

BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM
KERTÉSZETTUDOMÁNYI KAR
Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék



Tudományos diákköri dolgozat

Szén-dioxid asszimiláció alakulása *Tilia* fajták leveleiben

Vértesy Máté

Díszkertészeti mérnök MSc II. évfolyam

Konzulensek: Steiner Márk, egyetemi tanársegéd
Sütöriné dr. Diószegi Magdolna, adjunktus
Dr. Hrotkó Károly, tanszékvezető egyetemi tanár

Budapest, 2014.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS.....	4
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1.	A város mint élettér.....	5
2.1.1.	A városok hőmérsékleti viszonyai.....	5
2.1.2.	Légmozgások az épített környezetben	6
2.1.3.	Csapadék- és páráviszonyok.....	6
2.1.4.	A levegőben és a talajban megjelenő szennyező anyagok.....	7
2.1.5.	A zaj és rezgések hatása a városban.....	9
2.2.	A levéllemez szövetei felépítésének bemutatása	9
2.2.1.	Az epidermisz	9
2.2.2.	A sztómák	10
2.2.3.	A mezofillum	11
2.3.	A szén-dioxid megkötésének mechanizmusa	11
2.3.1.	A fotoszintetikus apparátus felépítése.....	11
2.3.2.	A fény hasznosítása.....	12
2.3.3.	A szén-dioxid megkötése és beépítése	12
2.4.	A sztómakonduktanciát és a fotoszintézist befolyásoló külső tényezők.....	12
2.5.	A vizsgált fajták bemutatása.....	14
2.5.1.	A vizsgált fajták helye a rendszertanban.....	14
2.5.2.	A <i>Tilia</i> nemzetség előfordulásának és kertészeti jelentőségének bemutatása.....	14
2.5.3.	Az egyes fajták és az alapfajok jellemzőinek bemutatása.....	15
2.6.	A kísérleti hársfasoron végzett egyéb és korábbi megfigyelések és mérések eredményei.....	17
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER	18
3.1.	A fásor növényanyagának és környezetének bemutatása.....	18
3.1.1.	A hársfasor növényanyaga és telepítése.....	18
3.1.2.	A Kísérleti Üzem és Tangazdaság természeti adottságai.....	18
3.1.3.	Hőmérsékleti és csapadékviszonyok a 2013. és 2014. évek májustól októberig terjedő időszakaiban	19
3.2.	A vizsgálat során elvégzett mérések és megfigyelések.....	19
3.2.1.	A levélfelületi index mérése	20
3.2.2.	A nettóCO ₂ asszimiláció mérése.....	20
3.2.3.	A levelek tömegének és felületének mérése.....	21
3.2.4.	A klorofiltartalom mérése.....	22
3.2.5.	Egy-egy <i>Tilia</i> egyed szén-dioxid megkötő képességére vonatkozó számítások ...	23
3.2.6.	A fák törzskörméretének mérése	23
3.3.	A műszeres mérések eszközeinek bemutatása.....	23
3.3.1.	Az AccuPAR készülék működésének bemutatása.....	23
3.3.2.	Az LCi készülék működésének bemutatása	24
4.	EREDMÉNYEK	26
4.1.	A levélfelületi index mérésének eredményei.....	26
4.2.	A nettó CO ₂ asszimiláció meghatározására irányuló LCi készülékkel végzett mérések eredményei.....	27
4.2.1.	A 2013. június 20-i mérések eredményei.....	27
4.2.2.	A 2013. augusztus 8-i mérések eredményei	29
4.2.3.	A 2013. szeptember 5-i mérések eredményei.....	30
4.2.4.	A 2014 májusában végzett mérések eredményei.....	32
4.2.5.	A 2014 júliusában végzett mérések eredményei.....	33
4.2.6.	A 2014 szeptemberében végzett mérések eredményei.....	35
4.3.	Az egyes levelek felületének mérése	36

4.4.	A klorofill tartalom méréseinek eredményei	37
4.4.1.	A 2013-ban szedett minták egységnyi tömegre vonatkoztatott klorofill tartalma.	37
4.4.2.	A 2014-ben szedett minták egységnyi tömegre vonatkoztatott klorofill tartalma.	37
4.4.3.	A levelek egységnyi felületre számított klorofill tartalma	38
4.5.	Egy-egy példány szén-dioxid megkötő képességére vonatkozó számítások	39
4.6.	Az egyes fajták törzskörméretének gyarapodása.....	40
5.	KÖVETKEZTETÉSEK.....	41
6.	Összefoglalás.....	44
7.	Köszönetnyilvánítás.....	46
8.	Irodalomjegyzék.....	47

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Napjainkban egyre aktuálisabbá válik és egyre nagyobb hangsúlyt kap a környezetterhelés és az ezzel együtt járó klímaváltozás kutatása. A Budapesti Corvinus Egyetem Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszékének, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszékének, valamint az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Meteorológia Tanszékének együttműködésével folyó OTKA 104867 és 1048852 számú projektek célja a meteorológiai, növényélettani és a légkör szennyezettségére irányuló mérések elvégzésével a városi környezet jelen állapotának, a paraméterek tér- és időbeli változékonyságának, az itt található növényzet és a légkör komplex rendszerének leírása. Ennek keretében különböző taxonok törzskörméretének, koronaméretének és levélfelületi indexének folyamatos mérése, a városi területek mikroklimatikus adottságainak és a városi környezetben a levélfelületekre rakódott por mennyiségének vizsgálata, a fotoszintetikus tevékenységre irányuló terepi mérések, a fotoszintézis paramétereinek városokban gyakran ültetett fás szárú taxonok esetében történő összehasonlítása folyik. Ezek mellett a projekt célja a légszennyező anyagok városi környezetben történő eloszlásának szimulálása, modellezése (Hrotkó et al., 2014).

A Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék munkájába Kertészmérnök BSc szakos hallgatóként kapcsolódtam be 2011 tavaszán. Szakdolgozatomhoz kapcsolódó kutatásként az azt követő két vegetációs időszakban az Andrássy úti *Fraxinus excelsior* és *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' fasorok megfigyelésében, a fotoszintézis paramétereit vizsgáló mérésekben vettem részt. Díszkertészeti mérnök MSc szakos hallgatóként 2013 tavaszán kapcsolódtam be az említett projektek kutatásaihoz csatlakozó, a Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság területén 2009 decemberében telepített, tizenhárom fajtát számláló kísérleti hársfasor összehasonlító vizsgálataiba. A vizsgálatok keretében fenológiai megfigyeléseket végeztünk, vizsgáltuk a törzskörméret- és magasságbeli gyarapodást, a koronaméreteket, a levélfelületi index alakulását. Több fajta esetében a szén-dioxid megkötő képességre, a levelek klorofill tartalmára, valamint a fák vízforgalmának megismerésére irányuló méréseket végeztünk. Az elvégzett vizsgálatok célja, hogy hozzájáruljunk a fajták klímátűrésére irányuló adatok gyűjtéséhez, megtaláljuk a hazai klíma adottságaihoz legjobban alkalmazkodott fajtákat.

Jelen dolgozatban terjedelmi okokból a felsorolt mérések közül csak levélfelületi index méréseire, a fajták a szén-dioxid megkötő képességre, a levelek klorofill tartalmára vonatkozó vizsgálatok eredményeit közöljük. Célunk a fajták szén-dioxid megkötés – mint a környezeti hasznosság szempontjából az egyik legfontosabb tulajdonság – alapján történő összehasonlítása.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A város mint élettér

A növényzet környezeti hasznának vizsgálata során egyre nagyobb hangsúlyt kap a városi növényzet, ezen belül is a fák szerepe is. Ezért a fejezet elején áttekintem a városi klíma sajátosságainak főbb elemeit, valamint a fának a kedvezőtlen hatásokkal szemben nyújtott szolgáltatásait.

A városok klímája környezetük makroklímájától sok tekintetben eltérő mezoklímát alkot, s ezt a nagyobb egységet felépítésének, heterogenitásának következtében különböző mikroklímák teszik sokszínűvé (Tőkei, 1997).

Ezek a különbségek főként a hőmérsékleti, csapadék- és levegőáramlási viszonyokban, a fokozott szennyezőanyag-kibocsátásban mutatkoznak meg, melyek egymással szoros összefüggésben állnak, egymás hatását módosítják. Nem elhanyagolható továbbá a fokozott zajterhelés fellépése sem. A változások a növényi és állati szervezetek, így az ember számára is új, mesterséges környezetet teremtenek. A városokban a növényeket érő ártalmak felmérésére egyre több kutatás folyik, így számszerű adatokkal is rendelkezünk a növények növekedésbeli visszaeséséről, a vegetációs időszak hosszának megváltozásáról és a bekövetkező lombkárosodás és a szennyezettség összefüggéseiről (Chmielewski, 1998).

A növények kiválasztásánál fontos szempontot jelent az is, hogy a városi környezetben is törekedjünk a természet sokféleségének, a biodiverzitás gazdagítására. Így a fák esetében a várostűrés mellett fontos szemponttá vált, hogy az eltelepített példányok minél inkább megfeleljenek ezeknek a követelményeknek (Alvey, 2006).

2.1.1. A városok hőmérsékleti viszonyai

A városok hőmérséklete környezetükhöz viszonyítva mindig magasabb. Ez szeles időben 0,5-2 °C, szélcsendes időben 2-5 °C különbséget is jelenthet (Schmidt, 2006). Budapest belső területei általában 1-1,5 °C-kal, de szélsőséges esetben akár 5-7 °C-kal is melegebbek lehetnek a külső területeknél. Ezt a jelenséget hőszigeteffektusnak nevezik. A külső területek és a városok hőmérsékleti viszonyainak eltérése a hőmérséklet napi menetében és átlagában is megmutatkozik (Kovács, 1985; Tőkei, 1997).

Ezek a különbségek elsősorban a nagyfokú beépítettség és a szennyezett légréteg által előidézett üvegházhatás jelensége miatt alakulnak ki. Bár a légszennyezés hatására a beérkező rövidhullámú sugárzás kisebb, a beépített felületek alacsony albedója ezt, így az általuk leadott hosszuhullámú kisugárzással több energiát adnak le, mint környezetük (Schmidt, 2006; Tőkei,

1997). Említést kell tenni továbbá a lakosság hőenergia-kibocsátásáról is, amihez a fűtés, a közlekedés, a kibocsátott meleg víz és az ipari létesítmények hatása egyaránt hozzájárul (Nagy, 2008).

A nyári forróságban (a levegő relatív páratartalmának csökkenése mellett) a levélfelszín magas hőmérséklete a növényeket fokozott párologtatásra kényszeríti. A téli időszakban a növények még nem kellően beérett hajtásai megfagyhatnak, illetve egyes fajok fatörzsében a déli oldalon napközben megindulhat a nedvkeringés, a felhalmozódott nedvesség viszont éjszaka megfagyhat, így fagyrepedések, illetve fagylécek jöhetnek létre (Schmidt, 2003).

A növényzet a nyári magas hőmérséklet csökkentéséhez magasabb albedója és árnyékoló hatása révén, valamint párologtatásával járul hozzá. Ezek együttes hatására a lombkoronával borított területeken akár 5 °C-kal is hűvösebb lehet a levegő hőmérséklete a lombkoronán kívül eső területekhez képest (Nowak, 1998).

2.1.2. Légmozgások az épített környezetben

A levegőmozgás irányát és sebességét az utcák, terek, épülettömbök is befolyásolják. A szél sebessége a városokban a felszínközeli súrlódás következtében átlagosan 20-30 %-kal csökken. A heves szellőkések száma is jelentősen (15-20 %-kal) alacsonyabb, valamint 5-20 %-kal több a szélcsendes időszak. A szél mérséklődése azonban a levegő tisztulásának elmaradása miatt nem minden esetben tekinthető kedvezőnek.

A magasabb házakkal szegélyezett, sűrűn beépített utcák szélirányt meghatározó hatása különösen erős. Ha az utcák iránya a széliránnyal megegyező, a csatornahatás a szél sebességét is fokozza. Ilyen esetekben megnő a fakidülés és a széltörés valószínűsége. A már említett hőszigeteffektus következtében alakul ki a belső és a peremterületek között a városok légcirkulációs rendszere (Tőkei, 1997; Szaller 2010).

Tenyészydőszakban a fasorral szegélyezett utcákban a légmozgás 20-30 %-kal mérséklődik (Tőkei, 1997). A fák további, igen kedvező hatása az általuk létrehozott hűvösebb, párásabb légtömegek és a környező szárazabb, melegebb levegő keveredésének elősegítése. Ezzel a jótékony vertikális légmozgással a fák felett lévő hűvösebb, nedvesebb légtömeg cserélődik ki az alsóbb rétegek felforrósodott, szárazabb levegőjével (Radó, 1981). A levegő felforrósodásának megakadályozásával csökken a felszín közelében felhevült oxigénből keletkező ózon mennyisége is.

2.1.3. Csapadék- és páráviszonyok

A természetestől lényegesen különböző, részben a már leírt körülmények következtében a városokban a lehulló csapadék mennyisége és a levegő páratartalma környezetükhöz képest

eltérően alakul. A csapadékviszonyok változását egyes nagyvárosokban a zivataros napok számának emelkedésében, a lehulló mennyiség növekedésében és a ciklikussá válásában is kimutatták. Hazánk fővárosában a domborzati tényezők hatására ez a ciklikusság nem mutatható ki (Radó, 1981).

Az aszfalttal borított és más mesterséges felszínekre lehulló csapadék a csatornarendszereken keresztül gyorsan lefolyik, ezért csökken a fák gyökérzónájába jutó és a felületekről elpárolgó víz mennyisége is. A kevesebb elpárolgott víz és a magas hőmérséklet következtében a levegő páratartalma igen alacsony. A felvehető víz mennyiségének csökkenése, valamint az alacsony relatív páratartalom és a magas levélfelületi hőmérséklet miatti fokozott párologtatás a levelek széleinek beszáradásához, súlyosabb esetben korai lombhulláshoz is vezethet (1. ábra). Az elfolyt víz hiánya megmutatkozik a hőmérséklet növekedésében is, hiszen a víz 1 grammjának elpárolgása 2453,5 joule energiát von el környezetétől (Radó, 2001; Schmidt, 2006). A levegő páratartalmát a fák 5-6 %-kal is képesek növelni, melynek a lakosság jobb közérzete mellett különösen az orr- és garat-megbetegedések megelőzésében van jelentősége (Radó, 1981).



1. ábra: *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' vízhiány következtében károsodott lombozata az Andrássy úton (Saját felvétel, 2011)

2.1.4. A levegőben és a talajban megjelenő szennyező anyagok

A szennyező anyagok, mint a por, a füst és a gázok koncentrációja a városok levegőjében igen magas, sokszor az egészségügyi határértéket is meghaladja. A legfontosabb légszennyező gázok a kénvegyületek, a szén-dioxid, a szén-monoxid, a nitrogén-vegyületek és a fluoridok.

A növények port, a kén oxidjait (melyek nagy mennyiségben a növényekre nézve is mérgezőek) és fotoszintetikus tevékenységük útján szén-dioxidot kötnek meg. A port mint szennyezőanyagot alapvetően két csoportba sorolhatjuk: ülepedő por (10 µm- nél nagyobb szerves és szervetlen eredetű részecskék), és az ennél finomabb szemcséjű szálló por (Nagy, 2008; Szaller, 2010). A szén-dioxid megkötésének folyamatát külön fejezet tartalmazza.

A fák lombján a szilárd szennyezőanyagok megülepednek, majd ezeket az eső lemossa, és így a felület újra képes a részecskék megkötésére (2-3. ábra). Egyes adatok szerint a lombozat a keletkező pormennyiség 70 %-ának adszorbeálására is képes (Radó, 1983). A növényeknek a levegő tisztításában betöltött fontos szerepét mutatja, hogy az egyéb műtárgyakkal ellentétben az ülepedő por apróbb szemcseméretű, lassan ülepedő finom por frakcióját is képesek megkötni (Jámborné Benczúr, 2003). A növények pormegkötő szerepének jelentősége egyre nagyobb. Nowak és társai (2006) szerint az Egyesült Államokban a városi fák 711 000 t szennyezőanyagot kötöttek meg. A szennyezőanyagok megkötésének mérésére, feltérképezésére újabb számítógépes modellszámítási lehetőségeket dolgoztak ki (Vos et al., 2013).



2-3. ábra: A *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' levelének felületén megülepedő por és korom (Saját felvételek, 2012)

A talajban található szennyező anyagok közül a téli síkosság-mentesítésre használt NaCl a legjelentősebb. A potenciálviszonyok megváltoztatásával nehezíti a víz felvételét, valamint a kloridion felszívódva lelassítja a növény növekedését, a fiatalabb növények akár el is pusztulhatnak (4. ábra). A talaj tömörödése és az aszfaltborítottság következtében a levegőtlenység és a vízhiány is veszélyezteti a fákat (Schmidt, 2006; Szaller, 2010). A NaCl használata a közterületi járdafelületeken ma már tilos.



4. ábra: A téli sózás következménye az Andrásy út *Ligustrum vulgare* cserjesorán (Saját felvétel, 2012)

2.1.5. A zaj és rezgések hatása a városban

A városok lakói fokozott zajterhelésnek és vibrációs hatásnak vannak kitéve, melynek fő forrása a közlekedés. A városban elültetett növények nagymértékben csökkenteni tudják ezt a kedvezőtlen hatást. Ennek egyértelmű tényét támasztják alá a Nehézipari Műszaki Egyetemnek (a mai Miskolci Egyetem) Budapest különböző helyszínein végzett mérései. Ezek kimutatták, hogy egy egyszerű fasor 8-20 dB, míg egy háromszintes növény-sáv (gyepszint, cserjesor és a fák lombozata) 32 dB zajszintcsökkenést eredményez. Ezen felül a káros zaj gyengítése mellett a szél mozgatta levelek összeverődésének természetes ritmusa az emberi idegrendszert nyugtatja is.

A járműforgalom által keltett vibrációs hatása rongálja az út menti épületeket, valamint a talaj tömörödésében is szerepet játszik. A fák gyökérzetének rezgéscsillapító hatása viszont csökkenti az épületeket károsító mechanikai rezgéseket (Radó, 1981).

2.2. A levéllemez szövetei felépítésének bemutatása

Mivel a szén-dioxid megkötése (túlnyomó részt) a levelekben zajlik, így röviden ismertetem a levelek szöveti szerkezetének felépítését.

2.2.1. Az epidermisz

Az epidermisz a növény legkülső rétege, a leveleket is epidermisz borítja. Fő feladatai a vízháztartás szabályozása, védelem a napfény és más abiotikus és a biotikus hatásokkal szemben is, mindemellett fontos szerepe van a szaporodásban és a kiválasztásban is. Ezek közül az első két funkciót mutatom be részletesen.

Az epidermiszek többsége részt vesz a növényekbe ki- és belépő víz mennyiségének szabályozása. A gyökereket borító epidermisszel szemben – melynek feladata a víz mozgásának segítése – a leveleket borító epidermisznek meg kell tudnia akadályozni a víz mozgását, kivételt a trópusi növények jelenthetnek, ahol a növényt körülvevő levegő sok esetben nedvesebb, mint a talaj. A fény elleni védelem a túl nagy intenzitású (főként UV és infravörös) sugárzás klorofillroncsoló és túlhevítő hatása miatt szükséges.

Az epidermiszt különböző típusú sejtek alkotják, az melyeket négy alapvető csoportba sorolnak: az átlagos epidermisz sejtek, a sztómák és kísérősejtjeik, a trichomák valamint a gyökerek esetében a gyökérszőrők (Mauseth, 1988). A vízháztartás szabályozásában és a fotoszintézisben betöltött szerepük miatt a sztómák sejtjeit és működésüket mutatom be.

2.2.2. A sztómák

A sztómák az epidermiszben az egész hajtásrendszeren előfordulnak. Fő feladatuk a szén-dioxid felvétel és a transzspiráció szabályozása. A levélen – főként az alsó epidermiszen – számuk kiemelkedően magas. Egy-egy sztóma két zárósejtből és az ezek melletti, működésüket segítő melléksejtekből állnak. A többnyire vese alakú zárósejtek – az epidermisz más sejtjeivel ellentétben – kloroplasztiszt is tartalmaznak, sejtmagjuk jóval nagyobb és nagyobb mennyiségű mitokondriumot is tartalmaznak. A növény többi részével ellentétben a kloroplasztiszaik keményítőtartalma éjszaka növekszik, nappal pedig csökken. Más sejtekkel általában nincs plazmodezmás kapcsolatuk, az epidermisz sejteknél és a levél más sejtjeinél is jóval ellenállóbbak, lassabban öregszenek és a szárazabb periódusokat is jobban elviselik. A sztómák zárósejtjei által közrefogott rést légrésnek, az alatta a mezofillumiban található kamrát légudvarnak nevezik, melyhez a belső szövetek felől intercelluláris járatrendszer kapcsolódik. (Beck, 2010).

A sztómák nyitódása és záródása a zárósejtek turgescencia változásával (hidroaktív nyitással és zárással), a sejt térfogatváltozásának következtében történik. Viselkedésüket főként a fény határozza meg, de a 24 órás endogén ritmus, a szén-dioxid koncentráció és a hőmérséklet hatása is hasonlóan számottevő. A felsorolt tényezők a sztómák nyitódását és záródását komplexen befolyásolják. A sztómák működése során -150 - -250 mV közötti membránpotenciál alakul ki, ami elősegíti a káliumszelektív feszültségfüggő csatornákon keresztüli ionfelvételt. Emellett klorid- és hidroxidion, vagy klorid- és hidrogénion transzport történhet. Nyitáskor a káliumokat kísérő anion szerepét az újonnan szintetizálódó malát veszi át. Az ionszatornák közül a gyors R-csatorna a sztómák nyitásában, a lassú S-csatorna a zárásban vesz részt. A kalciumion csatornák kinyílása a sejtben kalcium bejuttatást eredményez, ami kálium leadást idéz elő, valamint a kalcium gátolja a kálium csatornák működését is, valamint a káliumra és kalciumra is szelektív SA-csatornák is kinyílnak. Így ezek a folyamatok a sztómazáródást segítik elő. A citoszól kalcium tartalmát több tényező is meghatározza, és szerepe a sztómák nyitásának és zárásának szerepében még nem teljesen tisztázott. A sztómamozgást az említett membránpotenciál-változáson kívül a sejten belüli és azon kívüli pH is befolyásolja. Víztstressz hatására a környezet pH-ja növekszik, így a kálium csatornák inaktiválódnak, tehát a sztóma záródik. A sztómák működéséhez szükséges energiát a légzés és a fotoszintézis biztosítja (Cseh, 1998).

2.2.3. A mezofillum

A mezofillum a fotoszintézis fő helyszíne, melyet főként klorenchima tölt ki. Sejtjeinek elhelyezkedése szerint tömöttebb paliszád (oszlopos) és lazább szivacsos klorenchimát különböztetnek meg. A paliszád klorenchimában sejtenként átlagosan több klorofill található. Ez adja a levélfelszín sötétebb zöld színét. A szerint, hogy a levelekben megtalálható-e mindkét szövettípus, heterogén vagy homogén mezofillumot különböztetnek meg. Ezek közé a sejtek közé ágyazva található meg a levélben a szállítószövet-rendszer. A parenchima mellett sok taxon mezofillumában szklorenchima és kollenchima illetve aerenchima is található (Beck, 2010; Engloner, 2010).

2.3. A szén-dioxid megkötésének mechanizmusa

Mivel a dolgozatban a *Tilia* fajták szén-dioxid megkötő képességet vizsgáljuk, így fontosnak tartom a fotoszintézis mechanizmusának ismertetését.

2.3.1. A fotoszintetikus apparátus felépítése

A fotoszintézis folyamatában a növények szervei közül a lombszelek a legfontosabbak, az egyéb klorofillt tartalmazó szervek fényenergia átalakítása a fák esetében nem jelentős. Az egyes levelek mezofillumában, az asszimiláló alapszövetben helyezkednek el a kloroplasztiszok, a fotoszintézist végző sejt szervecskék. A felületüket határoló kettős hártyarendszeren (perisztrómiumon) belül helyezkedik el a belső hártyarendszer (tilakoid) és az alapállomány, a sztróma (Pethő, 1998). A lombszelek felépítését az előző alfejezetekben ismertettük részletesen.

A fotoszintézis fényszakasza a tilakoid membránban zajlik. Itt több száz klorofill-molekulából és nagyjából ötven karotinoid molekulából felépülő fényrendszerek találhatók. Ezek a fény sugarak fotonjainak hatására gerjesztődnek. Az elnyelt energiát egymásnak adják át, amíg az el nem jut a fotokémiai reakció centrumhoz. Ez a fehérjével összekapcsolt klorofill-molekula képes ezt az energiát kémiai energiává alakítani. A fotoszintézis folyamata a pigmentek fényelnyelési spektrumának összeadódásával a látható fény egészét felöleli. Leghatásosabbak a 400-500 és 600-700 nm közötti tartományok.

A már említett fényrendszerek közül az I. fényrendszerben (PS-I) a klorofill-a tartalom jóval nagyobb, ezért reakció centrumának fényelnyelési maximuma 700 nm-nél van. A II. fényrendszerben (PS-II) a klorofill-b mennyisége jelentősebb, maximális fényelnyelése 680 nm-nél van. A reakció centrumokat ennek alapján rendre P-700-nak és P-680-nak nevezik (Boross, 1993).

2.3.2. A fény hasznosítása

Gerjesztés hatására a PS-I reakciócentrumát elhagyja egy elektron, mely különleges vas/kén fehérjéken, ferredoxinon és a ferredoxin-NAPD⁺ oxireduktáz enzimen keresztül egy NADP⁺ molekulára kerül. A P-700 reakciócentrumban keletkezett elektronhiány a PS-II-ről transzportálódó elektronnal pótlódik. Az elektron a P-680-ról feofotin molekulára, majd plasztokinon molekulákra illetve a plasztokinon gyűjtőbe kerülnek, ahonnan citokróm molekulán és plasztocianin fehérjén keresztül jut a P-700 reakciócentrumba. A P-680-ban létrejött elektronhiányt a víz bontásából származó elektron tölti be. Egy Mn-tartalmú fehérjekomplex működésének köszönhetően a folyamat során nem keletkeznek részlegesen oxidált vízmolekulák és a toxikus szabadgyökök. A reakcióláncban feltehetőleg egy citokróm-b – citokróm-c irányú elektronátmenet során ADP-ből ATP szintetizálódik (Boross, 1993).

2.3.3. A szén-dioxid megkötése és beépítése

A szén-dioxid megkötése és beépítése az úgynevezett sötét szakaszban zajlik. A folyamatot felfedezője után Calvin-ciklusnak, elsődleges reakciótermékéről, a három szénatomos 3-foszfoglicerátról pedig C3-as útnak is nevezik.

A ciklus első szakaszában, a karboxilezési szakaszban a ribulóz-1,5-biszfoszfát veszi fel a szén-dioxid molekulát, majd köztes termékek képződése után két 3-foszfogliceráttá alakul. A folyamatot a rubisco enzim katalizálja Mg²⁺ jelenlétében.

A szénhidrát képződés szakaszában, más néven redukciós szakaszban a fény szakaszban képződött ATP és NADPH felhasználásával, enzimek közreműködésével a 3-foszfoglicerát glicerinaldehid-3-foszfáttá redukálódik. Ennek a vegyületnek egy része ezután dihidroxiaceton-foszfáttá alakul át. A két triózfoszfátot az egyensúlyi elegyből az aldoláz fruktóz-1,6-biszfoszfáttá kondenzálja, mely a foszfátcsoportok lehasadásával és áthelyeződésével az oligo- és poliszacharidok alapjául szolgáló glükóz-1-foszfáttá alakul.

A harmadik, regenerációs szakaszban sok közttermék képződésével, számos enzim közreműködésével és ATP felhasználásával újratermelődik a szén-dioxid molekulát felvevő ribulóz-1,5-biszfoszfát (Simonné Sarkadi, 2007).

2.4. A sztómakonduktanciát és a fotoszintézist befolyásoló külső tényezők

A sztómakonduktanciát (ami a sztómák vezetőképességét jellemzi), és ezzel a fotoszintézis intenzitását igen sok tényező befolyásolja, melyeknek egymásra hatása miatt elengedhetetlen a folyamat komplex szemlélése.

A fényintenzitás, a hőmérséklet és a széndioxid-koncentráció növekedésével általában a fotoszintézis intenzitása is nő. Ez azonban a C3-as növényeknél csak egy bizonyos határig igaz. Az egyre intenzívebbé váló fotorespiráció hatására ugyanis romlik a fotoszintézis hatása, így a növekvő fényintenzitás egy bizonyos pont elérése után már nem jár a fotoszintézis intenzitásának emelkedésével. Ezt a pontot fényteltődési pontnak nevezik. Egy másik fontos fogalom a fénykompenzációs pont, ami a fotoszintézis széndioxid-megkötésének és a légzés oxigéntermelésének egyensúlyát jelenti. Ezek a telítődési és kompenzációs pontok a szén-dioxid koncentráció hatásánál is megjelennek.

A legtöbb növény esetében a sztómák nyitódásában és záródásában szabályos napi ritmus figyelhető meg. Nappal kinyílnak, éjszaka záródnak, de a nyitódás és záródás 24 órás endogén ritmusa miatt ezt csupán a fényviszonyok változása nem mindig idézi elő (Cseh 1998, Szalai 2009; Pethő, 1998).

Forrai et al. (2012 a) mérései alátámasztották, hogy a sztómakonduktancia erősen befolyásolja a szén-dioxid asszimilációt. Emellett *Fraxinus* fajtákon végzett vizsgálataik eredményei alapján (Forrai et al., 2012 b) megállapították, hogy a fotoszintetikusan aktív besugárzás mértéke a szén-dioxid megkötését a sztómakonduktanciánál jóval nagyobb mértékben befolyásolja, valamint a szén-dioxid asszimiláció napi menete nem kapcsolódik szorosan a légköri szén-dioxid koncentrációhoz. Gyeviski et al. (2012) cseresznyeültetvényben végzett vizsgálataik alapján szintén megerősítik, hogy a sztómakonduktancia csökkenésével általában párhuzamosan csökken a szén-dioxid megkötésének mértéke is, ugyanakkor bizonyos alany használata esetén a sztómakonduktancia csökkenése nem minden esetben járt együtt a szén-dioxid asszimiláció csökkenésével.

Lágyszárúakon, örökzöldeken és lombhullató növényeken végzett méréseik alapján Prado és De Moraes (1997) hangsúlyozzák a fotoszintetikusan aktív besugárzásnak a fotoszintézis teljesítményre gyakorolt erős hatását. Emellett kiemelik a levelek élettartamának, felépítésének és élettani vonatkozásainak szoros összefüggéseit. A fotoszintetikusan aktív besugárzás értékeinek fontosságát támasztja alá Kazda et al. (2000) állományban álló *Tilia cordata*, *Fraxinus angustifolia* és *Quercus robur* fajokon végzett méréseinek eredménye is. Vizsgálataik során a *Tilia cordata* faj esetében a korona 15 m magasságban lévő levelein $13\text{--}27 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, míg a 6 m magasságban található leveleken csupán $5\text{--}8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$ megkötést mértek.

A hőmérséklet hatása egy növényenként változó optimum-görbével írható le. Túl magas hőmérsékleten a reakciók sebessége növekszik ugyan, de a membránok károsodásából fakadóan

a fotoszintetikus elektrontranszport fokozatosan megszűnik. A széndioxid koncentráció hatásánál szintén létezik telítődési és kompenzációs pont.

A fotoszintézis enzimrendszere a vízhiányra igen érzékeny, ezért nagyon fontos a vízellátottság, a levegő relatív páratartalma és a légmozgások is. A levél bőséges vízellátottsága esetén a zárósejtek vízzel telítettek, a légrések nyitottak. (A levél teljes telítődése esetén a megduzzadt epidermisz-sejtek összenyomják a sztómák légréseit, így ekkor a bőségesen jelenlévő víz ellenére ez nem teljesül.) Vízhiány esetén a légrések záródása következik be (Cseh 1998, Szalai 2009; Pethő, 1998).

A hőmérséklet és a páratartalom gázcserére kifejtett hatását bizonyítják Montague és Kjellgren (2004) 6 különböző borítottságú felszín felett négy faj konténerbe ültetett példányain elvégzett mérései is, ahol a nem növényekkel borított felszínek felett (a magasabb levélfelszíni hőmérsékletek valamint a levegő és a levelek víztartalom különbsége miatt) a sztómakonduktancia és a párologtatás is jelentősen kisebb volt. Montague et al. (2000) gyeppel és fenyő mulccsal borított területek felett *Tilia cordata* 'Greenspire' és *Acer platanoides* 'Emerald Queen' fajtákon végzett vizsgálatai során is a mulcs felett mért fák esetében a sztómák nagyobb fokú záródását és kisebb levélfelület értékeket mértek.

2.5. A vizsgált fajták bemutatása

2.5.1. A vizsgált fajták helye a rendszertanban

Magnoliophyta (Zárvatermők törzse)

Rosopsida (Valódi kétszikűek osztálya)

Malvales (Mályvavirágúak rendje)

Malvaceae (Mályvafélék családja)

Tilioideae (Hársfafélék alcsaládja)

Tilia (Hárs nemzetség) (Udvardy, 2008)

2.5.2. A *Tilia* nemzetség előfordulásának és kertészeti jelentőségének bemutatása

A *Tilia* nemzetség fajtái főként a számukra alkalmas erdőtársulások elegyfáiként élnek, de kedvező körülmények között elegyetlen állományt is alkothatnak. A nemzetség 45 faja az északi mérsékelt égöv területén él.

A nemzetség fajtái voltak az első fák, melyeket a kertekbe – már Mátyás király korában – díszükért ültettek. Többségük igényes faj: tápanyaggal jól ellátott, üde egyenletes vízellátottságú talajt és párás klímát kívánnak, csak néhány faj (*Tilia cordata*, *Tilia tomentosa*) idősebb, jól begyökeresedett egyede tűri a szárazságot. Forgalmas, szennyezett levegőjű utak, sovány,

tömörödött talajú felületek, a belvárosok páraszegény területeinek fásítására nem alkalmasak. Igazi szépségüket tiszta, párás levegőjű, jó talajú környezetben mutatják meg. Fajtái között sok a szép koronaalakú, szoliternek is alkalmas fa. Más fajokkal jól társíthatók (Schmidt és Tóth, 2006; Tóth, 2012).

2.5.3. Az egyes fajták és az alapfajok jellemzőinek bemutatása

Az egyes fajták bemutatását a vizsgálatokat korábban folytató Tóth Endre 2011-ben készült TDK dolgozatából idéztem, amit néhány esetben kiegészítettem néhány a vizsgálat szempontjából lényeges jellemzővel, valamint ismertetem az egyes fajok az irodalmakban bemutatott környezeti igényeit és felhasználási lehetőségeit.

Tilia americana

Észak-Amerika keleti részéről származó, nyirkos erdőkben élő faj. Későn, június végén-július elején virágzó faj. Leveleinek hosszúsága és szélessége 10-15(-20) cm, a vízajtásokon ritkán akár a 30 cm-t is elérhetik. Napos (esetleg félárnyékos) meleg fekvésű termőhelyet, tápanyagban gazdag, üde, mélyrétegű talajt kedvel, a talaj kémhatására nem, más kedvezőtlen környezeti hatásokra, így például a városi utcák szennyezett, páraszegény levegőjére érzékeny, az ilyen körülmények a levelek beszáradását okozzák. Ezért – és nagy termete miatt – telepítése elsősorban parkokba javasolt, várostűrőse gyenge (Coombes, 2000; Johnson és More, 2007; Schmidt és Tóth, 2006; Tóth, 2012; Magyar Díszkertészek Szövetsége, 2014).

***Tilia americana* 'Redmond'**

„1920-ban leírt fajta. Először az amerikai Plumfield Faiskola forgalmazta. Kúp alakú koronája tömött és kompakt növekedésű. Fiatal hajtásai vörös színűek. Levelei a *Tilia americana* 'Nova' leveleinél kissé sötétebb zöldek (Ifju, 2009-10, Krüssmann, 1986; Schmidt és Tóth, 2006).”

Tilia cordata

Európai(-mediterrán) flóraelem, üde lombdöben elterjedt faj. Növekedése a hazai hársak közül a leglassabb. Levelei kis méretűek (nagyjából 8x8 cm). A szárazságot viszonylag jól tűri, de várostűrőse gyenge, szennyezett levegőjű városi környezetbe történő telepítése esetén a takácsatka tömeges megjelenésével kell számolni. Mélyrétegű, meszes, üde, tápdús talajt kedvel. Hőigénye közepes, a hideggel szemben sem érzékeny faj (Czóbel et al., 2007; Simon 2008; Johnson és More, 2007; Schmidt és Tóth, 2006; Tóth, 2012; Magyar Díszkertészek Szövetsége, 2014).

Tilia cordata 'Greenspire'

„Egyenes törzsű, 15-20 m magas szelekció útján létrejött fajta. Koronája szabályos kúp alakú, zárt. Már fiatalon is piramis, kúp alakú habitussal rendelkezik. Jó törzsnevelő és egészséges lombzat jellemzi. Gyors növekedésű fajta. Levelei bőrneműek, 6-10 cm nagyságúak, fénylő sötétzöldek. A városi klímát jobban viseli, mint az alapfaj (Izer, 2010-11; Krüssmann, 1986; Retkes és Tóth, 2005; Schmidt és Tóth, 2006)”.

Sorfának, parkfának alkalmas fajta (Tóth, 2012). A németországi ajánlások szerint útsorfának is jól alkalmazható fajta (Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz, 2014) a Magyar Díszkertészek Szövetségének ajánlása (2014) szerint gyenge várostűrő képességekkel rendelkezik.

Tilia cordata 'Savaria'

„Hazai nemesítésű fajta, a fajta nemesítője és fenntartója: Józsa Miklós. Az állami elismerés éve: 1998. A fajta nemesítése ismeretlen eredetű magoncpopulációból történt. Koronája sudaras, kúpos. A hajtások csúcsa fiatalon kissé vöröses, később barnászörös. Levelei sötétzöldek. Jó törzsnevelő, sok illatos virágot hoz, jól mézeli. Jó törzsnevelő és egészséges lombzatú fajta. A szélsőséges talajviszonyoktól és a szennyezett talajoktól eltekintve jól alkalmazható (Izer, 2010-11; Retkes és Tóth, 2005; Schmidt és Tóth, 2006).”

A hazai klímát az alapfajnál jobban tűri, park- és sorfának az alkalmasabb, gyors növekedésű fajta (Tóth, 2012).

Tilia tomentosa

Lombhullató és örökzöld erdők faja, hazája Délnyugat-Ázsia és Délkelet Európa. Hazánkban a Dél-Dunántúl és az Alföld xero- és mezoterm tölgyeseiben elterjedt. Levelei 5-12 cm hosszúak, széles tojásdad alakúak, levéllemezük vastag, fonáka sűrűn, aprón csillagszőrös. Üde, mélyrétegű, meszes, humuszos, tápdús, löszös, vályogos, homokos talajt kedvel, de jól alkalmazkodik a kedvezőtlenebb adottságokhoz is. Mérsékelten szárazságtűrő, melegkedvelő, fiatalon árnyéktűrő, később fényigényes, gyorsan növő faj. A takácsatka a lombzatát nem károsítja, de a sózásra (a többi hársfajhoz hasonlóan) kényes. A hársak közül a városi körülményeket legjobban elviselő faj. (Coombes 2000; Czóbel et al., 2007; Tóth, 2012; Schmidt és Tóth, 2006).

Tilia tomentosa 'Szeleste'

„Hazai nemesítésű fajta, 1969-től államilag elismerve. A fajta bejelentője és fenntartója: BCE Kertészettudományi Kar. Anyanövénye a Szelestei Arborétum főbejáratánál álló fa, mely azóta elpusztult. A fajta a Dunántúlról származik. Erős és gyors növekedésű fajta, boltozatos

vagy keskeny-tojásdad, később kiszélesedő koronájú fa, magassága 20-25 m. Fiatal ágai zöldesszürkék. Mereven felálló hajtásrendszerű fajta, amely kiválóvá teszi útfásításra. Egyetlen hátránya, hogy gyakran válik többsudarúvá, ami később töréshez vezethet. A levelek többé-kevésbé kerekdedek, a levelek fonáka sűrűn csillagszőrös. Illatos, sárga virágai június végén-július elején nyílnak (Izer, 2010-11; Retkes és Tóth, 2005, Schmidt és Tóth, 2006, Schmidt és Tóth, 2000).”

2.6. A kísérleti hársfasoron végzett egyéb és korábbi megfigyelések és mérések eredményei

Tóth et al. (2014 a) az aszályos 2011. év augusztusában végzett mérései során a többi vizsgált fajtahoz képest a *Tilia americana* fajtánál a legnagyobb sztómakonduktancia és magas szén-dioxid megkötési értékeket mértek. A *Tilia cordata* 'Greenspire' és 'Savaria' esetében alacsony sztómakonduktanciát és szén-dioxid asszimilációt tapasztaltak. A *Tilia tomentosa* fajták esetében magas levélfelületi hőmérsékleti, alacsony sztómakonduktancia és viszonylag magas szén-dioxid megkötési értékeket mértek.

A 2010 és 2013 tavasza közötti, Tóth Endre György és általam végzett megfigyelések eredményeit röviden ismertetem (Tóth et al., 2014 b). Ezek alapján a legnagyobb törzskörméret-gyarapodást a *Tilia tomentosa* fajtáinál tapasztaltuk. A *Tilia americana* 'Redmond' és a *Tilia cordata* fajták jóval kisebb gyarapodást mutattak. 2013 és 2014 tavasza között a magassági növekedés tekintetében hasonló eredményeket tapasztaltunk, de a *Tilia americana* 'Redmond' növekedése ekkor kisebb mértékben maradt el a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtától. A fenológiai megfigyelések során – melyeket 2011-ben és 2013-ban végeztünk – a legkorábbi kihajtást a *Tilia americana* 'Redmond' és a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' esetén tapasztaltuk. Az utóbbi fajta esetén a folyamat igen hosszú volt, míg a leggyorsabb kihajtást a *Tilia cordata* 'Greenspire' esetében figyeltük meg. A virágok először a *Tilia americana* 'Redmond', majd a *Tilia cordata* fajtákon, utoljára pedig a *Tilia tomentosa* fajtáinak fáin nyíltak ki. Ősszel a levelek a *Tilia cordata* 'Greenspire' egyedekről hullottak le először, a többi fajta nagyjából egy héttel később veszítette el utolsó leveleit.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A TDK dolgozatomhoz és diplomamunkámhoz kapcsolódó vizsgálatokat a Budapesti Corvinus Egyetem Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságának területén, a Telefondűlő út körülbelül 500 méter hosszú szakaszán telepített hársfasoron végeztük 2013 márciusa és 2014 novembere között. Ezen két vegetációs időszak alatt fenológiai vizsgálatokat és helyszíni illetve laboratóriumi méréseket végeztünk.

3.1. A fásor növényanyagának és környezetének bemutatása

3.1.1. A hársfasor növényanyaga és telepítése

A 13 fajtából álló hársfásort 2009 decemberében telepítették a Budapesti Corvinus Egyetem Kísérleti Üzeme és Tangazdasága területén. A növényanyagot részben a Tahi Faiskola Kft., részben pedig az Alsótekeresi Faiskola Kft. szállította - a *Tilia platyphyllos* 'Rathaus' példányok kivételével - minden fa esetében 12/14 cm-es törzskörméretű sorfa minőségben, a *Tilia platyphyllos* 'Favorit' és a már említett *Tilia platyphyllos* 'Rathaus' fajtákat földlabdával, a többi fajtát szabadgyökérrel. A fajtánként nyolc példányt négyszeres ismétlésben, véletlenszerű elrendezésben, kettesével helyezték el. Az egyes fajtákat az Irodalmi áttekintés részben mutattam be.

A telepítéskor a gödröket traktorral szerelt gödörfűróval alakították ki, aljukat komposzttal töltötték fel. Az ültetést követő beöntözés után a törzsekre a vadkár megelőzése érdekében törzsvédő hálót erősítettek. A telepítés utáni két nyáron az időjárásnak megfelelően öntözték az állományt (Tóth, 2011).

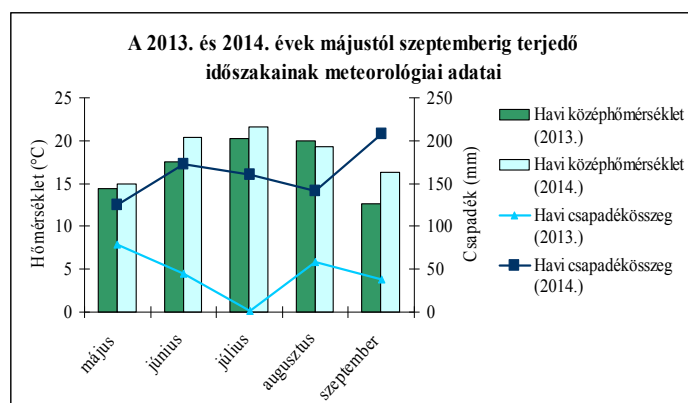
3.1.2. A Kísérleti Üzem és Tangazdaság természeti adottságai

A Kísérleti Üzem és Tangazdaság 1963 óta működik kísérleti telepként. Területe a Pesti síkság része, tengerszint feletti magassága 100-150 méter. Talaja meglehetősen heterogén, a legjellemzőbb a közömbös vagy gyengén lúgos homok- vagy könnyű vályogtalaj, melyeknek vízgazdálkodása igen rossz. Humuszos rétegük átlagos vastagsága 30-60 cm, humusztartalmuk 1-2 %. A talajvíz a talajfelszín alatt 2-3 méterrel helyezkedik el.

A területre jellemző 2000-2050 óra napfénytartam körülbelül 71 %-a esik a tenyészidőszakra. Évi középhőmérséklete 10,5-11 °C, júliusban átlagosan 21-22 °C-ot, januárban -1- -2 °C-ot mérnek. Nyáron a 25 °C feletti hőmérsékletű napok száma 75-81, a téli fagyos napok száma pedig 90-100 között alakul. A legmagasabb éves hőmérséklet átlagosan 35 °C, a legalacsonyabb -17 °C (Sütöriné Diószegi, 2005).

3.1.3. Hőmérsékleti és csapadékviszonyok a 2013. és 2014. évek májustól októberig terjedő időszakában

A 2013. és 2014. évek májustól szeptemberig terjedő időszakának hőmérsékleti és csapadék adatait az 5. ábrán mutatjuk be. Az adatokat a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Karának Rovartani Tanszéke által kihelyezett METOSZ készülék rögzítette. A két év bemutatott hónapjainak középhőmérséklete nem mutat jelentős eltérést, jól látható azonban a különbség a rendkívül aszályos 2013. évben és a csapadékos 2014. évben lehullott csapadékmennyiségek között. A 2014. év ezen öt hónapjában csaknem négyszer annyi csapadék hullott, mint 2013. ugyanezen időszakában. Az LCi készülékkel végzett mérések napjainak hőmérsékleti viszonyait és az azokat megelőző egy hónap csapadékösszegét az eredmények fejezetben az adott nap mérési eredményeivel egy alfejezetben ismertetjük.



5. ábra: Hőmérsékleti és csapadékadatok a 2013. és 2014. évek májustól szeptemberig terjedő időszakában

3.2. A vizsgálat során elvégzett mérések és megfigyelések

A fasor vizsgálata során 2013 tavaszától 2014 őszéig az alábbi megfigyeléseket és méréseket végeztük:

- a kihajtás menetének megfigyelése
- a törzskörméret mérése
- a fák magasságának mérése
- a virágzásdinamika megfigyelése
- a vízhiány miatt bekövetkezett lombkárosodás felmérése
- a termésmennyiség becslése
- az őszi lomszíneződés és lombhullás menetének megfigyelése
- a levélfelületi index (LAI) mérése AccuPAR készülékkel
- a fotoszintetikus aktivitás mérése LCi készülékkel

- a levelek friss és száraz tömegének mérése
- a levelek klorofill tartalmának mérése
- vízpotenciál mérés

A fenológiai megfigyelések és a vízforgalomra, vízhasznosításra vonatkozó mérések eredményeit ebben a dolgozatban terjedelmi okokból nem közöljük. A fajtákat a levélfelületi index, a levelek klorofill tartalmának, törzskörméret-gyarapodásának és főként a szén-dioxid megkötésének – mint általuk nyújtott környezeti haszon – értékei alapján hasonlítjuk össze.

Mivel az ebben a dolgozatban ismertetett eredményekhez kapcsolódó mérések nagyobbik részét a *Tilia americana* 'Redmond', a *Tilia cordata* 'Greenspire', a *Tilia cordata* 'Savaria' és a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtákon végeztük, így a többi eredményt is csak ezekre a fajtákra vonatkozóan ismertetjük.

3.2.1. A levélfelületi index mérése

A levélfelületi index a korona alatti egységnyi területhez tartozó levélfelület értékét adja meg. Mérését 2013-ban márciustól szeptemberig havi rendszerességgel, 2014-ben február végétől május elejéig kéthetente, ezután havonta, minden esetben 10 és 14 óra között, derült időben végeztük. A méréshez AccuPAR készüléket használtunk, melynek működését a 3.3.1. alfejezetben mutatom be. Minden fa esetében öt mérést végeztünk: először közvetlen napfényen, majd négyszer a fa koronájának árnyékában. A korona árnyékában a készüléket a sorirányra merőlegesen, azzal párhuzamosan, és a szög felezőinek irányában tartva rögzítettünk egy-egy értéket. A készülék érzékelőjének felezőpontját minden esetben a fa törzséhez illesztettük. A készülék a korona alatt mért értékek átlagából és a közvetlen fényen mért érték alapján kiszámította a levélfelületi index értékét. Az így kapott értékeket – az éves menetek szemléltetése céljából – grafikonon ábrázoltuk.

3.2.2. A nettó CO₂ asszimiláció mérése

A nettó CO₂ asszimiláció méréseit a 2013. évben június 20-án, augusztus 8-án és szeptember 5-én, 2014-ben május 22-én, július 7-én és szeptember 18-án végeztük. A méréshez a 3.3.2. fejezetben bemutatott LCi készüléket használtuk. A méréseket a *Tilia americana* 'Redmond', a *Tilia cordata* 'Greenspire', a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' és a *Tilia cordata* 'Savaria' fajtákon végeztük. A júniusi, júliusi és az augusztusi napokon reggel hat órától este nyolc óráig, májusban és szeptemberben reggel nyolc órától este hat óráig mértünk. Példányonként négy fénylevet mértünk minden mérésorban. A mérésorokat minden esetben két óránként ismételtük az alábbiak szerint:

- 1. óra: *T. americana* 'Redmond', *T. cordata* 'Greenspire', *T. tomentosa* 'Szeleste', *T. cordata* 'Savaria' (fajtánként két példányt mérve)
- 2. óra: *T. tomentosa* 'Szeleste', *T. cordata* 'Savaria', *T. cordata* 'Greenspire', *T. americana* 'Redmond' (szintén fajtánként két példányt mérve).

Az egyes fajták CO₂ asszimilációjának összehasonlítását a két órás mérés sorok adataival végzett egytényezős varianciaanalízissel végeztük. Az így kapott eredményekből minden napra vonatkozóan grafikont készítettünk, így az egyes paraméterek napi menetei is nyomon követhetők. A mért adatok közül a fotoszintetikusán aktív besugárzás, a levélfelületi hőmérséklet, a sztómakonduktancia és a nettó CO₂ asszimiláció értékeit használtuk fel a széndioxid megkötő képesség vizsgálatához.

A napi menetek ábrázolásán kívül minden mérési nap esetében összesítő számítást végeztünk az egységnyi levélfelület kumulatív nettó CO₂ asszimilációjának meghatározására. Minden mérésnél mért értéket 7200-zal szorozva kiszámítottuk azok 2 órás időtartamra vonatkozó értékét (g/(m²×2 h)). Ezután a mérés sorok azonos sorszámú méréseinek összegeiként kapott eredményeken (fajtánként csoportosítva) egy tényezős varianciaanalízist végeztünk. Az így kapott átlagokat a statisztikai csoportok feltüntetésével oszlopdiagramon ábrázoltuk.

3.2.3. A levelek tömegének és felületének mérése

A levelek tömegének és felületének méréséhez szükséges mintákat az LCi készülékkel végzett mérések napjain az említett készülékkel mért példányokról szedtük. Minden fáról négy levelet szedtünk a négy égtájnak megfelelő oldalról. A levéltömeget először frissen, majd szárítás után mértük a Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék laboratóriumának 0,01 g pontosságú digitális mérlegén. A mért adatok közül a friss tömeg mérésének adatait használtuk fel a levelek egységnyi felületre származtatott klorofilltartalmának kiszámításához.

A levelek felületének mérését a BioScientific Ltd által gyártott levélszkennelőrrel végeztük. A készülék a levelek nagyságát mm² pontossággal adja meg, valamint PNG típusú képfájlból letölthető fekete-fehér képet készít róluk. Erre a célra a fent leírt módon 2014 májusában és szeptemberében gyűjtött mintákat használtuk: a szkennelést a levelek friss tömegének megmérése és levelek préselése után végeztük. A mérés során kapott eredményeket – a fajokra jellemző értékek szemléltetésének céljából – oszlopgrafikonon ábrázoltuk. A mért értékeket ezen kívül szintén a levelek egységnyi felületre származtatott klorofilltartalmának kiszámításához használtuk fel.

3.2.4. A klorofilltartalom mérése

A klorofilltartalom méréséhez felhasznált mintákat az előző két pontban leírtakkal megegyező módon és időben szedtük. A leveleket a mérés elvégzéséig fagyaszttva tároltuk, minden levelet külön mintaként kezeltünk.

A méréseket a Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék laboratóriumában az Arnon (1949) által leírt módszer szerint végeztük. A mintánként 100 mg levelet 3 ml 80 %-os acetonnal, kvarchomokkal és spatulahegynyi $MgCO_3$ -tal eldörzsöltük (6-7. ábra), majd további 3 ml 80 %-os aceton hozzáadása után a homogenizátumot mérőhengerbe öntöttük. A dörzsmozsár kiöblítését szintén 80 %-os acetonnal végeztük, amit a mérőhengerbe öntöttünk, majd a szuszpenziót 80 %-os acetonnal 10 ml-re töltöttük fel. Az ezután ülepítéssel nyert kivonat abszorbanciáját – vak mintaként 80 %-os acetont használva – 663, 644 és 480 nm hullámhossz értékeknél mértük spektrofotométerrel (8. ábra).



6-8. ábra: A klorofillméréshez történő előkészítés és a spektrofotométer

A minta friss súlyának 1 grammjára számított, μg -ban kifejezett klorofilltartalmat a következő összefüggéssel számítottuk:

$$\frac{20,2 \cdot A_{644} + 8,02 \cdot A_{663}}{w} \cdot V$$

Az összefüggésben A az adott hullámhosszon a vakkal szemben mért abszorbanciát, V a szövetkivonat térfogatát (ml), w a szövet friss tömegét (g) jelöli. Az egyes napokon szedett minták mérése során kapott értékeket SPSS programmal végzett egytényezős varianciaanalízissel értékeltük, az eredményt oszlopdiagramon ábrázoltuk.

A friss tömegre vonatkoztatott értékeken kívül a levelek tömegének és felületének mérései alapján a 2014 májusában és szeptemberében szedett minták esetében a levelek klorofilltartalmának egységnyi levélfelületre (cm^2) vonatkoztatott értékeiket is kiszámítottuk az alábbi módon:

$$\frac{\text{teljes levél friss tömege (g)} \times \text{friss tömegre számított klorofilltartalom } (\mu g/g)}{\text{teljes levél felülete (cm}^2\text{)}}$$

Az így kapott értékeket ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) a – korábbiakhoz hasonlóan – egytényezős varianciaanalízissel történő összehasonlítás után oszlopdiagramon ábrázoltuk.

3.2.5. Egy-egy *Tilia* egyed szén-dioxid megkötő képességére vonatkozó számítások

A 2014. évben végzett mérési napokra vonatkozóan számítást végeztünk arról, hogy a mért fák aznapi eredményei alapján mennyi szén-dioxid megkötésére voltak képesek, amennyiben minden levelük a mérésben részt vevő levelekkel azonos kitettséggű. A példányonkénti összes levélfelület értékét (m^2) a levélfelületi indexek azon hónapban mért eredményeinek és a korona vetületének szorzataként számítottuk ki. A korona vetületét a sor irányába mutató és arra merőleges koronaméretekkkel jellemzett ellipszisnek tekintettük. Ehhez a számításhoz az egyes fajtákból a fasorban található összes példányon (és nem csupán az LCi mérésekben is érintett példányokon) mért értékeket is figyelembe vettük. Az így kapott levélfelület és a 3.2.2. fejezetben leírt módon számított napi összes szén-dioxid megkötés értékeinek szorzataként számítottuk a fajták egy-egy példánya által a mérések ideje alatt megkötött összes CO_2 mennyiségét ($\text{g}/(\text{példány} \times \text{mérési időtartam})$). Mivel az adatokat statisztikailag nem tekintjük értékelhetőnek, így csak a fajtánként számított, oszlopdiagramon ábrázolt értékeket közöljük nagyságrendi bemutatás céljából.

3.2.6. A fák törzskörméretének mérése

A fák törzskörméretét 2013 áprilisában és 2014 októberében, 1 méteres magasságban mérőszalag segítségével mértük. A két mérési időpont közötti centiméterben megadott gyarapodás értékeket fajtánként csoportosítva egytényezős varianciaanalízissel értékeltük. A mérésben (a nagyobb mintaszám érdekében) a kiválasztott négy fajta összes példányát vizsgáltuk.

3.3. A műszeres mérések eszközeinek bemutatása

3.3.1. Az AccuPAR készülék működésének bemutatása

A levélfelület-index (LAI=Leaf Area Index) lombhullató fák esetében az egységnyi (a növény alatti) talajfelületre jutó zöld levélfelületet jelenti. Mérését az AccuPAR készülékkel végeztük (9. ábra), mely szenzoraival 400 és 700 nm közötti hullámhossz tartományba eső sugárzásértékeket mér $0\text{--}3000 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ értékek között. A készülék méri a fotoszintetikusan aktív sugárzást, és a méréseket a lombkorona szintje fölött, majd alatta elvégezve kiszámítja a levélfelület-indexet (Tóth, 2011; Gyevik, 2011).



9. ábra: Mérés az AccuPAR készülékkel (Fotó: Steiner Márk, 2013.)

3.3.2. Az LCI készülék működésének bemutatása

A vizsgálat során a fotoszintézissel kapcsolatos méréseket LCI készülékkel végeztük. A készülék 24x12,5x14 cm-es, 2,4 kg-os vállra függeszthető vagy derékra csatolható központi egységből, egy 30x8x7,5 cm-es csipeszből, és egy, a külső levegő felvételére szolgáló, körülbelül 3 méter hosszú teleszkópos rúdból, valamint az ezeket összekötő vezetékekből és más kiegészítőkből áll (10. ábra). Cserélhető akkumulátora 10 órán át képes folyamatosan üzemeltetni a készüléket. A csipesz feje a különböző méréseknek megfelelően cserélhető (BioScientific Ltd, 2004).



10. ábra: Az LCI készülék (Saját felvétel, 2012.)

Az eszköz használata során a vizsgálandó növényi részt (esetünkben levelet) a készülék mérőkamrájába kell helyezni, majd megvárni, hogy a kamrában ezáltal megváltozott levegő paramétereit a készülék megmérje (11-12. ábra). Ez egy-két percet vesz igénybe. A kezelési

útmutató ajánlása szerint a szén-dioxid érték stabilizálódásakor rögzíthető az adat. Nyílt rendszerű mérőműszer, így az adatokat a mért értékekből azonnal származtatja és a minták sem sérülnek a mérés során.



11-12. ábra: Mérés az LCI készülékkel
(Fotók: Kérész György Sándor, 2011.; Szaller Vilmos, 2011.)

Működése során a berendezés infravörös gáz analizátorral (IRGA) méri a heteroatomos molekulák (mint CO_2 , H_2O , NO) jelenlétét. A gázok koncentrációján kívül a hőmérsékletet, a légnyomást és a fotoszintetikusan aktív sugárzást is méri. Ezekből az adatokból kiszámítja a fotoszintetikus rátát, a transzspirációs rátát és a sztómakonduktanciát. A készülék összesen 35 paramétert mér (Bacsó, 2009; Tóth, 2011; BioScientific Ltd, 2004).

A mért paraméterek közül vizsgálataink során a következőket használtuk fel:

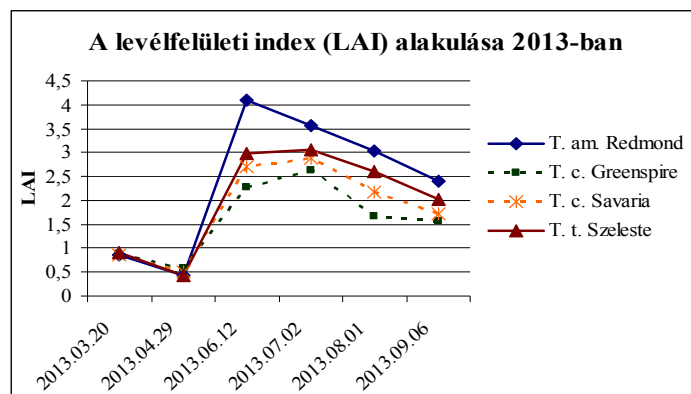
- fotoszintetikusan aktív besugárzás (PAR)
- a levélfelszínek hőmérséklete
- sztómakonduktancia
- nettó CO_2 megkötés.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A levélfelületi index mérésének eredményei

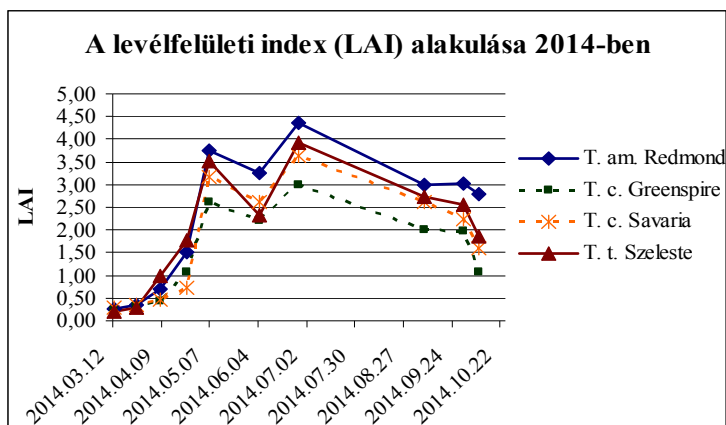
A levélfelületi index (Leaf Area Index; LAI) mérését az AccuPAR készülékkel végeztük. A mérés menetét a 3.2.1. fejezetben, a készülék működését a 3.3.1. fejezetben mutattam be.

A 2013. évben havi rendszerességgel végeztünk méréseket (13. ábra). Az első mérésünk során szokatlanul magas értékeket mértünk. Az azt követő két mérés közötti időszakban a LAI értékek ugrásszerű növekedése mutatja a lombzat fejlődését és az új hajtások növekedését. Ezután mind a négy fajta esetében a levélfelületi index folyamatos csökkenését tapasztaltuk.



13. ábra: A levélfelületi index mérésének eredményei 2013-ban

2014-ben a tavaszi kihajtás időszakában – a pontosabb nyomon követés érdekében – kéthetente végeztünk méréseket. Az értékek – előző évben is tapasztalt – növekedése után június elején minden fajta esetében kisebb mértékű csökkenést, majd június közepéig újra növekedést mértünk (14. ábra). A lombzat fejlődését július elejéig kísértük figyelemmel, a szeptemberi mérések esetében már látható a levélfelület csökkenése.



14. ábra: A levélfelületi index mérésének eredményei 2014-ben

2014-ben az előző évhez képest jóval magasabb értékeket mértünk, valamint ekkor a július eleje és szeptember eleje közötti időszakban mért csökkenés is jóval alacsonyabb volt. A két év eredményeit összehasonlítva jól látható ezen kívül az is, hogy a fák jóval hamarabb (nagyjából három héttel korábban) hajtottak ki. A legmagasabb értékeket mindkét év nyári és őszi időszakában a *Tilia americana* 'Redmond' esetében mértük, melyet a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' és a *Tilia cordata* 'Savaria' követtek. A legalacsonyabb értékeket ezen időszakokban mindkét évben a *Tilia cordata* 'Greenspire' esetében mértük. A 'Redmond' és a 'Greenspire' közötti különbség a LAI maximum idején 1,5-1,7-szeres.

4.2. A nettó CO₂ asszimiláció meghatározására irányuló LCi készülékkel végzett mérések eredményei

Az LCi készülékkel a 2013. és a 2014. évben három-három napon mértük a négy fajta 4-4 példányának nettó CO₂ asszimilációját jellemző paramétereket. A következő alfejezetekben ezeknek a méréseknek az eredményeit mutatom be. A mérés menetét, módszerét és az LCi készülék működését a 3.2.2. és a 3.3.2. fejezetekben írtam le részletesen.

Minden alfejezet elején ismertetem az aznapi hőmérsékleti értékeket illetve a mérés előtti egy hónapban hullott csapadék mennyiségét. Az egyes évek áprilisától októberéig terjedő időszakának meteorológiai adatsorait a 3.1.3. fejezetben mutattam be.

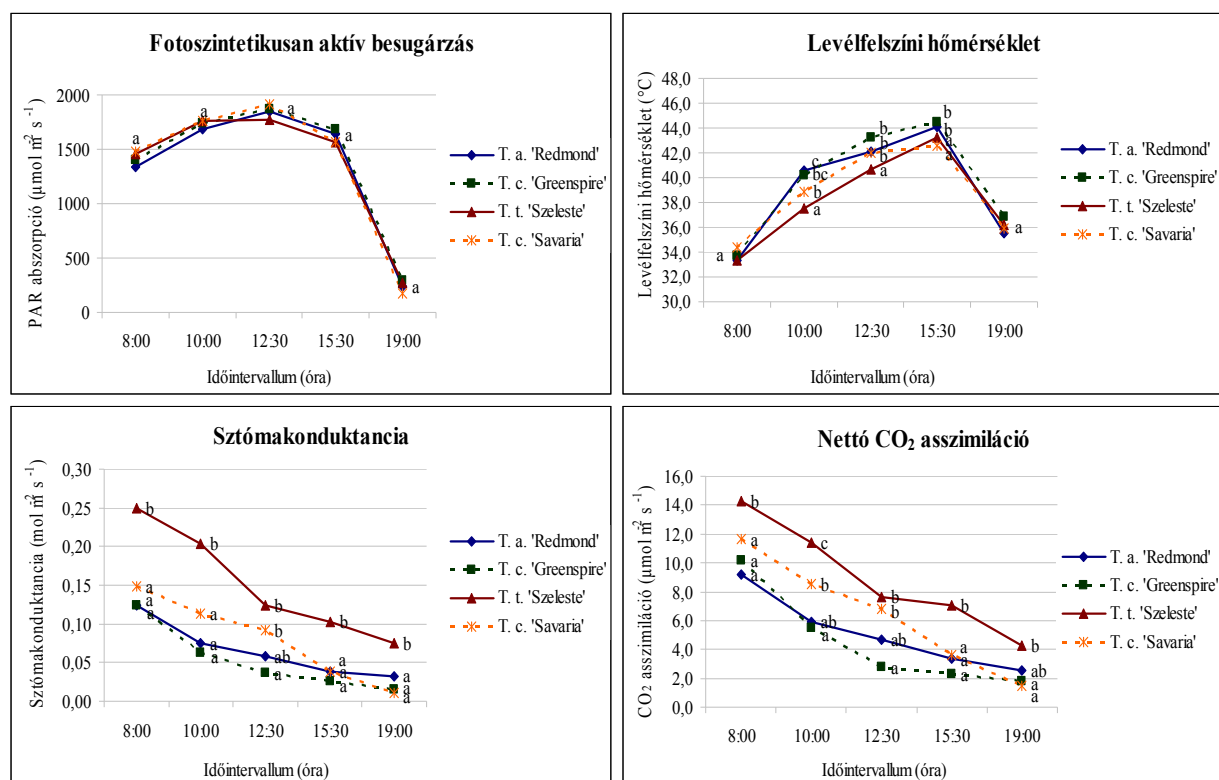
Az egyes paraméterek napi meneteinek leírásaihoz kapcsolódó grafikonok x tengelyén megjelölt időpontok a méréssorok idejének közepét jelölik. A napi menetek jellemzése után minden mérési napra vonatkozóan ismertetem az aznapi mérések ideje alatt az egyes fajták által megkötött összes szén-dioxid mennyiségét. A számítás menetének leírása a 3.2.5. fejezetben olvasható.

4.2.1. A 2013. június 20-i mérések eredményei

A 2013. év első mérési napján a területen a napi középhőmérséklet 26,4 °C, a napi maximum hőmérséklet 32,8 °C volt. Május 20. óta 16 mm csapadék hullott.

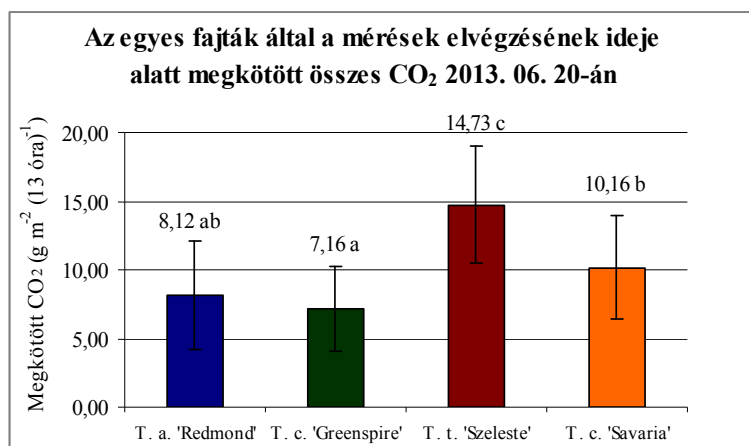
A mérések során a levelekre jutó fotoszintetikusan aktív sugárzás értékei egyik méréssor esetén sem mutattak szignifikáns különbséget (15. ábra). A levélfelületek hőmérséklete minden fajta esetében egészen a délután második feléig emelkedett, majd a besugárzás mérséklődésével jelentősen csökkent. A levelek felületének hőmérséklete a déli és a délutáni órákban a 40 °C-ot is meghaladták. A legalacsonyabb értékeket a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtánál, a legmagasabbakat a *Tilia cordata* 'Greenspire' és a *Tilia americana* 'Redmond' esetében mértük (16. ábra).

Mind a négy fajta esetében jól látható az idő előrehaladtával, a PAR expozíció és a levélfelszín hőmérsékletének növekedésével párhuzamosan a sztómák folyamatos záródása (17. ábra), ami a kora esti órákban – amikor a levélfelületek hőmérséklete jelentősen csökkent – jóval kisebb mértékű volt. A sztómák nyitottságát a szén-dioxid megkötésének mértéke is szabályosan követte (18. ábra). A *Tilia tomentosa* 'Szeleste' szinte az egész nap folyamán mindkét paraméter esetében szignifikánsan magasabb értéket mutatott, mint a másik három fajta. A *Tilia cordata* 'Savaria' esetében a sztómakonduktancia és a szén-dioxid asszimiláció mértéke a déli órákban hasonlóan magas volt. A legalacsonyabb értékeket mindkét esetben a *Tilia cordata* 'Greenspire' fajtánál tapasztaltuk.



15-18. ábra: A 2013. június 20-án LCi készülékkel végzett mérések eredményei

A mérések ideje alatt (13 óra) megkötött összes szén-dioxid mennyiségében is ugyanezeket a különbségeket tapasztaltuk (19. ábra). A legmagasabb halmozott nettó CO₂ asszimilációt a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtánál mértük egységnyi levélfelületre vetítve, melyet a *Tilia cordata* 'Savaria' követett. A legkevesebb szén-dioxidot a *Tilia cordata* 'Greenspire' egységnyi levélfelülete kötötte meg.



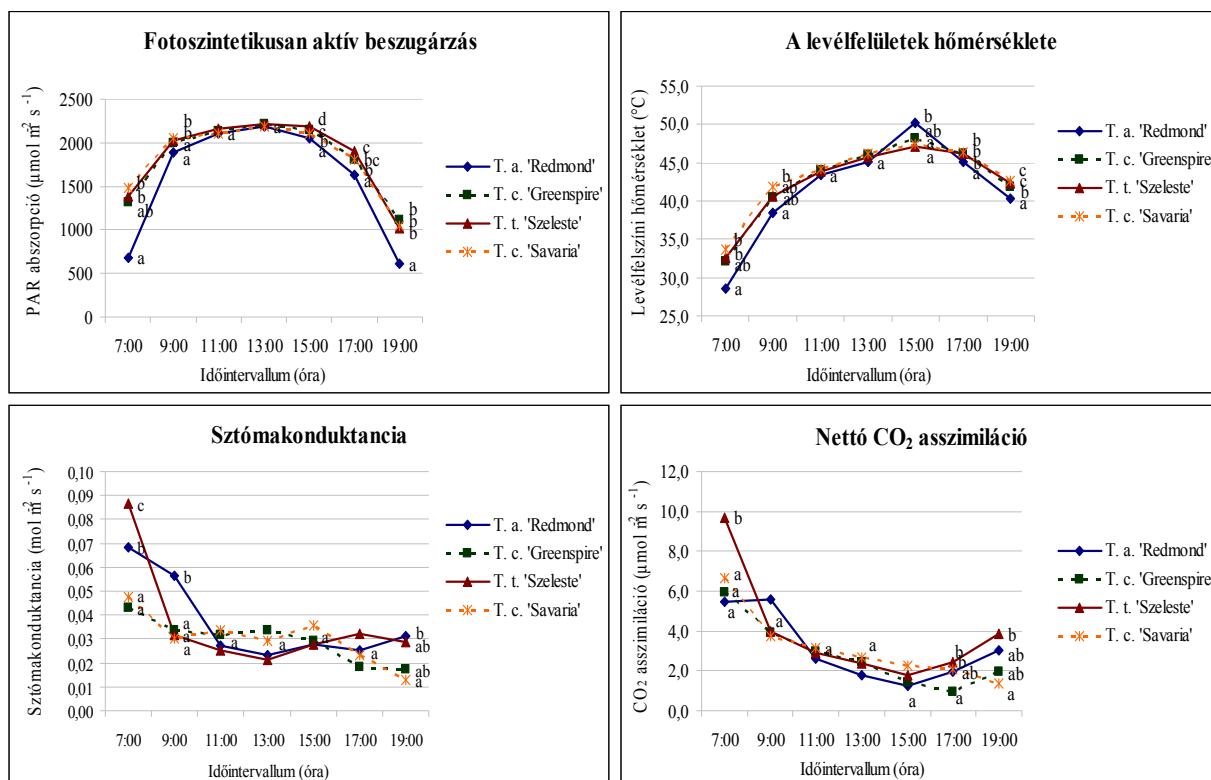
19. ábra: A 2013 júniusában végzett LCi mérés alatti nettó CO₂ asszimiláció összege

4.2.2. A 2013. augusztus 8-i mérések eredményei

Ugyanezen év augusztusában végzett méréseink napján a napi középhőmérséklet 25,8 °C, a napi maximum hőmérséklet 37,2 °C volt. Az előző 30 napban összesen 2 mm csapadék hullott.

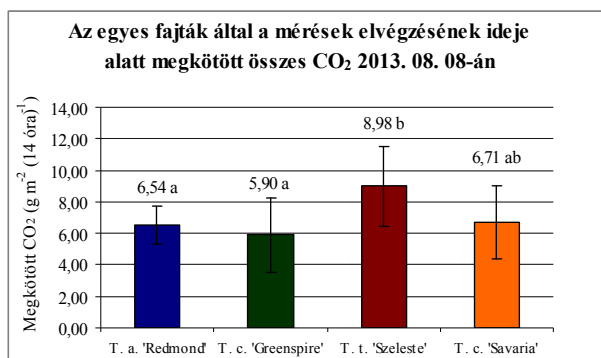
A levelekre a mérések során eső sugárzás az egyes fajták esetében statisztikailag kimutatható eltéréseket mutatott, ami a levélfelületek hőmérsékletének alakulásában is nyomon követhető (20-21. ábra). A legalacsonyabb értékeket mindkét esetben a *Tilia americana* 'Redmond' fajtánál mértük. A levélfelületi hőmérséklet – a júniusi mérésekhez hasonlóan – jól láthatóan követi a besugárzás változását, és a délelőtti óráktól egészen az esti órákig a 40 °C-ot, a nap legmelegebb időszakában pedig a 45 °C-ot is meghaladó levélfelületi hőmérsékleti értékeket is mértünk.

A sztómakonduktanciát és a szén-dioxid asszimilációt vizsgálva az egyes fajták között a júniusi mérésekhez hasonló, egész nap látható különbségeket már nem tapasztaltuk (22-23. ábra). A sztómakonduktancia esetében a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' csak a reggeli és a kora esti órákban mutatott a többi fajtánál szignifikánsan magasabb értékeket. A *Tilia americana* 'Redmond' esetében a sztómák nyitottságának tekintetében szintén magas értékeket tapasztaltunk a reggeli, kora délelőtti és az esti órákban, valamint a szén-dioxid megkötés mértékében a kora esti órákban. Ezen a napon a két paraméter mérési eredményeinek napi menetei sem követik egymást olyan szorosan, mint a júniusi mérési napon, jól látszik viszont, hogy a szén-dioxid asszimiláció mértéke az esti órákban (a levélfelületi hőmérséklet csökkenésével) a sztómakonduktancia növekedésénél is jelentősebb emelkedést mutat. A megkötött szén-dioxid mennyisége jelentősen alacsonyabb, mint a júniusi mérési napon.



20-23. ábra: A 2013. augusztus 8-án LCi készülékkel végzett mérések eredményei

A mérés ideje alatt megkötött összes szén-dioxid mennyisége (24. ábra) mind a négy fajta esetében jelentősen elmaradt a – majdnem ugyanilyen hosszúságú – júniusi nap eredményeiből számított értékektől: azoknak csupán a 60-80 %-át mértük.



24. ábra: A 2013 augusztusában végzett LCi mérés alatti nettó CO₂ asszimiláció összege

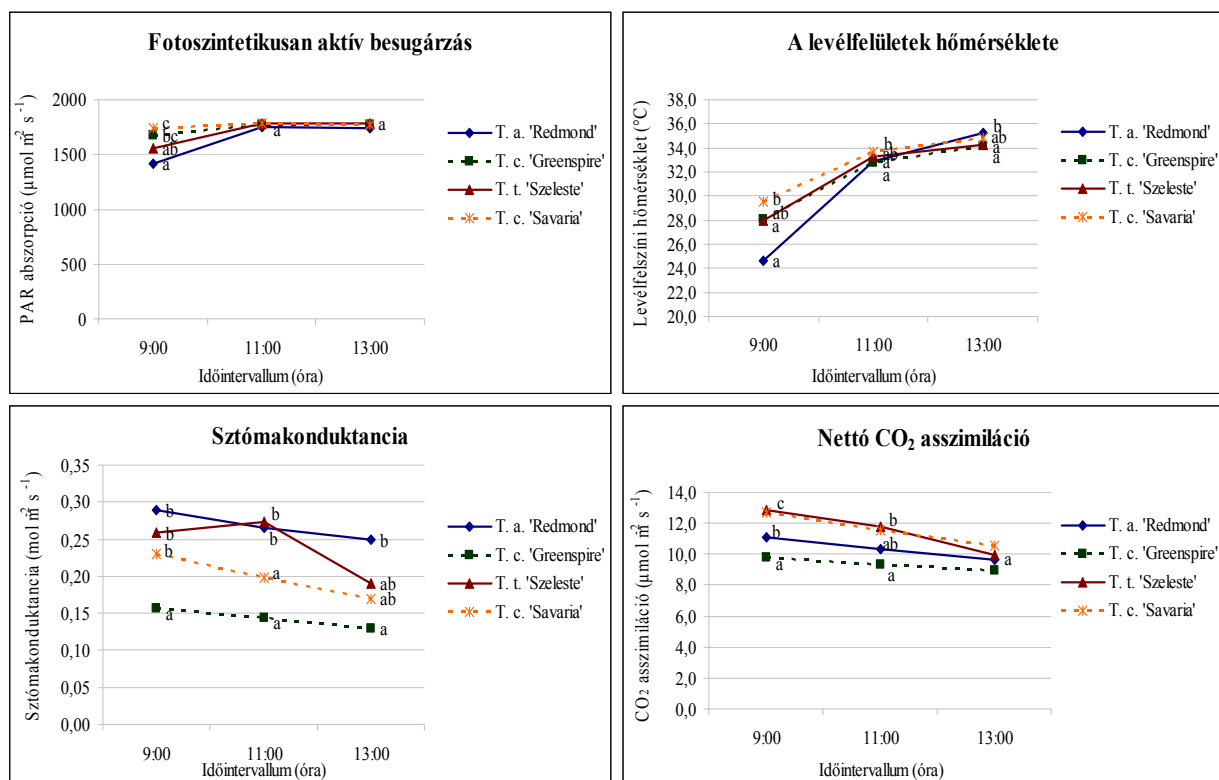
4.2.3. A 2013. szeptember 5-i mérések eredményei

A 2013 szeptemberében végzett mérés során műszerhiba miatt csak reggel nyolc és délután kettő óra között tudtunk méréseket végezni. Ezen a napon a napi középhőmérséklet 13,4 °C, a maximum hőmérséklet 24,7 °C volt, az előző 30 napban 59 mm csapadék hullott.

A fotoszintetikusan aktív besugárzás és a levélfelületi hőmérsékletek értékeinek alakulása a korábban leírtakhoz hasonló volt, de az értékek jóval alacsonyabbak, a PAR értékek nem haladták meg az 1800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ értéket (25. ábra), a levélfelületek hőmérséklete pedig

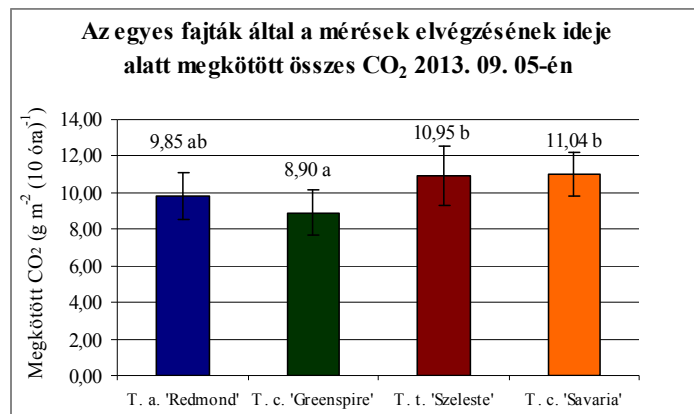
éppen elérték a 35 °C-ot. A mérések kezdetén mindkét paraméter esetében a *Tilia americana* 'Redmond' fajtánál mértük a legalacsonyabb értékeket, a déli órákra viszont ennek a fajtának a levélfelülete volt a legmelegebb (26. ábra).

A sztómakonduktancia és a szén-dioxid megkötés esetében a nap folyamán a csökkenés jóval kisebb mértékű volt, mint a korábbi mérési napok azonos időszakában. A fajták összehasonlításánál a júniusi mérési eredményekhez hasonló eredményeket kaptunk: legalacsonyabb értékeket mindkét esetben a *Tilia cordata* 'Greenspire' fajtánál mértük, a legtöbb szén-dioxidot a *Tilia cordata* 'Savaria' és a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' kötötték meg, de az említett nap eredményeivel ellentétben a két fajta asszimilációját tekintve szinte teljesen azonos értékeket mértünk, a sztómakonduktancia esetében viszont tapasztaltuk a májusban látottakhoz hasonló különbséget. Érdekes még említést tenni a *Tilia americana* 'Redmond' fajta magas sztómakonduktancia értékeiről is (27- 28. ábra).



25-28. ábra: A 2013. szeptember 5-én LCi készülékkel végzett mérések eredményei

A 8 és 14 óra között végzett mérések alatti összesített szén-dioxid asszimiláció értékei (29. ábra) jól tükrözik a napi menetek jellemzésénél leírtakat: a legmagasabb értékeket a *Tilia cordata* 'Savaria' és a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtáknál, a legalacsonyabbakat pedig a *Tilia cordata* 'Greenspire' esetében számítottuk. A *Tilia americana* 'Redmond' szén-dioxid asszimilációs értékei statisztikailag a két csoport között helyezkednek el.



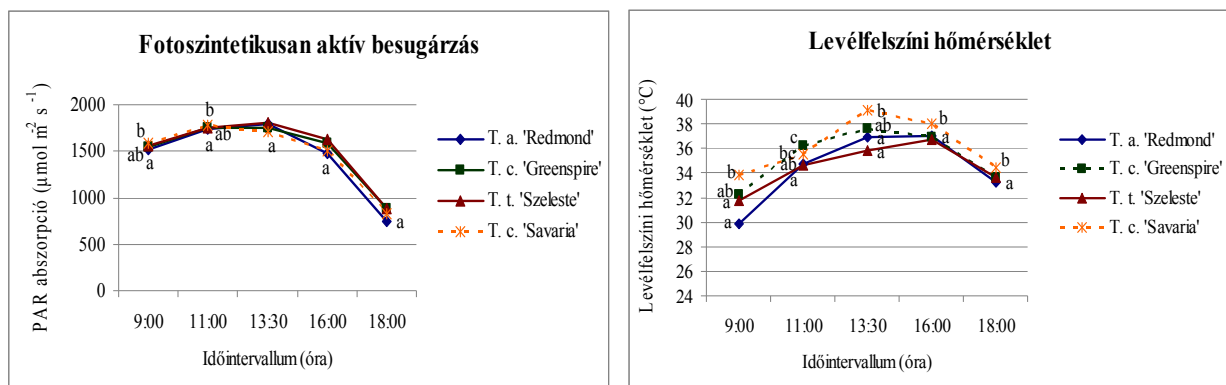
29. ábra: A 2013 szeptemberében végzett LCi mérés alatti nettó CO₂ asszimiláció összege

4.2.4. A 2014 májusában végzett mérések eredményei

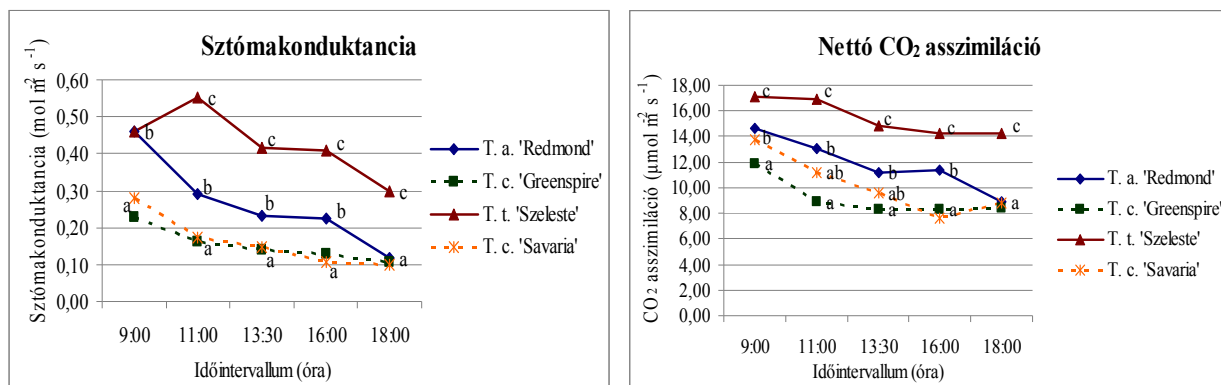
2014. május 22-én a napi középhőmérséklet 21,3 °C, a maximum hőmérséklet 29,2 °C volt. A mérést megelőző 31 nap alatt 134 mm csapadék hullott.

A fotoszintetikusan aktív sugárzás és a levélfelületi hőmérsékletek értékei (30-31. ábra) a 2013 júniusában végzett mérések eredményeihez hasonlóan alakultak, viszont a (szignifikánsan is) legmagasabb levélfelületi hőmérsékletet ezen a napon a *Tilia cordata* 'Savaria' fajta esetében mértük. A másik három fajtánál ezek az értékek 5-6 °C-kal voltak alacsonyabbak, mint az említett nap azonos időszakában.

A korábbi mérésekhez hasonlóan ezen a napon is megfigyelhető a sztómák folyamatos záródása és a szén-dioxid asszimiláció csökkenése, de mértéke messze elmarad a korábban tapasztaltaktól, és a mért értékek is jóval magasabbak azoknál, általában azok 1,5-2-szeresét is elérik. A legmagasabb sztómakonduktancia és szén-dioxid asszimilációs értékeket ezen a napon is a *Tilia tomentosa* 'Szeleste', a legalacsonyabbakat a *Tilia cordata* 'Greenspire' esetében mértük. Az előző évekhez képest a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtát – a két *Tilia cordata* fajtától szignifikánsan elkülönülve – a nap nagy részében (mindkét paramétert tekintve) a *Tilia americana* 'Redmond' követte (32-33. ábra).

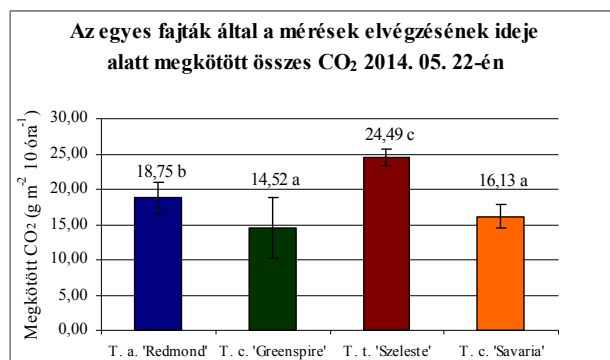


30-31. ábra: A 2014. május 22-én LCi készülékkel végzett mérések eredményei



32-33. ábra: A 2014. május 22-én LCi készülékkel végzett mérések eredményei

Az egyes mérésorok szén-dioxid megkötési értékeinek összegzése (34. ábra) jól alátámasztja a napi menetek jellemzésénél leírtakat. Az értékek összehasonlításakor – a fent leírt sorrendben – statisztikailag jól elkülönülnek a különböző fajok fajtái. A napi összegek – a 3 órával rövidebb mérési idő ellenére – a 2013 májusában végzett mérések esetében számított értékek 1,5-szeresét is meghaladták, 2013 augusztusában – 4 órával hosszabb idő alatt – mért értékek 2,5-szeresét (*Tilia cordata* fajták) illetve 3-szorosát (*Tilia americana* 'Redmond' és *Tilia tomentosa* 'Szeleste') is meghaladták.



34. ábra: A 2014 májusában végzett LCi mérés alatti nettó CO₂ asszimiláció összege

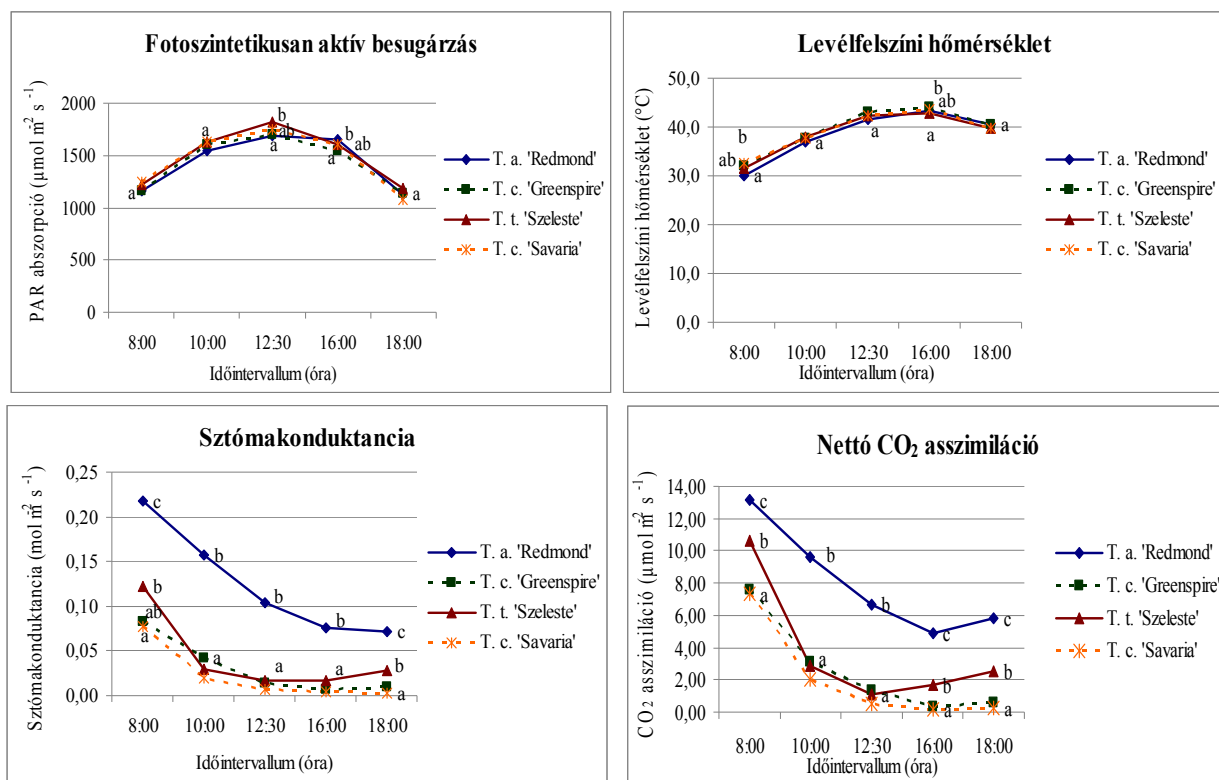
4.2.5. A 2014 júliusában végzett mérések eredményei

2014. július 7-én a napi középhőmérséklet 25,0 °C, a napi maximum hőmérséklet 34,4 °C volt. Az előző 30 nap alatt összesen 169 mm csapadék hullott.

A fotoszintetikusan aktív sugárzás és a levélfelületi hőmérsékletek (35-36. ábra) alakulásának tendenciái követik a korábbi napoknál leírtakat. Mindkét paraméter esetében az előző év júliusában mértékekkel hasonló értékeket tapasztaltunk.

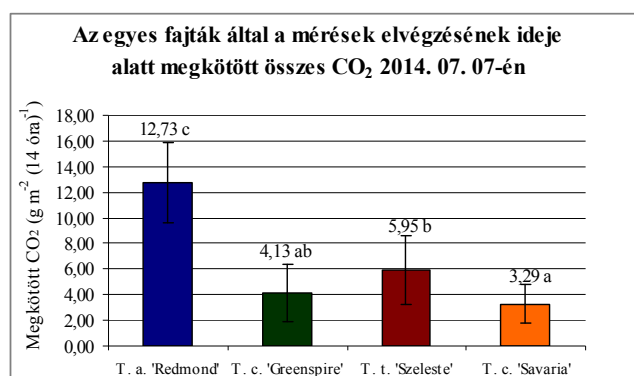
A sztómakonduktancia és a szén-dioxid megkötés menetében egyenletesen csökkenő tendenciát, majd az esti órákban – feltehetőleg a hőstressz csökkenésének köszönhetően – kis mértékű emelkedést láttunk (37-38. ábra), amit már szintén tapasztaltunk a korábbi méréseknél is. Mindkét paraméter tekintetében feltűnő változást mutatnak azonban a *Tilia americana*

'Redmond' – korábbiakhoz képest – mért kiemelkedően magas értékei, melyek az egész nap folyamán szignifikánsan magasabbak a másik három fajtánál. Az előző méréseknél – szinte minden esetben – a legmagasabb értékeket mutató *Tilia tomentosa* 'Szeleste' esetében mért eredmények csak a reggeli és a kora esti órákban különböznek el a két *Tilia cordata* fajtától, melyeken ezen a napon mindkét paramétert tekintve a legalacsonyabb értékeket mértük.



35-38. ábra: A 2014. július 7-én LCi készülékkel végzett mérések eredményei

A *Tilia americana* 'Redmond' magas asszimilációs teljesítménye a nap során mért adatok összesítésében látható igazán: a megkötött szén-dioxid mennyisége a másik három fajta 2-3-szorosát is eléri illetve meghaladja (39. ábra). A másik három fajta közül a legmagasabb értékeket a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' esetében számítottuk. A legalacsonyabb értékeket – a korábbiaktól eltérően – a *Tilia cordata* 'Savaria' eredményeiből kaptuk.



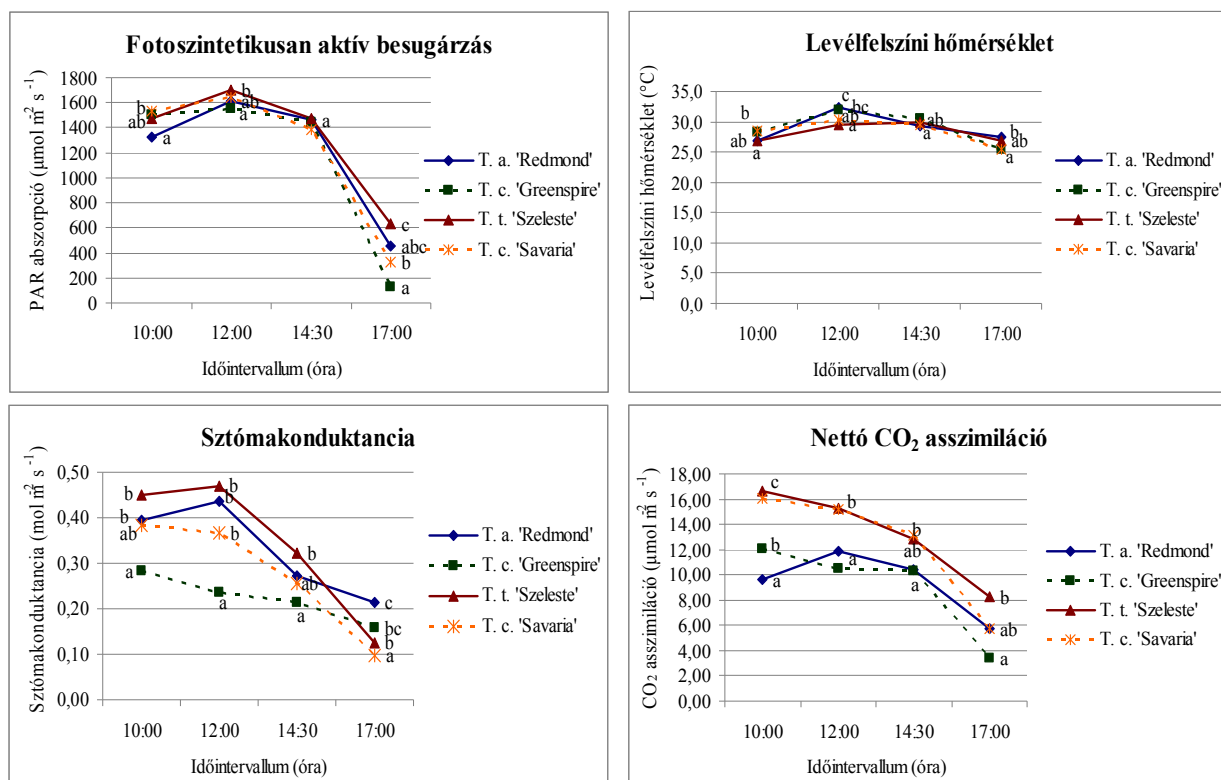
39. ábra: A 2014 júliusában végzett LCi mérés alatti nettó CO₂ asszimiláció összege

4.2.6. A 2014. szeptemberében végzett mérések eredményei

2014. szeptember 18-án a napi középhőmérséklet 15,4 °C, a napi maximumhőmérséklet 22,6 °C volt. Az ezt megelőző 31 napban 228 mm csapadék hullott. Ezen a napon a levélfelületek hőmérséklete az egész mérési időszak alatt 25-35 °C között alakult, a fotoszintetikusan aktív besugárzás tekintetében a korábbi napokhoz képest nem tapasztaltunk eltérést (40-41. ábra).

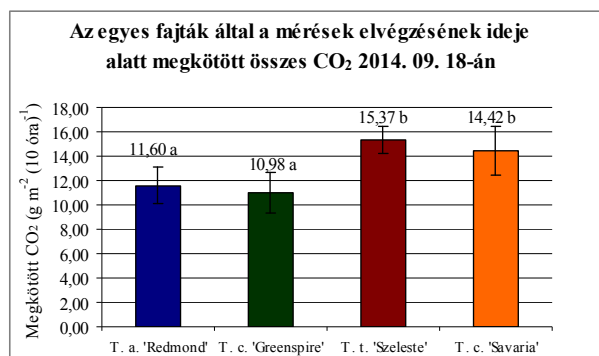
A sztómakonduktancia esetében (42. ábra) a legmagasabb értékeket a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' és a *Tilia americana* 'Redmond' fajtáknál mértük szinte a teljes nap folyamán, és ehhez a két fajtához hasonlóan magas értékeket mértünk a *Tilia cordata* 'Savaria' esetében is. A legalacsonyabb értékeket a *Tilia cordata* 'Greenspire' fajtánál tapasztaltuk. A késő délutáni órákban a *Tilia cordata* 'Savaria' és a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' sztómakonduktancia értékei voltak a legalacsonyabbak.

A szén-dioxid megkötés értékeinek napi menetei követték a sztómakonduktancia menetét, de az egyes fajták által megkötött mennyiség alapján felállított sorrend nem azonos a sztómakonduktanciánál leírtakkal (43. ábra): a legtöbb szén-dioxidot a *Tilia cordata* 'Savaria' és a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' kötötték meg. Ennél szignifikánsan alacsonyabb értékeket mérünk a *Tilia cordata* 'Greenspire' és a – viszonylag magas sztómakonduktancia értékeket produkáló – *Tilia americana* 'Redmond' fajtáknál.



40-43. ábra: A 2014. szeptember 18-án LCi készülékkel végzett mérések eredményei

Az ezen a napon mért értékek statisztikai értékelése során az előző év szeptemberében kapott eredményekhez hasonlóan a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' és a *Tilia cordata* 'Savaria' mutatták a legmagasabb szén-dioxid megkötési értékeket (44. ábra). A *Tilia americana* 'Redmond' és a *Tilia cordata* 'Greenspire' értékei ezeknél szignifikánsan alacsonyabbak voltak.

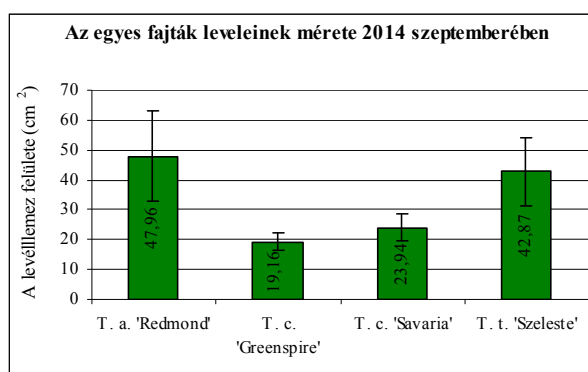
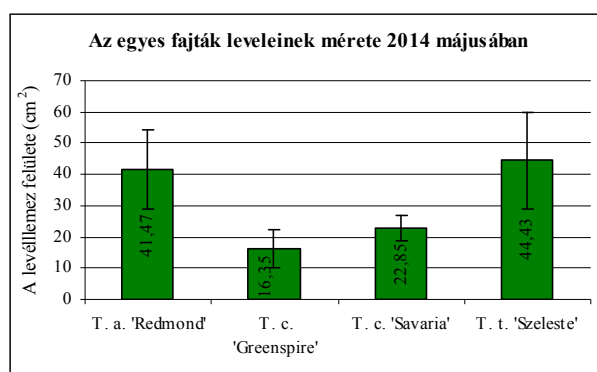


44. ábra: A 2014 júliusában végzett LCi mérés alatti nettó CO₂ asszimiláció összege

4.3. Az egyes levelek felületének mérése

A 2014 májusában és szeptemberében végzett LCi mérések napjain szedett minták méretét a Bioscientific Ltd által gyártott levélszkennerral mértük. A mintaszedés menetét és szkennert a 3.2.3. fejezetben mutattam be. Mivel a levélméret a fajokat, fajtákat jellemző alapvetően eltérő tulajdonság, így statisztikai értékelést ezen mérési eredményekből nem készítettünk, a kapott értékeket más számításokhoz, ebben a dolgozatban a levelek egységnyi felületre vonatkoztatott klorofill tartalmának meghatározásához használtuk fel (4.4.3. fejezet).

Az azonos fajták különböző időpontban szedett leveleinek mérési eredményei – a megfelelően magas mintaszámnak köszönhetően – nem mutatnak jelentős eltérést, és mindkét esetben látszanak az egyes – alapfajokra is jellemző tulajdonságok (45-46. ábra). Így a legnagyobb levéllemezfelületi értékeket a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' és a *Tilia americana* 'Redmond' fajtáknál mértük (40-50 cm²). A *Tilia cordata* fajták levéllemeze ezeknél természetesen jóval kisebb volt (15-25 cm²).



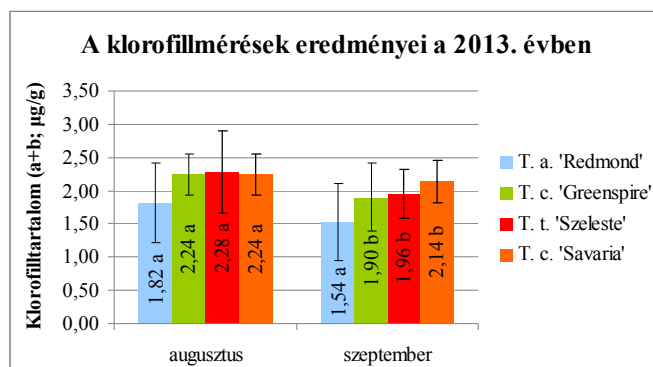
45-46. ábra: Az egyes fajták leveleinek méretei 2014 májusában és szeptemberében

4.4. A klorofill tartalom méréseinek eredményei

A klorofill tartalom meghatározásához mintáinkat minden esetben az LCi készülékkel végzett méréseinkkel azonos napon, az említett méréshez felhasznált példányokról szedtük. A minták szedésének, kezelésének és feldolgozásának módját a 3.2.4. fejezetben ismertettem.

4.4.1. A 2013-ban szedett minták egységnyi tömegre vonatkoztatott klorofill tartalma

A 2013 augusztusában szedett minták esetében az egyes fajták leveleinek klorofill tartalma között nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget, szeptemberben azonban a *Tilia americana* 'Redmond' leveleinek klorofill tartalma szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a másik három fajtáé (47. ábra). A klorofill tartalom szeptemberre – az őszi lombhullás közeledtével – mind a négy fajta esetében jól láthatóan csökkent.



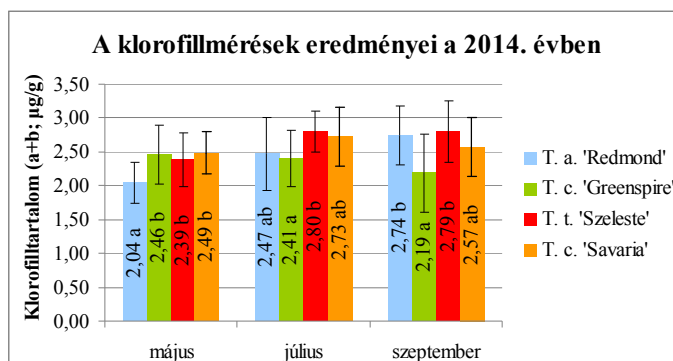
47. ábra: A levelek klorofill tartalmának alakulása a 2013. évben

4.4.2. A 2014-ben szedett minták egységnyi tömegre vonatkoztatott klorofill tartalma

A 2014. év májusában szedett minták esetében a *Tilia americana* 'Redmond' leveleinek klorofill tartalma szignifikánsan alacsonyabb volt a másik három fajtáénál, a júliusi mintákon mért eredményekben azonban már nem találtunk ilyen jelentős eltéréseket, a levelek klorofill tartalmának növekedése viszont jól látható (48. ábra). A legmagasabb értékeket ekkor a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' esetében kaptuk, melyet a *Tilia americana* 'Redmond' és a *Tilia cordata* 'Savaria' fajták követtek. A legalacsonyabb értékeket a *Tilia cordata* 'Greenspire' leveleiben mértük. A fajták közötti összehasonlítás során hasonló eredményeket kaptunk a szeptemberben szedett minták vizsgálata esetén is, azonban a *Tilia americana* 'Redmond' leveleinek klorofill tartalma ekkor ugyanolyan magas volt, mint a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtáénak.

A levelek klorofill tartalmában a *Tilia cordata* 'Greenspire' fajtánál májustól folyamatos csökkenést, a *Tilia cordata* 'Savaria' esetében júliusig növekedést, szeptemberben pedig már

csökkenést tapasztaltunk. A másik két fajta leveleiben a klorofill mennyisége júliusra szintén növekedett, és az őszi lombullás közeledtével sem csökkent szeptemberben. A *Tilia americana* 'Redmond' esetében a júliustól szeptemberig terjedő időszakban is nőtt.

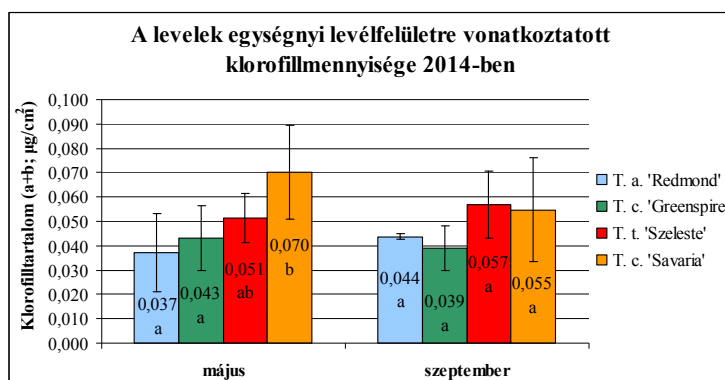


48. ábra: A levelek klorofill tartalmának alakulása a 2014. évben

4.4.3. A levelek egységnyi felületre számított klorofill tartalma

Az egyes levelek levélszkennerrel mért felületének és nyers tömegének méréséből, valamint az egységnyi levéltömegre vonatkoztatott klorofill tartalom értékekből kiszámítottuk a levelek egységnyi felületre (cm^2) vonatkozó klorofill tartalmát (49. ábra).

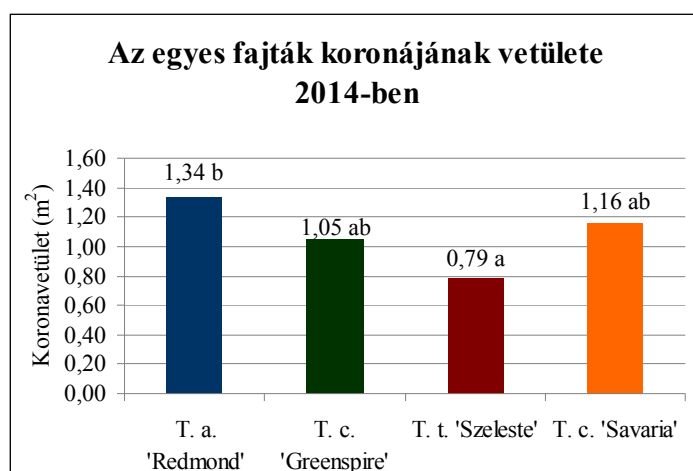
Az éves tendenciák – a számítás módjából adódóan – a fent leírtak szerint alakultak. A májusban szedett minták esetében a *Tilia cordata* 'Savaria' levelei mutattak jelentősen magas értékeket, a többi fajta esetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget. A szeptemberi eredmények értékelésekor – a mért értékek magas szórása miatt – nem találtunk szignifikáns különbséget az egyes fajták között, az egyes fajták értékeinek átlaga viszont az egységnyi tömegre vonatkoztatott értékekkel megegyezően követik egymást. Az összehasonlításban az előzőektől eltérő eredmények oka a levéllemezek vastagságának különbözősége és a levelek eltérő víztartalma lehet.



49. ábra: A levelek egységnyi felületére vonatkoztatott klorofill tartalom 2014-ben

4.5. Egy-egy példány szén-dioxid megkötő képességére vonatkozó számítások

A 2014-ben végzett mérések alapján számított egész napos szén-dioxid megkötés értékeiből, valamint a fák teljes levélfelületének kiszámításából meghatároztuk azt, hogy ezen körülmények között a fajták egy-egy példánya az adott mérési napon – fénylevelekkel számolva – összesen mennyi szén-dioxidot kötött meg. A levélfelületet a korona vetületéből (50. ábra) és a levélfelületi index (LAI) adott hónapban mért értékéből (1. táblázat) számítottuk. Az egyes fajták koronavetülete jelentős eltéréseket mutat, a LAI értékei között viszont egyik hónapban sem találtunk szignifikáns különbséget. A számítás menetét részletesen a 3.2.5. fejezetben ismertettük.

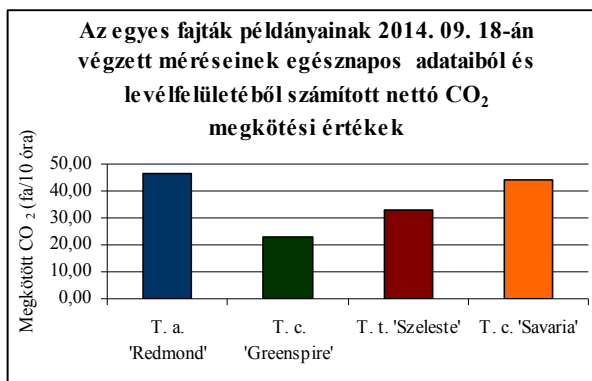
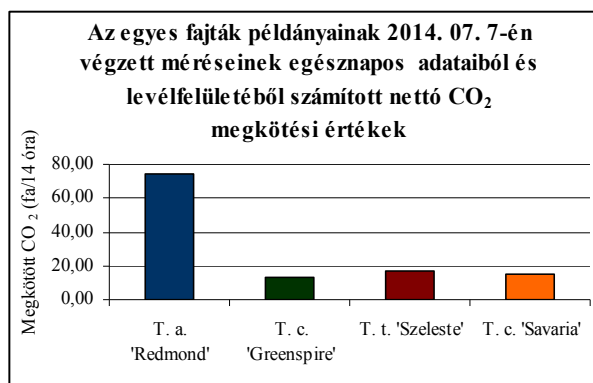
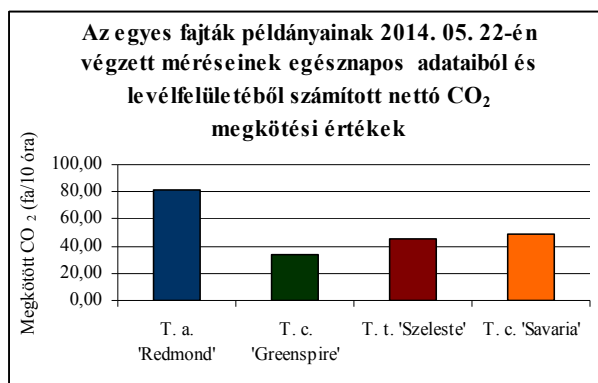


50. ábra: Az egyes fajták koronavetülete 2014-ben

1. táblázat: Az egyes fajták levélfelületi index értékei a szén-dioxid asszimiláció mérésének hónapjaiban

Fajta	LAI		
	Május	Július	Szeptember
<i>T. a.</i> 'Redmond'	3,27	4,36	3,00
<i>T. c.</i> 'Greenspire'	2,21	3,44	1,79
<i>T. t.</i> 'Szeleste'	2,34	3,91	2,73
<i>T. c.</i> 'Savaria'	2,62	3,62	2,62

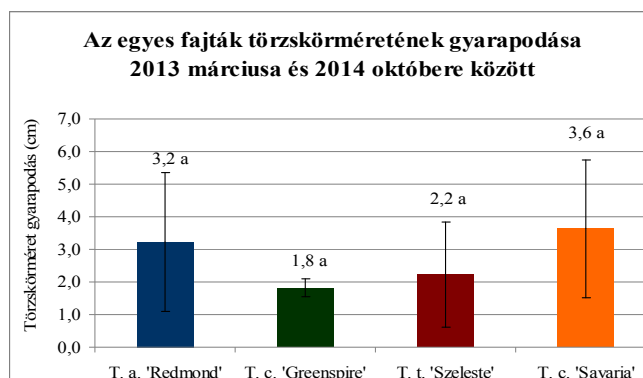
Az említett adatokból a végzett számítások szerint a legtöbb szén-dioxidot az adott mérési körülmények között a *Tilia americana* 'Redmond' példányai kötötték meg. A *Tilia cordata* 'Savaria' példányok esetében a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtáéhoz hasonló, illetve annál valamivel magasabb értékeket kaptunk. A legkisebb értékek a *Tilia cordata* 'Greenspire' paramétereivel számolva adódtak. Az így kapott eredmények inkább szemléltető jellegű adatok, melyek nagyságrendi képet adhatnak egy hasonló korú fa környezeti hasznáról (51-53. ábra).



51 -53. ábra: A 2014. év mérési napjainak adataiból egy példányra számított CO₂ megkötés értéke

4.6. Az egyes fajták törzskörméretének gyarapodása

A fajták törzskörméretének gyarapodását 2013 áprilisa és 2014 októbere között vizsgáltuk. A mért eredmények értékelése során –a magas szórás értékek miatt – az egyes fajták törzskörméretének gyarapodása között szignifikáns különbséget nem találtunk (54. ábra). A gyarapodási értékek átlagát tekintve viszont elmondhatjuk, hogy a *Tilia cordata* 'Savaria' és a *Tilia americana* 'Redmond' törzskörmérete nagyobb növekedést mutatott, mint a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' *Tilia cordata* 'Greenspire' fajták esetében.



54. ábra: Az egyes fajták törzskörméretének gyarapodása a 2013. és a 2014. évi vegetációs időszakokban

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Mivel méréseink csupán két vegetációs időszakon keresztül folytak, így eredményeinkből messzemenő következtetéseket még nem vonhatunk le. Néhány összefüggést azonban jelen adatsorok alapján is megállapíthatunk.

A levélfelületi index 2013. évi első mérése során tapasztalt magas értékek valószínűleg abból adódtak, hogy ilyenkor csupán a fás elemek árnyékoló hatása jelentkezik, aminek mértékét a műszer elhelyezése nagymértékben befolyásolja. A lombozat kifejlődését és a hajtások növekedését mutató növekedés utáni – mind a négy fajta esetében tapasztalt – csökkenés valószínűleg az azon a nyáron jellemző magas hőmérséklet és csapadékszegény időszak következménye volt. A 2014 júniusában mért kismértékű csökkenés az elvirágzás utáni állapotot mutatja. A 2014 nyarán a nagyobb mennyiségű csapadéknak köszönhetően az előző évhez képest magasabb levélfelületi index értékeket és kisebb mértékű csökkenést mértünk. A tavaszi időszakban a fajták közötti eltéréseket mindkét évben a kihajtás különböző időpontja okozta. A teljes levélfelület kifejlődése utáni különbségek a fajtákra jellemző levélméretet is tükrözhetik.

Az LCI készülékkel végzett méréseket bemutató grafikonokon jól látszik, hogy a sztómakonduktancia és a nettó CO₂ asszimiláció értékei a reggeli óráktól minden mérési napon csökkentek. Ez a tendencia általában csak a késő délutáni, esti órákban mérséklődött, illetve bizonyos esetekben növekedést is tapasztaltunk, ami valószínűleg a hőstressz csökkenésének köszönhető. A két paraméter értékeit szemléltető görbék lefutása szinte minden esetben ugyanazt a tendenciát követi, a fajtákat összehasonlítva a sztómakonduktancia és a CO₂ megkötés értékeinek nagysága szerint viszont nem minden esetben ugyanaz a sorrend állítható fel. Emellett azokon az estéken, melyeken a fotoszintetikusan aktív besugárzás értéke megfelelően magas volt, az asszimiláció a sztómakonduktancia növekedésénél általában lényegesen jelentősebb volt, vagy kisebb mértékben követte annak csökkenését. Ugyanezt a folyamatot az aszályos 2013. év augusztusában mért eredmények értékelésekor fordítva is tapasztaltuk: a délutáni hőségben a sztómakonduktancia kismértékű emelkedését a CO₂ asszimiláció értékei nem követték.

A tapasztaltak egybevágóan az irodalmakban fellelt összefüggésekkel, melyek szerint a sztómakonduktancia a szén-dioxid asszimilációt nagymértékben befolyásolja, de a sztómakonduktancia változása nem minden esetben járt együtt a szén-dioxid asszimiláció változásával (Forrai et al., 2012 a; Gyevisi et al., 2012). A fotoszintetikusan aktív besugárzás változásának a fotoszintézis teljesítményére gyakorolt erős befolyásoló hatását (Prado és De

Moraes, 1997; Kazda et al., 2000) mindkét paraméter tekintetében csak akkor tapasztaltuk, ha a levélfelületek hőmérséklete nem volt túlzottan magas.

A mérések ideje alatt egységnyi levélfelületre vetítve a 2014 júliusában végzett mérések kivételével a szignifikánsan is legmagasabb szén-dioxid megkötést a *Tilia tomentosa* 'Szeleste', a legkisebbet a *Tilia cordata* 'Greenspire' esetében mértük. A 'Szeleste' asszimilációs teljesítményét (a 2014. május 5-i eredményeket kivéve) a *Tilia crodata* 'Savaria' követte, néhány napon ugyanolyan magas értékeket produkálva. A 2014. július 7-én végzett mérések eredményei igen nagy mértékben eltértek a többi öt napon tapasztaltaktól. Ezen a napon a *Tilia americana* 'Redmond' kiemelkedően magas (a másik három fajtánál 2-3,5-szer magasabb) szén-dioxid mennyiséget kötött meg, valamint ugyanennél a fajtánál a korábbiakhoz képest – főként a két *Tilia cordata* fajtához képest – szintén jelentősen magas asszimilációs értékeket mértünk tavasszal is. Az aszályos 2013-as évben tehát a kedvezőtlen adottságokhoz jól alkalmazkodó *Tilia tomentosa* 'Szeleste' és a *Tilia cordata* 'Savaria' szén-dioxid megkötési értékei voltak a legmagasabbak, míg a kimondottan csapadékos 2014-es évben a kifejezetten üde, párás levegőjű termőhelyet kedvelő *Tilia americana* 'Redmond' asszimilációja is igen magas értékeket ért el (Coombers 2000; Tóth, 2012). A leírtakhoz hasonló tendenciákat tapasztaltunk a sztómakonduktancia értékeinek alakulásánál is. Tóth et al. (2014) –a szintén aszályos – 2011. év augusztusában végzett mérései során ezzel szemben a *Tilia americana* fajtánál a legnagyobb sztómakonduktancia és magas szén-dioxid megkötési értékeket, a két *Tilia cordata* fajta esetében alacsony sztómakonduktanciát és szén-dioxid asszimilációt tapasztaltak. A *Tilia tomentosa* fajták esetében alacsony sztómakonduktancia és – vizsgálatainkhoz hasonlóan – viszonylag magas szén-dioxid megkötési értékeket mértek.

A levelek friss tömegére vonatkoztatott klorofill tartalmának vizsgálatakor a 2014. évben májustól júliusig növekvő, a lombhullás közeledtével pedig – a *Tilia americana* 'Redmond' és a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajtákat kivéve – mindkét év őszen alacsonyabb értékeket mértünk. Az előbbi fajta esetében ezt a jelenséget az egységnyi felületre vonatkoztatott klorofill tartalom esetében nem tapasztaltuk. A két fajta esetében a csökkenés elmaradásának oka a korábbi években tapasztalt (Tóth et al., 2014 b), a két *Tilia cordata* fajtához képest késői lombhullás is lehet.

A 2013 szeptemberében szedett minták esetében a *Tilia americana* 'Redmond' esetében tapasztalt szignifikánsan alacsony klorofill tartalom értékek magyarázatot adhatnak az aznap mért magas sztómakonduktancia értékekhez képest alacsony CO₂ megkötési értékekre. Ehhez hasonló, de nem ilyen jól kimutatható jelenség látható ugyanezen év augusztusában is. A 2014 májusában mért, egységnyi levélfelületre vonatkoztatott klorofill mennyiségeknek a 'Redmond'

fajtánál mért alacsony értéke ugyanezt a jelenséget, a *Tilia cordata* 'Savaria' esetében a magas klorofill tartalom ennek a fordítottját magyarázza.

Az egyes fajok példányaira kalkulált értékeknek a napi összes szén-dioxid megkötések eredményeitől való eltérései a fák igen különböző koronaméreteiből adódik, amit ebben az esetben a LAI és a koronavetület értékeiből tudunk számszerűen nyomon követni. Bár az előző fejezetben is hangsúlyoztuk, hogy a számítások eredményei inkább nagyságrendeket hivatottak szemléltetni, minthogy pontos adatnak tekinthessük őket, a törzskörméret gyarapodásának eredményei igazolják a fajták közti különbségek így számított értékeit, hiszen a törzskörméret gyarapodásában a fa egésze által megkötött szén-dioxidnak szerepe van.

Az itt felsorolt összefüggések alapján elmondhatjuk, hogy magas hőmérséklet és csapadékszegény környezet esetén a levélfelületre számított értékek alapján a legnagyobb szén-dioxid megkötő képességgel a *Tilia tomentosa* 'Szeleste' fajta rendelkezik. Csapadékos időjárás esetén a *Tilia americana* 'Redmond' fajtánál mértünk hasonló, illetve az említett fajtánál jóval magasabb értékeket. A legalacsonyabb értékeket mindkét esetben a *Tilia cordata* 'Greenspire' fajta esetében mértük, ami az irodalmakban szárazságtűrő képességére és környezeti igényeire vonatkozóan leírtakkal összevetve ellentmondásos.

Állításaink csak két év adatsorain alapulnak, így teljesen határozott ajánlást nem adhatunk a fajták összehasonlítását illetően, de a mérések eredményei alapján az alkalmazási környezethez képest sikerült összehasonlítani a fajták környezeti szempontból kiemelkedően fontos szén-dioxid megkötő képességét. A leírtak alapján úgy gondoljuk, hogy a fent leírtak támpontot adhatnak a megfelelő fajta kiválasztásához, és így a fák egyik legértékesebb környezeti szolgáltatása, a szén-dioxid megkötése jól kihasználható.

A fajták összehasonlításának pontosításához további mérések elvégzése szükséges. Ezen kívül komplexebb fajtaértékelést adhatunk az itt terjedelmi okokból nem közölt fenológiai megfigyelések és vízforgalomra irányuló vizsgálatok eredményeinek felhasználásával.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a környezetterhelés és az ezzel együtt járó időjárás-változás kutatása egyre aktuálisabbá válik és egyre nagyobb hangsúlyt kap. A Budapesti Corvinus Egyetem Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszékének, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszékének és az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Meteorológia Tanszékének együttműködésével folyó OTKA 104867 és 1048852 számú projektek célja a meteorológiai, növényélettani és a légkör szennyezettségére irányuló mérések elvégzésével a városi környezet jelen állapotának, a paraméterek tér- és időbeli változékonyságának és az itt található növényzet és a légkör komplex rendszerének leírása. A projekt részeként a csapadékszegény, homokos talajú Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság területén 2010 decemberében telepített, tizenhárom fajtát számláló kísérleti hársfasor összehasonlító vizsgálatait végeztük. A vizsgálatok keretében folytatott fenológiai megfigyelések, a növekedésre, a levélfelületi index alakulására és több fajta esetében a szén-dioxid megkötő képességre, a levelek klorofill tartalmára, valamint a fák vízforgalmának megismerésére irányuló mérések célja, hogy adatainkkal és a tapasztalt összefüggésekkel hozzájáruljunk a fajták klímátűrésére irányuló vizsgálatok eredményeihez, megtaláljuk a hazai klíma adottságaihoz legjobban alkalmazkodott fajtákat.

Jelen dolgozatban terjedelmi okokból a felsorolt mérések közül csak levélfelületi index mérésére, a fajták szén-dioxid megkötő képességére, a levelek klorofill tartalmára vonatkozó vizsgálatok eredményeit közöljük. Célunk a fajták szén-dioxid megkötés – mint a környezeti hasznosság szempontjából az egyik legfontosabb tulajdonság – alapján történő összehasonlítása.

Az irodalmi források alapján bemutattuk a városi környezet sajátos viszonyait, a vizsgált taxonok környezeti igényeit a fotoszintézis működésének alapjait és a működését befolyásoló tényezők hatásait. Ezen kívül röviden ismertettük az eddig a kísérleti hársfasoron végzett kutatások publikált eredményeit.

A méréseink eredményei alapján tapasztalt, a sztómakonduktancia és a fotoszintetikusan aktív besugárzás hatásainak a szén-dioxid asszimilációra kifejtett hatásai megegyeztek a korábbi kutatások alapján megállapított összefüggésekkel. Ezen kívül jól kimutathatóan jelentkeztek az aktuális időjárási viszonyok és a levélfelületek hőmérsékletének hatásai is, illetve a levelek egységnyi friss tömegére és egységnyi felületére számított klorofill tartalom mennyiségének befolyásoló hatását is felfedeztük.

Az aszályos 2013. évben az egységnyi levélfelületre vetített legnagyobb CO₂ asszimilációt a *Tilia tomentosa* 'Szeleste', a csapadékos 2014. évben a *Tilia americana*

'Redmond' esetében tapasztaltuk. A legalacsonyabb értékeket mindkét évben a *Tilia cordata* 'Greenspire' esetében mértük.

Méréseink alapján számszerű adatokat találtunk a különböző környezeti igényű taxonok szén-dioxid megkötő képességeinek összehasonlításához. Ezek pontosításához további mérések elvégzése szükséges. Ezen kívül komplexebb fajtaértékelést adhatunk az itt terjedelmi okokból nem közölt fenológiai megfigyelések és vízforgalomra irányuló vizsgálatok eredményeinek felhasználásával.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik TDK dolgozatom elkészítésében segítségemre voltak. Mindenekelőtt konzulenseimnek: Steiner Márknak a mérések elvégzésében nyújtott segítségéért, a mérések irányításáért és naprakész szakmai tanácsaiért, Sütöriné dr. Diószegi Magdolnának, a megfigyelésekhez és a kísérlet előzményeinek megismeréséhez és folytatásához szükséges útmutatásáért, valamint Dr. Hrotkó Károlynak a kísérlet irányításáért. Ezen kívül mindhármyuknak köszönettel tartozom a kutatás során tanúsított segítőkészségükért és a dolgozat elkészítésében nyújtott segítségükért.

Köszönöm továbbá mindenkinek, akik támogattak, bátorítottak és végig mellettem álltak.

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. ALVEY A. 2006. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. In: Urban Forestry & Urban Greening 2006. 5. szám 195-201
2. ARNON, D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiology. 24. 1.
3. BACSÓ R. 2009. A szárazságtűrés élettani hátterének vizsgálata *Arabidopsis* modellnövényen és transzgenikus szárazságtűrő növények előállítása. Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar Növényélettan és Növényi Biokémiai Tanszék. Doktori Értekezés. pp 30-34.
4. BECK, C. B. 2010. An Introduction to Plant Structure and Development. Plant Anatomy for the Twenty-First Century. Cambridge. Cambridge University Press. pp 325-331.
5. BIOSCIENTIFIC LTD. 2004. LCi manual.
6. BOROSS L. 1993. Az anyagcsere-folyamatok alapjai. In: BOROSS L., SAJGÓ M. 1993. A biokémia alapjai. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 179-298.: 210-220.
7. CHMIELEWSKI, W., DMUCHOWSK, W., SUPLAT, S. 1998. Impact of urban Environmental pollution on Growth, Leaf Demaga, and Chemical Constituents of Warsaw Urban Trees. USDA Forest Service Gen.Tech.Rep.PSW-GTR 166.
8. COOMBES, A. J. 2000. Fák. Budapest. Panem Kft. pp 302-305
9. CZÓBEL SZ., NAGY J., SZERDAHELYI T., SZIRMAI O. 2007. A zárwatermők törzsének részletes rendszere. in TUBA Z., SZERDAHELYI T., ENGLONGER A., NAGY J. Botanika. pp 399-524.: p 485
10. CSEH E. 1998. Vízforgalom. In: LÁNG F. (szerk.) 1998. Növényélettan. Budapest. Elte Eötvös Kiadó. pp 21-62.: pp 53-61.
11. DEUTSCHE GARTENAMTSLEITERKONFERENZ. 2014. GALK Straßenbaumliste.
12. ENGLONER A. 2010. A növények szövetei. In: TUBA Z., SZERDAHELYI T., ENGLONGER A., NAGY J. Botanika. Budapest. Nemzeti Tankönykiadó. pp 102-104.
13. FORRAI, M., DIÓSZEGI, M., JUHÁSZ, Á. HROTKÓ, K., 2012 a. Studies on estimation of leaf gas exchange of ornamental woody plant species. Applied Ecology and Environmental Research. 10(2): 195-206.
14. FORRAI M., SÜTÖRINÉ D.M., JUHÁSZ Á., HROTKÓ K. 2012 b. A kőris (*Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie') leveleinek gázcsereje különböző alkalmazási környezetben. Fenntartható fejlődés, Élhető régió, Élhető települési táj 3. tanulmánykötet. pp 261-271.

15. GYEVIKI M. 2011. Cseresznyeoltványok produktivitásának egyes tényezői. Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Doktori Iskola. Doktori Értekezés. pp 31-32.
16. GYEVIKI M., STEINER M., JUHÁSZ Á., SZABÓ V., HROTKÓ K. 2012. Intenzív cseresznyeültetvény, mint mesterséges ökoszisztéma és biológiailag aktív felület értékelése CO₂ megkötés és vízhasznosulás szempontjából. Fenntartható fejlődés, Élhető régió, Élhető települési táj 1. tanulmánykötet. pp 45-65.
17. HROTKÓ, K., STEINER, M., FORRAI, M., TÓTH, E. GY., VÉRTESY, M., LEELŐSSY, Á., KARDOS, L., SÜTÖRINÉ DIÓSZEGI, M., MÉSZÁROS, R. 2014. Investigations on environmental benefits of urban trees at Corvinus University of Budapest. International Conference Plants in Urban Areas and Landscape, Nitra. (In Press)
18. JÁMBORNÉ BENCZÚR E. 2003. Ipari területek. In: SCHMIDT G. (szerk.) 2003. Növények a kertépítészetben. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 344-355.: 348-350.
19. JOHNSON, O., MORE, D. 2007. Európa fái. Budapest. Kossuth Kiadó. pp 400-402.
20. KOVÁCS M. 1985. A nagyvárosok környezete. Budapest. Gondolat Könyvkiadó.
21. KAZDA, M., SALZER, J., REITER, I. 2000. Photosynthetic capacity in relation to nitrogen in the canopy of a *Quercus robur*, *Fraxinus angustifolia* and *Tilia cordata* flood plain forest. In: Tree physiology. 20. szám
22. MAGYAR DÍSZKERTÉSZEK SZÖVETSÉGE. 2014. Közterületi Sorfák Jegyzéke.
23. MAUSETH, J. D. 1988. Plant Anatomy. Caldwell. The Blackburn Press. pp 167-171, 231-236.
24. MONTAGUE T., KJELGREN R., RUPP L. 2000. Surface Energy Balance Affects Gas Exchange and Growth of Two Irrigated Landscape Tree Species in an Arid Climate J. AMER. SOC. HORT. SCI. 125(3):299–309.
25. MONTAGUE T., KJELGREN R. 2004. Energy balance of six common landscape surfaces and the influence of surface properties on gas exchange of four containerized tree species. Scientia Horticulturae 100. pp 229-249
26. NAGY L. 2008. Városökológia. Budapest-Pécs. Dialóg Campus Kiadó. pp 109-114., 208.
27. NOWAK, D. J. 1998. The Effect of Urban Forest on the Physical Environment In: RANDRUP, T.B., KONIJENDIJK, C. C., CHRISTOPHERSEN, T., NILSSON, K. 2002. Urban forests and trees. Vol I. Luxemburg. Office for Official Publicators of the European Communities. pp 22-42.

28. NOWAK, DAVID J., CRANE, DANIEL E., STEVENS JACK C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2006. 4. szám pp 115-123
29. PETHŐ M. 1998. A növényélettan lapjai. Budapest. Akadémiai Kiadó. pp 26. 45-59. 90-102.
30. PRADO, C. H. B. A., DE MORAES, J. A. P. V. 1997. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*. 33. évf. 1. szám. pp103-112.
31. RADÓ D. 1981. Fák a betonrengetegben. Budapest. Mezőgazdasági Kiadó. pp 40-55.
32. RADÓ D. 1983. Budapesti parkok és terek. Budapest. Magyar Nemzeti Galéria. pp 53-54.
33. RADÓ D. 2001. A növényzet szerepe a környezetvédelemben. Budapest. Levegő Munkacsoport. pp 22., 91.
34. SCHMIDT G. 2003. A kert, mint mesterséges növénytársulás. In: SCHMIDT G. (szerk.) 2003. Növények a kertépítészetben. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 113-176.: pp 159-160.
35. SCHMIDT G. 2006. Budapesti fák élete és halála. In: Budapest Folyóirat. 68. évf. 8. szám pp 2-6.
36. SCHMIDT G., TÓTH I. 2006. Kertészeti dendrológia. Budapest. Mezőgazda Kiadó pp 128-131.
37. SIMON T. 2008. A magyarországi edényes flóra határozója. Budapest. Nemzeti Tankönyvkiadó. p 946
38. SIMMONÉ SARKADI L. 2007. Biokémia mérnök szemmel. Szeged. Typotex Elektronikus Kiadó Kft. pp 180-184.
39. SÜTÖRINÉ DIÓSZEGI M. 2005. Kézenbontás különböző alany-nemes kombinációkkal a Cupressaceae családban. BCE KETK Kertészettudományi Doktori Iskola. Doktori Értekezés.
40. SZALAI J. 2009. A növényi élet feltételei a kertekben. Budapest. História Alapítvány. pp 17-43
41. SZALLER V. 2010/a. Az épített környezetben élő fák állapotleromlásának biotikus és abiotikus okai. Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék pp 6-8 15-17.
42. TÓTH E. GY. 2011. Adatok magyar és külföldi hársfajták összehasonlító értékeléséhez. Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék. pp 22-27. 30. 38.

43. TÓTH, E.GY., JUHÁSZ, Á., SÜTÖRI-DIÓSZEGI, M., STEINER, M. HROTKÓ, K. 2014
a. Leaf Gas Exchange Characteristics of Drought Stressed Linden (*Tilia sp.*) Trees. Applied Ecology and Environmental Research, (in press)
44. TÓTH E. GY., VÉRTESY M., SÜTÖRINÉ DIÓSZEGI M., STEINER M., HROTKÓ K.
2014. Phenological observations on Hungarian and foreign Linden varieties. International Conference Plants in Urban Areas and Landscape, Nitra. (In press)
45. TÓTH I. 2012. Lomblevelű dísfák és díszcserjék kézikönyve. Dunaharaszti. Tarkavirág Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. pp 649-654.
46. TÓKEI L. 1997. Városklíma. In: SZÁSZ G., TÓKEI L. (szerk.) 1997. Agrometeorológia mezőgazdáknek. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 219-236.
47. UDVARDY L. 2008. A kertészeti növénytan növényismeret kompendiuma. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar
48. VOS, P. E.J., MAIHEU, B., VANKERKOM, J., JANSSEN, S., 2013. Environmental Pollution. Vol. 183 (2013) pp 113-122.

TÓTH (2011) munkájából idézett fajtaleírások (a fenti irodalmak között nem szereplő) forrásai:

1. IZER G. 2010-2011. Prenor Kertészeti és Parképítő Kft. Szombathely. Díszfaiskolai árjegyzék
2. KRÜSSMANN, G. 1986. Manual of cultivated broad-leaved trees and shrubs. Oregon. Timber Press
3. RETKES J., TÓTH I. 2005. Lombos fák, cserjék. Budapest. Botanika Kft
4. SCHMIDT G., TÓTH I. 2000. Fajtaismertető dísfákról, díszcserjékről. Budapest. Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar