacsony hőmérsékletű időszakban egyaránt csökken a fotoszintetikus aktivitás. De igaz ez 40-45°C felett is, amikor gyakorlatilag nulla a szén-dioxid asszimiláció értéke (Pethő, 2006).

A talajhőmérséklet hatását a fotoszintetikus rátára elsősorban a konténeres növények esetében szeretnénk bemutatni. Kapcsolódó fogalomként jelenik meg a gyökérszóna-hőmérséklet (*Root Zone Temperature - RZT*). Az ezzel kapcsolatos kutatások azt mondják, hogy a fotoszintetikus ráta szempontjából kritikus, ha a gyökérszóna hőmérséklete 32°C fölé emelkedik. A fotoszintetikus aktivitás csökkenését azonban nem kizárólag maga a gyökérszóna-hőmérséklet változása, hanem a kapcsolatos megjelenő víz- és hőstressz, illetve a klorofill, karotinoid, K elérhetősége, és/vagy a csökkent RuBisCo enzim aktivitás együttesen váltja ki (Ingram et al., 2015).

2.4.2. A víz- és tápanyagellátás, valamint a növényi faktorok (levél életkor, lombszerkezet, sztóma karakterisztika, faji jelleg) hatása a fotoszintetikus aktivitásra

A vízellátottság és a fotoszintetikus ráta szoros összefüggést mutat. Amennyiben a levél vízhiányos állapotot mutat, úgy csökken a fotoszintetikus ráta. A növényben fellépő vízhiány hatására abszcizinsav (ABA) szabadul fel, mely serkenti a sztómazárást. Az nem tisztázott, hogy a növényi sejt miképpen érzékeli pontosan a vízhiányt, illetve hogy hogyan indítja el az ABA a sztómák záródását (Hopkins és Hüner, 2004; Pallardy, 2008).

A vízstressz hatására fellépő sztómazáródás a szén-dioxid diffúzióját is gátolja egyúttal, nemcsak a vízkilépést. Így a fotoszintetikus ráta csökkenését tulajdonképpen a csökkent szén-dioxid ellátás okozza. Ha a megvilágítás továbbra is bőséges és a szén-dioxid belépés gátolt, reaktív oxigénformák keletkeznek, melyek károsítják a fotoszintetikus apparátust. A fotoszintetikus ráta csökkenése a fénytáplálást tükrözi ilyen esetben. Árnyékadaptált növényeknél alacsonyabb fényteltelődést követően kezdődik meg a fotoszintetikus ráta csökkenése (Bratek et al., 2013; Pethő, 2006).

Tápanyaghiány esetén, különösen a makroelemek tekintetében, a levelek nem hasznosítják megfelelő mértékben a fényenergiát, ezért fényteltelődési görbéjük is alacsonyabb. A szakkönyvek jellemzően a nitrogénellátás csökkenésének hatását emelik ki a fotoszintézisre nézve. A fogalomkörbe tartozó mutatók közül a fotoszintetikus kapacitás (egységnyi levélfelület fotoszintetikus rátája fényteltelődésnél, optimális hőmérséklet és normál szén-dioxid, illetve oxigénellátottság mellett) különösen érzékeny a nitrogén-ellátottságra. A nitrogénhiány egyik hatása tehát a fotoszintetikus enzimek mennyiségének és aktivitásának a csökkenése,

de a levélfelület és más tényezők is kétségtelenül szerepet játszanak a fotoszintetikus kapacitás csökkenésében (Hopkins és Hüner, 2004; Pethő, 2006).

A fotoszintézis intenzitását a levelek kora és fejlettségi állapota is nagyban befolyásolja. A szervesanyag termelés a reproduktív fázisban, a virágzáskor a legnagyobb. Ekkor a levél biztosítja a szervesanyagot a reproduktív részek felé. A levél előregedésekor (szeneszcencia), a klorofill és a fotoszintetikus enzimek mennyisége és a fotoszintetikus kapacitás is csökken. Egy növénynek egyszerre vannak fiatal és idős levelei, így ezek fotoszintetikus intenzitása is eltérő.

Másként alakul az örökzöld és lombhullató fajok fotoszintetikus kapacitása. Előbbi növénycsoporté alacsonyabb, mint a lombhullató fajoké, mert a levél kifejlésztésére több energiát fordítanak, illetve hosszabb időt igényelnek a teljes kifejlődésig. Így az alacsony fotoszintetikus kapacitás – mely a bevételi oldal – és a nagyobb energiaigény a téli lomb megtartására – mely a kiadási oldal – még mindig jobban megéri a növénynek, mint új lombot fejleszteni minden évben (Fehér, 2019; Hopkins és Hüner, 2004; Pethő, 2006).

A lombzat szerkezete, annak életkora, benne az egyes levelek közötti tér, illetve a levél elhelyezkedésének szöge összességében mind hatással vannak a fotoszintetikus aktivitásra, rövid és hosszú távon is. A lombkorona vagy lombzat tetején elhelyezkedő levelek sokkal inkább kitettek a közvetlen napsugárzásnak, mint az alsó levelek. A lombkorona alsó szintjein, a beeső sugárzás van, hogy a 10%-ot sem éri el, itt a levelek fotoszintézisének rátája a fénykompenzációs pont alatt marad a nap folyamán, és negatív szénmérleget produkálva (a respiráció révén) hamar előregszik, majd lehullik. Közép-európai mérsékelt övi erdőkben együtt élő fajokon (*Acer pseudoplatanus* L., *Carpinus betulus* L., *Fraxinus excelsior* L. és *Tilia platyphyllos* Scop.) kimutatták, hogy a levélgázcsere levél-gázcsere növeli a lombkorona gázcseréjének térbeli heterogenitását (Hölscher, 2004). Egy hasonló tanulmány azt mutatta, hogy a *Fraxinus angustifolia* felső lombkorona szintben mért fotoszintetikus rátája fényteltettségnél (A_{max}) körülbelül $16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ volt. Ugyanakkor a *Quercus robur* felső lombkorona szintben mért A_{max} csak körülbelül kétharmadát érte el a kőrisnél mértékhez képest (Kazda et al., 2000). Tóth és munkatársai (2015) hárs fajtáknál augusztusi hőségnapon $8\text{-}12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ értékeket mértek (Tóth et al., 2015).

Megfigyelték továbbá, hogy laboratóriumi körülmények között a levél klorofill tartalma és a szén-dioxid felvétel korrelál. Szabadföldi körülmények között azonban ez nem mutatható ki, tekintve hogy a klorofill tartalom hatása nem dominál a többi környezeti hatással szemben (Pallardy, 2008). A színes, illetve tarka levelű dísznövényfajok esetében több tanulmányban is összehasonlították azok fotoszintézisét, azonban az eredményekre ellentmondásosak. A legtöbb eltérést feltehetően a növény/levél kora, az antociános elszíneződés illetve az eltérő fényviszonyok okozhatták (Borek et al., 2016).

Általánosan elmondható, hogy a lombhullató fajok fotoszintetikus kapacitása magasabb, mint az örökzöldeké (Pallardy, 2008). Ez annak is köszönhető, hogy a legtöbb fenyőfélén a tűlevelek több mint két évig fennmaradnak, így szélesebb hőmérsékleti skálán kell a növénynek a fiziológiai folyamatait működtetni. Ennek következtében, az örökzöldek fotoszintetikus aktivitása szűkebb skálán mozog, mint a lombhullatóké (Teskey et al., 1995).

A fotoszintetikus ráta mérések, a rövid távúak is, jól rávilágítanak a faji vagy genotipikus jellegre, azonban a növekedési paraméterek tekintetében (biomassza és szárazanyag felhalmozódás) nem feltétlenül adnak jó becslést (Pallardy, 2008).

2.5. A fás szárú növények transzspirációjának sajátosságai, befolyásoló tényezők

2.5.1. A transzspiráció fizikai és fiziológiai folyamatai

A transzspiráció során a növény vízgőz formájában ad le vizet a környezetének, melyet bizonyos mértékig szabályozni is képes. A transzspiráció fizikai és fiziológiai folyamat is egyben. A vízgőz leadásában a fizikai törvényszerűségek is érvényesülnek. A párologó növényi sejtfelület vízgőz koncentrációját elsősorban annak vízpotenciálja és hőmérséklete befolyásolja. A víz útja a növényben a vízpotenciál különbségekkel írható le. A gyökér vízpotenciálja kisebb, mint a talajé, majd a levelekig a vízpotenciál egyre negatívabb, ez a szívóerő biztosítja a víz mozgását a növényben (Anda és Kocsis, 2010). A sztóma (zárósejt) alatti térben a víz már vízgőz formában van jelen – vagyis a növényen belül megtörténik a párologás. A hőmérséklet emelkedésével, a párologó sejtfelületen egyre több vízmolekula lép át a gázfázisba, mely megnöveli a sztóma alatti térben a vízmolekulák koncentrációját. A sztóma alatti térben ezért telített

vagy közel telített a gőznyomás, így – Fick diffúziós törvénye alapján – a vízmolekulák a környező légtérbe diffundálnak (mely jellemzően telítetlen és alacsony víztartalmú). A transzspiráció hajtóereje tehát a növényi szövet 'belső légtere' és a környező levegő vízgőz-koncentrációjának a különbsége (Pallardy, 2008).

A vízgőz diffúziója a sztómaikon keresztül történik, melyet sztomatikus transzspirációnak nevezünk. A levelek vízvesztésének 90-95%-a a sztómaikon keresztül történik, noha a levélterület 1%-át teszik ki körülbelül a zárósejtek. A sztómaik eloszlása/sűrűsége a levélen nagyban függ a fajtól, a levél pozíciójától, a környezeti kondícióktól illetve a kromoszóma készlettől (Hopkins és Hüner, 2004). Egy közelmúltban született tanulmány azt is megállapítja, hogy a növényi genom mérete pozitívan korrelál a sztóma méretével, illetve az életforma szerint növekvő sorrendben a fászerű, majd a lágyszárú növények és végül a geofitonok sztóma mérete a legnagyobb (Hodgson et al., 2010).

Amikor a vízgőz nem a sztómaikon, hanem a kutikulán keresztül távozik kutikuláris transzspirációnak nevezzük, mely a vízvesztés kb. 5-10%-át adja. A kutikulát jellemzően viasz és egyéb hidrofób anyagok alkotják, így a víz számára átjárhatatlan, kis mennyiségű vízgőz azonban így is képes távozni. A kutikulán át történő vízvesztés mértéke változó, nagymértékben függ az adott fajtól, fajtától. A száraz élőhelyek növényei vastagabb, míg az árnyéki fajok vagy nedves élőhelyek növényei vékonyabb kutikula réteggel rendelkeznek (Hopkins és Hüner, 2004; Pethő, 2006). Ezen alapszik az a hipotézis, mely szerint a környezethez való alkalmazkodás képességét jelzi a kutikula vízáteresztő képessége. Ezt a hipotézist tesztelték egy tanulmányban, 160 növényfajon, 11 különböző életformájú növényeken. A vizsgálat azt mutatta, hogy a szárazság stressznek rendszeresen kitett növény kutikulájának nem lett alacsonyabb a vízáteresztő képessége, – mint azt várták – az optimális körülmények között nevelt egyedekéhez képest. A kutatók úgy ítélték meg, hogy vagy a hipotézis elvetése szükséges, vagy a statisztikai módszer nem volt megfelelő annak alátámasztására (Schuster et al., 2017).

2.5.2. A sztóma szabályozó szerepe a transzspiráció során

A zárósejt pórusának méretét a zárósejtek és a szomszédos sejtek turgora szabályozza. A növekvő turgornyomás megnöveli, a csökkent turgor csökkenti a zárósejt pórusának méretét. A zárósejtek turgora az ozmotikus vízfelvétel útján alakul

ki, az ozmotikus alkotóelemek közül pedig a zárósejt K^+ ion szintje illetve a felhalmozódás mértéke az elfogadott magyarázata ma, a zárósejtek nyitásának illetve zárásának (Hopkins és Hüner, 2004). A zárósejtek reagálnak a környezeti változásokra, illetve az endogén ingerekre. A fény hatására, illetve amikor az intercelluláris térben alacsony a CO_2 koncentráció, kinyílnak, sötétben pedig bezárnak. Száraz levegő hatására, még a turgescens állapotú levélen is bezárnak a sztómák. Sztómazáródás következik be akkor is, ha a levelek dehidratálttá válnak. Ez egyszerűen a turgor veszteség illetve hormonális hatások következménye. Tudományosan elfogadott, hogy a sztómák bezáródnak, ha fokozott abszcizinsav-koncentrációnak vannak kitéve, mely a gyökérben keletkezik és a xylémen át jut a levelekbe (Pallardy, 2008).

A zárósejtek közötti résen keresztül kiáramló vízgőznek több ellenállást is le kell győznie, hogy a környező légkörbe diffundáljon. A víz mozgásával szemben fellépő első ellenállás a kutikuláris ellenállás, majd a sztómaellenállás és végül a levelet körülvevő légréteg ellenállása, a határréteg ellenállás. A transzspiráció meghatározható a levél és az azt körülvevő levegő vízgőz-koncentráció különbsége és a víz útjában fellépő összes ellenállás hányadosaként.

$$T = \frac{C_{levél} - C_{levegő}}{r_{levél} + r_{levegő}}$$

Az egyenletben a T a transzspiráció, a $C_{levél}$ a levélszöveten belül, a mezofil réteg vízgőz-koncentrációja, a $C_{levegő}$ a környező levegő vízgőz koncentrációja. Az $r_{levél}$ és az $r_{levegő}$ a vízgőz diffúziós útjának ellenállásai (Pallardy, 2008).

A gyakorlatban legtöbbször a sztómaellenállás (r_s), illetve annak reciprokát, a vezetőképességet (g_s) használjuk a transzspiráció számszerű jellemzésére. A sztómaellenállás 0 és ∞ között változik, a teljesen nyitott légréteg ellenállása a 0. A sztómakonduktancia értékei (mely az ellenállás reciproka és a gyakorlatban jellemzően mért érték) szántóföldi növények esetében $80-400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ között, míg fás szárúaknál ez $40-120 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ között alakul, nyitott sztómáknál. Tóth és munkatársai (2015) hársfajtáknál $80-180 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sztómakonduktanciát mértek egy augusztusi hőségnapon (Tóth et al., 2015). A sztómaellenállás vagy

sztomakonduktancia nemcsak fajonként, hanem növény-egyedenként, sőt, egyedi levélen belül is változhat (Anda és Kocsis, 2010).

2.5.3. A környezeti tényezők kölcsönhatása és a transzspiráció kapcsolata

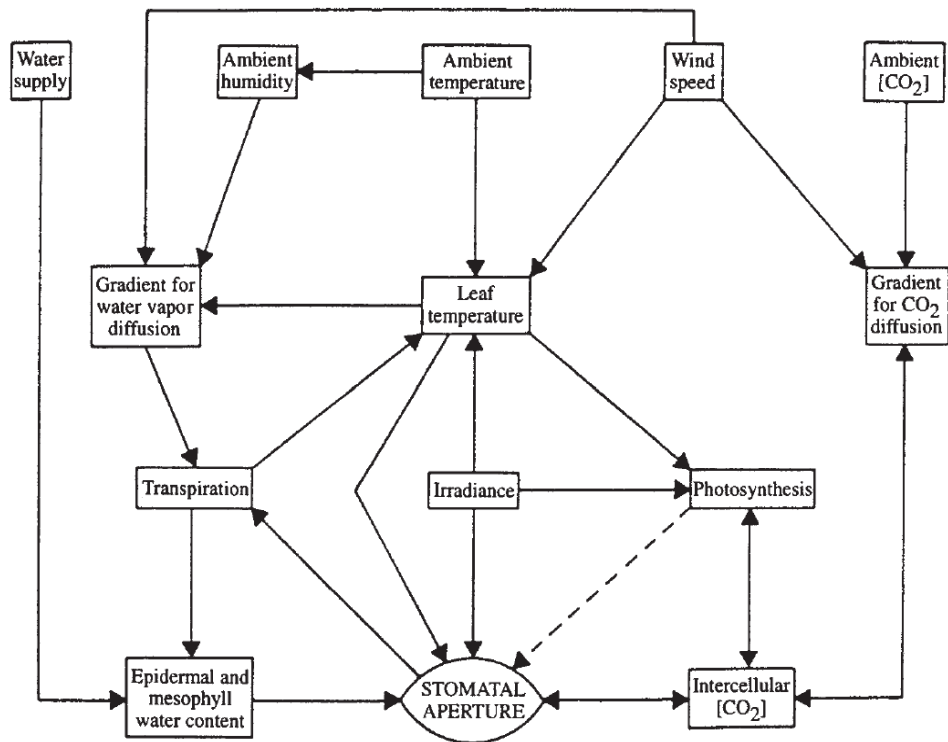
A transzspirációt befolyásoló legfontosabb környezeti tényezők a fényintenzitás, a gőzkoncentráció gradiense a levél és a levegő között, illetve a talaj vízellátottsága. A növényi faktorok a levélfelület, a levél kitettsége, a lombszerkezet, a sztómányílás és az abszorpciós felület (gyökérzet) kiterjedtsége, fejlettsége. A transzspiráció kontrolltényezői között összetett kölcsönhatásokat figyelhetünk meg.

A fényintenzitás változása hatással van a sztóma mozgására, a kék fény indukálja például a hajnali nyitódást, ily módon szerepet játszik a levélben, a vízgőz diffúziós út ellenállásában. A fényintenzitás változása emelheti vagy csökkentheti a levél hőmérsékletét, melyhez mérten alakul a vízgőznyomás/koncentráció a levélben, megváltoztatva így vízgőznyomás/koncentrációs gradienst (ΔC). A korábban már tárgyaltak szerint a sztóma alatti térben a vízgőz telítési vagy közel telítési nyomáson van adott levélhőmérsékleten. A levegő vízgőznyomását adott hőmérsékleten annak relatív páratartalma határozza meg. A relatív páratartalom és a hőmérséklet is ily módon hatással vannak a vízgőznyomás gradiensre a levél és a levegő között, mely visszahat a transzspirációs rátára (Hopkins és Hüner, 2004).

A léghőmérséklet emelkedése fokozza a transzspirációt, azáltal, hogy megnöveli a gőzkoncentráció gradiensét (ΔC) a levél és a levegő között. Ekkor feltételezzük, hogy a lég- és levélhőmérséklet megegyeznek. A napsugárzásnak közvetlenül kitett levelek hőmérséklete esetenként 5-10°C-kal is meghaladja környezete hőmérsékletét, melynek hatására a ΔC tovább emelkedik. 10°C-os hőmérséklet különbség esetén a transzspiráció hatszorosa annak, mint amit azonos lég- és levélhőmérséklet mellett mérhetünk.

Általánosan elmondható, hogy a különféle tényezők hatása a transzspirációs rátára a levél és a levegő közötti gőzkoncentráció különbségeivel ($\Delta C = C_{\text{levél}} - C_{\text{levegő}}$), valamint a levél és a levegő közötti utak ellenállásával magyarázható ($r_{\text{levél}} + r_{\text{levegő}}$).

Az 2. ábra jól szemlélteti a környezeti tényezők és a fiziológiai folyamatok kapcsolatát, kölcsönhatásait. A transzspirációra közvetlenül hat a vízgőznyomás gradiens és a sztómamozgás. A transzspiráció közvetlenül hat a levél hőmérsékletére és az epidermális illetve mezofil sejtek víztartalmára.



2. ábra. A főbb környezeti tényezők és a növények fiziológiai folyamati közötti összefüggések hatása és kapcsolatrendszere a sztómányílásra. A teli nyilak a hatásokat jelzik, a szaggatott nyilak gyengébb bizonyítékon alapuló kapcsolatot jeleznek (Weyers et al., in Pallardy (2008) nyomán).

A sztómarés nyitódása, illetve záródása hatással van a transzspirációs rátára, mint ahogyan fentebb írtuk, illetve amint a 2. ábra is jelzi. A hatás mértéke azonban a környezeti tényezők függvénye. Amikor a környezeti tényezők alacsony potenciális transzspirációt tesznek csak lehetővé, a sztóma mozgása, pontosabban a sztómarés mérete kevésbé befolyásolja a transzspirációs rátát. Általánosan elfogadott, hogy szélszélben a sztóma részleges záródása kismértékben csökkenti a transzspirációs rátát. Amikor van légmozgás, tehát magasabb a potenciális transzspiráció, a sztómák záródása jelentősebb mértékben képes csökkenteni a transzspirációs rátát (Pallardy, 2008).

2.5.4. A transzspirációs ráta változásának napi üteme

A transzspiráció intenzitása napszaki változást mutat. A nappali párologtatás sokszorososa az éjszakainak, ugyanis éjszaka is párologatnak a növények, amennyiben a levél-levegő közötti vízgőznyomás gradiens fennáll. Nappal a környezeti tényezők

változása, illetve a korábban bemutatott kölcsönhatások eredménye, hogy a transzspirációs ráta megemelkedik. A fényintenzitás növekedése például megnöveli a levélhőmérsékletet, illetve a sztómák fotoaktív nyitódása is fokozza a párologtatás intenzitását. A transzspiráció a déli órákban vagy kora délután éri el maximumát. Optimális vízellátás mellett a napi görbe egycsúcsú, míg a vízhiány vagy a forró nyári napokon bekövetkező déli sztómazáródás depressziót okoz a görbe menetében, így kétszúcsú görbe jellemzi a transzspirációs napi görbét (Pethő, 2006).

2.6. A konténeres díszfaiskolai növények vízigényének és vízfogyasztásának sajátosságai

Az időjárási tényezőktől részben függetlenített növénynevelés, a faiskolai termesztésben a konténeres kultúrák nevelése (Pethő, 2006). Az öntözés és tápanyagellátás szabályozhatósága mellett a környezeti tényezők, mint a csapadék, hőmérséklet, napsugárzás hatásai nem zárhatók ki, ezek figyelembevétele szükséges feltétele az eredményes termesztésnek. A jó öntözési gyakorlat kialakításának alapfeltételeként szükséges ismerni a növény vízigényét, mely a növény tényleges vízfogyasztásának mérésével megállapítható.

Egy növény vízigénye azonos az optimális vízellátottság mellett a növény által felhasznált vízmennyiséggel. A növény vízigénye az alábbiakból áll: a közeg nedvesség- és levegőtartalma iránti igény, valamint a levegő páratartalmával szemben támasztott igény, melyek együtt a statikai vízigényt adják, illetve a dinamikai vízigény, mely azt a vízmennyiséget jelenti, ami az adott növény zavartalan fejlődéséhez szükséges (Vermees és Hayde, 1997). A növényállomány vízfogyasztása a tenyészedőszakban – optimális vízellátottság esetén – azonos a dinamikai vízigénnyel (Juhász és Hrotkó, 2014). Ily módon kapcsolódik össze a vízigény a vízfogyasztással.

Fontos figyelembe venni, hogy a szabadföldi kultúrák öntözési gyakorlatának a vízigény meghatározására vonatkozó irodalma – elsősorban a takarmánynövényekre vonatkozóan – igen gazdag. A konténeres kultúrákban a növényélettani sajátosságok és törvényszerűségek (nedváramlás, párologás) ugyanúgy megjelennek, mint a szabadföldi kultúrák esetében. Lényeges körülmény azonban, hogy a konténeres növények termesztése relatíve kis mennyiségű közegben folyik. A kis térfogatból adódóan a közeg korlátozott mennyiségű vizet és tápanyagot képes tárolni (Davidson

et al., 2000). A konténeres közeg nedvességállapota a konténerkapacitással jellemezhető (Kappel, 2006), mely analóg a szántóföldi vagy minimális vízkapacitással. Azt a nedvességállapotot értjük alatta, amelyet az öntözést és szabad vízelvezetést követően a közeg a gravitációval szemben visszatartani képes.

A konténeres növények öntözési gyakorlata szerint a maximális vízkapacitás közelében tartják a közeget. Ezt gazdaságosan csak csepegtető öntözéssel lehet megvalósítani. A konténeres díszcserjék többsége felső szórófejes öntözést kap. A fiatal növények esetében ez hatékony öntözési mód, azonban a lombzat záródását követően a kijuttatott öntözővíz 60-80%-a nem éri a közeg felszínét. A kifejlett növényeket nagyobb térállásba helyezik, az öntözővíz egy része a felszínre hullik, egy másik részét a lomb felfogja, mely onnét párolog el (intercepció). A növény vízigényének pontos meghatározása és az öntözési mód helyes megválasztása gazdaságosabb termelést tesz lehetővé.

2.6.1. Az evapotranszpiráció szerepe a konténeres növények vízigényének megállapításában

A növény tényleges vízfelhasználása (vízfogyasztása) egyrészt a transzspiráció (párologtatás) másrészt az evaporáció (talajfelszín párologása). Ezek együttesen az evapotranszpiráció (ET), vagyis a földfelszíni párologás és a rajta lévő növényállomány együttes vízleadása (Szász, 1997). Az ET-t számos tényező befolyásolja, úgy, mint környezeti tényezők (pl. a levegő hőmérséklete, sugárzása, páratartalma vagy a szél sebessége), és mint növényi jellemzők (pl. növekedési fázis, levélfelület-nagyság). A növényvíz-követelmények pontosságának megállapításához használt bármely módszernek figyelembe kell vennie ezeket a környezeti és növényi tényezőket (Bacci et al., 2011).

A mezőgazdasági növénytermesztésben a növényi vízvesztés hagyományosan a potenciális evapotranszpiráció ($ET_{potenciális}$) és egy a növényre jellemző koefficiens (k) kombinációja (Huzsvai et al., 2005) vagy közvetlen mérés eredménye adja ($ET_{aktuális}$). A közvetlen mérés gravimetrikusan végezhető. Az erre alkalmas liziméterek kör alapterületű, földbe süllyesztett tartályok, az aljzatukhoz kapcsolt mérleggel, mely az elpárologtatott víz tömegét méri. A konténeres növények vízfogyasztásnak mérésére, spanyol kutatók kifejlesztettek egy felszíni lizimétert 2015-ben (Ruiz-Peñalver et al., 2015).

A potenciális párolgás referenciafelülete a rövidre nyírt gyepfelület, melynek vízellátása nem korlátozott. A gyepfelszín vízvesztését a levegő fizikai tulajdonságaiból határozzák meg, leggyakrabban az ún. *Penman formulával* számítják ki az értékét. A növényi koefficiens a növény vízigényére jellemző, annak biológiai tulajdonságaiból adódik. Értéke csak rövid ideig konstans, a növény fejlődése következtében változik (Anda és Kocsis, 2010). A mezőgazdasági növényekre számított koefficiens értéke ritkán haladja meg az 1,3-at. Ezzel szemben a konténeres dísznövények k értéke 1 és 5 között mozog. A koefficiens értéke erősen függ a növény fiziológiai és morfológiai jellemzőitől. Az egybefüggő mezőgazdasági területek növényállománya más tulajdonságokkal bír a beeső napsugárzás felfogásában vagy a növényállományon belüli hőáramlás tekintetében. A konténeres növények nem állományként viselkednek, a napsugárzásból többet fognak fel és nagyobb a hőáramlással szembeni ellenállásuk is. A konténeres növény tenyészterülete, vagyis a lombzat vetülete a földterületre, többszöröse is lehet annak, mint amekkora helyet a gyökérzet a konténerben elfoglal. Az evapotranszpiráció számítása során, a konténer felületét is figyelembe kell venni. A konténeres növényt, átlagosan két vegetációs időszakon keresztül nevelik, többször is átültetik, míg piacképes méretűvé válik. A különböző konténerméretek és a változatos fajösszetétel következtében, minden növény evapotranszpirációját egyedi egyenlettel tudták csak leírni a kutatók (Schuch és Burger, 1997). Beeson (2005) szerint, hogy a növényi koefficiens számítási módja nem alkalmazható megfelelően a konténeres dísznövények esetében, ezért bevezette a vízigény indexet (*water needs index – WNI*), mely a konténeres dísznövények növényi együtthatója –ként értelmezhető. Számítási módja figyelembe veszi a lombzat vetületét a földterületre (*projected canopy area – PCA*).

$$WNI = \frac{ET_{aktuális + PCA}}{ET_{potenciális}}$$

(Beeson, 2005).

Az egyenletet a teljes termelési időszakra vetítve, megállapítható, hogy a lombzat vetülete időben változik, melyet a kutató lombkorona záródásnak nevezett el és százalékos arányban fejezett ki (*canopy closure – CC%*). A 100% a piacképes növényt jelenti, ez érték felett a növények fedésbe kerülnek egymással. Így a fenti képlet alapján, felírható a modell, mely szerint a WNI és a CC% között csökkenő exponenciális kapcsolat áll fenn. 67%-os lombkorona záródást követően csökken a

WNI értéke 1 alá. A modellt *Ligustrum japonicum* fajra (Beeson, 2005) dolgozta ki, mely nagy pontossággal a *Viburnum odoratissimum* fajra is alkalmazható volt (Beeson Jr., 2010). Később a modellt több taxonra (*Rhaphiolepis indica*, *Calathea* G. Mey. 'Silhouette' és *Stromanthe sanguinea* Sond.) is alkalmazta. A cél egy egységes modell kialakítása volt, mely többféle növekedés típusra is alkalmazható. Így a vízigény index és a lombkorona zárás kapcsolatát már harmadfokú egyenlettel pontosította (Beeson Jr., 2012; Beeson és Chen, 2018).

3. CÉLKITŰZÉSEK

A szakirodalmi háttér mélyebb tanulmányozását követően, az alábbi célkitűzéseket fogalmaztuk meg, kiegészítve a kutatási munkatervben megfogalmazott célokat az aktuális és pontos, a témában megjelenő ún. kutatási rés megteremtésével.

- A díszfaiskolai konténeres termesztés hazai szakirodalma csekély mennyiségű, a meglévő is kevésbé aktuális. Az így nevelhető fajok és fajták morfológiai és beltartalmi jellemzőinek alakulását minél több díszfaiskolai növénycsoportban érdemes megvizsgálni, tekintve hogy a termesztésmód mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban növekvő trendet mutat.
- A vízfelhasználás hatékonyságának növelését támogatja a fenntartható termesztéstechnológiai megoldások alkalmazása mellett, a természeti kívánt növény vízfogyasztásának-vízigényének pontos megismerése. A növényi vízfogyasztás-vízigény kutatásokat a dísznövénytermesztésben, a diverz és folyamatosan bővülő fajtakinálat teszi szükségessé. Továbbá hazai szinten az ilyen irányú kutatások teljesen hiányoznak.
- A konténeres termesztésben és elsősorban a fás szárú dísznövények termesztése során fellépő növényi stresszfaktorok (víz- és hőstressz) sajátosságai kevésbé ismertek, összefoglalóan nem találkozunk a témával. Ezek feltárása és megértése a legfontosabb fiziológiai folyamatokon keresztül (fotoszintézis, transzspiráció) történhet jól. A fotoszintézis, mint a növényi produkció, gyarapodás mérőszáma és a folyamat értékelése a dísznövények esetében, más megközelítést kíván, mint például a mezőgazdasági vagy akár az erdészeti növények esetében.

A tervezett vizsgálatok az alábbiak, melyeket a hagyományos konténeres (CAG) és a pot in pot (PIP) díszfaiskolai termesztési rendszerben nevelt növények esetében hasonlítunk össze:

- ✓ A konténeres termesztési rendszerek különböző típusaiban nevelhető taxonok morfológiai és tápelem-tartalmi jellemzőinek megfigyelése
- ✓ A konténeres növények vízfogyasztásának és vízfelhasználási hatékonyságának mérése, számítása
- ✓ A konténeres növények fiziológiai folyamatainak megfigyelése (fotoszintézis; transzspiráció) a növényi vízfogyasztás tükrében

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A kísérlet helyszínének és az alkalmazott konténeres termesztési rendszereknek a bemutatása

A kísérlet helyszíne a Jaroslaw Chabin Díszfaiskola volt, Pátyon, Budapesttől 15 km-re (47°31'1" N, 18°48'27" E). A faiskola 2001 óta foglalkozik dísznövénytermesztéssel, legkevesebb 5 hektáron, az elmúlt években többször is bővültek. A bővülés részben a már meglévő területek konténerteleppé alakításával, illetve szomszédos földterületeket termesztésbe vonásával valósult meg. A közelmúltban épült meg a 4500 m²-es teletető üvegház is. Több mint 500-féle dísznövény fajt és fajtát nevelnek, földlabdás és konténeres kivitelben, különböző méretekben. Az örökzöldek és lombos cserjék szaporítóanyaga részben a faiskola saját anyatelepéről származik (évente kb. 200 ezer fás- és hajtásdugvány) részben Belgiumból, Hollandiából és Lengyelországból szerzik be a szaporítóanyagot.

A kísérlet során két termesztési rendszert állítottunk be. A *pot in pot* rendszerben (PIP) két cserép van a földbe süllyesztve, az egyik az állandó cserép, mely a földben marad, mikor a növényt kiemeljük, a másik a termesztő cserép, melyet a növényvel együtt kiemelünk a kitermeléskor. Az állandó és a termesztő cserép azonos típusúak, általában egy méretnyi különbséggel rendelkeznek, az állandó cserép javára. A másik termesztési rendszer a hagyományos konténeres termesztés, melyet az angol elnevezésből eredően – *container above ground* – CAG betűkóddal jelölünk.

4.2. A kísérlet beállítása

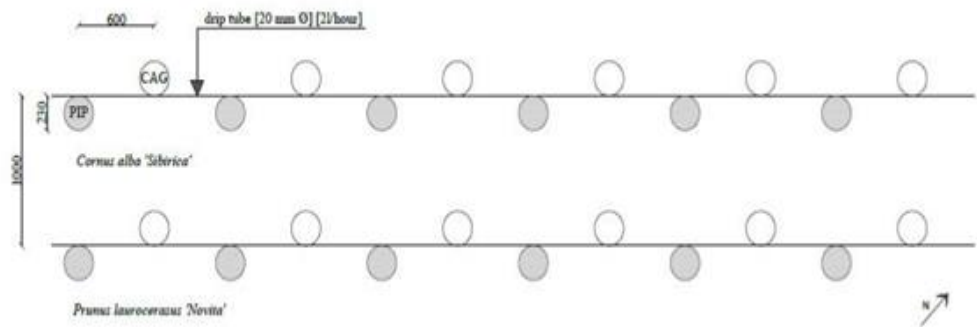
4.2.1. A kísérleti parcella kijelölése

A kísérleti parcellát (~20 m²) a Jaroslaw Chabin Díszfaiskola, egyik termesztésben álló *pot in pot* telepének közepén jelöltük ki. A PIP parcellában több ezer Smaragd tuját neveltek, melyből 80 darabot kiemeltek, hogy helyükre kerülhessenek a kísérleti növényeink (3. ábra).



3. ábra. A kijelölt kísérleti parcella a Jaroslaw Chabin Díszfaiskolában, Pátyon (Saját fotó, 2015)

Minden második állandó cserépbe helyeztünk csak növényeket, az üres helyek mellett, a föld felszínén pedig a 'hagyományos konténereket' (CAG) helyeztük el. A kiültetési tervet a 4. ábra mutatja.



4. ábra. Kiültetési terv (2015 és 2016)

Megjegyzés: az ábrán a két konténer távolsága 600 mm; a sorok távolsága 1000 mm. A szürke kör a PIP konténer, a fehér kör a CAG konténer. A sorok közötti folytonos vonal a 20 mm átmérőjű csepegtető cső (2 liter per óra). Az ábrán a *Cornus alba* 'Sibirica' és a *Prunus laurocerasus* 'Novita' fajták vannak feltüntetve, velük párhuzamosan, további két sor került kijelölésre, ugyanilyen módon, a *Thuja occidentalis* 'Smaragd' és 'Brabant' fajtáknak.

4.2.2. A kísérleti növények kijelölése és beállítása

A kísérleti növények kiválasztása a díszfaiskola növénykészletéből történt. A négy, a díszfaiskola kínálatában szereplő, saját szaporítású (kivéve a *Prunus laurocerasus* 'Novita' fajta) konténeres növényként is nevelt és forgalmazott fajtát, a következők voltak: *Cornus alba* L. 'Sibirica'; *Prunus laurocerasus* L. 'Novita' (Belgiumból érkezett szaporítóanyagot nevelték tovább); *Thuja occidentalis* L. 'Smaragd'; *Thuja occidentalis* L. 'Brabant'.

A faiskola gyakorlata szerint, a gyökeres dugványokat először 9x9-es cserépben, majd 3L-es konténerbe ültetve nevelik tovább. A kísérlet megkezdése előtt, a faiskolai növénykészletből (9x9-es-es cserépben a *Thuja occidentalis* 'Brabant' és 3 literes kiszerezésben a másik három fajta) 20 db növényt választottunk ki fajtánként, véletlenszerűen. Ezt követően a növényeket 5 literes, 23 cm felső átmérőjű és 18 cm magas falú, fekete, műanyag konténerekbe (Interplast Plastic Products, Lengyelország) ültettük át (5. ábra). A konténereket fehér tőzeggel töltöttük meg (100%) (Pindstrup Substrate, Lettország), melyet előzetesen, 3,5-4,5 g liter⁻¹ szabályozott hatóanyag-leadású műtrágyával keverték el (11N+10P+19K+2MgO + nyomelemek (TE), Osmocote Pro, 8-9 hó). Mindkét kísérleti évben (2015; 2016) ugyanilyen módon történt a növények beállítása.



5. ábra. *Thuja occidentalis*'Smaragd' átültetése 5 literes konténerbe (Saját fotó, 2016)

A kísérleti növények beállítására (5 literes konténerbe ültetés és parcellába kihelyezés) 2015.04.01-én (6. ábra) illetve 2016.04.07-én került sor. A kísérleti parcella felszámolása 2015. 10. 26-án, a következő évben pedig 2016. 10.18-án történt.



6. ábra. *Prunus laurocerasus* 'Novita' kihelyezése a pot in pot-ba (Saját fotó, 2015)



7. ábra. Új csepegtető csövek felszerelés után a pot in pot parcellában (Saját fotó; 2015)

A pot in pot parcellában működő csepegtető öntöző-rendszert új spagetti csövekkel szereltük fel, majd minden egyes növényhez csatlakoztattuk a spagetti cső tuskéket (7. ábra). A faiskola saját kutakkal rendelkezik, a kútvíz paraméterei a következők: pH:7,1; EC 0,9 mS cm⁻¹. Mindkét termesztési rendszerben (CAG; PIP) azonos gyakorisággal, azonos mennyiségű (2 liter h⁻¹), a faiskola termesztési gyakorlatában szokásos vízmennyiséget juttattuk ki a vegetációs idő alatt (2015-ben és 2016-ban is). Az öntözés gyakoriságát az automata időzítő szabályozta, mely nyáron 3x6 percig (8; 12 és 18 óra), az év többi részében 2x6 percig üzemelt (8 és 18 óra).

4.2.3. A kísérleti növények leírása

A kísérleti növények kiválasztása a díszfaiskola növénykészletéből történt. A négy, a díszfaiskola kínálatában szereplő, saját szaporítású, konténeres növényként is nevelt és forgalmazott fajtát, az alábbiakban mutatjuk be:

Cornus alba L. 'Sibirica'. Fehér vagy tatár som 'Sibirica' fajtája. Gömbölyded koronát nevelő díszcserje, az alapfajnál gyengébb növekedésű, 1,2-2 méterre nő meg.

A fajta 1830-ban már ismert, Szibériából származik. Vesszője korallpiros, levelei széles-elliptikusak, tojásdadok, végükön kicsúcsosodnak. A levelek enyhén szürkés színűek, ősszel bíbor-pirosak. Virágai fehér színűek, lapos bogernyőben nyílnak, a júniustól megjelenő bogyók kezdetben zöldek, majd kékes és végül fehér színűek. A parképítésben tömegcserjeként alkalmazzák. Élénkpiros vesszeje, mely tavasztól nyárig fokozatosan sötétedik, télen, mikor a lomb lehullik, szoliterként és kisebb cserjecsoporthoz is szépen hat, a színes vesszejű somok a télikertek növényei is. Az alapfaj eredeti élőhelye, a különböző erdőtársulások szegély és aljnövényzete. Főleg napos fekvésbe, de félárnyékba is ültethető. Közepes vízigényű (Bean, 1916; Tóth, 2012; Tóth és Retkes, 1997).

Prunus laurocerasus L. 'Novita'. Balkáni babérmeggy 'Novita' fajtája. Felálló ágrendszerű, 1,5-2 méter magas örökzöld cserje. Az alapfaj Délkelet-Európában és Kis-Ázsiában őshonos. Nemesítője nem ismert (Schmidt és Tóth, 2006; Sütöriné Diószegi és Schmidt, 2014). Gyors növekedésű fajta, levelei bőrneműek, fényes-zöldek fiatalon, később sötétebbé válnak. Nyár elején hozza apró fehér virágait, termése fényes-fekete. Kiváló sövénynövény. Árnyékban is jól fejlődik, azonban némiképp fagyérzékeny (Borostyán Bt., 2020; Dirr, 1998).

Thuja occidentalis L. 'Smaragd'. Nyugati életfa vagy nyugati tuja 'Smaragd' fajtája. Az alapfaj változatos termőhelyen él, az északi párás, hűvös és a szubtrópusias déli hegyvidék növénye is (Debreczy és Rácz, 2000). A nyugati tuját elsősorban dekorációs céllal ültetik, több mint 120 fajtája ismert, számos formájú, növekedési típusú illetve színes levelű fajtája van (Lis et al., 2016). A Smaragd fajta nyugat-európai szelekció, a párás csapadékos klímát és hűvös nyarat kedveli, a hazai kontinentális klíma jelentősen képes legyengíteni. Ettől függetlenül is, jelenleg a legelterjedtebb fajta, karcsú kúp alakú koronája, télen-nyáron élénkzöld színe miatt is népszerű. Szoliternek is sövénynek is kiváló (Schmidt és Tóth, 2006). Az elmúlt években megjelent károsítója, a boróka-tarkadiszbogár, mellyel szemben a fajta kevésbé ellenállónak bizonyult (Sütöriné Diószegi és Schmidt, 2014).

Thuja occidentalis L. 'Brabant'. Nyugati életfa vagy nyugati tuja 'Brabant' fajtája. 1984 óta ismert és termesztett fajta. Gyors növekedésű, tömött, sűrű lombzatot nevelő fajta, jellemzően sövénynövényként alkalmazzák. Pikkelylevelei világoszöldek. A nyírást jól bírja, lombja télen kissé bebarnul (Józsa, 1980, 2005; Schmidt és Tóth, 2006).

4.3. Morfológiai mérések

Növénymagasság; lombkorona átmérő; törzsátmérő. A kísérleti növények morfológiai paramétereit (növénymagasság; lombkorona-átmérő és törzsátmérő) mind a négy taxon, összes egyedén (80 db) megmértük a kísérlet beállításakor (2015. 04.01-én és 2016. 04.07-én) és a zárásakor is (2015. 10. 26-án és 2016. október 18-án). A magasságot és a lombkorona átmérőt mérőszalaggal mértük, a törzsátmérőt digitális tolómérővel. Ez utóbbi két paramétert két irányból mértük, majd átlagoltunk. A dolgozatban a vegetációs növekedést elemeztük minden paraméter esetében.

Friss- és száraz tömeg. A friss- és száraz tömeg meghatározását a *Cornus alba* 'Sibirica' és a *Prunus laurocerasus* 'Novita' taxonok esetében végeztük el, a kísérlet zárásakor, mindkét évben (2015 és 2016) október utolsó hetében. A méréshez 5-5 növényt választottunk ki termesztési rendszerenként. Az egyes egyedeket szétbontottuk (8. ábra) és a helyszínen megmértük a gyökérzet, a hajtás és a levelek friss tömegét. 2015-ben a Denver Instruments SI-403-típusú precíziós mérleggel a leveleket, dyras, KSCL-300-típusú konyhai mérleggel a szárat és a gyökérzetet mértük, míg 2016-ban csak a konyhai mérleg állt rendelkezésre a helyszínen.



8. ábra. *Cornus alba* 'Sibirica' leválasztott és kimosott gyökérezete, a Jaroslaw Chabin Díszfaiskolában, Pátyon (Saját fotó, 2015 október)

Az egyes növényi részekből mintát vettünk, melyet ezután elszállítottunk a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék Laboratóriumába. A mintákat előzetesen megmértük, majd szárítószekrényben (BINDER ED 53) 105°C-on tömegállandóságig szárítottuk, majd ismét megmértük. A dolgozatban a gyökér, hajtás, levél és a teljes egyed friss- illetve száraz tömegét elemeztük.

Egyedi levélméret és teljes levélfelület mérések. Az egyedi levélfelületet *Cornus alba* 'Sibirica' és a *Prunus laurocerasus* 'Novita' taxonok esetében, levélszkenner (AM350, ADC BioScientific Ltd.) segítségével határoztuk meg (9. ábra).



9. ábra. AM350- típusú levélfelület mérő műszer (ADC BioScientific Ltd.). A képen *Prunus laurocerasus* 'Novita' fajta levelének szkennelése látható (Saját fotó; 2015).

A méréshez 5-5 növényről gyűjtöttünk (30db) levelet termesztési rendszerenként, mindkét fajtából. A mintaszedést 2015 és 2016 júniusában, illetve a kísérlet zárásakor, 2015 és 2016 októberében végeztük el. A teljes levélfelület megállapítása úgy történt, hogy a fent leírt mintaszedési alkalmakon megszámoltuk a kiválasztott egyedek összes levelét, mellyel elosztottuk az átlagos egyedi levélméretet. A dolgozatban az egyedi levélméretet és a teljes levélfelületet elemeztük az adott kísérleti év végén, illetve a nyári és őszi időszak között bekövetkezett teljes levélfelület változást is kiértékeltek.

4.4. Tápelem mérések

A tápelem méréseket a kétféle termesztési rendszerben nevelt *Cornus alba* 'Sibirica' és a *Prunus laurocerasus* 'Novita' egyedekről gyűjtött levélmintákon végeztük el. A kísérlet zárásakor gyűjtött (2015 10. 26. és 2016 10. 18.), a friss- és száraz tömeg mérésekhez kimért, majd az utóbbihoz kiszáritott levélmintákat a MATE Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék Laboratóriumában porítottuk (duras kávédarálóval). Az összesen 40 db mintából, a kalcium (Ca), kálium (K), vas (Fe), cink (Zn) és magnézium (Mg) elemek méréséhez, a Talajtan és Vízgazdálkodás

Tanszék Laboratóriumában 2 g örleményt mértünk ki mintánként. Az örleményt, a kénsavas roncsolást követően hígítottuk (30 ml-re 2DV-vel), majd az atomabszorpciós spektroszkópia (AAS) műszeres elemanalitikai módszerrel a fenti elemek koncentrációját meghatároztuk a mintákban.



10. ábra. PRO-NITRO M desztilláló készülék a MATE, Talajtan és Vízgazdálkodási Tanszéken (Saját fotó, 2018)

A Nitrogén (N) és Foszfor (P) elemek mérését 2018 májusában végeztük. A Zöldség - és Gombatermesztési Tanszék Laboratóriumában 0,5 g mintát, mindkét évből, fajtánként és termesztési rendszerenként (összesen 40 db) bemértünk, majd a roncsolást kénsavas feltöltéssel végeztük. A roncsolt mintákat DV-zel hígítottuk, a MATE, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék Laboratóriumába szállítottuk. A roncsolt mintákból, a nitrogén meghatározásához, 10 cm³-t kimértünk, melyből az ammóniát erős lúggal (NaOH) felszabadítottuk, majd 1,5 %-os bórsavba desztilláltuk át (PRO-NITRO M készülék) (10. ábra). A savfölösleget 0,005 mol-os kénsavval visszatitráltuk (Kjeldahl-féle módszer). A foszfor meghatározásához 1 cm³-t mértünk főzőpoharakba, melyhez 10 cm³ reagenst (ammónium metavanadate) adtunk, majd spektrofotométerrel 400 nm-en, meghatároztuk a minta foszforkoncentrációját.

4.5. Gravimetrikus vízfogyasztás mérések (IWC; DWU; RWU)

A gravimetrikus vízfogyasztás mérését a lomblevelű *Cornus alba* 'Sibirica' és a *Prunus laurocerasus* 'Novita' taxonok esetében, mindkét kísérleti évben (2015 és 2016) 3-3 mintanapon végeztük el. A mintanapok a következők voltak: 2015-ben, június 5. és június 30., valamint szeptember 22. 2016-ban június 7., július 5. és szeptember 16. A mérés a konténer napi vízvesztésén alapszik. A konténerek a mérés előtti napon megkapták a szokásos öntözést, majd másnap reggel lekerültek az öntözőrendszerről. Ekkor megmértük a konténerek tömegét (8 óra), amit este megismételtünk (20 óra) (A mérés dyras, KSCL-300 - típusú konyhai mérleggel történt). A növényeket ezután visszahelyeztük az öntözőrendszerre, a mérési napokon tehát nem kaptak öntözést. A vízfogyasztás meghatározásához három paramétert definiáltunk. Ezek a konténer kezdeti (reggeli) tömege, mely az angol nyelvű elnevezés után – *initial weight of container* – az IWC betűkódot, a konténer napi vízfogyasztása – *daily water use* – a DWU betűkódot, a konténer relatív vízfogyasztása pedig – *relative water use* – az RWU betűkódot kapta. A konténer reggel és este mért különbsége adja a DWU-t, míg a DWU aránya az IWC-hez, az RWU-t adja. E három paraméter mintanapi alakulását elemeztük a dolgozatban.

4.5.1. Termesztőközeg nedvességtartalmát meghatározó mérések (GSWC)

A termesztőközeg nedvességtartalmát az alábbi egyenlettel határoztuk meg:

$$GSWC \% = \frac{m_{nedves} - m_{száraz}}{m_{száraz}} * 100$$

(Campbell és Campbell, 2013),

ahol GSWC (*gravimetric soil water content*) a gravimetrikusan mért talaj – esetünkben közegnedvesség tartalom %-ban kifejezve, m - a közegminta tömege (g).

A méréseket a különböző termesztési rendszerek közegeiből vett mintákon, a lomblevelű taxonok (*Cornus alba* 'Sibirica'; *Prunus laurocerasus* 'Novita') esetében végeztük el.

A mintavétel menete szerint, reggel és este 5-5 egyed/fajta/termesztési rendszer közegéből vettünk mintát, melyeket a helyszínen megmértünk (Denver Instruments SI-403-típusú precíziós mérleggel). A mintákat a nap végén, MATE, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék Laboratóriumába szállítottuk, majd szárítószekrényben (BINDER ED 53) 105°C-on tömegállandóságig szárítottuk, végül

ismét megmértük. A mintavételi napok a következők voltak: 2015. június 5. és június 30., valamint szeptember 22.

4.5.2. Konténeres növények vízfelhasználási hatékonyságának számítása

A vízfelhasználás hatékonyságának számításánál a vegetációs időszaki teljes vízellátás (csapadék+öntözés) és a vegetációs időszak végén mért szárazanyag termelést vettük alapul.

$$\text{Vízfelhasználási hatékonyság}_{\text{konténer}} = \frac{\text{szárazanyag termelés (g)}}{\text{vízellátás (L)}}$$

ahol a vízfelhasználási hatékonyság az 5 literes konténeres növényegyedre vonatkozik, akárcsak a szárazanyag termelés és a vízellátás is. A vízellátásnál, a Telki meteorológiai állomásról származó csapadékvíz adatokat átszámítottuk a konténer felületére jutó volumenre és hozzáadtuk a napi öntözési volument. Ezután a napi vízellátást kumuláltuk április 7-től október 18-ig, 2015-ben és 2016-ban is. A vízfelhasználási hatékonyságot a különböző termesztési rendszerekben (CAG és PIP) nevelt lomblevelű taxonok (*Cornus alba* 'Sibirica'; *Prunus laurocerasus* 'Novita') esetében számítottuk ki.

4.6. Levél-gázcsere mérések

A levél-gázcsere méréseket hordozható infravörös gázanalízis elvén működő műszerrel mértük (LCi, ADC Scientific Ltd.). A mérőberendezés kimeneti paraméterei a fotoszintetikus ráta (A) a sztómakonduktancia (g_s) és a transzspirációs ráta (E). A műszer, a levél-gázcsere mérésekkel egyidejűleg méri a levélfelszínre eső fotoszintetikusan aktív sugárzást ($PAR_{\text{levél}}$) és a levélfelszín hőmérsékletét ($T_{\text{levél}}$) is (11. ábra).



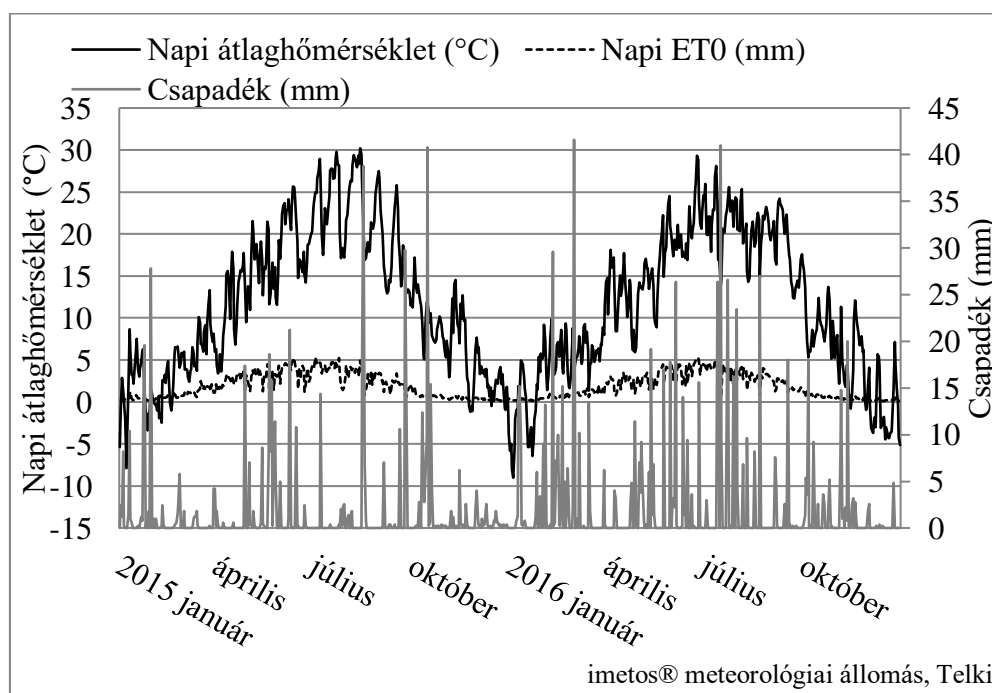
11. ábra. Levél-gázcsere műszer mérőkamra működés közben. A műszer kb. 2 perces kalibrációt igényel a gázcsere sebességének megállapításához. Hagyományos rendszerben (CAG) nevelt *Cornus alba* 'Sibirica', „fénylevelének” mérése a Jaroslaw Chabin Díszfaiskolában, Pátyon (Saját fotó, 2016 június 7.)

A kimeneti paraméterek pillanatnyi, adott környezeti tényezők mellett fennálló értékek. A fotoszintetikus ráta (A) és a transzspirációs ráta (E) adatokból napi és napszaki meneteket rajzoltunk föl, illetve napi összegeket is számoltunk. Előbbi esetében a szén-dioxid utóbbinál a víz moláris tömegével szoroztuk a rátát, majd a mérési időintervallumokra vetítettük az értékeket és napi összeget képeztünk. Így megkaptuk a szén-dioxid asszimiláció napi összegét (g m^{-2}) és a transzspiráció napi összegét (kg m^{-2}). A sztómakonduktanciát (g_s) és a fotoszintetikusan aktív sugárzást ($\text{PAR}_{\text{levél}}$) a fotoszintetikus rátával (A) való összefüggésben vizsgáltuk. A sztómakonduktanciát (g_s) továbbá a transzspirációs rátával (E) és a vízstressz indexszel való összefüggésben is megvizsgáltuk.

A levél-gázcsere méréseket ugyanazon a két taxonon (*Cornus alba* 'Sibirica'; *Prunus laurocerasus* 'Novita') és napokon végeztük, mint a gravimetrikus vízfogyasztás méréseket. Kétórás intervallumokban mértünk növényenként egy levelet (ún. fénylevelet).

4.7. Meteorológiai adatok

A mérések kiértékelésénél felhasznált meteorológiai adatok, a kísérleti parcellától, légvonalban 3 kilométerre található, a Telki Önkormányzat (Telki, Petőfi Sándor utca 1.) területén felállított meteorológiai állomásról (imetos®) származnak. Az adatokat az önkormányzat bocsátotta rendelkezésünkre, mely a 2015-ös és 2016-os év hőmérsékleti adatait, a szélességet, relatív páratartalmat, napsugárzást, valamint a referencia evapotranszpirációt (ET_0) tartalmazza, napi bontásban. A kísérlet értékelésénél felhasznált adatokat grafikonos, illetve táblázatos formában közöljük (12. ábra és 2. táblázat).



12. ábra. A napi átlaghőmérséklet, a csapadék és a referencia párolgás (ET_0) alakulása 2015-ben illetve 2016-ban

A helyi meteorológiai állomás által nyújtott adatok alapján, az éves csapadékmennyiség 2015-ben 569,20 mm volt, míg az éves referenciapárolgás 679,90 mm volt. Az évi átlaghőmérséklet 11,90°C volt. A kísérleti periódus alatt (április 1-től október 26-ig), a csapadékösszeg 411,60 mm volt, az ET₀ pedig 586,30 mm. Ebben az időszakban az átlaghőmérséklet 17,77°C volt.

2016-ban, az éves csapadékmennyiség 843,20 mm, az éves referenciapárolgás 651,60 mm az évi átlaghőmérséklet 11,19°C volt. A kísérleti időszakban (április 7-től október 18-ig) a lehullott csapadék 521,80 mm, az ET₀ pedig 543,20 mm volt. A kísérleti időtartam alatt az átlaghőmérséklet 17,61°C volt.

4.7.1. A mérési napok meteorológiai adatai

A mérési napok meteorológiai adatait, a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A mérési napok meteorológiai adatai, a Telki településen elhelyezett imetos® meteorológiai állomás adatai alapján

Mérési nap	2015-06-05	2015-06-30	2015-09-22	2016-06-07	2016-07-05	2016-09-16
Min. léghőm. (°C)	12,78	11,49	6,68	11,37	13,03	18,03
Max. léghőm. (°C)	28,20	29,13	22,00	24,88	30,79	28,63
Napi átlag hőm.(°C)	21,17	20,35	14,67	18,33	22,11	22,31
Napsugárzás (Wm ⁻²)	307,00	294,00	179,00	310,00	264,00	175,00
Rel.páratartalom (%)	50,42	56,29	59,54	47,67	52,94	67,51
Csapadék (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Szélsébség (m s ⁻¹)	0,40	0,40	0,30	0,30	0,20	0,40
ET ₀ (mm)	4,60	4,30	1,90	4,20	4,00	2,60

4.8. Statisztikai elemzések

A statisztikai elemzéseket minden esetben az SPSS (23-as verzió) programcsomag segítségével végeztük. Az értékeléseket az egytényezős varianciaanalízis (ANOVA) vagy az ismételt méréses varianciaanalízis (RM ANOVA) módszerével, illetve regresszióanalízissel végeztük. A statisztikai próbák feltételei közül, a szórás-homogenitás egyezésének vizsgálata az összehasonlítandó csoportok között, a Levene-próbával történt ($p > 0.05$), amennyiben a feltétel sérült, úgy a

maximum és minimum variancia aránya > 6 , feltétel teljesülését vizsgáltuk. A reziduumok normalitását a Kolmogorov-Smirnov vagy Shapiro-Wilk tesztekkel ($p > 0.05$) vizsgáltuk. Amennyiben a normalitás sérült, úgy a ferdeség és csúcsosság $> |1|$ feltétel teljesülését vizsgáltuk. A statisztikai próbákhoz ajánlott mintaelemszámok minden esetben rendelkezésre álltak. Az eredmények fejezetben, mindenütt feltüntettük az alkalmazott statisztikai módszert.

5. EREDMÉNYEK

5.1. Morfológiai paraméterek

A különböző termesztési rendszerben nevelt pikkelylevelű örökzöldek (*Thuja occidentalis* 'Smaragd' és 'Brabant' fajták) a lomblevelű örökzöld *Prunus laurocerasus* 'Novita' és a lombhullató *Cornus alba* 'Sibirica' díszcserje taxonok vegetációs időszaki növekedési paramétereit értékeljük az alábbi fejezetben.

A vizsgált morfológiai paraméterek a növénymagasság, lombkorona és a törzsátmérő. Az egyedi levélfelület mérete, illetve az ebből számított teljes levélfelület, továbbá a növényi részek friss - és száraz tömege, csak a lomblevelű taxonok esetében került meghatározásra.

Az értékelés menete az egyes paramétereknél, a különböző faktorok (évjárat, termesztési rendszer, fajta) hatásának, illetve azok egymásra hatásának (interakció) vizsgálata a függő változóra. A statisztikai elemzés módszere a több szempontos varianciaanalízis (ANOVA).

5.1.1. Konténeres dísznövény taxonok vegetációs időszaki növekedése (növénymagasság, lombkorona átmérő, törzsátmérő)

A dísznövény fajták magassága, illetve a lombkorona/hajtásrendszer legszélesebb ponton mért átmérője együttesen jól mutatja az adott fajtára jellemző habitus fejlettségi mértékét. Az évjáráthatás, illetve a termesztési rendszer hatásának kiszűrését segíti, hogy nem a tényleges növénymagasságot, vagy lombkorona/hajtásrendszer méreteket vettük figyelembe, hanem a vegetációs időszaki növekedést elemeztük.

A növénymagasság vegetációs időszaki növekedésére elsősorban az évjárat volt hatással, sokkal inkább, mint a termesztési rendszer (3. táblázat). Ugyanakkor a PIP-ben nevelt növények jellemzően magasabbak lettek mindkét évben, noha a populáció statisztikailag homogénnek tekinthető. Az évjáráthatás eredménye szerint fele-harmada növekedést produkáltak a növények 2016-ban, mint a megelőző évben (4. táblázat).

3. táblázat. Az évjárat, a termesztési rendszer és az interakció növénymagasságra gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében.

Fajta	Magasságnövekedés			
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			
	F-érték	szf	hiba szf	szign.
Évjárat	86,032	1	30	***
Termesztési rendszer	1,604	1	30	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	0,686	1	30	nsz
	<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'			
Évjárat	20,388	1	32	***
Termesztési rendszer	2,553	1	32	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	0,047	1	32	nsz
	<i>T. occidentalis</i> 'Smaragd'			
Évjárat	47,16	1	32	***
Termesztési rendszer	2,115	1	32	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	0,163	1	32	nsz
	<i>T. occidentalis</i> 'Brabant'			
Évjárat	50,219	1	36	***
Termesztési rendszer	7,558	1	36	**
Évjárat*Termesztési rendszer	5,109	1	36	*

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (hiba szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

4. táblázat. Konténerben nevelt (5 liter) díszcserje taxonok magasságának vegetációs növekedése 2015-ben és 2016-ban.

Termesztési rendszer	Magasságnövekedés (cm)							
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		<i>T. occidentalis</i> 'Smaragd'		<i>T. occidentalis</i> 'Brabant'	
2015								
CAG	62,3	aB	18,7	aB	34,6	aB	39,8	aB
PIP	64,3	aB	22,5	aB	36,9	aB	39,0	aB
2016								
CAG	17,0	aA	5,7	aA	18,9	aA	31,9	bA
PIP	26,4	aA	10,7	aA	22,9	aA	23,7	aA

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és éven belül, a termesztési rendszerek között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és termesztési rendszeren belül, az évek között.

A lombkorona – cserjék esetében, helyesebb a hajtásrendszer használata – habitusa tekintetében megkülönböztetünk egy oszlopos fajtát (Smaragd) egy kúpos növekedésű (Brabant), egy felálló ágrendszerű (Novita) és egy félgömb alakú (Sibirica) fajtát. Az elemzés azt mutatta, hogy ez esetben szignifikáns hatással volt az évjárat a

növekedésre (5. táblázat). Megfigyeltük azt is, hogy a *C. alba* 'Sibirica' hajtásrendszerének növekedése 35%-kal erőteljesebb volt a PIP rendszerben, a CAG rendszerben nevelt növényekhez képest (6. táblázat).

5. táblázat. Az évjárat, a termesztési rendszer és az interakció lombkorona növekedésre gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében.

Vegetációs növekedés	Lombkorona átmérő			
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			
Fajta	F-érték	szf	hiba szf	szign.
Évjárat	22,354	1	30	***
Termesztési rendszer	14,858	1	30	**
Évjárat*Termesztési rendszer	0,543	1	30	nsz
	<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'			
Évjárat	0,639	1	32	nsz
Termesztési rendszer	0,585	1	32	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	1,543	1	32	nsz
	<i>T. occidentalis</i> 'Smaragd'			
Évjárat	61,379	1	32	***
Termesztési rendszer	2,01	1	32	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	7,388	1	32	*
	<i>T. occidentalis</i> 'Brabant'			
Évjárat	23,188	1	35	***
Termesztési rendszer	0,235	1	35	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	6,801	1	35	*

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (hiba szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

A törzsátmérő - cserjék esetében az elágazás kezdete alatti rövid törzs - értékek alapján nem tapasztaltunk különbséget a mérési évek között, kivéve a *T. occidentalis* 'Brabant' értékeiben. A termesztési rendszer nem volt hatással a dísznövény taxonok törzsátmérőjének vegetációs időszaki növekedésére (7. táblázat; 8. táblázat).

6. táblázat. Konténerben nevelt (5 liter) díszcserje taxonok lombkorona átmérőjének vegetációs növekedése 2015-ben és 2016-ban.

Vegetációs növekedés	Lombkorona átmérő (cm)							
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		<i>T. occidentalis</i> 'Smaragd'		<i>T. occidentalis</i> 'Brabant'	
2015								
CAG	37,3	aA	14,4	aA	2,4	aA	22,3	aA
PIP	50,4	bA	13,3	aA	3,2	aA	18,1	aA
2016								
CAG	54,1	aB	13,3	aA	8,6	aB	25,3	aA
PIP	73,3	bB	18,2	aA	6,2	aB	28,3	aB

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és éven belül, a termesztési rendszerek között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és termesztési rendszeren belül, az évek között.

7. táblázat. Az évjárat, a termesztési rendszer és az interakció törzsátmérő növekedésre gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében.

Fajta	Törzsátmérő növekedés			
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			
	F-érték	szf	hiba szf	szign.
Évjárat	1,637	1	29	nsz
Termesztési rendszer	3,144	1	29	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	0,254	1	29	nsz
	<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'			
Évjárat	0,609	1	31	nsz
Termesztési rendszer	1,183	1	31	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	0,008	1	31	nsz
	<i>T. occidentalis</i> 'Smaragd'			
Évjárat	3,166	1	31	nsz
Termesztési rendszer	0,042	1	31	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	0,083	1	31	nsz
	<i>T. occidentalis</i> 'Brabant'			
Évjárat	17,495	1	36	***
Termesztési rendszer	2,192	1	36	nsz
Évjárat*Termesztési rendszer	0,012	1	36	nsz

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (hiba szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

8. táblázat. A konténerben nevelt (5 liter) díszcserje taxonok törzsátmérőjének vegetációs növekedése 2015-ben és 2016-ban.

Termesztési rendszer	Törzsátmérő növekedés (mm)							
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		<i>T. occidentalis</i> 'Smaragd'		<i>T. occidentalis</i> 'Brabant'	
2015								
CAG	8,8	aA	9,0	aA	14,3	aA	15,5	aB
PIP	9,9	aA	7,3	aA	14,4	aA	17,0	aB
2016								
CAG	7,3	aA	7,8	aA	12,3	aA	11,8	aA
PIP	9,3	aA	6,4	aA	11,7	aA	13,0	aA

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és éven belül, a termesztési rendszerek között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és termesztési rendszeren belül, az évek között.

5.1.2. Különböző konténeres termesztési rendszerekben nevelt, lomblevelű díszcserjék egyedi levélméretének és teljes levélfelületének összehasonlítása

A vizsgálatba vont lomblevelű *P. laurocerasus* 'Novita' levele lándzsás, hegyes csúcsú, vastag bőrszövetű levél, míg a *C. alba* 'Sibirica' levelei széles elliptikusak, tojásdadok. A későbbiekben tárgyalt szén-dioxid asszimilációs illetve transzspirációs mérések szempontjából fontos a két taxon levélméretének és összlevélfelületének összehasonlítása. Ezért az elemzésben a fajtát, mint faktort vettük figyelembe.

A levelek egyedi méretére az évjárat erős hatást gyakorolt, míg a teljes levélfelület a növényfajta jellemzően alakult (9. táblázat). Mindkét fajta kisebb levélméretet és teljes lombfelületet fejlesztett 2016-ban, mint a megelőző évben. Így tehát elmondható, hogy a két különböző fajta statisztikai szempontból azonos levélmérettel rendelkezik, azonban a teljes levélfelületet tekintve a *C. alba* 'Sibirica' 67 %-kal nagyobb levélfelületet fejleszt a vegetációs idő alatt, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' (10. táblázat).

9. táblázat. A fajta, az évjárat, a termesztési rendszer és az interakció levél paraméterekre gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserjék esetében.

Levél paraméterek	Egyedi levélméret			Teljes levélfelület		
	F-érték	szf	szign.	F-érték	szf	szign.
Fajta	0,656	1	nsz	22,538	1	***
Termesztési rendszer	0,792	1	nsz	0,084	1	nsz
Évjárat	35,287	1	***	6,237	1	*
Fajta*Termesztési rendszer	1,545	1	nsz	0,441	1	nsz
Fajta*Évjárat	0,080	1	nsz	0,021	1	nsz
Termesztési rendszer*Évjárat	1,073	1	nsz	0,126	1	nsz
Fajta*Termesztési rendszer*Évjárat	2,952	1	nsz	0,225	1	nsz

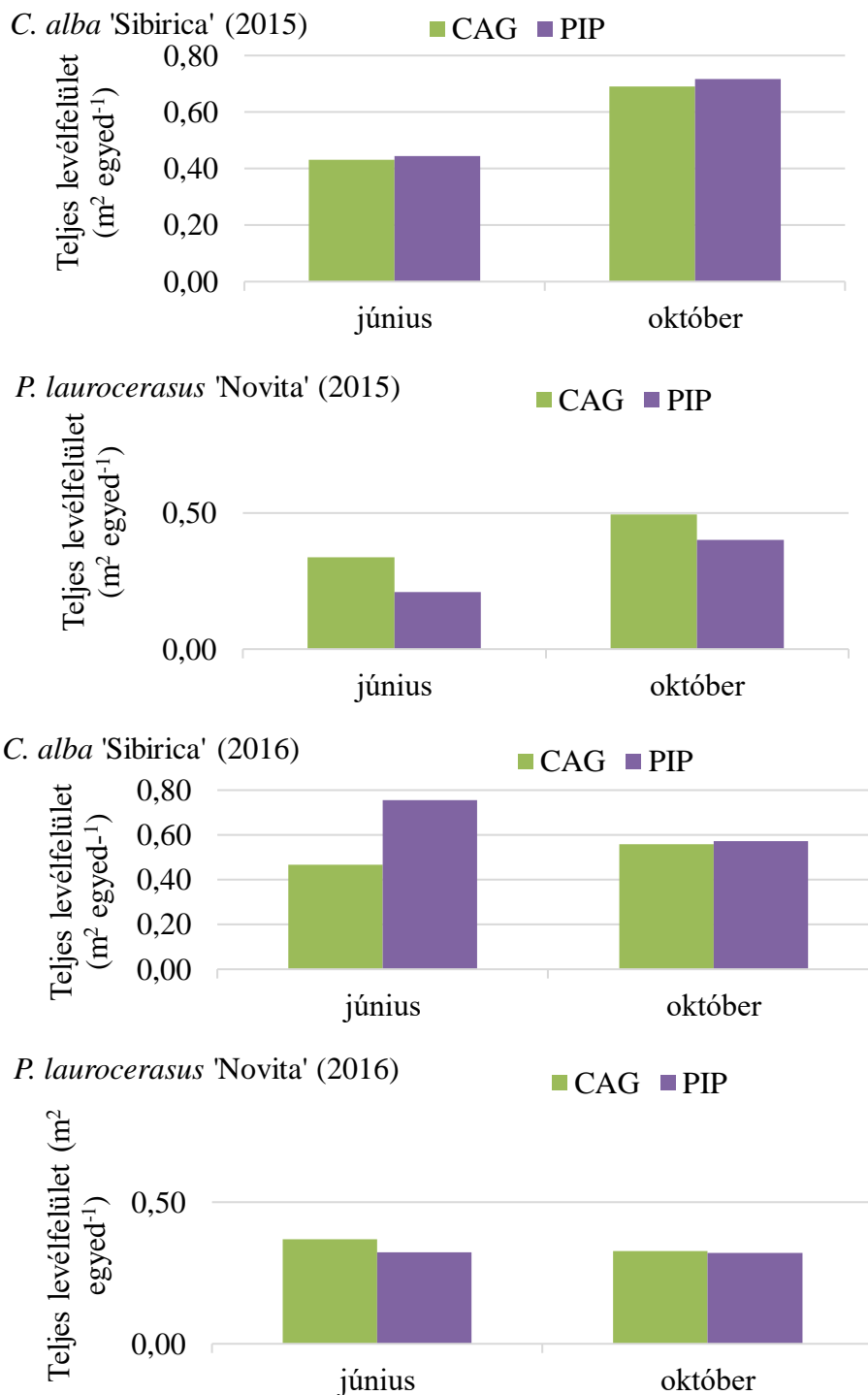
Megjegyzés: a táblázatban az F-érték és a változó szabadságfoka (szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt. A hiba szabadságfoka mindenhol 32. nsz – nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

10. táblázat. Konténerben nevelt (5 liter) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserje taxonok levél paramétereinek alakulása 2015-ben és 2016-ban.

Levél paraméterek	Egyedi levélméret (mm ²)				Teljes levélfelület (m ²)			
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'	
2015								
CAG	2334	aA	2682	aB	0,69	aB	0,49	aA
PIP	2615	aB	2372	aA	0,72	aB	0,40	aA
2016								
CAG	1780	aA	1842	aA	0,56	aA	0,33	aA
PIP	1925	aA	2081	aB	0,57	aB	0,32	aA

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és éven belül, a termesztési rendszerek között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott éven és termesztési rendszeren belül a fajták között. A vastagon szedett betűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és termesztési rendszeren belül, az évek között.

Fentebb a kísérleti évek vegetációs időszakának végén mért adatok kerültek bemutatásra illetve összehasonlításra. Az alábbi 13. ábra a lombfelület vegetációs időszakon belüli változását mutatja. Az eredmények összhangban vannak a korábbi eredményekkel, melyek szerint az évjárat jelentős befolyással bír a lombfelület alakulására. 2015-ben, június és október között még növekedett a lombfelület, 2016-ban jellemzően stagnált, minimálisan csökkent a nagysága ugyanebben az időszakban. A fajtára jellemző lombfelületi mérettartomány (*C. alba* 'Sibirica': 0,4-08 m² egyed⁻¹; *P. laurocerasus* 'Novita': 0,2-05 m² egyed⁻¹) azonban továbbra is jól elkülönül.



13. ábra. Különböző konténeres termesztési rendszerben (CAG;PIP) (5 liter) nevelt *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserje taxonok teljes levélfelületének alakulása június és október között, 2015-ben és 2016-ban.

5.1.3. Különböző konténeres termesztési rendszerekben nevelt, lomblevelű díszcserje növényi részek friss - és száraz tömegének összehasonlítása

Az egyes növényi részek friss tömegében már jól kirajzolódik a termesztési rendszer hatása is – az évjárat hatás mellett – mely jellemzően a gyökértömeg és a teljes biomassza esetében jelentős, ez utóbbinál mindkét fajnál azonos mértékben (11. táblázat). A száraz tömegre az imént leírtak szintén jellemzőek azzal a különbséggel, hogy a gyökér száraz tömege és a teljes növény száraz tömege főként a *C. alba* 'Sibirica' esetében erősen befolyásolt a termesztési rendszer által és az interakciós hatás révén (12. táblázat).

11. táblázat. Az évjárat, a termesztési rendszer és az interakció növényi részek friss tömegére gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserjék esetében.

Paraméterek	levél friss tömeg							
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'				<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'			
Fajták	F-érték	szf	hiba szf	szign	F-érték	szf	hiba szf	szign
Évjárat	2,672	1	16	nsz	4,593	1	16	*
Term. rendszer	1,542	1	16	nsz	3,201	1	16	nsz
É*T	0,235	1	16	nsz	2,229	1	16	nsz
	hajtás friss tömeg							
Évjárat	2,149	1	16	nsz	2,149	1	16	nsz
Term. rendszer	7,643	1	16	*	7,643	1	16	*
É*T	0,350	1	16	nsz	0,350	1	16	nsz
	gyökér friss tömeg							
Évjárat	8,541	1	16	*	69,444	1	16	***
Term. rendszer	8,240	1	16	*	12,277	1	16	**
É*T	0,154	1	16	nsz	0,225	1	16	nsz
	teljes friss tömeg							
Évjárat	6,738	1	16	*	30,886	1	16	***
Term. rendszer	10,80	1	16	**	11,405	1	16	**
É*T	0,117	1	16	nsz	0,039	1	16	nsz

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (hiba szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

12. táblázat. Az évjárat, a termesztési rendszer és az interakció növényi részek száraz tömegére gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserjék esetében.

Paraméterek	levél száraz tömeg							
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'				<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'			
Fajták	F-érték	szf	hiba szf	szign	F-érték	szf	hiba szf	szign
Évjárat	0,794	1	16	nsz	0,816	1	16	nsz
Term. rendszer	1,304	1	16	nsz	2,538	1	16	nsz
É*T	0,691	1	16	nsz	2,489	1	16	nsz
	hajtás száraz tömeg							
Évjárat	4,833	1	16	*	1,492	1	16	nsz
Term. rendszer	9,388	1	16	**	5,935	1	16	*
É*T	0,024	1	16	nsz	4,114	1	16	nsz
	gyökér száraz tömeg							
Évjárat	83,127	1	16	***	55,069	1	16	***
Term. rendszer	49,14	1	16	***	7,786	1	16	*
É*T	23,66	1	16	***	0,367	1	16	nsz
	teljes száraz tömeg							
Évjárat	64,965	1	16	***	23,479	1	16	***
Term. rendszer	47,165	1	16	***	7,360	1	16	*
É*T	18,317	1	16	**	0,059	1	16	nsz

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (hiba szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

Az egyes taxonok átlagértékeit tartalmazó táblázatból kiderül, hogy a levél friss - és száraz tömegét kivéve, minden egyes jellemző, a hajtás -, gyökér - valamint a teljes friss - és száraz tömeg minden esetben szignifikánsan magasabb a PIP rendszerben nevelt *C. alba* 'Sibirica' taxonon, míg ugyanez a különbség igaz a hagyományos CAG rendszerben nevelt *P. laurocerasus* 'Novita' taxonokra (13. táblázat).

13. táblázat. Különböző termesztési rendszerben (CAG és PIP) nevelt *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' növényi részek friss és száraz tömege 2015-ben és 2016-ban.

Fajták	Friss tömeg g növény ⁻¹				Száraz tömeg g növény ⁻¹			
	levél							
	<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'	
CAG	93,2	a	155,8	a	35,2	a	56,3	a
PIP	112,1	a	131,3	a	42,5	a	47,9	a
2015	115,1	a	158,3	a	41,7	a	54,4	a
2016	77,0	a	130,9	a	29,7	a	49,7	a
hajtás								
CAG	137,2	a	140,4	b	65,3	a	57,0	b
PIP	176,4	b	112,6	a	85,9	b	46,6	a
2015	146,4	a	141,1	b	68,2	a	54,4	a
2016	151,8	a	115,4	a	73,2	b	50,0	a
gyökér								
CAG	643,0	a	662,6	b	170,8	a	183,3	b
PIP	861,6	b	464,8	a	356,8	b	133,5	a
2015	641,0	a	328,5	a	142,8	a	92,1	a
2016	739,4	b	911,1	b	227,2	b	254,9	b
teljes növény								
CAG	873,4	a	958,8	b	271,3	a	296,5	b
PIP	1150,1	b	708,6	a	485,2	b	227,9	a
2015	902,5	a	627,9	b	252,7	a	200,9	a
2016	968,2	b	1157,4	a	330,1	b	354,6	b

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán belül a termesztési rendszerek között és az évek között.

5.2. Tápelem mérések

A lomblevélen végzett makro - és mikrotápelem vizsgálatok eredményeit a 14. táblázat tartalmazza.

Az egyes tápelemekre kéttényezős ANOVA-t futtattunk. A nitrogén tartalom estében fajta*termesztési rendszer ($F(1,36) = 8,480$ $p = 0,006$) interakciós hatást tapasztaltunk. A fajták között szignifikáns volt az eltérés, a *P. laurocerasus* 'Novita' levele kétszer magasabb N-tartalommal rendelkezett, mint a *C. alba* 'Sibirica'. A PIP

konténerben nevelt *C. alba* 'Sibirica' levele jelentősen kevesebb nitrogént tartalmazott, mint a CAG konténerben nevelt egyedek. A levelek foszfor tartalmának különbségei hasonlóan alakultak a nitrogén tartalomnál tapasztaltakhoz. A *P. laurocerasus* 'Novita' ez esetben is szignifikáns volt P-tartalomra, a *C. alba* 'Sibirica' levele pedig a PIP rendszerben volt ismét alacsonyabb a foszfor tartalomra nézve. A kálium és kalcium, illetve a vas aránya megegyezett a fajtákban és nem változott a termesztési rendszerek között sem. A magnézium szignifikánsan nagyobb volt a *P. laurocerasus* 'Novita' levelében, míg a cinket kétszer nagyobb arányban tudtuk kimutatni a *C. alba* 'Sibirica' leveléből, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' leveléből.

14. táblázat. Konténerben nevelt (5 liter) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' kifejlett levél tápelem tartalma száraz tömegre vonatkoztatva.

Fajta	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	CAG	PIP	Fajta	CAG	PIP	Fajta
N%	1,637 b	0,992 a	1,315 A	2,318 a	2,179 a	2,248 B
P%	0,111 b	0,070 a	0,090 A	0,240 a	0,213 a	0,227 B
K%	0,124 a	0,123 a	0,123 A	0,119 a	0,115 a	0,117 A
Ca%	0,175 a	0,141 a	0,158 A	0,154 a	0,158 a	0,156 A
Mg%	0,0024 a	0,0027 a	0,0026 A	0,0031 a	0,0034 a	0,0033 B
Fe mg kg ⁻¹	276 a	348 a	312 A	224 a	118 a	171 A
Zn mg kg ⁻¹	169 a	132 a	150 B	79 a	63 a	71 A

Megjegyzés: az egyes tápelemeknél feltüntetett átlagok két éves adatsoron alapulnak (2015; 2016), kivéve a vas (Fe), ahol csak a 2015-ös adatok láthatóak. A mintagyűjtés időpontja október, mindkét évben. Az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott fajtán belül a termesztési rendszerek között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget jelölnek a fajták között, adott mikro- vagy makrotápelem esetében.

5.3. Gravimetrikus vízfogyasztás mérések

A konténeres dísznövények vízfogyasztásának meghatározásánál három paramétert definiáltunk, melyek jól körülírják a vizsgált csoport vízfogyasztási jellemzőit. Ezek a konténer kezdeti (reggeli) tömege (IWC), a konténer napi vízfogyasztása (DWU) és a konténer relatív vízfogyasztása (RWU). A konténer napi vízvesztésén alapuló mérés (DWU) tulajdonképpen a növény és a talaj együttes párolgását/párologtatását, az evapotranszpirációt adja meg.

A vízfogyasztás méréseket *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserjéken végeztük el.

15. táblázat. A fajta, a termesztési rendszer, a mérési nap és az interakciók kezdeti (reggeli) konténertömegre (IWC) gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserjék esetében.

Kezdeti (reggeli) konténertömeg (IWC)						
Független változók	2015			2016		
	F-érték	szf	szign.	F-érték	szf	szign.
Fajta	262,99	1	***	193,689	1	***
Termesztési rendszer	61,197	1	***	107,276	1	***
Mérési nap	78,123	2	***	128,711	2	***
Termesztési rendszer*Fajta	12,96	1	***	1,226	1	nsz
Termesztési rendszer*Mérési nap	47,328	2	***	2,705	2	nsz
Fajta*Mérési nap	2,094	2	nsz	18,074	2	***
Termesztési rendszer*Fajta*Mérési nap	0,334	2	nsz	6,176	2	**

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt. A hiba szabadságfoka 2015-ben 105; 2016-ban 97. nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

Az IWC elemzése során azt láthatjuk, hogy a növényfajta a termesztési rendszer és a mérési nap alapvetően meghatározták annak alakulását, mindkét évben (15. táblázat). Tekintve hogy a legtöbb faktor és interakció szignifikáns, az egyes fajták illetve mérési napok adatait érdemes ilyen bontásban megvizsgálni (16. táblázat). A fajták IWC értéke mindkét évben szignifikánsan különbözött, jellemzően a *P. laurocerasus* 'Novita' konténertömege volt nehezebb. A mérési napok konténertömege adott fajtán és éven belül jól elkülönül, többnyire két csoportra oszlik. A mérési napok statisztikai csoportosítása nem követ feltétlenül azonos mintát sem a fajtán belül a termesztési rendszerek között, sem a fajták között. A termesztési rendszer hatása erősen érvényesül a *P. laurocerasus* 'Novita' esetében, az IWC minden mérési napon szignifikáns a PIP rendszerben. A *C. alba* 'Sibirica' tendenciáiban mindkét évben magasabb a PIP rendszerben, mint a CAG rendszerben, statisztikailag azonban csak 2016-ban szignifikáns.

16. táblázat. A kezdeti (reggeli) konténertömeg (IWC g konténer⁻¹) alakulása a fajták, a mérési napok és a termesztési rendszer (CAG és PIP) tekintetében 2015-ben és 2016-ban.

Kezdeti (reggeli) konténertömeg IWC (g konténer ⁻¹)							
<i>C. alba</i> 'Sibirica'							
Dátum	15/06/05		15/06/30		15/09/22		Termesztési rendszer átlag
CAG	2171	aA	2893	aB	3283	aC	2782
PIP	2397	aA	3084	aB	3366	bB	2949
Átlag	2284		2988		3325		2866
Dátum	16/06/07		16/07/05		16/09/16		Termesztési rendszer átlag
CAG	2149	aB	1678	aA	2260	bB	2029
PIP	3070	aC	1759	aA	2438	aB	2422
Átlag	2609		1719		2349		2226
ÁTLAG							2546
<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'							
Dátum	15/06/05		15/06/30		15/09/22		Termesztési rendszer átlag
CAG	3100	bA	3417	bB	3322	aB	3280
PIP	3697	bA	3827	bA	3665	bA	3729
Átlag	3398		3622		3494		3504
Dátum	16/06/07		16/07/05		16/09/16		Termesztési rendszer átlag
CAG	2773	bB	2179	bA	2768	bB	2573
PIP	3435	bC	2698	bA	3047	bB	3060
Átlag	3104		2439		2907		2817
ÁTLAG							3161

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott termesztési rendszeren és éven belül a fajták között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget (*Tukey*, $p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és termesztési rendszeren belül, adott év mérési napjai között. A vastagon szedett betűk adott fajtán és mérési napon a termesztési rendszer hatását jelölik ($p < 0,05$).

A DWU alakulását a növényfajta és a mérési nap ismét erősen meghatározta, azonban a termesztési rendszer csak 2016-ban befolyásolta a mért értékeket. Emellett erős interakciós hatást figyeltünk meg a termesztési rendszer*mérési nap között, mindkét évben (17. táblázat).

17. táblázat. A fajta, a termesztési rendszer, a mérési nap és az interakciók napi vízfogyasztásra (DWU) gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserjék esetében.

Napi vízfogyasztás (DWU)						
Független változók	2015			2016		
	F-érték	szf	szign.	F-érték	szf	szign.
Fajta	261,577	1	***	126,018	1	***
Termesztési rendszer	0,435	1	nsz	19,316	1	***
Mérési nap	22,416	2	***	32,431	2	***
Termesztési rendszer*Fajta	7,259	1	**	9,397	1	**
Termesztési rendszer*Mérési nap	40,256	2	***	72,215	2	***
Fajta*Mérési nap	0,22	2	nsz	5,575	2	**
Termesztési rendszer*Fajta*Mérési nap	0,916	2	nsz	0,653	2	nsz

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt. A hiba szabadságfoka 2015-ben 106; 2016-ban 96. nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

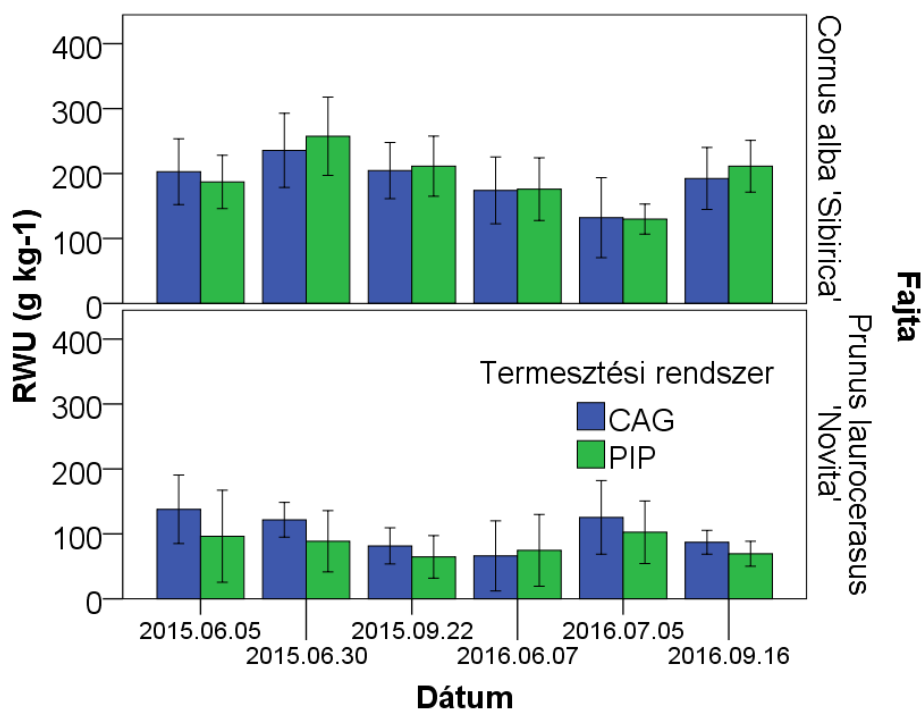
18. táblázat. A napi vízfogyasztás (DWU g nap⁻¹) változása a fajták, a mintavételi napok és a termesztési rendszer (CAG és PIP) tekintetében 2015-ben és 2016-ban.

Napi vízfogyasztás DWU (g nap ⁻¹) (1)							
<i>C. alba</i> 'Sibirica'							
Dátum	15/06/05		15/06/30		15/09/22		Termesztési rendszer átlag
CAG	444	aA	707	bB	674	bB	608
PIP	464	bA	788	bB	681	bB	644
Átlag	454		747		678		626
Dátum	16/06/07		16/07/05		16/09/16		Termesztési rendszer átlag
CAG	384	bB	183	aA	433	bB	333
PIP	534	bB	229	aA	516	bB	426
Átlag	459		206		474		380
ÁTLAG							503
<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'							
Dátum	15/06/05		15/06/30		15/09/22		Termesztési rendszer átlag
CAG	425	aB	415	aB	271	aA	370
PIP	355	aB	340	aAB	239	aB	311
Átlag	390		377		255		341
Dátum	16/06/07		16/07/05		16/09/16		Termesztési rendszer átlag
CAG	183	aA	271	bB	241	aAB	232
PIP	256	aA	277	aA	212	aA	248
Átlag	219		274		226		240
ÁTLAG							290

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott termesztési rendszeren és éven belül, a fajták között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget (*Tukey*, $p < 0,05$) jelölnek adott fajtán és termesztési rendszeren belül, adott év mérési napjai között. A vastagon szedett betűk adott fajtánál a mérési napon a termesztési rendszer hatását jelölik ($p < 0,05$).

A fajták átlagos vízfelhasználása a két évre tekintve 290 és 503 g nap⁻¹ volt. A *C. alba* 'Sibirica' mindkét évben, a mérési napok nagy részében, szignifikánsan magasabb vízfelhasználást mutatott, mint a *P. laurocerasus* 'Novita'. A mintavételi napok jellemzően két statisztikai csoportra oszlanak, több esetben is ellentétesen viselkednek a taxonok. A termesztési rendszer hatását a *C. alba* 'Sibirica' esetében találtuk szignifikánsnak, melyet a 2016-os adatok egyértelműen jeleznek. Ekkor a PIP rendszer vízfelhasználása magasabb volt a CAG termesztési rendszerhez képest (18. táblázat).

A konténeres növények reggel mért össztömegéhez (IWC) viszonyítva a napi vízfogyasztást (DWU), kaptuk meg a relatív vízfogyasztást (RWU). A statisztikai elemzés (több szempontos ANOVA) azt mutatta, hogy a növényfajta*mérési nap együttes hatása $F(5,196) = 34,31$ $p = 0,000$ mellett érvényesül.



14. ábra. Konténeres díszcserje taxonok relatív vízfogyasztása (RWU g kg⁻¹)

A mérési napok tekintetében, a termesztési rendszer hatása nem számottevő (14. ábra), a fajták között jelentkező különbségek egy napot kivéve (2016.07.05) minden esetben szignifikánsan magasabbnak bizonyultak a *C. alba* 'Sibirica' taxon esetében. A mérési napok tekintetében a babérmeggy két csoportba, míg a *C. alba* 'Sibirica' négy csoportba sorolható RWU tekintetében (19. táblázat).

19. táblázat. Konténeres díszcserje taxonok relatív napi vízfogyasztásának (RWU g kg⁻¹ konténertömeg) alakulása a mérési napokon.

RWU (g kg ⁻¹)				
Mérési napok	<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'	
15/06/05	190	bBC	117	aB
16/06/07	175	bB	70	aA
15/06/30	251	bD	105	aB
16/07/05	130	aA	115	aB
16/09/16	205	bC	80	aA
15/09/22	208	bC	73	aA
Napi átlag	194		94	

Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelölnek adott mérési napon a fajták között, az eltérő nagybetűk szignifikáns különbséget (*Tukey*, $p < 0,05$) jelölnek adott fajtán belül, a mérési napok között.

5.3.1. Termesztőközeg nedvességtartalmi mérések

A vízfogyasztás mérési napokon a konténeres termesztőközeg nedvességtartalmának változását is megfigyeltük. A nedvességtartalom megállapítása a reggeli és az esti órákban történt, részben terepen, részben laboratóriumban. Az adatok a 2015-ös mérési napokra vonatkoznak, 2016-ban nem állt rendelkezésünkre a korábban használt mérleg a közegminta tömegének megállapításához. Az adatok elemzését az egytényezős varianciaanalízis (*ANOVA*) módszerével végeztük (20. táblázat).

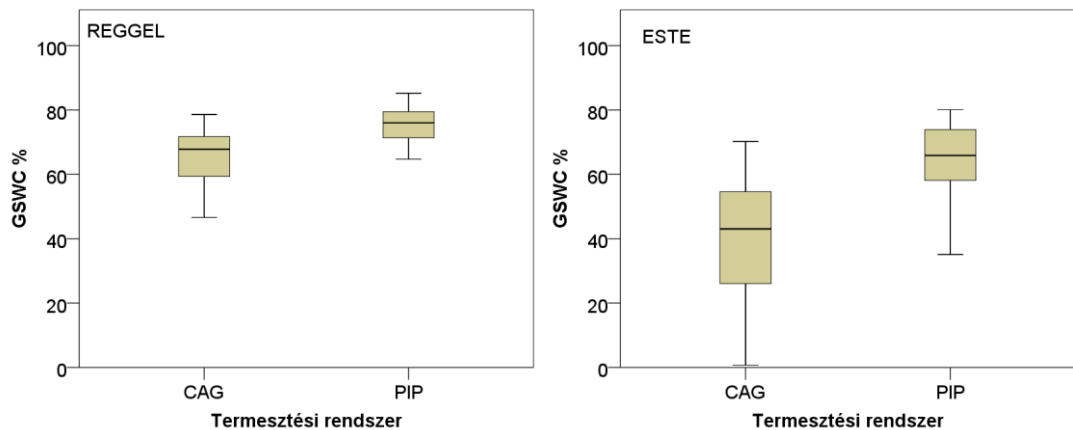
20. táblázat. A konténeres (5 liter) termesztőközeg nedvességtartalmának (GSWC) elemzése a növényfajta és a termesztési rendszer figyelembevételével.

	GSWC (%) reggel			GSWC (%) este		
	szf	F-érték	szign.	szf	F-érték	szign.
Fajta	1	0,051	nsz	1	0,229	nsz
Termesztési rendszer	1	29,857	***	1	29,48	***
Fajta*Termesztési rendszer	1	9,831	*	1	2,013	nsz
Hiba	50			51		

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó és a hiba szabadságfoka (szf) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

A közeg nedvességtartalma sem a reggeli sem az esti órákban és ez utóbbi a lényegesebb, nem volt szignifikáns a fajtára nézve, tehát a termesztett taxon nem befolyásolta a közeg nedvességtartalmát. Ezzel szemben, a termesztési rendszer erősen szignifikáns volt, mind a reggeli, mind az esti órákban. Ennek alapján megállapítható,

hogy a PIP rendszer konténeireinek termesztőközege, nagyobb nedvességtartalommal rendelkezik, már a reggeli órákban is – mintegy előző napi tartalék –, mint a CAG rendszer konténeireinek termesztőközege. Továbbá az esti mérések jól mutatják, hogy a nap folyamán is kisebb veszteséggel bír a PIP, mint a CAG, mert este is magasabb a közegének nedvességtartalma (15. ábra).

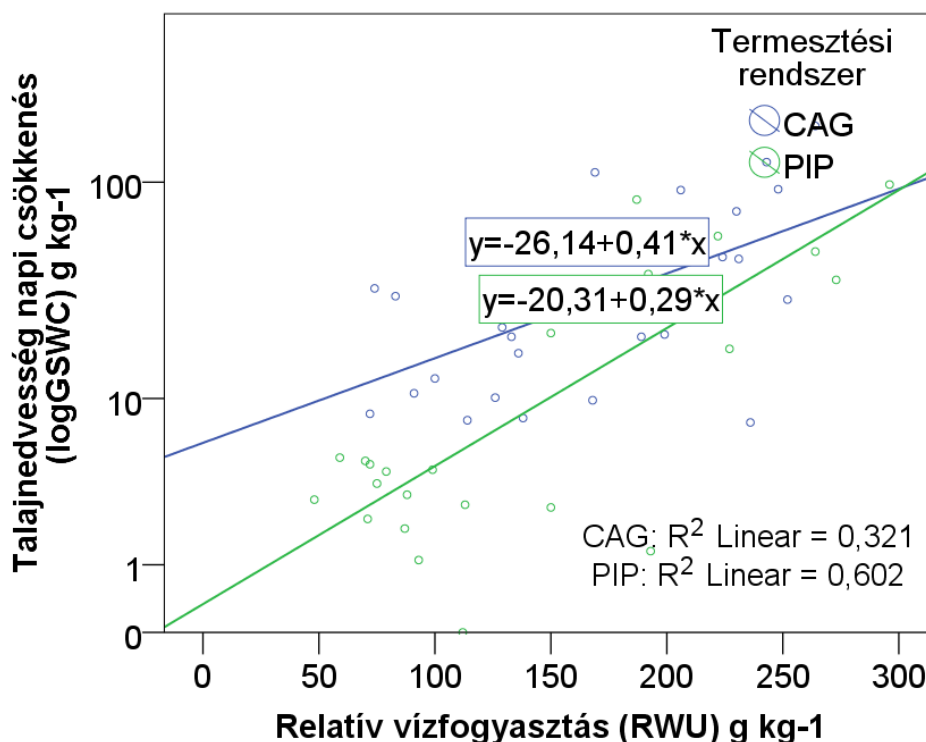


15. ábra. Különböző termesztési rendszerek (CAG; PIP) (5 liter) termesztőközeg nedvességtartalmának (GSWC) összehasonlítása a reggeli és esti napszakokban.

5.3.1.1. *A termesztőközeg nedvességtartalmának (GSWC) és a relatív vízfogyasztásnak (RWU) a kapcsolata*

A GSWC és az RWU kapcsolatával arra szeretnénk rávilágítani, hogy mely konkrét értékskálán mozog a különböző termesztési rendszerek napi vízigényének az a hányada, amelyet a termesztőközeg veszít el nedvességtartalmából.

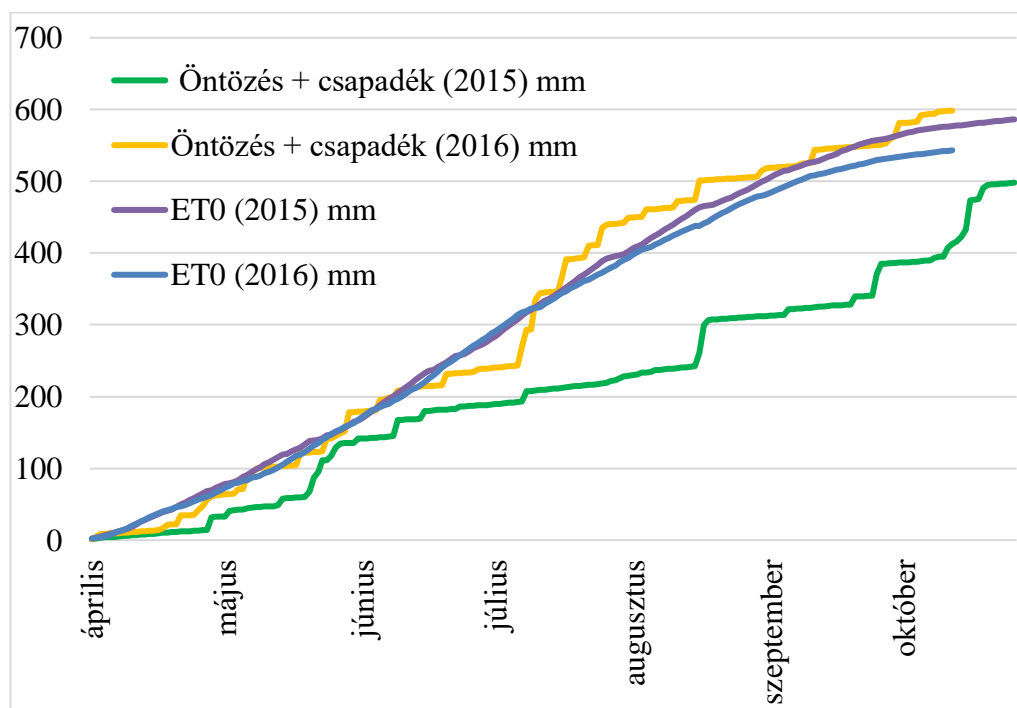
Megállapítottuk, hogy a GSWC és az RWU között függvényszerű kapcsolat áll fenn (*Regresszió analízis*). A regresszió szignifikáns volt (CAG: $F(1,26) = 12,14$ $p = 0,002$; PIP: $F(1,24) = 37,046$ $p = 0,002$), a lineáris illesztés eredménye nagyobb mértékben különbözik a két termesztési rendszernél. A GSWC ez esetben a reggeli és az esti értékek különbségét jelöli, mértékegysége pedig azonos az RWU-val, $g\ kg^{-1}$. A lineáris illesztést a GSWC logaritmusára végeztük el. Az egyenleteket megoldva a napi átlag RWU értékekre azt kapjuk, hogy CAG: $12,4-53,4\ g\ kg^{-1}$, míg PIP: $6,95-35,95\ g\ kg^{-1}$ nedvességtömeget veszít csak a termesztőközegeből a nap folyamán (16. ábra).



16. ábra. A termesztőközeg nedvességtartalmának (GSWC) és a relatív vízfogyasztásnak (RWU) a kapcsolata

5.3.2. Konténeres díszcserjék vízfelhasználási hatékonysága

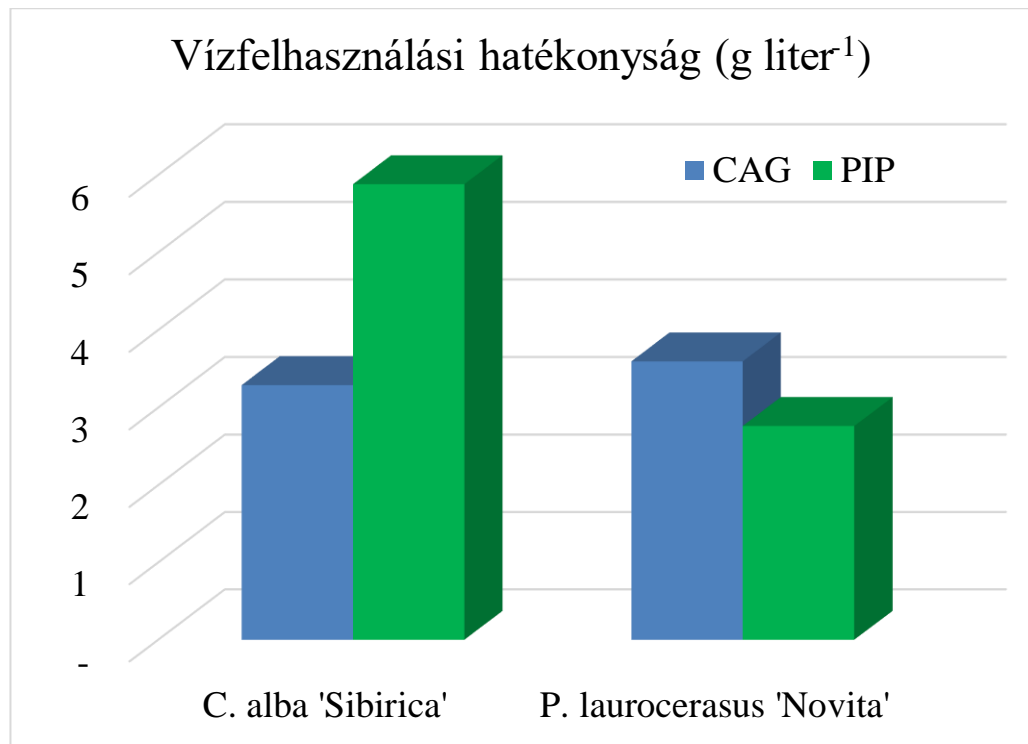
A vegetációs időszakban lehullott csapadékmennyiség és a kijuttatott öntözővíz kumulált összegeit, valamint a referenciapárolgást (ET_0) mutatja az 17. ábra.



17. ábra. A vegetációs időszakban lehullott csapadékmennyiség, a kijuttatott öntözővíz és a referenciapárolgás (ET_0) kumulált összegei a kísérleti időszakban a Jaroslaw Chabin Díszfaiskolában, Pátyon (2015; 2016).

2015-ben a csapadék+öntözés elmaradt az ET_0 -tól, míg 2016-ban, a kedvezőbb csapadékviszonyok következtében, a csapadék és a kijuttatott öntözővíz kumulált összege lefedte az ET_0 -t.

A vízfelhasználási hatékonyság eltérően alakult a különböző termesztési rendszerekben nevelt díszcserje taxonoknál. A *C. alba* 'Sibirica' taxon, a hagyományos CAG rendszerben 3,29 g szárazanyagot állít elő 1 liter vízmennyiség felhasználásával, ezzel szemben 5,88 g-ot a PIP rendszerben. A *P. laurocerasus* 'Novita' taxon 3,60 g szárazanyag produktumot állít elő a CAG rendszerben és 2,76 grammot a PIP rendszerben 1 liter víz felhasználásával, a teljes tenyészidőszakot figyelembe véve (18. ábra).



18. ábra. Díszcserje taxonok vízfelhasználási hatékonysága a különböző konténeres termesztési rendszerekben.

5.4. Levél - gázcseré mérések

Az alábbi fejezetekben a különböző termesztési rendszereket értékeljük az adott díszcserje fajták környezeti tényezőkre adott egyed-szintű, fiziológiai válaszreakcióin keresztül. A termesztési rendszer önmagában kevésbé értékelhető, hiszen a termesztett fajjal együtt fellépő ún. interakciós hatásokat is megfigyeltünk mind a morfológiai mind a vízfogyasztási értékekben. A mintanapok reprezentatív jelleggel tipikus nyári napok voltak ($T_{\max} > 25\text{ °C}$), illetve egy-egy szeptemberi napon is mértünk, mindkét évben. A klímaindexek alapján, hőmérsékleti extrémítás nem jellemezte sem a mérési napokat, sem az azt megelőző illetve követő napokat.

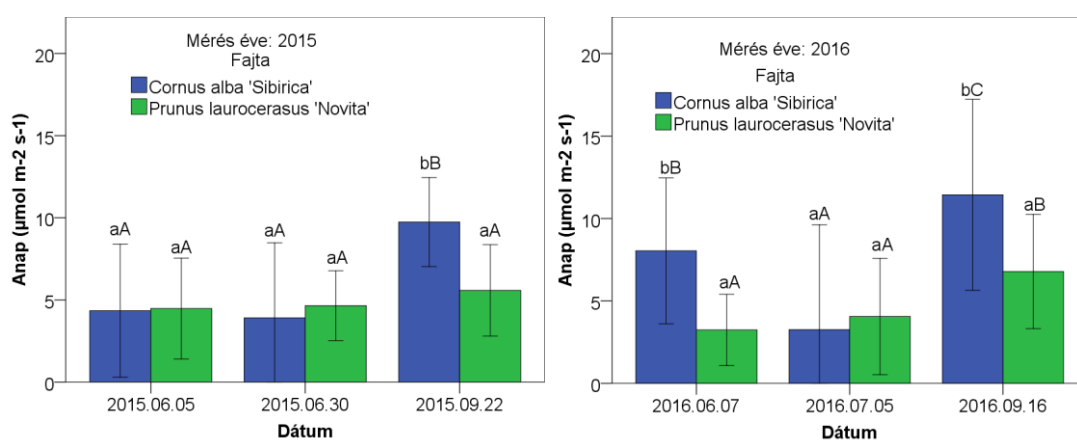
5.4.1. Fotoszintetikus ráta és szén-dioxid asszimiláció

A fotoszintézis mért értékei számított adatok, a berendezés a be- és kiáramló gáz szén-dioxid koncentráció - különbségét, valamint a levegő tömegáramát méri, és ezek szorzata adja a fotoszintetikus rátát. A fotoszintetikus ráta vagy szén-dioxid asszimiláció azonos fogalmakat jelölnek, a szakirodalomban egymás szinonimái. Esetünkben a fotoszintetikus ráta ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) pillanatnyi értéket, a szén-dioxid

áramlásának levélfelületre eső sebességét jelöli, míg a szén-dioxid asszimiláció a kétórás intervallumra vetített ráták napi összegét, melyet g m^{-2} mértékegységben adunk meg. Munkánk során összesen négy-féle fotoszintetikus értéket különböztettünk meg: a fotoszintetikus ráta napi átlagát (A_{nap}), a fotoszintetikus ráta napszaki átlagát (A_{napszak}) és a szén-dioxid asszimiláció napi összegét ($A_{\text{összeg}}$) valamint a teljes mérési időszakra vonatkozó fotoszintetikus rátát (A_{total}).

5.4.1.1. Fotoszintetikus ráta napi átlaga (A_{nap})

2015-ben és 2016-ban is két - két nyári napon ($A_{\text{nap}} \leq 5,64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) és egy - egy őszi napon ($A_{\text{nap}} \geq 7,66 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) végeztük a méréseket. A trend hasonlóan alakult a két mérési évben.



Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget jelölnek a fajták között adott mérési napon, az eltérő nagybetűk (Tukey, $p < 0,05$) szignifikáns különbséget jelölnek a mérési napok között, adott fajtánál.

19. ábra. *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' fotoszintetikus ráta napi átlagok (A_{nap}) a mérési napokon 2015-ben és 2016-ban.

Az A_{nap} -ra futtatott több szempontos varianciaanalízis (ANOVA) csoportosító változói a fajta, a termesztési rendszer és a mérési nap (dátum). Az elemzés kimutatta, hogy 2015-ben ($F(2,51) = 12,105$ $p = 0,000$) és 2016-ban is ($F(2,44) = 8,869$ $p = 0,001$), a fajta*dátum interakciója szignifikáns volt. Ugyanakkor a termesztési rendszernek egyik évben sem volt hatása A_{nap} -ra (2015-ben, $F(1,51) = 0,063$ $p = 0,803$) 2016-ban, ($F(1,44) = 0,264$ $p = 0,610$), így ennek feltüntetésétől ez esetben eltekintünk (19. ábra).

Az interakció értelmezéséből fakadóan megállapítható, hogy egyrészt a *C. alba* 'Sibirica' A_{nap} értéke jellemzően magasabb, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' A_{nap} értéke, másrészt a relatíve hűvösebb mérési napokon (2015.09.22; 2016.06.07; 2016.09.16) mindkét fajta A_{nap} értéke megemelkedett (19. ábra).

5.4.1.2. A fotoszintetikus ráta napszaki változása (A_{napszak})

A fotoszintetikus ráta napi átlaga (A_{nap}) nem ad teljes képet a fotoszintézis napi menetéről, a fotoszintetikus ráta napszaki változásának (A_{napszak}) vizsgálata azonban rámutat a napszak változására adott fajta specifikus fiziológiai válaszreakciókra.

Az A_{napszak} -on ismételt méréses varianciaanalízist (*Repeated Measure ANOVA*) végeztünk. Az elemzés alapja, hogy ugyanazt a mennyiséget (A_{napszak}) ugyanannál a mérési csoportnál (növényfajta) több alkalommal rögzítjük (napszak) és azt vizsgáljuk, hogy a napszak változásával hogyan változik A_{napszak} értéke.

2015-ben a napszakok minden mérési napon szignifikánsan különböztek, mindkét fajtánál (21. táblázat), tehát A_{napszak} statisztikailag is kimutathatóan változott a nap folyamán. A termesztési rendszerek között különbséget nem tudtunk kimutatni (22. táblázat), így a napszakok páronként-i összehasonlítását, a teljes populációra végeztük el, mindkét növényfajtánál (20. ábra).

21. táblázat. A napszak és az interakció fotoszintetikus ráta napszaki átlaga (A_{napszak}) gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2015-ben.

Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szign.	szf.	F-érték	szign.
2015. június 05.						
Napszak	4	7,041	***	3	11,4	***
Napszak*Termesztési rendszer	4	1,958	nsz	3	0,67	nsz
Hiba (Napszak)	72			54		
2015. június 30.						
Napszak	2,48	54,06	***	3	8,47	***
Napszak*Termesztési rendszer	2,48	2,461	nsz	3	0,23	nsz
Hiba (Napszak)	37,3			54		
2015. szeptember 22.						
Napszak	1,9	9,661	**	2,24	11,7	***
Napszak*Termesztési rendszer	1,9	0,982	nsz	2,24	0,68	nsz
Hiba (Napszak)	34,2			40,33		

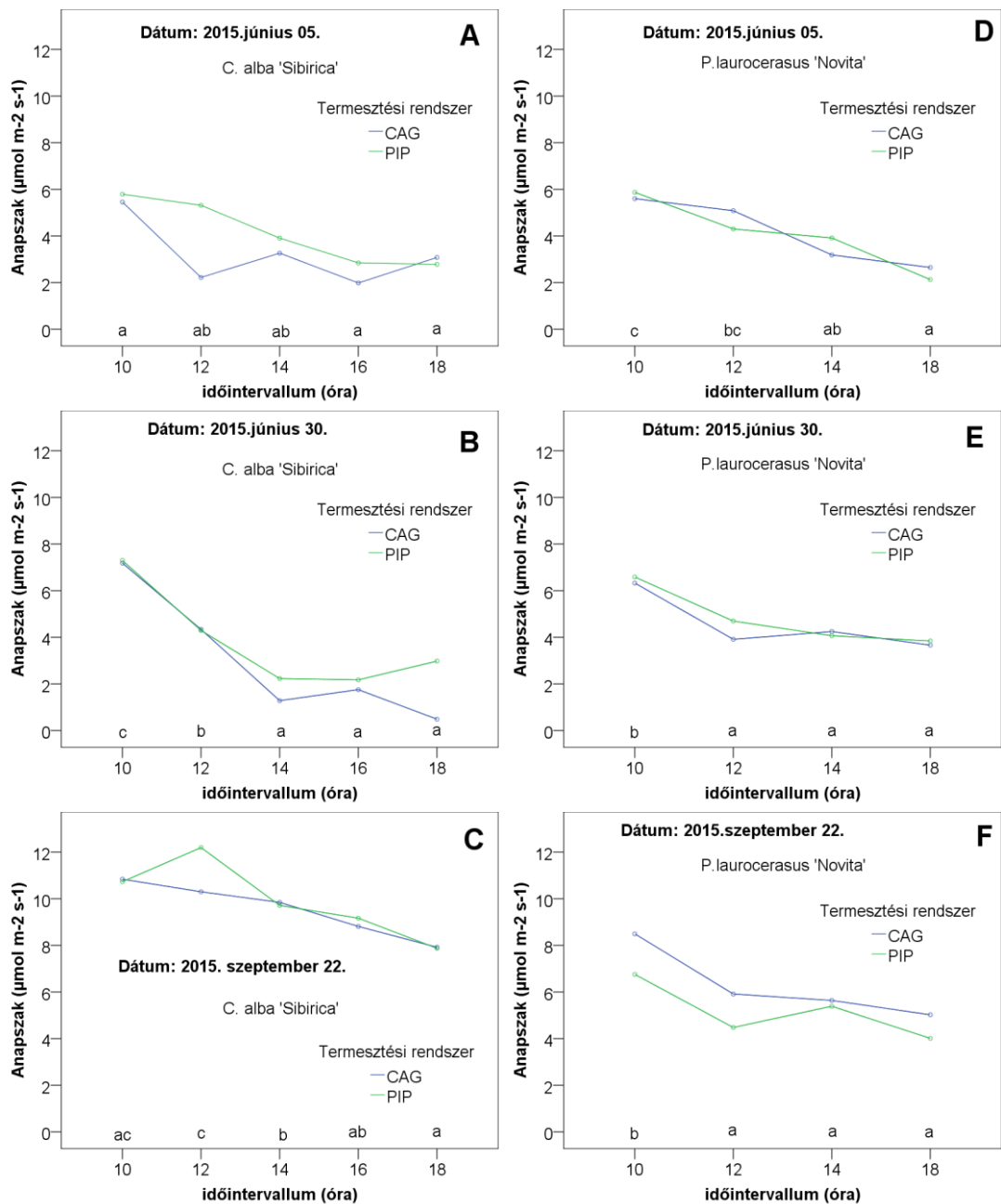
Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

22. táblázat. A termesztési rendszer fotoszintetikus ráta napszaki átlagra (A_{napszak}) gyakorolt hatásának elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2015-ben.

Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szign.	szf.	F-érték	szign.
2015.június 05.						
Termesztési rendszer	1	1,724	nsz	1	0,031	nsz
Hiba	18			18		
2015.június 30.						
Termesztési rendszer	1	1,914	nsz	1	0,25	nsz
Hiba	15			18		
2015.szeptember 22.						
Termesztési rendszer	1	0,479	nsz	1	2,407	nsz
Hiba	18			18		

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

Az A_{napszak} menetét a 20. ábra mutatja, mely alapján, az A_{napszak} értéke közel lineárisan csökken a délelőtt 10 és este 18 óra közötti időszakban. A *C. alba* 'Sibirica' erőteljesebb visszaesést mutat 12 és 14 órakor a hagyományos termesztési rendszerben, mint a PIP rendszerben (20. ábra A és B). Emellett az iménti taxonnál értéke magasabb (20. ábra A) vagy részben magasabb (20. ábra B és C) a nap folyamán a pot in pot rendszerben, mint a hagyományos konténeres rendszerben. Ugyanakkor a *P. laurocerasus* 'Novita' taxon A_{napszak} értéke a PIP rendszerben többnyire alacsonyabb (20. ábra F) mint a hagyományos termesztési rendszerben, vagy azzal azonos (20. ábra D és E) a nap folyamán. A fajták között jelentősebb különbség ősszel mutatkozik (20. ábra C és F).



Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$, Bonferroni korrekcióval) jelölnek a napszakok között.

20. ábra. Különböző termesztési rendszerekben nevelt konténeres díszcserjék (5 liter) fotoszintetikus rátájának napszaki alakulása (A_{napszak}), a mérési napokon, 2015-ben.

2016-ban, a napszakok – június 7. kivételével –, mindkét fajtánál különböztek (23. táblázat). Ugyanakkor ezen a napon, a termesztési rendszerek között jelentős különbség mutatható ki az A_{napszak} -ban (24. táblázat).

Az interakció egy esetben szignifikáns volt, tehát nyár közepén, július 5-én, a napszaknak és a termesztési rendszernek együttes hatása volt A_{napszak} -ra (23. táblázat).

23. táblázat. A napszak és az interakció fotoszintetikus ráta napszaki átlagra (A_{napszak}) gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2016-ban.

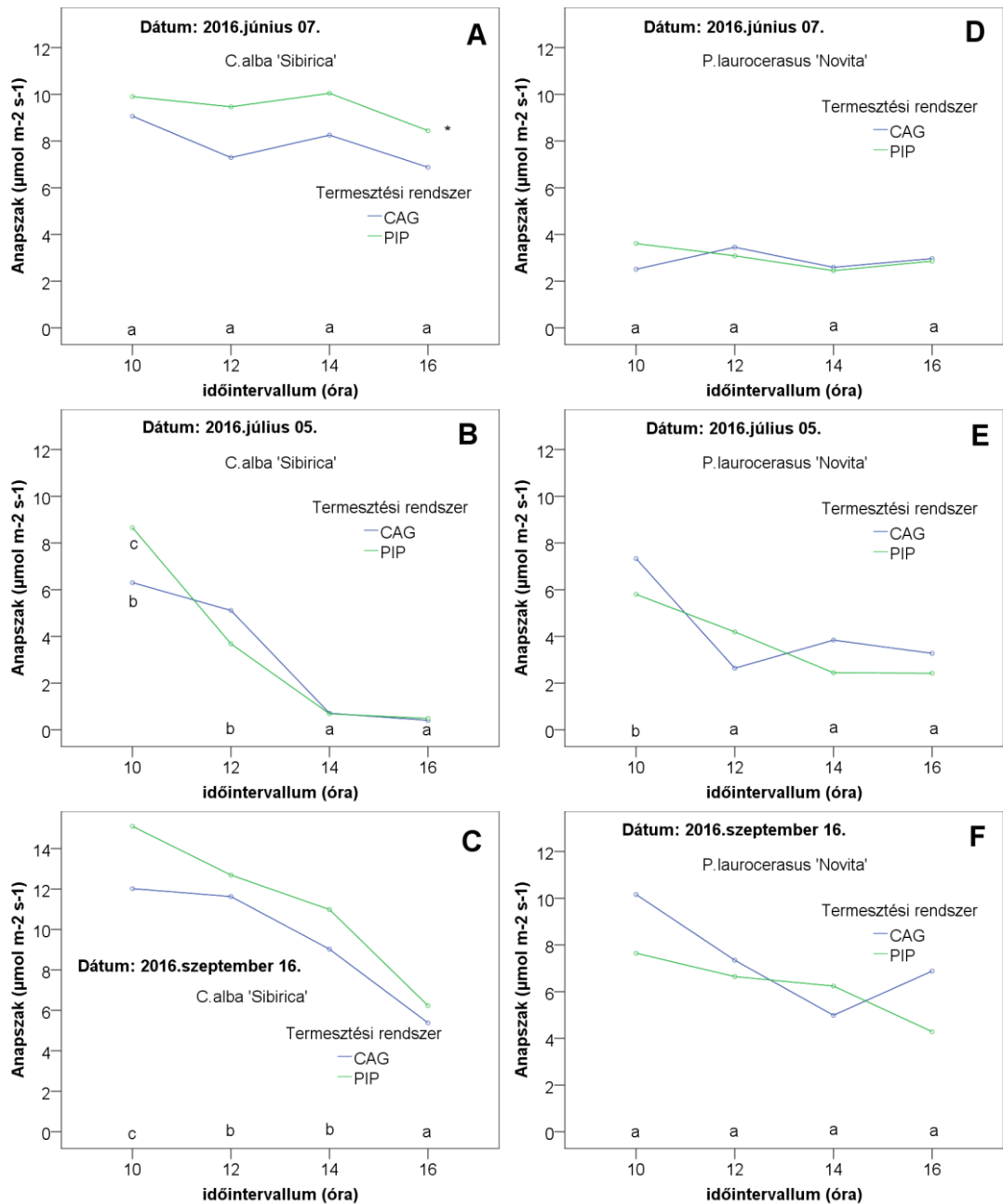
Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szign.	szf.	F-érték	szign.
2016. június 07.						
Napszak	3	2,012	nsz	3	1,052	nsz
Napszak*Termesztési rendszer	3	0,238	nsz	3	1,164	nsz
Hiba (Napszak)	48			51		
2016. július 05.						
Napszak	1,688	88,464	***	3	13,370	***
Napszak*Termesztési rendszer	1,688	4,847	**	3	2,306	nsz
Hiba (Napszak)	30,378			51		
2016. szeptember 16.						
Napszak	3	12,154	***	3	4,433	**
Napszak*Termesztési rendszer	3	0,275	nsz	3	1,496	nsz
Hiba (Napszak)	45			51		

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

24. táblázat. A termesztési rendszer fotoszintetikus ráta napszaki átlagra (A_{napszak}) gyakorolt hatásának elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2016-ban.

Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szf.	F-érték	szf.	F-érték
2016. június 07.						
Termesztési rendszer	1	6,062	*	1	0,059	nsz
Hiba	16			17		
2016. július 05.						
Termesztési rendszer	1	0,324	nsz	1	0,92	nsz
Hiba	18			17		
2016. szeptember 16.						
Termesztési rendszer	1	1,271	nsz	1	2,734	nsz
Hiba	15			17		

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.



Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$, Bonferroni korrekcióval) jelölnek a napszakok között, a * szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelöl a termesztési rendszerek között.

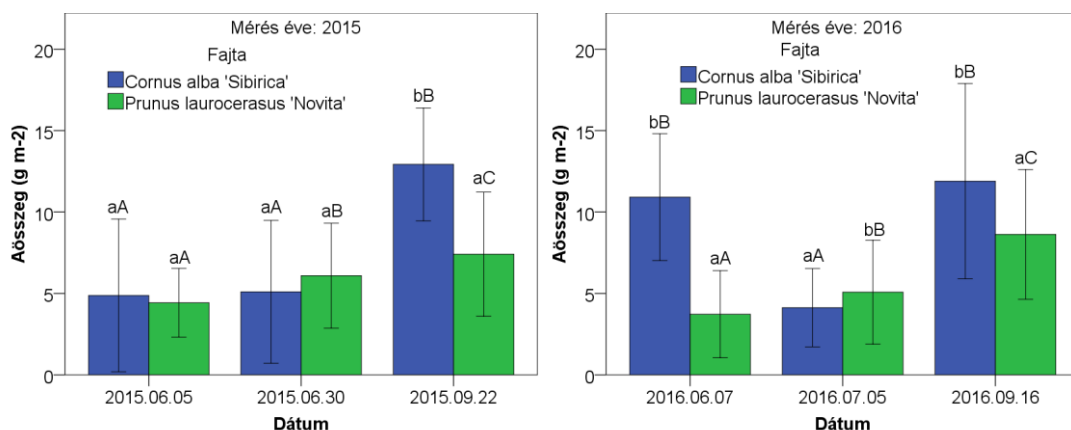
21. ábra. Különböző termesztési rendszerekben nevelt konténeres díszcserjék (5 liter) fotoszintetikus rátájának napszaki alakulása (A_{napszak}), a mérési napokon, 2016-ban.

Az A_{napszak} a 2016-ban is jellemzően csökkenő tendenciát mutat a nap folyamán (21. ábra). A termesztési rendszer hatása jól megfigyelhető a *C. alba* 'Sibirica' taxonnál (21. ábra A és C); a PIP rendszerben mért A_{napszak} -ot jelző zöld vonal végig magasabb a nap folyamán, mint a CAG rendszert jelző kék vonal. A *P. laurocerasus* 'Novita' taxon, a CAG rendszerben többnyire magasabb A_{napszak} értékeket produkál, mint a PIP rendszerben, noha ezt a statisztikai elemzés nem támasztotta alá (21. ábra E és F). A fajták között jelentősebb különbség – 2015-től eltérően, nem ősszel, hanem egy nyári, ugyanakkor hűvösebb napon, június 7-én – jelentkezik (21. ábra C és F).

5.4.1.3. *Egységnyi levélfelület napi szén-dioxid asszimilációja* ($A_{\text{összeg}}$)

Az egységnyi levélfelület szén-dioxid asszimiláció napi összértéke ($A_{\text{összeg}}$) a harmadik fotoszintetikus paraméter, melynek eredményeit bemutatjuk a lomblevelű taxonok esetében. A statisztikai elemzés (ANOVA) megmutatta, hogy az $A_{\text{összeg}}$ nagyon hasonlóan alakult, mint A_{nap} . Vagyis a fajta*dátum (mérési nap) interakció szignifikáns volt mindkét évben (2015-ben: $F(2,107) = 34,751$ $p = 0,000$, 2016-ban: $F(2,98) = 52,324$ $p = 0,000$), illetve a termesztési rendszer hatása 2015-ben ($F(1,107) = 0,000$ $p = 0,983$) és 2016-ban ($F(1,98) = 0,138$ $p = 0,080$) sem mutatható ki. Ez utóbbi ábrázolásától, a fentiek miatt eltekintettünk (22. ábra).

A mérési napok összehasonlításakor, azonos számú időintervallum összegét vettük figyelembe. Az $A_{\text{összeg}}$ a meleg nyári napokon alacsonyabb értékű, mint a hűvösebb vagy őszi mérési napokon. Ugyanakkor statisztikai különbség is kimutatható a fajták között, mely szerint hat mérési napon a *C. alba* 'Sibirica' esetében lényegesen magasabb volt az $A_{\text{összeg}}$, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' esetében.



Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget jelölnek a fajták között adott mérési napon. Adott mérési nap azonos mérési időintervallum összege.

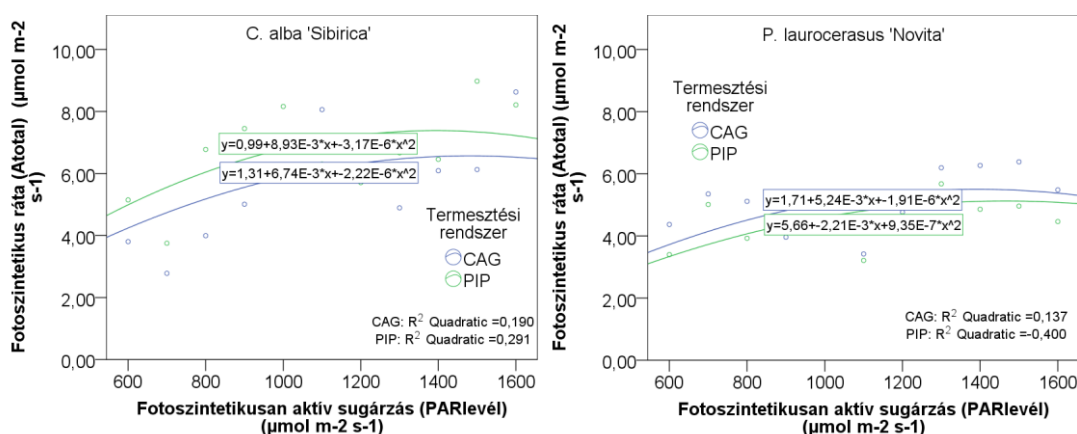
22. ábra. Az egységnyi levélfelület szén-dioxid asszimiláció napi összértéke ($A_{\text{összeg}}$) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserje fajtákon.

5.4.1.4. A fényintenzitás ($PAR_{\text{levél}}$) és a fotoszintetikus ráta (A_{total}) kapcsolata

A levélfelszínen mért fotoszintetikusán aktív sugárzás c értékek a 400-700 nm közötti hullámhossz tartományba eső elektromágneses sugárzás levélfelületre eső fotonáram sűrűségét jelölik. Napfényes időben ez az érték $2000 \mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ körül mozog, esetünkben a szabadföldi körülmények, illetve a reggeli órától koraestig tartó mérések következtében széles értékkálán mozognak ($531\text{-}2145 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

A fény intenzitásának növekedésével a fotoszintetikus ráta egy pontig lineárisan emelkedik, majd telítődést mutat. A telítődési görbét (fény - válasz görbe) leíró modellhez szükséges egyik paraméter, az y tengely metszéspontja, mely nem adható meg jó közelítéssel, tekintve, hogy 10-es nagyságrendű fényintenzitási értékeket nem mértünk szabadföldön. Adatpontjainkra így másodfokú görbét (polinom) illesztettünk.

Az ún. fényteltődési ponton túl, a fényintenzitás növekedésével a fotoszintetikus ráta már nem emelkedik tovább. A fényteltődési pont elérése után a fotoszintetikus rátát már más tényezők limitálják, szabadföldi körülmények között, $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ felett csökkenést tapasztaltunk a fotoszintetikus rátában, mindkét fajta esetében. A *C. alba* 'Sibirica' fényteltődési pontja magasabb, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' és előbbinél a PIP, míg utóbbinál a CAG növények fotoszintetikus rátája mutatkozott magasabbnak (23. ábra).



23. ábra. A fotoszintetikus ráta (A_{total}) és a fotoszintetikusán aktív sugárzás ($PAR_{levél}$) kapcsolata konténeres díszcserjék esetében.

5.4.1.5. A sztómakonduktancia (g_s) és a fotoszintetikus ráta (A_{total}) kapcsolata

A sztómakonduktancia g_s a sztómaellenállás reciproka, értéke tehát alacsony mikor a sztómaellenállás magas és magas mikor a sztómaellenállás alacsony. Az mérési időszak adatsora viszonylag szűk értékskálán mozog ($0,180 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), és a mért értékek 2/3-a még ennél is alacsonyabban, az értékskála fele alatt ($0,090 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) alatt helyezkedik el.

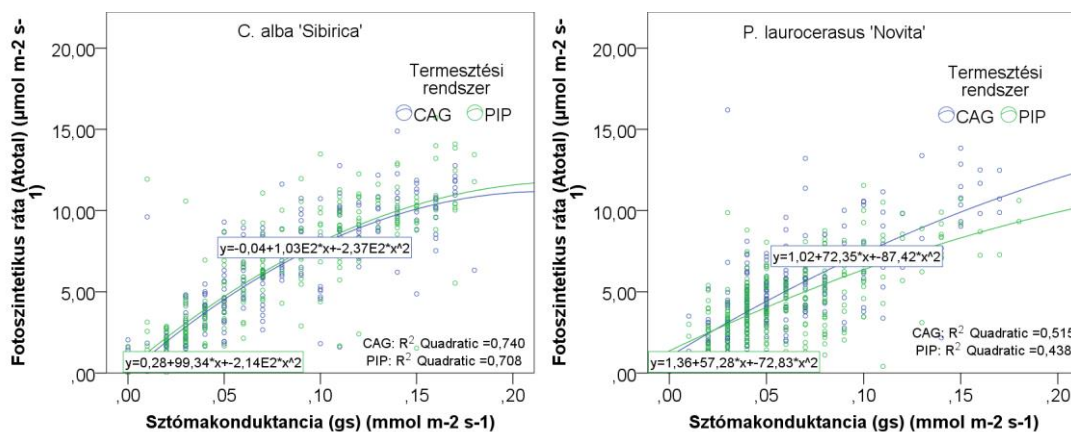
A fotoszintetikus ráta és a sztómakonduktancia kapcsolata az adaptációs képességre világít rá, hogy a növény optimalizálja a vízvesztés és a szén-dioxid felvétel arányát. A regresszióanalízis eredményét a 25. táblázat mutatja.

25. táblázat. Konténeres díszcserjék (5 liter) sztómakonduktancia és fotoszintetikus aktivitás összefüggésének vizsgálata regresszióanalízissel.

Fajta	<i>C. alba</i> 'Sibirica'		<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'	
Termesztési rendszer	CAG	PIP	CAG	PIP
Egyenlet	Polinom			
R^2	0,740	0,708	0,515	0,438
F-érték	358,944	295,244	147,498	106,402
szf.	2	2	2	2
Hiba szf.	252	244	278	273
szign.	0,000	0,000	0,000	0,000
Konstans	- 0,043	0,277	1,018	1,362
b1	103,169	99,337	72,351	57,279
b2	- 237,26	- 214,37	- 87,416	- 72,834

Megjegyzés: a táblázatban a korrelációs együttható (R^2), az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba szf.) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt, valamint a paraméter becslés eredményei.

A regresszió szignifikáns mindkét taxonra és mindkét termesztési rendszerre nézve. A becült paraméterekből felírható az egyenlet, mely A_{total} változását írja le g_s függvényében. Az egyenleteket megoldva, kifejezhető az illetett görbe szélsőértéke (ez esetben maximuma), mely a *C. alba* 'Sibirica' esetében $10,797 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a CAG növényeknél és $11,785 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a PIP növényeknél. A *P. laurocerasus* 'Novita' maximuma $15,986 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a CAG növényeknél és $12,611 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a PIP növényeknél (24. ábra).



24. ábra. Konténeres díszcserjéken (5 liter) mért sztómakonduktancia és fotoszintetikus aktivitás paraméterek összefüggése, regressziós görbe illesztése.

5.4.2. A transzspirációs ráta

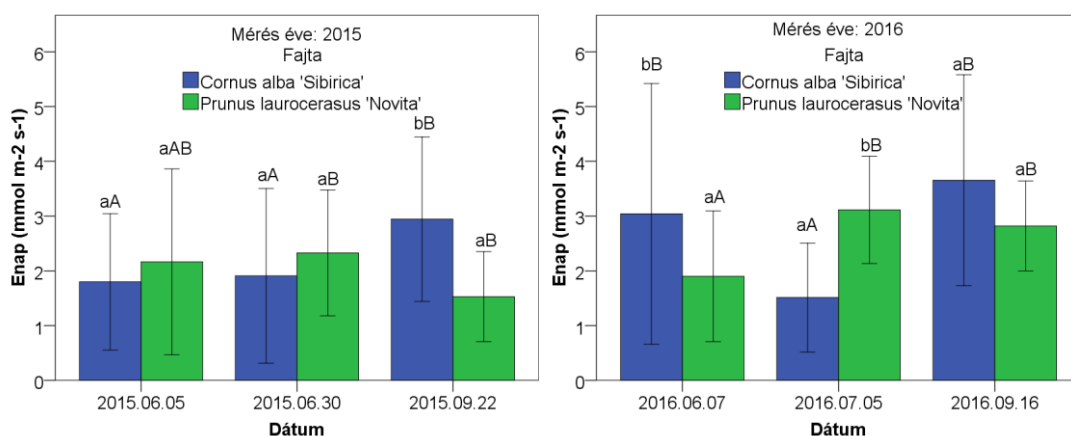
A transzspirációs ráta a levél - gázcsere mérést végző műszer egyik kimeneti paramétere. A növény levelén mért vízgőz áramlás sebességét, pontosabban a mérőkamrába be és ki áramló vízgőz különbségét kapjuk meg adott légköri nyomásértéken. Munkánk során – a fotoszintetikus rátához hasonlóan – összesen négy-féle transzspirációs paramétert vezetünk le a transzspirációs ráta mért értékeiből: transzspirációs ráta napi átlagát (E_{nap}), a transzspirációs ráta napszaki átlagát (E_{napszak}) és a transzspiráció napi összegét ($E_{\text{összeg}}$) valamint a teljes mérési időszakra vonatkozó transzspirációs rátát (E_{total}).

5.4.2.1. A transzspirációs ráta napi átlaga (E_{nap})

A szabadföldi méréseink eredményeit, adott mérési nap transzspirációs rátájának átlagát mutatja a 25. ábra.

Az E_{nap} -ra futtatott több szempontos varianciaanalízis (ANOVA) csoportosító változói a fajta, a termesztési rendszer és a mérési nap (dátum). Az elemzés kimutatta, hogy a fajta*dátum interakciója szignifikáns volt 2015-ben $F(2,52) = 11,057$ $p = 0,000$ és 2016-ban is $F(2,44) = 15,081$ $p = 0,000$. A termesztési rendszer nem volt hatással E_{nap} -ra 2015-ben $F(1,52) = 0,229$ $p = 0,635$ és 2016-ban sem $F(1,44) = 0,189$ $p = 0,666$, ezért ennek ábrázolásától eltekintettünk. Az interakció értelmezéséből következően, a mérési napokon megvizsgáltuk adott fajta E_{nap} értékét, illetve a mérési napokat is összehasonlítottuk.

A *C. alba* 'Sibirica' nyáron alacsonyabb E_{nap} értékeket produkált, mint ősszel (2016.06.07-et kivéve), tehát a hűvösebb napokon fokozottabb volt a növény transzspirációja. A *P. laurocerasus* 'Novita' esetében ilyen jellegű tendenciát nem figyeltünk meg, azonban a két fajta ellentétes viselkedése megfigyelhető.



Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget jelölnek a fajták között adott mérési napon, az eltérő nagybetűk (Tukey, $p < 0,05$) szignifikáns különbséget jelölnek a mérési napok között, adott fajtánál.

25. ábra. *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' transzspirációs ráta napi átlagok (E_{nap}) a mérési napokon 2015-ben és 2016-ban.

5.4.2.2. A transzspirációs ráta napszaki változása ($E_{napszak}$)

A transzspirációs ráta napszaki változása, a fotoszintetikus rátához hasonlóan került kielemezésre (*Repeated Measure ANOVA*). Az $E_{napszak}$ menetének vizsgálata a fajta és mérési nap illetve azonos számú időintervallum figyelembevételével történt.

2015-ben a napszakok minden mérési napon szignifikánsan különböztek, mindkét fajtánál (26. táblázat). A termesztési rendszerek között különbséget nem tudunk kimutatni (27. táblázat) így a napszakok páronként-i összehasonlítását, a teljes populációra végeztük el, mindkét fajtánál (26. ábra).

26. táblázat. A napszak és az interakció transzspirációs ráta napszaki átlagra ($E_{napszak}$) gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2015-ben.

Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szign.	szf.	F-érték	szign.
2015.június 05.						
Napszak	2,57	13,85	***	3	27,299	***
Napszak*Termesztési rendszer	2,57	0,512	nsz	3	1,042	nsz
Hiba (Napszak)	46,31			51		
2015.június 30.						
Napszak	4	32,35	***	3	18,887	***
Napszak*Termesztési rendszer	4	1,141	nsz	3	0,656	nsz
Hiba (Napszak)	64			48		
2015.szeptember 22.						
Napszak	4	37,65	***	1,62	16,731	***
Napszak*Termesztési rendszer	4	3,369	*	1,62	0,748	nsz
Hiba (Napszak)	44			27,45		

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

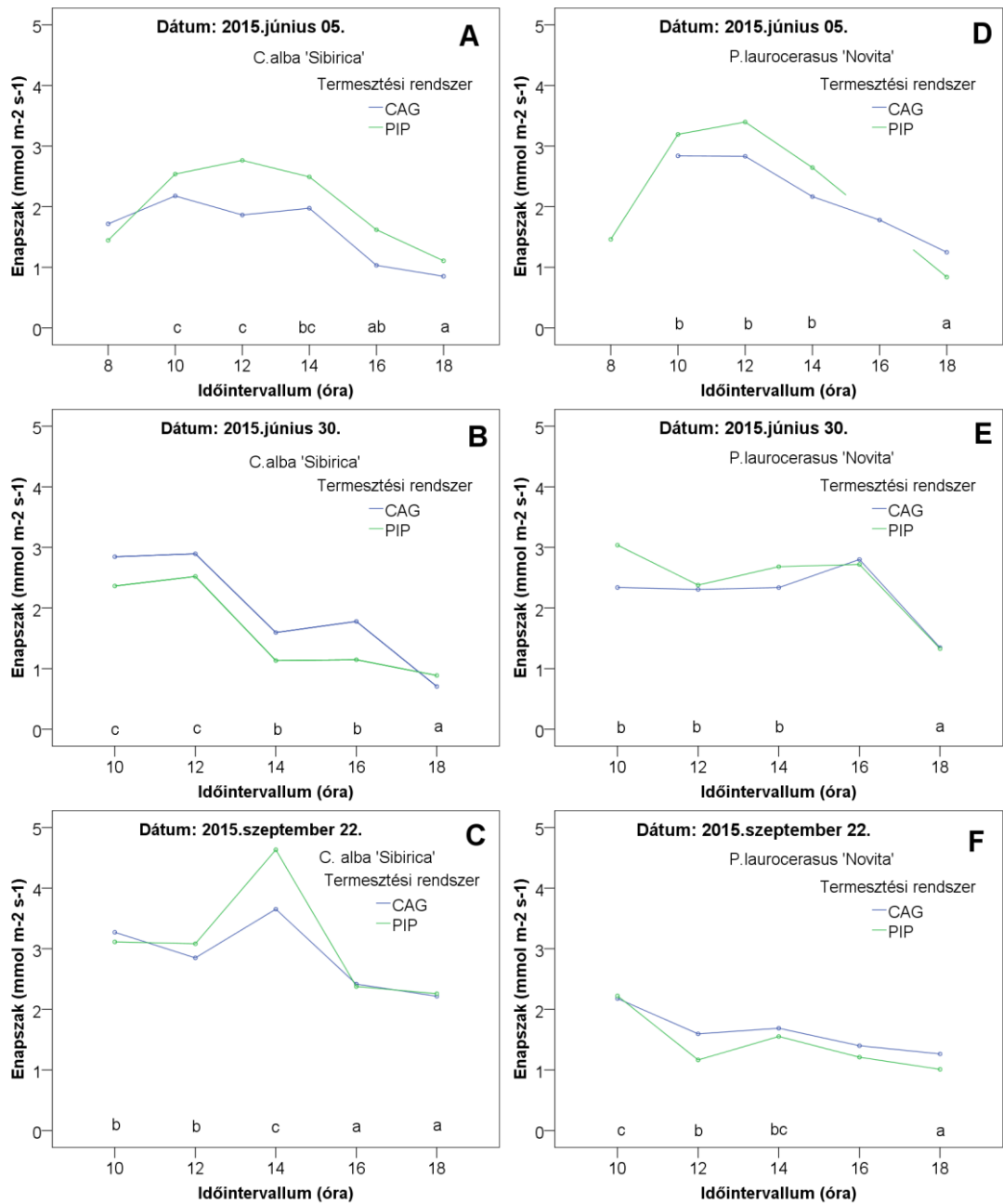
27. táblázat. A termesztési rendszer transzspirációs ráta napszaki átlagra (E_{napszak}) gyakorolt hatásának elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2015-ben.

Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szign.	F-érték	szf.	szign.
2015.június 05.						
Termesztési rendszer	1	3,054	nsz	1	0,62	nsz
Hiba	18			17		
2015.június 30.						
Termesztési rendszer	1	1,093	nsz	1	1,273	nsz
Hiba	16			16		
2015.szeptember 22.						
Termesztési rendszer	1	1,504	nsz	1	1,718	nsz
Hiba	11			17		

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

A transzspirációs görbe napi alakulása haranggörbe jellegű a reggel 6-8 órai adatok rajzolnák ki teljesen. A reggeli időpontban azonban nem minden mérési napon rendelkezünk adatokkal, így a statisztikai összehasonlítás szempontjából csak azokat az időintervallumokat vettük figyelembe (10-16 illetve 10-18 óra között), amelyekről minden mérési napon rendelkezünk adatokkal, adott fajtánál.

Jelentős különbség mutatkozik a két taxon között: míg nyáron a *C. alba* 'Sibirica' erősebb mértékű visszaesést mutat 14 órakor (26. ábra B), addig a *P. laurocerasus* 'Novita' E_{napszak} állandó marad (26. ábra E). Ugyanígy, a *C. alba* 'Sibirica' ősszel, 14 órakor kiugró E_{napszak} értéke (26. ábra C) a *P. laurocerasus* 'Novita' taxonnál ugyanekkor állandó (26. ábra F).



Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$, Bonferroni korrekcióval) jelölnek a napszakok között.

26. ábra. Különböző termesztési rendszerekben nevelt konténeres díszcserjék (5 liter) transzpirációs rátájának napszaki alakulása (E_{napszak}), a mérési napokon, 2015-ben.

2016-ban ismét kimutattuk a napszakok statisztikai különbségét (28. táblázat). A napszakok különbsége azt jelenti adott fajtánál, hogy a görbék egyes időintervallumaiban mért E_{napszak} -ok között statisztikai különbség van. Ez azért jelentős, mert a *C. alba* 'Sibirica' esetében általában több statisztikai csoport különíthető el E_{napszak} tekintetében (27. ábra A-C), mint a *P. laurocerasus* 'Novita' esetében (27. ábra D-F). A termesztési rendszer hatása ezúttal megfigyelhető (29. táblázat), szemben a korábbi évvel.

28. táblázat. A napszak és az interakció transzspirációs ráta napszaki átlagra (E_{napszak}) gyakorolt hatásainak elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2016-ban.

Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szign.	szf.	F-érték	szign.
2016. június 07.						
Napszak	1,53	15,986	***	3	15,649	***
Napszak*Termesztési rendszer	1,53	0,835	nsz	3	0,783	nsz
Hiba (Napszak)	26,01			54		
2016.július 05.						
Napszak	3	20,495	***	1,528	1,317	nsz
Napszak*Termesztési rendszer	3	1,209	nsz	1,528	0,144	nsz
Hiba (Napszak)	54			22,92		
2016. szeptember 16.						
Napszak	3	5,797	**	3	4,934	**
Napszak*Termesztési rendszer	3	0,582	nsz	3	2,398	nsz
Hiba (Napszak)	51			51		

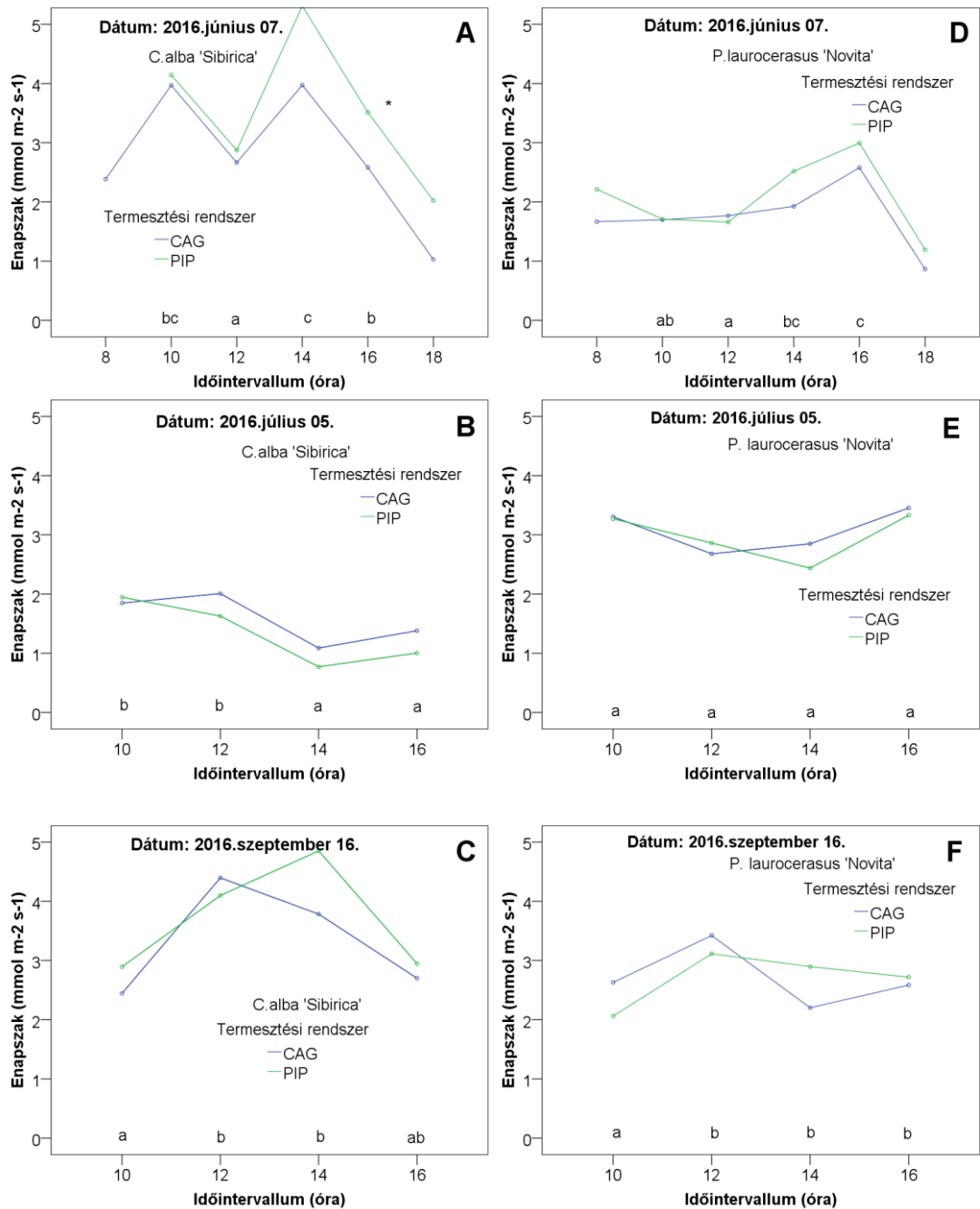
Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

29. táblázat. A termesztési rendszer transzspirációs ráta napszaki átlagra (E_{napszak}) gyakorolt hatásának elemzése konténeres (5 liter) díszcserjék esetében, a mintavételi napokon, 2016-ban.

Dátum	<i>C. alba</i> 'Sibirica'			<i>P. laurocerasus</i> 'Novita'		
	szf.	F-érték	szign.	szf.	F-érték	szign.
2016. június 07.						
Termesztési rendszer	1	4,727	*	1	1,834	nsz
Hiba	17			18		
2016. július 05.						
Termesztési rendszer	1	2,004	nsz	1	0,074	nsz
Hiba	18			15		
2016. szeptember 16.						
Termesztési rendszer	1	0,411	nsz	1	0,002	nsz
Hiba	17			17		

Megjegyzés: a táblázatban az F-érték, a változó szabadságfoka (szf) és a hiba szabadságfoka (Hiba) van feltüntetve a megfelelő szignifikancia szinttel (szign.) együtt; nsz - nem szignifikáns, * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$.

A termesztési rendszer hatása korányáron mérhető, a *C. alba* 'Sibirica' taxon esetében (27. ábra A), amikor a PIP rendszerben magasabb E_{napszak} értékek jelentkeztek a nap folyamán, mint a CAG rendszerben. Mint korábban E_{nap} esetében is látszott, a *C. alba* 'Sibirica' taxon E_{napszak} hűvösebb napokon magasabb (27. ábra A és C), mint nyár közepén (27. ábra B), ugyanakkor a *P. laurocerasus* 'Novita' viszonylag állandó a mind a napi mind a napszaki alakulásban (27. ábra D-F).



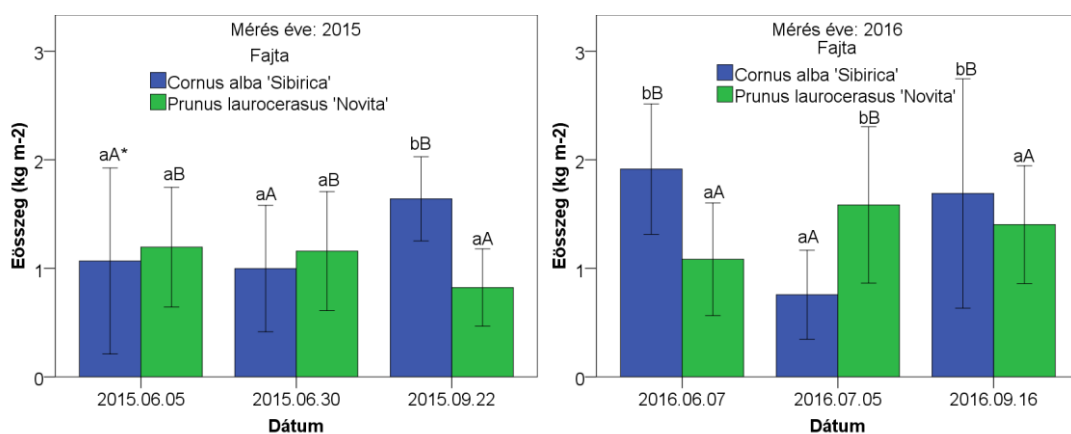
Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$, Bonferroni korrekcióval) jelölnek a napszakok között, a * szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelöl a termesztési rendszerek között.

27. ábra. Különböző termesztési rendszerekben nevelt konténeres díszcserjék (5 liter) transzspirációs rátájának napszaki alakulása (E_{napszak}), a mérési napokon, 2016-ban.

5.4.2.3. Egységnyi levélfelület napi transzspirációjának mennyisége ($E_{összeg}$)

A fejezet felépítése a fotoszintézis fejezetrésszel analóg, így a napi illetve napszaki transzspiráció vizsgálatát követően a szén-dioxid asszimiláció napi összegéhez hasonlóan transzspirációs összeget ($E_{összeg}$) is számoltunk a lomblevelű taxonokon. Fontos megjegyezni, hogy a transzspirációs összegeket a fényleveleken mért transzspirációs sebességből vezettük le. Így ezek mindenképpen túlbecsülik a tényleges transzspiráció mértékét, ugyanis a lombszerkezet alsóbb rétegeiben jóval alacsonyabb értékek jelentkeznek. A transzspiráció napi összege 0,76 - 1,91 kg m⁻² között alakult a kísérlet időszakában (28. ábra).

A statisztikai elemzés (ANOVA) megmutatta, hogy a fajta*dátum (mérési nap) interakció szignifikáns volt mindkét évben (2015-ben: $F(2,101) = 35,130$ $p = 0,000$, 2016-ban: $F(2,100) = 61,752$ $p = 0,000$). Ezt azt jelenti, hogy a két taxon napi transzspirációja eltérően alakult az egyes mérési napokon. A *C. alba* 'Sibirica' a hűvösebb napokon magasabb $E_{összeg}$ -et mutatott, míg a melegebb napokon alacsonyabb értékeket produkált. A *P. laurocerasus* 'Novita' épp az ellenkező módon reagált a mérési napok időjárási körülményeire: a hűvösebb napokon (két őszi és egy nyári) napokon alacsonyabb volt az $E_{összeg}$, míg a melegebb, tehát nyári napokon magasabb $E_{összeg}$ -et mutatott (28. ábra).

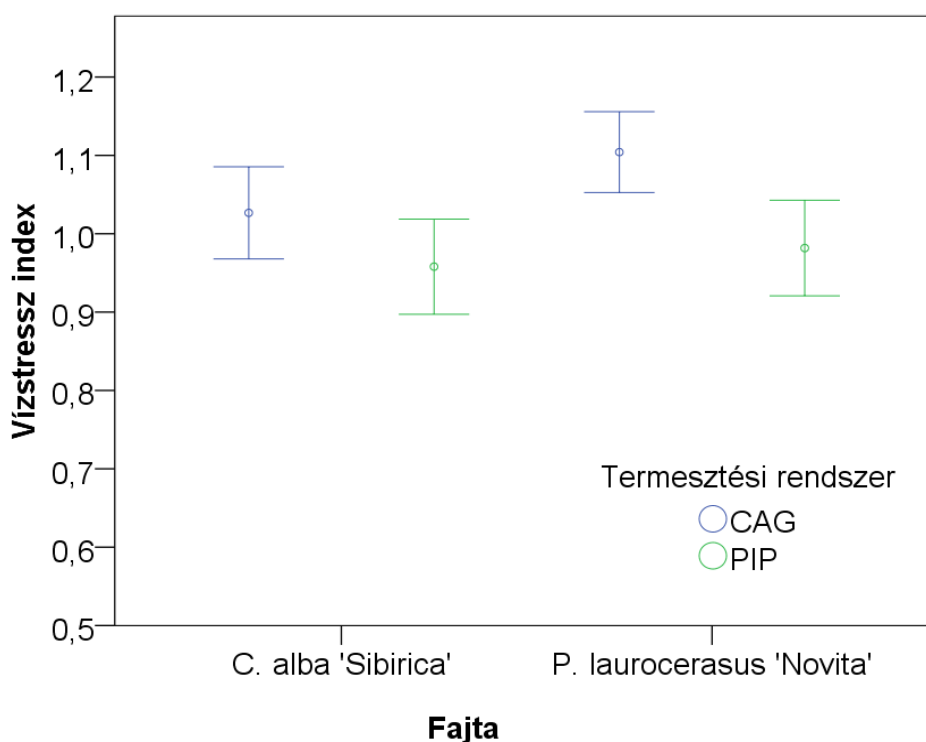


Megjegyzés: az eltérő kisbetűk szignifikáns különbséget jelölnek a fajták között adott mérési napon, az eltérő nagybetűk (Tukey, $p < 0,05$) szignifikáns különbséget jelölnek a mérési napok között, adott fajtánál, a * szignifikáns termesztési rendszer hatást jelöl, adott fajtánál, adott mérési napon.

28. ábra. Egységnyi levélfelület transzspirációjának napi mennyisége ($E_{összeg}$) *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserje fajtákon.

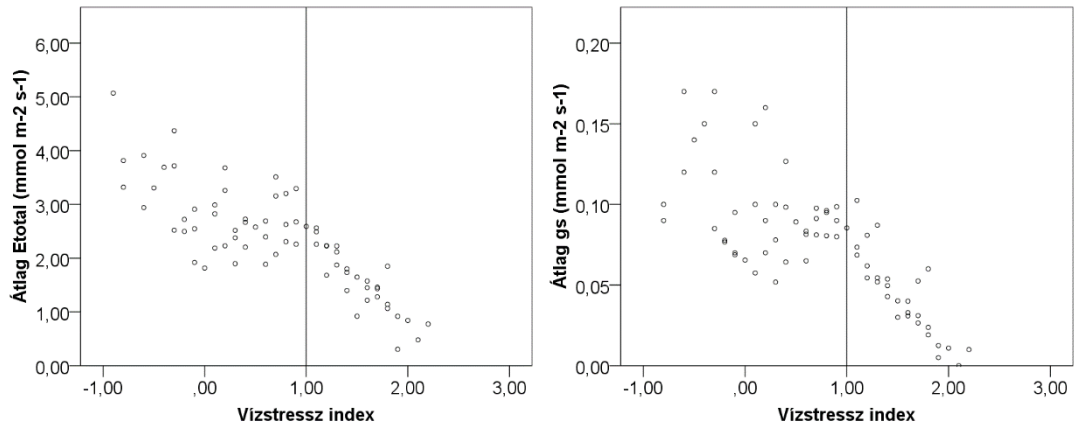
5.4.2.4. A transzspiráció (E_{total}) és a vízstressz index kapcsolata

A növényhőmérsékletet elsősorban a léghőmérséklet alakítja. A léghőmérséklet és a növényhőmérséklet különbsége a növény vízellátottságát jellemzi, melyet vízstressz indexnek nevezünk. A vízstressz index értékek -1 és $+2$ között alakultak a kísérleti napokon, értékük alacsonyabb volt a PIP rendszerben, mint a CAG rendszerben, növényfajától függetlenül (29. ábra).

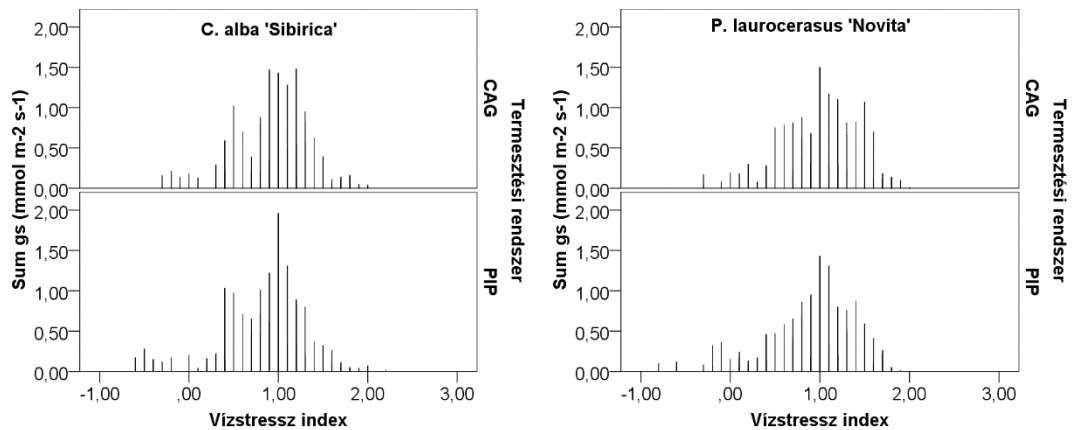


29. ábra. Vízstressz index átlagok *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserje fajtákon.

A vízstressz index növekedésével csökken a transzspirációs ráta (E_{total}), azonban $+1$ vízstressz index felett látszik egyértelműen E_{total} lineáris csökkenése. Megállapítható tehát, hogy amennyiben a levélfelszín hőmérséklet legkevesebb egy fokkal magasabb a környező léghőmérsékletnél, E_{total} lecsökken. Vízhány esetén a transzspiráció mérséklődik a sztómák záródásának következtében. A sztómaműködés és a vízstressz index kapcsolata ugyanazt a tendenciát mutatja, mint amit az E_{total} esetében tapasztaltunk; lineárisan csökken az értéke, $+1$ felett (30. ábra).



30. ábra. A transzpirációs ráta (E_{total}) és a vízstressz index, illetve a sztómakonduktancia (g_s) és a vízstressz index kapcsolata.



31. ábra. Különböző konténeres termesztési rendszerekben mért vízstressz index értékhez tartozó sztómakonduktancia (g_s) összegek alakulása *Cornus alba* 'Sibirica' és *Prunus laurocerasus* 'Novita' díszcserje fajtákon.

A növény sztomatikus aktivitása és a transzpirációs vízmennyiség között szoros összefüggés van. Adott vízstressz indexnél mért transzpirációs és sztómakonduktancia összegek alakulását mutatja a 31. ábra. +1 értékig emelkedés, majd csökkenés következik be az összegekben. A kisebb g_s összeg fluktuáció alapján erősebb sztómaszabályozást feltételezhetünk a PIP rendszerben, függetlenül a fajtától. Emellett megfigyelhető, hogy a sztómaműködés befolyása erősebb a *C. alba* 'Sibirica' esetében, a *P. laurocerasus* 'Novita' transzpirációját valószínűleg a sztómaműködés mellett más tényező is erősen befolyásolta.

6. EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

6.1. Az évjáráthatás meteorológiai okai

A kísérleti évek között tapasztalt időjárási különbségeknek nagy szerepe volt abban, hogy az egyes növekedési paraméterekben megjelent az évjáráthatás.

A két kísérleti év jelentős különbséget mutatott a csapadék mennyiségét és eloszlását tekintve. 2015-ben az éves csapadékmennyiség némileg elmaradt az országos éves átlagtól. Annak ellenére, hogy az elmúlt 100 év egyik legmelegebb éve volt, nem jellemezte hosszabb ideig tartó szárazság (met.hu, 2015). A helyi meteorológiai állomás adatai alapján a potenciális evapotranszpiráció éves összege meghaladta az éves csapadékmennyiséget, több mint 100 mm-rel. A tenyészidőszakban ez a különbség még nagyobb, 175 mm volt. A helyi éves átlaghőmérséklet (11,90°C) magasabb volt, mint az országos átlag (11,72°C). A 2015-ös év, szokatlanul meleg és kissé száraz év volt, mely helyi szinten fokozottan érvényesült.

A 2016-os év csapadékosabb volt az éves országos átlaghoz képest. Júliusban rekordmennyiségű eső esett, ami a vegetációs időszakban jelentősen, mintegy 100 mm-rel megnövelte a helyi csapadékmennyiséget, az előző évhez képest (met.hu, 2016). Helyileg az éves csapadékmennyiség, az előző évvel ellentétben, meghaladta a potenciális evapotranszpiráció éves összegét (200 mm-rel). Ez a különbség kiegyenlítődt a vegetációs időszak során, mikor az éves csapadékösszeg és a potenciális evapotranszpiráció hasonlóan alakultak. A 2016-os év nem számított sem extrém melegnek, sem száraznak. Az éves országos átlaghőmérséklet (11,13°C) alacsonyabb volt, mint 2015-ben, a helyi átlaghőmérséklet (11,19°C) pedig közelebb volt az országos átlaghoz.

6.2. A morfológiai paraméterek alakulásának értékelése

6.2.1. A növekedési jelleg értékelése

A kísérleti növények habitusa, megjelenése, a vegetációs időszak végén, 2015-ben és 2016-ban is a fajra, fajtára jellemzően alakult. A *Cornus alba* 'Sibirica' gömbölyded koronát fejleszt, mely jellemzően idősebb korban szélesebb, mint magasabb (Tóth, 2012). Eredményeink alapján, a korona formája a két kísérleti évben

különbözött, míg 2015-ban megnyúlt, keskenyebb formát fejlesztett, addig 2016-ban alacsonyabb növekedésű, de terebélyes lombkoronát fejlesztett a növény. Így tehát az évjáráthatás szignifikáns a magasságra 2015-ben, míg szignifikáns a szélességre 2016-ban. A *Prunus laurocerasus* 'Novita' felálló ágrendszerű, gyors növekedésű fajta a szakirodalmi adatok alapján (Tóth, 2012). Számszerű adatok nem állnak rendelkezésünkre, azonban azt feltételezzük – a *C. alba* 'Sibirica' taxonhoz viszonyított alacsony növekedési ráta alapján –, hogy a *P. laurocerasus* 'Novita' alulmaradt a fajra, fajtára jellemző növekedési jellemzőkben. Az évjáráthatás ez esetben is szignifikáns volt, a növények 2015-ben magasabbra nőttek, mint 2016-ban, a lombkorona kiterjedése azonban hasonlóan alakult a két évben. A *Thuja occidentalis* 'Smaragd' és a 'Brabant' nyugati tuja fajták, előbbi oszlopos, utóbbi kúpos habitusú, növekedési jellegüket tekintve megfeleltek a szakirodalmi leírásoknak. A növénymagasság és a lombkorona átmérő tekintetében, hasonlót tapasztaltunk, mint a *C. alba* 'Sibirica' fajtánál; a növények 2015-ben magasabbra nőttek, keskenyebb lombkorona átmérővel, 2016-ban kisebb mértékű volt a magassági növekedés, inkább szélesebbek lettek az előző évhez viszonyítva. Ezért az évjáráthatás ennél a két fajtánál is szignifikáns volt (3. táblázat, 4. táblázat).

6.2.2. A termesztéstechnológia hatása a morfológiai mutatókra

A PIP rendszerben nevelt növényekről elmondható, hogy a növények nagyobb növekedést produkáltak a CAG rendszerben neveltekhez képest. A törzsátmérő vegetációs időszaki növekedése nem mutatott eltérést a nevelési rendszerek között. A hajtásrendszer növekedésében kiemelkedő eredményt tapasztaltunk *C. alba* 'Sibirica' fajtánál; mindkét évben szignifikánsan terebélyesebb volt a lombkorona a PIP rendszerben nevelt növényeknél (35%-kal), mint a hagyományos termesztési rendszerben. A friss - és száraz tömeg mérések élesebben kirajzolták a termesztési rendszer hatását. A két év eredményei szerint, a PIP rendszerben a *C. alba* 'Sibirica' friss - és száraz hajtástömege 28,6% és 31,5% -kal, a gyökér friss - és száraz tömege 34% illetve 108%-kal, a teljes növény friss - és száraztömege 31,7% és 78,8%-kal lett nagyobb, mint a CAG rendszerben. Ezzel szemben a CAG termesztésben a *P. laurocerasus* 'Novita' fajta teljesített jobban. A hajtás friss - és száraz tömege ekkor 24,7% és 22,3%-kal, a gyökér friss- és száraz tömege 42,5% illetve 37,3%-kal, a teljes

növény friss és száraz tömege pedig 35,3% és 30%-kal lett nagyobb, mint a PIP rendszerben (11. táblázat, 12. táblázat és 13. táblázat).

Eredményeink összhangban vannak az eddigi kutatási eredményekkel. Ruter (1993) azt tapasztalta, az *Ilex* × *attenuata* Ashe 'Savannah' és *Magnolia* × *soulangiana* Soul.-Bod. fajták hajtásrendszere fejlettebb lett a PIP rendszerben, a hagyományos CAG rendszerhez képest, azonban a növények magasságában nem tapasztalt különbséget a két termesztési rendszer között. Ezzel szemben, a *Lagerstroemia* 'Natchez' esetében a CAG rendszerben magasabbak lettek a növények. A hajtás száraz tömegére nem, azonban a gyökér száraz tömegére és a biomassza produktumra (*M.* × *soulangiana*), valamint a *Lagerstroemia* 'Natchez' teljes száraz tömegére, pozitív hatása volt a PIP rendszernek (Ruter, 1993).

Egy másik tanulmányban a *Lagerstroemia* 'Muskogee' fajta hajtás - és gyökér száraz tömege nagyobb volt a PIP rendszerben, már két hónap nevelés után, mint a CAG termesztésben (Schluckebier és Martin, 1997). A *Myrtus communis* egyedek 16%-kal magasabbak lettek illetve nagyobb hajtás száraz tömeget fejlesztettek a CAG termesztésben, míg a gyökérzet száraz tömege jelentősen nagyobb volt a PIP termesztésben, ugyanezeknél a növényeknél (Miralles et al., 2009). A konténeres *Rhamnus alternus* L. esetében nem találtak különbséget a termesztési rendszerek között a morfológiai mutatókban, kivéve a gyökér száraz tömegében, mely jelentősen nagyobb volt a PIP rendszerben nőtt növényeknél (Miralles et al., 2012). Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a PIP termesztési rendszer hatása a növényi tulajdonságokra nem mindig egyértelmű. Saját eredményeink alapján, a PIP rendszerben a *C. alba* 'Sibirica' kiemelkedően kedvezőbb értékeket produkált, a *T. occidentalis* 'Smaragd' és 'Brabant' számára többnyire kedvezőbb a PIP nevelés, vagy nem mutatható ki a hatása, míg a *P. laurocerasus* 'Novita' a hagyományos CAG termesztési rendszerben fejlődik jobban.

6.3. A tápelemvizsgálatok értékelése

A nitrogén (N) tartalom, figyelembe véve a referencia értékeket, megfelelő mennyiségben volt jelen a *P. laurocerasus* 'Novita' levélmintákban, míg a *C. alba* 'Sibirica' levelének N tartalma a referencia érték alsó határát csak közelítette. Egy másik fontos makroelem, a foszfor (P) is hasonló mennyiségben és megoszlásban volt

jelen a vizsgált mintákban, mint a nitrogén. A kálium (K) mindkét fajta mintáiban a minimum határérték alatt volt, akárcsak a kalcium (Ca). A magnézium ezrednyi mennyiséggel kisebb arányban volt jelen a mintákban a referenciatartományhoz képest. Ezzel szemben a mikroelemek, mint a vas (Fe) és a cink (Zn) 2-3 szoros mértékben nagyobb arányú volt a mintákban, mint a referencianövényekben (Plank és Kissel, 2018). A N, P és Mg tartalom szignifikánsan magasabb volt a *P. laurocerasus* 'Novita' levelében, míg a Zn a *C. alba* 'Sibirica' levelekben halmozódott fel nagyobb arányban. A termesztési rendszer hatással volt a *C. alba* 'Sibirica' levelének tápelem tartalmára, a PIP termesztésben szignifikánsan kevesebb volt a N és P tartalom (14. táblázat). Ennek valószínűleg az az oka, hogy a PIP rendszerben számottevően nagyobb növekedésű növényekben a konténer közegében azonos mennyiségben adagolt tartós hatású műtrágya a nagyobb hajtástömegben kisebb tápelemtartalom kialakítására volt csak elegendő, noha ezt a kérdést még tovább érdemes vizsgálni. Minden esetre a nagyobb növekedést biztosító technológiában pótlólagos tápoldatozással célszerű kielégíteni a növények tápelem igényét.

6.4. A konténeres kísérleti növények vízfogyasztása

A konténerben termesztett növények reggel mért tömege (IWC) magában foglalja a termesztőközeg nedvességtartalmát, ezért nagymértékben függ annak mennyiségétől. Az IWC 12,5 %-kal (*C. alba* 'Sibirica') illetve 16,3%-kal (*P. laurocerasus* 'Novita') magasabb volt a PIP rendszerben, mint a CAG rendszerben. Ez azt jelenti, hogy a termesztett fajtától függetlenül, hasonló arányban nagyobb víztömeggel kezdték a napot a PIP termesztésben a konténerek (15. táblázat és 16. táblázat).

A felételezést, mely szerint a PIP konténerek nagyobb nedvességtartalommal kezdték a napot, a közegnedvesség-tartalom mérések is alátámasztják. A nedvességtartalom elemzésekor megvizsgáltuk hogy mely faktorok vannak hatással annak napi változására (20. táblázat). Mivel a fajta hatását nem mutatta ki az elemzés, azonban a termesztési rendszer erősen szignifikáns volt a PIP rendszerre, így elmondható, hogy azonos öntözési ráta mellett a PIP rendszer konténereinek magasabb a vízmegtartó képessége mint a CAG rendszer konténereinek. Mérési eredményeinket, melyek szerint a PIP konténerek nagyobb vízellátási kapacitást biztosítanak a

mintavételi napok reggelén, más szerzők is megerősítik (Ruter, 1998a, 1998b; Schluckebier és Martin, 1997). A nagyobb vízkapacitás forrása az előző napokból visszamaradt nedvesség, az előző napi öntözés és az éjszakán át visszatartott nedvesség. A *C. alba* 'Sibirica' taxonok 2016.07.05-én mért jelentősen alacsonyabb IWC értéke azt jelzi, hogy az előző napok öntözése nem volt elegendő a 2016 július eleji forró időszakban bekövetkezett nagyobb vízveszteség kompenzálására (16. táblázat).

A konténeres növények napi vízfogyasztása (DWU) jelentős különbségeket mutatott (18. táblázat). Eredményeinket alátámasztják a szakirodalmi adatok, melyek szerint a vízfogyasztást erősen befolyásolja a fajtajelleg illetve a konténer mérete. Annak ellenére, hogy mindkét taxon (*C. alba* 'Sibirica' és *P. laurocerasus* 'Novita') közepes vízigénnyel rendelkezik (Tóth, 2012), jelentős mértékben különbözött a mintanapokon mért vízfogyasztásuk. A *C. alba* 'Sibirica' vízfogyasztása a mintanapok átlagában 626 g nap^{-1} volt, mely 83,5%-kal magasabb, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' ugyanezen a napokon mért vízfogyasztása (341 g nap^{-1}), 2015-ben. A következő évben (2016) ez az arány némileg mérsékeltebb volt, azonban ekkor is 58,3%-kal volt magasabb a DWU a *C. alba* 'Sibirica' taxon esetében, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' esetében. A vízfogyasztási különbségekhez feltehetően a két növény lombfelületének különbségei is hozzájárultak; a *C. alba* 'Sibirica' teljes lombfelülete 2015-ben, 58,4%-kal, 2016-ban pedig 73,8%-kal volt nagyobb, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' lombfelülete. A DWU kevésbé fluktuált a mérési napok között a *P. laurocerasus* 'Novita' fajta esetében, míg a *C. alba* 'Sibirica' nagyobb változékonysággal reagált a mérési napok körülményeire. 2015. június 5-én a *C. alba* 'Sibirica' vízfogyasztása szignifikánsan a legalacsonyabb volt az évben, melyet az alacsony IWC is magyaráz. 2016. július 5-én, mely a legmelegebb mérési nap volt a teljes kísérleti periódus alatt, ekkor volt a *C. alba* 'Sibirica' vízfogyasztása a legalacsonyabb. A DWU és az IWC összefüggése a *C. alba* 'Sibirica' esetében nyilvánvalónak tűnik. A termesztési rendszer a *C. alba* 'Sibirica' esetében határozottan befolyásolta a vízfogyasztást, 2015-ben 5%-kal, a következő évben 27%-kal haladta meg PIP rendszer a hagyományos CAG rendszer DWU értékét. Ez utóbbit a statisztikai elemzés is alátámasztotta. A *P. laurocerasus* 'Novita' ennél ellentmondásosabb eredményeket mutatott. 2015-ben a CAG rendszerben 18%-kal mértünk magasabb DWU-t, míg 2016-ban 4%-kal a PIP rendszer vízfogyasztása volt magasabb. A szakirodalmi adatok hasonlóan változatos

képet festenek az egyes taxonok vízfogyasztásáról. A 6 literes konténerben nevelt *Hydrangea macrophylla* 'Fasan' és a *Gardenia jasminoides* 'Radicans' fajták DWU értékei 50-200 ml és 50-560 ml növény⁻¹ nap⁻¹ között változtak (O'Meara et al., 2013). A tölgylevelű hortenzia (*Hydrangea quercifolia* 'Alice') egyedei 11,4 literes konténerben 521 ml növény⁻¹ nap⁻¹, illetve 3,8 literes konténerben 350 ml növény⁻¹ nap⁻¹ vizet fogyasztottak (Hagen et al., 2014). García-Navarro (2004) négy konténeres cserje vízfogyasztását vizsgálta. A *Spiraea* × *vanhouttei* 1,5-4,5 liter nap⁻¹, a *Viburnum tinus* 0,5-2 liter nap⁻¹ vizet fogyasztottak (García-Navarro, 2004).

Adataink az öntözési gyakorlat tervezésében lehetnek hasznosak. A tervezésben nyújt segítséget a relatív vízfogyasztás (RWU), mely egységnyi konténertömeg vízfogyasztását jelenti (19. táblázat). A fajtaspecifikus vízfelhasználás következtében a *C. alba* 'Sibirica' és *P. laurocerasus* 'Novita' növények relatív 193 g kg⁻¹ illetve 93 g kg⁻¹ vizet fogyasztanak. A termesztési rendszerekről megállapítható, hogy a közeg nedvességtartalmának napi relatív vesztesége (GSWC) átlagosan 33 g kg⁻¹ a hagyományos CAG termesztésben, míg a PIP rendszerben 21 g kg⁻¹ értékkel célszerű tervezni (16. ábra). Figyelembe véve a faiskola öntözési gyakorlatát (400-600 g víz növény⁻¹ nap⁻¹) megállapíthatjuk, hogy az öntözőrendszer által kijuttatott vízmennyiség lefedte a *C. alba* 'Sibirica' vízigényét, ellenben meghaladta a *P. laurocerasus* 'Novita' taxon vízigényét. A két taxon különböző öntözőkörön való elhelyezése javasolt.

6.5. A konténeres kísérleti növények levél-gázcseréjének napi és napszaki alakulása

6.5.1. A fotoszintetikus ráta alakulása

A fotoszintetikus ráta napi átlagértékeit (A_{nap}) a mérési napok alakították. A nyári időszakban többnyire alacsonyabb napi átlagértékeket mértünk mindkét taxon esetében (kivéve az évszakra nem jellemző, hűvös nyári napon (2016.06.07.)), mint ősszel (19. ábra). A lombhullató *C. alba* 'Sibirica' nagyobb változékonysággal reagált a napok változására, az A_{nap} a két év alatt 3,25-11,43 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ között alakult. Ezzel szemben az örökzöld *P. laurocerasus* 'Novita' fajta szűkebb értékskálán mozgott, 3,24-6,78 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ között alakult az A_{nap} értéke.

A korábbi vizsgálatok azt mutatják, hogy a levélfelületre eső fotoszintetikus ráta kisebb mértékben változik a fajok között, mint a levéltömegre vetített ráta, ugyanis az egységnyi levélfelületre eső száraz tömeg nagy változékonyságot mutat a fajok között. Különösen igaz ez a lombhullató és az örökzöld fajokra. Az örökzöld fajok jellemzően vastagabb, „sűrűbb” levéllemeze nagyobb szárazanyag tömeggel rendelkezik mint a lombhullató fajok levele, egységnyi felületre vetítve (Wyka és Oleksyn, 2014). Saját eredményeink azt mutatják, hogy az örökzöld *P. laurocerasus* 'Novita' levelének száraz tömege ($52,1 \text{ g növény}^{-1}$) 34%-kal nagyobb, a lombhullató *C. alba* 'Sibirica' levelének száraztömegénél ($38,8 \text{ g növény}^{-1}$). Mivel az egyedi levélméretetek nem különböztek szignifikánsan (9. táblázat), a *C. alba* 'Sibirica' teljes lombfelülete azonban átlagosan 66%-kal nagyobb volt, mint a *P. laurocerasus* 'Novita' lombfelülete (10. táblázat), utóbbi nagyobb száraz tömege jóval kisebb felületen oszlik el, mint a *C. alba* 'Sibirica' esetében, így igazolva az örökzöld fajok levelének nagyobb szárazanyag tömegét egységnyi felületre vetítve. A szakirodalom szerint, a levéltömegre vetített fotoszintetikus ráta alacsonyabb az örökzöld fajok esetében a lombhullatókhoz képest (Givnish, 2002). Mivel az általunk számított fotoszintetikus ráta és a levél száraz tömegének hányadosa ekvivalens a levéltömegre vetített fotoszintetikus rátával (Westoby et al., 2013), így belátható az alábbiak alapján, hogy a *P. laurocerasus* 'Novita' fotoszintetikus rátája levéltömegre vetítve biztosan alacsonyabb, mint a *C. alba* 'Sibirica' taxoné. Mivel $A_{C. alba 'Sibirica'} > A_{P. laurocerasus 'Novita'}$ és levél száraz tömeg $C. alba 'Sibirica' < \text{levél száraz tömeg } P. laurocerasus 'Novita'$, ezért $A_{C. alba 'Sibirica'} / \text{levél száraz tömeg } C. alba 'Sibirica' > A_{P. laurocerasus 'Novita'} / \text{levél száraz tömeg } P. laurocerasus 'Novita'$.

A fotoszintetikus ráta napszaki változása (A_{napszak}) csökkenő (közel lineáris) tendenciát mutatott mindkét fajta esetében (20. ábra és 21. ábra). A PIP rendszerben egy mérési napon szignifikánsan magasabb volt az A_{napszak} , mint a CAG rendszerben (21. ábra B). Statisztikailag ugyan nem igazolt, azonban a dél környékén bekövetkező depresszió mérsékeltebb volt, vagy elmaradt a PIP rendszerben szemben a CAG rendszerben mértekkel (20. ábra A, B, E és C; 21. ábra E, C és F). Általános következtetésként megállapítható, hogy a PIP rendszerben mért fotoszintetikus ráta kevésbé fluktuált a nap folyamán.

Optimális körülmények között a fotoszintetikus ráta lineárisan nő a beeső sugárzással, a fényteltődési pontig, majd értéke konstans vagy csökkenő is lehet (Möttus et al., 2011). A fényteltődési pontot, szabadföldi körülmények között, kb.

1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fényintenzitás körül érték el a növények, e pont felett csökkenést tapasztaltunk a fotoszintetikus rátában (A_{total}) (23. ábra). A fény-válasz görbék alacsonyabban futnak a CAG rendszerben a *C. alba* 'Sibirica' taxon esetében és magasabban futnak a *P. laurocerasus* 'Novita' taxon esetében, mint a PIP rendszerben. Egy más megközelítésben, kiszámítottuk a szén-dioxid asszimiláció napi összegét ($A_{\text{összeg}}$) is (22. ábra). A mérési napok hatását az egyes fajtákra jól kirajzolta, hogy a hűvösebb napokon a *C. alba* 'Sibirica' több mint 10 g levél m^{-2} szén-dioxidot (22. ábra) kötött meg, mely napokon a *P. laurocerasus* 'Novita' asszimilációja szignifikánsan alulmaradt. A termesztési rendszerek különbségeit $A_{\text{összeg}}$ -ben nem tudtuk kimutatni.

6.5.2. A transzspirációs ráta alakulása

A transzspiráció és fotoszintézis kapcsolt életjelenségek, a méréseink során a két folyamatot egy időben mértük. A transzspirációs ráta nagyobb változatosságot mutatott a fajták között, mint a fotoszintetikus ráta. A *C. alba* 'Sibirica' transzspirációs napi átlagai alacsonyabbak voltak nyáron, mint ősszel. A *P. laurocerasus* 'Novita' épp ellentétesen viselkedett, a nyári időszakban magasabb volt a párolgási intenzitása, mint ősszel (25. ábra). Forrai és munkatársai (2012) hasonló eredményre jutottak a közterületi sorfák (*Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie') transzspirációjának alakulását megfigyelve. Ősszel alacsonyabb transzspirációs értékeket mértek, mint a nyári időszakban (Forrai et al., 2012).

A transzspiráció napszaki változásában (E_{napszak}) egy alkalommal statisztikailag is kimutatható volt a termesztési rendszer hatása (27. ábra A), azonban több mérési napon is megfigyelhető, hogy a CAG rendszerben alacsonyabb a transzspirációs ráta (26. ábra A, C és D; 27. ábra A, C és D), mint a PIP rendszerben. Ez az eredményünk a CAG konténerek alacsonyabb víztartalmával hozható összefüggésbe (15. ábra). A napszaki változások rávilágítanak a fajtaspecifikus fiziológiai válaszreakciókra: a lombhullatók szárazságstressz hatására nagyobb mértékben mérséklék a transzspirációt, mint az örökzöldek (Givnish, 2002) A legmelegebb mérési napon (2016. július 5.) a lombhullató *C. alba* 'Sibirica' transzspirációja a nap folyamán végig alacsony volt, szinte alig változott (27. ábra B). Ezzel szemben a *P. laurocerasus* 'Novita' taxon a legtöbb mérési napon alacsony és közel állandó volt (26. ábra D-F és 27. ábra D-F).

Az egységnyi levélfelület párologtatása ($E_{\text{összeg}}$) a kísérlet időszakában napi 0,76-1,91 kg m⁻² között alakult a *C. alba* 'Sibirica' taxon esetében és 0,82-1,58 kg m⁻² volt a *P. laurocerasus* 'Novita' taxonnál (28. ábra). Ezen adatok jelentősége túlmutat azonban a fiziológiai tulajdonságok jellemzésén; hiszen a faiskolai növények adják a különböző céllal létesített zöldfelületek növényanyagát. A biológiailag aktív felületek környezeti haszna (Jószainé Párkányi, 2007; Radó, 2001) a kondicionáló hatást tekintve immár mérhető.

A vízstressz index értékeit a levélfelszín hőmérséklete és a környezet hőmérsékletének különbsége alakítja. Kísérletünkben alacsonyabb vízstressz index értékeket mértünk a PIP rendszerben nevelt növényeken, mint a CAG termesztésben nőtt növényeken (29. ábra). A vízellátottság és a vízstressz index között szoros negatív kapcsolat áll fenn. Paradicsom növényeken megállapították, hogy 90 mm-es víztöbblet 1°C-kal csökkenti a vízstressz indexet (Bócs, 2018). Saját eredményeink azt mutatják, ha a levélfelszín hőmérséklete és a léghőmérséklet különbsége 1°C, a transzspirációs ráta (E_{total}) meredeken csökkenni kezd (30. ábra).

6.6. Új tudományos eredmények

1. A *Cornus alba* 'Sibirica' taxon morfológiai és fiziológiai paraméterei kedvezőbben alakultak a pot in pot faiskolai termesztési rendszerben (PIP) történt nevelés hatására.
2. A *Prunus laurocerasus* 'Novita' taxon morfológiai és fiziológiai paraméterei kedvezőbben alakultak a hagyományos konténeres termesztésben (CAG) történt nevelés hatására.
3. A *T. occidentalis* 'Smaragd' és 'Brabant' taxonok számára részben kedvezőbb a pot in pot faiskolai termesztési rendszerben (PIP) történő nevelés a morfológiai paramétereket tekintve.
4. Megállapításra került az öntözéstervezési gyakorlatban alkalmazható relatív vízfogyasztás (RWU) értéke két dísznövény taxonra, mely egységnyi konténertömeg vízfogyasztását jelenti. A fajtaspecifikus vízfelhasználás következtében a vizsgált *Cornus alba* 'Sibirica' és a *Prunus laurocerasus* 'Novita' taxonok 193 g kg^{-1} illetve 93 g kg^{-1} vizet fogyasztanak.
5. A tőzeg-alapú közeg nedvességtartalom napi relatív veszteségének (GSWC) mértéke a hagyományos konténeres termesztési rendszerben (CAG) 33 g kg^{-1} , a pot in pot konténeres termesztési rendszerben (PIP) 21 g kg^{-1} .
6. A pot in pot rendszerben (PIP) nevelt növények alacsonyabb vízstressz index értékekkel jellemezhetők, mint a hagyományos konténeres termesztésben (CAG) nőtt növények.
7. Amennyiben a levélfelszín hőmérséklet és léghőmérséklet különbsége (vízstressz index) eléri a $+1^{\circ}\text{C}$ -ot, a transzspirációs ráta és a sztómakonduktancia értéke lineárisan lecsökken.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A dísznövénytermesztés területegységre vetítve fajlagosan nagyobb értéket állít elő, mint más mezőgazdasági ágazatok. A magyar díszfaiskolai termesztőterület európai viszonylatban a középmezőnyben helyezkedik el. A dísznövények hazai exportja meghaladja az import mennyiséget. A konténeres termesztés nagy előnyei közé tartozik, hogy megkönnyíti a faiskolai logisztikát, a szállítást, a termesztési ciklus rövidül és gazdasági értelemben hamarabb megtérül a konténeres növény. A fenntartható termesztésmódok alkalmazása és a hatékonyabb vízfelhasználás kiemelten fontos feladatkörei ma az ágazati szereplőknek.

A kertészeti ágazatoktól eltérően a dísznövénytermesztésben kulcsszerepe van a növény esztétikai megjelenésének. Az amerikai pot in pot termesztéstechnológia több kedvező fejlődésbeli előnnyel is jár a termesztett növények számára. A parkfák, útsorfák, bokorfák termesztését oldották meg és oldják meg ma több ezer hektárnyi termesztőterületen az USA-ban. Előnyeit ezért a szabadföldi termesztéssel szemben hangsúlyozzák. A magyarországi tapasztalatok elsősorban az oszlopos vagy felálló habitusú tujafélékre terjednek ki a termesztési rendszerrel kapcsolatban. A díszcserjékkel kapcsolatos tapasztalatok hazai szinten teljesen hiányoznak, nemzetközileg is csekély a tapasztalat. A vizsgálataink így két tujafélére (*T. occidentalis* 'Smaragd' és 'Brabant') illetve két lomblevelűre, egy lombhullató taxonra (*Cornus alba* 'Sibirica') és egy örökzöld taxonra (*Prunus laurocerasus* 'Novita') irányultak. A hagyományos konténeres termesztést tekintettük kontrollnak, melyhez képest vizsgáltuk a pot in pot termesztési rendszer hatását. A pot in pot több esetben is pozitív hatást gyakorolt a morfológiai mutatókra, a növények magasabbra nőttek. A biomassa és a szárazanyag produkció is kedvezőbben alakult, noha a magasság, szélesség, törzsátmérő adatokat mind a négy taxonra vonatkoztatva vizsgáltuk, a beltartalmi értékeket csak a lomblevelűekre vizsgáltuk. Ennek oka volt, hogy a későbbi fiziológiai vizsgálatokhoz a két lomblevelű taxont választottuk ki. E két taxonra azért esett a választásunk, hogy különböző növekedésű és levélszerkezetű növény összehasonlítására nyíljon lehetőség.

A konténeres cserjék vízfogyasztásával foglalkozó kevés számú tanulmány, illetve a faiskolai nedvességszenzorok, időzítők-vezérlők hiánya a technológiai fejlesztés szükségességét jelzik. Az ágazati szereplők többnyire első generációs vállalkozások,

a vállalkozás kezdeti szakaszában nagyobb ráfordítás szükséges, mint a későbbiekben. Ugyanakkor, ha a források rendelkezésre állnak is, a technológiai fejlesztéshez, az öntözéstervezés során a növényi vízigény pontos ismerete elengedhetetlen. A faiskolákban a konténeres cserjék többsége felső szórófejes öntözést kap, mely a szakirodalom alapján kevésbé hatékony a csepegtető öntözéshez képest. A pot in pot rendszer egyik nagy előnye, hogy eleve csepegtető öntözőrendszert fektetnek le a telepítéskor. Mindkét típusú öntözésben a vízkijuttatás ciklikusan, napi több alkalommal történik. Az öntözővíz mennyisége azonban van, hogy nem találkozik a növény vízigényével, mivel empirikus alapon állítják azt be. Az öntözéstervezés során figyelembe vett meteorológiai adatok nagyban javítják az öntözés hatékonyságát és a mezőgazdasági monokultúrákban alkalmazott számítási modellek viszonylag jól becsülik adott kultúra vízigényét. Az öntözéstervezés, mely az adott környezeti kondíciók mellett lehetséges evapotranszpirációt és a növénytípusra jellemző koefficienszt veszi figyelembe, nagyobb pontossága ellenére is folyamatos újratervezést igényel. A díszfaiskolai növények nagy változatossága miatt, de a faiskolákban a helyi meteorológiai állomások csak esetleges megléte miatt is kérdéses azonban a faiskolai alkalmazása. A gravimetrikus úton megállapított evapotranszpiráció (DWU), vagyis a konténeres növény napi vízfogyasztása, jó alapja lehet az öntözéstervezésnek, nem igényel speciális számítást. A kísérletünknek helyet adó faiskolában az 5 literes konténeres növények napi vízadagja 400-600 g víz növény⁻¹ nap⁻¹ volt (kétszeri kijuttatással, nyáron háromszori kijuttatással). A napi vízfogyasztási értékekből (DWU) kiszámítottuk a relatív, konténertömegre eső vízfogyasztást is (RWU). A DWU és RWU értékek fajtaspecifikussága megmutatta, hogy két közepes vízigényű növény jelentős különbséget mutathat a vízfogyasztásban. A *C. alba* 'Sibirica' és babérmeggy taxonok azonos mennyiségű öntözővízből relatív 193 g kg⁻¹ illetve 93 g kg⁻¹ vizet fogyasztottak.

Megállapítottuk, hogy a vizsgált termesztési rendszerek jelentősen befolyásolják a tőzeg-alapú termesztőközeg vízállapotát. A pot in pot (PIP) termesztési rendszer nagyobb vízmegtartó képessége révén napi átlagban 21 g kg⁻¹ nedvességtartalmat veszít a nap folyamán a tömegéből, míg a hagyományos konténeres termesztési rendszer (CAG) átlagosan 33 g kg⁻¹ veszteséget produkál a nap folyamán. A kísérleti taxonok vízfelhasználási hatékonysága megmutatta azonban, hogy a pot in pot

rendszer pozitív hatása egyértelműen csak a *C. alba* 'Sibirica' fajta esetében jelenthető ki.

A gravimetrikus adatok gyűjtése során a növények napszaki fiziológiai változásait is megfigyeltük. Adott kísérleti napokon reggel nem kaptak öntözést a növények. Azt tapasztaltuk, hogy már a délelőtti óráktól kezdve csökkent a fotoszintetikus rátájuk. Kérdéses volt, hogy az előző nap szokásos öntözést kapott növények (napi 2x vagy 3x-szori kijuttatás) a másnap reggel elmaradt öntözésre reagálhattak-e csökkenő fotoszintetikus rátával. Mivel a termesztőközeg nedvességtartalma reggel relatív magas (60-80% között) volt, ezért feltételezzük, hogy a látható fény okozta stressz felelhet az ún. fényleveleken mért fotoszintetikus ráta csökkenésért. A transzspirációs ráta napi lefutása - a nyár közepi mérések kivételével - közel haranggörbe alakú volt. Ez részben alátámasztja azt a feltételezést, hogy nem érte a növényeket nagyfokú szárazságstressz az öntözés egynapos kimaradásakor. A tipikus nyári mérési napokon (2015.06.30. és 2016.07.05.) azonban kimutatható a transzspirációs ráta csökkenése. Összességében a lombhullató *Cornus alba* 'Sibirica' nagyobb fotoszintetikus és transzspirációs változékonysággal reagált a napi és a napszaki változásokra, mint az örökzöld *Prunus laurocerasus* 'Novita'. Az egységnyi levélfelületre eső szén-dioxid asszimiláció és transzspiráció kiszámítása olyan eredményeink, melyek túlmutatnak a dolgozat központi témáján. A díszcserjék kertészeti növénycsoport zöldfelületi illetve környezeti hasznát fejezik ki.

A vízstressz index kiszámításkor a teljes kísérleti periódus alatt mért levélfelszín- és léghőmérséklet adatokra támaszkodtunk, melyből megállapítottuk, hogy ha a növény hőmérséklete $+1^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb, mint a környezete hőmérséklete, a sztómakonduktancia és a transzspirációs ráta is lineárisan csökkenni kezd. A levél-gázcsere mérések és a levélfelszín hőmérséklet alakulása azt is megmutatta, hogy a vizsgált termesztési rendszerek közül a pot in pot alacsonyabb vízstressz index értéket mutat a hagyományos konténeres termesztéshez képest.

8. SUMMARY

The ornamental plant sector produces higher specific value than other agricultural sectors. The growing area of the Hungarian ornamental nurseries represents a medium size compared to European nurseries. The national exports of ornamental plants exceed the import volumes. Among the great advantages of container cultivation such as facilitating nursery logistics and transportation, shortened cultivation and in economic terms the container crop pays off sooner. The application of sustainable cultivation methods and more efficient water use have predominant importance for the industry player, today.

The aesthetic appearance of the plant plays a key role in ornamental production. American pot in pot production (PIP) technology has several benefits for the development of cultivated crops. The cultivation of large caliper trees (landscape trees or shade trees) in PIP system takes place thousands of acres in the USA. Its advantages over open field cultivation are therefore emphasized. The Hungarian experience mainly covers *Thuja* genera with columnar or erect habit. Experience with ornamental shrubs is completely lacking at the domestic level, and there is a few study internationally. Our experiment was set up for two *Thuja* taxa (*T. occidentalis* 'Smaragd' and 'Brabant'), one deciduous (*Cornus alba* 'Sibirica') and for an evergreen plant (*Prunus laurocerasus* 'Novita'). Conventional above ground container (CAG) production system was considered as a control system and as a treatment, the effect of the PIP production system was examined. PIP system had a positive effect on morphological parameters, the plants grew taller. Biomass and dry matter production were also more favorable for PIP system grown plants. While plant height, width of the canopy and stem diameter data were collected for all four species, biomass and dry matter values were gained from the deciduous *C. alba* 'Sibirica' and the broadleaved *P. laurocerasus* 'Novita' plants. The foliage taxa were selected for subsequent physiological studies. The advantage of selecting these two taxa manifested in the different morphological development of each species as the effect of production system.

Based on the few literature of container grown shrubs and the lack of sensors or timers for irrigation systems in nurseries, requires some technological development of irrigation systems and scheduling. The national industry involve mostly first-

generation companies, the operation of a company requires a larger initial investment than in the later ones. However, even if resources are available, accurate technological knowledge of plant water demand during irrigation planning is essential. In nurseries, the majority of container shrubs receive overhead irrigation. According to the literature, the overhead sprinklers are less effective compared to drip irrigation. The PIP system had a great advantage; the drip irrigation system installed together with the production in both types of irrigation, water is applied cyclically, several times a day. However, the amount of irrigation water sometimes does not meet the water needs of the plant and set on an empirical basis. The meteorological data provides more efficient irrigation plan, greatly improve irrigation efficiency and the calculation models used in agricultural monocultures estimate the water demand of a given crop relatively well. Irrigation design, which considers possible evapotranspiration under the given environmental conditions and the crop coefficient of the plant, requires continuous redesign despite its greater accuracy. However, the application of ET-based calculations in irrigation plan, due to the great diversity of ornamental nursery plants, but also due to the possible existence of local meteorological stations in nurseries, is still questionable. Gravimetric evapotranspiration based daily water use of container grown plant, can be a good basis for irrigation planning and does not require special calculation. In the nursery where our experiment we carried out, the total daily water dose for 5-liter container plants was 200 g of water plant⁻¹ application⁻¹ (with 2x or 3x time, depending on the season). From the daily water use (DWU) values, the relative water use per container weight (RWU) was determined. The characteristics of DWU and RWU values highlighted, that two plants with medium water demand may show a significant difference in water use. The *C. alba* 'Sibirica' and *P. laurocerasus* 'Novita' consumed relatively 193 g kg⁻¹ and 93 g kg⁻¹ water, respectively, from the same amount of water as they were irrigated.

We also observed the significant effect of the production system on the water status of peat moss-based growing medium. Due to the greater water retention capacity, the container in pot in pot system lost 21 g kg⁻¹ weight of moisture during the day, while the conventional production system, on average, lost 33 g kg⁻¹ during the day. However, the positive water use efficiency of the pot in pot system can be clearly stated in the case of tatarian dogwood.

During the collection of gravimetric data, we also observed the diurnal physiological changes of the plants. On the experimental days, the plants were not watered. We found decreasing photosynthetic rate from the late in the morning. We assumed that the missed irrigation event in the morning caused the decreasing photosynthetic rate. However, the moisture content of the growing medium was between 60-80% in the morning, therefore we assume the solar radiation caused light stress decreased the rate and light inhibition occurred. The daily course of the transpiration rate - except for the mid-summer sampling days, was nearly hyperbolic. This partly supports the assumption that the plants were not exposed to a high degree of water stress during a day of missed irrigation. However, in the middle of summer (30.06.2015 and 05.07.2016), a decrease in the transpiration curve can be detected. The results of calculation of carbon dioxide assimilation and transpiration per unit leaf area go beyond to the main topic of the dissertation. These results suggest the environmental benefits of ornamental shrubs as a group of horticultural plants.

The water stress index was calculated as the difference of the leaf surface temperature and air temperature data. For the calculation of the water stress index the data covered the whole experimental period. We found that if the plant temperature is +1°C higher than the ambient air temperature, both stomatal conductance and transpiration rate start to decrease linearly. Leaf-gas exchange measurements and leaf surface temperature changes highlighted, that – the production systems involved to the experiment – PIP production system had lower water stress index compared to CAG production system.

9. IRODALOMJEGYZÉK

- Anda A., és Kocsis T. (2010). *Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek*. Mezőgazda Kiadó.
- Appleton, B. L. (1989). Evaluation of nursery container designs for minimization or prevention of root circling. *Journal of Environmental Horticulture*, 7(2), 59–61. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-7.2.59>
- Bacci, L., Battista, P., Cardarelli, M., Carmassi, G., Roupael, Y., Incrocci, L., Malorgio, F., Pardossi, A., Rapi, B., és Coll, G. (2011). Modelling evapotranspiration of container crops for irrigation scheduling. In G. Gerosa (Szerk.), *Evapotranspiration—from measurements to agricultural and environmental applications* (o. 263–282). IntechOpen Limited.
- Bartha K. (2011). *A pot-in-pot faiskolai termesztéstechnológia bemutatása* [Szakdolgozat]. Budapesti Corvinus Egyetem.
- Bean, W. J. (1916). *Trees and shrubs hardy in the British Isles* (2. kiad.). J. Murray. <https://doi.org/10.5962>
- Beeson Jr., R. C. (2010). Modeling actual evapotranspiration of viburnum odoratissimum during production from rooted cuttings to market size plants in 11.4-l containers. *HortScience*, 45(8), 1260–1264. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1260>
- Beeson Jr., R. C. (2012). Development of a simple reference evapotranspiration model for irrigation of woody ornamentals. *HortScience*, 47(2), 264–268. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.2.264>
- Beeson, R. C. (2005). Modeling irrigation requirements for landscape ornamentals. *HortTechnology*, 15(1), 18–22. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.1.0018>
- Beeson, R. C., és Chen, J. (2018). Quantification of daily water requirements of container-grown calathea and stromanthe produced in a shaded greenhouse. *Water*, 10(9), 1194. <https://doi.org/10.3390/w10091194>
- Borek, M., Baczek-Kwinta, R., és Rapacz, M. (2016). Photosynthetic activity of variegated leaves of *Coleus hybridus* hort. cultivars characterised by chlorophyll fluorescence techniques. *Photosynthetica*, 54(3), 331–339. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0225-7>

- Borostyán Bt. (2020). *Borostyán Faiskola* [Katalógus]. Borostyán Bt.
- Bócs A. (2018). *Az eltérő vízellátottság hatása az ipari paradicsom termésképzésére és sztómakonduktanciájára* [Doktori értekezés]. Szent István Egyetem.
- Bratek Z., Fodor F., Király I., Nyitrai P., Parádi I., Rácz I., Rudnóy Sz., Solti Á., Szigeti Z., és Tamás L. (2013). *A növényi anyagcsere élettana* „E-learning természettudományos tartalomfejlesztés az ELTE TTK-n”. Eötvös Lóránd Tudományegyetem.
- Campbell, G. S., és Campbell, C. S. (2013). Water content and potential, measurement. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05333-1>
- Cole, J. C., Kjellgren, R., és Hensley, D. L. (1998). In-ground fabric containers as an alternative nursery crop production system. *HortTechnology*, 8(2), 159–163. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.8.2.159>
- Crawford, M. A. (2003). Copper-coated containers and their impact on the environment. In Riley L. E., Dumroese R.K., Landis T.D., technical coordinators. *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2002*. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-28:76-78.
- Davidson, H., Mecklenburg, R., és Peterson, C. (2000). *Nursery management: Administration and culture* (4. kiad.). Prentice Hall.
- Debreczy Zs., és Rácz I. (2000). *Fenyők a Föld körül*. Dendrológiai Alapítvány.
- Dirr, M. A. (1998). *Manual of woody landscape plants: Their identification, ornamental characteristics, culture, propagation and uses*. (5. kiad.). Stipes Publishing L.L.C. Champaign.
- Fehér A. S. (Szerk.). (2019). *A növények élete Egyetemi jegyzet*. Szegedi Tudományegyetem.
- Fini, A., Ferrini, F., Frangi, P., Amoroso, G., és Giordano, C. (2010). Growth, leaf gas exchange and leaf anatomy of three ornamental shrubs grown under different light intensities. *European Journal of Horticultural Science*, 75(3), 111–117.
- Forrai M., Sütöriné Diószegi M., Juhász Á., és Hrotkó K. (2012). A kőris (*Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie') leveleinek gázcsereje különböző alkalmazási környezetben. In Kerekes S. és Jámboor I. (Szerk.), *Fenntartható fejlődés*,

élhető régió, élhető települési táj 1. (Köt. 1, o. 261–271). Budapesti Corvinus Egyetem.

- García-Navarro, M. (2004). Estimation of relative water use among ornamental landscape species. *Scientia Horticulturae*, 99(2), 163–174.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(03\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00092-X)
- Geneve, R. L. (2017). An introduction to pot-in-pot nursery production[©]. *Acta Horticulturae*, 1174, 19–22. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1174.5>
- Gilman, E. F., és Beeson, R. C. (1996). Production method affects tree establishment in the landscape. *Journal of Environmental Horticulture*, 14(2), 81–87.
<https://doi.org/10.24266/0738-2898-14.2.81>
- Gilman, E. F., Paz, M., és Harchick, Ch. (2015). Container wall porosity and root pruning influence on swietenia mahogani root ball architecture and anchorage after planting. *Arboriculture and Urban Forestry*, 40(1), 27–35.
- Givnish, T. (2002). Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves: Solving the triple paradox. *Silva Fennica*, 36(3), 703–743.
<https://doi.org/10.14214/sf.535>
- Hagen, E., Nambuthiri, S., Fulcher, A., és Geneve, R. (2014). Comparing substrate moisture-based daily water use and on-demand irrigation regimes for oakleaf hydrangea grown in two container sizes. *Scientia Horticulturae*, 179, 132–139.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.008>
- Halcomb, M., és Fare, D. (2009). *The pot-in-pot (PNP) production system*. The University of Tennessee.
Elérhető: <https://www.tnstate.edu/faculty/ablalock/documents/Pot-N-Pot.pdf>
- Harris, J. R., és Fanelli, J. (1999). Root and shoot growth periodicity of pot-in-pot red and sugar maple. *Journal of Environmental Horticulture*, 17(2), 80–83.
<https://doi.org/10.24266/0738-2898-17.2.80>
- Hodgson, J. G., Sharafi, M., Jalili, A., Díaz, S., Montserrat-Martí, G., Palmer, C., Cerabolini, B., Pierce, S., Hamzehee, B., Asri, Y., Jamzad, Z., Wilson, P., Raven, J. A., Band, S. R., Basconcelo, S., Bogard, A., Carter, G., Charles, M., Castro-Díez, P., ... Simmons, E. (2010). Stomatal vs. genome size in angiosperms: The somatic tail wagging the genomic dog? *Annals of Botany*, 105(4), 573–584. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq011>

- Hoffmann B. (2011). *Növénygenetika Elektronikus tankönyv az Oktatási Minisztérium Felsőoktatási Tankönyv és Szakkönyvtámogatás keretében*. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem.
- Hopkins, W. G., és Hüner, N. P. A. (2004). *Introduction to plant physiology* (3. kiad.). J. Wiley.
- Hölscher, D. (2004). Leaf traits and photosynthetic parameters of saplings and adult trees of co-existing species in a temperate broad-leaved forest. *Basic and Applied Ecology*, 5(2), 163–172. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00218>
- Huzsvai L., Rajkai K., és Szász G. (2005). *Az agroökológia modellezéstechnikája Elektronikus tankönyv az Oktatási Minisztérium Felsőoktatási Tankönyv és Szakkönyvtámogatás keretében*. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum.
- Ingram, D. L., Hall, Ch. R., és Knight, J. (2016). Carbon footprint and variable costs of production components for a container-grown evergreen shrub using life cycle assessment: an east coast u.s. model. *HortScience*, 51(8), 989–994. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.8.989>
- Ingram, D. L., Ruter, J. M., és Martin, Ch. A. (2015). Characterization and impact of supraoptimal root-zone temperatures in container-grown plants. *HortScience*, 50(4), 530–539. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.4.530>
- Jámbor A., és Török Á. (2020). *A magyar dísznövény ágazat helyzete és kilátásai*. Magyar Díszkertészek Szakmaközi Szervezete megrendelésére készült tanulmány. Elérhető: https://www.diszkerteszek.hu/ma_files/disznovenyen_tanulmany_202008.pdf
- Janick, J. (2011). *Horticultural Reviews*. John Wiley és Sons, Inc.
- Jankuné Kürthy Gy., Kozak A., és Radóczné Kocsis T. (2010). *A magyar dísznövényágazat helyzete és kilátásai*. Agrárgazdasági Kutató Intézet.
- Jószainé Párkányi I. (2007). *Zöldfelület-gazdálkodás, parkfenntartás*. Mezőgazda Kiadó.
- Józsa M. (1980). *Fenyők és örökzöldek a kertben*. Mezőgazdasági Kiadó.
- Józsa M. (2005). *Fenyők* (2. kiad.). Botanika Kft.
- Judd, L., Jackson, B., és Fonteno, W. (2015). Advancements in root growth measurement technologies and observation capabilities for container-grown plants. *Plants*, 4(3), 369–392. <https://doi.org/10.3390/plants4030369>

- Juhász, Á., és Hrotkó, K. (2014). Comparison of the transpiration part of two sources evapotranspiration model and the measurements of sap flow in the estimation of the transpiration of sweet cherry orchards. *Agricultural Water Management*, 143, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.06.014>
- Kappel N. (2006). *Zöldségpalánták nevelésére alkalmas földkeverékek legfontosabb fizikai tulajdonságai* [Doktori értekezés]. Budapesti Corvinus Egyetem.
- Kazda, M., Salzer, J., és Reiter, I. (2000). Photosynthetic capacity in relation to nitrogen in the canopy of a *Quercus robur*, *Fraxinus angustifolia* and *Tilia cordata* flood plain forest. *Tree Physiology*, 20(15), 1029–1037. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.15.1029>
- Kramer, P. J., és Boyer, J. S. (1995). *Water relations of plants and soils*. Academic Press (An Imprint of Elsevier Science).
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., és Barnett, J. P. (1990). Containers and growing media, Vol. 2, The Container Tree Nursery Manual. *Agric. Handbook*, 674, 41–85.
- Lis, A., Liszkiewicz, R., és Krajewska, A. (2016). Comparison of chemical composition of the essential oils from different parts of *Thuja occidentalis* L. ‘Brabant’ and *T. occidentalis* L. ‘Smaragd’. *Herba Polonica*, 62(3), 20–27. <https://doi.org/10.1515/hepo-2016-0014>
- Majsztrik, J. C., Fernandez, R. T., Fisher, P. R., Hitchcock, D. R., Lea-Cox, J., Owen, J. S., Oki, L. R., és White, S. A. (2017). Water use and treatment in container-grown specialty crop production: A review. *Water, Air, és Soil Pollution*, 228(4), 151. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3272-1>
- Marczynski, S. (2001). Pot in pot. *Szokolkarstwo*, 6, 18–21.
Elérhető:<http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-article-959b545f-4c15-408c-9cd2-d52eb43c164b>
- Martin, Ch. A., McDowell, L. B., és Bhattacharya, Sh. (1999). Below ground pot-in-pot effects on growth of two southwest landscape trees was related to root membrane thermostability. *Journal of Environmental Horticulture*, 17(2), 63–68. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-17.2.63>
- Mathers, H. M. (2003). Summary of temperature stress issues in nursery containers and current methods of protection. *HortTechnology*, 13(4), 617–624. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.13.4.0617>

- McNiel, R., Behe, B., és Montgomery, Ch. C. (1998). *Physical and economic requirements for pot-in-pot nursery production* (o. 11–16). University of Kentucky Nursery and Landscape Program.
- MDSZ. (2014). *Magyar díszkertészet ágazati stratégia*. Magyar Díszkertészek Szövetsége. https://www.diszkerteszek.hu/files/MDSZ_strategia.pdf
- met.hu. (2015). *Éghajlati visszatekintő—2015 nyarának időjárása*. Országos Meteorológiai Szolgálat.
http://www.met.hu/omsz/OMSZ_hirek/index.php?id=1453
- met.hu. (2016). *Éghajlati visszatekintő—2016 nyarának időjárása*. Országos Meteorológiai Szolgálat.
http://www.met.hu/omsz/OMSZ_hirek/index.php?id=173
- Milbocker, D. C. (1991). Low-profile containers for nursery-grown trees. *HortScience*, 26(3), 261–263. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.3.261>
- Miralles, J., Franco, J. A., Sánchez-Blanco, M. J., és Bañón, S. (2016). Effects of pot-in-pot production system on water consumption, stem diameter variations and photochemical efficiency of spindle tree irrigated with saline water. *Agricultural Water Management*, 170, 167–175.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.022>
- Miralles, J., Martínez-Sánchez, J. J., és Banon, S. (2012). The „pot-in-pot” system enhances the water stress tolerance compared with above-ground pot. In I. Md. M. Rahman (Szerk.), *Water Stress*. InTech. <https://doi.org/10.5772/30870>
- Miralles, J., Nortes, P. A., Sánchez-Blanco, M. J., Martínez-Sánchez, J. J., és Bañón, S. (2009). Above-ground and pot-in-pot production systems for *Myrtus communis* L. *Transactions of the ASABE*, 52(1), 93–101.
<https://doi.org/10.13031/2013.25950>
- Möttus, M., Sulev, M., Frederic, B., Lopez-Lozano, R., és Noorma, A. (2011). Photosynthetically active radiation: Measurement and modeling. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (o. 7970–8000).
- Newman, J. P. (Szerk.). (2014). *Container nursery production and business management manual*. UCANR Publications.
- O’Connor, A. S., Klett, J. E., és Koski, A. J. (2013). Container type and overwintering treatments affect substrate temperature and growth of Chanticleer® pear

- (*Pyrus calleryana* 'Glen's form') in the nursery. *Journal of Environmental Horticulture*, 31(2), 117–123. <https://doi.org/10.24266/0738-2898.31.2.117>
- O'Meara, L., van Iersel, M. W., és Chappell, M. R. (2013). Modeling daily water use of *Hydrangea macrophylla* and *Gardenia jasminoides* as affected by environmental conditions. *HortScience*, 48(8), 1040–1046. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.1040>
- Pallardy, S. G. (Szerk.). (2008). *Physiology of woody plants* (3. kiad.). Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Pellet, H. (1981). Production of caliper trees by use of the „Minnesota System”. *Ornamentals Northwest Newsletter*, 5, 5. Ornamentals Northwest Archives.
- Pethő M. (2006). *Mezőgazdasági növények élettana* (2. kiad.). Akadémiai Kiadó.
- Plank, C. O., és Kissel, E. D. (2018). *AESL Plant Analysis Handbook*. University of Georgia. Elérhető: <http://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/>
- Privett, D. W., és Hummel, R. L. (1992). Root and shoot growth of 'Coral Beauty' Cotoneaster and Leyland Cypress produced in porous and nonporous containers. *Journal of Environmental Horticulture*, 10(3), 133–136. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-10.3.133>
- Radó D. (2001). *A növényzet szerepe a környezetvédelemben*. Zöld Érdek Alapítvány és Levegő Munkacsoport.
- Ruiz-Peñalver, L., Vera-Repullo, J. A., Jiménez-Buendía, M., Guzmán, I., és Molina-Martínez, J. M. (2015). Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations. *Agricultural Water Management*, 151, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.020>
- Ruter, J. M. (1993). Growth and landscape performance of three landscape plants produced in conventional and pot-in-pot production systems. *Journal of Environmental Horticulture*, 11(3), 124–127. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-11.3.124>
- Ruter, J. M. (1996). High-temperature tolerance of heritage river birch roots decreased by pot-in-pot production systems. *HortScience*, 31(5), 813–814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.5.813>
- Ruter, J. M. (1998a). Fertilizer rate and pot-in-pot production increase growth of heritage river birch. *Journal of Environmental Horticulture*, 16(3), 135–138.

<https://doi.org/10.24266/0738-2898-16.3.135>

- Ruter, J. M. (1998b). Pot-in-pot production and cyclic irrigation influence growth and irrigation efficiency of „Okame” cherries. *Journal of Environmental Horticulture*, 16(3), 159–162. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-16.3.159>
- Schluckebier, J. G., és Martin, C. A. (1997). Effects of above-ground pot-in-pot (PIP) placement and humic acid extract on growth of crape myrtle. *Journal of Environmental Horticulture*, 15(1), 41–44. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-15.1.41>
- Schmidt G., és Tóth I. (Szerk.). (2004). *Díszfaiskola* (2. kiad.). Mezőgazda Kiadó.
- Schmidt G., és Tóth I. (2006). *Kertészeti dendrológia*. Mezőgazda Kiadó.
- Schuch, U. K., és Burger, D. W. (1997). Water use and crop coefficients of woody ornamentals in containers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(5), 727–734. <https://doi.org/10.21273/JASHS.122.5.727>
- Schuster, A. Ch., Burghardt, M., és Riederer, M. (2017). The ecophysiology of leaf cuticular transpiration: Are cuticular water permeabilities adapted to ecological conditions? *Journal of Experimental Botany*, 68(19), 5271–5279. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx321>
- Sütöriné Diószegi M., és Schmidt G. (2014). *Prunus laurocerasus* fajták télállóságának összehasonlító vizsgálata. In *Növénynevelés a megújuló mezőgazdaságban—XX. Növénynevelési Tudományos Nap* (o. 409–413). A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Tudományos Bizottsága.
- Svenson, S., és Broschat, T. (1992). Copper hydroxide controls root circling in container-grown west indies mahogany and carpentaria palm. *TropicLine*, 5(5).
- Szász, G. (1997). *Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek*. Mezőgazda Kiadó.
- Teskey, R. O., Sheriff, D. W., Hollinger, D. Y., és Thomas, R. B. (1995). External and internal factors regulating photosynthesis. *Resource Physiology of Conifers*, 105–140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092591-2.50009-1>
- Tóth, E. Gy., Juhász, Á., Sütöriné Diószegi, M., Steiner, M., és Hrotkó, K. (2015). Leaf gas exchange characteristics of drought stressed linden (*Tilia sp.*) trees. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(4), 1109–1120. https://doi.org/10.15666/aeer/1304_11091120

- Tóth, I. (2012). *Lomblevelű díszfák, díszcserjék kézikönyve*. Tarkavirág Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
- Tóth I., és Retkes J. (1997). *Lombos fák, cserjék*. Novoprint Rt.
- Vermes L., és Hayde L. (1997). *Vízgazdálkodás: Mezőgazdasági, kertész-, tájépítész- és erdőmérnök-hallgatók részére*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó.
- Westoby, M., Reich, P. B., és Wright, I. J. (2013). Understanding ecological variation across species: Area-based vs mass-based expression of leaf traits. *New Phytologist*, 199(2), 322–323. <https://doi.org/10.1111/nph.12345>
- Wyka, T. P., és Oleksyn, J. (2014). Photosynthetic ecophysiology of evergreen leaves in the woody angiosperms. *Dendrobiology*, 72, 3–27. <https://doi.org/10.12657/denbio.072.001>

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet konzulenseimnek, Sütöriné dr. Diószegi Magdolnának és dr. Hrotkó Károlynak, akik nagyban hozzájárultak a dolgozat elkészítéséhez.

Továbbá szeretném kifejezni köszönetemet a Jaroslaw Chabin Díszfaiskola vezetőjének, Jaroslaw Chabinnak, aki a kísérlet helyszínét, a növényanyagot és a technológiát biztosította számunkra, az ő rendkívüli felajánlása nélkül a dolgozat nem születhetett volna meg.

Köszönettel tartozom szüleimnek, akik támogatták tanulmányaimat és férjemnek, aki a hátszágot biztosította számomra.