

BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM
KERTÉSZETTUDOMÁNYI KAR
Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék



Tudományos diákköri dolgozat

A Fraxinus excelsior 'Westhof's Glorie' fasor megfigyelése a budapesti Andrássy úton a városi környezet alakításának szempontjából

Vértesy Máté

Kertészmérnök BSc IV. évfolyam

Konzulensek:

Sütöriné dr. Diószegi Magdolna	adjunktus
Forrai Mihály	PhD hallgató
Szaller Vilmos	Faállományfejlesztési koordinátor (Főkert NZrt.)
Dr. Hrotkó Károly	tanszékvezető egyetemi tanár

Budapest, 2013

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	4
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1.	A városok fásításának kialakulása.....	5
2.1.1.	Budapest fásításának rövid története	5
2.1.2.	A sorfákra vonatkozó szabványok és ajánlások	6
2.2.	A város mint élettér	6
2.2.1.	A városok hőmérsékleti viszonyai.....	6
2.2.2.	Légmozgás az épületek között.....	8
2.2.3.	Csapadék- és páraviszonyok.....	8
2.2.4.	A levegőben és a talajban megjelenő szennyező anyagok.....	9
2.2.5.	Zaj és rezgések hatása a városban.....	10
2.2.6.	A városi növényeket érő egyéb károsító hatások	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 víz mint a növényi élet meghatározója	13
2.4.1.	A víz felvétele és szerepe a növény életében	13
2.4.2.	A víz útja a növényben, a transzspiráció.....	14
2.4.3.	A sztómakonduktanciát, a fotoszintézist és a transzspirációt befolyásoló külső tényezők	14
2.5.	A vizsgált növények helye a rendszertanban és morfológiájuk	15
2.5.1.	A mérések során megfigyelt <i>Fraxinus excelsior</i> rendszertani besorolása	15
2.5.2.	Az <i>Oleaceae</i> család és a <i>Fraxinus</i> nemzetség jellemzése.....	15
2.5.3.	A <i>Fraxinus excelsior</i> jellemzése.....	16
2.5.4.	A <i>Fraxinus excelsior</i> 'Westhof's Glorie' jellemzése.....	18
2.6.	Az Andrassy út építése és fejlődése	19
2.6.1.	Az Andrassy út építésének története.....	19
2.6.2.	Az Andrassy úti fasor története, felosztása, mai képe	20
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	23
3.1.	A vizsgált növények és a vizsgálatok helye.....	23
3.2.	A vizsgálatok során végzett megfigyelések, mérések és az alkalmazott műszerek bemutatása.....	24
3.2.1.	A megfigyelések módszere	24

3.2.2.	A műszeres mérések eszközeinek bemutatása	25
3.2.3.	A mérések ideje, kivitelezésük és értékelésük módszere.....	27
4.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK.....	30
4.1.	A kihajtás menetének megfigyelése	30
4.2.	A vízhiány tüneteinek felvételezése	31
4.3.	A lombhullás menetének megfigyelése	32
4.4.	A hőmérséklet és a páratartalom alakulása 2011. augusztus 3-án	33
4.5.	A fotoszintetikusán aktív sugárzás (PAR) napi menetének alakulása.....	35
4.6.	A levélfelszín hőmérsékletének alakulása	35
4.7.	A sztómakonduktancia napi menete.....	36
4.8.	A transzspiráció napi menetének megfigyelése	37
4.9.	A nettó CO ₂ asszimiláció menete.....	37
4.10.	A levélfelületi index mérésének eredményei	38
4.11.	A levelek nedvesség- és szárazanyagtartalmának mérése	39
5.	KÖVETKEZTETÉSEK.....	40
6.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	42
7.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	44
8.	FELHASZNÁLT IRODALOM.....	45

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A történelem során a népesség egyre nagyobb hányada költözött a városokba. Ennek a napjainkban is jelenlévő folyamatnak a hatásaként túlszűfolt, mesterséges felületekkel borított területek jöttek létre, melyekben a természet közelségét mára sok esetben csak a telepített zöldfelületek pótolják. A mesterséges felületek mellett a zsűfoltág hatására fellépő fokozottabb, koncentráltabb szennyezőanyag kibocsátás, és az ezek hatására létrejövő mesterséges környezet azonban a növények számára is új, nagyon sok esetben kedvezőtlen feltételeket teremt. Nélkülük viszont elképzelhetetlen lenne az élet a városban. A városi fák környezetet javító hatásairól viszonylag kevés számszerű adat található a szakirodalomban. Munkámmal a fák életműködésére vonatkozó megfigyelésekkel és mérésekkel ezen adatok sorát kívántam gazdagítani, bekapcsolódva a BCE Dísnövénytermesztési és Dendrológiai Tanszékén zajló kutatásokba.

TDK dolgozatomban bemutatom azokat a vizsgálatokat, méréseket és eredményeiket, melyeket a budapesti, nagy forgalmú Andrásy út *Fraxinus excelsior*, illetve *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' fasorain végeztünk. A fásor a város történelmében és a városkép formálásában kiemelt jelentőségűnek számít. A nagy forgalom és a belvároshoz közeli fekvés, valamint a rendszeres, szakszerű ápolás egyaránt előnyös a városi körülmények növényekre gyakorolt hatásainak tanulmányozásához és a növények városképformáló és klímaszabályozó szerepének vizsgálatához is.

Munkánk elvégzésének célja a városi növényzetre ható körülmények bemutatása és vizsgálata, valamint a növényzet városi környezetre gyakorolt hatásának ismertetése. Ennek érdekében vizsgáltuk a növények fenológiáját, és műszeres vizsgálatokat is végeztünk a fák lombzatának fotoszintetikus aktivitására, valamint a hőmérsékletre és a páratartalomra vonatkozóan is.

A megfigyelések összegzésekor célunk a növényzet és a városi környezet egymásra hatásán kívül a vizsgált taxonok várostűrésének minősítése a kapott eredmények függvényében. Megfigyeléseink és méréseink tovább folynak, így az újabb adatok gyűjtése is. Munkánkkal módszertani tapasztalatokat is kívánunk a későbbiekben zajló, hasonló jellegű kutatások számára nyújtani.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A városok fásításának kialakulása

A városokban a középkor végén jelent meg egy-egy fásított tér, majd amikor az ipar fejlődésével az emberek mindennapjai nem a természethez kötődtek, egyre nagyobb igény mutatkozott a közhasználatú városi zöldfelületekre. A parkok, díszterek és egyéb beültetések helyének véletlenszerű kiválasztását a XIX. század folyamán egyre inkább a tervezett, rendszerben történő alakítás vette át. Napjainkra a városok zöldterületei környezetvédelmi és társadalmi szempontból egyaránt kiemelt jelentőségűekké váltak, a városkép formálásával és a klíma kedvező alakításával élhetőbbé, természetesebbé teszik a városi emberek mindennapjait (Balogh, 2004). A klíma szabályozásában játszott szerepüket a következő alfejezetben tárgyalom részletesen.

2.1.1. Budapest fásításának rövid története

A mai Budapest területén az első nagyszabású park a Városmajor, 1787-ben készült el. Ezután telepítették be a Városerdőt, ültették be a Margitszigetet, létesítették az Orczy-kertet és a Városligetet. Az első egységes fasorral beültetett terület a mai Tóth Árpád sétány volt. Később ültették a Duna-korzó első fáit, valamint az 1800-es évek közepén az első városi sétányt is átadták. A XIX. század második felében egyre inkább előtérbe került a zöldfelületek létrehozása. Ebben az időszakban létesült nagyon sok, napjainkban is - a korábban említettekhez hasonlóan - jelentős szerepet betöltő park és fasor: a Múzeumkert, az Erzsébet tér, az Andrássy út, és helyreállították a Várkertet is. A folyamat fellendülésével kapcsolatban érdemes megemlíteni, hogy a Közmunkatanács 1871-ben a városrendezési tervek pályázati kiírásában külön pontként említette a fásítást és a parkosítást (Fabó, 1998; Balogh, 2004; Szaller, 2010/a).

A XX. század utcafásításait Schmidt (2006) három nagy korszakra osztja. A század elején telepítették vagy telepítették újra a főváros történelmi fasorait: a Szilágyi Erzsébet fasort, az Andrássy út, a Nagykörút, a Rákóczi út és az Üllői út fáit, amelyeket a rendelkezésre álló helynek megfelelően *Platanus × acerifolia* vagy *Aesculus hippocastanum* fajokkal ültették be. Szintén ekkor ültették a Rottenbiller park és a Gellért-hegy fáit. Az 1950-es és -60-as években a megváltozott városi körülményeket is figyelembe véve főként a *Sorbus* fajok és a *Tilia tomentosa* kerültek előtérbe, valamint nagy számban telepítették például az *Acer*, *Fraxinus*, *Celtis*, *Koelreuteria* nemzetségek képviselőit is. A környezet további romlásának következtében az ezt követő időszakban és napjainkban is a *Celtis* és *Fraxinus* fajok, fajták ültetése a leggyakoribb.

Radó (1981) szerint 1950-ben 167 ezer, 1975-ben pedig 510 ezer fa volt Budapest fasoraiban. Napjainkban a főváros fasori fái közül a Főkert Nonprofit Zrt. 590 ha zöldfelület és 33 ezer db sorfa rendszeres, teljes körű, valamint 120 000 db, 1 000 km hosszú útvonal mentén

telepített fa alkalmankénti ápolását, illetve 600 ha egyéb zöldterület kaszálását, takarítását végzi (Főkert NZrt., 2011).

2.1.2. A sorfákra vonatkozó szabványok és ajánlások

A fasor vonalas telepítési forma, mely azonos távolságra kiültetett fákból áll, velük szemben alapvető követelmény az egyöntetűség, ezért egy faj vagy fajta egyedeiből kell állnia. Az ültetendő fa törzsmagasságának a szabványok előírásainak megfelelően legalább 220 cm magasnak kell lennie. A gyakorlatban leginkább a 12/14 cm és a 14/16 cm törzskörméretű növényeket ültetnek, a szabvány legalább 8 cm-t ír elő.

Az útsorfaként telepítendő taxon kiválasztásánál fontos szempont, hogy a városi körülmények szélsőségeit jól tűrje, egyenes törzset és felálló koronát neveljen. Figyelembe kell venni továbbá a korona növekedésére rendelkezésre álló teret, a műtárgyak távolságát és az úrszelvényekre, a föld feletti és a föld alatti vezetékek minimális távolságára vonatkozó előírásokat is. Mindezek mellett fontos elvárás, hogy bírja a koronakezelést, jó regenerálódó képességgel rendelkezzen, és nem utolsósorban esztétikai hatásával, díszítő értékével hozzájáruljon környezete szebbé tételéhez (Schmidt, 2003/a; Halász, 2004).

Schmidt (2006) az alábbi nemzetségeket és fajokat tekinti leginkább várostűrőnek: *Ailanthus altissima*, *Celtis occidentalis*, *Crataegus* és *Fraxinus* fajok, *Ginkgo biloba*, *Gleditsia triacanthos*, *Koelreuteria paniculata*, *Populus* nemzetség egyes fajtái és fajtái, *Pyrus*, *Robinia pseudoacacia*, *Sophora japonica*.

2.2. A város mint élettér

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, valamint az ember számára is új, mesterséges környezetet teremtenek. A következőkben áttekintem a városokra jellemző környezeti sajátosságokat.

2.2.1. 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 (Kovács, 1985).

A nagyvárosok hőmérsékleti viszonyainak fontos ismertetőjegye a hőszigeteffektus, mely a hőmérséklet napi menetében és átlagában is megmutatkozik. Kialakulásának oka elsősorban a szennyezett légréteg által előidézett üvegházhatás-jelenség és a nagyfokú beépítettség. Bár a légszennyezés hatására a beérkező rövidhullámú sugárzás kisebb, a beépített felületek alacsony albedója ezt ellensúlyozza (1. táblázat), 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 téli időszakban a növények még nem kellően beérett hajtásai megfagyhatnak, illetve egyes fajok fatörzsében déli oldalán napközben megindulhat a nedvkeringés, és a felhalmozódott nedvesség éjszaka megfagyhat, így fagyrepedések, illetőleg fagylécek jöhetnek létre (Schmidt, 2003/b).

1. táblázat: Néhány, a városban előforduló felület albedója (Sukopp, 1997 nyomán)

A felület típusa	Albedo (%)
Aszfaltburkolat	0,05-0,2
Betonfal	0,10-0,35
Fehér betonfal	0,71
Tégla fal	0,20-0,40
Terméskő	0,20-0,35
Ablaküveg	0,08-0,52

A növényzet a nyári magas hőmérséklet csökkentéséhez magasabb albedója és árnyékoló hatása révén, valamint párologtatásával járul hozzá (1. ábra). 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).



1. ábra: A beérkező napsugárzás hasznosulása a levélen (Radó, 1981. nyomán)

2.2.2. Légmozgás az épületek között

A szél sebessége a városokban a felszín közeli súrlódás következtében átlagosan 20-30 %-kal csökken. A heves széllekedések 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.

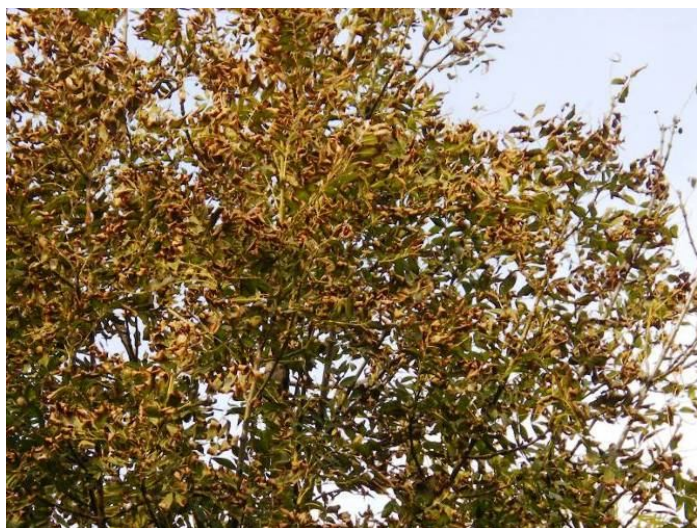
A levegőmozgás irányát az utcák, terek, épülettömbök is befolyásolják. A magasabb házakkal szegélyezett, sűrűn beépített utcák szélirányt meghatározó hatása különösen erős. Ha az utcák iránya a széliránnyal megegyező, a csatornahatás a szél sebességét is fokozza. Ilyen esetekben megnő a fakidülés és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

Tenyészedőidőszakban 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 fák árnyékolásának köszönhetően csökken a felszín közelében felhevült oxigénből keletkező ózon mennyisége is.

2.2.3. Csapadék- és pára viszonyok

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 ciklikussá válásában is kimutatták. Hazánk fővárosában a domborzati tényezők hatására ez a ciklikusság nem mutatható ki (Radó, 1981).

A városokban a csapadék gyors lefolyásának, csatornarendszereken történő elvezetésének nyomán, valamint a magasabb hőmérséklet következtében csökken a levegő relatív páratartalma. Ez a növényeket fokozott párologtatásra kényszeríti. Az aszfaltborítás, a gyors csapadékelvezetés következményeként a fák gyökérzónájába jutó vízmennyiség is igen jelentősen csökken. Együttes hatásukra a levelek szélei beszáradhatnak, súlyosabb esetben korai lombhullás is bekövetkezhet (2. ábra). Az elfolyt víz hiánya megmutatkozik a hőmérséklet növekedésében is, hiszen ha az elfolyó víz 1 grammja elpárologna, ez 2453,5 joule energiát vonna el környezetétől (Radó, 2001; Schmidt, 2006). A páratartalmat 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).



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

2.2.4. 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 szálló por (Nagy, 2008; Szaller, 2010/a). 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 (3-4. ábra). Egyes adatok szerint a lombzat 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).



3-4. 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 (5. ábra). A potenciálviszonyok megváltoztatásával nehezíti a víz felvételét, valamint a kloridion felszívódva lelassítja a növény növekedését, a fiatalabb növények akár el is pusztulhatnak. A talaj tömörödése és az aszfaltborítottság következtében a levegőtlenesség és a vízhiány is veszélyezteti a fákat (Szaller, 2010/a). A NaCl használatát ma már a legtöbb település közútjain, közterületein egyéb síkosság-mentesítő anyagokkal váltják ki.



5. ábra: A téli sózás következménye az Andrássy út harmadik szakaszának *Ligustrum vulgare* cserjesorán (Saját felvétel, 2012.)

A növényekre ható lég- és talajszennyező anyagok károsítása látható és láthatatlan tünetegyüttesek komplexumaként nyilvánul meg. Láthatatlan hatások az asszimiláció csökkenése, idegen anyagok felhalmozódása a növényi szervezetben, kisebb mértékű változás a légzésben, az enzimaktivitás átalakulása és biokémiai módosulások (kisebb változás a sejtnedv pH értékében, keményítő tartalom csökkenése, az asszimilátumok összetételének megváltozása, sejt szerkezeti módosulások). Így a növény növekedése lelassul, a levelek idő előtt lehullhatnak, nekrozisok, elszíneződések jönnek létre, a termés minősége és mennyisége csökken. A levelekre lerakódó por az albedó megváltoztatásával szintén visszaveti az asszimilációt. A hosszan, alacsonyabb koncentrációban jelenlévő szennyezőanyagok okozta ártalmakat krónikusnak nevezik, míg magas koncentrációban, akár nagyon rövid ideig tartó súlyos hatásuk esetében akut károsodásról beszélnek a szakemberek (Anda, 2010; Dässler, 1979).

2.2.5. Zaj és rezgések hatása a városban

Főként a városi közlekedés fokozott zajterheléssel és vibrációs hatással jár. Azonban a városi fák, útsorfák nagymértékben csökkenteni tudják ezt a kedvezőtlen folyamatot. Ezt a tényt egyértelműen alátámasztják a Nehézipari Műszaki Egyetem Budapest különböző helyszínein végzett mérései, amelyek kimutatták, hogy egy egyszerű fasor 8-20 dB, míg egy háromszintes növény sáv (gyep, cserjék és a fák lombzata) 32 dB zajszintcsökkentést 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 hatás rongálja az út menti épületeket, valamint a talaj tömörödésében is szerepet játszik. A fák gyökérzetének rezgéscsillapító hatása csökkenti épületeket károsító mechanikai rezgéseket (Radó, 1981).

2.2.6. A városi növényeket érő egyéb károsító hatások

A kedvezőtlen környezeti hatások mellett a növények számos egyéb negatív hatásnak vannak kitéve a városban. A föld feletti és a föld alatti vezetékek kiépítése és karbantartása, valamint más építkezések során sok esetben sérülnek a közelben található fák. Igen gyakoriak ezen kívül a közlekedés okozta sérülések, az úrszelvényekbe benyúló ágak szakszerűtlen levágása, és sajnos a szándékos rongálás sem ritka (6-7. ábra). Sok problémát okoz a sétáltatott kutyák vizelete is. A leírt mesterséges körülmények önmagukban is kedveznek a kártevők és kórokozók felszaporodásának, a legyengült, esetenként sérült növények pedig fokozottan ki vannak téve a károsítóknak (Szaller, 2010/a).



6-7. ábra: Szándékos rongálás, valamint közlekedési baleset miatti sérülések
(Saját felvételek, 2012.)

2.3. A szén-dioxid megkötésének mechanizmusa

Műszeres méréseink során foglalkoztunk a növények CO₂ elnyelésének mérésével is, ezért fontosnak tartom a fotoszintézis mechanizmusának ismertetését.

2.3.1. A fotoszintetikus apparátus felépítése

A fotoszintézisben 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 sejtszervecskék. A felületüket határoló kettős hártárendszeren (perisztrómiumon) belül helyezkedik el a belső hártárendszer (tilakoid) és az alapállomány, a sztróma (Pethő, 1998).

A fotoszintézis fényszakasza a tilakoid membránban zajlik. Itt több száz klorofill-molekulából és nagyjából ötven karotinoid molekulából felépülő fényrendszerek találhatók. Ezek a

fénysugarak fotonjainak hatására gerjesztődnek. Az elnyelt energiát egymásnak adják át, amíg az el nem jut a fotokémiai reakciócentrumhoz. 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 reakciócentrumának fényelnyelési maximuma 700 nm-nél van. A II. fényrendszerben (PS-II) a klorofill-b mennyisége jelentősebb, maximális fényelnyelése 680 nm-nél van. A reakciócentrumokat ennek alapján rendre P-700-nak és P-680-nak nevezik (Boross, 1993).

2.3.2. A fény hasznosítása

A gerjesztés hatására a PS-I reakciócentrumát elhagyja egy elektron, mely különleges vas/kén fehérjéken, ferredoxinon és a ferredoxin-NADP⁺ 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 reakciócentumba. A P-680-ban hiányt a víz bontásából származó elektron tölti be. A részlegesen oxidált vízmolekulák és a toxikus szabadgyökök keletkezése nélküli folyamatot egy Mn-tartalmú fehérjekomplex segíti. Feltehetőleg egy citokróm-b – citokróm-c irányú elektronátmenet során szintetizálódik ADP-ből ATP (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 fényszakaszban 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 víz mint a növényi élet meghatározója

A fotoszintézis műszeres mérésének másik fontos vizsgált paramétere a transzspiráció, ezért a következő pontokban a víz felvételét és a növények életében betöltött szerepét ismertetem.

2.4.1. A víz felvétele és szerepe a növény életében

A növények testében átlagosan 70-90 % víz található, mely az életükben végbemenő biokémiai és biofizikai reakciókhoz nélkülözhetetlen. A víz a reakciók aktív résztvevője, a fotoszintézis szubsztrátuma, valamint fontos szerkezeti elem is. Mint neutrális oldószer a sejt turgorának beállításában és az ásványi tápanyagok felvételében és szállításában szintén kulcsfontosságú. Magas párolgáshője miatt a hőszabályozásban is elsőrendű szerepe van (Szalai, 1994; Pethő, 1998).

A víz mozgatója két hely vízpotenciálja (mértékegysége Pa, vagy Bar) közötti különbség. A vízpotenciál értékét a részpotenciálok összege határozza meg. E részpotenciálok a következők: a hidrosztatikai nyomás, vagy más néven nyomáspotenciál, az oldott anyagok és ionok jelenléte, azaz az ozmotikus potenciál, és a kolloidok, kapillárisok vagy egyéb felszínek vízmegkötése, vagyis a mátrixpotenciál. A víz a nagyobb potenciálú hely felől a kisebb nyomáspotenciálú hely felé áramlik (Haraszty, 1978). A részpotenciálok jelöléseit és felvett értékeit a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat: a vízpotenciál részpotenciáljainak jelölése és felvett értékeik
(Haraszty, 1978. nyomán)

	Jelölés	Felvett érték
Nyomáspotenciál	ψ_p	pozitív, ritkán negatív vagy nulla
Ozmotikus potenciál	ψ_s	negatív
Mátrixpotenciál	ψ_m	negatív

A talajban lévő víz felvehetőségét a fentieket is figyelembe véve a víz kötöttsége (mátrixpotenciál, valamint sós talajok esetében az ozmotikus potenciál), valamint a gyökerek felszívó ereje együttesen határozzák meg. A gyökerek felszívó ereje Szalai (1994) szerint átlagosan 0,5-1,0 MPa közötti, Filep (1999) szerint átlagosan 1,5 MPa értéket vesz fel, így tehát a növény képes felvenni azt a vizet, melyet a talajkolloidok ennél kisebb erővel kötnek meg (hasznosítható vagy diszponibilis víz). A fel nem vehető vizet holtvíznek nevezik.

A növények vízfelvételét az említetteken kívül a talaj oxigéntartalma, hőmérséklete is befolyásolja. A magas hőmérsékletű talaj hatásáról kevés adat ismert. Hideg talajban a vízfelvétel annyira lelassulhat, hogy az elpárologtatott vizet sem pótolja. A víz és levegő arányának tekintetében általában a 70% víz és 30% levegő optimális. Az oxigén hiánya gyökérfulladást okoz (Szalai, 1994).

2.4.2. A víz útja a növényben, a transzspiráció

A gyökerektől a levelek felé a víz a xylémen keresztül a gyökérnyomás és a levelek szívóhatásának következtében mozog. A levelek szívóhatása a transzspiráció során elvesztett víz hatására a sejteken bekövetkező térfogatváltozás hatására alakul ki. A víz egyirányú áramlását a paraanyaggal berakódott sejtréteg (endodermisz) biztosítja (Szalai, 2001).

A növények vízleadása, azaz a transzspiráció kifejlett leveleknél kisebb részben a kutikulán és a lenticellákon keresztül, 80-90%-ban a zárósejtekkel körülvett sztómákon keresztül történik. A még fejletlen kutikulával rendelkező, illetve árnyékban vagy nedves légkörben nőtt levelek kutikuláris transzspirációja az 50%-ot is elérheti. A gázcsere nyitottságát, a sztómakonduktanciát és így a párologtatás mértékét a zárósejtek szabályozzák, méretük a turgoruk változásával módosul. Ebben a méretváltozásban a kálium és kalcium ionok szerepe a legfontosabb (Szalai, 1994).

2.4.3. A sztómakonduktanciát, a fotoszintézist és a transzspirációt befolyásoló külső tényezők

A sztómakonduktanciát, és ezzel a fotoszintézis intenzitását, valamint a transzspiráció mértékét igen sok tényező befolyásolja, melyeknek egymásra hatása miatt elengedhetetlen a folyamat komplex szemlélése.

A fényintenzitás, a hőmérséklet és a szén-dioxid 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, a fotoszintézis szén-dioxid megkötésének és a légzés oxigéntermelésének egyensúlyát pedig fénykompenzációs pontnak nevezik. 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.

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 szén-dioxid 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. A megkötött szén-dioxid és a felhasznált víz mennyiségének hányadosaként számítható ki a vízhasznosítási együttható (Cseh 1998, Szalai 2009; Pethő, 1998).

2.5. A vizsgált növények helye a rendszertanban és morfológiájuk

2.5.1. A mérések során megfigyelt *Fraxinus excelsior* rendszertani besorolása

Magnoliophyta (zárvatermők törzse)

Magnoliopsida (kétszikűek osztálya)

Lamiales (ajakosvirágúak rendje)

Oleaceae (olajfafélék családja)

Fraxinus (kőrisfák nemzetsége) (Udvardy, 2008)

2.5.2. Az *Oleaceae* család és a *Fraxinus* nemzetség jellemzése

Az *Oleaceae* család mintegy 25 nemzetséget és 1000 fajt számlál. Az ide tartozó fátermetű, bokros vagy kúszó növények szinte az egész Földön elterjedtek, főleg a pántrópusi, a mediterrán, vagy a mérsékelt övben lelhetők fel. Leveleik szárnyasan összetettek vagy egyszerűek, keresztben átellenes állásúak. Értékes illó- és zsírsolajokat tartalmazó termésük csonthéjas, tok, bogyó vagy lependék lehet. A család általános virágképlete: $\varnothing * K(4) \{C(4) A2\} \underline{G(2)}$, tehát hímnős virágaikat sugaras szimmetria, felsőállású magház és (a *Jasminum* nemzetség és néhány más faj kivételével) a kettes és a négyes szám jellemzi (Coombers, 1993; Czóbel et al., 2007; Udvardy, 2008). A parkokban tömegesen ültetett képviselőik közepes igényű, gyors kezdeti növekedésű növények, melyek bojtos, sekélyen elhelyezkedő gyökérzetüknek köszönhetően az átültetést jól bírják (Schmidt és Tóth, 2006).

A *Fraxinus* nemzetséget ötven-hatvan fajból álló gyors növekedésű, közepes vagy nagytermetű fák alkotják. Keresztben átellenes állású leveleik páratlanul szárnyasan összetettek, vesszőik rügymagasságban ellaposodók, végükön hármas rüggyel záródnak. Rügyeik kúposak vagy félgömb alakúak, 4 látható pikkellyel. Pártájuk négy szabad, sárgásfehér, keskeny szziromból áll, vagy hiányzik, termésük egymagvú, keskeny szárnyú lependék. Általában üde, mérsékelt nedves,

mélyrétegű talajt kedvelnek (Johnson és More, 2007; Schmidt, 1998; Schmidt és Tóth, 2006; Simon, 2008).

A *Fraxinus* nemzetség tagjait tovább csoportosítva a kutatásunk során vizsgált *Fraxinus excelsior* fajt a *Fraxinaster*, azaz a valódi kőrisek szekciójába, ezen belül a *Bumelioides* alszekcióba sorolják. A szekció magas termetű, nyúlánk hajtású fái lombfakadás előtt, hónaljrügyekből fűrtökben vagy kisebb bugákban megjelenő, poligám vagy kétlaki virágai redukáltak: vagy csak a csésze van meg, vagy a párta és a csésze is hiányzik. Porzószálaik rövidek. A *Bumelioides* alszekció képviselőinek csésze- és szíromlevelei (egy faj kivételével) hiányoznak, portokjuk alakja a széles hosszúkástól a szív alakúig terjed, levélkéik száma általában meghaladja a hetet (Gencsi és Vancsura, 1992; Krüssmann, 1986).

2.5.3. A *Fraxinus excelsior* jellemzése

A *Fraxinus excelsior*, azaz a magas kőris erős növekedésű, 30-40 méteres magasságot is elérő fa. Magassági növekedése a századik életévére teljesen lezárul, intenzív időszaka az ötvenedikig tart, a legintenzívebb ezen belül is a 13-24 év közötti kor. Vastagságbeli gyarapodása a századik életéve után is folytatódik (Vékony, 2004; Godet, 1993). Gyakran villásodó törzsének hosszúsága a térállás függvénye, koronája gömbölyded, ritkás ágrendszerű. Kérge 35-40 éves koráig sima, fényes, zöldesszürke színű, néha fekete harántgyűrűkkel, majd vastag, hosszant repedezett kéreg alakul ki, hálózatosan lefutó bordákkal (8-9. ábra) (Mayer és Schwegler, 2002; Johnson és More, 2007; Tóth, 2012). Fiatalon dúsan elágazó szívógyökerei mellett idővel erős támasztógyökerek jelennek meg, melyekből horizontális és vertikális irányban is kiterjedt felszívó gyökérzet alakul ki. Vesszőinek héja szürke, fehér lenticellákkal (Gencsi és Vancsura, 1997). Rajtuk széles, patkó alakú levélripacsok felett középen található a kicsi, hirtelen hegyesedő csúcsban végződő fekete oldalrügyek. A csúcsrügy szintén fekete, bordás pikkelyei igen kemények (10. ábra) (Schmidt, 1998).



8-10. ábra: A *Fraxinus excelsior* kérge fiatal és idősebb korában, valamint vesszője és csúcsrügye (Saját felvételek, 2012.)

Levelei 25-30, de akár 40 cm hosszúak is lehetnek, a színükön sötétzöld, fonákukon világosabb, a kissé szőrös főér kivételével csupasz, széles lándzsás vagy lándzsás levélkével. A levélkéek hossza 5-10 cm, szélük fűrészes, főerük mentén enyhén szőrözöttek (11-13. ábra). Számukat a források levelenként 7-13 között adják meg (Krüssmann, 1986; Johnson és More, 2007). Lombtartása a *Fraxinus* nemzetség tagjai között (a *Fraxinus angustifolia* mellett) a legjobb: virágzás után hajt ki, lombja ősszel általában a fagyok hatására zölden hullik le, legfeljebb 5-10 napig díszít sárga vagy sárgászöld lombszínnel (Schmidt és Tóth, 2006; Vékony, 2004).



11-13. ábra: A *Fraxinus excelsior* levele, levélkei és a levélke kissé szőrös főere (Saját felvételek, 2012.)

Csupasz virágai a rövidhajtások hónaljrugyeiből április elején-közepén rövid, elálló bugákban jelennek meg, a részvirágzatok tövében sárgásbarna, gyapjas fellevelekkel (15. ábra). A portokok ibolyás-feketék, a bibe ibolyás, a magház zöld színű. A lependék termések 3-4,5 cm hosszúak, a rövidhajtásokon csomókban csüngenek. Szárnyuk lehet elliptikus, lekerekített vagy kicsípett csúcsú, vagy lándzsás és hegyes is. Az érett, sötétbarna termések általában télen is a fán maradnak (14-16. ábra) (Gencsi és Vancsura, 1992).



14-16. ábra: A csupasz virágok, a kávébarnára színeződött és a még zöld termések (Saját felvételek, 2012.)

Széles klímateroleranciájú faj, de igazán szépen a késői fagyoktól mentes helyen, mélyrétegű, ásványi táplálékban gazdag, üde vagy nedves talajokon fejlődik (Vékony, 2004; Godet, 1993). Egész Európában és a Kaukázusban is elterjedt fa. Hazánkban üde erdők gyakori elegyfája, kopárokon, vágásokon gyakran elszaporodik. Az Északi- és a Dunántúli-középhegységben gyakori, a Nyugat-Dunántúlon szórványosan jelenik meg, valamint a Szigetköz és a Mezőföld területén is megtalálható. A Dél-Dunántúlon előfordulása kétes (Johnson és More, 2007; Simon, 2008).

Kertészeti felhasználásának fontosságát mutatja, hogy első fajtáit különleges megjelenésükért (gömb vagy csüngő korona, színes lomb, vessző) már az 1700-as évek végén szelektálták. A városi levegőre nem túl kényes faj, a kevésbé forgalmas helyeken jó utcai sorfa, így az 1900-as évek közepétől utcai sorfaként történő felhasználása egyre hangsúlyosabbá vált. Gyors törsnövekedésű és jó szerkezetű koronát nevelő fajtáit ekkortól kezdték előállítani (Schmidt és Tóth, 2006). Hosszú rostos, rugalmas, hajlékony, kemény, alig vetemedő, kártevőknek ellenálló faja régebben fegyverek és a bognárok termékeinek fontos alapanyaga volt. Napjainkban szerszámnyél-, sí-, tornaszerkészítésre használják, valamint bútor, rétegeltlemez és parketta is készül belőle (Molnár és Bariska, 2006; Godet, 1993; Hora, 1981).

2.5.4. A *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' jellemzése

Az 1940-es évek végén, Hollandiában szelektált fajta. Gyors növekedésű, egyes irodalmak szerint 20-25, mások szerint 30-40 méter magasra nő meg, egyenes törzse sokáig sima marad. Mereven felfelé törő, sűrűn elágazó ágai és kihajtáskor fényes zöld vesszői zárt, széles kúp, később gömbölyded alakú koronát alkotnak, melyben az árbocszerű törzs átmenő sudárként folytatódik (17. ábra) (Hatch, 2007; Tóth, 2012; Vékony, 2004).



17. ábra: A *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' koronaformája és ágrendszere (Saját felvétel, Budapest, Andrásy út, 2011.)

Levelei 35 cm hosszúak, 18 cm szélesek, 11-13 levélkével. A levélké fényes sötétzöldek, sima felületűek, erezetük alig mélyed be a lemezbe. Alakjuk tojásdadtól a keskeny ellipszisig változhat, szélük szinte ép, tompán fűrészes. Krüssmann (1986) a levélalagnál két széli, jellegzetesen kiálló lebenyről ír, Schmidt és Tóth (2006), valamint Vékony (2004) ezzel szemben ezek hiányát említik. Levelei kihajtáskor barnák, ősszel általában zölden hullnak, csak néha fordul elő sárgás lombszínűződés. Igen kevés termést hozó hímvirágú növény, áprilisban megjelenő sárgászöld virágzatán tömegével láthatók a lila portokok (Krüssmann, 1986; Schmidt és Tóth, 2006; Vékony 2004).

Tömött és egyöntetű koronaformájának, gyors növekedésének és a városi körülményekkel szembeni tűrőképességének köszönhetően városfásításra alkalmazzák (Schmidt és Tóth, 2006). Hatch (2007) szerint összességében talán a legjobb klón erre a célra.

2.6. Az Andrásy út építése és fejlődése

2.6.1. Az Andrásy út építésének története

Már Kossuth Lajos is írt a Pesti Hírlapban 1841-ben megjelenő cikkében a széles, fasorral szegélyezett útról, amelyen a város lakói kellemes környezetben juthattak volna el szórakozásuk kedvelt helyszínére, a Városligetbe. Andrásy Gyula miniszterelnök 1868-ban a Pest-Budai Szépítési Bizottság megnyitó ülésén említette a sugárút gondolatát, melynek nyomán még ugyanebben az évben előterjesztés is javasolta az út megépítését. Innentől kezdve ez a terv folyamatosan napirenden volt.

Az épületek megépítésének története

Az 1870-ben megalakult Közmunkatanács, mely legfőbb feladatául a kellő szélességű közlekedési fővonalak megnyitását kapta. Műszaki osztálya a sugárút vonalvezetésére négy tervet készített elő. A megfelelő vonalvezetés kiválasztása után pontos terv és költségvetés készült a kivitelezésre. Az 1870. évi LX. t. c. szerint a költségeket sorsolási kölcsönből fedezték, így véglegesen 3 335 909 Ft-ot, kölcsönként pedig 4 863 812 Ft-ot bocsátottak rendelkezésre. A törvény adta lehetőségekkel élve megtörténtek a szükséges kisajátítások, majd 1872. március 9-én megállapodás született egy bankcsoporttal, mely az egész lebonyolítás ügyét vállalta, és a munkálatok még ebben az évben meg is kezdődtek. Az 1873. évi gazdasági válság miatt az eredetileg kitűzött 1877-es határidőt két évvel meghosszabbították. A bontási munkákat 1875-ben be is fejezték, de a tőkéscsoport a szerződést a következő évben felmondta. Az ekkorra felépült negyven ház többsége saroktelken épült – köztük az Oktogon téren található nagy sarokház is. Ezután a Közmunkatanács irányította a munka befejezését. Az építkezések az 1880-as években újra fellendültek, így 1885-re befejeződtek a lakóházak építései. Az épületek előtti járdát és a sétányt

kockakövel, az allét pedig a lovak patájának kímélése érdekében kátránnyal átitatott fakockákkal burkolták. 1910-ben a Közmunkatanács megrendelte az út villanyvilágítását (Földeák, 1959 in Preisich 2004; Gárdonyi, 1925 in Preisich, 2004; Preisich, 2004; Szaller, 2010/b).

Az út nevének változásai

Az út neve a történelem viharainak hatására többször változott. A kezdetektől (hivatalosan csak 1883-tól) Sugár út, majd 1886-tól 1950-ig Andrássy út, 1950-től pedig Sztálin út nevet viselt. 1956 októberében a Magyar Ifjúság útja nevet kapta, ezután 1957 és 1990 között Népköztársaság útnak hívták. A rendszerváltást követően újra visszakapta régi nevét, az Andrássy utat (Déry, 2006).

A tömegközlekedés mérföldkövei

A város közlekedésének több mérföldköve is az Andrássy úthoz kapcsolódik. A Budapesti Közúti Vaspálya Társaság már 1875-ben engedélyt szeretett volna kapni a Sugár úton lóvasút építésére, majd 1893-ban felszíni villamos vasút megépítésére nyújtott be ajánlatot. Mindkét esetben a Közmunkatanács lépett közbe, hogy a tervek ne valósulhassanak meg. 1894-ben az ajánlatot földalatti vasút építésére módosították. Ezt azzal a feltétellel fogadták el, hogy az 1896. évi millenáris kiállításig az építkezésnek el kell készülnie. Így 1896. május 2-án átadták Budapesten a kontinensen épült első villamos üzemű földalatti vasutat. 1915. március 1-jén itt indult meg az autóbusz közlekedés a Kiskörút és a Dózsa György út között. A kezdetben egy benzinmotoros és egy elektromos üzemű jármű, majd két évvel később már tizenegy jármű közlekedett a Felszabadulás térig meghosszabbított vonalon. A háború okozta hiányok miatt 1917. április 10-től szünetelt, majd 1921. szeptember 24-én indult meg újra a közlekedés, és a következő három évben csak erre a vonalra korlátozódott (Preisich, 2004).

2.6.2. Az Andrássy úti fasor története, felosztása, mai képe

Az Andrássy úti fasor felosztása a beültetés módja szerint

Napjainkban az Andrássy út egésze építési és beültetési szempontból három szakaszra osztható. Az első, a mai Bajcsy-Zsilinszky úttól az Oktogonig terjedő szakasz, hossza 844 méter, szélessége 34 méter. Három-négyemeletes házainak homlokzata az utcai járdához ér, melynek az úttesthez közelebbi oldalán, a két oldalon egymással szemben alakították ki a fahelyeket, melyekből a tervekben 150 darab szerepel. A második és harmadik szakasz szélessége 45,5 méter, a fővonal mellett kétoldalt szervíz út fut. A fákat (206, illetve 222 darabot) a szervízút és a fővonal közti sétány két oldalára, oldalanként hármas kötésbe ültették. A második szakasz az Oktogontól a Kodály köröndig tart. Hossza 563 méter, a két-háromemeletes házak homlokzata a szervízút melletti járdához ér. A Kodály köröndtől a Hősök teréig húzódó, 656 méter hosszú szakaszon legfeljebb kétemeletes házak találhatók, melyekhez már néhány méteres előkert is tartozik. A

szakaszokat határoló két tér közül a 95 méter széles, nyolcszögletű Oktogonon 24, míg a 123 méter átmérőjű Kodály körönd körcikkeiben kialakított zöldfelületeiben 44 fahelyet alakítottak ki (Szaller 2010/b).

A beültetés tervei és a beültetett fák

A fasor beültetésére Illés Nándor magyar királyi főerdőtanácsos a harmadik szakaszra a nagyobb méretű fákat: a *Celtis*, *Ailanthus*, *Tilia* nemzetség képviselőit, vagy az akkor már meglévő juharok meghagyását javasolta. A második szakaszra a szűkebb hely miatt a kisebb, vagy lassabb növéssű fákat, az első szakaszra pedig kifejezetten kis fákat, „félfákat” ajánlott (Illés, 1885). Az eredeti beültetés a Városligeti Faiskolából származó platánokkal történt. Ezek közül a földalatti megépítése során csupán 23 darabot vágtak ki. Az eredetileg telepített platánok egy példánya ma is áll a Kodály köröndön (18. ábra).



18. ábra: A még ma is élő, eredeti ültetésből származó platán a Kodály köröndön (Saját felvétel, 2012.)

Az Első Világháború során tüzelőhiány miatt a Körönd néhány fájának kivételével a lakosság a fákat kivágta. Az 1920-ban történt újratelepítés során az első szakaszra *Celtis occidentalis*, a másik két szakaszra *Platanus* × *acerifolia* példányait telepítették. Az 1930-as években a sétányok kivételével az utak és a járdák aszfaltburkolatot kaptak. Az ekkor ültetett fasor szépen fejlődött egészen az 1960-as évek végéig, ezután azonban az aszfaltborítás és a növekvő járműforgalom hatására a *Platanus* példányok legyengültek, a *Gnomonia veneta* okozta levélhullás, valamint ág- és vesszőelhalás egyre nagyobb méreteket öltött. 1987 végére a második és harmadik szakasz 700 fahelyén csupán 482 fa: 331 *Platanus* (melyek közül csupán 36 volt egészséges), 146 fiatal *Fraxinus excelsior* és 5 egyéb faj állt (Szaller, 2010/b; Radó, 1981).

A fasor közelmúltban történt felújításai és mai képe

A fasor felújítása széleskörű társadalmi egyeztetés után, a földalatti felújítási munkáival egybekötve 1989-ben kezdődött meg. Az eredeti terv szerint a harmadik szakaszon a platánsort újították volna fel, a második szakaszon pedig *Celtiseket* telepítettek volna, valamint korszerű öntözőhálózatot és vízáteresztő sétányburkolatot terveztek. A harmadik szakasz felújítása a terveknek megfelelően megtörtént, de a második szakasz felújítására a rendszerváltás körüli politikai és gazdasági helyzet következményeként csak 1995-ben került sor. Az eredeti elképzelésekhez képest ekkor a korábban telepített, és a *Celtisekkel* szemben jobb várostűrési képességet mutató *Fraxinus excelsior* faj példányait telepítették. 2005-ben sor került a harmadik szakasz idős, beteg, vagy fiatalabb, de gyengén fejlődő platánjainak cseréjére is. Az így telepített 348 példányból álló *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' fasort, az alatta lévő cserjesort és a gyepszőnyeget is külön automata öntözőrendszerrel látták el (Szaller, 2010/b; MTI hírarchívum, 1989).

Az út meghosszabbításáról már az elkészülése utáni évtizedekben is születtek tervek, melyek főforgalmi úttá tették volna, ami arculatának gyökeres magváltoztatását jelentette volna. Az 1960-as városrendezési tervben már ezért nem adtak közvetlen összeköttetést az M3-as autópálya felé (Preisich, 2004). Ennek és a felújítások során kialakított arculatának köszönhetően ma is Budapest egyik legfrekvenciáltabb díszútja (19-20. ábra). 2002. június 27-én az UNESCO Világörökség Bizottsága a korábban világörökséggé nyilvánított Budapesti Duna-part és Budai Várnegyed kiterjesztéseként a világörökség részévé nyilvánította az Andrássy utat (MTI hírarchívum, 2002).



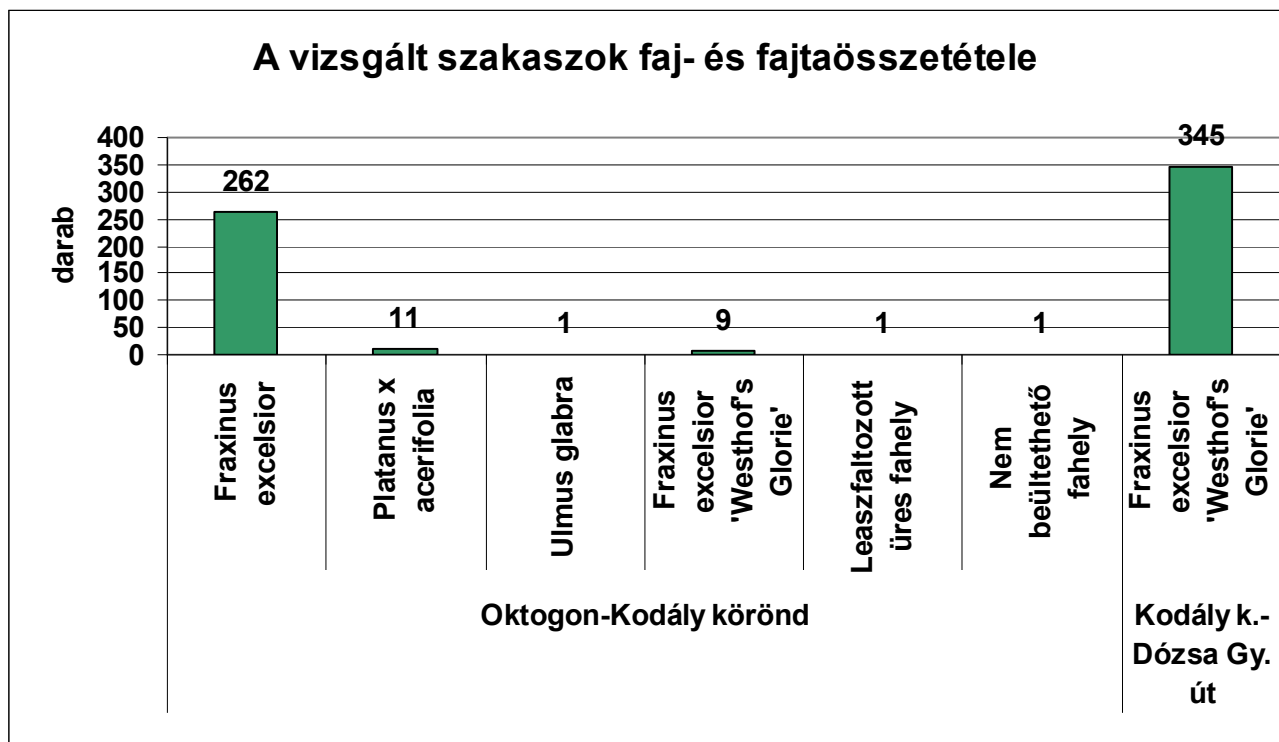
19-20. ábra: A harmadik szakasz korhűen kialakított sétánya és a második szakasz karácsonyi díszítése
(Saját felvételek, 2011.)

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Munkám során a Budapesti Corvinus Egyetem Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszéken folyó, a „Fasori fák várostűrőse és várostűrő-képességének változása” elnevezésű, a Főkert Nonprofit Zrt-vel együttműködésben folyó projekt keretében folyó vizsgálatokba, mérésekbe kapcsolódtam be. E megfigyelések és műszeres mérések során Budapest különböző forgalmú területein többféle útsorfa faj és fajta vizsgálata, értékelése zajlik. A vizsgálatok egyik fő célja a fák város- és stressztűrő képességének megismerése és összehasonlítása.

3.1. A vizsgált növények és a vizsgálatok helye

A megfigyeléseket és méréseket a budapesti nagy forgalmú Andrásy úton, az Oktogontól a Kodály köröndig, valamint a Kodály köröndtől a Dózsa György útig terjedő szakaszon telepített *Fraxinus excelsior* és *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' példányokon végeztük. A két útszakasz fáinak faj és fajta szerinti összetételét a 21. ábra mutatja. Az Oktogon és a Kodály körönd közti szakasz szűkebb, magasabb házainak homlokzata a járdához ér, a sétány aszfalttal borított. A Körönd és a Dózsa György út közötti alacsonyabb házak a járdától messzebb vannak, a sétány itt vízáteresztő kockakővel burkolt.



21.ábra: A 2. és 3. szakasz fáinak faj- és fajtaösszetétele
(Forrás: Főkert NZrt. Fakataszteri adatbázis)

3.2. A vizsgálatok során végzett megfigyelések, mérések és az alkalmazott műszerek bemutatása

A fasor vizsgálata során 2011 tavaszától 2012 őszéig az alábbi megfigyeléseket és műszeres méréseket végeztük:

- megfigyelések
 - kihajtás időpontja
 - lombhullás menete
 - vízhiány okozta lombkárosodás
- műszeres mérések:
 - fotoszintetikus aktivitás mérése LCI készülékkel
 - a levélfelületi index (LAI) mérése AccuPAR készülékkel
 - a páratartalom és a hőmérséklet mérése
 - a levelek nedvesség- és száraanyagtartalmának vizsgálata

3.2.1. A megfigyelések módszere

A kihajtás megfigyelése

A megfigyelések során a növények kihajtásának és hajtásfejlődésének menetét 2011 áprilisától június közepéig dekádonként figyeltük meg. A megfigyelések eredményét táblázatban rögzítettem. A 2012. évben külföldi gyakorlatom miatt lényegesen kevesebb megfigyelésre nyílt alkalmam.

A vízhiány tünetének felvételezése

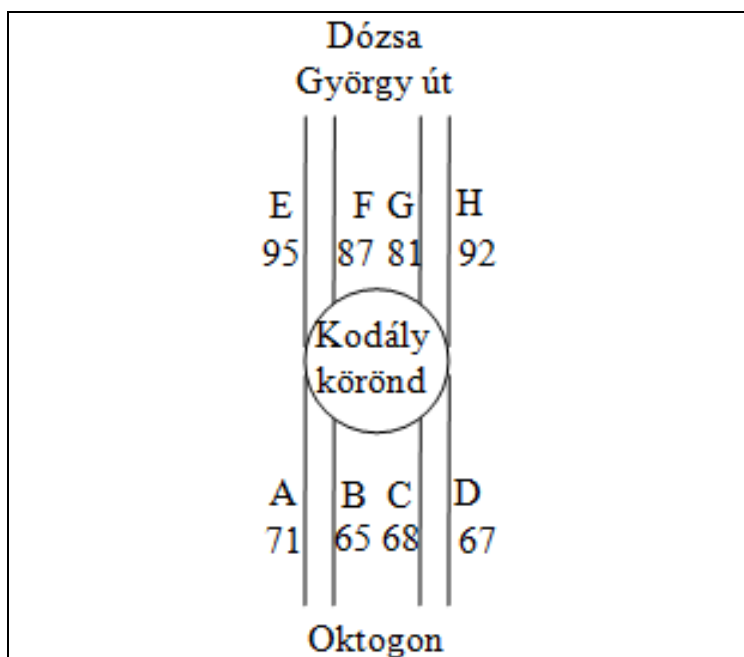
2011 és 2012 őszén felvételeztük a vízhiány tüneteit. Mindkét évet csapadékszegénység és nagy meleg jellemezte. 2011-ben július 1-től szeptember 30-ig a Budapest belterületén mért adatok szerint 86,7 mm, 2012-ben ugyanebben az időszakban 72,6 mm csapadék hullott. Az előbbi évben 26 napon emelkedett 30 °C fölé a hőmérséklet, az utóbbi évben 36 napon (OMSZ adatsorok, 2011-2012). Ilyen körülmények között a fák fokozott párologtatásra kényszerültek, ami a lombzat károsodásában (a levélszél beszáradása, esetleg lombvesztés) is megmutatkozott. A fákat a lombzatot ért károsodás alapján öt kategóriába sorolva bonitáltuk:

- ép: nem látható károsodás
- alig károsodott: a lomkorona külső felületének maximum 2 négyzetméteres felületén láthatóak beszáradt szélű levelek
- közepes mértékű károsodás: a korona külső felületén nagyobb területen látható a károsodás – jellemzően azon az oldalon, ahol a napsütés hosszabb ideig éri
- minden levél károsodott
- lombtalan: a károsodás mértéke a lombzat szinte teljes elvesztését eredményezte.

A fasort a 22. ábra szerint részekre osztottuk, és az eredményt az összes, a vizsgált faj példányának számához viszonyítva, százalékban kifejezve diagramon ábrázoltuk.

Az őszi lombhullás menetének megfigyelése

Az őszi lombhullás menetének nyomon követése céljából 2011. november 17-én és 25-én számoltuk meg azokat a fákat, melyek lombjukat teljesen elvesztették. A kapott számokat a vízhiány miatt bekövetkezett károsodás vizsgálatához hasonlóan, az ott alkalmazott területi felosztás szerint (22. ábra) százalékban fejeztük ki és diagramon ábrázoltuk.



22. ábra: A fasor felosztása az egyes részek egyedszámaival

3.2.2. A műszeres mérések eszközeinek bemutatása

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 (23. ábra). Cserélhető akkumulátora 10 órán át képes folyamatosan üzemeltetni a készüléket. A csipesz feje a különböző méréseknek megfelelően cserélhető (BioScientific Ltd, 2004).



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

Az eszköz használata során a vizsgálandó növényi részt (esetünkben levelet) a készülék küvetájába kell helyezni, majd megvárni, hogy a kamrában ezáltal megváltozott levegő paramétereit a készülék megmérje (24-25. 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.



24-25. 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 fotoszintetikusán aktív sugárzást is méri. Ezekből az adatokból kiszámítja a

fotoszintetikus rátát, a transzspirációs rátát és a sztómakonduktanciát. A készülék összesen 35 paramétert mér (Bacsó, 2010; Tóth, 2011; BioScientific Ltd, 2004).

A mért paraméterek közül vizsgálatunk során a következőket használtuk fel:

- fotoszintetikusan aktív besugárzás (PAR)
- levélfelszínnek hőmérséklete
- sztómakonduktancia
- transzspiráció
- nettó CO₂ megkötés

Az AccuPAR működésének bemutatása

A levélfelület-index (LAI= LeafArea Index) lombhullató fák esetében az egységnyi (a növény alatti) talajfelületre jutó zöld levélfelületet jelenti. Mérését az AccuPAR készülékkel végeztük, mely szenzoraival 400 és 700 nm közötti hullámhossz tartományba eső sugárzásértékeket mér 0-3000 mmol/m²·s értékek között. A készülék így méri a fotoszintetikusan aktív sugárzást, valamint a méréseket a lombkorona szintje fölött, majd alatta elvégezve kiszámítja a levélfelület-indexet. A levelek a nap sugárzását elnyelve biztosítanak energiát a fotoszintézishez (Tóth, 2011.; Gyevis, 2011).

3.2.3. A mérések ideje, kivitelezésük és értékelésük módszere

Az Andrássy úton a 2011-es 2012-es években három napon (2011. augusztus 3., 2011. szeptember 28. és 2012. augusztus 9.) végeztünk műszeres méréseket. A kiválasztott fák az Andrássy út páratlan oldalán, a Kodály körönd és a Bajza utca közötti szakaszon állnak, a Körönd felől számolva a sétány és a főút pálya felőli sor első három fája, valamint a szervízút felőli második és harmadik fa. A Főkert NZrt. fakataszteri adatbázis-számozása szerinti azonosítójuk (szakaszszám/oldal/sorszám): 06AND12/1/2-3; 06AND12/3/1-3.

A hőmérséklet és a páratartalom mérése

2011. augusztus 3-án lehetőségünk volt meteorológiai hőmérő használatára is. A méréseket az LCI készülékkel végzett mérésekhez hasonlóan két óránként, reggel hat órától végeztük, az utolsó mérés este hat órakor indult. A hőmérsékletet és a páratartalmat hat helyen: a szervízút felett, a főút pálya közepén, a lombkorona alatt gyepsáv és a sétány burkolata felett, a lombkoronaszinten a koronában és a koronán kívül mértük (26. ábra). A kapott adatokat grafikonon ábrázoltuk.



26. ábra: Hőmérséklet és páratartalom mérése a lombkoronában (Fotó: Szaller Vilmos, 2011.)

A fotoszintézis paramétereinek mérése LCI készülékkel

A fotoszintézis paramétereit hordozható LCI készülékkel mértük. A fák lombkoronájának magassága miatt a mérés csak a Főkert NZrt. által biztosított emelőkosaras gépkocsi használatával volt lehetséges (27. ábra). Az augusztusi méréseket mindkét esetben reggel hat órától este nyolc óráig, a szeptemberi mérést pedig reggel nyolc és este hat óra között végeztük. A méréssort két óránként ismételtük ugyanazon öt fa 7-7 levélkéjén. A méréssoronként kapott értékek átlagát kiszámítva a mért értékek napi menetét grafikonon ábrázoltuk.



27. ábra: Mérés emelőkosaras autó segítségével (Fotó: Szaller Vilmos, 2011.)

A levélfelület-index mérése AccuPar készülékkel

A kijelölt öt fa levélfelület-indexét AccuPar készülékkel 2012 áprilisától szeptemberéig havi rendszerességgel, minden alkalommal 13 órakor mértük. A készülékkel minden fa esetében öt-öt mérést végeztünk: először közvetlen napfényen, majd a fa árnyékában. Az így mért öt-öt érték átlagát a készülék elmentette, majd a különbségből kiszámította a levélfelületi index értékét. A mérésoronként kapott öt levélfelületi-index értéket átlagoltam, majd grafikonon ábrázoltuk.

A levéltömeg vizsgálat

A vizsgálat két évének őszén a műszeres vizsgálatokra kijelölt öt fáról tíz-tíz levelet gyűjtöttünk, majd megmértük ezek friss és száraz tömegét. A mérések különbségeit oszlopdiagramon ábrázoltuk.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A megfigyelések és a műszeres mérések és eredményeit az alábbiakban összegzem:

4.1. A kihajtás menetének megfigyelése

A kihajtás megfigyelését szemrevételezéssel végeztem. A látottakat a 3-4. táblázatban foglaltam össze.

2011-ben a lomblevelek április II. dekádjától kezdve jelentek meg. Ugyanezen hónap III. dekádjában általában az összes rügy kihajtott, de az Oktogon és a Kodály körönd közti szakaszon azt tapasztaltuk, hogy a fiatalabb fák egy részénél rügyeiknek csak alig több, mint a fele hajtott ki. Május I. dekádjában a levelek többsége a fasor teljes hosszúságában elérte végleges méretét, a hónap közepére pedig kialakult a fajra és fajtára jellemző színük is (3. táblázat).

3. táblázat: A kihajtás menetének megfigyelése 2011-ben

Megfigyelés időpontja	AZ Oktogon és a Kodály körönd közötti szakasz fái	Kodály körönd-Dózsa Gy. út
Április I. dekádja	A fák virágoztak, a lomblevelek csupán egy fán jelentek meg.	A fák virágoztak, a lomblevelek egyetlen fán sem jelentek meg.
Április II. dekádja	A fákon már megjelentek az első levelek.	
Április III. dekádja	A fák összes rügye kihajtott, kivéve a páros oldal fővonal felőli sorát. Itt a kihajtás vontatottabb volt, a rügyeknek körülbelül a 60 %-a hajtott ki.	Az összes rügy kihajtott, az állomány néhány kivételtől eltekintve egységes képet mutatott.
Május I. dekádja	A levelek többsége elérte végleges méretét.	
Május II. dekádja	A levelek elérték végleges méretüket, valamint kialakult a fajra és fajtára jellemző színük.	

2012. március közepén az Oktogon és a Körönd közti szakaszon az idősebb fákon már kezdtek megjelenni a virágok, a hónap végére pedig az összes fa virágzott. Április első dekádjában néhány példányon (többnyire az idősebbeken) megjelentek a lomblevelek is. A hónap végére az összes rügy nagyjából egyenletesen kihajtott, de mindkét szakasz fáinak a 15 %-ánál a rügyek nagy részét még éppen csak a rügypattanás utáni állapotában találtuk. Május közepére a levelek ebben az esztendőben is elérték végleges méretüket, valamint színüket (4. táblázat).

4. táblázat: A kihajtás menetének megfigyelése 2012-ben

Megfigyelés időpontja	AZ Oktogon és a Körönd közötti szakasz fái	Körönd-Dózsa Gy. út
Március II. dekádja	Az idősebb fákon kezdenek megjelenni a virágok.	A fák még nem virágoztak.
Március III. dekádja	Az összes fán megjelentek a virágok.	
Április I. dekádja	A fák virágoztak, a lomblevelek néhány fán már megjelentek (többnyire az idősebb példányokon).	A fák virágoztak, a lomblevelek egyetlen fán sem jelentek meg.
Április III. dekádja	Az összes rügy kihajtott, a fák körülbelül 15 %-a azonban még éppen csak a rügypattanás utáni állapotot mutatja.	
Május II. dekádja	A levelek elérték végleges méretüket, valamint kialakult a fajra és fajtára jellemző színük.	

A két év megfigyelései során látottakat összehasonlítva elmondhatjuk, hogy a kihajtás időpontját tekintve az egész állományban jelentős különbséget nem tapasztaltunk. Meglepő volt viszont, hogy az első évben egyenletes képet mutató Körönd és a Dózsa György út közötti szakasz fái 2012-ben már nem mutattak teljesen egységes képet.

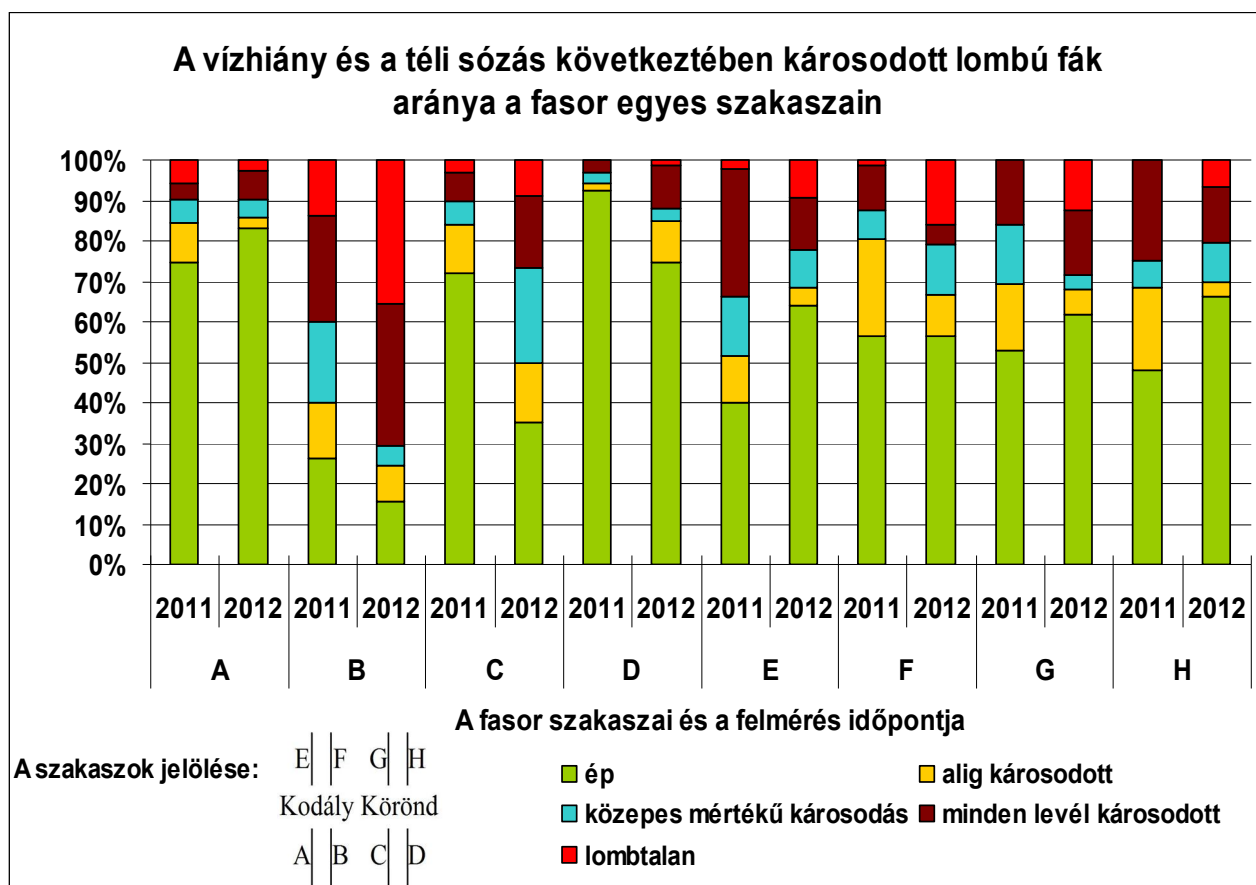
4.2. A vízhiány tüneteinek felvételezése

A felvételezés során a rendkívül aszályos 2011. és 2012. években bekövetkezett lombkárosodást figyeltük meg. Ehhez a fasort az Anyag és módszer fejezet 22. ábráján látható módon nyolc egységre osztottuk, és a károsodás mértékének megfelelően az említett fejezetben meghatározott csoportokba soroltuk. A bonitálás eredményét a 27. ábrán szemléltetem.

A vízhiány miatt bekövetkezett lombkárosodás mértéke mindkét évben a B jelű szakaszon, azaz az Oktogon és a Kodály körönd közötti szakasz páros oldalának fővonal felőli során volt a legjelentősebb. Ennek oka valószínűleg az, hogy ezt a részt elhelyezkedése miatt már kora reggeltől egészen a késő délutáni órákig süti a nap, valamint a zárt és úthoz közeli házsor hatásaként a levegő is jobban felmelegedhet, mint a Kodály körönd és a Dózsa György út közötti szakaszon.

A rendkívül aszályos 2012. évben az északi oldalon található A és E részek kivételével mindegyik részről elmondható, hogy a kár mértéke jelentősen meghaladta az előző évit. Szembetűnő továbbá, hogy a kisebb mértékű sugárzásnak kitett A és D részeken, azaz az Oktogon és a Kodály körönd közti szakasz fővonalától távolibb fáin mindkét évben jóval kisebb volt a károsodás foka, mint az összes többi részen. Ez feltehetőleg az ott található magasabb épületek és a

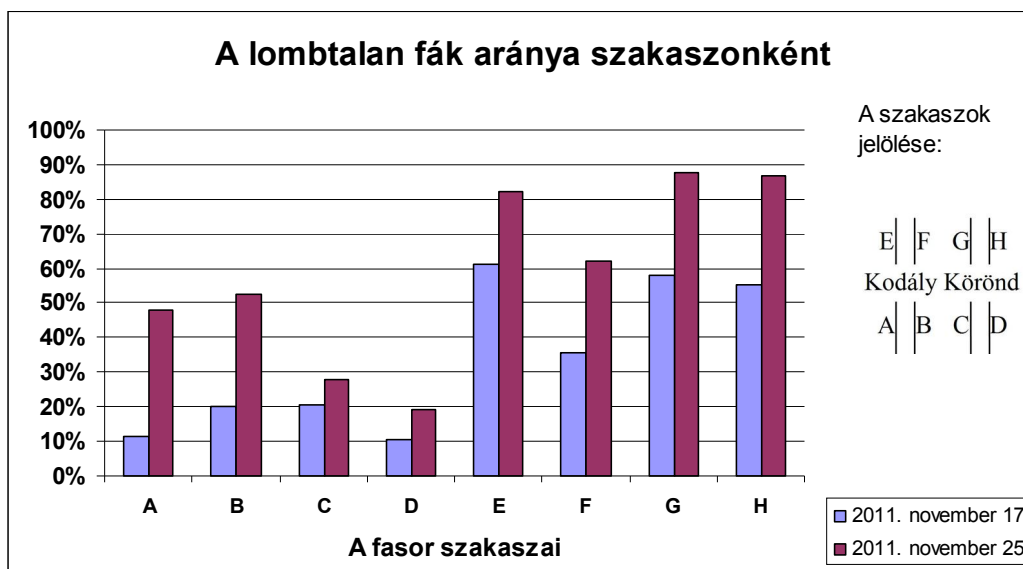
szomszédos sorok árnyékoló hatásának köszönhető. Az épületek különböző mértékű árnyékolása miatt határozottan nem jelenthetjük ki, hogy az Oktogon és Körönd közötti, nagyrészt *Fraxinus excelsior* alapfajjal beültetett szakasz, vagy a Dózsa György útig terjedő *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' fajta példányai tűrik-e jobban a városokban oly sokszor előforduló nagy meleggel társuló vízhiányt.



27. ábra: A vízhiány okozta lombkárosodás útszakaszonként és évenként ábrázolva

4.3. A lombohullás menetének megfigyelése

A lombhullás menetének 2011. évi megfigyelése során azt tapasztaltuk, hogy a *Fraxinus excelsior* alapfajjal beültetett részek fájának november közepéig kevesebb, mint 20 %-a vesztette el teljes lombtömegét, míg a *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' fajtaival beültetett szakasz fájánál ez az arány összességében 45 % feletti volt. Hasonlóan nagy különbséget észleltünk a hónap végén végzett felvételezésünk során is. Ekkor az előbbi részeken a lombtalan fák aránya csupán 20, illetve 40 % körüli volt, az utóbbi szakaszon viszont az egyik részen a 60 %-ot, a másik három rész esetében pedig a 80 %-ot is meghaladta (28. ábra). A teljes lombvesztés az egész állomány esetében egy december eleji, erősen szeles napon következett be. Az Oktogon és a Kodály körönd közti keskenyebb szakasz fájának őszi lombhullását feltehetően a házak melegítő hatása lassítja.



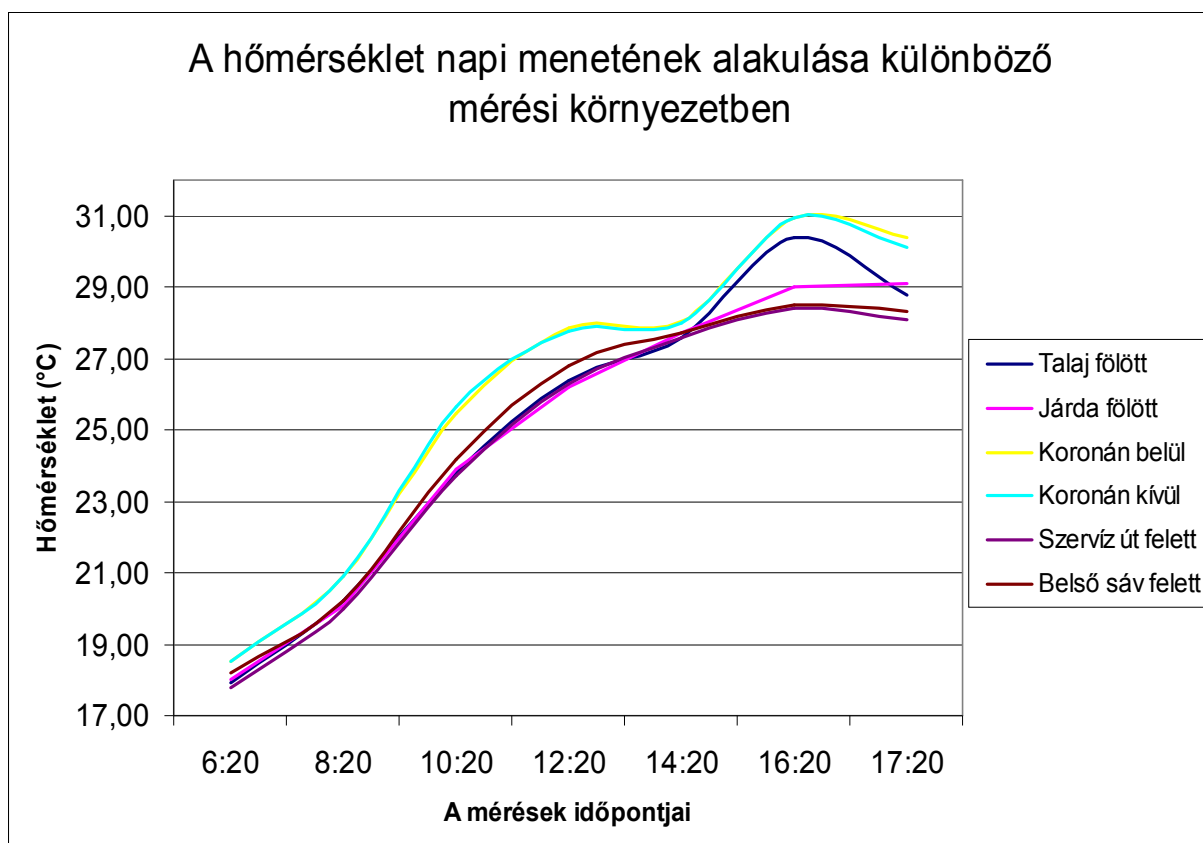
28. ábra: A lombhullás megfigyelésének eredménye

4.4. A hőmérséklet és a páratartalom alakulása 2011. augusztus 3-án

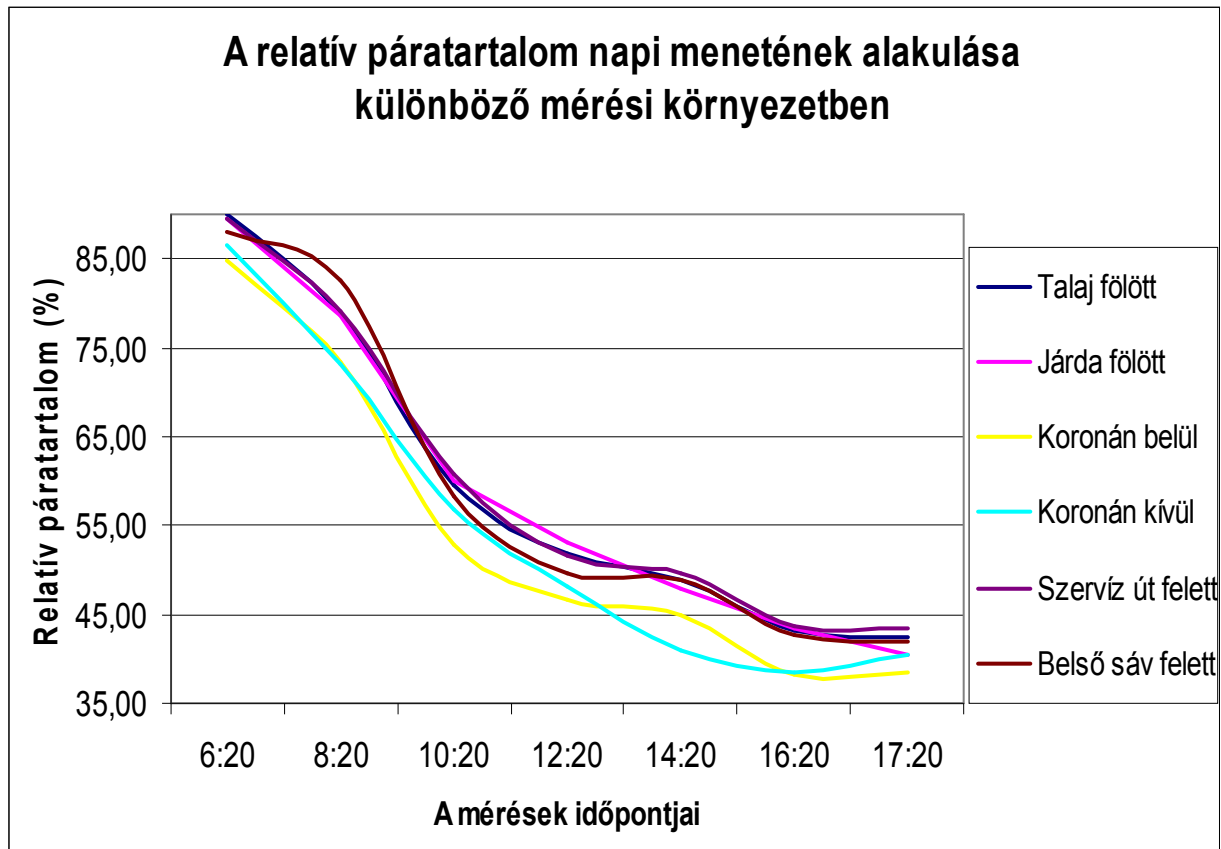
Az LCi készülékkel végzett mérések eredményeinek értékelése során fontos a környezet hőmérsékletének és páratartalmának ismerete, valamint a különböző környezetben végzett mérések közti különbséget is szemléltetni kívántuk. Meglepő módon azonban a jelentkező kisebb különbségek is több tekintetben ellentmondtak várakozásainknak, mivel a lombkorona szintjében mért hőmérsékleti értékek magasabbak, a relatív páratartalom értékei pedig alacsonyabbak voltak az aszfalttal borított fővonal felett két méteres magasságban mért értékeknél. A talaj felett végzett mérések eredményeiben sem tapasztaltunk jelentős eltérést a burkolt területek felett mért értékekhez képest.

Jól látható viszont, hogy kisebb felhőborítottság hatására a relatív páratartalom folyamatos csökkenése a délután folyamán megáll, és a 14 óra 20 perckor mért adatok értékei általában szinte azonosak az azt megelőző mérések értékeivel. A hőmérséklet kismértékű csökkenését ugyanekkor csak a lombkoronaszinten tapasztaltuk. Az aszfalttal borított területek feletti levegőnél ezt a hőmérsékletcsökkenést a felületekből sugárzó hő miatt nem észleltük (29-30. ábra).

Ezek az eredmények vélhetően abból adódtak, hogy a két ház sor közti nagyjából 50 méter széles úton a fákkal, cserjékkel beültetett és füvesített sétány, valamint az aszfalttal burkolt úttestek a hőmérséklet és a páratartalom alakulása szempontjából inkább egy egységet, mint külön mikroklimákat alkotnak. A felhősebb időszakban a lombkoronaszinten mérhető alacsonyabb hőmérséklet viszont igazolja azt, hogy a fák párologatásukkal környezetüket is hűtik. Ez a hatás borult időben feltehetőleg azért jelentkezett az előbb említett egységben önállóan, mert ekkor a felmelegedett aszfaltfelületek még sugározták környezetüknek az általuk tárolt hőt, a fák lombkoronájában viszont a levelek több hőt vontak el környezetüktől, mert a párologtatás hűtő hatásának nem a levelek napsugárzás miatti felforrósodását kellett ellensúlyoznia.



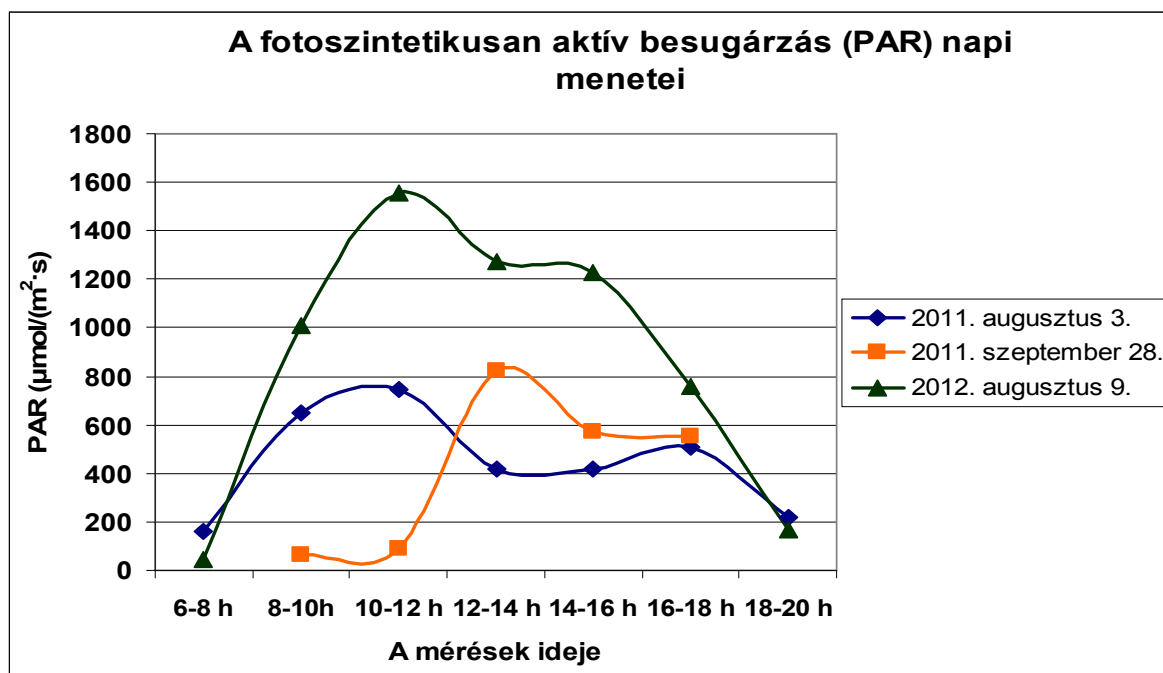
29. ábra: A hőmérséklet alakulása a 2011 augusztusában végzett mérőssor idején



30. ábra: A relatív páratartalom napi menetének alakulása 2011. augusztus 3-án

4.5. A fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) napi menetének alakulása

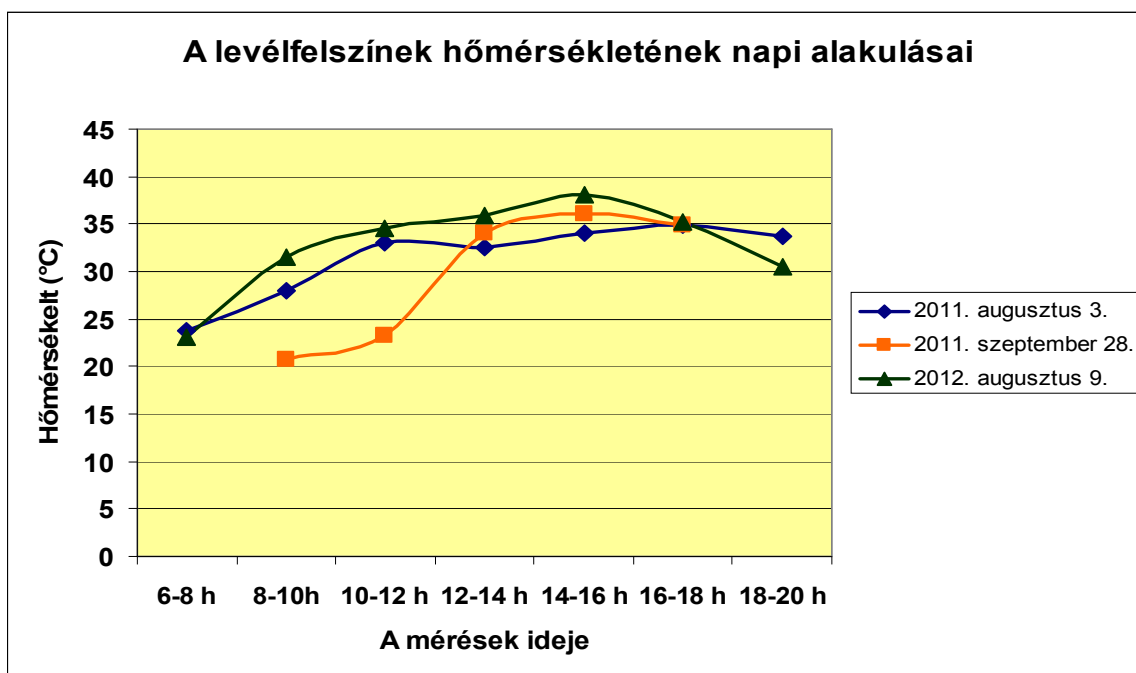
A PAR értékek, azaz a növény számára hasznosítható sugárzás mért értékeinek napi meneteit ábrázolva a legszabályosabb görbét a 2012 nyarán végzett mérések napján láttuk. Ebben az évben a sugárzás átlagértéke is jóval magasabb volt a 2011. évinél, mely meteorológiai szempontból és növényalkalmazási szempontból is figyelembe veendő, abban az esetben, ha ez a növekedés évről évre hasonló tendenciát mutat. A többszöri felhőátmenetek miatt a 2011 nyarán végzett mérés során a 12 és 16 óra közötti időszakban a vártnál alacsonyabb értékeket mértünk. 2011 szeptemberében szintén felhősödés miatt kaptunk igen alacsony értéket 8 és 12 óra között (31. ábra).



31. ábra: A PAR értékek napi menetének alakulása

4.6. A levélfelszín hőmérsékletének alakulása

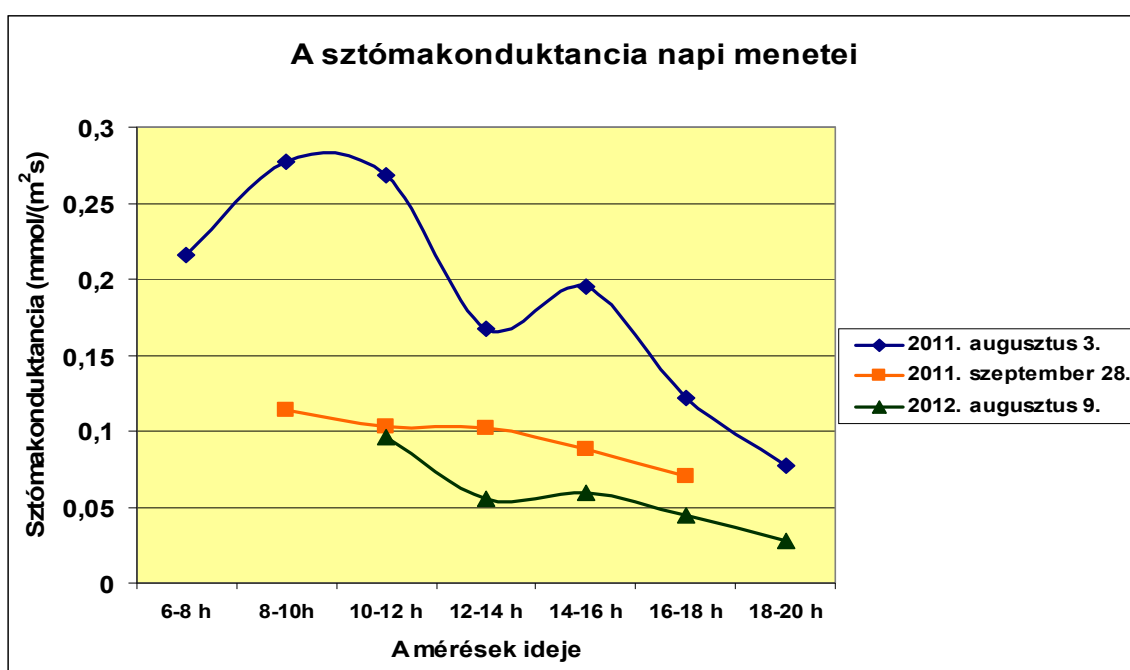
A levelek felszínén mért hőmérsékletek értékeinek napi menete jól láthatóan követi a fotoszintetikusan aktív besugárzás értékeinek alakulását: a 2012 nyarán végzett mérés esetében mutat egyenletességet, a másik két esetben a már említett felhőátmenetek hatása mutatkozik meg a mérések eredményeiben. Jól látható ezen kívül a forró nyári napok reggelei és a hűvösebb szeptemberi reggel közötti különbség is. A napsugárzás hatására mindhárom nap folyamán azt tapasztaltuk, hogy az egyes méréssorozatok során a levelek felszíni hőmérsékletének átlaga tartósan 30 °C feletti volt, sőt olykor a 35 °C-ot is meghaladta (32. ábra). 2012 nyarán 40 °C feletti értékeket is mértünk.



32. ábra: A levelek felszínének hőmérséklete

4.7. A sztómakonduktancia napi menete

A sztómakonduktancia, azaz a gázcsere nyílások működésének napi menete egyik esetben sem követte a levélfelszín hőmérsékleti értékeinek menetét. A 2011 nyarán mért értékeken megfigyelhető a sztómák nyitódásának és záródásának napi menete: a reggeli óráktól fokozatosan nyílnak, majd a déli melegben jelentős mértékben zárnak. Naplementével a sztómakonduktancia egyenletesen csökken. Feltehetően hasonló jelenség játszódhatott le a 2012. augusztusi mérés napján is. 2011 őszén a mérések során fokozatos záródást tapasztaltunk (33. ábra).

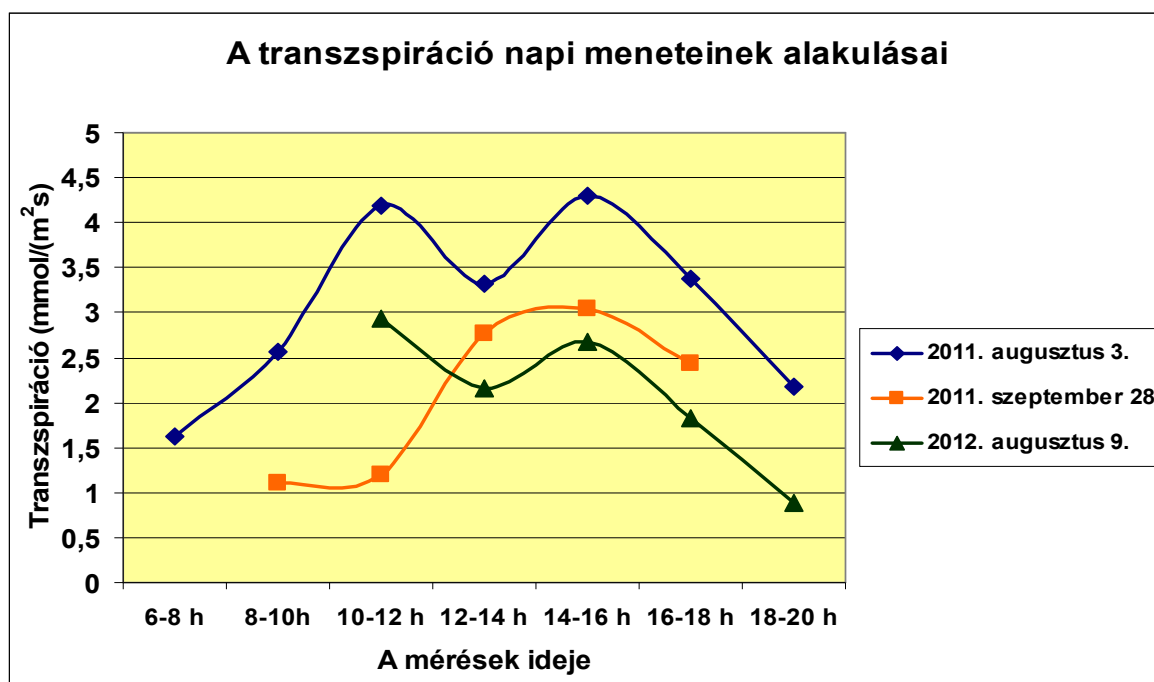


33. ábra: A sztómakonduktancia napi menete

4.8. A transzspiráció napi menetének megfigyelése

A transzspiráció, vagyis a párologtatás menetében mindhárom mérés során a reggeli óráktól kezdve emelkedő, majd a délután folyamán csökkenő értékeket mértünk. A sztómakonduktancia napi menetét követve mindkét év augusztusában jelentős visszaesést tapasztaltunk a melegebb órákban. Ennek oka az, hogy a növények így csökkentik a vízvesztést. A déli melegben tapasztalt párologtatás feltehetően a növények hűtését szolgálta. Ennek egy része nem sztómán keresztüli párologtatás volt. Az őszi mérés során ilyen jelenséget nem észleltünk, a transzspiráció ekkor a levélfelszín hőmérsékletéhez és a PAR értékekhez hasonlóan jelentős közbenső visszaesés vagy növekedés nélkül változott, mivel itt már nem volt szükség a levelek hűtésére: a 14-16 óra közötti időszakig növekedett, majd csökkent (34. ábra).

A 2011. augusztusi adatokat alapul véve kiszámoltuk, hogy 1 m² levélfelület reggel hat órától este nyolc óráig körülbelül 2,79 l vizet párologtatott el. Ezzel a lombzat amellet, hogy emelte a levegő páratartalmát, 6,85 MJ energia elvonásával járult hozzá önmaga és a környezet hűtéséhez.



34. ábra: A párologtatás napi meneteinek alakulása

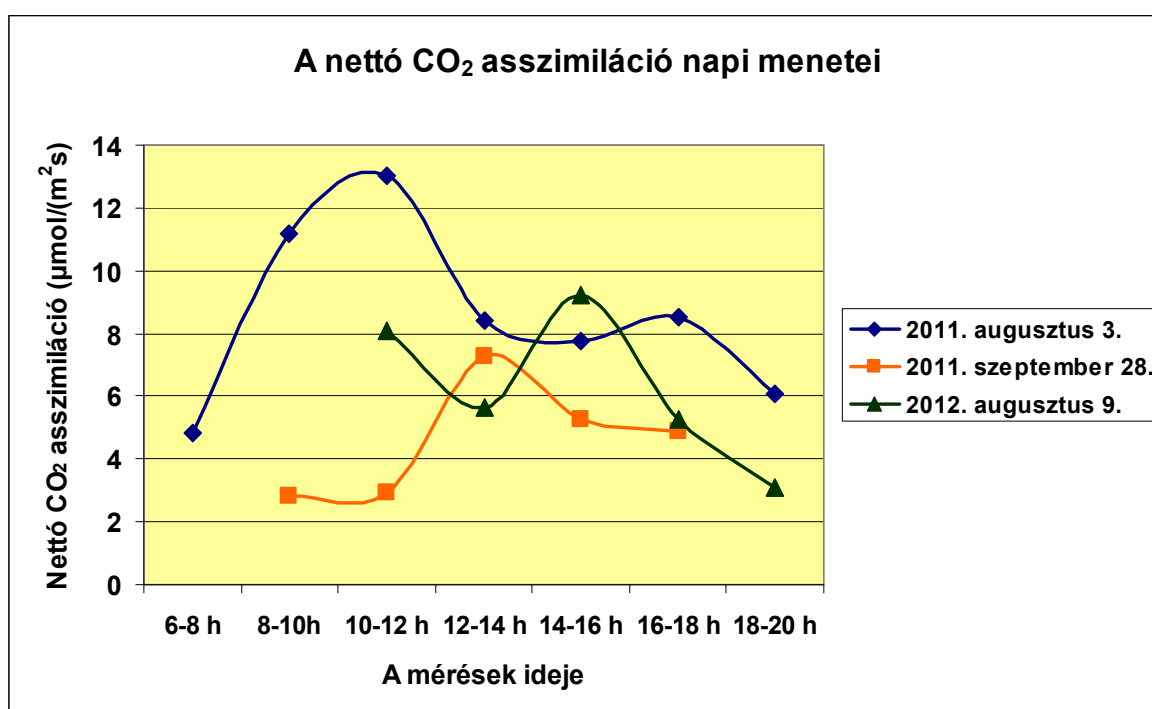
4.9. A nettó CO₂ asszimiláció menete

A nettó szén-dioxid asszimiláció napi menete mindhárom napon nagyjából követi a transzspiráció alakulása során tapasztaltakat. A transzspirációnál észleltnél nagyobb emelkedést tapasztaltunk azonban 2012-ben a melegebb órákban történő visszaesés után. 2011 nyarán ez a jelenség valószínűleg az akkori alacsonyabb fotoszintetikus besugárzás miatt maradt el, valamint

ugyancsak az alacsony PAR értékek miatt 2011 őszén a délelőtti órákban is alacsony szén-dioxid asszimilációs értékeket mértünk (35. ábra).

A transzspiráció méréséhez hasonlóan itt is a 2011. augusztus 3-i mérőssor adataiból számítottuk ki a reggel hat és este nyolc óra között elnyelt CO₂ mennyiségét. A számítás szerint ez alatt az időtartam alatt a fák 1 m² levélfelületen 18,95 g CO₂-t használtak fel.

A nettó CO₂ asszimiláció és a transzspiráció hányadosaként számítható a növények vízhasznosulási együtthatója, melyet g_{CO₂}/kg_{H₂O} mértékegységben adnak meg. Ezen a napon a vizsgált fák vízhasznosulási együtthatója a napi összes transzspirációjuk és CO₂ asszimilációjuk alapján 6,79 g_{CO₂}/kg_{H₂O} volt. Tehát a mérés idején egy fa 1 kg víz elpárologtatása során átlagosan 6,79 g CO₂-t asszimilált.

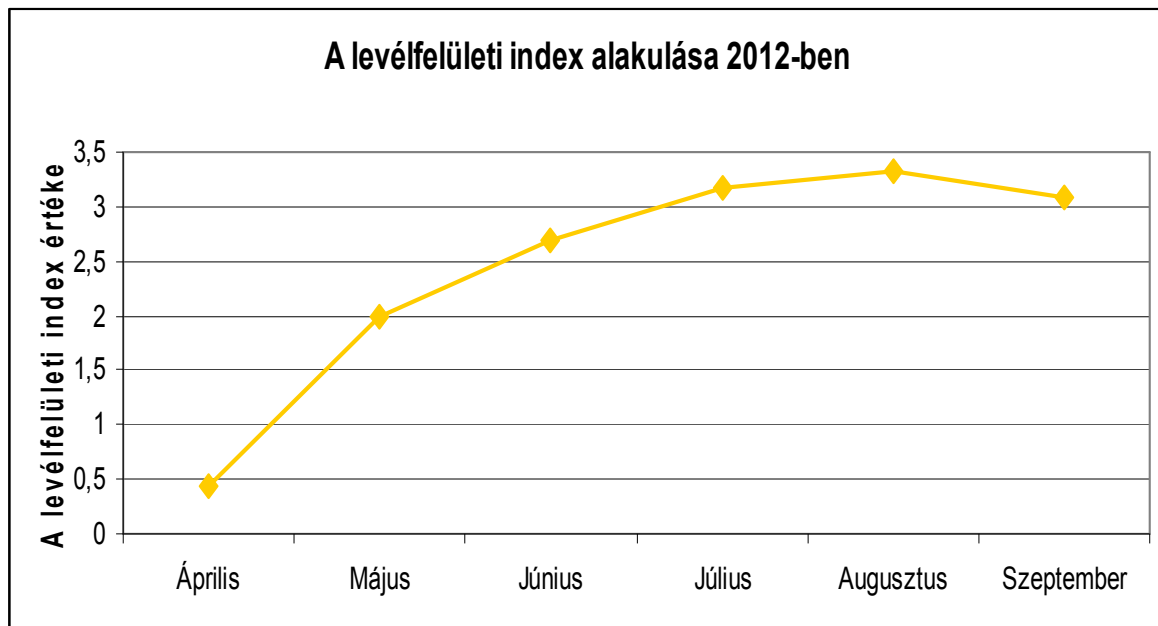


35. ábra: A nettó-széndioxid elnyelés alakulása

4.10. A levélfelületi index mérésének eredményei

A levélfelületi index (LAI=Leaf Area Index) mérési adatokból nyomon követhető a lombkorona növekedésének üteme, beleértve a levelek kihajtását és az új hajtások fejlődését is. A mért értékek megmutatják, hogy a talajfelszín egy négyzetméteréhez hány négyzetméternyi levélfelület tartozik. Az áprilisi mérés során kapott eredmény természetesen a fás elemek árnyékoló hatásából származik. A májusig tartó legintenzívebb lombnövekedés után a nyár folyamán a már teljes méretüket elért levelek mellett az új hajtások növekedése miatt nőtt a levélfelületi index. A mért adatok alapján a fák átlagos levélfelületi indexe megközelítette a 3,5-es értéket. A szeptemberi

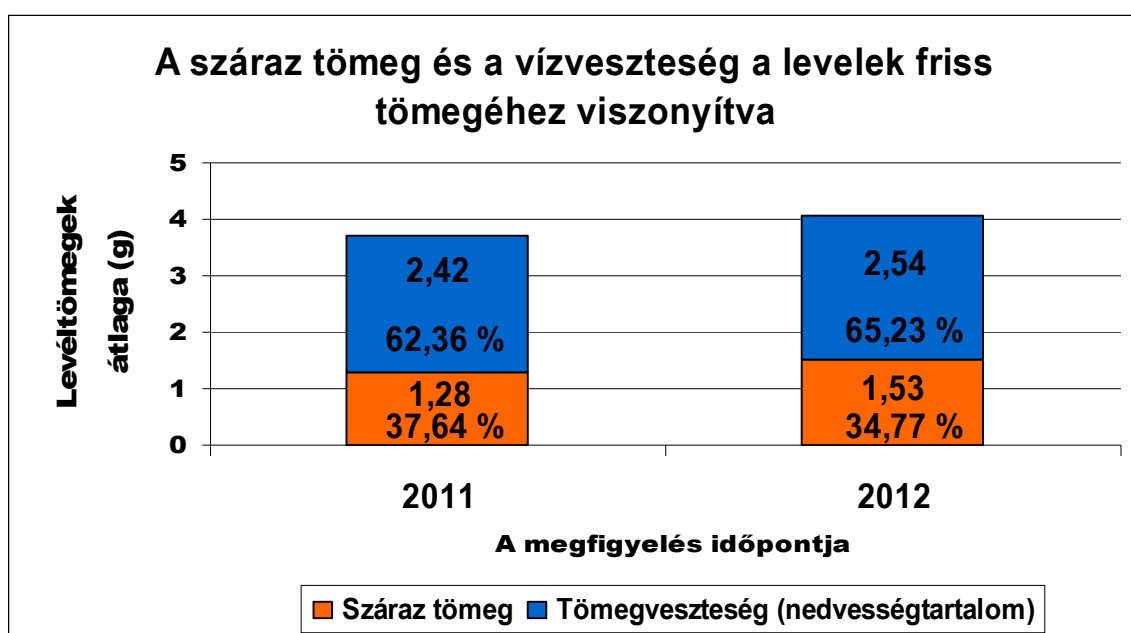
csökkenés nagy valószínűséggel a nyári vízhiány és a szennyezett környezet együttes hatásának következménye (36. ábra).



36. ábra: A levélfelületi index értékeinek alakulása 2012-ben

4.11. A levelek nedvesség- és szárazanyagtartalmának mérése

A levelek friss súlyához viszonyítva jelentős különbséget nem észleltünk a két év eredményei között. A 2012. évben a friss súlyhoz viszonyítva nem egészen 3 %-os nedvességtartalom növekedést tapasztaltunk. Ez valószínűleg a vizsgálatot megelőző csapadékos időjárás következménye (37. ábra).



37. ábra: A levelek nedvesség- és szárazanyagtartalma friss súlyukhoz viszonyítva

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A városfásítás előnyeinek és a fák városi környezetben történő alkalmazásának tekintetében az itt leírt felmérések tükrében természetesen még nem vonhatók le messzemenő következtetések, azonban néhány összefüggést a jelen adatsorok tükrében is megfogalmazhatunk.

A kihajtás és a lombhullás megfigyelése során azt tapasztaltuk, hogy a *Fraxinus excelsior* idősebb példányai korábban fakadnak, ugyanakkor korábban el is vesztik lombjukat. Tapasztalataink alapján a lombhullás folyamatának lassítására ható tényezőként említjük ezen kívül a lakosság általi hőkibocsátást. A lombozat károsodása egyértelműen azokon a részeken volt nagyobb, ahol a napsugárzás és a téli útsózás hatása erősebben jelentkezett, illetve a nagyfokú aszfaltborítás következtében rosszabb volt a fák talajának vízellátása. A téli útsózás és egyéb talajszennyezések elkerülésére jó védelemnek bizonyult a fák alatti cserjesor telepítése, valamint a vízáteresztő sétányburkolat pozitív hatását is megfigyeltük. Így ezek alkalmazását célszerűnek tartjuk a jövőbeni telepítések során.

A hőmérséklet és a relatív páratartalom mérése során a nap folyamán az 50 méter széles területen elhelyezkedő sétány zöldfelülete és az aszfaltozott területek vizsgálata során nem tapasztaltunk jelentős eltéréseket. Ez valószínűleg a különböző területek viszonylag kis méretével magyarázható, ahol a zöldfelületek klímajavító hatása a terület egészén viszonylag egységesen érvényesül. Ennek ellenére észleltük a gyakoribb felhőátmenetek időszakában a burkolt felületek hőtároló és sugárzó képességét, valamint a levélzet hőmérsékletcsökkentő hatását.

Az LCi készülékkel a fák élettani paramétereit: a fotoszintetikusan aktív sugárzást, a levélfelszín hőmérsékletét, a sztómakonduktanciát, a transzspirációt és a CO₂ asszimilációt mértük. A mért értékek napi menetét a külső környezeti tényezők függvényében is vizsgáltuk, valamint összefüggést kerestünk a mért paraméterek között is. Az összehasonlítás során megállapítottuk, hogy a vizsgált élettani mutatók napi menete az irodalmakban leírtak szerint alakult: tehát a sztómakonduktancia, a transzspiráció és a CO₂ asszimiláció értékei a délelőtti folyamán és koradélután emelkedtek, majd késő délután csökkentek. A melegebb augusztusi napokon a nap delelésének idején a párologtatás csökkentésének érdekében a gázcserenyílások záródtak. 2011-ben kisebb mértékű felhősödések miatt mindkét mérőssor alkalmával megjelent a fotoszintetikusan aktív sugárzás csökkenésének a hatása is.

A magas levélfelületi hőmérsékletből és a transzspirációs értékekből kitűnik a városi környezet néhány, a növények életére gyakorolt negatív hatása is: a magas hőmérséklet és a részben ennek folyamán kialakuló légköri aszály. A 2012-ben végzett mérőssor esetében az egy évvel korábbi értékeknél lényegesen kisebb sztómakonduktanciát, transzspirációt és CO₂ asszimilációt tapasztaltunk. Ennek oka valószínűleg a 2012. év rendkívül meleg és csapadékszegény nyara volt.

Fontosnak tartjuk megemlíteni továbbá a fotoszintetikus aktivitás 2012 augusztusában mért igen magas értékeket. Amennyiben a következő években is hasonló mértékű lesz a sugárzás, azt meteorológiai és a növényalkalmazási szempontból is figyelembe kell venni.

Az így mért értékek alapján kiszámítottuk, hogy a 2011. augusztus 3-i mérések átlagai alapján aznap a fák 1 m² levélfelületen 2,79 l vizet párologtatnak el és 18,95 g CO₂-t asszimiláltak. Ennek alapján számított vízhasznosítási együtthatójuk pedig 6,79 g_{CO₂}/kg_{H₂O} volt. Az ezen a napon 1 m² levélfelületen elpárologtatott víz mennyisége környezetétől körülbelül 6,85 MJ energiát vont el. A növényzet szerepe tehát mind a hőmérséklet csökkentésében, mind a kibocsátott széndioxid megkötésében nélkülözhetetlen.

A levélfelületi index mérésének során 2012 áprilisától szeptemberig nyomon követtük a lombzat fejlődésének ütemét. Az AccuPAR készülékkel végzett mérések eredménye alapján a vizsgált fák lombfelülete az alattuk lévő talajfelszín csaknem 3,5-szeresét érte el, de ez az érték szeptember hónapra csökkent. Ez a hatalmas levélfelület rendkívül fontos szerepet tölt be a városi környezet élhetővé tételében. Ugyanakkor a lombtömeg csökkenése is felhívja a figyelmet arra, hogy a jelenlegi városi körülmények biztosította életfeltételek a növények számára milyen nagy mértékben kedvezőtlenek.

A levelek szárazanyag- és víztartalmának vizsgálatakor a két év eredményei között csak csekély különbséget tapasztaltunk. A különbség oka feltehetően csupán a begyűjtést megelőző időszakok időjárásának kismértékű eltérése. Nagyobb különbséget valószínűleg azért nem tapasztaltunk, mert a levelek fejlődésének idején még elegendő csapadék hullott mindkét évben.

A megfigyeléseket összefoglalva elmondhatjuk tehát, hogy a városi klíma szabályozásában a növényzet szerepe elsőrendű, ugyanakkor a növényeken megfigyelhetők a számukra is mesterséges környezet negatív hatásai. A *Fraxinus excelsior* alapfaj és 'Westhof's Glorie' fajtája az irodalmak leírásainak megfelelően jó várostűrőnek bizonyult, így városfásításra történő alkalmazásukat a jövőben is ajánljuk. A kapott eredmények alapján történő összehasonlításukat viszont a különböző környezeti feltételek miatt nem tartanánk megalapozottnak.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az urbanizáció hatására a városi népesség száma egyre nő, ezért a városok egyre zsúfoltabbá válnak, így az ottani szennyezettség és a természettől eltávolodó környezet negatívumai egyre nagyobb méreteket öltve jelentkeznek. Ezeknek az enyhítésében a növényzet szerepe igen fontos, ugyanakkor a növények is az egyre mesterségesebbé váló élettér hatásának elszenvedői.

Célunk a városi környezeti feltételek bemutatása volt, ezen belül is a növények életfeltételire gyakorolt, valamint a növények városi környezetre kifejtett javító hatásának ismertetése a budapesti Andrásy úti fasor *Fraxinus excelsior* és *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' példányaiból ültetett szakaszain.

A 2011. és 2012. évben végzett vizsgálatok során fenológiai és károsodásokra vonatkozó megfigyeléseket és műszeres méréseket végeztünk. Ezek során nyomon követtük a fák kihajtásának menetét, a lombhullást és a lombzat légköri aszály okozta károsodását is. Műszeres méréseink során a napi hőmérséklet és páratartalom értékeit, a fotoszintetikus aktivitás paramétereit és a levélfelületi indexet mértük. Vizsgáltuk ezeken kívül a levelek nedvesség- és szárazanyagtartalmát is.

A kihajtás és a lombhullás megfigyelése során azt tapasztaltuk, hogy a *Fraxinus excelsior* idősebb példányai előbb hajtanak ki, ugyanakkor lombjukat is korábban veszítik el, mint a fiatalabbak. A lombhullást lassító tényezőként tapasztaltuk ugyanakkor a lakosság általi hőkibocsátást. A légköri aszály okozta károk egyértelműen azokon a szakaszokon jelentkeztek erősebben, ahol a növények nagyobb mértékű napsugárzásnak voltak kitéve, illetve ahol az aszfaltborítottság miatt talajuk vízellátása rosszabb volt.

A hőmérséklet és a páratartalom vizsgálata során a zöldfelületek és a mesterséges felületek közelében mért értékek közti eltérések általában nem voltak számottevők, de kaptunk a lombkorona párologtatásának hőmérsékletcsökkentő hatását igazoló eredményt is.

A fotoszintetikus aktivitást LCi készülékkel mértük. A kapott adatok alapján megfigyeltük a fotoszintetikusan aktív sugárzás, a levélfelszín hőmérsékletének, a sztómák működésének, valamint a transzspiráció és a vízhasznosítás napi meneteit, összefüggéseit. Szoros összefüggést tapasztaltunk a sztómák nyitottságának, valamint a transzspiráció és a CO₂ asszimilációja között: délelőtt és koradélután emelkedő, késő délután pedig csökkenő értékekkel. A környezeti tényezők módosító hatása is jól követhető volt az adatsorokon: a meleg nyári napokon a sztómák a nap delelésekor záródtak, majd újra nyitódtak, valamint a felhőátmenetek hatása is megmutatkozik a mért értékek csökkenésében. A 2011. augusztus 3-i mérőssor alapján meghatároztuk a reggel 6 óra és este nyolc óra közötti transzspiráció (2790 g/m²) és CO₂ asszimiláció (18,95 g/m²) értékét is. A 2790 g víz elpárologtatása 6,85 MJ energiát von el környezetétől.

Az AccuPAR készülékkel végzett mérések során figyelemmel kísértük a lombzat fejlődését. A levélfelületi index augusztusban a 3,5-es értéket is elérte, majd a városi körülmények kedvezőtlen hatása miatt ez az érték szeptemberre csökkent. A levelek nedvesség- és szőrazanyagtartalmának vizsgálata során a két év eredményei között nem tapasztaltunk számottevő különbséget.

Megfigyeléseink alapján a téli útsózás és egyéb talajszennyezések elkerülésére jó védelemnek bizonyult a fák alatti cserjesor telepítése, valamint a vízáteresztő sétányburkolat pozitív hatását is megfigyeltük. Így ezek alkalmazását célszerűnek tartjuk a jövőbeni telepítések során. Fontosnak tartjuk megemlíteni továbbá a fotoszintetikus aktivitás 2012 augusztusában mért igen magas értékeit. Amennyiben a következő években is hasonló mértékű lesz a sugárzás, azt meteorológiai és a növényalkalmazási szempontból is figyelembe kell venni.

A vizsgálatok eredményei alapján úgy gondolom, hogy a városban található növények igen nagymértékben hozzájárulnak az ember számára is élhetőbb környezet kialakításához. A növény számára az életfeltételek azonban a vizsgált károsodás, valamint a hőmérsékleti és páratartalom méréseinek tükrében egyáltalán nem mondható optimálisnak. A *Fraxinus excelsior* alapfaj és 'Westhof's Glorie' fajtája az irodalmak leírásainak megfelelően jó várostűrőnek bizonyult, így városfásításra történő alkalmazásukat a jövőben is ajánljuk. A kapott eredmények alapján történő összehasonlításukat viszont a különböző környezeti feltételek miatt nem tartanánk megalapozottnak.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik TDK dolgozatom elkészítésében segítségemre voltak. Mindenekelőtt tanszéki konzulenseimnek, Sütöriné dr. Diószegi Magdolnának, Forrai Mihálynak és dr. Hrotkó Károlynak, akik munkám során szakmai tanácsokkal láttak el, segítettek a mérések elvégzésében, az irodalom felkutatásában. A mérések elvégzésében nyújtott segítségéért köszönettel tartozom Tóth Endrének is.

Köszönöm a Főkert NZrt. dolgozóinak a mérések és megfigyelések során nyújtott segítségét, kiemelten Szaller Vilmosnak, külső konzulensemnek, aki nagyon sok információval látott el a kutatással és az ahhoz tartozó irodalommal kapcsolatban is. Valamint köszönöm családom és barátaim segítségét is, akik mindvégig segítettek és bátorítottak.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

1. ANDA A. 2010. A levegőszennyezés néhány időjárási vonatkozása. In ANDA A., KOCSIS T. (szerk.) 2010. Agrometeorológiai és klimatológiai ismeretek. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 354-367.: 361-363.
2. BACSÓ R. 2010. 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.
3. BALOGH P. I. 2004. A szabadterek szerepváltozása a nagy európai városmegújításokban. Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem Tájépítészet és Döntéstámogató Rendszerek Doktori Iskola. Doktori értekezés. pp 23- 25., 33.
4. BEAN, W. J. 1973. Trees and Shrubs. London. Buttler and Tanner Ltd. p 246.
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. COOMBES, A. J. 1993. Fák. Budapest. Panem Kft. p 227.
8. CSEH E. 1998. Vízforgalom. In: LÁNG F. (szerk.) 1998. Növényélettan. Budapest. ELTE Eötvös Kiadó. pp 21-62.: pp53-56.
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.: pp 500-501.
10. DÄSSLER H.-G. 1979. A légszennyezések hatása a növényzetre. Budapest. Mezőgazdasági Kiadó. pp 45-63.
11. DÉRY A. 2006. Budapest építészeti topográfia. 3. köt. Terézváros-Erzsébetváros VI.-VII. kerület. Budapest. Terc Kft. p 32.
12. FABÓ B. 1998. Építkezés a reprezentáció szolgálatában. In: GYÁNI G. (szerk.) 1998. Az egyesített főváros: Pest, Buda, Óbuda. Budapest. Városháza. pp 164-212.
13. FILEP GY. 1999. A talaj fizikai tulajdonságai. In: STEFANOVITS P., FILEP GY., FÜLEKY GY. 1999. Talajtan. pp 131-190.: pp 156-164.
14. FŐKERT Nonprofit Zrt. 2011. I-III. negyedéves Üzleti Jelentés. Budapest. p 5.
15. FŐKERT Nonprofit Zrt. Fakataszteri adatbázis. 2012. május 31.-i állapot szerint.
16. FÖLDEÁK J. 1954. A sugárút kiépülése. 1954. Kézirat. Budapest. In PREISICH G. 2004. Budapest városépítésének története. Budapest. Terc Kft. pp 175.

17. GÁRDONYI A. 1925. 50 esztendő Budapest székesfőváros történetéből. 1873-1923. Budapest. pp17-18. In PREISICH G. 2004. Budapest városépítésének története. Budapest. Terc Kft. p 172.
18. GENCSI L., VANCSURA R. 1997. Dendrológia. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 644-655.
19. GODET, J.-D. 1993. Fák és cserjék. Budapest. Officina Nova. p 32.
20. GYEVIKI M. 2011. Cseresznyeoltványok produktivitásának egyes tényezői. Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Doktori Iskola. Doktori Értekezés. pp 31-32.
21. HALÁSZ T. 2004. Tervezési irányelvek. In: SCHMIDT G., VARGA G. (szerk.) 2004. Famutató. Fásítási útmutató tervezéshez, kivitelezéshez és fenntartáshoz. Sopron. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Erdészeti Hivatalának támogatásával. Hillebrand Nyomda Kft. pp 93-136.: pp 129-130.
22. HARASZTY Á. 1978. Növénysszervezetten és növényélettan. Budapest. Tankönyvkiadó.
23. HATCH, L. C. 2007. Cultivars of Woody Plants. Raleigh, North Carolina. TCR Press. Vol. I. p 980.
24. HORA, B. 1981. The Oxford encyclopedia of trees of the World. Oxford University Press. Oxford.
25. ILLÉS N. 1885. A körutak fái Budapesten. In: Erdészeti Lapok. 23. évf. XI. pp 1077-1085.
26. JÁMBORNÉ BENCZÚR E. 2003. Ipari területek. In: SCHMIDT G. (szerk.) 2003. Növények a kertépítészetben. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 344-355.: 348-350.
27. JOHNSON, O., MORE, D. 2007. Európa fái. Budapest. Kossuth Kiadó. p 436.
28. KOVÁCS M. 1985. A nagyvárosok környezete. Budapest. Gondolat Könyvkiadó.
29. KRÜSSMANN, G. 1986. Manual of cultivated broad-leaved trees and shrubs. 2. köt. Oregon. Timber Press. pp 88-89.
30. MAYER, J., SCHWEGLER, H-W. 2002. Fák és cserjék határozókönyve. Kaposvár. Holló és Társa Kiadó. p 84.
31. MOLNÁR S., BARISKA M. 2006. Magyarország ipari fái. Budapest. Szaktudás Kiadó Ház. pp 131-133.
32. NAGY L. 2008. Városökológia. Budapest-Pécs. Dialóg Campus Kiadó. pp 109-114., 208.
33. NOVAK, 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.
34. OMSZ. 2011-2012. Hőmérsékleti és csapadék adatsorok.

35. PETHŐ M. 1998. A növényélettan lapjai. Budapest. Akadémiai Kiadó. pp 26., 45-59., 90-102.
36. PREISICH G. 2004. Budapest városépítésének története. Budapest. Terc Kft. pp 169-177., 236., 343.
37. RADÓ D. 1981. Fák a betonrengetegben. Budapest. Mezőgazdasági Kiadó. pp 40-55.
38. RADÓ D. 1983. Budapesti parkok és terek. Budapest. Magyar Nemzeti Galéria. pp 53-54.
39. RADÓ D. 2001. A növényzet szerepe a környezetvédelemben. Budapest. Levegő Munkacsoport. pp 22., 91.
40. SCHMIDT G. 1998. Rügyhatározó. Budapest. Mezőgazda Kiadó. p 68.
41. SCHMIDT G. 2003/a. Fás szárú dísznövények. In: SCHMIDT G. (szerk.) 2003. Növények a kertépítészetben. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 26-72.: 27., 32-34.
42. SCHMIDT G. 2003/b. A kert mint mesterséges növénytársulás. In: SCHMIDT G. (szerk.) 2003. Növények a kertépítészetben. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 113-176.: pp 159-160.
43. SCHMIDT G. 2006. Budapesti fák élete és halála. In: Budapest Folyóirat. 68. évf. 8. szám pp 2-6.
44. SCHMIDT G., TÓTH I. 2006. Kertészeti dendrológia. Budapest. Mezőgazda Kiadó pp 243-244., 358-359.
45. SIKLÓSSY L. 1931. Hogyan épült Budapest? 1870-1930. Budapest. Fővárosi Közmunkák Tanácsa. p 157.
46. SIMMONNÉ SARKADI L. 2007. Biokémia mérnök szemmel. Szeged. Typotex Elektronikus Kiadó Kft. pp 180-184.
47. SIMON T. 2008. A magyarországi edényes flóra határozója. Budapest. Nemzeti Tankönyvkiadó p 332.
48. SUKOPP, H. 1997. Urban Ecology – scientific and practical aspects. Abstract, International Conference „Urban Ecology”. Berlin. pp 3-16.
49. SZALAI I. 1994. A növények élete. 1. köt. Szeged. JATE Press. pp 7-53., 262-275.
50. SZALAI J. 2001. Növényi életjelenségek a kertben. Budapest. Szaktudás Kiadó Ház Rt. pp 22-23.
51. SZALAI J. 2009. A növényi élet feltételei a kertekben. Budapest. História Alapítvány. pp 17-43.
52. 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.
53. SZALLER V. 2010/b. Az Andrássy út. Budapest. Főkert NZrt.

54. TŐKEI L. 1997. Városhklma. In: SZÁSZ G., TŐKEI L. (szerk.) 1997. Agrometeorológia mezőgazdákknak. Budapest. Mezőgazda Kiadó. pp 219-236.
55. TÓTH E. GY. 2011. Adatok magyar és külföldi hársfajták összehasonlító értékeléséhez. Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék. pp 26-27. 30. 38.
56. TÓTH I. 2012. Lomblevelű díszfák, díszcserjék kézikönyve. Dunaharaszti. Tarkavirág Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. pp 236-237.
57. UDVARDY L. 2008. A kertészeti növénytan növényismeret kompendiuma. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar
58. VÉKONY L. 2004. Kőrifajták a kertészeti felhasználásban (Fajtaleírások). Budapest. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék pp 9-10., 35.

Internetes hivatkozások:

1. MTI hírarchívum. 1989. Fasorfelújítás a Népköztársaság úton. 1989.11.07.
<http://archiv1988-2005.mti.hu/>
2. MTI hírarchívum. 2002. UNESCO - az Andrássy út és a Tokaj-hegyaljai borvidék a világörökség része. 2002. 06. 27.
<http://archiv1988-2005.mti.hu/>