

SZAKDOLGOZAT

Gyóni Zoltán

2024.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

**Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet
Favizsgáló és faápoló szakirányú továbbképzési szak**

**Városi környezetbe ültetett tölgyek ökológiai szolgáltatásainak
vizsgálata**

Belső konzulens: Dr. Szabó Veronika

Belső konzulens

**intézete/tanszéke: Dísznövénytermesztési és
Dendrológiai Tanszék**

Külső konzulens:

Készítette: Gyóni Zoltán

Budapest

2024.

Tartalomjegyzék

| | | |
|------|---|----|
| 1 | BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK | 2 |
| 2 | IRODALMI ÁTTEKINTÉS | 3 |
| 2.1 | Városiasodás (urbanizáció) és következményei | 3 |
| 2.2 | Fák ökológiai szolgáltatásai | 13 |
| 3 | ANYAG ÉS MÓDSZER | 22 |
| 3.1 | A vizsgálatokban érintett faj | 22 |
| 3.2 | A vizsgálatok, mintavételezések helyszínei | 22 |
| 3.3 | A helyszíni mérések és mintavételezések időpontjai | 25 |
| 3.4 | Faméreték és összes levélfelület számítása | 25 |
| 3.5 | Fotoszintetikus aktivitás és vízpára kibocsátás mérése | 26 |
| 3.6 | Környezeti hatások vizsgálati módszere | 27 |
| 3.7 | Adatok elemzése | 29 |
| 4 | EREDMÉNYEK | 30 |
| 4.1 | PM légszennyezettségi és meteorológiai körülmények | 30 |
| 4.2 | A vizsgált tölgyek méretei és a mért LAI értékek | 31 |
| 4.3 | A vizsgált fák szén-dioxid megkötése és vízpára kibocsátása | 34 |
| 4.4 | A fák lombjának és környezetének hőmérséklete | 35 |
| 4.5 | Porlerakódás a fák levelein | 36 |
| 5 | KÖVETKEZTETÉSEK | 39 |
| 5.1 | Eredmények értelmezése és következtetések | 39 |
| 5.2 | Javaslatok | 41 |
| 6 | ÖSSZEFOGLALÁS | 44 |
| 7 | KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS | 46 |
| 8 | IRODALOMJEGYZÉK | 47 |
| 9 | ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE | 56 |
| 9.1 | Ábrák | 56 |
| 9.2 | Táblázatok | 56 |
| 10 | MELLÉKLETEK | 57 |
| 10.1 | SPSS statisztikai elemzések kivonatai | 57 |
| 10.2 | Mikroszkópos felvételek poros levelekről 2023.augusztus | 65 |

1 BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az emberiség történetével szorosan összefügg a városiasodás folyamata, amely rohamosabb fejlődésnek az ipari forradalom korában indult, és - EUROSAT adatok alapján - mára már az Európai Unió népességének 75%-a, Magyarország lakosságának pedig 70%-a városokban, elővárosokban él. A World Urbanization Prospects (2019) jelentés azt vetíti előre, hogy az urbanizáció és a városi lakosság aránya a következő évtizedekben tovább növekszik, jóllehet a folyamat Európában a többi földrészhez képest valamelyest lassabb ütemű lesz.

Napjainkban egy olyan, egyre gyorsuló klímaváltozási folyamat részesei vagyunk, melyet az emberiség korábban még nem tapasztalt, és amely a maga szélsőségeivel (kánikulai napok számának növekedése, extrém csapadékeloszlás térben és időben stb.) kényelmetlenebbé teszi az életkörülményeinket, különösen a városi környezetben. Mindemellett gyarapodik az emberiséget egyre jobban terhelő olyan civilizációs betegségek száma és elterjedése, mint a légszennyezések keltette allergiás és légúti, szív- és érrendszeri megbetegedések, mozgáshiányhoz is kapcsolódó elhízás, helytelen testtartás, és nem utolsósorban a mentális egészség megromlása (depresszió, szorongás, pánikbetegség).

Ezen kihívásoknak a természet bevonásával történő kezelése most talán a korábbiaknál is fontosabbá teszi a városi növényzet, a városi fák hasznainak, ökológiai szolgáltatásainak a szerepét, amelyek hatásokról itthon Radó Dezső írt az ezredforduló előtt (Radó, 1994; 1999), és aminek a - mostani tanulmányaim során való - megismerése keltette fel bennem az érdeklődést a téma mélyebb vizsgálata iránt.

E dolgozat egyik célja a városi zöldterületek, elsősorban a fák ökológiai szolgáltatásainak aktualitását kiemelni a jelenkori globális kihívásokkal összefüggésben, és megismerni korábbi vizsgálatok, tanulmányok eredményeit a nemzetközi irodalom alapján.

A cél gyakorlatiasabb vizsgálati része pedig Budapesten ültetett kocsányos tölgyek - részben az alapfaj (*Quercus robur*), részben az oszlopos tölgy (*Quercus robur* 'Fastigiata') - városi környezetben jelentkező hasznainak mérése. Városi környezetben hazánkban hasonló vizsgálat még nem folyt, ezért mindenekelőtt szeretnénk meghatározni ezen tölgyek CO₂ megkötését pontosabban nettó CO₂ beépítését, valamint a levelek felületén leülepedett por mennyiségét, amellyel a fák hozzájárulnak a levegő szállópor (aeroszol részecske) tartalmának csökkentéséhez. A fák alakítják a körülöttük lévő környezetet (mikroklímát), ennek nyomán követésére terveztük mérni a levelek vízkibocsátását, transzpirációját - mely által párasítják a levegőt, és egyúttal energiát alakítanak át, valamint a fák környezetének hőmérsékletét.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Városiasodás (urbanizáció) és következményei

Az emberiség legalább három nagy kihívással kell szembenézzen ezekben az évtizedekben (Scholz et al., 2018), Ezek a következők: a városokban élő népesség növekvő aránya (*World Urbanization Prospects*, 2019), a biológiai sokszínűség csökkenése az átgondolatlan földhasználat és a városok növekedése miatt (Seto et al., 2012), valamint az éghajlatváltozás, amely az előzőekre is visszahat. Ez utóbbi a városi lakosság hőterhelésének növekedéséhez is vezet a gyakoribb és hosszabb ideig előforduló hőhullámok révén. Ha pedig magasabb a hőmérséklet, nagyobb valószínűséggel emelkedik az ózonkoncentráció is, ami viszont károsan hat a városi területek levegőminőségére (Kuttler, 2011). Ezek a társadalmunkat fenyegető veszélyek összefüggenek egymással, hatnak egymásra, és a klímaváltozáson keresztül közvetlenül ronthatják a városi életminőséget. A dolgozat terjedelmi korlátai miatt itt elsősorban csak a városiasodást részletezem.

Az ENSZ 2022. évi becslései szerint a Föld népessége 2022 novemberében meghaladta 8 milliárd főt, majd pedig 2030-ig várhatóan eléri a 8,5, 2050-ig a 9,7 milliárdot, és a jelenlegi kilátások szerinti tetőzés 10,4 milliárd fővel a 2080-as években várható (*World Population Prospects*, 2022). A XIX. század eleje óta felgyorsult növekedés ütemét mi sem jelzi jobban, mint az, hogy 1804-ig 18 évszázad alatt 0,2-ről nőtt 1 milliárdra, 1804-től 2022-ig pedig 218 év alatt 1 milliárdról 8 milliárdra Földünk népessége (internet 1).

Az urbanizáció határozott tendenciát mutat. Ez nyilvánul a városi területeken élő lakosság százalékos arányának növekedésében, és a városlakók számának, a városok méretének és a városi területek összességének növekedésében. Ez egy dinamikus, térben is nyilvánuló folyamat, mely során a termelőerők, a szolgáltatások, a munkaerő, valamint a tőke koncentrálódik, és országon belül nő a városi lakosság aránya (Nagy, 2008). Az ipari forradalom óta az emberi népesség nagysága és aránya folyamatosan növekszik a városokban, a második világháború óta pedig ez a növekedés exponenciális. Míg 1950-ben a világ népességének 30%-a élt városokban és elővárosokban, 2007-ben volt az a fordulópon, amikor a világ népességének több mint fele vált városlakóvá, mostanra ez az arány már több mint 55%, 2050-re pedig 68% az előrejelzés (*World Urbanization Prospects*, 2019). A XXI. század első 30 évében a városok minden bizonnyal nagyobb mértékben fognak növekedni, mint a történelem során korábban bármikor (Chen et al., 2020).

Hazai viszonylatban Budapest Magyarország legnagyobb lakosságszámú, és legnagyobb népsűrűségű települése (3 182 fő/km²). A népesség száma 2007 és 2020 között 45 665 fővel növekedett, elsősorban a külső városrészekben; jelenleg a város összlakossága 1,67 millió fő, az országos népesség 17,5%-a. Az agglomerációs területen összesen 2,58 millió fő él, az ország lakosságának 27%-a (internet 2). A Budapestre dolgozni és tanulni járó ingázók száma közelítheti a félmilliót (Koltai és Varró, 2020). Budapest egyben az ország oktatási, kutatás- fejlesztési és egészségügyi központja is, ami sok kedvező lehetőséget jelent, ugyanakkor közlekedési, gazdasági központ is, ami pedig jelentős környezeti hatással jár. A nagy közúti forgalom és a parkoló autók területigénye, valamint a burkolt felületek aránya növeli az éghajlatváltozás következményeivel szembeni sérülékenységet. Mind a fővárosban, mind az agglomerációban folyamatosan növekszik a járműállomány. A forgalmi terhelés az elmúlt években ugyan csak kis mértékben növekedett, viszont a járműállomány előregedése nagyban hozzájárul a szennyezőanyag kibocsátáshoz (Tatai et al., 2021).

2.1.1 Városi éghajlat és jellegzetességei

A városok, az éghajlat és az időjárási jelenségek kölcsönösen hatnak egymásra. A városok egyedi klímájának (mezoklíma) kialakulása a város természetföldrajzi fekvésének, méretének, az épített környezetnek, és más emberi hatásoknak az eredménye, melyek révén módosul a sugárzási mérleg, az alsó légrétegek és a városfelszín hőmérséklete, a légnedvesség, a légáramlási viszonyok és a csapadékképződés (Nagy, 2008).

A nagyfokú beépítések sűrű utcakanyonok kialakulását és nyitott, szellőztetett terek hiányát eredményezhetik. Az épületek, építmények felhúzása mellett az antropogén tevékenység körébe tartozik a járműforgalom, a helyiségek fűtése és hűtése, valamint a legkülönbébb ipari folyamatok. Amellett, hogy a város egy túlnyomórészt épített környezet, továbbra is egy ökológiai rendszer (del Amo et al., 2017).

A városi sugárzás egyenlegét túlnyomórészt a levegő páratartalma által módosított közvetlen és szórt sugárzás, valamint az albedó (sugárzásvisszaverő képesség), antropogén hatásként pedig az égési folyamatokból származó hőtermelés, légszennyezettség, illetve a beépítettség által szabályozott érezhető és látens hőáramlások alakítják. A városban végbemenő folyamatok egész sora a természetes felszíneken tapasztalhatókétól eltérő energiamérleghez vezet, ami által egy hőtöbblet keletkezik, és kialakul az ún. városi hősziget (Nagy, 2008; Tatai et al., 2022). Ez a **városi hősziget** (urban heat island - UHI) az adott városi hely és a városon kívüli levegő hőmérsékletének különbsége, amely akár 10°C is lehet

(Hiemstra et al., 2017). A felszíni hősziget (surface urban heat island - SUHI) pedig a városi és vidéki felületek hőmérsékletének különbsége (Masson et al., 2020).

Nappal a városok energiát nyernek a naptól, valamint az emberi tevékenységekhez köthető energia felszabadulásából. Ez az energia részben visszaverődik, részben elnyelődik és elraktározódik, később pedig felszabadul, amikor a környezet hőmérséklete lecsökken, különösen éjszaka. A gyakran sötét színű városi építőanyagok nagy fajlagos hőkapacitással rendelkeznek, alacsony az albedójuk, így hajlamosak a hőenergia elnyelésére és tárolására. Napnyugta után az energia hosszú hullámú sugárzásként szabadul fel. A nagy beépítettségű területeken kisebb a közvetlenül a légkörbe kijutó hosszú hullámú sugárzás aránya, mint vidéki környezetben, mert az a szomszédos épületekben sugárzó energiaként elnyelődik, majd újra kibocsátódik a helyi környezetbe, ezzel kiváltva a fűtő hatást (Doick és Hutchings, 2013).

A légszennyező anyagok közreműködésével a város felett kialakuló por- és párapupola lokális üvegházhatást vált ki, és bár a légkör alsó rétegei jól átengedik a sugárzó napenergia jelentős részét, a kupola a felszín felől kisugárzott meleget visszatartja, ami a települések hőmérséklet-növekedését idézi elő (Nagy, 2008). A hőmérsékletet a sugárzási viszonyok, a felszín tulajdonságai és a légkörzés folyamatai együttesen alakítják ki. Csapadék esetén, a csapadékvíz nagy része elfolyik a csatornarendszerbe, így a nagyvárosi felszín párolgás útján nem tudnak jelentős hőt leadni (Tatai et al., 2022). A klímaváltozás tovább fokozza a hősziget intenzitást (Marando et al., 2022).

Budapest Környezeti Állapotértékelése (2022) szerint a nappal vizsgált városi hősziget a pesti oldalon a legjelentősebb, ívesen lefedve a belvárost. Nyáron a hősziget kiterjedése, és annak intenzitása is jelentős: a városkörnyéki átlaghőmérsékletet 3-7 °C-kal meghaladó terület a főváros pesti oldalának nagy részére kiterjed, míg Budán a hősziget csak egy kisebb területet fed le. A budai oldalon a domborzat és a zöldfelületek nagyobb aránya mérsékli a városi hősziget erősségét. A Budai-hegység legmagasabb részeinek felszínhőmérséklete tavasszal és nyáron még akár 4-7°C-kal alacsonyabb is, mint a városkörnyéki (Tatai et al., 2022). Az éves átlagos hőmérséklet Budapest belvárosában 1,2°C-kal magasabb, mint a külső részeken (Probáld, 2014). A főváros beépített területei fél évszázad alatt mintegy megháromszorozódtak, ezáltal lényegesen lecsökkent a zöldfelületek aránya és fokozódott a városi hősziget-hatás (Tatai et al., 2021).

A szélsőséges nyári hőmérsékletek, gyakoribb hóhullámok az élőlények többsége számára kedvezőtlen hatású. A városban egyes érzékenyebb fajok esetében mint például a *Platanus x acerifolia* (*Platanus x hispanica*), idő előtti lombveszteséghez vezethetnek, ami -

életerejük mellett - csökkenti az ökológia előnyeiket pont olyankor a legnagyobb szükség lenne rájuk (Sanusi and Livesley, 2020). A hősziget hatásának ismerete és mérséklése azért is rendkívül fontos, mert a hő okozta stressz humánegészségügyi problémákhoz, korai halálozások számának emelkedéséhez vezet (Norton et al., 2015).

2.1.1.1 A növényzet, a fák szerepe a városi hősziget hatásának enyhítésében

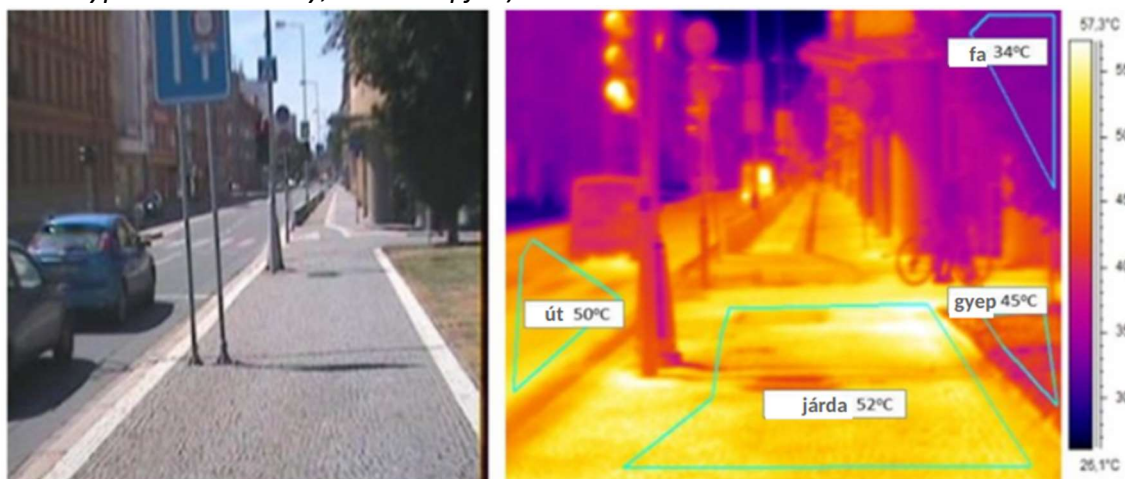
A növényzet kulcsfontosságú szerepet játszik a városok hőmérséklet-szabályozásában (Bowler et al., 2010; Norton et al., 2015; Hiemstra et al., 2017). A fák és a zöld infrastruktúra tudatos kiválasztása és stratégiai elhelyezése csökkentheti a városi hősziget hatást, és 2-8 °C-kal hűtheti a levegőt, csökkentve ezzel a hőség okozta stresszt (Doick és Hutchings, 2013).

A növényzet egyszerre több, egymást kiegészítő módon segíti elő a városi klíma módosítását. Ezek a folyamatok a következők:

Párolgás és evapotranszpiráció. A beérkező energia részben a víz gőzzé alakítására használdik, és így ez az energia mennyiség nem az érezhető hőmérsékletet emeli (Oke, 1987; Gill, 2006). Ha a víz a növényből, vagy annak felszínéről párolog evapotranszpirációról beszélünk (Doick és Hutchings, 2013), amely akkor tud igazán hatékony lenni, ha a növény egészséges és megfelelő a vízellátása (Müller et al., 2014). Rahman és munkatársai (2020) kutatásai alapján a füves területen lévő fák párologtatása, akár tízszerese is lehet az alapvetően burkolt területen levőkének. A növények kulcsfontosságú energia átalakítók azáltal, hogy a befogott napsugárzás jelentős része az evapotranszpirációjuk révén vízpára formájában látens hővé alakul (Hesslerová et al., 2022). Ahol nincs mód párologtatásra, ott a napenergia érezhető hővé alakul (1. ábra, Ryplova és Pokorny (2019)).

1. ábra: Fa nélküli utca hőmérsékleti viszonyai nyári napon hőkamerás felvétellel

(Forrás: Ryplova és Pokorny, 2019 alapján)

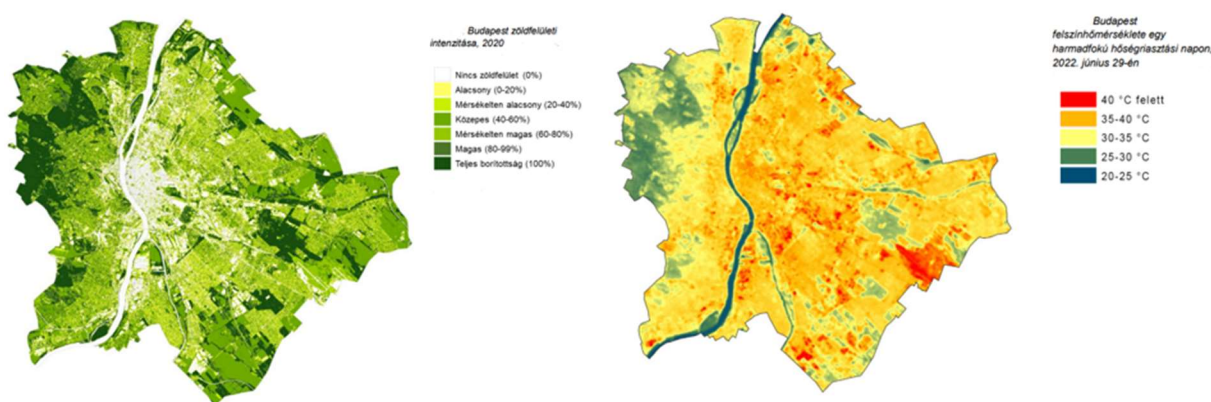


Árnyékolás. A rövidhullámú napsugárzás csökkentésével az árnyékolás korlátozza az energia tárolását, majd hő formájában történő kisugárzását. Az árnyokolt épületeket érő kevesebb direkt sugárzás miatt csökken az épületen belüli légkondicionálási igény, ami így kevesebb üvegházhatású gáz kibocsátásával járó energia előállítását feltételez. Egyúttal az árnyékolás megóvja az embereket a közvetlen napsugárzástól, mely a hővel kapcsolatos diszkomfort-érzést legalább olyan mértékben befolyásolja, mint maga a hőmérséklet (Emmanuel, 2005). A hőkomfortot emellett még a légnedvesség, és a szélesebbé is módosítja. A nagyobb lombfelület indexű (LAI) fák árnyékolása, fokozottabb, mint a kisebbeké (Armson et al., 2013), a magasabbak árnyékolása ugyancsak nagyobb, mint az alacsonyabbaké (Berry et al., 2013).

Sugárzás visszaverődése. Az, hogy a napenergia milyen mértékben melegíti fel a városi környezetet, összefügg a sugárzás visszaverődésének (albedójának) mértékével. Így például egy városi 15% körüli albedó nagyobb hőenergia tárolásához vezet, mint egy városon kívüli terület, ahol 20-25%-os a visszaverődés (Doick és Hutchings, 2013). A füves területen álló fák környezetében jobb a hőérzet, mint ott, ahol a környező burkolat aszfalt, vagy beton (Armson et al., 2012).

Az említett mechanizmusok együttesen korlátozzák a hőszigetek mértékét. Az összhatás pedig jól látható a 2. ábrán, amely Budapest zöldfelületi intenzitásának és a hőségnap felszínhőmérsékleteknek az összefüggését szemlélteti.

2. ábra: Budapest zöldfelületintenzitási és egy hőségriasztáskori felszínhőmérséklet térképe (Forrás: Tatai et al., 2022 alapján)



2.1.2 Városi levegő, légszennyezettség

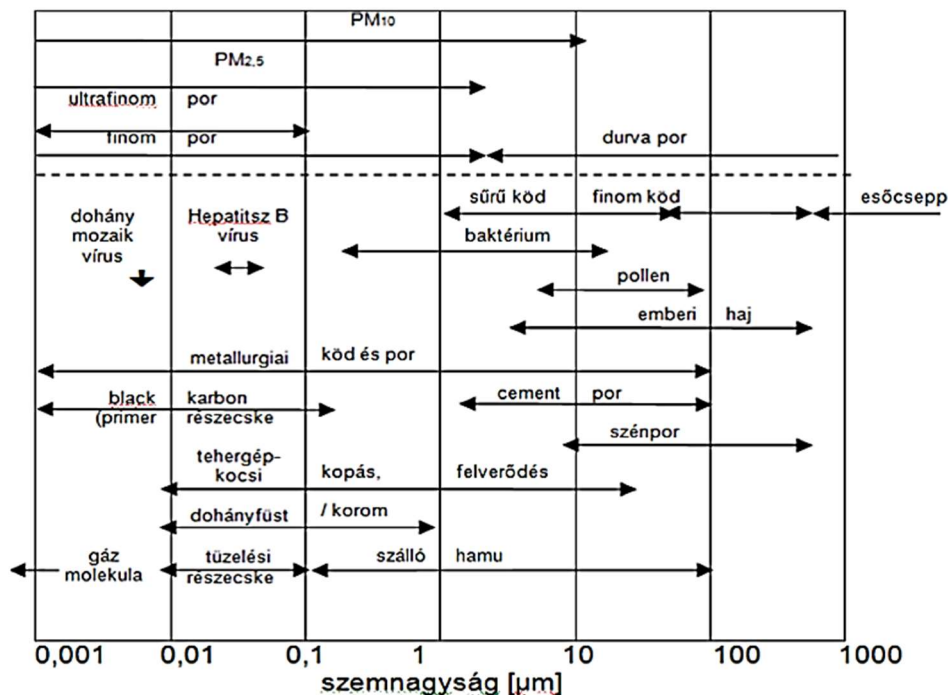
Tiszta levegő nem fordul elő a természetben; a légkör – a természetes eredetű szennyező források mellett - az emberi tevékenységek által termelt anyagokkal szennyezett. Nagy (2008) szerint a környezetszennyezésen belül legközvetlenebbül a légszennyezés éri az embert. Ilyenkor az idegen anyagok túlzott mennyisége kedvezőtlenül hat az ember egészségére, közérzetére (Kampa és Castanas, 2008), egyúttal a környezetre is. Nagy (2008) úgy fogalmaz, hogy „a légszennyezettség az urbanizáció, az iparosodás és a gazdasági növekedés elkerülhetetlen velejárója”, ugyanis annak a fő forrásai mindenekelőtt a termelési tevékenységek, a közlekedés, valamint a mindennapi élet kényelmét biztosító folyamataink.

WHO adatok alapján a Föld lakosságának 92%-a él olyan területen, aminek nem egészséges a levegője, és évente - a dohányzás hatása nélkül - 3 millióra becsülik a kültéri légszennyezések okozta halálozást (Rakonczai, 2021). Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség kimutatásai alapján még az EU-ban is évente több mint 238 ezer ember idő előtti halála köthető közvetlenül a por jellegű légszennyezésekhez. Az EU egyik célkitűzése a por szennyezési kibocsátás csökkentése 2050-ig olyan mértékben, hogy az ne jelentsen veszélyt az egészségre (European Environment Agency, 2020).

Az aeroszolt a légkörben finoman eloszlott szilárd részecskék vagy folyadékcspepek alkotják, melyek jellemzően 0,001 – 100 μm átmérőjűek. A dolgozatban a por kifejezést az aeroszol szinonimájaként is használom. Az aeroszol részecskék fontos szerepet játszanak számos légköri folyamatban, köztük a felhő- és csapadékképződésben, a légköri sugárzási mérlegben, de még a látótávolság befolyásolásában is (Jancsek-Turóczy, 2014). A részecskéknek nagy a fajlagos felületük, ezért szerves és szervetlen vegyületek kötődhetnek rajtuk, emiatt rendkívüli a jelentőségük egészségügyi szempontból (Uramné Lantai, 2017).

Az **ülepedő port** 10 μm -nél nagyobb szerves és szervetlen eredetű részecskék alkotják, amelyek súlyuknál fogva gyorsan kiülepednek a talajra, felszínre (3. ábra). A por a talajfelszín felaprózódásával, más anyagok spontán leülepedésével, vagy csapadékból való kiválással keletkezik. Szervetlen komponensei ásványi vagy fémes jellegűek, szerves összetevőik mellett különböző mikroorganizmusok is lehetnek rajtuk; pollenek, baktériumok, gombák (Bozó et al., 2006; Nagy, 2008).

3. ábra: Szilárd részecskék szemcseméret tartományai
(Forrás: Uramné Lantai (2017), Krug (2003) nyomán)



A **szálló por** állhat szilárd és folyékony halmazállapotú részecskékből (Bell et al., 2011), amelyek a levegőben hosszabb ideig lebegve maradnak, ezért ez a szennyező anyag nagy távolságokba is eljuthat. A nemzetközi szakirodalomban TSP (total suspended particulates) néven, míg a méretük alapján a 10 μm, illetve a 2,5 μm-nél kisebb részecskéket **PM₁₀** (particulate matter 10 μm) és **PM_{2.5}** néven jelölik. Uramné Lantai (2017) azt írja, hogy durva becslés alapján a TSP 80 %-át a PM₁₀ teszi ki, más források szerint kb. 75%-át (Monn et al., 1995), de akár 90% feletti hányadát is (Hrotkó et al., 2021a). Ez valószínűleg függ a források jellemzőitől, távolságától, de nagyságrendileg mindenképp irányadó. A szálló por mérettartománya átfedésben van a belélegezhető részecskék méretével, ezért ez a frakció különösen veszélyes (Jancsek-Turóczi, 2014). A 2,5 és 10 μm közötti tartományban a részecskék 20-30 %-a fordul elő (Uramné Lantai, 2017). Ezek az aeroszolok elsősorban lakott területen kerülnek a légkörbe, majd szétszóródnak vagy kicsapódnak gázokkal és vízgőzzel. Ezek az anyagok szélcsendben ülepednek, légmozgáskor tovább lebegnek. A lebegő részecskék tartalmazhatnak egészségre kifejezetten veszélyes nehézfémeket is (Nagy, 2008).

Származásukat tekintve a nagyobb részecskék lehetnek természetes keletkezésű ásványi származékok (kvarc, mészpát, dolomit stb.), amelyek általában kisebb egészségügyi

kockázatot jelentenek, viszont az antropogén forrásból származó szálló részecskék jóval veszélyesebbek (pl. építkezésből, utak felületének kopásából), a kisebbek pedig tüzelőberendezésekből, belsőégésű motorokból, egyes ipari technológiákból kerülnek a levegőbe, vagy a levegőben lévő anyagokból képződnek másodlagos részecskéként (Bozó et al., 2006; Mandal et al., 2023).

A szálló por koncentrációjának rövid távú emelkedése izgatja a nyálkahártyát, köhögést és nehézlégzést válthat ki. A 10 μm -nél kisebb részecskék bejutnak a tüdőbe is, hatására gyakoribb az allergia, asztma és a krónikus alsó légúti, illetve a szív-érrendszer megbetegedések előfordulása (Atkinson et al., 2001). Egyes szemcsék rendkívül veszélyes rákkeltő anyagok.

A hazai $\text{PM}_{2.5}$ és PM_{10} forrása elsősorban a lakossági fűtés; előbbinek közel 80%, utóbbinak kb. 58% arányban (internet 3). Ezek az arányok városi környezetben eltérhetnek ettől. Frigy (2019) úgy véli, hogy a fővárosban a szennyező anyagok kb. 80 %-a a közlekedés révén kerül a levegőbe. A veszélyes PM források alapvetően antropogén eredetűek (Monn et al., 1995; Motamedi et al., 2021). Ezekből a közlekedés hatása az év során folyamatos, míg a fűtés téli, tavaszi és őszi időszakban az éjszakai órákban meghatározó. A természetes kibocsátó források hatása itthon elhanyagolható (Ferenczi et al., 2021).

A por mellett jelentős légszennyező anyagok a kénvegyületek (kén-dioxid), a szén-monoxid, a nitrogénvegyületek (elsősorban NO_x), flourvegyületek (Nagy, 2008), és más illékony szerves vegyületek (VOC volatile organic compound). Száraz, erős napsütéses, szélcsendes időben nitrogén-oxid vegyületek bomlási folyamatai során ózon keletkezik. Az ilyenkor kialakuló fotokémiai szmog összetevői csökkentik a növények fotoszintetizáló képességét és ezzel gátolják szén-dioxid felvételüket (Imre et al., 2014).

A budapesti levegőminőségét az utóbbi 15 évben a kezdeti gyors javulás, majd lassan javuló trend jellemzi, ami különösen igaz a $\text{PM}_{2.5}$ és PM_{10} aeroszolok mennyiségére, ugyanakkor több szennyező vegyület mennyisége határértéken felüli szinten van (Tatai et al., 2022).

A hőhullámok idején szerepet játszó meteorológiai elemek hatása (napi maximum hőmérséklet, a mérési napot megelőző csapadékmentes napok száma) a napi átlagos PM_{10} koncentrációt is nagy mértékben befolyásolja. Nyáron a magasabb hőmérséklet, a hosszabb csapadékmentes időszakban magasabb a PM_{10} koncentráció. Hőhullámok idején a PM_{10} koncentráció a jellemző nyári átlagos érték másfélszeresére, az ózoné pedig 130%-ára emelkedik (Imre et al., 2014).

A WHO 2021-ben több légszennyező anyag tekintetében jelentősen szigorította a légszennyezettségre vonatkozó, korábban 2005-ben kiadott ajánlásait, amelyek így nagy mértékben eltérnek a pillanatnyilag hatályban lévő EU-s, és ennek megfelelően a hazai követelményektől (*WHO Global Air Quality Guidelines, 2021*). Ez az eltérés tükrözi, hogy ha az EU-s határértékek a városi lakosság 4-34%-át érintik, az a WHO határértékeit követve 81-97%-os érintettséget jelez (Tatai et al., 2022). Az 1. táblázat tartalmazza a jelenleg hatályos EU-s határértékeinket, valamint a WHO 2021-es legfrissebb ajánlását.

1. táblázat: Az EU hatályos irányelvben meghatározott és a WHO ajánlásban szereplő légszennyezettségi határértékek
(Forrás: Budapest Környezeti Állapotértékelése (2022) – WHO 2021 ajánlás alapján)

| Légszennyező anyag | Átlag-számítási időszak | Jelenlegi határérték / célérték (EU) | WHO ajánlás (2005) | WHO ajánlás (2021) |
|--------------------|------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| PM _{2,5} | 1 nap | - | 25 µg/m ³ * | 15 µg/m ³ * |
| | naptári év | 20 µg/m ³ | 10 µg/m ³ | 5 µg/m ³ |
| PM ₁₀ | 1 nap | 50 µg/m ³ évente 35-nél több alkalommal nem léphető túl | 50 µg/m ³ * | 45 µg/m ³ * |
| | naptári év | 40 µg/m ³ | 20 µg/m ³ | 15 µg/m ³ |
| O ₃ | napi 8 órás maximumok átlaga | 120 µg/m ³ 3 évente 75-nél több alkalommal nem léphető túl | 100 µg/m ³ * | 100 µg/m ³ * |
| | félév átlaga** | - | - | 60 µg/m ³ |
| NO ₂ | 1 óra | 200 µg/m ³ évente 18-nál több alkalommal nem léphető túl | 200 µg/m ³ | 200 µg/m ³ |
| | 1 nap | 85 µg/m ³ (csak Mo.) | - | 25 µg/m ³ * |
| | naptári év | 40 µg/m ³ | 40 µg/m ³ | 10 µg/m ³ |

* 99. percentilis, azaz évente 3-nál több alkalommal nem léphető túl

** napi 8 órás maximumok átlaga hat egymást követő hónapban, évente a legszennyezettebb hat hónap mozgóátlagértéke mellett

2.1.2.1 A fák szerepe a városi levegő tisztításában

A fák a levegő szennyezettségét – a sztómákon keresztüli gázcserével történő tisztítás mellett - meghatározóan száraz ülepedés útján csökkentik, mely során a levegőt szennyező aeroszol részecskéi a leveleken, ágakon, kérgen leülepednek (Davies et al., 2017).

Popek és munkatársai (2018) úgy fogalmaztak, hogy ha a légkörben magas a por szennyezés, akkor az egyetlen lehetséges tisztítási eljárás a „fitoremediáció”, vagyis a növények biológiai szűrőként való használata. A városi fák levelein kiülepedő szennyezőanyag (PM) különböző nem gáz halmazállapotú anyagokat, szénvegyületeket, polleneket, talajból származó részecskéket, fémeket tartalmazhat (Hrotkó et al., 2021b), így a fák levelei amellett, hogy tisztítják a levegőt, tulajdonképpen a légszennyezettség, és ezen belül a nehézfémek monitorozására is alkalmasak (Chen et al., 2023).

2.1.3 Özönvízserű esőzések, felszíni elfolyások

A rövid idő alatt nagy mennyiségben lezúduló, heves esők városokban is egyre gyakoribbak, a nagyfokú burkolati borítottság, a csatornahálózat korlátozott kapacitása miatt hirtelen vízfolyásokhoz, áradásokhoz vezethet (Hobbie és Grimm, 2020). Budapest belvárosára is jellemző a kevés zöldfelület és a burkolt felületek magas aránya, ami hőszigetet hoz létre, és a heves esőzések során a nagy mennyiségű csapadék egy részét a csatornarendszeren keresztül elvezeti, és amit a csatorna nem képes elvezetni, villámárvizeket okozva akadályozza a közlekedést, károsítja az építményeket (Tatai et al., 2021).

2.1.3.1 A városi klíma hatása a fákra

Mind a klímaváltozás, mind pedig a városi hősziget hatása megfigyelhető a városi fák évgyűrű mintázatán. Ez a két tényező együtt átlag 35%-os növekedés felgyorsulást eredményezett, főként a klíma, kisebb részben a hősziget hatásának tulajdoníthatóan. Ez együtt jár a gyorsabb szénmegkötéssel, és más ökológiai hasznok hamarabbi kiteljesedésével. Ugyanakkor ez egy felgyorsult korosodást is jelent. Az hogy a felgyorsult növekedés, öregedés milyen hatással van a fa stabilitására, abiotikus ellenállóképességére, biztonságára, még további vizsgálatokat igényel (Pretzsch et al., 2017). Amerikai viszonyok között a városi sorfák szenciklusának felgyorsulásával párhuzamosan a törzsmérő növekedési ráták közel négyszer nagyobbaknak bizonyultak, mint a városon kívüli erdőben fejlődő egyedeknél. A városi fák pusztulása ugyanakkor kétszer olyan gyorsan következett be, mind az erdei társaiké (Smith et al., 2019).

Roloff és munkatársai (2009) 250, közép-európai parkokban előforduló, fásszárú taxon klímaváltozáshoz való alkalmazkodóképességét értékelték, 4-4 kategóriát használva a szárazság- és téltűrés jellemzésére, így összességében 16 csoportot alkotva. E szakdolgozat okán kifejezetten a Közép-Európában honos tölgyekre fókuszálva, nem találtam köztük olyat, amely mindkét skála alapján a legjobb értékelést kapta, ugyanakkor a legjobb szárazságtűrők, és majdnem legjobb téltűrők között szerepeltek a *Quercus cerris*, *Q. pubescens* és *Q. frainetto*. Mindkét szempont szerint a második legjobb besorolású csoportba sorolták a *Q. palustris*-t és *Q. petraea*-t. A *Quercus robur* abba a csoportba került, amely szárazságtűrés szempontjából ugyan csak a harmadik kategóriát jelenti a négyből, viszont a legjobb téltűrők között van. A többi Közép-Európában honos fajhoz képest a *Q. robur* érzékenyebbnek tűnik a klímaváltozásra.

Klímaforgatókönyvek értékelése alapján a melegebb, szárazabb éghajlat az arra érzékenyebb fajok, így a *Quercus robur* esetében is gyengébb sugárirányú törzsvastagodáshoz, gyengülő egészségi állapothoz vezethet (Doležal et al., 2010). A faültetések tervezése során célszerű egyensúlyra törekedni a klímaváltozásra érzékenyebb, ezért veszélyeztetett fajok proaktív megőrzése és a szárazság-, hőségtűrőbb fajok megkerülhetetlensége között (Nitschke et al., 2017). Thomsen és munkatársai (2020) leírják, hogy a jelenleg idős korú *Quercus robur* egyedek jó vízgazdálkodásuk révén megfelelő városi fák, de hozzátesszik, hogy az ültetésük után a gyökérzetük még valószínűleg nem ütközött olyan mértékű korlátba, mint amilyenek adott esetben most akadályozhatják a fiatal fák gyökérfejlődését (például közműhálózat sűrűsége, tömörödés). Alapvető, hogy a kocsányos tölgynek nem csak a koronája, de a gyökérzete számára is megfelelő helyre van szüksége.

2.2 Fák ökológiai szolgáltatásai

A sűrűbb hőhullámok, hirtelen lezúduló csapadék okozta áradások, légszennyezettség, a városlakók fizikai és mentális egészsége a városi lakosság növekedése mellett komplex kihívásokat támaszt, ha fenntartható, egészséges, vonzó lakóhelyet, munkakörnyezetet szeretnénk. Ezek természet alapú megoldásokkal (Nature-based Solutions; NbS), a városi zöld infrastruktúra hálózat (urban green infrastructure; UGI) fejlesztésével kezelhetőek, és ebben a fák ökológiai szolgáltatásai főszerepet kapnak (Locosselli és Buckeridge, 2023; Bowler et al., 2010; Brown et al., 2015; Hiemstra et al., 2017; Marando et al., 2022).

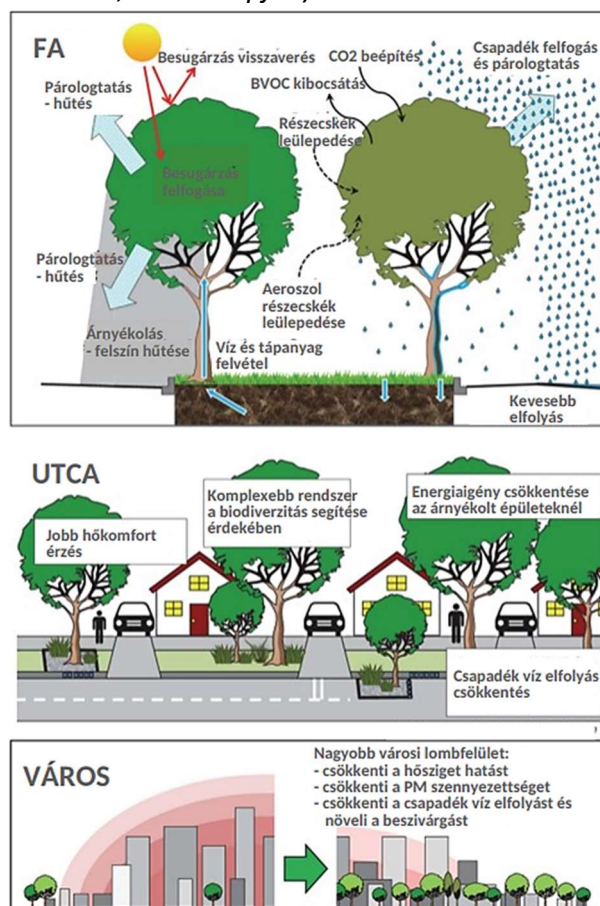
Az ökológiai szolgáltatások mindazok a javak és hasznok, melyekkel az ökoszisztéma hozzájárul az emberek, a közösség jólétéhez (Sarukhán et al., 2005). A fák városi ökoszisztémákban betöltött szerepe különböző dimenziókban is vizsgálható; úgy, mint különálló egyedek, mint egy utca vagy tér, vagy mint az egész város (4. ábra).

Radó (1994, 1999) számos előnyt felsorolt, amelyet a fák biztosítanak környezetüknek, (légszennyező anyagok megkötése, páratartalom növelése, hőmérséklet mérséklése, zajvédelem, passzív és aktív rekreáció). A Magyar Faápolók Egyesülete Útmutató a fák nyilvántartásához és egyedi értékük kiszámításához című kiadványban az árnyék, a párástítás, a zajcsökkentés, a pormegkötés, természetes hatás, rekreáció, egészségmegővés kerülnek megnevezésre, mint a fák pozitív ökológiai szolgáltatásának elemei (Szaller, 2013).

A zöldfelületek hatása nem csupán fizikai egészségünk, hanem mentális szempontból is igen figyelemre méltó. Dúll (2012) rámutatott, hogy a természeti, természetközeli hellyel való kapcsolatteremtés, ott tartózkodás segít visszaállítani a pszichológiai egyensúlyt, de akár

egyetlen fa is nyújthat ilyen hatást. Több nemzetközi tanulmány is alátámasztja ezeket a hatásokat (Jennings és Gaither, 2015; Beckmann-Wübbelt et al., 2021).

4. ábra: Fák ökológiai szolgáltatásai vizsgálhatóak a fa, utca, város szintjén
(Forrás: Livesley és munkatársai, 2016 alapján)



Az ökológiai szolgáltatásokat úgy határozták meg, mint „azok előnyök, melyeket az emberek az ökoszisztémáktól kapnak” (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Ezek közvetett és közvetlen hozzájárulásai az emberi jóléthez, az életminőséghez, a túléléshez. A szakirodalom ezeket 3, máshol 4 csoportba sorolja: (i) ellátó (pl. faanyag, élelem), (ii) szabályozó (pl. mikroklímára, vízgazdálkodásra, szén körforgására való hatás), (iii) kulturális (rekreáció, esztétikai érték), és (iv) élőhelyi (pl. biodiverzitás, talajképződés) szolgáltatások (del Amo et al., 2017), amely utolsó kategória sokszor nem külön, hanem az (i) ellátó jellegű szolgáltatások között szerepel (Cou tts és Hahn, 2015).

A 2. táblázat a városi faállomány kategóriáinak és az ökológiai szolgáltatásoknak, valamint ehhez kapcsolódóan bizonyos hátrányoknak, potenciálisan kellemetlen hatásoknak a kapcsolódási fokát ábrázolja Davies és munkatársai (2017) nyomán.

Bizonyos helyzetekben a városi fák akár zavaróvá is válhatnak a városlakók, vagy egy részük számára, ami adott esetben költségvonzatokkal is jár. Ilyen például, ha a gyökereik károsítják a járdát, épületeket, vagy amikor a termésükkel, leveleikkel ellepik az utakat,

járdákat. Ezek a kellemetlen oldalai a szolgáltatásaiknak (disservices). Ilyen lehetnek még a nem kívánt árnyékolás, vagy kórokozók bevonása (Lyytimäki és Sipilä, 2009; Monteiro et al., 2019). Ha ezek a potenciális kellemetlenségek – mint pl. az allergiás reakciókat kiváltó hatás - nincsenek kellőképpen átgondolva, akkor az megváltoztathatja az ökoszisztéma szolgáltatások nettó egyenlegét az adott városi környezetben, ezért csak a hatások megértésével és orvoslásával biztosíthatjuk, hogy a városi fák továbbra is fontos előnyöket szolgáltatassanak (Cariñanos et al., 2017). Így többek között az egyes fajokra jellemző BVOC (biogenic volatile organic compounds - biogén illékony szerves vegyületek) kibocsátást, mint potenciális levegőminőség rontást indukáló tényezőt is érdemes átgondolni adott környezetben (Churkina et al., 2015). Ennek kapcsán a körülmények vizsgálata nélkülözhetetlen, ugyanis a veszélyes másodlagos légszennyezőanyagok számító ózon keletkezése - pl. nitrogén-dioxidokkal - erősen szennyezett levegőben tud megvalósulni. Ha a levegő nem szennyezett, akkor a BVOC anyagoknak sincs negatív hatása a levegő minőségére. Ha egy faj BVOC kibocsátása magas, valójában azt mondhatjuk, hogy nem használjuk ki vele a maximális levegő tisztítási lehetőségeket, de nem azt, hogy az levegőt szennyező (Chaparro and Terradas, 2010). A fajok BVOC kibocsátási tulajdonsága tehát egy relatív szempont.

2. táblázat: Városi fák és ökológiai szolgáltatások viszonyának mátrixa
(Forrás: Davies et al., 2017)

| | Ökoszisztéma szolgáltatás | Városi faállomány gazdálkodási kategóriák | | | |
|------------|-----------------------------------|---|--------|-----------|------|
| | | Önálló fa | Sorfák | Facsoport | Erdő |
| Ellátó | Élelem | xx | x | x | xx |
| | Tüzelő | xx | xx | xx | x |
| | Faanyag | xx | x | xx | xx |
| Szabályozó | Szén megkötés | xx | xx | xx | xxx |
| | Hőmérséklet szabályozás | xx | xx | xx | xxx |
| | Csapadékvíz szabályozás | xx | xx | xx | xxx |
| | Levegő tisztítás | x | xxx | xx | xxx |
| | Hang tompítás | x | xxx | xx | xxx |
| Kulturális | Egészség | x | xxx | xxx | xxx |
| | Természet- és tájkapcsolat | xx | xxx | xxx | xxx |
| | Szocializáció és kapcsolatok | xx | xx | xxx | xxx |
| | Művelődés és tanulás | xx | xx | xx | xxx |
| | Gazdaság | xx | xx | xx | xx |
| | Kulturális jelentőség | xxx | xx | xx | xxx |
| Hátrányos | Termés és levél hullás | xx | xx | x | x |
| | Állati ürülék | xx | xx | x | x |
| | Fény, kilátás takarása | xx | xx | xx | xx |
| | Levegő minőség rontás | xx | xx | xx | xx |
| | Allergenitás | xx | xx | xx | xx |
| | Kártevők és kórokozók terjesztése | xx | xx | xx | xx |
| | Invazív fajok terjedése | xx | x | x | x |
| | Infrastruktúra károsítása | xx | xx | x | x |
| | Félelemkeltés | x | x | x | xx |
| | Fakidőlés, ágletörés | xx | xx | xx | xx |

xxx általában jellemző / nagy mértékben

xx néha / közepes mértékben

x ritka esetben / kis mértékben

A következőkben azoknak a szabályozó (regulating) jellegű ökológiai szolgáltatásoknak és azok korábbi kutatásainak az irodalmi áttekintését részletezem - kifejezetten a városi fák vonatkozásában -, melyek kapcsolódnak e szakdolgozat keretében is végzett mérésekhez, így a szénmegkötéssel kapcsolatos nettó CO₂ beépítést, a levegő tisztításával összefüggő por ülepedést, és a mikroklíma alakításhoz sorolható hőmérséklet szabályozást, párologtatást.

2.2.1 CO₂ elnyelés, szénmegkötés

A fotoszintézis az a biokémiai folyamat, mely során a fotoszintetizáló szervezetek a napfény energiájának segítségével szervesen szén-dioxidból és vízből magasabb energiatartalmú szerves anyagot, szénhidrátot (elsősorban glükózt) állítanak elő, amely energiaforrássul szolgál a növényen belüli sejtfolyamatokhoz, valamint közvetetten az élet minden más formájához. A szénnek a szerves vegyületekbe való beépülése a szén megkötése. A folyamat leegyszerűsítve a következő képlettel írható le: $6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{napfény-energia} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$.

A kloroplasztisban végbemenő folyamat alapvetően két szakaszra osztható. A szintestén belüli tilakoid membránhoz köthető fényszakaszban a napsugárzásból származó fényenergia hatására vízbontás történik, ekkor szabadul fel molekuláris oxigén, és keletkeznek hidrogénionok, melyek NADPH molekulák (nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát redukált formája) részeként kapcsolódnak be a következő szakaszba csakúgy, mint az ATP molekulák, melyek szintén a fényszakasz végtermékei, és a fényenergia hatására kémiai energiává alakított energia szállítását végzik. A folyamat második része a kloroplasztisz sztrómájában zajló, nem fényigényes sötétszakasz (Calvin-ciklus), mely során az előzőleg képződött ATP és NADPH felhasználásával megtörténik a CO₂ megkötése és szénhidráttá, cukorrá való redukálódása (Taiz et al., 2018).

A fák így szén-dioxid elnyelőként működnek a szén fotoszintézis során történő beépítése révén, amit a felszín alatt és fölött biomassza formában tárolnak el, ezzel együtt lassítva a légköri CO₂ feldúsulását, miközben oxigént is termelnek (Nowak és Crane, 2002).

A szén-dioxid megkötése vegetációs időszakban napszakos változást mutat, míg nettó felvételt a nappali fotoszintézis időszakában, addig éjszaka pedig kibocsátást a légzéshez kapcsolódóan. Ha a levegő CO₂ koncentrációja magasabb, az a növényeknek tulajdonképpen „trágyázást” jelent, hatékonyabb fotoszintézist elősegítve. Gyakran előfordulhat azonban, hogy a városi fákat környezeti stresszhatások érik, aminek következtében a fotoszintetizáló rendszer károsodik, és szélsőséges esetben nettó CO₂ nyelőből, akár kibocsátóvá válnak (Fares

et al., 2017). Ilyen szituáció lehet a nyári forróság, vagy a tavaszi csapadékhiány, amikor a sztómák bezárulnak a vízvesztés megelőzése céljából (McPherson és Simpson, 1999). Ezekre a stresszhatásokra a különböző fafajok különböző módon reagálnak.

A nagyobb fák több szén beépítésére, tárolására képesek, és ez a kapacitás arányos a törzs átmérőjével, a korona méretével, a biomassa tömegével. A fa egyedszám sűrűsége, a koronafedettség egységnyi területen szintén növeli a megkötés mértékét (McPherson, 1998). Az egy fára számított szénbeépítés városi környezetben nagyobb, mint az erdőben, a városi fák gyorsabb növekedése miatt. Amerikai kísérletekben azt mutatták ki, hogy a városi fák éves nettó szénmegkötése 3-5-szöröse lehet az azonos méretű és egészségi állapotú erdei fákénak (Ferrini et al., 2020).

A szén megkötését a fa egészségi állapota is befolyásolja; az egészséges fa többet tud megkötni és tárolni. A hosszabb életű fajok hatékonyabb nettó elnyelők, mert ritkábban szükséges az újrapótlás (Nowak és Crane, 2002). Az örökzöld fajok télen is magas fotoszintézis aktivitásra képesek (Weissert et al., 2017). A lomblevelű örökzöldek a gyorsabb növekedésük miatt több CO₂-ot kötnek meg, mint a tűlevelűek (Zhao et al., 2010). A fák szénmegkötő képessége idővel változik az egyedfejlődésük során, ahogy növekszenek, elpusztulnak, lebomlanak; így végül nettó CO₂ kibocsátóvá, CO₂ forrássá válnak (Davies et al., 2017).

A fásítás tervezésekor mindenképp célszerű változatos faji összetételt megfontolni az egyenletes CO₂ megkötési folyamat érdekében is (Zhao et al., 2010). A fák konkrét elhelyezkedése, termőhelyi viszonyai, és az emberi hatások is olyan tényezők, melyeknek jelentős hatásuk lehet; így azok a növények melyek gyökeresedési feltételei gyengék, fokozottabban vannak kitéve antropogén eredetű káros tényezőknek (pl.: magas légszennyezettség), a durván visszametszettek, kevesebb szénmegkötésre, és biomassa felhalmozásra képesek (Jo és McPherson, 1995; Godwin et al., 2015).

Kiss és munkatársai (2015) Szegeden i-Tree Eco szoftver segítségével végzett kutatásai során azt állapították meg, hogy az érintett szegedi fák, melyek reprezentatív mintának számítanak a helyi városi faállomány tekintetében, egyedenként kerekítve 411 kg szenet raktároznak, és évente nettó 14 kg-ot kötnek meg a légrétegből.

2.2.2 Mikroklíma alakító, hőmérséklet enyhítő hatás

Amint az előző fejezetben utaltam rá, a zöldfelületek nagysága, elhelyezkedése, összetétele hatással van a városi klímára. Széles, magas koronájú fák alkotta parkban, sűrűbben fásított, teljesebb borítottságú területeken a napsugárzás intenzitása, a levegő

hőmérséklete alacsonyabb, a relatív páratartalom magasabb a környezethez képest, kellemesebb a járókelők hőérzete (Potchter et al., 2006; Louafi et al., 2017; Brown et al., 2015; Yoshida et al., 2015). Jóllehet a közeli nagyobb fás területek biztosíthatják a legideálisabb hőmérséklet-szabályozást a városban, a nagyobb szoliter fák, a facsoportok és az utcák mentén álló fasorok is nagyon hatékonyak lehetnek az árnyékolás, párologtatás révén (Davies et al., 2017).

Nem minden faj egyforma mértékben fejt ki hűtő hatást a környezetére. Lényeges szempont a korona mérete, alakja, szerkezete és sűrűsége. Ha a lombzat alacsonyabb hőmérsékletű, akkor a hűtés hatásosabb. A levél hőmérsékletét morfológiai, fizikai és élettani tényezők alakítják, összefüggésben a növény vízgazdálkodási állapotával (Monteith és Unsworth, 2008; Střelcová et al., 2013; Winbourne et al., 2020). A kislevelű fajok általában hajlamosabbak alacsonyabb korona hőmérséklet biztosítására (Leuzinger et al., 2010). A nagy koronát nevelő fajok nagyobb árnyékot adnak, jobb a környezetre gyakorolt mikroklimatikus hűtő hatásuk, egyúttal jobban képesek az esővíz megfogására, és biodiverzitás szempontjából is több hasznuk lehet potenciálisan, mint a kisebb fáknek (Hiemstra et al., 2017). A hűtést jelentő előny, szolgáltatás hosszútávú fenntartása érdekében lényeges az is, hogy a fák az egészségüket, vitalitásukat, teljesítményüket adott körülmények között meg tudják őrizni, ezért is lényeges a megfelelő faj kiválasztása. Ilyen kiválasztási szempontok például a következők: szárazságtűrés (Niinemets és Valladares, 2006), kórokozók, kártevők elleni tolerancia, légszennyezettség tűrése (Mattson és Haack, 1987), gyökérszet érzékenysége tömörödéssre, városi talajviszonyokra (Urban, 2008).

Az ökológiai szolgáltatások hosszútávú biztosítása céljából a gondos fenntartás mellett létfontosságú a fajok éghajlatváltozással szembeni sebezhetőségének ismerete, és ennek megfelelően az átgondolt kiválasztás (Esperon-Rodriguez et al., 2022).

2.2.3 Levegőszennyezettség csökkentése – a por megkötése

Radó (2001) írta, hogy az útmenti fásítások segítik a levegő tisztulását. A légszennyező anyagok a leveleken lerakódnak, és csapadékkal lemosódnak, újra felszabadítva a levélfelületet. Azzal számolt, hogy 1 lombköbméter lombhullató növény 4,5 kg szennyezőanyag kiszűrésére képes egy vegetációs időszak alatt, az örökzöldek esetében ez a mennyiség 6,5 kg. Mivel a por kiszűrésben a leveleké a nagyobb szerep, a lombhullató fajok esetében ez a folyamat a legintenzívebb a késő tavaszi és a nyári hónapokban, míg télen a

legalacsonyabb (Baró et al., 2014), bár az ágakon, kérgen ilyenkor is történik kiülepedés. Télen és kora tavasszal az örökzöldek biztosíthatják a levegő tisztítását (Kwak et al., 2019).

Az idős fák koronája akár 60%-kal csökkentheti a levegő aeroszol tartalmát, ami a borítottságtól függően nagyon jelentős különbséget tud eredményezni a fák nélküli környezethez képest (Braun et al., 2007). A levélen kiülepedő PM mennyiség függ a légszennyezettség mértékétől. A forgalmas út menti fák levelein a por felhalmozódás nagyobb, mint az úttól messzebb eső fákén (Mori et al., 2015).

Mivel a növények a por megkötését elsősorban a levél felületén, valamint a fedőszőrökön végzik, ezért a levél szerkezete, mikromorfológiai jellemzői, érdekessége, a kutikula és epidermisz viaszossága, a fedőszőrök (trichómák) sűrűsége határozzák meg a pormegkötő képesség mértékét (Tan et al., 2022; Simon et al., 2014; Zhang et al., 2018; Kwak et al., 2019). A hidrofil levélfelületű fajok akár dupla PM mennyiség leülepedésére is alkalmasak (Dzierzanowski et al., 2011; Zhang et al., 2018). A komplexebb hajtásrendszerű fajok esetében is szorosabb a korreláció a por kiülepedés mértékével (Freer-Smith et al., 2005).

Oroszországi pormegkötési vizsgálatok során *Quercus robur* esetében átlagban 2,85 g/m² volt a levélfelületen leülepedett por mennyisége, ami a vizsgált többi fajhoz képest közepes értéknek számított. Nikolaev és munkatársai (2023) arra következtettek, hogy a nagyobb levélfelülettel rendelkező fajok fajlagosan is több por megkötésére alkalmasak. Mandal és munkatársai (2023) szerint a légszennyezettség csökkentésére olyan fajok a legjobbak, melyeknek hosszan megtartják leveleiket, lombkorona sűrűségük ideális (mérsékelt), a leveleik érdes felületűek (barázdáltak, fedőszőreik vannak), magas epikutikuláris viasz tartalmuk van. A lombkorona sűrűség kapcsán ennél az „ideális”-nál konkrétabb vélemények is vannak, melyek szerint a sűrűbb korona, és magasabb LAI érték esetén a PM-megkötő hatékonyság is jobb (Kwak et al., 2019).

A teljes fa esetében a pormegkötő képességet a levél morfológiai, felszíni tulajdonságai mellett a korona habitusa és a fa kora által is meghatározott mérete is befolyásolja. A korona lefékezi a légmozgást, ezáltal hagyja a PM részecskéket leülepedni (Braun et al., 2007). Ha sűrűbb az állomány, és a lombkorona fedettség, nagyobb a megkötés (Alonso et al., 2011).

Az élőhelyi viszonyok kapcsán Baró és munkatársai (2014) megállapították, hogy a megfelelő talajnedvesség jó hatással van a fák pormegkötő képességére.

A lerakódott por azonban visszafelé is hat a levél működésére. Azon növények esetében, melyek kiugróan szennyezett területen élnek, a lombon több aeroszol részecske halmozódik fel, romlik a fotoszintézis teljesítménye, fokozódik a sztóma rezisztencia (Popek et

al., 2018). Továbbá a pormegkötés negatívan befolyásolja a levél száraztömegét, a fotoszintetikus pigmentek működését, a sejtmembrán áteresztőképességét, a sztómaindex értéket (Chaudhary és Rathore, 2018).

Az eddigiekből is látható, hogy a fák PM-megkötő képessége változik fajtól, évszaktól függően, ezért fontos, hogy a városban ennek megfelelően is gondoljunk a fajok változatosságának biztosítására (Son et al., 2022).

A szűrő funkció időről-időre megújul. Az eső a port a korona felső részeiről az alsóbb rétegekbe, majd a talajra vagy burkolatra mossa. A szűrőhatás megújulásának másik lehetősége a lombhullatók lomb váltása (Kovács, 1985).

A por ülepedése mellett a sztómák is részt vesznek a levegő tisztításában, mégpedig úgy, hogy a gáznemű szennyezőanyagok a rajtuk keresztül bejuthatnak a levélbe. Hosszú ideig tartó magas koncentráció esetén károsíthatják is a növényt (Samson et al., 2017a).

2.2.4 Kocsányos tölgy ökológiai szolgáltatásait érintő kutatások

Samson és munkatársai (2017b) összeállították a 150 - Európában - legelterjedtebb, illetve potenciális városi fafaj ökológiai szolgáltatásait és esetleges hátrányait (disservices) tartalmazó katalógust, melyből a *Quercus robur* adatait a 3. táblázat mutatja be, magas értékelést kapva mind a mikroklíma befolyásolás, mind a légszennyezettség csökkentés, mind pedig a nettó CO₂ megkötés tulajdonságaira. A többi érték is általában pozitív, átlag feletti, csak a szárazságtűrés közepes értéke, valamint a BVOC igényel környezetfüggő mérlegelést.

3. táblázat: *Quercus robur* ökológiai szolgáltatásai (Forrás: Samson et al., 2017a nyomán)

| Faj | Általános jellemzők | | Ökológiai szolgáltatások (mértéke, jellemzője) | | | | | | Hátrányok | Érzékenység | | |
|----------------------|---------------------|-----------------|--|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|--------------|---------|
| Tudományos név | Talaj pH | Szárazság-tűrés | Mikroklíma befolyásolás | Légszennyezett-ség csökkentés | Talajminőség javítás | Nettó CO ₂ megkötés | Csapadék felfogás | Termékek | Élőhely | Allergenitás mérgezőség | BVOC kibocs. | Sótűrés |
| <i>Quercus robur</i> | <5,5-<7,5 | mérsékelt | magas | magas | mérsékelt | magas | mérsékelt | díszítő érték, faanyag | madarak, beporzók | mérsékelt | magas | magas |

Sushko és munkatársai (2021) vizsgálatában a *Quercus robur* párologtatás révén nagyobb energia leadásra volt képes, mint a *Tilia cordata*, hősziget-hatást mérséklő képessége hatékonyabbnak bizonyult.

A levegő PM tartalmának ülepedése és felhalmozódása a levéllemezen egy idővel ronthatja a fotoszintézis teljesítményét. Összehasonlító kísérletekben, ahol *Betula pendula*, és *Tilia cordata* voltak a viszonyítási alapok, a *Quercus robur* sínylette meg legkevésbé a por lerakódás hatását (Łukowski et al., 2020).

A saját mérések során jelentős *Erysiphe alphitoides* (*Microsphaera alphitoides*), tölgy lisztharmat fertőzöttséget tapasztaltunk (5. ábra). Ez a kórokozó 1907 előtt nem volt jelen Európában, ma viszont már az egyik legkomolyabb betegsége a tölgyeknek (Marçais and Desprez-Loustau, 2014). A fiatal hajtások leveleinek színén és fonákán sűrű, lisztes foltok jönnek létre, melyek meleg párás időben rövid időn belül az egész levélfelületet beborítják. Súlyos nyomás esetén a levél deformálódik, részben vagy egészben akár el is hal. Különösen a még csak pár hetes nyári hajtások a legérzékenyebbek. Hosszan tartó szárazság, sűrű ültetés jobban elősegíti a fertőzést (Maráczki, 2013). A tölgy lisztharmat csökkenti a fa fotoszintézises teljesítményét, a szénmegkötés hatékonyságát. A fotoszintézis csökkenése már a lisztharmat látható jeleinek megjelenése előtt megkezdődik (Hewitt és Ayres, 1975; Percival és Fraser, 2002). A szén megkötése egy vegetációs időszak alatt azért is csökken, mert a súlyosan fertőzött levél élettartama jelentősen rövidül, gyengül a növény életereje (Hajji et al., 2009).

5. ábra: Tölgy lisztharmat fertőzés a begyűjtött mintákon
(Forrás: saját felvétel, 2023)



3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A vizsgálatokban érintett faj

Quercus robur (kocsányos tölgy), illetve annak oszlopos alakú változata a *Quercus robur* 'Fastigiata' a vizsgált faj és fajta. A kocsányos tölgy a legtovább élő (200-500 év, de 800 éves példányok is léteznek), és a legnagyobb méretet elérő tölgyünk (30-40 m), a *Fagaceae* család, *Fagales* rend tagja. Az alapfajnak vastag ágakból álló terebélyes koronája van. Levelei rövid nyelűek, visszástojásdad formájúak, öblösen karéjosak, a lemez válla cimpás. Termős virágzatai nyúlánk kocsányúak. Egész Európában megtalálható, a sík és dombvidékek fája. Ott fejlődik jól, ahol mélyre hatoló karógyökere talajvizet ér (Tóth, 2012). Az ártéri keményfaligetek és pusztai tölgyesek uralkodó faja (Terpó et al., 1987; European Commission. Joint Research Centre., 2016).

Az oszlopos tölgy, *Quercus robur* 'Fastigiata' a kocsányos tölgy rügymutációjából származik. Oszlopos megjelenésű, különösen fiatalabb korban. Az ágai mereven felfelé állnak, amelyek gyakran hullámosak (Tóth, 2012). Többnyire magról szaporítják, így a 'Fastigiata' néven forgalmazott szaporítóanyagból nem teljesen egyöntetű egyedek fejlődnek: a fa termete a tojás alaktól a karcsú jegenyeformáig változhat. A Közép- és Észak-Európában található oszlopos tölgyek, más néven piramis tölgyek Robert Caspari (1818-1887) botanikus szerint a németországi Harreshausen mellett, a XVII.században fellelt – és ugyan már leromlott állapotban, de napjainkban is élő - egyed utódai (internet 4).

3.2 A vizsgálatok, mintavételezések helyszínei

A vizsgálatokra, mintavételezésekre Budapesten belül került sor, a Móricz Zsigmond körtér (XI. ker.), Szent Gellért tér (XI. ker.) és Illatos út (IX. ker.) közterületein. A helyszínek elhelyezkedését a 9. ábra szemlélteti. A kiválasztásban szerepet játszott az, hogy az itt ültetett tölgyek mindhárom esetben városi közlekedési csomópontok, forgalmas útvonalak közelében találhatóak, de eltérő életkort képviselnek.

A két, XI. kerületi helyszíntől északra fekvő Gellérthegy alapkőzetének főtömegét dolomit alkotja, lejtőit fiatalabb kőzetek burkolják (pl. a Gellért tér felőli oldalon márga, mészkő). A Gellérthegytől keleti, déli irányban a Pesti-síkság terül el, mely valójában a Duna völgyének egy szakasza. Itt dunai eredetű üledék található a felszín közelében, viszont Budapest belső kerületeiben ez a folyami üledékes kőzet, kavics 3-5 méterrel a felszín alatt fekszik, mivel a város fejlődése során feltöltötték. A IX. kerületi Illatos úti vizsgálati hely

esetében is az alapkőzet folyami üledékes terasz kavics, anyag és homok, amit városi feltöltés fed (Pécsi et al., 1959).

Az utóbbi évtizedek legjelentősebb változását, átalakítását a körtér és a Gellért tér szerkezetében, megjelenésében a Bartók Béla út 2002-es felújítása, majd a 4-es metró 2014-es átadása eredményezte (Friedl, 2022). Ez a két év volt egyúttal az, amikor a Gellért téri (2002), majd a Móricz Zsigmond téri (2014) oszlopos tölgyeket elültették (Grabner Balázs Korzó Stúdió, szóbeli közlés, 2023).

Az Illatos út nyomvonala egy lefolyó csatorna mentén jött létre, amely Kispest, Kőbánya irányából haladt a Soroksári Duna felé. Az Illatos út és Gubacsi út sarkán lévő területre 1937-ben építettek egy lakótelepet, ahol azonban az 1980-as évektől rohamosan leromlottak a körülmények, így a 2000-es évek elején a kerületi önkormányzat szociális városrehabilitációs programot indított, majd a lakótelepet 2009 és 2014 között lebontották (internet 5). Az Illatos úton vizsgált fiatal tölgyfákat a volt lakóépületek helye előtt ültették az út mellé 2021-ben.

3.2.1 Budapest, XI. ker. Móricz Zsigmond körtér

A körtéren az oszlopos tölgyek egy körívben helyezkednek el a Szent Imre szobor mellett és mögött. Az itt lévő 9 egyedből a BP Fatár (internet 6) azonosítói szerint a következő négyet vizsgáltam: 11MOR02001, 11MOR02002, 11MOR02005, 11MOR02007 (6. ábra). Az ültetésük éve: 2014. A metró építés előtti szinthez képest a szobor körüli területet mintegy 1-1,2 méterrel feltöltötték, a fákat erre a megemelt területre ültették. Az októberi mérésnél már jelentős lisztharmat fertőzés volt látható a leveleken.

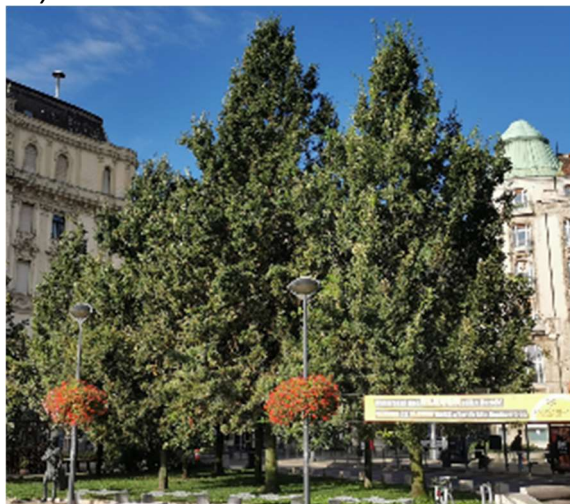
6. ábra: Móricz Zsigmond körtéren vizsgált oszlopos tölgyek csoportja
(Forrás: saját felvétel, 2023)



3.2.2 Budapest, XI. ker. Szent Gellért tér

Facsoport az M4 metró lépcsője előtt. Az itt álló 10 fából vizsgált 4 azonosítói a következők: 11GLT01016, 11GLT01018, 11GLT01021, 11GLT01024 (7. ábra). Az ültetésük éve: 2002. Az augusztusi vizsgálat idején erős, majd az októberi mérésnél még az augusztuséhoz képest is intenzívebb lisztharmat fertőzés jelei voltak a leveleken.

7. ábra: Szent Gellért téren vizsgált oszlopos tölgyek csoportja
(Forrás: saját felvétel, 2023)



3.2.3 Budapest, IX. ker. Illatos út

Útmenti fásor a Gubacsi úti kereszteződés előtt, a Dunától távolodó irányban az út jobb oldalán. A vizsgált 4 egyed a IX. kerületi önkormányzat azonosítói szerint: IX/18778, IX/18780, IX/18781, IX/18783 (8. ábra). Ültetésük éve: 2021. A fákat öntözőzsákkal látták el, ennek ellenére a IX/18783 azonosítójú fa augusztusra erős száradási tüneteket mutatott, de októberre már elkezdett regenerálódni. Az augusztusi és októberi méréseinknél ezt az egyedet nem vettük figyelembe. Ezek a fák közvetlenül az út mellett állnak, ahol a nagyvárosi közlekedést jelentős kamionforgalom is terheli.

8. ábra: Illatos úton vizsgált kocsányos tölgyek
(Forrás: saját felvétel, 2023)



3.3 A helyszíni mérések és mintavételezések időpontjai

- I. A növények intenzív növekedési időszakában: 2023.06.05-án, 10:00 és 13:00 óra között
- II. A nyári nyugalomban: 2023.08.23-án, 10:00 és 13:00 óra között
- III. A vegetációs időszak vége felé: 2023.10.09-én, 10:00 és 13:00 óra között (LAI mérés: 2023.10.11. 13:00 óra, igazodva a megfelelő fényviszonyokhoz)

3.4 Faméretek és összes levélfelület számítása

A fák fő méreteinek – famagasság, törzsmagasság, 1 méter magasságban mért törzskörméret, valamint a csurgóterület számításhoz szükséges koronaátmérő felszíni vetületeinek – meghatározásához méterrudat, mérőszalagot, egyenlőszárú derékszögű háromszöget használtam. A hasonló háromszögek elve alapján becsültem a fák magasságát; a szemmagassághoz adva azt a fatörzstől mért távolságot, ahonnan a háromszög egyik befogóját vízszintesen a szem előtt tartva az átfogó vonalában épp a fa csúcsa volt látható. Ahol a gyökérnyak menti talajfelszín és a mérési pont között szintbeli eltolódás előfordult, ott természetesen a szintkülönbséget is figyelembe vettem. A mérési eredményeket adatfelvételi lapokon vettem fel. Ezeket a fizikai paramétereket az első mérési időpontban rögzítettem, minden további mérést a 4-4 egyedre és környezetükre vonatkozóan mindhárom helyszínen az említett három alkalommal elvégeztem, kivéve a fent említett Illatos úti egyed esetében, ahol augusztusban és októberben a száradási tünetek miatt ezt kihagytam.

A levélfelület index (leaf area index – LAI) meghatározásához AccuPAR L-80 Ceptometer fotoszintetikusán aktív sugárzás (PAR) mérőt használtam. A műszer fő részeit egy 4 db AAA elemmel működő, kézben tartható vezérlő-, adatgyűjtő központi egység, valamint ehhez kapcsolódóan egy 80 – egymástól 1-1 cm távolságban elhelyezkedő - érzékelőt magába foglaló, hosszú szonda alkotják. A helyszínhez, időponthoz köthetően elmentett adatok, mint a korona alatti átlagos PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \times \text{s}$], a koronán kívüli átlagos PAR és a mért, valamint beállított paraméterek alapján számolt LAI értékek a méréseket követően letölthetőek számítógépre. A műszer a LAI számításhoz még egy további tényezőt is használ, amit manuálisan kell beállítani, amennyiben az 1-es standard értéktől el akarunk térni. Ezt a faktort a növény térbeli kiterjedése, szélességi-magassági dimenzióinak aránya (leaf area distribution parameter) befolyásolja. A műszer felhasználási útmutató és korábbi tapasztalatok alapján a dolgozatban mért fák esetében 0,8-1,0-es együtthatót használtam (a Móricz Zsigmond körtéri oszlopos habitus esetén 0,8).

A készüléket a mérés során vízszintes pozícióban működtetjük, amit a készüléken lévő buborék segítségével állíthatunk be. Mindhárom időpontban, mind a 3 helyszínen vizsgált fáknál végeztünk egy lombkorona árnyékon kívüli, teljesen napfényes mérést, valamint 4-4 lombkorona árnyékon belüli mérést, lehetőleg úgy, hogy az érzékelő szonda minden mérésnél az előzőekhez képest 90°-ban elforduljon, és így egyedenként egy kiegyenlítettebb átlagérték születhessen. A méréseket fánként mentettük el, a később letöltött adatok azonosíthatóak voltak.

A faméretekből és a LAI adatokból összes levélfelületet (m^2) számoltunk az alábbiak alapján: az átlagos koronaszélesség (átmérő) alapján kiszámoltuk a csurgóterület felületét (koronavetület-terület) m^2 -ben (kör területe = $r^2 \times \pi$), amit megszoroztunk a LAI dimenzió nélküli értékével. A különböző formájú koronák térfogatának számítási módszerét a 4.2 bekezdésben írom le a jobb követhetőség érdekében.

3.5 Fotszintetikus aktivitás és vízgőz kibocsátás mérése

A fotszintetikus aktivitás és vízgőz kibocsátás mérésére a CID Bio-Science gyártó CI-340 kézi fotszintézis mérő infravörös gázanalizátor készülékét használtam. A műszer - több más érték mellett (mint pl. a levélfelületi hőmérséklet) - a levél CO_2 megkötés mértékének (azaz a belépő és kilépő CO_2 gáz koncentrációjának összevetésével az egységnyi levélfelületen keresztül egy időegység alatti CO_2 beépülésnek, nettó fotszintetikus aktivitás) és a transzspiráció mértékének (vagyis a levélfelület időegység alatti vízgőz kibocsátásának) mérésére szolgál.

Az akkumulátorral működő, saját billentyűzettel, kijelzővel rendelkező kompakt mikroprocesszoros műszerhez megfelelő levélkamra illesztendő a mérések előtt. A lomblevelűekhez ajánlott mérőfej, amelyet a mérések során használtam 2,5*2,5 cm-es, azaz 6,25 cm^2 területű. A készülék a heteroatomos gázmolekulákat (mint H_2O , CO_2) méri az infravörös fény elnyelési hullámhossza alapján, amint a fény áthalad a levélkamrán keresztüláramló levegőmintán. Fotszintézis méréskor a készülékbe épített, a mikroprocesszor által szabályozott légáramlási sebességet biztosító levegőpumpa, áramlásérzékelő és szelepek biztosítják, hogy az elemző egység 20 másodpercenként felváltva elemezze a levélkamrában lévő levél mintaterületén mérhető CO_2 koncentrációját. A méréseket számítógépre töltöttük.

Mindhárom időpontban, a vizsgált egyedekről helyszínenként 20 db, alkalmanként pedig a 3 helyszínre vonatkozóan összesen 60 db elmentett adatsorunk keletkezett. A lehetőségekhez mérten igyekeztünk kerülni azt, hogy a környezeti CO_2 tartalom nagyon

ingadozzon a folyamat során (pl. közlekedő járművek, gyalogosok hatására). Az egyes leveleket érintő mérések elindítására azután került sor, miután a levélkamrával közrefogtuk a levelet és a rendszer stabilizálódott (az értékeken belüli változások minimálisra csökkentek). Egy-egy mérés kb. 2 percet vett igénybe.

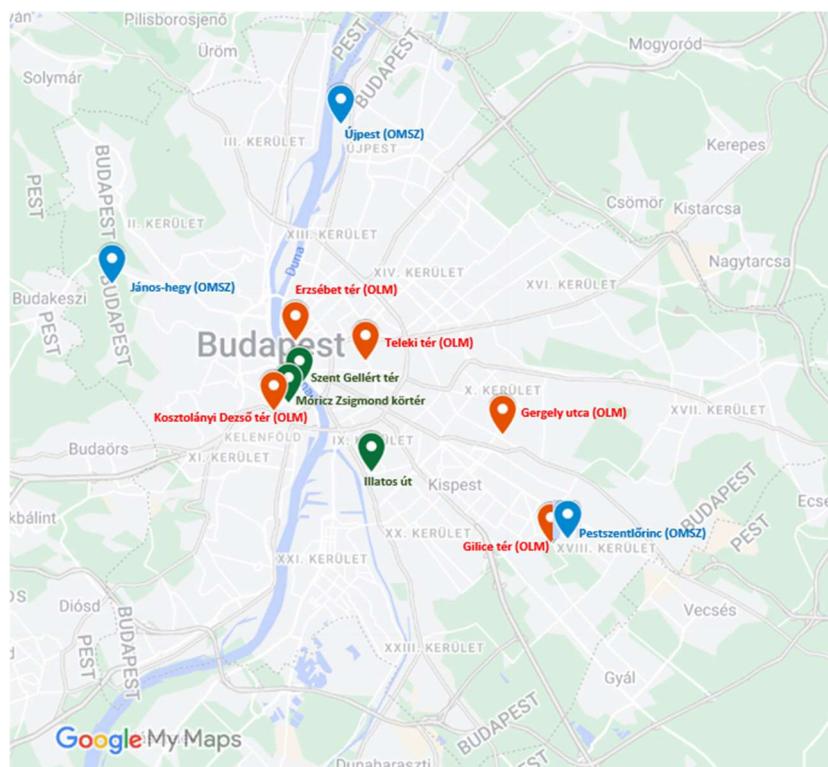
A műszer által mért Pn érték, mint nettó fotoszintetikus ráta megmutatja, mennyi széndioxidot köt meg az adott növény m^2 levélfelületre vonatkoztatva egy másodperc alatt. Ahhoz, hogy méréseink során kapott értékek jobban értelmezhetőek legyenek a készülékben rögzített $[\mu\text{mol}/m^2 \times \text{sec}]$ értékeket $[\text{g}/m^2]$ levélfelületre számítottuk át kétórás időintervallumokba. Ezen az időegységen belül a fotoszintézis napi menetében alacsony a változás mértéke az általunk mért időszakban (10-13 óra között). A műszer által mért vízgőz kibocsátást (E érték) is átszámoltuk a $[\text{mmol}/m^2 \times \text{sec}]$ értékből $[\text{l}/m^2]$ levélfelületre. Mindkét adat, a korábban említett összes levélfelülettel felszorozva megmutatja, hogy a tölgy különböző korban, különböző lombkorona mérettel maximum mennyi CO_2 -t képes napi szinten megkötni, továbbá, hogy mennyi vízgőzt tud maximum a környezetébe juttatni, amely aktívan hűti környezetét.

3.6 Környezeti hatások vizsgálati módszere

A referenciaként használt aktuális budapesti hőmérséklet, csapadék, szélökés adatok, valamint PM légszennyezettségi értékek az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), illetve Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) adatbázisából (internet 7) származnak.

A budapesti levegő szennyezettségét, a légszennyezettségi határértékek betartását 2001 óta az OLM vizsgálja. A hálózat mérőállomásai közül Gilice tér, Kosztolányi Dezső tér, Erzsébet tér, Gergely utca és Teleki tér állomások adatainak átlagát használtam a PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ légszennyezés referenciájaként, miután ezek a legközelebbi automata mérőállomások. A 9. ábrán szemléltetem a három favizsgálati helyszínt, és ezekhez képest ennek az öt légszennyezettségmérő állomásnak, valamint a fővárosi hőmérséklet, csapadék, szélökési értékek referencia adatait szolgáltató OMSZ (2024.01.01-től HungaroMet) három regisztrált meteorológiai állomásnak – János-hegy, Újpest, Pestszentlőrinc - az elhelyezkedését.

9. ábra: A vizsgálati helyszínek (zöld), az OMSZ meteorológiai állomások (kék) és az öt referenciapontként vett OLM légszennyezettségmérő állomás (piros) elhelyezkedése (Forrás: saját térképábrát GoogleMaps felhasználásával)



A tölgyek lomb hőmérsékletét, valamint a fák környezetének hőmérsékletét digitális infrahőmérővel mértük mindhárom időpontban és helyszínen. A mérés során egyenként 10-10 mérést végeztük a koronában és a fa burkolt környezetében. A mért értékeket a helyszínen adatfelvételi lapon jegyeztük fel, majd számítógépen rögzítettük.

A leveleken leülepedett por méréséhez egy-egy helyszínről – azaz 4 fánként - júniusban 48 db levelet gyűjtöttünk be - ekkor egyenként elkülönítve -, majd augusztusban helyszínenként 16 db-ot, és októberben helyszínenként 20 db-ot. A megközelítés változásának az volt az oka, hogy kevésbé tartottuk indokoltnak az egyedi fánként végzett por leülepedési vizsgálatokat, szemben az azonos helyszínen lévő több egyedre vonatkozó mérések átlagolásával. Ennek kapcsán azt is figyelembe kellett venni, hogy pl. az Illatos úton az egyik vizsgált fa (IX/18783 azonosítóval) száradási tünetek miatt sem augusztusban, sem októberben nem volt olyan állapotban, hogy arról levelet lehessen gyűjteni.

A helyszínenként begyűjtött levélmintákat június, augusztus során 4, októberben 5 db-os egységenként, azonosító kódolással ellátott papírtasakba gyűjtöttük. A laborban a minták darabszámának megfelelő főzőpoharat sorszámoztunk és mértünk meg Ohaus Explorer Pro labormérleggel, tizedmiligrammos pontossággal. Ezzel a pontossággal történt minden további tömegmérés is. Egy-egy sorszámozott pohárhoz egy-egy 4 db-os, illetve októberben 5 db-os

levélmintát kapcsoltunk. Ezt követően a csoportos levélmintákról a rajtuk lévő teljes por szennyeződést a hozzájuk rendelt poharakba töltött 50-50 ml desztillált vízbe mostuk le óvatosan kicsi ecset segítségével. A jelölt poharak a poros vízzel VWR Dry_Line 56 Prime szárítószekrénybe kerültek a víz elpárologtatása céljából, 115°C-on 8 órán keresztül. A lemosott leveleket a megfelelő kódolás megtartásával újságpapír között préselve megszáritottam, majd később levélskenner segítségével meghatároztam a levélfelületüket (lásd később).

A víz elpárologtatása után a szárítószekrényből kivett poros üledéket tartalmazó poharak ebben a formában is mérlegelésre kerültek, így a pohár tömegek „koszos” és „tisztá” mérési eredményeinek különözete alapján megkaptuk a kódolt minták por szennyeződésének tömegét.

A labormunka egy másik lépéseként a korábban lemosott, majd természetes módon megszáradt levelek felületének lemérésére került sor, az ADC BioScientific gyártó AM350 levélskennerének használatával. Az így kapott levélfelület méreteket a kódolások alapján összekapcsoltuk a portömeg adatokkal, és az egyes helyszíneknek megfelelően megkaptuk az egységnyi levélfelületen leülepedett pormennyiséget [g/m^2] mértékegységben. Ezekkel a mért, egységnyi felületre vonatkozó értékekkel elemezhető a fák leveleire lerakódó pormennyiség, amely függhet a szennyező forrásoktól való távolságtól, a szélviszonyoktól, csapadéktól. A fák teljes lombfelületére vetítve pedig megkaptuk azt az értéket, amely az életkor és a koronaméret alapján szemlélteti a levegőszűrés, mint ökológiai szolgáltatás mértékét a fa korának előrehaladtával.

3.7 Adatok elemzése

Adatainkat excel-táblázatba rendeztük, számításainkat elvégezve, IBM SPSS 29.0.1.0 verziójú statisztikai programban elemeztük szóráshomogenitás vizsgálat mellett egytényezős variancia-analízissel (ANOVA), az egyes csoportokat pedig Duncan-teszt, illetve – ahol a szóráshomogenitás feltételei nem teljesült - Games-Howell teszt segítségével különítettük el. Elsődlegesen a helyszínek (így tulajdonképpen az egyes korosztályok) közötti különbségeket vizsgáltuk az adott mérési napok adatait felhasználva. Az adatokat diagramon ábrázoltuk, ahol a vizsgálati időpontokban az eltérő betűk statisztikai különbségeket jelölnek a helyszínek (életkorok) között ($p=0,05$).

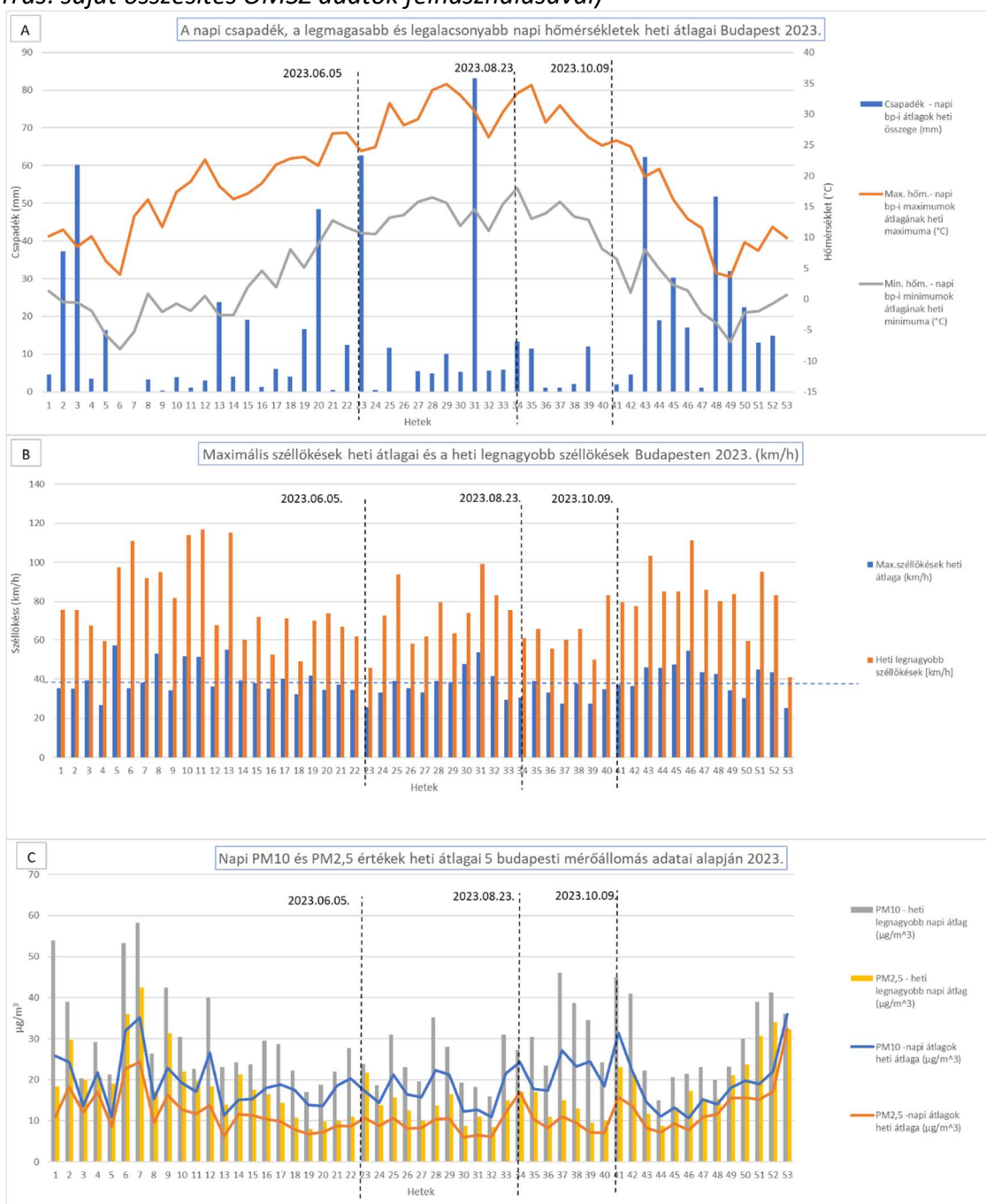
4 EREDMÉNYEK

4.1 PM légszennyezettségi és meteorológiai körülmények

A tölgyeken végzett mérések teljesebb körű értékelhetősége érdekében OMSZ alapadatokból kiindulva összesítettem a budapesti napi legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékletek, napi csapadék mennyiségek és maximális szélökések átlagának alakulását, valamint a korábban említett 5 légszennyezettséget mérő állomás adatai szerinti PM₁₀ és PM_{2,5} átlagokat, melyeket a 10. ábrán heti bontásban ábrázoltam.

10. ábra: Hőmérséklet, csapadék, szélökés és PM átlag értékek heti bontásban, a mérési időpontokkal kiegészítve Budapest, 2023

(Forrás: saját összesítés OMSZ adatok felhasználásával)



A tételes adatokból megállapítható, hogy a méréseket megelőző 2 hetes időszakok során nem volt sok csapadék (12,9 mm, 19,2 mm és 0 mm), a mennyisége mindhárom időszakban jelentősen elmaradt a 2023. évi átlagtól, ami 29,6 mm/2 hét volt. A mérések előtti 48 órában egyáltalán nem esett egyik időpontban sem; az októberi mérés előtt pedig több mint egy hét csapadékmentes volt. Közvetlenül a mérés után júniusban jelentősebb, októberben kisebb eső hullott, amit a hőmérséklet csökkenése is követett. A napi maximális szélökések heti átlaga a három időpontot megelőző 2-2 hetes időintervallumokban (36 km/h, 36 km/h, 32 km/h) mindvégig az ilyen heti átlagok egész éves átlaga (39 km/h) alatt maradt.

A levegő PM szennyezőanyag koncentrációját tekintve a PM₁₀ értékek átlaga – maradvá továbbra is a méréseket megelőző 2 hetes időszakoknál – enyhén növekedett az elsőtől a harmadik időpontig (19,2 µg/m³, 20,1 µg/m³, 21,9 µg/m³), mindvégig az éves átlag (18,8 µg/m³) feletti értékek mellett. Ugyanakkor a PM_{2,5} kétheti szintje augusztusban (11,8 µg/m³) egy kiugrást mutatott - mind a júniusi (8,4 µg/m³), mind az októberi (7,4 µg/m³) értékekhez képest – meghaladva az éves átlagot (11,2 µg/m³).

Itt érdemes megjegyezni, hogy ezen értékek ugyan a jelenleg hatályos egészségügyi határértékeken (PM₁₀ 40 µg/m³, PM_{2,5} 20 µg/m³) belül vannak, meghaladják a WHO legutolsó, 2021.évi ajánlását, ami PM₁₀ esetében 15 µg/m³, PM_{2,5} esetében pedig 5 µg/m³ (1. táblázat).

4.2 A vizsgált tölgyek méretei és a mért LAI értékek

A vizsgálatokban érintett fák mért és számolt méreteit, valamint a vegetációs időszakban három alkalommal mért LAI értékeket a következő táblázatok foglalják össze, helyszínenként átlagolva az adatokat. Az eredmények értékelésekor abból a feltételezésből indultam ki, hogy a városi környezet mindhárom helyszín esetében több hasonlóságot jelent, mintsem különbséget, így a későbbi következtetések során az egyes helyszínek elsősorban a különböző korú városi tölgyek szolgáltatásait reprezentálják.

A Móricz Zsigmond körtéri (4. táblázat) és a Gellért téri (5. táblázat) 'Fastigiata' fajta esetében a koronatérfogat számítását Coder (2000) kúp, illetve Franceschi et al. (2022) piramis formára alkalmazott – azonos eredményt adó - képletével számoltam, míg az alapfajhoz tartozó fiatal Illatos úti (6. táblázat) tölgyekhez azt használtam, amit Coder (2000) szferoid, és Franceschi et al. (2022) fél-ellipszoid koronára ajánlottak, de eredmény tekintetében ugyanoda vezettek (a képleteket lásd a táblázatokban).

4. táblázat: Móricz Zsigmond körtéri fák méretbeli adatai

(Forrás: saját mérések és számítások)

| <i>Quercus robur</i> 'Fastigiata' - Ültetés éve: 2014 / Helyszín: Móricz Zsigmond körtér | Móricz1 | Móricz2 | Móricz3 | Móricz4 | Móricz átlag |
|--|------------|------------|------------|------------|--------------|
| azonosító (Budapest Fatár) | 11MORO2001 | 11MORO2002 | 11MORO2005 | 11MORO2007 | |
| famagasság (m) | 11,65 | 12,65 | 9,90 | 11,65 | 11,46 |
| törzsmagasság (m) | 0,25 | 0,50 | 0,60 | 0,40 | 0,44 |
| koronaszélesség (m) d_{sz} | 3,50 | 2,60 | 2,30 | 3,00 | 2,85 |
| koronahosszúság (m) d_h | 3,40 | 2,70 | 2,40 | 2,70 | 2,80 |
| koronamagasság (m) $h_k = h_{fa} - h_{törzs}$ | 11,40 | 12,15 | 9,30 | 11,25 | 11,03 |
| törzskörméret (cm) | 89,00 | 76,00 | 66,00 | 91,00 | 80,50 |
| korona vetület területe (m ²) $A = ((d_{sz}/2 + d_h/2)/2)^2 * \pi$ | 9,35 | 5,52 | 4,34 | 6,38 | 6,40 |
| piramis korona térfogat (m ³) $V = ((d_{sz}/2 + d_h/2)/2)^2 * h_k * \pi * 1/3$ | 35,52 | 22,34 | 13,45 | 23,92 | 23,81 |
| LAI - június | 2,50 | 2,75 | 2,57 | 2,70 | 2,63 |
| LAI - augusztus | 2,21 | 3,03 | 3,03 | 3,02 | 2,82 |
| LAI - október | 1,69 | 1,94 | 1,85 | 1,98 | 1,87 |
| összes levélfelület (m ²) - június | 23,37 | 15,17 | 11,15 | 17,22 | 16,73 |
| összes levélfelület (m ²) - augusztus | 20,66 | 16,71 | 13,14 | 19,27 | 17,44 |
| összes levélfelület (m ²) - október | 15,80 | 10,70 | 8,02 | 12,63 | 11,79 |

5. táblázat: Szent Gellért téri fák méretbeli adatai

(Forrás: saját mérések és számítások)

| <i>Quercus robur</i> 'Fastigiata' - Ültetés éve: 2002 / Helyszín: Szent Gellért tér | Gellért1 | Gellért2 | Gellért3 | Gellért4 | Gellért átlag |
|--|------------|------------|------------|------------|---------------|
| azonosító (Budapest Fatár) | 11GLT01016 | 11GLT01018 | 11GLT01021 | 11GLT01024 | |
| famagasság (m) | 12,45 | 13,45 | 13,40 | 13,65 | 13,24 |
| törzsmagasság (m) | 2,30 | 2,20 | 2,30 | 2,00 | 2,20 |
| koronaszélesség (m) d_{sz} | 7,20 | 5,90 | 4,70 | 7,00 | 6,20 |
| koronahosszúság (m) d_h | 5,20 | 4,80 | 4,50 | 5,80 | 5,08 |
| koronamagasság (m) $h_k = h_{fa} - h_{törzs}$ | 10,15 | 11,25 | 11,10 | 11,65 | 11,04 |
| törzskörméret (cm) | 93,00 | 101,00 | 93,00 | 94,00 | 95,25 |
| korona vetület területe (m ²) $A = ((d_{sz}/2 + d_h/2)/2)^2 * \pi$ | 30,19 | 22,48 | 16,62 | 32,17 | 25,36 |
| piramis korona térfogat (m ³) $V = ((d_{sz}/2 + d_h/2)/2)^2 * h_k * \pi * 1/3$ | 102,15 | 84,30 | 61,49 | 124,93 | 93,22 |
| LAI - június | 2,23 | 2,43 | 2,25 | 2,11 | 2,26 |
| LAI - augusztus | 4,18 | 3,37 | 3,72 | 3,01 | 3,57 |
| LAI - október | 1,60 | 1,58 | 1,82 | 2,00 | 1,75 |
| összes levélfelület (m ²) - június | 67,33 | 54,63 | 37,39 | 67,88 | 56,81 |
| összes levélfelület (m ²) - augusztus | 126,20 | 75,76 | 61,82 | 96,83 | 90,15 |
| összes levélfelület (m ²) - október | 48,31 | 35,52 | 30,25 | 64,34 | 44,60 |

6. táblázat: Illatos úti fák méretbeli adatai

(Forrás: saját mérések és számítások)

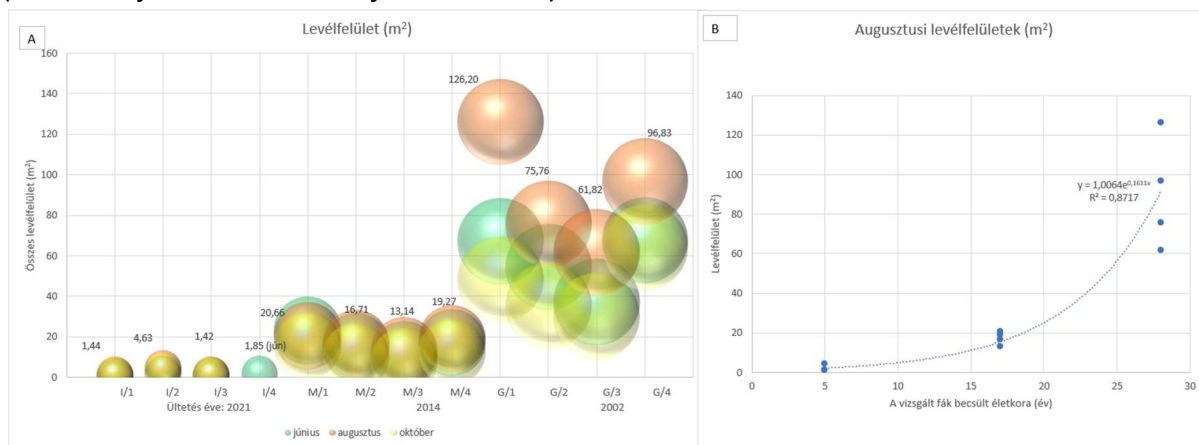
| <i>Quercus robur</i> - Ültetés éve: 2021 / Helyszín: Illatos út | Illatos1 | Illatos2 | Illatos3 | Illatos4 | Illatos átlag |
|---|----------|----------|----------|----------------|---------------|
| azonosító (Budapest, IX. kerületi önkormányzat) | IX/18778 | IX/18780 | IX/18781 | IX/18783 | |
| famagasság (m) | 3,80 | 4,00 | 3,60 | 3,80 | 3,80 |
| törzsmagasság (m) | 1,90 | 1,90 | 1,95 | 1,90 | 1,91 |
| koronaszélesség (m) d_{sz} | 1,05 | 1,90 | 1,00 | 1,30 | 1,31 |
| koronahosszúság (m) d_h | 1,05 | 1,50 | 1,05 | 1,35 | 1,24 |
| koronamagasság (m) $h_k = h_{fa} - h_{törzs}$ | 1,90 | 2,10 | 1,65 | 1,90 | 1,89 |
| törzskörméret (cm) | 12,50 | 14,00 | 13,50 | 14,00 | 13,50 |
| korona vetület területe (m ²) $A = ((d_{sz}/2 + d_h/2)/2)^2 * \pi$ | 0,87 | 2,27 | 0,83 | 1,38 | 1,33 |
| fél-ellipszoid korona térfogat (m ³) $V = ((d_{sz}/2 + d_h/2)/2)^2 * h_k * \pi * 2/3$ | 1,10 | 3,18 | 0,91 | 1,75 | 1,73 |
| LAI - június | 0,49 | 0,71 | 1,07 | 1,34 | 0,90 |
| LAI - augusztus | 1,66 | 2,04 | 1,72 | száraz levelek | 1,81 |
| LAI - október | 1,18 | 1,49 | 1,21 | száraz levelek | 1,29 |
| összes levélfelület (m ²) - június | 0,42 | 1,61 | 0,88 | 1,85 | 1,19 |
| összes levélfelület (m ²) - augusztus | 1,44 | 4,63 | 1,42 | száraz levelek | 2,50 |
| összes levélfelület (m ²) - október | 1,02 | 3,38 | 1,00 | száraz levelek | 1,80 |

E szakdolgozat keretein belül csak három különböző időpontban került sor LAI mérésre, de a rögzített adatok így is tükrözik a levélfelület index vegetáción belüli változását, ami a június eleji, még intenzív növekedési szakaszbeli értékhez képest tovább emelkedve, a nyári időszakban tetőzik, majd pedig fokozatos csökkenésnek indul. A változás érzékeltetése érdekében az összes vizsgált egyed júniusi LAI értékeinek átlagát 100%-nak véve, az augusztusi átlag 146%, az októberi pedig 86% a koranyári értékhez viszonyítva. Ugyanakkor már e három

időpont mérései is alátámasztják a fák LAI értékeinek vegetációs időszakon belül jellemző lefutását, melyet Steiner és munkatársai (2016) *Acer* és *Tilia* fajok esetében vizsgáltak és dokumentáltak.

A táblázatokban szereplő, helyszínenként, valamint mérési időpontként kiszámolt és átlagolt teljes lombfelületeket a CO₂-megkötési, párologtatási, porüledési vizsgálatok értékelése során felhasználom. A 11. ábra (A) része az egyes vizsgált fák teljes lombfelületének nagyságát mutatja be mérésenként (július, augusztus, október) és helyszínenként, a vegetációs időszakban legnagyobb, augusztusi értékeket feltüntetve. A diagram egyben az érintett fák levélfelületének – szezonon belüli – 3 mérési időponthoz tartozó méretének változását, valamint az ültetési évek alapján kimutatható különbségeket is tükrözi úgy, ahol a buborék mérete a fák korával arányos. Az ábra (B) része a vizsgált fák augusztusi lombfelületének alakulását szemlélteti a MFE ajánlása (Szaller, 2013) szerint becsült korok függvényében. A kor becsüléséhez figyelembe vettem az 1 méteres magasságra számolt törzsátmérőt, a faj átlagos növekedési erélyét és azt, hogy az élőhelyi körülmények az Illatos úton rosszak, a Móricz Zsigmond körtéren és a Szent Gellért téren optimálisak.

11. ábra: A tölgyek teljes levélfelülete a mérési napok és az egyes helyszínek (életkor) szerinti csoportosításban (A), és az életkor szerint változó augusztusi lombfelület függvénye (B) (Forrás: saját mérési adatok felhasználása)



Az augusztusi legnagyobb lombfelületek nagyságának és a számolt bruttó koronatérfogatoknak a hányadosa a vizsgált fák átlagában 0,73 és 1,45 között volt; az oszlopos körtéri, valamint Gellért téri tölgyeknél 0,73, illetve 0,97, míg a fiatal Illatos úti fák esetében 1,45. Ebből az látható, hogy a fák kora, koronaformája alapján akár jelentős eltérések is lehetségesek Radó (1999) általános megállapításához képest, miszerint 1 lombköbméter átlag 4 m² asszimiláló felületnek felel meg.

4.3 A vizsgált fák szén-dioxid megkötése és vízpára kibocsátása

Az ökológiai szolgáltatások szempontjából a CO₂ megkötése, valamint a párologtatás, mint a mikroklíma befolyásolás egyik lehetséges módja, két külön, önmagában is jelentős haszon, amit a fák biztosítanak. A vizsgálatokhoz használt CI-340 kézi fotoszintézis mérő egyszerre alkalmas a fotoszintézises aktivitás, azaz nettó CO₂ asszimilációs ráta és a vízpára kibocsátás, transzspirációs ráta mérésére. Ezek az időjárási feltételeknek megfelelően hasonlóan alakulnak, ezért az eredményeket is együtt mutatom be. Ahogy a fotoszintézis mérés módszerének leírásánál utaltam rá, a mérési folyamat nagyon érzékeny a környezet CO₂ tartalmának hirtelen ingadozására (pl. járművek hatására). Annak érdekében, hogy az esetlegesen torzító hatásokat kiszűrjük, az egy-egy időpontban, egy-egy helyszínen rögzített legalacsonyabb és legmagasabb CO₂-megkötési szélsőértékeket kiszűrtük az adatok elemzése során. Olyan esetben pedig, amikor egy fotoszintézis aktivitás mérési eredmény – valószínűsíthetően a környezeti hatásoknak köszönhetően – negatív értékű lett, a két legközelebbi, érvényes mérés értékének átlagát, mint a feltételezhetően legjobb közelítést vettük figyelembe.

Az egyes vizsgálati helyszínekre a júniusi, augusztusi és októberi mérések során jellemző 2 órás fajlagos fotoszintézis aktivitást és párologtatást a 12. ábra (A) és (B) része szemlélteti. A méréseink napi időzítése alapján a CO₂-megkötést a napi maximum teljesítménynek is tekinthetjük, mivel fotoszintézis szempontjából C3-as típusú növényekről van szó, melyek a nap folyamán a későbbi legintenzívebb sugárzást már nem használják ki teljesen. A 12. ábra (C) és (D) része a CO₂ megkötését és a H₂O párologtatást helyszínenként és időpontonként a vizsgált fák teljes lombfelületére kiszámolva mutatja be.

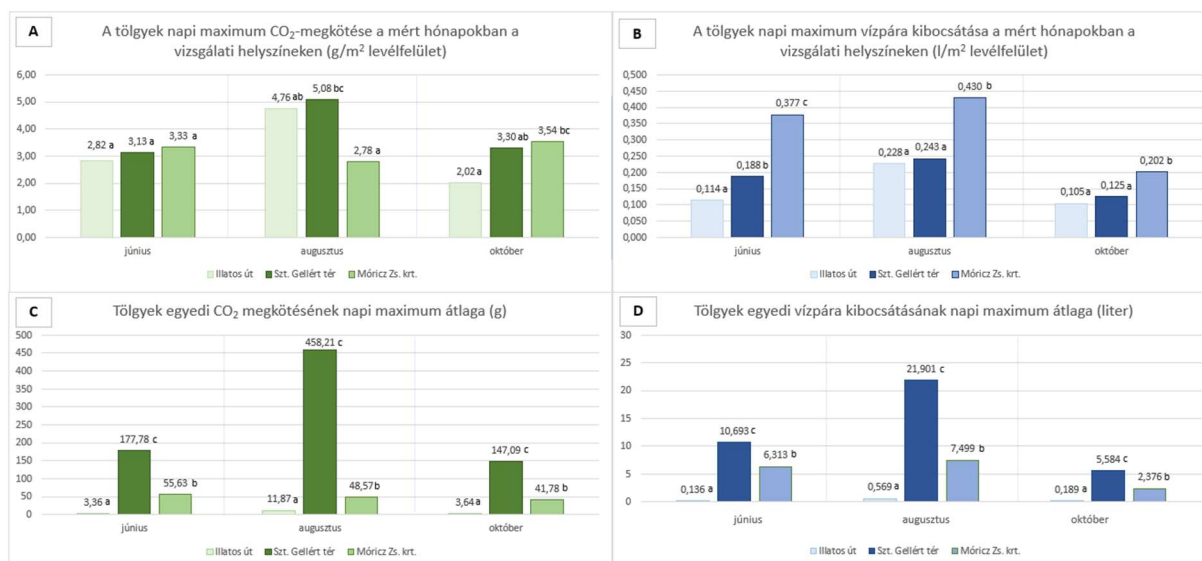
A fajlagos CO₂-asszimilációs és vízpára kibocsátás értékek az adott levelek asszimilációs és párologtatási teljesítményét mutatják adott körülmények között (12. ábra (A) és (B) része). Ami a kapott eredményekből egyértelműen kitűnik, hogy a CO₂-megkötés intenzitásának napi maximuma a legmelegebb időszakban, az augusztusi mérés során volt a legnagyobb, míg a párologtatásé ekkor volt a legalacsonyabb. A júniusi mérésnél a helyszínek között nem találtunk szignifikáns különbséget a fajlagos CO₂-megkötésben. Ugyanakkor augusztusban a Móricz Zsigmond körtéri fák szignifikánsan kevesebb szén-dioxidot kötöttek meg a másik két helyszínhez képest. Az Illatos úti és a Gellért téri fák csak tendenciájukban jeleztek eltérést. Októberben pedig csak az Illatos úti tölgyfák fajlagos megkötése mutatott statisztikai különbséget a másik két helyszínhez viszonyítva (12. ábra (A) része; melléklet 9.1.1).

A levélfelületegységre eső párologtatás esetében a fajlagos H₂O kibocsátás minden időpontban az Illatos úton volt a legkevesebb, és a Móricz Zsigmond körtéren a legtöbb. Míg júniusban mindhárom érték statisztikailag is különbözött, augusztus és október hónapokban csak a körtéri fák fajlagos párologtatása volt szignifikánsan nagyobb a másik két helyszínhez viszonyítva (12. ábra (B) része; melléklet 9.1.2).

A teljes lombfelületre vonatkoztatott adatok (12. ábra (C) és (D) része; melléklet 9.1.3 és 9.1.4) ugyanakkor kiugróan jelzik azt, hogy amíg a fiatal Illatos úti fák egységnyi levélfelületre vetítve gyakorlatilag azonos mértékben képesek CO₂-megkötésre, és a víz párologtatására, a koronaméretük, összes levélfelületi értékek alapján abszolút mennyiségben jelentős mértékben elmaradnak a Szent Gellért téri, vagy akár a Móricz Zsigmond körtéri fáktól.

12. ábra: A tölgyek CO₂-megkötése (A és C rész) és vízpára kibocsátása (B és D rész) 2 órás időszakokra számolva

(Forrás: saját mérési adatok felhasználása, az eltérő betűk statisztikai különbségeket jelölnek a helyszínek (életkorok) között ($p=0,05$))



4.4 A fák lombjának és környezetének hőmérséklete

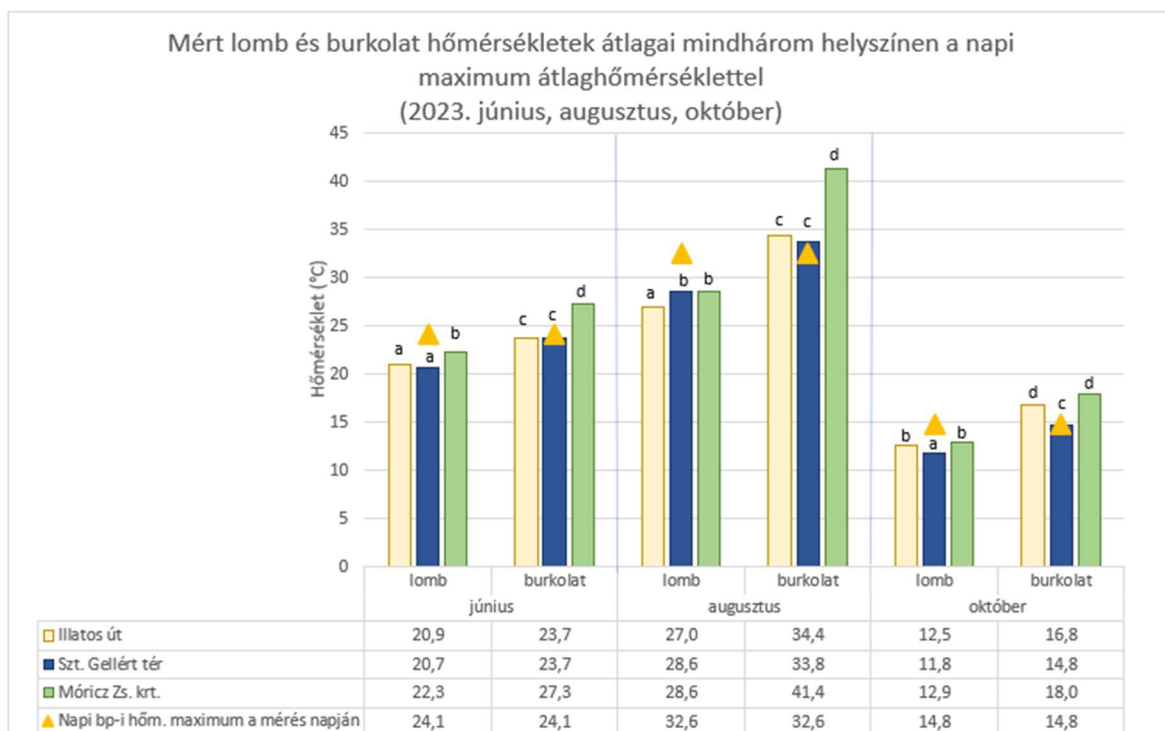
Minden mérési időpontban, minden helyszínen megállapítottuk, hogy a burkolt környezet jelentős mértékben melegebb a lomb hőmérsékletéhez képest (13. ábra; melléklet 9.1.5). A legkisebb átlagos lomb-burkolat hőmérsékleti különbséget júniusban az Illatos úton (2,8 °C) tapasztaltam, amely nem szignifikáns. Júniusban és októberben a Gellért téren hasonló értéket (3,0 °C) rögzítettem, a legnagyobb különbséget pedig augusztusban a Móricz Zsigmond körtéren (12,8 °C). Az összes mérés alapján elmondható, hogy a Szent Gellért téren volt tapasztalható a legkisebb hőmérsékleti különbség a lomb és a burkolat között, míg a körtéren

a legnagyobb. A körtéri adatok kapcsán nemcsak a különbsétek a legjelentősebbek, hanem az abszolút lomb-, illetve burkolati hőmérsékleti értékek is. A burkolat és a lomb hőmérsékletének eltérése a júniusi (3,6 °C) és októberi (4,1 °C) értékek több, mint kétszerese (8,5 °C) volt az augusztusi vizsgálat idején, amikor a napi fővárosi maximum is a legmagasabb (32,6°C) volt a többi időponthoz képest. A burkolat hőmérséklete a legtöbb esetben meghaladta az OMSZ adatokból számított napi budapesti legmagasabb hőmérsékletek átlagát is.

Az árnyékolás, párologtatás révén mérsékelt lombhőmérséklet a napi legmagasabb levegőhőmérséklet alatt maradt, hozzájárulva a helyi mikroklíma és hőérzet javításához.

13. ábra: Lomb és a burkolt környezet hőmérséklete a helyszínenként és mérési időpontonként

(Forrás: saját mérési adatok felhasználása, az eltérő betűk mérési időpontonként statisztikai különbségeket jelölnek a helyszínekhez (életkorokhoz) kapcsolódó lomb és burkolat hőmérsékletek között, a lomb és burkolat a mérési napok szerint különül el ($p=0,05$))



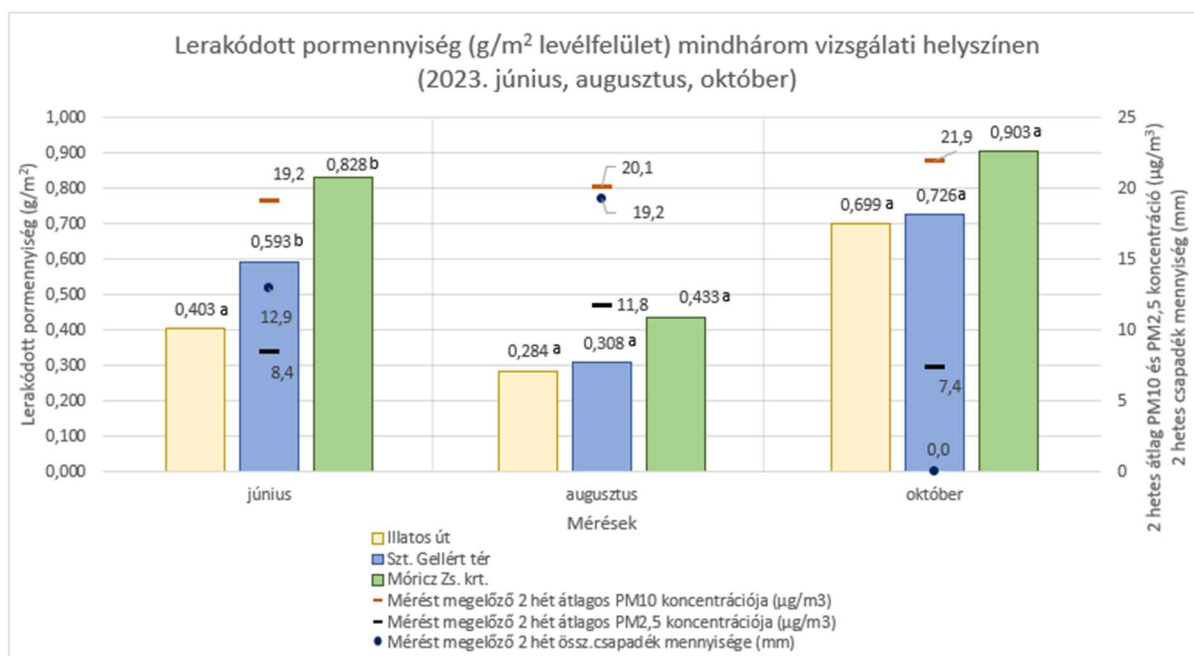
4.5 Porlerakódás a fák levelein

A levelek pormegkötése esetében is kétféleképpen vizsgáltuk a mérések alapján kapott adatokat; egyrészt levélfelületegységre vetítve (14. ábra), másrészt a teljes lombfelületre vonatkoztatva (15. ábra). Az OMSZ adatai alapján egyik mérést megelőző kéthetes időszakban sem voltak rendkívüli, vagy az éves átlagot elérő szellőkésések (10.B ábra), így ez a tényező nem befolyásolhatta lényegesen mértékben a mérési eredményeket. Ami környezeti tényezők közül

hatással lehetett a leülepedett por mennyiségére, az a csapadék (10.A ábra), és a levegő szennyezettsége (10.C ábra), ezért a lerakódott pormennyiséget bemutató ábrákon (14. és 15. ábra) feltüntettem a mérések megelőző 2 hetes periódusok csapadékmennyiségét (sötétkék pont), és átlagos PM₁₀ és PM_{2,5} koncentrációját (piros, illetve sötétkék vonal).

A levélfelületegységre vetített pormennyiségeket vizsgálva az látszik, hogy a legnagyobb mennyiségű port októberben mértünk, a legkevesebbet pedig augusztusban. Ezt magyarázhatja, hogy az októberi méréshez kapcsolódik a legmagasabb PM₁₀ koncentráció, és a tény, hogy a megelőző 2 hétben nem esett csapadék. Ugyanakkor az augusztusi időponthoz – ha nem is az éves átlagot meghaladó, de – a másik két dátumhoz képest jelentősebb kétheti csapadék kötődik. Egy másik tapasztalat a fajlagos értékekkel kapcsolatban, hogy a mért adatok alapján látszólag minden hónapban a legtöbb port a Móricz Zsigmond körtéri tölgyek fogták meg levélfelületegységre vetítve, jóllehet statisztikailag ez augusztusban és októberben nem tekinthető szignifikáns eltérésnek. Június hónapban szignifikánsan alacsonyabb érték volt kimutatható az Illatos úti fák levelein, a másik két helyszínhez viszonyítva (14. ábra; melléklet 9.1.6).

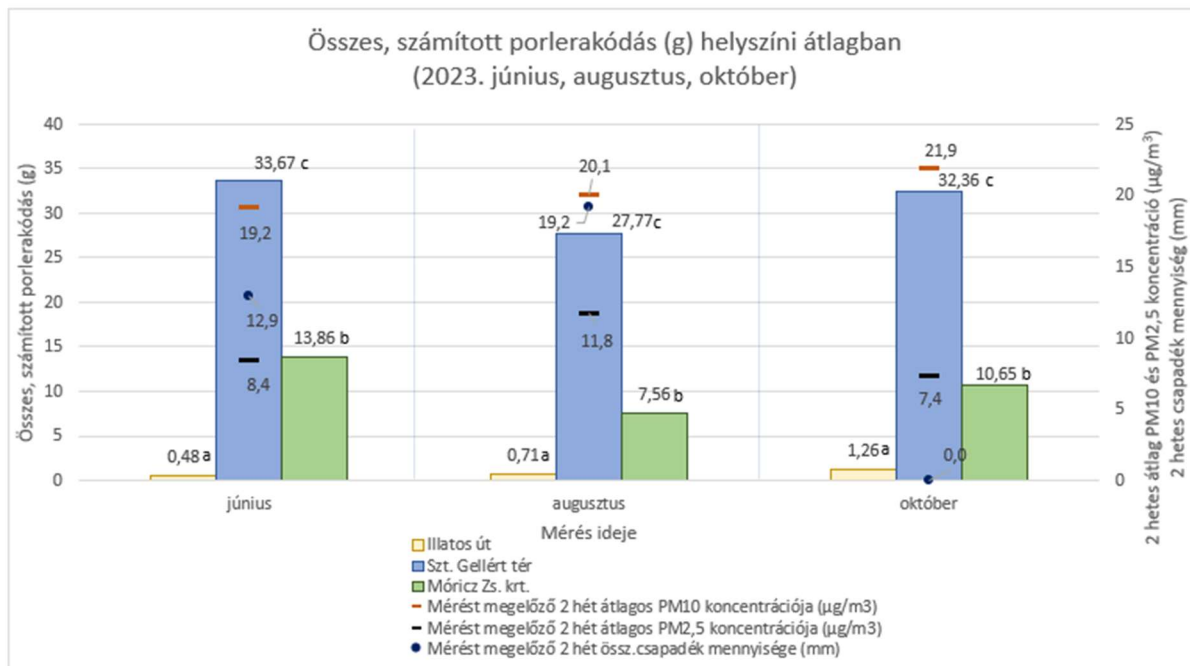
14. ábra: Lerakódott pormennyiség egységnyi levélfelületre
(Forrás: saját mérési adatok felhasználása)



Amennyiben a teljes lombfelületre vonatkoztatva elemezzük az eredményeket (15. ábra; melléklet 9.1.7), akkor a környezeti tényezők mellett (10. ábra) ismét jelentős szerepet kap a korona mérete (11. ábra), amit a vizsgálatban érintett fák kora határoz meg legnagyobb

mértékben. A vizsgált fák számított összes porlekötése minden időpontban a Szent Gellért téren volt a legnagyobb mennyiségű, míg az Illatos úton a legalacsonyabb. Az előbbieket 2002-ben, az utóbbiakat 2021-ben ültették.

15. ábra: Lerakódott por helyszínenként összesítve
(Forrás: saját mérési adatok felhasználása)



Ha összevetjük a fajlagos pormegkötést (g/m² levélfelület, 14. ábra) és az összes pormegkötést (g, 15. ábra), láthatjuk, hogy az időbeli különbségek kevésbé jelentősek. Ez elsősorban a két idősebb fákkal bíró helyszínen (Gellért tér és Móricz Zsigmond körtér) mutatkozik meg. Az Illatos úton a fák levélfelületre vetített pormegkötése az időjárás szerint változott, míg az összes pormennyiséget tekintve lassú növekedést mutatott a vegetációs időszakban.

5 KÖVETKEZTETÉSEK

5.1 Eredmények értelmezése és következtetések

Az ökológiai szolgáltatások többségéért felelős levélfelület vegetációs időszak alatti lefutásának vizsgálata hasznos lenne, hogy jobban megérthessük a városi tölgyek ökológiai szolgáltatást nyújtó képességének részleteit, és a potenciális éves teljesítményüket.

Az első, és egyben a továbbiakat leginkább meghatározó tapasztalat, amelyet mérésekkel is alátámasztottam, hogy a korral progresszíven nő az adott vegetációs időszakra jellemző maximális levélfelület. Esetemben a városi tölgyeknél exponenciálisan növekszik a lombfelület az első húsz évben (11. ábra (B) része). Ez alátámasztja a különféle megközelítésekben, korábban megállapítottakat is (Radó, 2001; Steiner et al., 2016). A fák városi környezetben gyorsabban növekednek, hamarabb teljeseznek ki ökológiai szolgáltatásaik, de gyorsabban is öregszenek (Pretzsch et al., 2017; Smith et al., 2019).

Az egységnyi levélfelületre vonatkozó teljesítményeket leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy fajlagos CO₂ megkötés tekintetében nincs jelentős különbség a helyszínek, ennek megfelelően a korosztályok között. Augusztusban a Móricz Zsigmond körtéri, októberben az Illatos úti fák mért asszimilációja volt valamelyest alacsonyabb a többihez képest. Elképzelhetőnek tartom, hogy helyi stressztényezők okozhatták; így pl. augusztusban a környezeti hőmérséklet egyértelműen a körtéren volt a legmagasabb, míg az októberi mérést előzte meg a leghosszabb esőmentes időszak, aminek a legfiatalabb Illatos úti fák voltak a legkiszolgáltatottabbak, különösen, hogy az öntözőzsákjuk nem volt rendeltetésszerű használatban. További oka lehetett, hogy a fiatalabb fák, tekintve a csapadékszegényebb időszakot, korábban leálltak a fotoszintézisben, növekedésben.

A levélfelületegységre jutó por leülepedése esetében statisztikai különbség ugyan nincs a helyszínek között, kivéve a júniusi időpontot, amikor az Illatos úton egyértelműen alacsonyabb volt, viszont a Móricz Zsigmond körtéren valamelyest minden alkalommal több volt a fajlagos por mennyiség. Ennek oka lehet a másik két helyszíntől eltérő habitus (a Móricz Zsigmond körtéren telepített fák oszlopos habitusúak), továbbá a körtér jellegéből adódóan a tér körbeépítettsége, az átmenő forgalom nagysága, a megváltozó szélirány okozhatja a megnövekedett fajlagos pormennyiséget, amely esetben a magasra nyúló fák a szálló por számára jelentős akadályt képeznek. A légszennyezettségi adatokat megnézve, a helyszínhez legközelebbi (Kosztolányi Dezső téri) mérőállomás adatai sem indokolnak magasabb értékeket. Ahogy említettem, ezek nem voltak szignifikáns eltérések, tehát a szórás értéke is magasabb, a mérés adatai bizonytalanabbak.

A levélfelületre leülepedő por mennyisége számos tényezőtől függ (Beckett et al., 2000; Nowak et al., 2006; Baró et al., 2014; Mori et al., 2015), amely esetemben a mérési helyszín szerinti kitettségben, az időjárás változásában, valamint a szállópor mennyiségében mutatkozott meg. Az augusztusi magasabb kéthetes csapadékátlag a mérés előtt jól mutatja, hogy az eső segíti a leveleket a tisztulásban. Ez hozzájárul a további pormegkötésükhöz (Kovács, 1985; Radó, 2001; Braun et al., 2007; Hrotkó et al., 2021b).

A tendenciaszerűen nagyobb fajlagos pormegkötés az öntözött területen összhangban van (Baró et al., 2014) megállapításával, miszerint a megfelelő talajnedvesség jó hatással van a fák pormegkötő képességére, de a mért adatok statisztikai elemzése ezt nem támasztotta alá teljesen egyértelműen (14. ábra).

A koronaméretre számított teljes pormennyiség megerősíti azt a megállapítást, miszerint a korona mérete jelentősen befolyásolja a pormegkötést is, mint ökológiai szolgáltatást. Tehát a kor előrehaladtával, a növekvő korona jelentősebb por megkötésére képes. Ez alátámasztja (Braun et al., 2007) eredményeit is.

A levélfelületegységre vonatkoztatott párologtatás az az érték, amiben egyértelműen, statisztikailag is eltér, azaz magasabb a Móricz Zsigmond körtéri oszlopos tölgyek teljesítménye a másik két helyszínhez képest (12. ábra). Ennek oka lehet a jobb vízellátás is, mivel az ottani fák közvetlen közelében lévő talajtakaró cserjék rendszeresen kapnak vizet csepegtető öntözőrendszeren keresztül, illetve az, hogy a három időpontban mindig ott volt a legmelegebb. Ebből jól látszik, hogy az öntözött fák nagyobb mennyiségű párákat tudnak a környezetükbe juttatni (Střelcová et al., 2013; Winbourne et al., 2020). Ugyanakkor a Móricz Zsigmond körtéren a komoly hőkatlan, a rengeteg burkolt felület miatt az öntözés ellenére sem tudták a vizsgált fák csökkenteni a lombhőmérsékletet (13. ábra). Ilyen körülmények között kifejezetten indokolt az öntözés.

Ami a levélfelületegységekre vonatkozó értékekből kiindulva teljesen egyértelmű eredményeket hozott, az a vizsgált fák teljes egész lombfelületére helyszínenként összesített és egy-egy faegyedre átlagolt CO₂ beépülés, H₂O kibocsátás és por megkötés mennyiségek. A fajlagos teljesítményt befolyásoló környezeti, alaktani, morfológiai tényezők mellett itt jelentős szerepet kap a korona mérete, a teljes lombfelület, amit legnagyobb mértékben a vizsgálatban érintett fák kora határoz meg. Mindhárom mért érték esetében a legfiatalabb Illatos úti fák hozták a legszerényebb, a csoporton belül középkorú Móricz Zsigmond téri fák a köztes, és a legidősebb Szent Gellért téri tölgyek a legkiemelkedőbb értékeket. Mindez teljes mértékben alátámasztja, hogy az ökológiai szolgáltatások – egy csúcs eléréséig - a fák korával

növekednek, ahogy a szolgáltatások mértékét és a levélfelületek összefüggését Radó (1999) is hangsúlyozta. Emiatt lényeges, hogy a városi fák ökológiai szolgáltatásainak folyamatosan magas szintjének való fenntartása érdekében törekedni kell különböző életkorú egyedek megfelelő eloszlására egy-egy területen, valamint a fák – a városi körülmények között lehetséges – legnagyobb életkorát biztosítani.

A fák mikroklíma befolyásoló, környezeti hőmérsékletet szabályozó hatása részben az említett párologtatásnak (aktív hűtés), részben az árnyokolásnak (passzív hűtés) köszönhetjük. A hatékonyságot meggyőzően igazolja, hogy a mérési napokon a lombban mért hőmérséklet egyszer sem, míg a burkolatok hőmérséklete a legtöbb esetben meghaladta az aznapi budapesti átlagos legmagasabb hőmérsékleteket (13. ábra). A lombban és a burkolaton mért átlaghőmérsékletek különbsége mindenhol és minden időpontban jelentős volt (2,8 °C és 12,8 °C között), a legnagyobb eltéréseket és abszolút hőmérsékleteket a körtéren mértük, amely épületekkel a leginkább körbevett helyszín, míg minden mérés átlagát tekintve a Duna felől nyitott Szent Gellért térre jellemző a legkisebb különbség a burkolat és a lomb hőmérséklete között. A Móricz Zsigmond körtéri fáknál ráadásul a fák helye és a burkolat között nagyobb a távolság, így a felhevült felszínt kevésbé tudták árnyékolni, így a hűtő hatás is elmaradt.

Ugyanakkor a napi budapesti legmagasabb hőmérsékleti átlag és az egyes helyszíneken rögzített átlagos lombhőmérsékletek közt nem volt egyértelmű összefüggés fellelhető, így itt vélhetően egy összetettebb hatásról van szó, ami részletesebb vizsgálatokat igényel.

5.2 Javaslatok

A mérések értékelésekor a helyszínek között elsődlegesen az ott telepített tölgyek kora alapján tettünk különbséget, és a következtetéseket is a fák életkora alapján vontuk le. Több vegetációs időszakot felölelő vizsgálat alkalmával érdemes lehet maguknak a konkrét elhelyezkedéseknek a hatását is értékelni (mint pl. Duna közelsége, beépítettség, kanyon-hatás, közúti forgalom nagysága stb.), vagy a tölgyek habitusbeli eltéréseinek (oszlopos, piramis formájú, alapfajra jellemző korona) hatását is elemezni, mivel minimum 2 szezon vizsgálata már valószínűleg ilyen jellegű következtetésekre is elegendő adatot szolgáltathat. Egyébként is célszerű a legtöbb vizsgálat esetén, ha van legalább egy második évnyi mérés ismétlés.

Amennyiben egy vegetációs időszakot elemzünk, akkor a cél függvényében, illetve, ha részletesebb szezonális, időbeli lefutását vizsgálnánk a városi tölgyek ökológiai szolgáltatásainak, célszerű nem csupán három időpontban, hanem a fenológiát követve

gyakrabban is végezni méréseket. Mindenekelőtt a levélfelület alakulásának követéséhez szükséges LAI mérések sűrítése - beleértve korábbi és későbbi méréseket - nyújthatna további hasznos információkat, jobban árnyalná az eredményeket, következtetéseket.

A kocsányos tölgy megfelelő körülmények között hosszán megtarthatja, az akár a fotoszintézisben aktívan már nem résztvevő leveleit is, ezáltal a por leülepedése révén hosszabb ideig biztosíthatja a levegőtisztítási szolgáltatását. Ebben az elmúlt időszakban ugyan terveztünk még egy 2024. januári pormérést is a levelekről, de a december elején jelentősebb fagyok, majd a hónap második felében bekövetkezett rendkívüli viharos időjárás miatt a fák elvesztették maradék lombjukat. Természetesen a téli időszakban az örökzöldek játsszák a főszerepet a levegőtisztításban, de érdemes lehet vizsgálni olyan lombhullatókat is, melyek decemberben-januárban még esetleg rendelkeznek levelekkel.

A por megkötéssel kapcsolatosan további tapasztalatokat lehetne szerezni a városi tölgyekről, ha csapadék előtti és csapadék utáni mérési eredményeket is össze lehetne hasonlítani.

További vizsgálatok témája lehet a különböző károsítók (tölgy lisztharmat, tölgy-csipkésposzka) közvetett hatása az ökológiai szolgáltatásokra.

A légszennyezettségi adatok közül mind a PM_{10} , mind pedig a $PM_{2,5}$ koncentráció szintek is rendelkezésre állnak, de a por leülepedés kapcsán ezt külön nem vizsgáltuk. Érdemes lehet a levélen történő megkötődést külön is elemezni. A módszertan részeként különböző szemcseméretet átengedő szűrőkkel elválasztható lenne a teljes leülepedő por mennyisége, amelyet én is mértem, valamint a PM_{10} és a $PM_{2,5}$ határok közötti tartományban lerakódó por mennyisége.

Szintén mélyíthetőek a tapasztalatok, ha az elemzéseket mikroszkópos morfológiai vizsgálatok is kiegészíthetik. Ezt részben elkezdtem, de csak tájékoztató jellegű felvételeket készítettem (melléklet 9.2). A lerakódott szemcseméret, a gázcsere-nyílás körüli egységnyi területen megtalálható szennyeződés mértéke, a levéllemezen található felületi képletek száma, minősége is sokat hozzá tudna tenni a vizsgálatokhoz, a tölgyekre vonatkozó ismereteinkhez.

Nem a szolgáltatások mérésére, kutatására vonatkozó javaslat, hanem inkább tervezési, fenntartási-gazdálkodási cél, hogy ha lehetőség van rá, és ésszerű módon megoldható, akkor törekedjünk arra, hogy egy-egy helyszínen – fajtól függetlenül – különböző életkorú faegyedek lehessenek az ökológiai szolgáltatások folyamatos szintjének megtartása érdekében.

A tölgyek, ezen belül a kocsányos tölgy, általánosan jó ökológiai szolgáltató képességével (Samson et al., 2017b), valamint kérdéseket felvető alkalmazkodóképességével (Roloff et al., 2009; Doležal et al., 2010) kapcsolatban véleményem szerint fontos a faültetések tervezése során, hogy célszerű egyensúlyra törekedjünk a klímaváltozásra érzékenyebb, ezért veszélyeztetett fajok proaktív megőrzése és a szárazság-, hőségtűrőbb fajok megkerülhetetlensége között.

Mivel városokban az idősebb kocsányos tölgyek jó vízgazdálkodásúnak bizonyulnak (Thomsen et al., 2020), olyan helyre érdemes ültetni, ahol a kezdeti pár évtizedes fejlődésük során a gyökérzet a legkevesebb akadályba ütközik, így számíthatunk arra, hogy idősebb korokra kiteljesedik a hosszútávú ökológiai szolgáltató képességük. (Metro földem fölött, lsd. Móricz Zsigmond körtér, erre kisebb az esély.) Megfelelő termőhelyen, mint hosszú életű faj, hatékonyabb lehet (pl.: CO₂ megkötésben), mivel ritkábban lesz szükség pótlásukra.

Az eredmények összegzésekor, úgy vélem, hogy a 2023. tavasszal kitűzött célokat sikerült teljesíteni: megmérni három helyszínen, az év három időpontjában a vizsgált városi tölgyek napi maximális CO₂ megkötését, párologtatását, a leveleik felületén leülepedett por mennyiségét, vizsgálni a környezetük mikroklímáját, a környezetük adott időjárási, légszennyezettségi viszonyai mellett. Ugyanakkor javaslom, hogy a vizsgált ökológiai szolgáltatások mérését a vegetációs időszakokban gyakrabban kell elvégezni, hogy a környezeti tényezők (csapadék, hőmérséklet, szél, szállópor) változásait, a fák erre adott válaszát pontosabban lehessen követni, ahogy a fák fenológiai fázisában beállt változásokat is nyomon lehessen követni az ökológiai szolgáltatások szempontjából.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Városi alkalmazási környezetben viszonylag kevés információnk van a telepített fafajok környezeti hasznára vonatkozóan, illetve kevés irodalmi adat lelhető fel a témában végzett műszeres vizsgálatokról. Az könnyen belátható, hogy a jelenkori város életével együtt járó hősziget-jelenség, légszennyezettség kellemetlenségeinek hatásos enyhítéséhez, a párologtatás révén működő légkondicionáláshoz és a légkörből történő CO₂ megkötéshez városon belül is a nagyobb területű, összefüggő zöldterületek tudnak a leghatékonyabban hozzájárulni, azonban terek facsoportjai, kisebb utcai fasorok, de egyes fa egyedek is hatnak a környezetükre, fotoszintetizálnak, tisztítják a levegőt, párologtatnak, segítik a mikrokörnyezetünk élhetőbbé tételét a szolgáltatásaikkal. A szakdolgozatom kapcsán elvégzett mérésekkel ezt sikerült megerősítenem.

A dolgozatomban célul tűztem ki, hogy különböző életkorú tölgyek egyes ökológiai szolgáltatását mérem egy vegetációs időszakban. Így a szén-dioxid megkötésüket, párologtatásuk mértékét, a levelükre rakódó pormennyiséget, valamint lombjuk és a körülöttük lévő burkolat hőmérsékleti értékeit vizsgáltam 2023. júniusban, augusztusban és októberben. A három helyszín három különböző kort képvisel. Az Illatos úton fiatal (2021-es telepítés), a Móricz Zsigmond körtéren közepes (2014-es telepítés), míg a Szent Gellért téren pedig idősebb (2002-es telepítés) fákat vizsgáltam.

A méréseim során hordozható infravörös gázanalizátort használtam, amely a levelekre csíptetve sérülésmentesen elemzi a levelek CO₂ megkötését (nettó fotoszintézis) és H₂O kibocsátását. Emellett hőmérő pisztollyal megmértem a lombhőmérsékleteket, valamint a környező burkolatok hőmérsékletét a vizsgálati napokon. A levelekre rakódó pormennyiség méréséhez levélmintákat szedtem helyszínenként, időpontonként, és laborban feldolgoztam. A koronákra vonatkozó értékek számításához felvettem a faméreteket is. Az adatok kiértékeléséhez 2023. időjárás adatait (csapadék, napi hőmérséklet, maximális szélökések, szállópor mennyiségek) is begyűjtöttem az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapjáról.

Eredményeimből kitűnik, hogy a fajlagos szén-dioxid-megkötés nem tér el egymástól az életkorok alapján, hiszen ugyanarról a fajról van szó, viszont a korhoz jelentősen köthető koronaméret, összes levélfelületek komoly mértékben megnövelik ennek az ökológiai szolgáltatásnak a mértékét. Ugyanezt tapasztaltam a párologtatás mennyiségénél, valamint a pormegkötésnél is.

A meteorológiai adatok elemzésével, felvett adataimmal való összevetésével, arra a következtetésre jutottam, hogy a vizsgált tényezők az évszakok változását szorosan követik,

valamint a napi időjárási körülmények is befolyásolják az ökológiai szolgáltatások mértékét. Leginkább azonban a kor függvényében növekvő koronaméret teljesíti ki a fák nyújtotta előnyöket.

Ami a szakképzési tanulmányok kapcsán, valamint az irodalmi áttekintés során és az elvégzett saját mérési tapasztalatok alapján megerősítést nyert bennem az többek között az, hogy a zöldinfrastruktúra fejlesztések, beruházások, fásítási programok tervezésekor, a fenntartások során célszerű tudatosan törekedni az ésszerű változatosságra fajban és korban egyaránt; és nem csupán a sokszínűség és ellenállóság megőrzése miatt, hanem a fák által biztosított szolgáltatások folyamatosan magas szintjének fenntarthatósága érdekében is. Ehhez a dolgozat készítése során konkrétan megtapasztaltak alapján az is hozzátartozik, hogy a mennyiség (mint például az elültetett fák száma) csak a minőséggel (mint az optimális fenntarthatóság biztosításával) egyensúlyban mozogjon!

7 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálásan köszönöm témavezetőmnek, tanszéki konzulensemnek dr. Szabó Veronika tanárnőnek a támogatását, ösztönzését, javaslatait, és odaadó együttműködését, ami nélkül nem születhetett volna meg a szakdolgozatom.

8 IRODALOMJEGYZÉK

- Alonso del Amo, R., Calfapietra, C., Krajter Ostoić, S., O'Brien, L., Pearlmutter, D., Samson, R., & Sanesi, G. (Eds.). (2017). *The Urban Forest: Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment* (1st ed. 2017). Springer International Publishing: Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9>
- Alonso, R., Vivanco, M. G., González-Fernández, I., Bermejo, V., Palomino, I., Garrido, J. L., Elvira, S., Salvador, P., & Artíñano, B. (2011). Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain). *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2138–2147. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.12.005>
- Armson, D., Asrafur Rahman, M., & Roland Ennos, A. (2013). A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK. *Arboriculture & Urban Forestry*, 39(4). <https://doi.org/10.48044/jauf.2013.021>
- Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3), 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>
- Atkinson, R. W., Ross Anderson, H., Sunyer, J., Ayres, J., Baccini, M., Vonk, J. M., Boumghar, A., Forastiere, F., Forsberg, B., Touloumi, G., Schwartz, J., & Katsouyanni, K. (2001). Acute Effects of Particulate Air Pollution on Respiratory Admissions: Results from APHEA 2 Project. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 164(10), 1860–1866. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.164.10.2010138>
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. *AMBIO*, 43(4), 466–479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (2000). Particulate pollution capture by urban trees: Effect of species and windspeed: PARTICULATE POLLUTION UPTAKE BY TREES. *Global Change Biology*, 6(8), 995–1003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00376.x>
- Beckmann-Wübbelt, A., Fricke, A., Sebesvari, Z., Yakouchenkova, I. A., Fröhlich, K., & Saha, S. (2021). High public appreciation for the cultural ecosystem services of urban and peri-urban forests during the COVID-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103240. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103240>
- Bell, M. L., Morgenstern, R. D., & Harrington, W. (2011). Quantifying the human health benefits of air pollution policies: Review of recent studies and new directions in accountability research. *Environmental Science & Policy*, 14(4), 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.02.006>
- Berry, R., Livesley, S. J., & Aye, L. (2013). Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. *Building and Environment*, 69, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.009>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Bozó, L., Mészáros, E., & Molnár, Á. (2006). *Levegőkörnyezet: Modellezés és megfigyelés* (Első magyar nyelvű kiadás). Akadémiai Kiadó.
- Braun, M., Margitai, Z., Tóth, A., & Leermakers, M. (2007). Environment monitoring using linden tree leaves as natural traps of atmospheric deposition: A pilot study in Transilvania, Romania. *AGD Landscape & Environment*, 1(1), 24–35.

- Brown, R. D., Vanos, J., Kenny, N., & Lenzholzer, S. (2015). Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. *Landscape and Urban Planning*, *138*, 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.006>
- Cariñanos, P., Calaza-Martínez, P., O'Brien, L., & Calfapietra, C. (2017). The Cost of Greening: Disservices of Urban Trees. In D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'Brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi, & R. Alonso Del Amo (Eds.), *The Urban Forest* (Vol. 7, pp. 79–87). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_9
- Chaparro, L., & Terradas, J. (2010). *Ecosystem services of urban forest*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4013.9604>
- Chaudhary, I. J., & Rathore, D. (2018). Suspended particulate matter deposition and its impact on urban trees. *Atmospheric Pollution Research*, *9*(6), 1072–1082. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.04.006>
- Chen, G., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Liang, X., Leng, J., Xu, X., Liao, W., Qiu, Y., Wu, Q., & Huang, K. (2020). Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways. *Nature Communications*, *11*(1), 537. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x>
- Chen, H., Kardos, L., Gyeveki, M., Hrotkó, K., Szabó, V., & Sütöriné-Diószegei, M. (2023). Evaluating the Capability of Woody Plants to Capture Atmospheric Heavy Metals in Budapest. *Journal of Central European Green Innovation*, *11*(1), 67–81. <https://doi.org/10.33038/jcegi.3359>
- Churkina, G., Grote, R., Butler, T. M., & Lawrence, M. (2015). Natural selection? Picking the right trees for urban greening. *Environmental Science & Policy*, *47*, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.014>
- Coder, K. D. (2000). *Crown Shape Factors & Volumes*. University of Georgia, Warnell School of Forest Resources.
- Coutts, C., & Hahn, M. (2015). Green Infrastructure, Ecosystem Services, and Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(8), 9768–9798. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809768>
- Davies, H., Doick, K., Handley, P., O'Brien, L., & Wilson, J. (2017). *Delivery of ecosystem services by urban forests*. Forestry Commission Edinburgh. <https://www.forestresearch.gov.uk/publications/delivery-of-ecosystem-services-by-urban-forests/>
- Doick, K. J., & Hutchings, T. (2013). *Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure*. Forestry Commission. <https://cdn.forestresearch.gov.uk/2013/03/fcrn012.pdf>
- Doležal, J., Mazůrek, P., & Klimešová, J. (2010). Oak decline in southern moravia: The association between climate change and early and late wood formation in oaks. *Preslia*, *82*, 289–306.
- Dúll, A. (2012). Környezet-pszichológia-egészség. In *Az egészségpszichológia elmélete és alkalmazása: Vol. II.* (pp. 337–392). ELTE Eötvös. <https://www.eltereader.hu/media/2020/12/Egeszsegpszichologia-I.pdf>
- Dzierżanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Sæbø, A., & Gawroński, S. W. (2011). Deposition of Particulate Matter of Different Size Fractions on Leaf Surfaces and in Waxes of Urban Forest Species. *International Journal of Phytoremediation*, *13*(10), 1037–1046. <https://doi.org/10.1080/15226514.2011.552929>
- Emmanuel, R. (2005). *An Urban Approach To Climate Sensitive Design* (0 ed.). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203414644>
- Esperon-Rodriguez, M., Rymer, P. D., Power, S. A., Barton, D. N., Cariñanos, P., Dobbs, C., Eleuterio, A. A., Escobedo, F. J., Hauer, R., Hermy, M., Jahani, A., Onyekwelu, J. C., Östberg, J., Pataki, D., Randrup, T. B., Rasmussen, T., Roman, L. A., Russo, A., Shackleton, C., ... Tjoelker, M. G. (2022).

- Assessing climate risk to support urban forests in a changing climate. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, 4(3), 201–213. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10240>
- European Commission. Joint Research Centre. (2016). *European atlas of forest tree species*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/776635>
- European Environment Agency. (2020). *Healthy environment, healthy lives: How the environment influences health and well being in Europe*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/53670>
- Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T. N., Samson, R., & Le Thiec, D. (2017). Carbon Sequestration by Urban Trees. In D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'Brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi, & R. Alonso Del Amo (Eds.), *The Urban Forest* (Vol. 7, pp. 31–39). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_4
- Farrugia, S., Hudson, M. D., & McCulloch, L. (2013). An evaluation of flood control and urban cooling ecosystem services delivered by urban green infrastructure. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9(2), 136–145. <https://doi.org/10.1080/21513732.2013.782342>
- Ferenczi, Z., Imre, K., Lakatos, M., Molnár, Á., Bozó, L., Homolya, E., & Gelencsér, A. (2021). Long-term Characterization of Urban PM10 in Hungary. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(10), 210048. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210048>
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., & Gori, A. (2020). Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context. *Sustainability*, 12(10), 4247. <https://doi.org/10.3390/su12104247>
- Franceschi, E., Moser-Reischl, A., Rahman, M., Pauleit, S., Pretzsch, H., & Rötzer, T. (2022). Crown Shapes of Urban Trees-Their Dependences on Tree Species, Tree Age and Local Environment, and Effects on Ecosystem Services. *Forests*, 13(5), 748. <https://doi.org/10.3390/f13050748>
- Freer-Smith, P. H., Beckett, K. P., & Taylor, G. (2005). Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, 133(1), 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.031>
- Friedl, F. (2022, December 23). 20 éve újult meg a Bartók Béla út. *Budapesti Közlekedési Központ Blog*. <https://bkk.hu/blog/20-eve-ujult-meg-a-bartok-bela-ut.8839/#Atepites>
- Frigy, É. G. (2019). Élhető levegő – a levegő minőségével kapcsolatos problémák összefoglalása. *Hadmérnök*, 14(3), 21–34. <https://doi.org/10.32567/hm.2019.3.3>
- Gill, S. E. (2006). *Climate Change and Urban Greenspace* [University of Manchester - School of Environment and Development]. http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/resources/Susannah_PhD_Thesis_full_final.pdf
- Godwin, C., Chen, G., & Singh, K. K. (2015). The impact of urban residential development patterns on forest carbon density: An integration of LiDAR, aerial photography and field mensuration. *Landscape and Urban Planning*, 136, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.12.007>
- Hajji, M., Dreyer, E., & Marçais, B. (2009). Impact of *Erysiphe alphitoides* on transpiration and photosynthesis in *Quercus robur* leaves. *European Journal of Plant Pathology*, 125(1), 63–72. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9458-7>
- Hesslerová, P., Pokorný, J., Huryňa, H., Seják, J., & Jirka, V. (2022). The impacts of greenery on urban climate and the options for use of thermal data in urban areas. *Progress in Planning*, 159, 100545. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2021.100545>
- Hewitt, H. G., & Ayres, P. G. (1975). Changes in CO₂ and water vapour exchange rates in leaves of *Quercus robur* infected by *Microsphaera alphitoides* (powdery mildew). *Physiological Plant Pathology*, 7(2), 127–137. [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(75\)90003-X](https://doi.org/10.1016/0048-4059(75)90003-X)

- Hiemstra, J. A., Saaroni, H., & Amorim, J. H. (2017). The Urban Heat Island: Thermal Comfort and the Role of Urban Greening. In D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'Brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi, & R. Alonso Del Amo (Eds.), *The Urban Forest* (Vol. 7, pp. 7–19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_2
- Hobbie, S. E., & Grimm, N. B. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190124. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>
- Hrotkó, K., Gyeveki, M., Sütöriné, D. M., Magyar, L., Mészáros, R., Honfi, P., & Kardos, L. (2021a). Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees in Budapest (Hungary). *Environmental Geochemistry and Health*, 43(5), 1927–1940. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00769-y>
- Hrotkó, K., Gyeveki, M., Sütöriné Diószegi, M., Magyar, L., Szabó, V., Honfi, P., Mészáros, R., & Kardos, L. (2021b). Aeroszol részecskék kiülepedése és nehézfém-tartalma három fafaj fajtáinak levelein Budapesten. *Kertgazdaság*, 53(1), 14–31.
- Imre, K., Ferenczi, Z., Dézsi, V., & Gelencsér, A. (2014). A baj nem jár egyedül – hóhullámok és levegőszennyezettség. *Iskolakultúra*, 2014(11–12), 96–102.
- Jancsek-Turóczi, B. (2014). *A reszuszpendált és belélegezhető városi aeroszol jellemzése = Characterization of resuspended and respirable urban aerosol.* <https://doi.org/10.18136/PE.2014.559>
- Jennings, V., & Gaither, C. (2015). Approaching Environmental Health Disparities and Green Spaces: An Ecosystem Services Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(2), 1952–1968. <https://doi.org/10.3390/ijerph120201952>
- Jo, H.-K., & McPherson, G. E. (1995). Carbon Storage and Flux in Urban Residential Greenspace. *Journal of Environmental Management*, 45(2), 109–133. <https://doi.org/10.1006/jema.1995.0062>
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>
- Kiss, M., Takács, Á., Pogácsás, R., & Gulyás, Á. (2015). The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, 23(3), 36–46. <https://doi.org/10.1515/mgr-2015-0016>
- Koltai, L., & Varró, A. (2020). Ingázás a budapesti agglomerációban. *Új munkügyi szemle*, 1(3), 26–37.
- Kovács, M. (1985). *A nagyvárosok környezete*. Gondolat.
- Kuttler, W. (2011). Climate change in urban areas, Part 1, Effects. *Environmental Sciences Europe*, 23(1), 11. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-11>
- Kwak, M. J., Lee, J., Kim, H., Park, S., Lim, Y., Kim, J. E., Baek, S. G., Seo, S. M., Kim, K. N., & Woo, S. Y. (2019). The Removal Efficiencies of Several Temperate Tree Species at Adsorbing Airborne Particulate Matter in Urban Forests and Roadsides. *Forests*, 10(11), 960. <https://doi.org/10.3390/f10110960>
- Lafortezza, R., Carrus, G., Sanesi, G., & Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(2), 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003>
- Leuzinger, S., Vogt, R., & Körner, C. (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006>
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>

- Locosselli, G. M., & Buckeridge, M. S. (2023). The science of urban trees to promote well-being. *Trees*, 37(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02389-2>
- Lohr, V. I., & Pearson-Mims, C. H. (1996). Particulate matter accumulation on horizontal surfaces in interiors: Influence of foliage plants. *Atmospheric Environment*, 30, 2565–2568.
- Louafi, S., Abdou, S., & Reiter, S. (2017). Effect of vegetation cover on thermal and visual comfort of pedestrians in urban spaces in hot and dry climate. *Nature & Technology Journal, Vol. C: Environnemental Sciences*(17), 30–42.
- Łukowski, A., Popek, R., & Karolewski, P. (2020). Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: Deposition and ecophysiology. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10296–10307. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07672-0>
- Lyytimäki, J., & Sipilä, M. (2009). Hopping on one leg – The challenge of ecosystem disservices for urban green management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(4), 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.09.003>
- Mandal, M., Popek, R., Przybysz, A., Roy, A., Das, S., & Sarkar, A. (2023). Breathing Fresh Air in the City: Implementing Avenue Trees as a Sustainable Solution to Reduce Particulate Pollution in Urban Agglomerations. *Plants*, 12(7), 1545. <https://doi.org/10.3390/plants12071545>
- Marácz László. (2013). *Díszfák, díszcserjék védelme*. Nyugat-dunántúli Díszfaiskolások Egyesülete.
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Marçais, B., & Desprez-Loustau, M.-L. (2014). European oak powdery mildew: Impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science*, 71(6), 633–642. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0252-x>
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., & Voogt, J. (2020). Urban Climates and Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 411–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623>
- Mattson, W. J., & Haack, R. A. (1987). The Role of Drought in Outbreaks of Plant-Eating Insects. *BioScience*, 37(2), 110–118. <https://doi.org/10.2307/1310365>
- McPherson, E. G. (1998). Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento’s urban forest. *Journal of Arboriculture*, 24(4), 215–223.
- McPherson, E. G., & Simpson, J. R. (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters* (PSW-GTR-171; p. PSW-GTR-171). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-171>
- Monn, Ch., Braendli, O., Schaeppi, G., Schindler, Ch., Ackermann-Liebrich, U., & Leuenberger, Ph. (1995). Particulate Matter < 10 #m (PM10) and total suspended particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 29(19), 2565–2573.
- Monteiro, M. V., Handley, P., & Doick, K. J. (2019). An insight to the current state and sustainability of urban forests across Great Britain based on i-Tree Eco surveys. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, cpz054. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz054>
- Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. (2008). *Principles of environmental physics* (3rd ed). Elsevier.
- Mori, J., Hanslin, H. M., Burchi, G., & Sæbø, A. (2015). Particulate matter and element accumulation on coniferous trees at different distances from a highway. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(1), 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.09.005>
- Motamedi, F., Ahmadi Nadoushan, M., & Jalalian, A. (2021). Evaluating the Rate of Atmospheric Dust Deposition in Isfahan Province. *Atmósfera*. <https://doi.org/10.20937/ATM.52932>

- Müller, N., Kuttler, W., & Barlag, A.-B. (2014). Counteracting urban climate change: Adaptation measures and their effect on thermal comfort. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1–2), 243–257. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0890-4>
- Nagy Imre. (2008). *Városökológia <a humánökológia elemeivel>*. Dialóg Campus.
- Niinemets, Ü., & Valladares, F. (2006). TOLERANCE TO SHADE, DROUGHT, AND WATERLOGGING OF TEMPERATE NORTHERN HEMISPHERE TREES AND SHRUBS. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(2006\)076\[0521:TTSDAW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2006)076[0521:TTSDAW]2.0.CO;2)
- Nikolaev, P., Rumiantseva, O., Rumyantseva, A., Ivanova, E., Ulianova, M., & Bazhenova, D. (2023). Dust-holding capacity of tree plantation in the industrial area of Cherepovets, Russia. *E3S Web of Conferences*, 407, 03007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340703007>
- Nitschke, C. R., Nichols, S., Allen, K., Dobbs, C., Livesley, S. J., Baker, P. J., & Lynch, Y. (2017). The influence of climate and drought on urban tree growth in southeast Australia and the implications for future growth under climate change. *Landscape and Urban Planning*, 167, 275–287. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.06.012>
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381–389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3–4), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd ed). Routledge.
- Pécsi, M., Marosi Sándor, Góczán, L., Somogyi, S., & Szilárd, J. (1959). *Budapest természeti földrajza* (M. Pécsi, Ed.). Akadémiai Kiadó.
- Percival, G. C., & Fraser, G. A. (2002). The influence of powdery mildew infection on photosynthesis, chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll and carotenoid content of three woody plant species. *Arboricultural Journal*, 26(4), 333–346. <https://doi.org/10.1080/03071375.2002.9747348>
- Popek, R., Przybysz, A., Gawrońska, H., Klamkowski, K., & Gawroński, S. W. (2018). Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus of roadside woody plants growing in the urban conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.051>
- Potchter, O., Cohen, P., & Bitan, A. (2006). Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 26(12), 1695–1711. <https://doi.org/10.1002/joc.1330>
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Schütze, G., Perkins, D., Rötzer, T., Caldentey, J., Koike, T., Con, T. V., Chavanne, A., Toit, B. D., Foster, K., & Lefer, B. (2017). Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. *Scientific Reports*, 7(1), 15403. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14831-w>
- Probáld, F. (2014). The urban climate of Budapest: Past, present and future. *Hungarian Geographical Bulletin*, 63(1), 69–79. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.63.1.6>
- Radó, D. (1994). Tényszerűen a növények hatásairól. *Lélegzet*, IV.(10.). <http://www.lelegzet.hu/archivum/1994/10/1465.hpp.html>
- Radó, D. (1999). *Bel- és külterületi fasorok EU-módszer szerinti értékelése*. Levegő Munkacsoport. https://www.levego.hu/sites/default/files/kiadvanyok/fasorok-eu-ertekelese_0.pdf

- Radó, D. (2001). *A növényzet szerepe a környezetvédelemben*. Zöld Érdek Alapítvány.
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H., & Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building and Environment*, *170*, 106606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- Rakonczai, J. (Ed.). (2021). *Elfogyasztott jövőnk? Globális környezeti és geopolitikai kihívásaink*. Budapesti Corvinus Egyetem. https://unipub.lib.uni-corvinus.hu/6726/1/BCE_MNB_Elfogyasztott_jovonk_ebook_final.pdf.pdf
- Roloff, A., Korn, S., & Gillner, S. (2009). The Climate-Species-Matrix to select tree species for urban habitats considering climate change. *Urban Forestry & Urban Greening*, *8*(4), 295–308. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.08.002>
- Ryplova, R., & Pokorný, J. (2019). *Using project-based education to develop pre-service biology teachers' knowledge of the cooling effect of vegetation*. https://www.researchgate.net/publication/334576360_Using_project-based_education_to_develop_pre-service_biology_teachers'_knowledge_of_the_cooling_effect_of_vegetation
- Salvi, S. (2007). Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatric Respiratory Reviews*, *8*(4), 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2007.08.008>
- Samson, R., Grote, R., Calfapietra, C., Cariñanos, P., Fares, S., Paoletti, E., & Tiwary, A. (2017a). Urban Trees and Their Relation to Air Pollution. In D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'Brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi, & R. Alonso Del Amo (Eds.), *The Urban Forest* (Vol. 7, pp. 21–30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_3
- Samson, R., Ningal, T. F., Tiwary, A., Grote, R., Fares, S., Saaroni, H., Hiemstra, J. A., Zhiyanski, M., Vilhar, U., Cariñanos, P., Järvi, L., Przybysz, A., Moretti, M., & Zürcher, N. (2017b). Species-Specific Information for Enhancing Ecosystem Services. In D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'Brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi, & R. Alonso Del Amo (Eds.), *The Urban Forest* (Vol. 7, pp. 111–144). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_12
- Sanusi, R., & Livesley, S. J. (2020). London Plane trees (*Platanus x acerifolia*) before, during and after a heatwave: Losing leaves means less cooling benefit. *Urban Forestry & Urban Greening*, *54*, 126746. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126746>
- Sarukhán, J., Whyte, A., Watson, R. T., Zakri, A. H., & Reid, W. V. (Eds.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis; a report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press.
- Scholz, T., Hof, A., & Schmitt, T. (2018). Cooling Effects and Regulating Ecosystem Services Provided by Urban Trees—Novel Analysis Approaches Using Urban Tree Cadastre Data. *Sustainability*, *10*(3), 712. <https://doi.org/10.3390/su10030712>
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(40), 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Simon, E., Baranyai, E., Braun, M., Cserhádi, C., Fábrián, I., & Tóthmérész, B. (2014). Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient. *Science of The Total Environment*, *490*, 514–520. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.028>
- Smith, I. A., Dearborn, V. K., & Hutyrá, L. R. (2019). Live fast, die young: Accelerated growth, mortality, and turnover in street trees. *PLOS ONE*, *14*(5), e0215846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215846>
- Son, J., Kim, I., & Chang, H. (2022). Seasonal variations in accumulated particulate matter on leaves of four major tree species in Korea. *Forest Science and Technology*, *18*(3), 118–126. <https://doi.org/10.1080/21580103.2022.2110164>

- Steiner, M., Magdolna, S. D., & Hrotkó, K. (2016). Growth characteristics of urban trees in Budapest. In *5th International Scientific Horticulture Conference* (pp. 122–131).
- Střelcová, K., Kurjak, D., Leštianska, A., Kovalčíková, D., Ditmarová, L., Škvarenina, J., & Ahmed, Y. A.-R. (2013). Differences in transpiration of Norway spruce drought stressed trees and trees well supplied with water. *Biologia*, *68*(6), 1118–1122. <https://doi.org/10.2478/s11756-013-0257-4>
- Sushko, S., Yaroslavtsev, A., Tsuvareva, N., & Valentini, R. (2021). *Capacity of Quercus robur L. and Tilia cordata Mill. Trees in providing urban ecosystem services in boreal climate* [Other]. paco. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7125>
- Szaller, V. (Ed.). (2013). *Útmutató a fák nyilvántartásához és egyedi értékük kiszámításához*. Magyar Faápolók Egyesülete. <https://faapolok.hu/wp-content/uploads/2014/05/Fakataszter-%C3%AAtmutat%C3%B3-20131.pdf>
- Taiz, L., Zeigler, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2018). *Plant physiology and development* ([International] 6th ed). Sinauer associates.
- Tan, X.-Y., Liu, L., & Wu, D.-Y. (2022). Relationship between leaf dust retention capacity and leaf microstructure of six common tree species for campus greening. *International Journal of Phytoremediation*, *24*(11), 1213–1221. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.2024135>
- Tatai, Z., Bódi-Nagy, A., Orosz, I., Becsák, P., Pető, Z., & Szabó, K. (2021). *Budapest fenntartható energia és klíma akcióterve*. Budapest Főváros Önkormányzata. https://budapest.hu/Documents/klimastrategia/BP_kl%C3%ADmastrat%C3%A9gia_SECAP.pdf
- Tatai, Z., Zétényi, D., Niedetzky, A., Bódi-Nagy, A., Frits, B., Szabó, K., Orosz, I., Szabó, K., Becsák, P., & Molnár, Z. (2022). *Budapest Környezeti Állapotértékelése 2022*. Budapest Főváros Önkormányzata. https://budapest.hu/Documents/BKAE/2022/BKAE_2022_egyseges_szerkezetben_honlapra.pdf
- Terpó, A., Járainé Komlódi, M., Koltay, A., Vancsura, R., & E. Bálint, K. (1987). *Növényrendszertan az ökonómbotanika alapjaival 2*. (A. Terpó, Ed.; Vol. 2). Mezőgazdasági Kiadó.
- Thomsen, S., Reisdorff, C., Gröngroft, A., Jensen, K., & Eschenbach, A. (2020). “Responsiveness of mature oak trees (*Quercus robur* L.) to soil water dynamics and meteorological constraints in urban environments.” *Urban Ecosystems*, *23*(1), 173–186. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00908-z>
- Tóth, I. (2012). *Lomblevelű díszfák, díszcserjék kézikönyve*. Tarkavirág Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
- Uramné Lantai Katalin. (2017). *PM10 szilárd részecskék forrás-hozzárendelése és a szmoghelyzet elemzése az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat adatai alapján*. <https://doi.org/10.14750/ME.2017.001>
- Urban, J. (2008). *Up by roots: Healthy soils and tress in the built environment*. International Society of Arboriculture.
- Weissert, L. F., Salmond, J. A., & Schwendenmann, L. (2017). Photosynthetic CO₂ uptake and carbon sequestration potential of deciduous and evergreen tree species in an urban environment. *Urban Ecosystems*, *20*(3), 663–674. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0627-0>
- WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. (2021). WHO European Centre for Environment and Health.
- Winbourne, J. B., Jones, T. S., Garvey, S. M., Harrison, J. L., Wang, L., Li, D., Templer, P. H., & Hutyrá, L. R. (2020). Tree Transpiration and Urban Temperatures: Current Understanding, Implications,

- and Future Research Directions. *BioScience*, 70(7), 576–588. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa055>
- World population prospects 2022: Summary of results*. (2022). United Nations. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
- World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. (2019). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- Yoshida, A., Hisabayashi, T., Kashihara, K., Kinoshita, S., & Hashida, S. (2015). Evaluation of effect of tree canopy on thermal environment, thermal sensation, and mental state. *Urban Climate*, 14, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.004>
- Yu, C., & Hien, W. N. (2006). Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings*, 38(2), 105–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>
- Zhang, W., Zhang, Z., Meng, H., & Zhang, T. (2018). How Does Leaf Surface Micromorphology of Different Trees Impact Their Ability to Capture Particulate Matter? *Forests*, 9(11), 681. <https://doi.org/10.3390/f9110681>
- Zhao, M., Kong, Z., Escobedo, F. J., & Gao, J. (2010). Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China. *Journal of Environmental Management*, 91(4), 807–813. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.10.010>
- Grabner Balázs - Korzó Stúdió. Budapest. Szóbeli konzultáció 2023.10.11

Internetes források:

- internet 1.: Worldometers honlap. Letöltés dátuma: 2023.11.02. Forrás: <https://www.worldometers.info/world-population/#table-historical>
- internet 2.: Központi Statisztikai Hivatal honlapja. Összefoglaló táblák (STADAT). Letöltés dátuma: 2023.11.09. Forrás: <https://www.ksh.hu/stadat>
- internet 3.: Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat honlap. Informative Inventory Report. Letöltés: 2023.11.03. Forrás: https://legszenyezettség.met.hu/storage/media/kibocsatas-oldalak/Angol_hiv/IIR_2023.pdf
- internet 4.: Monumentale Eichen. Letöltés dátuma: 2023.11.10. Forrás: Schöne Eiche bei Harreshaus–n - Monumentale Eichen von Rainer Lippert (monumentale-eichen.de)
- internet 5.: Wikipedia. Letöltés dátuma: 2023.11.10. Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Dzsumbuj>
- internet 6.: Budapest Fatár applikáció. Letöltés dátuma: 2023.11.01. Forrás: <https://infogardenweb.hu/bpfatar/>
- internet 7.: Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. Letöltés dátuma: 2024.01.10. Forrás: https://met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/ és <https://legszenyezettség.met.hu/levegominoseg/meresi-adatok/automata-merohalozat>

9 ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

9.1 Ábrák

| | |
|---|----|
| 1. ábra: Fa nélküli utca hőmérsékleti viszonyai nyári napon hőkamerás felvétellel | 6 |
| 2. ábra: Budapest zöldfelületintenzitási és egy hőségriasztáskori felszínhőmérséklet térképe..... | 7 |
| 3. ábra: Szilárd részecskék szemcseméret tartományai | 9 |
| 4. ábra: Fák ökológiai szolgáltatásai vizsgálhatóak a fa, utca, város szintjén..... | 14 |
| 5. ábra: Tölgy liztharmat fertőzés a begyűjtött mintákon..... | 21 |
| 6. ábra: Móricz Zsigmond körtéren vizsgált oszlopos tölgyek csoportja | 23 |
| 7. ábra: Szent Gellért téren vizsgált oszlopos tölgyek csoportja..... | 24 |
| 8. ábra: Illatos úton vizsgált kocsányos tölgyek | 24 |
| 9. ábra: A vizsgálati helyszínek (zöld), az OMSZ meteorológiai állomások (kék) és az öt referenciapontként vett OLM légszennyezettségmérő állomás (piros) elhelyezkedése | 28 |
| 10. ábra: Hőmérséklet, csapadék, szellőkés és PM átlag értékek heti bontásban, a mérési időpontokkal kiegészítve Budapest, 2023..... | 30 |
| 11. ábra: A tölgyek teljes levélfelülete a mérési napok és az egyes helyszínek (életkor) szerinti csoportosításban (A), és az életkor szerint változó augusztusi lombfelület függvénye (B) | 33 |
| 12. ábra: A tölgyek CO ₂ -megkötése (A és C rész) és vízpára kibocsátása (B és D rész) 2 óras időszakra számolva..... | 35 |
| 13. ábra: Lomb és a burkolt környezet hőmérséklete | 36 |
| 14. ábra: Lerakódott pormennyiség egységnyi levélfelületre..... | 37 |
| 15. ábra: Lerakódott por helyszínenként összesítve..... | 38 |

9.2 Táblázatok

| | |
|--|----|
| 1. táblázat: Az EU hatályos irányelvben meghatározott és a WHO ajánlásban szereplő légszennyezettségi határértékek..... | 11 |
| 2. táblázat: Városi fák és ökológiai szolgáltatások viszonyának mátrixa | 15 |
| 3. táblázat: Quercus robur ökológiai szolgáltatásai..... | 20 |
| 4. táblázat: Móricz Zsigmond körtéri fák méretbeli adatai..... | 32 |
| 5. táblázat: Szent Gellért téri fák méretbeli adatai..... | 32 |
| 6. táblázat: Illatos úti fák méretbeli adatai | 32 |

10 MELLÉKLETEK

10.1 SPSS statisztikai elemzések kivonatai

10.1.1 CO₂ megkötés egységnyi levélfelületen

| ANOVA | | | | | | |
|----------|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| CO2_0605 | Between Groups | 2,316 | 2 | 1,158 | 0,452 | 0,639 |
| | Within Groups | 130,582 | 51 | 2,560 | | |
| | Total | 132,898 | 53 | | | |
| CO2_0823 | Between Groups | 55,688 | 2 | 27,844 | 4,124 | 0,022 |
| | Within Groups | 344,341 | 51 | 6,752 | | |
| | Total | 400,029 | 53 | | | |
| CO2_1009 | Between Groups | 24,091 | 2 | 12,046 | 3,538 | 0,036 |
| | Within Groups | 173,661 | 51 | 3,405 | | |
| | Total | 197,752 | 53 | | | |

Homogeneous Subsets

| CO2_0605 | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|--|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | |
| Duncan ^a 1 | 18 | 2,8228 | |
| 2 | 18 | 3,1294 | |
| 3 | 18 | 3,3261 | |
| Sig. | | 0,380 | |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

| CO2_0823 | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|-------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a 3 | 18 | 2,7839 | |
| 1 | 18 | 4,7561 | |
| 2 | 18 | 5,0828 | |
| Sig. | | 1,000 | 0,708 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

| CO2_1009 | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|-------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a 1 | 18 | 2,0206 | |
| 2 | 18 | 3,2972 | |
| 3 | 18 | 3,5450 | |
| Sig. | | 1,000 | 0,689 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

Post hoc tests

| Multiple Comparisons | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------------------|---|-----------------------|-------------------------|-------|-------------|-------------|
| Dependent Variable | | Mean Difference (I-J) | | | 95% Confidence Interval | | | |
| | | | | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | Lower Bound | Upper Bound |
| CO2_0605 | Games-Howell | 1 | 2 | -0,30667 | 0,55183 | 0,844 | -1,6623 | 1,0489 |
| | | | 3 | -0,50333 | 0,48866 | 0,563 | -1,7008 | 0,6941 |
| | | 2 | 1 | 0,30667 | 0,55183 | 0,844 | -1,0489 | 1,6623 |
| | | | 3 | -0,19667 | 0,55692 | 0,934 | -1,5641 | 1,1708 |
| | | 3 | 1 | 0,50333 | 0,48866 | 0,563 | -0,6941 | 1,7008 |
| | | | 2 | 0,19667 | 0,55692 | 0,934 | -1,1708 | 1,5641 |
| CO2_0823 | Games-Howell | 1 | 2 | -0,32667 | 1,01213 | 0,944 | -2,8452 | 2,1919 |
| | | | 3 | 1,97222 | 0,95450 | 0,121 | -0,4322 | 4,3767 |
| | | 2 | 1 | 0,32667 | 1,01213 | 0,944 | -2,1919 | 2,8452 |
| | | | 3 | 2,29889 [*] | 0,56135 | 0,001 | 0,9153 | 3,6825 |
| | | 3 | 1 | -1,97222 | 0,95450 | 0,121 | -4,3767 | 0,4322 |
| | | | 2 | -2,29889 [*] | 0,56135 | 0,001 | -3,6825 | -0,9153 |
| CO2_1009 | Games-Howell | 1 | 2 | -1,27667 | 0,67260 | 0,166 | -2,9814 | 0,4280 |
| | | | 3 | -1,52444 [*] | 0,38330 | 0,001 | -2,4775 | -0,5714 |
| | | 2 | 1 | 1,27667 | 0,67260 | 0,166 | -0,4280 | 2,9814 |
| | | | 3 | -0,24778 | 0,73193 | 0,939 | -2,0680 | 1,5724 |
| | | 3 | 1 | 1,52444 [*] | 0,38330 | 0,001 | 0,5714 | 2,4775 |
| | | | 2 | 0,24778 | 0,73193 | 0,939 | -1,5724 | 2,0680 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

10.1.2 H₂O párologtatás egységnyi levélfelületen

| ANOVA | | | | | | |
|----------|----------------|----------------|----|-------------|--------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| H2O_0605 | Between Groups | 0,737 | 2 | 0,368 | 86,268 | 0,000 |
| | Within Groups | 0,243 | 57 | 0,004 | | |
| | Total | 0,980 | 59 | | | |
| H2O_0823 | Between Groups | 0,506 | 2 | 0,253 | 19,215 | 0,000 |
| | Within Groups | 0,751 | 57 | 0,013 | | |
| | Total | 1,257 | 59 | | | |
| H2O_1009 | Between Groups | 0,103 | 2 | 0,052 | 28,634 | 0,000 |
| | Within Groups | 0,103 | 57 | 0,002 | | |
| | Total | 0,206 | 59 | | | |

Homogeneous Subsets

| H2O_0605 | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|---------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a 1 | 20 | 0,11435 | | |
| 2 | 20 | | 0,18815 | |
| 3 | 20 | | | 0,37750 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

| H2O_0823 | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a 1 | 20 | 0,22795 | |
| 2 | 20 | 0,24300 | |
| 3 | 20 | | 0,42985 |
| Sig. | | 0,680 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

| H2O_1009 | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a 1 | 20 | 0,10510 | |
| 2 | 20 | 0,12520 | |
| 3 | 20 | | 0,20150 |
| Sig. | | 0,140 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Mórícz Zsigmond körtér

Post hoc tests

| Multiple Comparisons | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|---|-----------------------|------------|----------|-------------------------|-------------|----------|
| Dependent Variable | | | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | | |
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound | |
| H2O_0605 | Games-Howell | 1 | 2 | -,073800* | 0,014696 | 0,000 | -0,11018 | -0,03742 |
| | | | 3 | -,263150* | 0,021611 | 0,000 | -0,31731 | -0,20899 |
| | | 2 | 1 | ,073800* | 0,014696 | 0,000 | 0,03742 | 0,11018 |
| | Games-Howell | 2 | 3 | -,189350* | 0,024462 | 0,000 | -0,24944 | -0,12926 |
| | | 3 | 1 | ,263150* | 0,021611 | 0,000 | 0,20899 | 0,31731 |
| | | | 2 | ,189350* | 0,024462 | 0,000 | 0,12926 | 0,24944 |
| H2O_0823 | Games-Howell | 1 | 2 | -0,015050 | 0,037904 | 0,917 | -0,10848 | 0,07838 |
| | | | 3 | -,201900* | 0,029816 | 0,000 | -0,27475 | -0,12905 |
| | | 2 | 1 | 0,015050 | 0,037904 | 0,917 | -0,07838 | 0,10848 |
| | Games-Howell | 3 | 3 | -,186850* | 0,040306 | 0,000 | -0,28560 | -0,08810 |
| | | 3 | 1 | ,201900* | 0,029816 | 0,000 | 0,12905 | 0,27475 |
| | | | 2 | ,186850* | 0,040306 | 0,000 | 0,08810 | 0,28560 |
| H2O_1009 | Games-Howell | 1 | 2 | -0,020100 | 0,011853 | 0,224 | -0,04935 | 0,00915 |
| | | | 3 | -,096400* | 0,012765 | 0,000 | -0,12799 | -0,06481 |
| | | 2 | 1 | 0,020100 | 0,011853 | 0,224 | -0,00915 | 0,04935 |
| | Games-Howell | 3 | 3 | -,076300* | 0,015444 | 0,000 | -0,11398 | -0,03862 |
| | | 3 | 1 | ,096400* | 0,012765 | 0,000 | 0,06481 | 0,12799 |
| | | | 2 | ,076300* | 0,015444 | 0,000 | 0,03862 | 0,11398 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Mórícz Zsigmond körtér

10.1.3 CO₂ megkötés összes levélfelületen

| ANOVA | | | | | | |
|----------|----------------|----------------|----|-------------|---------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| CO2_0605 | Between Groups | 288441,137 | 2 | 144220,569 | 37,527 | 0,000 |
| | Within Groups | 196000,122 | 51 | 3843,140 | | |
| | Total | 484441,260 | 53 | | | |
| CO2_0823 | Between Groups | 2210295,770 | 2 | 1105147,885 | 103,592 | 0,000 |
| | Within Groups | 544079,929 | 51 | 10668,234 | | |
| | Total | 2754375,699 | 53 | | | |
| CO2_1009 | Between Groups | 198723,415 | 2 | 99361,708 | 19,421 | 0,000 |
| | Within Groups | 260930,605 | 51 | 5116,286 | | |
| | Total | 459654,020 | 53 | | | |

Homogeneous Subsets

| CO2_0605 | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|----------|-----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a 1 | 18 | 3,36389 | | |
| 3 | 18 | | 55,63111 | |
| 2 | 18 | | | 177,78056 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

| CO2_0823 | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a 1 | 18 | 11,8700 | |
| 3 | 18 | 48,5700 | |
| 2 | 18 | | 458,2167 |
| Sig. | | 0,291 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

| CO2_1009 | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a 1 | 18 | 3,6406 | |
| 3 | 18 | 41,7783 | |
| 2 | 18 | | 147,0856 |
| Sig. | | 0,116 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

Post hoc tests

| Multiple Comparisons | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|---|---|-------------------------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| Dependent Variable | | | | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
| | | | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| CO2_0605 | Games-Howell | 1 | 2 | -174,41667 [*] | 24,62439 | 0,000 | -237,5838 | -111,2495 |
| | | | 3 | -52,26722 [*] | 5,85899 | 0,000 | -67,2843 | -37,2502 |
| | | 2 | 1 | 174,41667 [*] | 24,62439 | 0,000 | 111,2495 | 237,5838 |
| | | | 3 | 122,14944 [*] | 25,30530 | 0,000 | 57,8373 | 186,4616 |
| | | 3 | 1 | 52,26722 [*] | 5,85899 | 0,000 | 37,2502 | 67,2843 |
| | | | 2 | -122,14944 [*] | 25,30530 | 0,000 | -186,4616 | -57,8373 |
| CO2_0823 | Games-Howell | 1 | 2 | -446,34667 [*] | 41,80101 | 0,000 | -553,5238 | -339,1695 |
| | | | 3 | -36,70000 [*] | 5,98004 | 0,000 | -51,7014 | -21,6986 |
| | | 2 | 1 | 446,34667 [*] | 41,80101 | 0,000 | 339,1695 | 553,5238 |
| | | | 3 | 409,64667 [*] | 42,10692 | 0,000 | 301,9684 | 517,3249 |
| | | 3 | 1 | 36,70000 [*] | 5,98004 | 0,000 | 21,6986 | 51,7014 |
| | | | 2 | -409,64667 [*] | 42,10692 | 0,000 | -517,3249 | -301,9684 |
| CO2_1009 | Games-Howell | 1 | 2 | -143,44500 [*] | 28,92621 | 0,000 | -217,6494 | -69,2406 |
| | | | 3 | -38,13778 [*] | 4,01144 | 0,000 | -48,4164 | -27,8591 |
| | | 2 | 1 | 143,44500 [*] | 28,92621 | 0,000 | 69,2406 | 217,6494 |
| | | | 3 | 105,30722 [*] | 29,19952 | 0,006 | 30,6556 | 179,9588 |
| | | 3 | 1 | 38,13778 [*] | 4,01144 | 0,000 | 27,8591 | 48,4164 |
| | | | 2 | -105,30722 [*] | 29,19952 | 0,006 | -179,9588 | -30,6556 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

10.1.4 H₂O párologtatás összes levélfelületen

| ANOVA | | | | | | |
|----------|----------------|----------------|----|-------------|---------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| H2O_0605 | Between Groups | 1125,277 | 2 | 562,638 | 124,232 | 0,000 |
| | Within Groups | 258,150 | 57 | 4,529 | | |
| | Total | 1383,426 | 59 | | | |
| H2O_0823 | Between Groups | 4736,799 | 2 | 2368,400 | 39,504 | 0,000 |
| | Within Groups | 3417,321 | 57 | 59,953 | | |
| | Total | 8154,120 | 59 | | | |
| H2O_1009 | Between Groups | 294,518 | 2 | 147,259 | 94,763 | 0,000 |
| | Within Groups | 88,576 | 57 | 1,554 | | |
| | Total | 383,094 | 59 | | | |

Homogeneous Subsets

| H2O_0605 | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a 1 | 20 | 0,13625 | | |
| 3 | 20 | | 6,31285 | |
| 2 | 20 | | | 10,69335 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

| H2O_0823 | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a 1 | 20 | 0,56865 | | |
| 3 | 20 | | 7,49925 | |
| 2 | 20 | | | 21,90110 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

| H2O_1009 | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|---------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a 1 | 20 | 0,18915 | | |
| 3 | 20 | | 2,37575 | |
| 2 | 20 | | | 5,58395 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

Post hoc tests

| Multiple Comparisons | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|---|---|-----------------------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| | | | | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
| Dependent Variable | | | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| H2O_0605 | Games-Howell | 1 | 2 | -10,557100* | 0,748653 | 0,000 | -12,45898 | -8,65522 |
| | | | 3 | -6,176600 | 0,344849 | 0,000 | -7,05260 | -5,30060 |
| | | 2 | 1 | 10,557100* | 0,748653 | 0,000 | 8,65522 | 12,45898 |
| | | | 3 | 4,380500* | 0,824185 | 0,000 | 2,33574 | 6,42526 |
| | | 3 | 1 | 6,176600* | 0,344849 | 0,000 | 5,30060 | 7,05260 |
| | | | 2 | -4,380500* | 0,824185 | 0,000 | -6,42526 | -2,33574 |
| H2O_0823 | Games-Howell | 1 | 2 | -21,332450* | 2,971340 | 0,000 | -28,88068 | -13,78422 |
| | | | 3 | -6,930600* | 0,407762 | 0,000 | -7,96429 | -5,89691 |
| | | 2 | 1 | 21,332450* | 2,971340 | 0,000 | 13,78422 | 28,88068 |
| | | | 3 | 14,401850* | 2,998461 | 0,000 | 6,80693 | 21,99677 |
| | | 3 | 1 | 6,930600* | 0,407762 | 0,000 | 5,89691 | 7,96429 |
| | | | 2 | -14,401850* | 2,998461 | 0,000 | -21,99677 | -6,80693 |
| H2O_1009 | Games-Howell | 1 | 2 | -5,394800* | 0,463562 | 0,000 | -6,57236 | -4,21724 |
| | | | 3 | -2,186600* | 0,135318 | 0,000 | -2,53004 | -1,84316 |
| | | 2 | 1 | 5,394800* | 0,463562 | 0,000 | 4,21724 | 6,57236 |
| | | | 3 | 3,208200* | 0,482691 | 0,000 | 1,99642 | 4,41998 |
| | | 3 | 1 | 2,186600* | 0,135318 | 0,000 | 1,84316 | 2,53004 |
| | | | 2 | -3,208200* | 0,482691 | 0,000 | -4,41998 | -1,99642 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

10.1.5 Hőmérséklet

| ANOVA | | | | | | |
|------------------|----------------|----------------|-----|-------------|---------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Hőmérséklet_0605 | Between Groups | 1174,371 | 5 | 234,874 | 52,613 | 0,000 |
| | Within Groups | 1044,614 | 234 | 4,464 | | |
| | Total | 2218,986 | 239 | | | |
| Hőmérséklet_0823 | Between Groups | 5457,070 | 5 | 1091,414 | 60,281 | 0,000 |
| | Within Groups | 3874,540 | 214 | 18,105 | | |
| | Total | 9331,610 | 219 | | | |
| Hőmérséklet_1009 | Between Groups | 1173,796 | 5 | 234,759 | 116,514 | 0,000 |
| | Within Groups | 431,181 | 214 | 2,015 | | |
| | Total | 1604,977 | 219 | | | |

Homogeneous Subsets

| Hőmérséklet_0605 | | | | | |
|---------------------|----|-------------------------|---------|---------|---------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | | |
| Mérés_helye | N | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Duncan ^a | 21 | 40 | 20,7350 | | |
| | 11 | 40 | 20,9375 | | |
| | 31 | 40 | | 22,2975 | |
| | 12 | 40 | | | 23,7150 |
| | 22 | 40 | | | 23,7225 |
| | 32 | 40 | | | 27,3050 |
| Sig. | | | 0,669 | 1,000 | 0,987 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

| Hőmérséklet_0823 | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|---------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Mérés_helye | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^{a,b} | 11 | 30 | 26,9767 | |
| | 31 | 40 | 28,5750 | |
| | 21 | 40 | 28,6625 | |
| | 22 | 40 | | 33,8200 |
| | 12 | 30 | | 34,3967 |
| | 32 | 40 | | 41,3875 |
| Sig. | | | 0,114 | 0,566 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 36,000.
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

| Hőmérséklet_1009 | | | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | | | |
| Mérés_helye | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Duncan ^{a,b} | 21 | 40 | 11,7550 | | | |
| | 11 | 30 | | 12,5367 | | |
| | 31 | 40 | | 12,8725 | | |
| | 22 | 40 | | | 14,7550 | |
| | 12 | 30 | | | | 16,8133 |
| | 32 | 40 | | | | 17,9950 |
| Sig. | | | 1,000 | 0,317 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 36,000.
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

1. Illatos út
2. Szent Gellért tér
3. Móricz Zsigmond körtér
- .1 lomb
- .2 burkolat

Post hoc tests

| Multiple Comparisons | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|---------|
| Dependent Variable | | | | Mean | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | | | | | |
| | | | | Difference (- J) | | | Lower Bound | Upper Bound | | | | |
| Hőmérséklet_0605 | Games-Howell | 11 | 12 | -2,77750 [*] | 0,32384 | 0,000 | -3,7239 | -1,8311 | | | | |
| | | | 21 | 0,20250 | 0,26283 | 0,972 | -0,5684 | 0,9734 | | | | |
| | | | 22 | -2,78500 [*] | 0,32507 | 0,000 | -3,7350 | -1,8350 | | | | |
| | | | 31 | -1,36000 [*] | 0,26329 | 0,000 | -2,1322 | -0,5878 | | | | |
| | | | 32 | -6,36750 [*] | 0,71640 | 0,000 | -8,4956 | -4,2394 | | | | |
| | | | 12 | 11 | 2,77750 [*] | 0,32384 | 0,000 | 1,8311 | 3,7239 | | | |
| | | | | 21 | 2,98000 [*] | 0,27871 | 0,000 | 2,1613 | 3,7987 | | | |
| | | | | 22 | -0,00750 | 0,33804 | 1,000 | -0,9952 | 0,9802 | | | |
| | | | | 31 | 1,41750 [*] | 0,27915 | 0,000 | 0,5976 | 2,2374 | | | |
| | | | | 32 | -3,59000 [*] | 0,72238 | 0,000 | -5,7333 | -1,4467 | | | |
| | | | | 21 | 11 | -0,20250 | 0,26283 | 0,972 | -0,9734 | 0,5684 | | |
| | | | | | 12 | -2,98000 [*] | 0,27871 | 0,000 | -3,7987 | -2,1613 | | |
| | | 22 | | | -2,98750 [*] | 0,28013 | 0,000 | -3,8105 | -2,1645 | | | |
| | | 31 | | | -1,56250 [*] | 0,20525 | 0,000 | -2,1622 | -0,9628 | | | |
| | | 32 | | | -6,57000 [*] | 0,69716 | 0,000 | -8,6500 | -4,4900 | | | |
| | | 22 | | | 11 | 2,78500 [*] | 0,32507 | 0,000 | 1,8350 | 3,7350 | | |
| | | | | | 12 | 0,00750 | 0,33804 | 1,000 | -0,9802 | 0,9952 | | |
| | | | 21 | | 2,98750 [*] | 0,28013 | 0,000 | 2,1645 | 3,8105 | | | |
| | | | 31 | | 1,42500 [*] | 0,28057 | 0,000 | 0,6009 | 2,2491 | | | |
| | | | 32 | | -3,58250 [*] | 0,72293 | 0,000 | -5,7272 | -1,4378 | | | |
| | | | 31 | | 11 | 1,36000 [*] | 0,26329 | 0,000 | 0,5878 | 2,1322 | | |
| | | | | | 12 | -1,41750 [*] | 0,27915 | 0,000 | -2,2374 | -0,5976 | | |
| | | | | 21 | 1,56250 [*] | 0,20525 | 0,000 | 0,9628 | 2,1622 | | | |
| | | | | 22 | -1,42500 [*] | 0,28057 | 0,000 | -2,2491 | -0,6009 | | | |
| | | | | 32 | -5,00750 [*] | 0,69733 | 0,000 | -7,0880 | -2,9270 | | | |
| | | | | 32 | 11 | 6,36750 [*] | 0,71640 | 0,000 | 4,2394 | 8,4956 | | |
| | | | | | 12 | 3,59000 [*] | 0,72238 | 0,000 | 1,4467 | 5,7333 | | |
| | | 21 | | | 6,57000 [*] | 0,69716 | 0,000 | 4,4900 | 8,6500 | | | |
| | | 22 | | | 3,58250 [*] | 0,72293 | 0,000 | 1,4378 | 5,7272 | | | |
| | | 31 | | | 5,00750 [*] | 0,69733 | 0,000 | 2,9270 | 7,0880 | | | |
| | | Hőmérséklet_0823 | | | Games-Howell | 11 | 12 | -7,42000 [*] | 0,97879 | 0,000 | -10,3622 | -4,4778 |
| | | | | | | | 21 | -1,68583 [*] | 0,42643 | 0,003 | -2,9418 | -0,4299 |
| | | | 22 | | | | -6,84333 [*] | 1,05840 | 0,000 | -9,9862 | -3,7005 | |
| | | | 31 | | | | -1,59833 [*] | 0,43935 | 0,007 | -2,8904 | -0,3062 | |
| | | | 32 | | | | -14,41083 [*] | 0,95076 | 0,000 | -17,2291 | -11,5926 | |
| | | | 12 | | | | 11 | 7,42000 [*] | 0,97879 | 0,000 | 4,4778 | 10,3622 |
| | | | | | | | 21 | 5,73417 [*] | 0,95658 | 0,000 | 2,8459 | 8,6224 |
| | | | | 22 | | | 0,57667 [*] | 1,36140 | 0,998 | -3,4161 | 4,5695 | |
| | | | | 31 | | | 5,82167 [*] | 0,96242 | 0,000 | 2,9196 | 8,7238 | |
| | | | | 32 | | | -6,99083 [*] | 1,27952 | 0,000 | -10,7466 | -3,2350 | |
| | | | | 21 | | | 11 | 1,68583 [*] | 0,42643 | 0,003 | 0,4299 | 2,9418 |
| | | | | | | | 12 | -5,73417 [*] | 0,95658 | 0,000 | -8,6224 | -2,8459 |
| | | | | | | 22 | -5,15750 [*] | 1,03790 | 0,000 | -8,2482 | -2,0668 | |
| | | | | | | 31 | 0,08750 | 0,38737 | 1,000 | -1,0445 | 1,2195 | |
| | | | | | | 32 | -12,72500 [*] | 0,92789 | 0,000 | -15,4843 | -9,9657 | |
| | | | | | | 22 | 11 | 6,84333 [*] | 1,05840 | 0,000 | 3,7005 | 9,9862 |
| | | | | | | | 12 | -0,57667 [*] | 1,36140 | 0,998 | -4,5695 | 3,4161 |
| | | | 21 | | | | 5,15750 [*] | 1,03790 | 0,000 | 2,0668 | 8,2482 | |
| 31 | 5,24500 [*] | | 1,04327 | | | | 0,000 | 2,1408 | 8,3492 | | | |
| 32 | -7,56750 [*] | | 1,34139 | | | | 0,000 | -11,4882 | -3,6468 | | | |
| 31 | 11 | | 1,59833 [*] | | | | 0,43935 | 0,007 | 0,3062 | 2,8904 | | |
| | 12 | | -5,82167 [*] | | | | 0,96242 | 0,000 | -8,7238 | -2,9196 | | |
| | 21 | | -0,08750 | 0,38737 | | | 1,000 | -1,2195 | 1,0445 | | | |
| | 22 | | -5,24500 [*] | 1,04327 | | | 0,000 | -8,3492 | -2,1408 | | | |
| | 32 | | -12,81250 [*] | 0,93390 | | | 0,000 | -15,5870 | -10,0380 | | | |
| | 32 | | 11 | 14,41083 [*] | | | 0,95076 | 0,000 | 11,5926 | 17,2291 | | |
| | | | 12 | 6,99083 [*] | | | 1,27952 | 0,000 | 3,2350 | 10,7466 | | |
| | | | 21 | 12,72500 [*] | | 0,92789 | 0,000 | 9,9657 | 15,4843 | | | |
| | | | 22 | 7,56750 [*] | | 1,34139 | 0,000 | 3,6468 | 11,4882 | | | |
| | | | 31 | 12,81250 [*] | | 0,93390 | 0,000 | 10,0380 | 15,5870 | | | |
| | | | Hőmérséklet_1009 | Games-Howell | | 11 | 12 | -4,27667 [*] | 0,25222 | 0,000 | -5,0224 | -3,5309 |
| | | | | | | | 21 | ,78167 [*] | 0,26167 | 0,045 | 0,0113 | 1,5520 |
| 22 | | | | | | | -2,21833 [*] | 0,28198 | 0,000 | -3,0462 | -1,3905 | |
| 31 | | | | | | | -0,33583 | 0,26739 | 0,807 | -1,1222 | 0,4506 | |
| 32 | | | | | | | -5,45833 [*] | 0,43371 | 0,000 | -6,7365 | -4,1802 | |
| 12 | | | | | | | 11 | 4,27667 [*] | 0,25222 | 0,000 | 3,5309 | 5,0224 |
| | | | | | | | 21 | 5,05833 [*] | 0,22081 | 0,000 | 4,4108 | 5,7059 |
| | 22 | | | | | | 2,05833 [*] | 0,24453 | 0,000 | 1,3410 | 2,7757 | |
| | 31 | | | | | | 3,94083 [*] | 0,22755 | 0,000 | 3,2735 | 4,6081 | |
| | 32 | | | | | | -1,18167 [*] | 0,41035 | 0,061 | -2,3975 | 0,0342 | |
| | 21 | | | | | | 11 | -,78167 [*] | 0,26167 | 0,045 | -1,5520 | -0,0113 |
| | | | | | | | 12 | -5,05833 [*] | 0,22081 | 0,000 | -5,7059 | -4,4108 |
| | | | | | | 22 | -3,00000 [*] | 0,25427 | 0,000 | -3,7435 | -2,2565 | |
| | | | | | | 31 | -1,11750 [*] | 0,23799 | 0,000 | -1,8129 | -0,4221 | |
| | | | | | | 32 | -6,24000 [*] | 0,41622 | 0,000 | -7,4707 | -5,0093 | |
| | | | | | | 22 | 11 | 2,21833 [*] | 0,28198 | 0,000 | 1,3905 | 3,0462 |
| | | | | | | | 12 | -2,05833 [*] | 0,24453 | 0,000 | -2,7757 | -1,3410 |
| 21 | | | | | | | 3,00000 [*] | 0,25427 | 0,000 | 2,2565 | 3,7435 | |
| 31 | | 1,88250 [*] | | | 0,26015 | | 0,000 | 1,1221 | 2,6429 | | | |
| 32 | | -3,24000 [*] | | | 0,42928 | | 0,000 | -4,5052 | -1,9748 | | | |
| 31 | | 11 | | | 0,33583 | | 0,26739 | 0,807 | -0,4506 | 1,1222 | | |
| | | 12 | | | -3,94083 [*] | | 0,22755 | 0,000 | -4,6081 | -3,2735 | | |
| | 21 | 1,11750 [*] | | | 0,23799 | | 0,000 | 0,4221 | 1,8129 | | | |
| | 22 | -1,88250 [*] | | | 0,26015 | | 0,000 | -2,6429 | -1,1221 | | | |
| | 32 | -5,12250 [*] | | | 0,41984 | | 0,000 | -6,3627 | -3,8823 | | | |
| | 32 | 11 | | | 5,45833 [*] | | 0,43371 | 0,000 | 4,1802 | 6,7365 | | |
| | | 12 | | | 1,18167 [*] | | 0,41035 | 0,061 | -0,0342 | 2,3975 | | |
| | | 21 | | | 6,24000 [*] | 0,41622 | 0,000 | 5,0093 | 7,4707 | | | |
| | | 22 | | | 3,24000 [*] | 0,42928 | 0,000 | 1,9748 | 4,5052 | | | |
| | | 31 | | | 5,12250 [*] | 0,41984 | 0,000 | 3,8823 | 6,3627 | | | |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

1. Illatos út
 2. Szent Gellért tér
 3. Móricz Zsigmond körtér
- .1 lomb
.2 burkolat

10.1.6 Por leülepedés egységnyi levélfelületen

| ANOVA | | | | | | |
|----------|----------------|----------------|----|-------------|--------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Por_0605 | Between Groups | 1,089 | 2 | 0,544 | 10,249 | 0,000 |
| | Within Groups | 1,753 | 33 | 0,053 | | |
| | Total | 2,842 | 35 | | | |
| Por_0823 | Between Groups | 0,051 | 2 | 0,026 | 6,986 | 0,015 |
| | Within Groups | 0,033 | 9 | 0,004 | | |
| | Total | 0,085 | 11 | | | |
| Por_1009 | Between Groups | 0,099 | 2 | 0,049 | 1,936 | 0,200 |
| | Within Groups | 0,229 | 9 | 0,025 | | |
| | Total | 0,328 | 11 | | | |

Homogeneous Subsets

| Por_0605 | | | |
|---------------------|------|-------------------------|--------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a | 1 | 12 | 0,4033 |
| | 2 | 12 | 0,5928 |
| | 3 | 12 | 0,8284 |
| | Sig. | | 0,052 |

Means for groups in homogeneous subsets are
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

| Por_0823 | | | |
|---------------------|------|-------------------------|--------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | |
| Helyszín | N | 1 | 2 |
| Duncan ^a | 1 | 4 | 0,2835 |
| | 2 | 4 | 0,3080 |
| | 3 | 4 | 0,4330 |
| | Sig. | | 0,582 |

Means for groups in homogeneous subsets are
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

| Por_1009 | | | |
|---------------------|------|------------|--------|
| Helyszín | N | Subset for | |
| Duncan ^a | 1 | 4 | 0,6988 |
| | 2 | 4 | 0,7255 |
| | 3 | 4 | 0,9030 |
| | Sig. | | 0,117 |

Means for groups in homogeneous subsets
a. Uses Harmonic Mean Sample Size =

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

Post hoc tests

| Multiple Comparisons | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|---|-----------------------|------------|---------|-------------------------|-------------|---------|
| Dependent Variable | | | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | | |
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound | |
| Por_0605 | Games-Howell | 1 | 2 | -,18950* | 0,06523 | 0,027 | -0,3582 | -0,0208 |
| | | | 3 | -,42517* | 0,09901 | 0,002 | -0,6869 | -0,1634 |
| | | 2 | 1 | ,18950* | 0,06523 | 0,027 | 0,0208 | 0,3582 |
| | | | 3 | -0,23567 | 0,11181 | 0,116 | -0,5205 | 0,0492 |
| | | 3 | 1 | ,42517* | 0,09901 | 0,002 | 0,1634 | 0,6869 |
| | | | 2 | 0,23567 | 0,11181 | 0,116 | -0,0492 | 0,5205 |
| Por_0823 | Games-Howell | 1 | 2 | -0,02450 | 0,03246 | 0,746 | -0,1355 | 0,0865 |
| | | | 3 | -0,14950 | 0,05053 | 0,064 | -0,3098 | 0,0108 |
| | | 2 | 1 | 0,02450 | 0,03246 | 0,746 | -0,0865 | 0,1355 |
| | | | 3 | -0,12500 | 0,04376 | 0,103 | -0,2865 | 0,0365 |
| | | 3 | 1 | 0,14950 | 0,05053 | 0,064 | -0,0108 | 0,3098 |
| | | | 2 | 0,12500 | 0,04376 | 0,103 | -0,0365 | 0,2865 |
| Por_1009 | Games-Howell | 1 | 2 | -0,02675 | 0,10053 | 0,962 | -0,4289 | 0,3754 |
| | | | 3 | -0,20425 | 0,13692 | 0,359 | -0,6246 | 0,2161 |
| | | 2 | 1 | 0,02675 | 0,10053 | 0,962 | -0,3754 | 0,4289 |
| | | | 3 | -0,17750 | 0,09667 | 0,291 | -0,5629 | 0,2079 |
| | | 3 | 1 | 0,20425 | 0,13692 | 0,359 | -0,2161 | 0,6246 |
| | | | 2 | 0,17750 | 0,09667 | 0,291 | -0,2079 | 0,5629 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

10.1.7 Por leülepedés összes levélfelületen

| ANOVA | | | | | | |
|----------|----------------|----------------|----|-------------|---------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Por_0605 | Between Groups | 6693,529 | 2 | 3346,765 | 60,852 | 0,000 |
| | Within Groups | 1814,950 | 33 | 54,998 | | |
| | Total | 8508,479 | 35 | | | |
| Por_0823 | Between Groups | 1584,241 | 2 | 792,120 | 267,525 | 0,000 |
| | Within Groups | 26,648 | 9 | 2,961 | | |
| | Total | 1610,889 | 11 | | | |
| Por_1009 | Between Groups | 2036,273 | 2 | 1018,136 | 384,742 | 0,000 |
| | Within Groups | 23,817 | 9 | 2,646 | | |
| | Total | 2060,089 | 11 | | | |

Homogeneous Subsets

| Por_0605 | | | | |
|---------------------|---|-------------------------|---------|----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a | 1 | 12 | 0,48058 | |
| | 3 | 12 | | 13,85775 |
| | 2 | 12 | | 33,67350 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

| Por_0823 | | | | |
|---------------------|---|-------------------------|---------|----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a | 1 | 4 | 0,70775 | |
| | 3 | 4 | | 7,55675 |
| | 2 | 4 | | 27,77350 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

| Por_1009 | | | | |
|---------------------|---|-------------------------|---------|----------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | |
| Helyszín | N | 1 | 2 | 3 |
| Duncan ^a | 1 | 4 | 1,25800 | |
| | 3 | 4 | | 10,64600 |
| | 2 | 4 | | 32,36225 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

Post hoc tests

| Multiple Comparisons | | | | | | | |
|----------------------|--------------|---|---|-----------------------|------------|-------|-------------------------|
| Dependent Variable | | | | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |
| | | | | | | | Lower Bound Upper Bound |
| Por_0605 | Games-Howell | 1 | 2 | -33,19292* | 3,35042 | 0,000 | -42,2416 -24,1442 |
| | | | 3 | -13,37717* | 1,58916 | 0,000 | -17,6687 -9,0856 |
| | | 2 | 1 | 33,19292* | 3,35042 | 0,000 | 24,1442 42,2416 |
| | | | 3 | 19,81575* | 3,70790 | 0,000 | 10,2306 29,4009 |
| | | 3 | 1 | 13,37717* | 1,58916 | 0,000 | 9,0856 17,6687 |
| | | | 2 | -19,81575* | 3,70790 | 0,000 | -29,4009 -10,2306 |
| Por_0823 | Games-Howell | 1 | 2 | -27,06575* | 1,30297 | 0,000 | -32,4885 -21,6430 |
| | | | 3 | -6,84900* | 0,72678 | 0,005 | -9,8472 -3,8508 |
| | | 2 | 1 | 27,06575* | 1,30297 | 0,000 | 21,6430 32,4885 |
| | | | 3 | 20,21675* | 1,48843 | 0,000 | 15,2582 25,1753 |
| | | 3 | 1 | 6,84900* | 0,72678 | 0,005 | 3,8508 9,8472 |
| | | | 2 | -20,21675* | 1,48843 | 0,000 | -25,1753 -15,2582 |
| Por_1009 | Games-Howell | 1 | 2 | -31,10425* | 0,85562 | 0,000 | -34,4931 -27,7154 |
| | | | 3 | -9,38800* | 1,13324 | 0,006 | -13,9777 -4,7983 |
| | | 2 | 1 | 31,10425* | 0,85562 | 0,000 | 27,7154 34,4931 |
| | | | 3 | 21,71625* | 1,39753 | 0,000 | 17,3272 26,1053 |
| | | 3 | 1 | 9,38800* | 1,13324 | 0,006 | 4,7983 13,9777 |
| | | | 2 | -21,71625* | 1,39753 | 0,000 | -26,1053 -17,3272 |

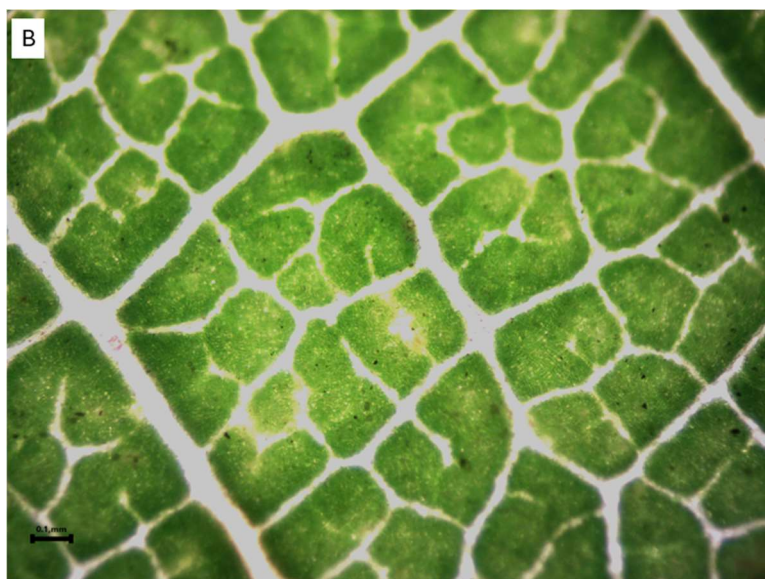
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- 1: Illatos út
2: Szent Gellért tér
3: Móricz Zsigmond körtér

10.2 Mikroszkópos felvételek poros levelekről 2023.augusztus

(A) Illatos út, (B) Gellért tér, (C) Móricz Zsigmond körtér

(Saját felvétel, 2023)



NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

| | |
|---------------------------------|--|
| A hallgató neve: | Gyóni Zoltán |
| A Hallgató Neptun kódja: | V9LYE1 |
| A dolgozat címe: | Városi környezetbe ültetett tölgyek ökológiai szolgáltatásainak vizsgálata |
| A megjelenés éve: | 2024 |
| A konzulens intézetének neve: | Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet |
| A konzulens tanszékének a neve: | Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék |

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

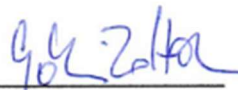
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest, 2024. év április hó 16. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Gyóni Zoltán (hallgató Neptun azonosítója: **V9LYE1**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Budapest, 2024. április 15.



belső konzulens