

SZAKDOLGOZAT

KUKK JUDIT DÓRA

2023

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

KERTÉSZETTUDOMÁNYI INTÉZET

BUDAPEST

AZ ELSŐ HAZAI MIYAWAKI-ERDŐ ÖKOLÓGIAI SZOLGÁLTATÁSAI

Kukk Judit Dóra

Kertészmérnöki, alapképzés

Készült a Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszéken

Közreműködő tanszék(ek): _____

Tanszéki konzulens: Dr. Szabó Veronika

Konzulens(ek): _____

Bírálok: _____

Budapest, 2023. november 4.

tanszékvezető/szakirányfelelős

konzulens

TARTALOMJEGYZÉK

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	4
II. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. A városi klíma sajátosságai	6
2.2. A városi környezet hatásai a fákra	8
2.3. Fák ökológiai szolgáltatásai.....	8
2.4. Miyawaki-módszer.....	9
2.5. A fotoszintézis menete és környezeti viszonyai.....	10
III. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	13
3.1. A vizsgálat helyszíne.....	13
3.2. A minierdő meghatározó adatai, a telepítés körülményei	14
3.3 A Miyawaki-erdőbe telepített fajok ismertetése.....	14
3.4. A szén-dioxid megkötéséhez és a vízpára kibocsátáshoz szükséges műszeres mérések ismertetése	20
3.5. A mérési napok időjárási körülményei	21
3.6. A növekedés mérése.....	22
3.7. Egyéb ökológiai szolgáltatások mérése.....	23
3.8. A mintavételek időpontjai, a gyűjtött adatok feldolgozásának menete.....	23
IV. EREDMÉNYEK.....	26
4.1. A növekedés mértéke	26
4.2. A szén-dioxid megkötésének és a vízpára kibocsátásának eredményei	31
4.3. Egyéb ökológiai szolgáltatások eredményei	34
V. KÖVETKEZTETÉSEK.....	37
VI. ÖSSZEFOGLALÁS	40
VII. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	41
VIII. IRODALOMJEGYZÉK	42
IX. MELLÉKLETEK	45

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az ENSZ jelentések szerint a világ népessége lassuló ütemben csökken. Ugyanakkor elmondható, hogy egyre nő a városokban élők száma. 1950-ben a Föld lakosságának 30%-a élt városokban, ez az arány 2010-re megfordult, 2018-ra pedig elérte az 55%-ot. Az 1950-es évek városi lélekszáma napjainkra 5,6-szeresére emelkedett, míg a vidéki lakosság alig kétszeresére duzzadt. 2050-re ez a tendencia tovább folytatódik, és jelen becslések szerint a világ lakosságának 68%-a fog városokban lakni (KSH 2018). Ez azt is jelenti, hogy nemcsak a városok száma, hanem azok mérete is jelentősen növekedni fog. Míg 1950-ben mindössze két megapolisza (10 milliónál nagyobb lélekszámú városa) volt a világnak, addig ez 2018-ra 33-ra növekedett. A legnagyobb lakossággal bíró megapolisz továbbra is Tokió (37 millió lakos). Ez a tendencia ugyanakkor előre vetíti azt is, hogy egyre több embert kell kiszolgálnia a városoknak (közmű, úthálózat), beleértve a zöldterületeket is, amelyek nemcsak rekreációs célt szolgálnak, hanem fontos ökológiai szolgáltatásai vannak.

A városi környezetben jelentős változások következnek be a települést körülvevő éghajlathoz képest, ezért a városi éghajlat (városi klíma) napjainkra jelentős tudományággá fejlődött. A zsúfolt utcák, jelentős mértékű burkolt felületek nagysága megváltoztatja a napsugarak elnyelését, visszaverődését, így alakítva ki a hőszigeteket. Az épületek nagysága, kiterjedése fokozza ezt a hatást, ahogy a városok kiterjedése is. Ezek a változások kedvezőtlenül hatnak elsősorban a városlakókra, de közvetett módon a Föld klímájára is. A városi megváltozott környezet káros hatásait számos technológiai fejlesztéssel igyekeznek csökkenteni, azonban hosszútávon a leggazdaságosabb a zöldfelületek növelése.

Az ökológiai szolgáltatások olyan előnyök, amelyeket a növényektől kapunk. Ezek alapján beszélhetünk széndioxid megkötésről (természetesen az oxigéntermelés mellett), a levegő hűtéséről (aktív tevékenység, amelyet a levelek hűtésére használnak), a fák árnyékoló hatása is jelentősen csökkentheti az épületek hőmérsékletét. Emellett meg kell említeni az ökológiai szolgáltatások között a levegőben szálló por megkötését, a lezúduló viharok okozta villámárvizek okozta károk enyhítését, a zaj csökkentését is. Ezeken túl az emberre jó hatással van a zöld környezet a mentális egészség megőrzésében, az épített környezet és a növekvő népsűrűség okozta stresszel való megküzdésben. Egy közpark ugyanakkor lehet találkozási pont, lehetőség sportoláshoz, és mindezek előtt az utolsó kapcsolat a természettel (Kabisch és mtsai, 2021).

A fák szerepe a fent említett ökológiai szolgáltatások mindegyikében kiemelkedő, ezért nagyon fontosak – természetesen a gyepfelület, cserjék és virágágak mellett – a városi környezetben. A terjedő burkolt felületek között azonban egyre kisebb a számukra kijelölt élettér, így csökken a várostűrő fajok száma.

Akira Miyawaki japán botanikus volt, aki a japán ökoszisztéma regenerációjának tanulmányozása során arra jutott, hogy a legkönnyebben úgy lehet segíteni a természetes folyamatok felgyorsítását, ha olyan fajok magjait veti el, amelyek természetes módon is előfordulnak az adott helyen. Ennek legideálisabb módja, ha a környező, őshonos fajok magjait gyűjti be, és veti el. A módszerhez hozzátartozik, hogy minél sűrűbben (2-7 egyed/m²) vessük vagy

telepítsük a magoncokat. Ez a módszer alkalmas olyan kisebb területek bevonására, amelyek kevésbé alkalmasak a többször iskolázott sorfák telepítésére.

A talajcsere és a versengés hatására a telepített csemeték éves növekménye jelentősen megnő, így a szén-dioxid megkötésük szintén nagyobb lesz. Kis helyen nagy lombtömegük a szállópor csökkentésében is segítséget nyújt. A szukcesszió idővel kiemeli azokat a fajokat, amelyek a legjobban tudtak alkalmazkodni a környezetükhöz. Így a Miyawaki-erdőben azok a fajok jutnak versenyelőnyhöz, amelyeknek a legjobb az alkalmazkodóképességük. Ebből adódóan vitális zöldfelülethez jutunk, ahol a megfelelő fát kapjuk a megfelelő helyre.

A világon számos területen, elsősorban a trópusokon használják ezt a telepítési módszert. Európában is számos helyszínen telepítik (pl. Franciaország, Dánia, Hollandia). Magyarországon először a Miyawaki-elmet 2021-ben honosították meg. Ez az első Miyawaki-erdő a Tabánban. Ezt számos további minierdő követte (Baja, Budapest több kerülete – Boráros tér, Andor utca, Soroksár stb.).

A témám során vizsgáltam az első hazai adaptációjú Miyawaki-erdőbe telepített kilenc őshonos fafaj szén-dioxid-megkötését, vízpára-kibocsátását, magassági növekedését és levélfelületváltozásait.

Célom, hogy bemutassam a telepítést követő három év során a fafajok növekedési ütemét (magasság és levélfelület), az évszakok szerint változó szén-dioxid-megkötési és vízpára-kibocsátási képességüket. Ezen adatok és eredmények alapján következtetni lehet az egyes fajok városi környezethez való alkalmazkodóképességükre, valamint a Miyawaki-módszer hatékonyságára.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A városi klíma sajátosságai

A városokban számos környezeti tényezőt az ember alakított ki, melynek során sajátos, mesterséges felszín jött létre. Ezt épített környezetnek nevezzük. Ebből adódóan nagymértékben megváltoznak a különböző éghajlati elemek a városokat körülvevő természetes környezethez képest. Ezek a változások jelentős mértékben hatnak egymásra. Az épített környezetre jellemző a változatosság, kis területen belüli nagy különbségek, a különféle éghajlati jellemzőket pedig nagymértékben befolyásolja. A burkolt felületek albedója (a fény rövidhullámának visszaverési rátája) nagyon alacsony. Ez azt jelenti, hogy a beérkező fény hőhatását okozó rövidhullámok legnagyobb részét elnyeli, és azt később – elsősorban az éjszakai órákban – sugározza vissza a levegőbe, így emelve az amúgy is forró nyári napok középhőmérsékletét (Pongrácz és Bartholy, 2013).

A mesterségesen létrehozott különböző felszínek, a nagyobb érdesség miatt légsurlódást hoznak létre, ami a szélesebbég csökkenéséhez és a turbulencia növekedéséhez vezet. A hősziget hatás, a légszennyezés és a légmozgás megváltozása összeadódik, és tovább rontja a városi környezet értékeit (Pongrácz és Bartholy, 2013).

A városok vízháztartási egyenlege nagyban eltér a városon kívüli területekétől. Vízbévételi forrást jelent a csapadék, az égés során felszabaduló vízgőz és a folyók vizéből származó vízkivétel. Ezzel szemben kiadás a párolgás, a nettó lefolyás (az érkező és távozó folyóvizek különbsége, a felszínen és a felszín alatt tárolt vízmennyiség és a városba érkező és onnan távozó vízszintes irányú vízgőzszállítás. A városon kívül nincs jelen az égés során felszabaduló vízmennyiség és a városok általi vízfelhasználás, de a mezőgazdasági területeken pluszforrást jelent az öntözés. Mivel a csekély vízáteresztő képességgel rendelkező burkolatoknak és a csatornázásnak köszönhetően a városi területeken a csapadékvíz nem marad a felszínen annyi ideig, hogy beszivároгjon a talajba, így jóval kisebb a párolgás, mint a növényzettel borított területeken (Pongrácz és Bartholy, 2013).

A városi hőmérséklet szempontjából fontos tényezők a fűtés, közlekedés és az ipari folyamatok során keletkező idegen anyagok, így a vízgőz, gázok, füst és egyéb szilárd szennyezőanyagok, melyek a várost kevésbé szeles körülmények között lepelszerűen vonják be. A beérkező és a felszínről visszaverődő napsugárzás a külterületekhez képest nagyobb mértékben marad meg a szennyezett városi légkörben – növelve annak hőmérsékletét (Unger, 2010). A sugárzás csökkenésének mértéke függ az évszaktól, a napmagasságtól és a légszennyező anyagok koncentrációjától. A városokban az albedó 5-10%-kal kevesebb, mint a vidéki területeken, vagyis kisebb a visszavert rövidhullámú sugárzás. Ennek oka az építési anyagok színe, télen a hótakaróval borítottság mértéke és a magas épületek által tagolt, kanyonszerű felszín hatására csapdába eső napsugarak következménye.

A városi hősziget és a légszennyező anyagok megnövekedett koncentrációja miatt a városokban mind a lefelé, mind a felfelé irányuló hosszúhullámú sugárzás nő (Pongrácz és Bartholy, 2013). A magasabb hőmérsékletű felszín egy megnövelt kisugárzást eredményez, melynek jelentős része elnyelődik a szennyezett légrétegben, és visszasugározódik a felszínre (Unger, 2010), így egy önmagát fenntartó és gerjesztő rendszert hoz létre.

A beépített területeken a légmozgások iránya és sebessége is módosul. A szélesebbesség a nagyobb felszíni érdességből adódó erősebb súrlódás következtében átlagosan 20–30%-kal csökken, a heves széllokécek sebessége 15–20%-kal kisebb, míg a szélcsend 5–20%-kal gyakoribb (Tókei, 1997). A szélirány a felszín közelében 1–10°C eltérést mutat a városon kívüli területhez képest. Az épületsorok, utcák irányához igazodva jelentősebb eltérések is kialakulhatnak (Bridgman és Oliver, 2006). A városok saját szélrendszert is létrehozhatnak. Derült, egyébként szélcsendes estéken a városközpont felett, a városi hősziget hatására felmelegedő levegő kitágul, sűrűsége csökken, tehát felemelkedik, helyére a külterületek irányából hűvösebb, tisztább levegő áramolhat, ha a beépítés laza, sugárutas szerkezete engedi ezt. Ezt a légáramlást nevezzük hősziget-légközésnek (Szegedi és mtsai, 2014).

A városok területén a környező beépítetlen felszínekhez viszonyítva kialakuló hőmérsékleti többletet városi hőszigetnek nevezzük. A városi hősziget jelenségét Luke Howard, kémikus fedezte fel. Bár még nem használta ezt a kifejezést, de ő ismerte fel, hogy a beépített városi területen melegebb van, mint a városokat körülvevő természetes környezetben (Szegedi és mtsai, 2014). A hősziget jelentősen befolyásolja a légtér termikus komfortviszonyait. Nyáron bizonyos időszakokban a nagyvárosok felmelegedése emberi szempontból is rendkívül kedvezőtlen (az alacsony és közepes szélességeken), télen viszont kifejezetten előnyös lehet. Hazánkban a napi maximumhőmérséklet természetes sík felszínnek felett az év 10-30 napján meghaladja az ún. hőségnap kritériumát, a 30°C-ot. Nagyvárosainkban ennél 2-6 fokkal melegebb van, azaz hazánk népességének 1/3-a ennél jóval hosszabb ideig, átlagosan évi 30-60 napon át ki van téve a túlmelegedés okozta környezeti terhelésnek (hőségstressz). Ilyenkor szervezetünket a napsugárzásból, valamint az épületek kisugárzásából származó többlet hőbevétel, a szélcsend és a zsúfoltság okozta korlátozott hőleadás is fokozottan terheli. A legerősebb hősziget-hatást előidéző szélcsendes, napos nyári időben a városlakók helyzetét súlyosbítja az egyidejűleg kialakuló magas ózon- és a szálló por koncentráció járulékos veszélytényezője is. A magas ózon-koncentráció, szélsőséges esetben pedig a fotokémiai szmog, elsősorban a légzőszervi megbetegedések és rohamok gyakoriságát fokozva rövidíti meg a városlakók életét. A nappali hőmérséklet gyakori 30°C fölé emelkedése megnöveli azon napok számát is, amikor az ózonkoncentráció eléri az érzékeny emberek számára már káros szintet. További hatásként – a város melegebb volta miatt – meghosszabbodik a fagymentes időszak és ezzel a növények vegetációs periódusa, eltolódnak a fenológiai fázisok, csökken a fagyok intenzitása, megrövidül a hótakaróval borítottság ideje, csökken a fagyos és téli napok száma, valamint az ún. fűtési napok száma, ami természetesen mérsékli a fűtésre felhasznált energia mennyiségét is (Unger, 2010).

Napjainkban a hazai városklíma kutatás elsősorban a hősziget-effektusra és a városi levegőszennyezőkre koncentrál. A felszíni mérések mellett a hősziget hatás műholdfelvételek alapján történő értékelésére is sor került Budapest mellett több vidéki városunk vonatkozásában.

Júniusban a legerősebb az átlagos hőszigetintenzitás. Ekkor délelőtt kevéssel 3 °C felett, délután pedig 3,7 °C körül alakul, vagyis ennyivel van melegebb, mint a város környezetéhez képest. A nappali görbék két minimummal rendelkeznek: a március-áprilisi, illetve az október-novemberi időszakban legalacsonyabb a városi és városkörnyéki

átlaghőmérséklet különbsége. Ezekben a hónapokban a hősziget intenzitása nem haladja meg az 1 °C-ot. Budapest esetében nyáron 2 °C felett, télen 1,5-2 °C körül alakul a városi hősziget átlagos intenzitása (Pongrácz és Bartholy, 2013).

A hőszigetek hatását a városi zöldfelületek, elsősorban a fák hatékonyan meg tudják törni. Ez a képességük, szolgáltatásuk abból adódik, hogy az albedójuk nagy, így a beérkező fény hőhatását nem elnyelik, hanem visszaverik. Emellett az árnyékuk passzívan hűthetik az épületeket, ami viszont sokkal jelentősebb, hogy a fák a leveleken történő párologtatásuk során aktívan is hűtik környezetüket, kialakítva egy sajátos mikroklímát. Ez segít a környező, épített felületek okozta hőszigeteket mérsékelni, valamint csökkenteni a hűtésre fordított kiadásokat (Wang és mtsai, 2021).

2.2. A városi környezet hatásai a fákra

Ahogy az emberek, úgy a fák is szűkebb életteret kapnak a városokban. Így több korlátozó tényezőt kell figyelembe venni, amikor fát telepítünk. A légvezetékeknek, a talajfelszín alatt futó közműveknek (víz, gáz, elektromos és internetkábelek stb.) védősávot kell biztosítani, amely azt jelenti, hogy a környezetében nem lehet olyan objektum, ami megrongálja ezeket a közműveket. A legtöbb utca vagy út fahelye nagyon szűk életteret nyújt a fák számára. A fák életfeltételeinek javítása során figyelembe kell venni, hogy az évek során egyre nagyobb helyigényük van. Növekedésükhöz ezért nem elég a kezdeti ültetőgödör mérete. Az MSZ 12172:2019 szabvány szerint a nagy termetű fák számára már a 2*2*2 m-es, azaz 8 m³-es ültetőgödör ajánlott a korábbi 1*1*1 m (1 m³) helyett. A közepes és a kis termetű fák ültetőgödöréhez 1,5*1,5*1,5 m ültetőgödört javasolnak (kevésbé több, mint 3 m³).

A városok levegője nemcsak az emberi szervezetet viselheti meg. A füst, a por, különböző gázok jelenléte a levegőben káros lehet a fákra is. A helyhez kötött növényekre jelentős mennyiségű por rakódhat le, legyen szó akár évelőágyról (Szabó és Kohut, 2022), vagy városi fákról (Hrotkó és mtsai, 2021).

A téli síkosságmentesítéshez használt NaCl megnehezíti a vízfelvételt a hajszállereken keresztül, így a fák - akár megfelelő vízellátottság mellett is – ki tud száradni (Vértessy 2021). Ugyanígy a kutyavizelet is rossz hatással van a fák talajára (Huszkó 2021).

2.3. Fák ökológiai szolgáltatásai

Ökológiai szolgáltatások kézzel nem foghatóak, de mégis jótékonyan hatnak az emberekre. A városi fák felértékelődnek az egyre intenzívebb burkolt felületek között. Természetesen az egyik alapvető szolgáltatásuk, hogy a fotoszintézis során oxigént termelnek (Nowak és mtsai, 2007). A szén-dioxid megkötésükre jelenleg nagy figyelem irányul (Nowak és mtsai, 2013, Ariluoma és mtsai, 2021), hiszen a légkörben jelentős mértékben felszabadultak az üvegházhatású gázok, köztük a szén-dioxid is. A káros gáz halmazállapotú szennyező anyagok a gázcsereenyílásokon keresztül kerülnek be a növények leveleibe, melynek gyakran látható tünete a levél nekrozis (Jószainé, 2007).

A levegő tisztításához a lombzat nagy felülete segít kiszűrni a szálló port (Hrotkó és mtsai, 2021). Emellett növelik a levegő páratartalmát, és így aktívan is hűtik a levegőt és javítják a hőérzetet. A kis területre ültetett sok fa akár 6-8 °C-kal is képes mérsékelni a környezete hőmérsékletét (Jószainé, 2007), ezért a városi zöldfelületek kulcsfontosságú szerepet játszanak a hőstressz enyhítésében az egyre melegebb városi környezetben. Árnyékoló hatásukkal is csökkenthetik egy épület fenntartásának (hűtés-fűtés) költségeit. A levegő minőségének javításával az emberi egészségre is pozitív hatással vannak a fák (Nowak és mtsai, 2014).

Felépítésüknek köszönhetően a fák csökkentik a lezúduló villámárvizek okozta károkat (Beidokhti és mtsai, 2021) azáltal, hogy gyökereikkel helyben tartják a vizet, valamint a lomkoronájukkal enyhítik a lezúduló víz hatását, ezek mellett mérséklik a zajt és a rezgést is (Samara és Tsitsoni, 2011). Leveleik önmagukban is kifejtenek sajátos zajt, amely csökkenti a stresszt. Az évszakonkénti változás, a fák lombzatának színeződése oldja az épített elemek szürke, monoton színeit és formáját (Jószainé, 2007). A fákon élő állatok, a folytonos szelíd változás jótékonyan hat az ember mentális egészségére, javítja a városlakók pszichés állapotát, segít a figyelem és a hangulat javításában, illetve a stressz leküzdésében. A fákon élő állatok, a folytonos szelíd változás jótékonyan hat az ember mentális egészségére. Ugyanígy sok esztétikai örömet is lelhetünk a fák megfigyelésében.

2.4. Miyawaki-módszer

A korábban elmondottak alapján egy városi környezetben nehéz kialakítani olyan feltételeket, amelyek szükségesek egy erdő létrejöttéhez. Akira Miyawaki japán botanikus saját országában sokat tanulmányozta a leromlott élőhelyű erdőket, és azzal a nézettel állt elő, hogy a legjobb és legegyszerűbb módszere az újraerdősítésnek, ha olyan magoncokat használ fel, amelyeknek a szülei a környező vidéken megtalálhatóak. Ennek háttérében az ökológiai alkalmazkodás áll, hiszen az adott területen élő fák már megszokták és megismerték környezetüket, és ezt képesek továbbadni az utódaikba is (Miyawaki 2004).

Módszerét a későbbiekben módosította annyiban, hogy nem a begyűjtött magokat vetette helybe, hanem magoncokat neveltek belőlük, és azokkal telepítették be a területet. Fontos kitétel, hogy a kezdeti gyors növekedés elérésének érdekében, a területen a talajt tápanyagban gazdagra kell cserélni 1 méter mélységig. További kritérium, hogy a telepítés tervezésénél figyelembe kell venni, hogy sűrűn (3-4 db/m²) ültetjük a növényeket. Ennek lényege, hogy már a kezdetektől minél jobban takarják a talajt. A telepítés és az alapos beöntözés után javasolt a szalmatakarás, amely visszatartja a vizet (Manuel 2020).

A fiatalon eltelepített fák növekedését többféle módon mérhetjük. Az egyik, hogy a területet különböző parcellákra osztjuk, az ott lévő egyedek magasságát, törzskörmértét megmérjük, majd a beépülő szén-dioxid és a fa gyarapodásából kiszámoljuk a megkötött szén arányát (Lerink és mtsai 2020).

2.5. A fotoszintézis menete és környezeti viszonyai

A fotoszintézis olyan folyamatok összessége, amelyek eredményeként a fényenergia kémiai energiává alakul át, és az így alkotott energia segítségével szerves anyagok képződnek. Az egész földi élővilág számára az energiaigényes folyamatokhoz szükséges energiát végső soron a fotoszintézis révén átalakított fényenergia biztosítja. A fotoszintézis termékei szolgáltatják az élővilág szervesanyag szükségletét és a földi élethez szükséges oxigént, ami kb. évi 100 milliárd tonna (Tuba és Csintalan, 2010).

A zöld növények fotoszintézise a légkör szén-dioxid (CO_2) szintjét is befolyásolja, hiszen a vegetáció előretörésével és visszaszorulásával párhuzamosan évszakos fluktuáció figyelhető meg a légkör CO_2 koncentrációjában. Könnyen belátható tehát, hogy a fotoszintézis a földi életünk szempontjából kulcsfontosságú folyamat, melynek megértése mind elméleti, mind pedig gyakorlati szempontból fontos (Fehér és mtsai, 2019).

A fotoszintézis során a növény a szén-dioxidot megköti és oxigént szabadít fel, s ezzel hatalmas mennyiségű szénanyagot tart szerves kötések formájában – egyben az atmoszféra gázegyensúlyának egyik alapeleme.

A fotoszintézis folyamatát 3 különböző szakaszra oszthatjuk fel: a fényszakasz, a sötétszakasz, az ún. diffúziós folyamatok szakasza (Tuba és Csintalan, 2010). A fényszakaszban mennek végbe az alábbi fényreakciók, amelyek valójában fizikai és fotokémiai folyamatok: a fényenergia elnyelése (fényabszorpció), a fotokémiai reakcióban közvetlenül részt vevő pigmentekre (P_{680} , P_{700}) történő energiaszállítás, a fényenergia kémiai energiává való átalakulása.

A fényszakaszban történik meg a vízbontás (oxigéntermelés), a redukáló vegyület (NADPH) képződése. A fotoszintézis sötétszakaszában megy végbe a fényszakaszban keletkezett ATP és redukáló anyag, a NADPH segítségével a szén-dioxid szénhidráttá redukálása. A fotoszintézis sötétszakasza a kloroplasztiszok sztómájában történik. A sötétszakaszban a fotoszintézis első lépése a szén-dioxid megkötése, amely a növényvilágban három, egymástól különböző úton mehet végbe (Tuba és Csintalan, 2010).

A szén-dioxid fixációja után keletkező primer szénhidrát termékek szénatomszáma alapján megkülönböztetünk C_3 -as, C_4 -es és CAM típusú növényeket (Tuba és Csintalan, 2010).

A C_3 -as fotoszintézis típusú növényfajokban a CO_2 megkötése a Calvin-Benson-ciklusban megy végbe és a primer termék a három szénatomos glicerinsav-3-foszfát. A C_3 -as fotoszintézis-típusú növényekben a szén-dioxid a ribulóz-1,5-difoszfát-karboxiláz/oxigenáz (rövidítve RUBISCO) enzim révén az öt szénatomos ribulóz-1,5-difoszfáthoz kötődik (Tuba és Csintalan, 2010). A növények legnagyobb része, így a természetet fajok döntő többsége (94%) a C_3 -as csoporthoz tartozik (Terbe, 2022). Ezenél a fajoknál a szén-dioxid fixálásában részt vevő enzim(ek) működését alapvetően két tényezőcsoport határozza meg:

- a levegő összetétele – a szén-dioxid/oxigén aránya, illetve
- a klimatikus tényezők – a fényintenzitás és a léghőmérséklet (Terbe, 2022).

A növények fotoszintézisét számos környezeti tényező befolyásolja. Mint fotokémiai folyamat, a fotoszintézis közvetlenül függ a fényintenzitástól. A fotoszintézis sötét-szakaszbeli folyamatai pedig, mint biokémiai folyamatok, elsősorban a hőmérséklettől és a szén-dioxid ellátottságtól függenek (Tuba és Csintalan, 2010).

A növények a levélre jutó fényenergiának csak egy részét (kb. 70%) nyelik el, a fennmaradó részt visszaverik, vagy átengedik. Az elnyelt fényenergiának csak töredéke hasznosul a fotoszintézisben, nagy része hőenergia formájában elvész (Monostori, 2016).

A növények fotoszintézis-intenzitásának fényintenzitástól való függését az ún. fényfotoszintézis görbével fejezhetjük ki, mely. ún. telítési görbe (1. ábra). Fényintenzitáson csak a fotoszintézis számára hasznosítható, 400 és 700 nm közötti, fotoszintetikusan aktív sugárzást (PAR) értjük (Tuba és Csintalan, 2010). Általában elmondhatjuk, hogy a C₃-as növények alacsonyabb fényintenzitáson érik el a fotoszintézis intenzitásának fényteltetését, míg a C₄-es növények gyakran még a teljes napfényen sem mutatnak telítési értéket (Ördög és Molnár, 2009).

A C₃-as növények többségénél a fotoszintézis kb. 500 és 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PAR között telítődik, tehát a természetes körülmények közötti maximális PAR-nak (1600-2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) nagyjából a felét használják ki (Tuba és Csintalan, 2010).

A maximális fotoszintézis-intenzitása változik a fotoszintézist befolyásoló környezeti tényezők változásának hatására, de változik a levelek és a növény életkorával is. Függ továbbá az előzetes nevelési/növekedési körülményektől. Nagy különbségek találhatóak ugyanazon genotípus egyedei között, sőt még egyazon növény levelei között is (Tuba és Csintalan, 2010).

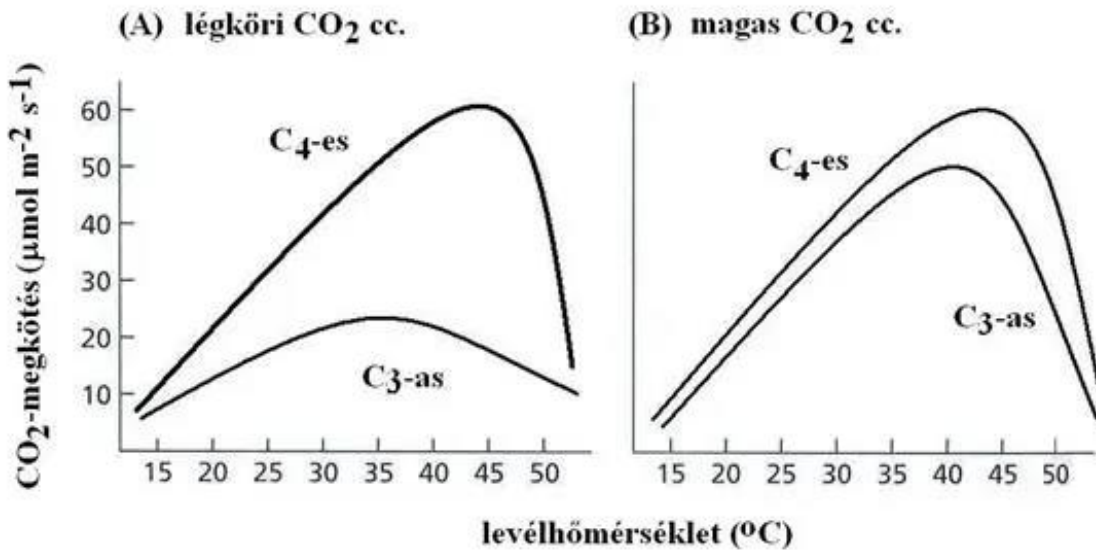
A fényintenzitás és a légkör CO₂-tartalma együttesen szabályozza a fotoszintézis intenzitását: gyenge megvilágítás esetén a növény nem tudja kihasználni a rendelkezésre álló szénforrást, kis CO₂-koncentráció esetén a fényenergia kihasználásához nincs elég szén-dioxid (Monostori, 2016).

A fotoszintézis hőmérsékleti görbéje optimumgörbe: a hőmérséklet növekedésével (kb. 0-tól 30 °C-ig) a fotoszintézis intenzitása emelkedik, majd hirtelen esik, és 40-45 °C -nál a nullára csökken (1. ábra). Magasabb hőmérsékleten a hőkárosodás alapja a pigment-protein komplexek diszszociációja. Egy bizonyos hőmérsékleten túl (hőgátlás) a növény a légzés során több szerves anyagot fogyaszt, mint amennyit a fotoszintézissel termel. A szervesanyagfelhalmozás optimális hőmérséklete az a tartomány, ahol a nettó fotoszintézis (a bruttó fotoszintézis és a légzés különbsége) a legnagyobb. Optimális esetben a fotoszintézis által termelt szerves anyag mennyisége többszöröse a légzés során elhasznált anyagmennyiségnek (Monostori, 2016).

A növények gázcsereje a sztómákon keresztül folyik. Hiányos vízellátás esetén a sztómák záródása nemcsak a transzspiráció, hanem a gázcsere csökkenését is eredményezi.

Tartós vízhiány utáni öntözés hatására a fotoszintézis intenzitása csak hosszabb idő után éri el a normál értéket, ami a kloroplasztiszok súlyos károsodására utal. A légzés enzimrendszere kevésbé érzékeny a vízhiányra, mint a fotoszintézisé. A fotoszintézis intenzitása viszonylag kis vízhiány esetén is erősen csökken, míg a légzés

jelentős vízdeficit esetén (pl. lankadó levelekben) is intenzív marad, csökkentve a növények szervesanyagfelhalmozását (Monostori, 2016).



1. ábra. A fotoszintézis változása a hőmérséklet függvényében optimum görbét mutat. (forrás: internet 1)

A jelenlegi légköri viszonyok között a növények körüli levegő és a növények belső tere közötti szén-dioxid koncentráció-grádiens aránylag kicsi. Ezért a növények körüli légtér szén-dioxid koncentrációjának növelése emeli a növények belseje és környezete közötti szén-dioxid koncentráció-grádiens, és ezáltal a szén-dioxid felvételét. Mindezen keresztül pedig nő a növények fotoszintetikus teljesítménye is. Ezt a lehetőséget hasznosítja az ún. szén-dioxid-dúsítás révén elsősorban az üvegházi kertészeti gyakorlat. Előrejelzések szerint kb 100-150 éven belül a Föld légkörének szén-dioxid tartalma megkétszereződik (jelenleg átlépte a 400 ppm értéket; Tuba és Csintalan, 2010).

Természetes körülmények között a fotoszintézis folyamata – a CO₂ koncentráción kívül legalább még egy további fenti tényező korlátozottsága miatt – sohasem megy végbe optimális körülmények között, és így intenzitása sem éri el az – optimális körülmények között elvileg várható – maximális értéket (Tuba és Csintalan, 2010).

A fotoszintézis napi menetét meghatározza a beérkező napfény mennyisége, a vízellátás, a jelenlévő szén-dioxid mennyisége, de nagyjából a déli órákban éri el a napi maximumát. A reggeli órákban nyílnak a sztómák, majd ezt követően felfutó görbét kapunk, majd a déli órákban tetőzik, és a nap hátralévő részében folyamatosan csökken. Ez jellemző mind a lágyszárú gyepekben előforduló fajokra (Kalapos, 1994) és általánosan (Pethő, 2002).

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. A vizsgálat helyszíne

„Valamikor itt házak álltak, Uram, de milyen házak! és a házak közt utcák kanyarogtak, de milyen utcák! A házak földszintesek voltak, és a közepükön a szederfa mellett mosóteknő állt.” – állt Szerb Antal cikkében a Tabánról (Szerb 1935).

A Tabán Budapest I. kerületének egyik városrésze. Mai határai a várfal a Dózsa György tér 9.-től a Nagy Rondella kapujáig – a Nagy Rondellától délnek futó lépcsős sétánySándor Móric lépcső – Ybl Miklós tér déli oldala – Duna folyam - I. és XI. kerület határa (merőlegesen a Duna vonaláig) – Citadella északi sétány – és a Szirtes út elágazásánál északra futó sétány az Orom utcáig – Orom utca – Sánc utca – Hegyalja úti kereszteződés – Czákó utca – Gellérthegy utca – Pásztor lépcső – Dózsa György tér (internet 6).

Domborzati viszonyait tekintve egy völgyben fekszik, melyet délről a Gellért-hegy, nyugatról a Naphegy, északról a Várhegy határol. Területe 161.000 m² (internet 2). Természeti adottságai – védett völgy, napsütötte domboldalak, hévízforrások – már az őskorban is lakottá tették a vidéket (Kardos és Schild, 2019). A Tabán Budapest egyik legrégebben lakott városrésze, melyet a múlt században még sűrűn beépített kacskaringós utcák, apró házak jellemeztek és híres volt vendéglőiről, kocsmáiról, melyek vonzották a fővárosi értelmiséget és művészeket. Az 1880-as évek filoxerajárványa elpusztította a lakosság létalapját, a szőlőt (internet 3). Lebontását már a XIX. század végén tervezték, elsősorban városrendezési, városképi okokból, hiszen erre az időre a környék (a Vár déli része, a Dunapart és a Gellérthegy) rendezése elkészült (internet 3). Végül sorsát az Erzsébet-híd megépülése pecsételte meg (internet 3). 1932-33-ban néhány épület kivételével lebontották, eltüntetve ezzel a Krúdy által is megénekelte bohém világot (internet 3)t. A szabad terület beépítésére több terv is született, végül megmaradt Buda egyik legnagyobb parkjának, ahol nyaranta több szabadtéri rendezvény is otthonra talál (internet 3).

Növényanyaga rendkívül fajgazdag, a legidősebb példányok a tölgyek, többféle juhar, hársak, vadgesztenyék, ostorfák, japánakácok és platánok. Néhány idős magas kőris, törökmogyorót és sajmeggyet is találunk (internet 2). Valamivel fiatalabbak a virágos kőrisek, júdásfák (internet 2). Az Orvos lépcső felőli lejtőn mézesfák, többféle berkenye, egy fekete dió és egy óriási császárfű, a Rácz-Fürdő közelében a törökmogyoró csoport és egy csodás cserszömörce említendő. A ritkábban előforduló fajok közül a vasfa, a tarkalevelű hegyi juhar, néhány szép gyertyán, tölgy és csörgőfa sem hagyható ki a felsorolásból (internet 2).

A minierdőnek területe északkeleti irányba fekszik a Tabánban, a Krisztina körüttől néhány méterre a tenispályák és a focipálya között. Ezen a területen hársak, kínai pagodafák (japánakác) találhatóak, amelyek részben árnyékot adnak a fiatal telepítésnek. A késő délutáni napsütést pedig a domborzat csökkenti. A telepítés évében (2021) a nyár nagyon forró volt, azonban olykor csapadék enyhítette a magas hőmérséklet hatásait. 2022-es év nyara rendkívül aszályos volt a nyári hónapok nagy részében nem esett az eső. A két év időjárási paramétereit a 3.5. alfejezetben részletezem.

3.2. A minierdő meghatározó adatai, a telepítés körülményei

Területe 40 m², amelyen 120 növényegyedet ültettek ki. Ezekből kilenc fafaj található meg a területen, amelyeket a 3.3. alfejezetben részletezek.

A tabáni Miyawaki-erdőt 2021. május 20.-n telepítették (2. ábra). Az akkori Főkert, jelenleg Budapesti Közművek Nonprofit Zrt. Főkert Divízió, munkatársai ültették el. A kivitelezést megelőzően Zsolnai Balázs és Bajor Zoltán összeállították a fafajok listáját.

A Miyawaki-módszerhez szükséges talajcserét 50 cm mélységig végezték el. Ennek során tápanyagban gazdag földkeveréket terítettek szét. Az Agrofutura Kft. alágazata, a Gardenfutura szolgáltatotta a talajcseréhez a földkeveréket, amely kiváló minőségű komposztföldet és jó vízmegkötő képességgel rendelkező agyagot is tartalmaz (Szöllösi szóbeli közlés 2021). Az ültetés előtt az edényes magoncok gyökerét tartalmazó közeget mikorrhizást oldatba mártottuk. Az ültetést követően pedig 20 cm vastagságban szalmamulccsal takarták a csemetéket. Ennek szerepe az volt, hogy az öntözést követően nedvesen tartsák a területet. Első évben a friss telepítést hetente kétszer, majd következő évben szinte egyáltalán nem öntözték.

A Richter Gedeon Nyrt. 2021-ben ünnepelte alapításának 120. évfordulóját, így ennek apropójából szerettek volna 120 fát telepíteni, de azok költsége meghaladta volna a felhasználható pénzügyi keretet, így Zsolnai Balázs az akkori Főkert zöldreferense javasolta a cégnek, hogy fordítsák a fennálló összeget egy Miyawaki-erdőre, amely bekerülési költsége jelentősen kevesebb, viszont az idő múlásával környezeti hasznossága hatványozottan növekedni fog.

3.3 A Miyawaki-erdőbe telepített fafajok ismertetése

Acer campestre - Mezei juhar

A mezei juhar (*Acer campestre*) a szappanfavrágúak (*Sapindales*) rendjébe, ezen belül a szappanfafélék (*Sapindaceae*) családjába tartozó faj.

Hosszú életű (200–300 év), lassan növő fa (Bartha, 1999). 10–20 méterre nő meg, törzse többnyire görbe, koronája tömött, gömbölyded alakú. Vesszői fiatalon néha vastagon paralécesek (f. *suberosum*) (Schmidt és Tóth, 2006). Meglehetősen kicsi, 4–10 cm hosszú és széles levelei vannak, ép szélűek, tenyeresen főeresek, rendszerint öt, ritkábban három karéjra tagolódnak (Bartha, 2014). A középső három karéjon gyakran mellékkaréjok képződnek. A karéjok e fajnál tompák, nem hegyesek. A levél érdekessége, hogy nyelében tejedények futnak, ezért annak megsértésekor fehér tejnedv folyik ki belőle (Bartha, 2014). Átellenes levélállás jellemzi (Erős-Honti, 2019). Virágzatai általában 25 éves kor felett, lombfakadással egy időben jelennek meg a hajtásvégeken, a kevés virágú sátorozó bugák kezdetben felfelé állnak, majd lekonyulnak (Bartha, 2014). Sárgászöld, kicsiny virágai alig tűnnek fel, leginkább a beporzást végző hártáásszárnyúak szorgoskodása hívja fel rájuk a figyelmet. Ikerlependék termései kicsik, a szárnyak

egymáshoz képest egyenes szögben állnak. A fiatal termések gyakran vörösesen futtatottak, a meg nem termékenyült virágokból léha termések fejlődnek (Bartha, 2014).

A mezei juhar elterjedésének középpontja Közép- és Dél-Európában van (Bartha, 2014). Magyarországon az ártéri erdőktől a karsztbokorerdőkig majd minden erdőtársulásban elegyfaaként előforduló, igen tág ökológiai amplitúdójú növény. A szárazságot és a szennyezett levegőt jól tűri, némi sziket is elvisel (Schmidt és Tóth, 2006). Alkalmos ezért parkokba vagy nagyvárosokban, ipartelepek környékén utcafásításra. Hátránya, hogy lassan nő és rossz törzsnevelő. Jól metszhető, szép, magas sövény alakítható ki belőle (Schmidt és Tóth, 2006).

Lassú növekedésű juharfaj. Első évben a magonc 5-6 cm magasságot ér el. Kb. 5 éves koráig inkább a gyökérrendszerét fejleszti, majd ezt követően növekedése megugrik. Termőhelytől függően évi 30-100 cm-t is nőhet, emellett erősen ágasodik. 12-15 éves korára kialakul a végleges korona, ezt követően növekedése erősen lecsökken. Megújuló képessége kiváló, gyökérzete mélyre hatoló, tavasszal a beporzók szívesen látogatják (Gencsi és Vancsura, 1992).

Acer platanooides - Korai juhar

A korai juhar vagy platánlevelű juhar (*Acer platanooides*) - a mezei juharhoz hasonlóan - a szappanfavirágúak (*Sapindales*) rendjébe és a szappanfafélék (*Sapindaceae*) családjába tartozó faj.

20–25 méteres, terebélyes koronájú fa (Schmidt és Tóth, 2006). Törzse egyenes, karcsú, magasan elágazó. Kérge fiatalon szürkésbarna, sima, az idősebb fáké hosszában sekélyen repedezett, sötétszürke, nem hámlik, finoman keskeny lemezes. Ágai kopaszok, fényes barnák, megsebezve fehér tejnedvet engednek. Levelei 5– (7) karéjúak, a karéjok kihegyezettek (Schmidt és Tóth, 2006). Apró (8 mm), mézillatú sárgászöld, elég mutatós, enyhén illatos kétivarú virágai lapos ernyőben áprilisban nyílnak (More és Fitter, 1990). A magház két, egymással összenőtt termőlevélből áll. Termései párosával összenőtt, 150 fokos szögben álló, 4 centiméter hosszú szárnyú, erőteljesen erezett ikerlependékek. Alig domború termésfaluk belül is kopasz (Godet, 1993).

Hazája Európa, a Kaukázus (Schmidt és Tóth, 2006). A Kárpát-medencében főleg a párás, üde vagy mérsékelten nyirkos talajú erdőket kedveli, ezért elsősorban a szurdok- és ligeterdőkben (főképp a tölgy-kőris-szil ligeterdőben), valamint a völgyek gyertyánostölgyeseiben gyakori, főleg a hárssal és a kőrissel vegyes állományokban. Mérsékelt. A szárazságot közepesen tűri, gyors növekedésű mezofiton (Schmidt és Tóth, 2006). Szép törzset nevel, ezért gyakran ültetik utcai sorfának. Erre a célra azonban csak a kis járműforgalmú területeken alkalmas, mert a füstgázokat és a sózást elég rosszul tűri (Schmidt - Tóth, 2006).

A korai juhar fiatal korában gyorsan nő. Az egyéves magoncok 6-8 cm magasak, második évben legfeljebb 30 cm-t nőnek, majd az erőteljes növekedés a harmadik évtől jellemzi. Innentől az évi 50-200 cm növekmény várható, attól függően, milyenek a csapadékviszonyok. Ez a növekedési periódus 15-20 éves koráig tart. Vastagodási növekedése 10 éves korától válik egyenletessé (4-5 mm évgyűrű-vastagodás). A magoncok 8-10 éves koruktól már virágozhatnak. Virágai kezdetben porzósak. 20-25 éves korától rendszeresen terem, 3-4 évente nagyobb

mennyiségben, ugyanakkor sok léha magot nevel. Sarjadzóképesége közepes, amelyet 60-70 évesen elveszít. Ökológiai szerepe nagy, gazdagon elágazó, intenzív gyökérrendszerével a talajt jól behálózza, jól árnyékol, ugyanakkor sokáig tolerálja, ha árnyékban nő. Nagy levelei révén nagy mennyiségű avart képez, amely nitrogénben és kalciumban gazdag. Értékes méhlegelő (Gencsi és Vancsura, 1992).

***Carpinus betulus* – Közönséges gyertyán**

A közönséges gyertyán (*Carpinus betulus*) a bükkfavirágúak (*Fagales*) rendjébe, ezen belül a nyírfafélék (*Betulaceae*) családjába tartozó faj.

Közepes termetű (25 méter), gömbölyded koronájú fa (Bartha, 1999; Schmidt és Tóth, 2006). Törzse csavarodott, gyakran kissé bordás, szürke kérge sokáig sima marad (Schmidt és Tóth, 2006). Vesszeje vékony, szürkésbarna, fényes, kopasz. A szárhoz simuló rügyei 8-10 cm hosszúak, világosbarna színűek. Szórt állású, hosszúkás tojásdad alakú, 6- 12 centiméter hosszú levelei felül mélyzöldek, fonákuk világosabb, a levélnyel kopasz. A virágzási idő április – május között van. Szél porozta növény. Eglyaki, jelentéktelen virágai a vesszőn tavasszal jelennek meg. Makkocská termése bordás felületű, 6–10 mm hosszú, a 3 karéjú kupacs tövében található (Bartha, 1999). Lombja ősszel sárgára színeződik, de nem hullik le. A fán maradó lombot tavasszal a fakadó rügyek lökik le (Gencsi és Vancsura, 1992). Tőről nagyon jól sarjad.

A közönséges gyertyán hazája Európa, Kis-Ázsia, Irán (Schmidt és Tóth, 2006). A Pireneusoktól Dél-Skandináviáig, kelet felé Törökországig mindenütt gyakori. Tápanyagban gazdag, humuszos talajokon, főleg hűvösebb hegyvidéki erdőkben fordul elő, a síkságoktól egészen 1300 méteres tengerszint feletti magasságig. Nálunk főleg hűvösebb hegyvidéki erdőkben fordul elő a tölgyesek és a bükkösök öve közötti átmeneti zónában (gyertyános tölgyesek). Mezofiton, az árnyékot jól tűri. Jól metszhető, nyírott magas sövény kialakítására is alkalmas (Schmidt és Tóth, 2006).

Szintén mérsékelt növekedésű fafajunk. Az egyéves magonc 5-15 cm-es. Magassági növekedése hosszúnappalos fényviszonyok között a legintenzívebb, de hajtásképződése folyamatos. Növekedése 8 éves kortól ugrik meg, ez jó termőhelyen évente 60-80 cm növekményt jelenthet, és 15 évesen elérheti a 6 méter magasságot. 60-70 éves korára éri el a magassági növekedése maximumát. 80 éves korától vitalitása csökken. Vastagodása 15 éves korában tetőzik, de ezt követően is egyenletes marad. 15 éves kortól teremhet, magja októberben érik. Sűrű lombzatával kedvező mikroklímát teremt, majd avarja könnyen bomlik, segítve a tápanyagok feltáródását (Gencsi és Vancsura, 1992).

***Crataegus monogyna* – Egybibés galagonya**

Az egybibés galagonya (*Crataegus monogyna*) a rózsavirágúak (*Rosales*) családjának, illetve almafélék (*Maloideae*) alcsaládjának tagja (Bernáth és Németh, 2007). Botanikai neve „*Crataegus*” a görög „szilárd” szóból származik (Beiser, 2013).

Tövises cserje vagy kisebb méretű fa. Ritkán 10 méter magasra is megnő. A levelek szórt állásúak, egyenlőtlenül, mélyen hasábosan szeldeltek, az érzugokban szőrösek, az erezet szárnyas, az oldalerek egyenes futásúak (Bernáth és Németh, 2007). A virágzat dús virágú bogas sátor. A virágok csészéje öt cimpájú, maradandó. A háromszögletű cimpáknak csak a külső oldala szőrökkel fedett. A pártát öt fehér, szabadon álló, kerek vagy elliptikus szíromlevél alkotja. Két körön 10-10 porzó található. A magház alsó állású. A termő magházának közepétől egyetlen bibeszál emelkedik ki, fajnevét is innen kapta. Májusban, júniusban virágzik. Az áltermés piros, apró, gömbölyded vagy hosszúkás csontáralma. Belsejében egy egymagvú csonthéj található (Bernáth és Németh, 2007). A termése szeptemberben végén, október elején érik, tél elején hullik. Őszi lombszíné sárga vagy sárgászöld (Bartha, 1999). Széles körben felhasznált gyógynövényünk.

Az egybibés galagonya elterjedési területe Európa (hiányzik Északkelet-Európából), Kis-Ázsia, Kaukázus, Észak-Afrika (Bartha, 1999). A legigénytelenebb, igen szárazságtűrő fajok egyike, alkalmas a vékony termőrétegű, köves talajok hasznosítására (Schmidt és Tóth, 2006; Bernáth és Németh, 2007). E növényfaj síkságon és dombvidéken terem. Az alapfajt a díszfaiskolák alanyaként használják, kész növényé ritkán nevelik. Alkalmas lenne extenzív parkokba, és kiváló nyírott sövény nevelhető belőle (Schmidt és Tóth, 2006).

Mérsékelt növekedésű, 2-3 éves koráig viszonylag lassan nő, majd ezt követően évi 30-40 cm-t, azonban 8-10 éves korától erősen lecsökken a teljesítménye. Innentől kezdve megnövekszik a rövidhajtások képződése. Hosszú életű faj (100 év). Az állatvilág számos képviselőjének szolgál élelmül vagy élőhelyül. Légszennyezettséggel szemben toleráns, így jól tűri az ipartelepeket, belvárosi környezetet (Gencsi és Vancsura, 1992).

***Euonymus europaeus* – Közönséges kecskerágó**

A közönséges kecskerágó (*Euonymus europaeus*) a kecskerágó-virágúak (*Celastrales*) rendjébe és a kecskerágófélék (*Celastraceae*) családjába tartozó faj.

Nagy méretű (4 méter), felálló ágú cserje, ritkán kis termetű fa (Schmidt és Tóth, 2006; Bartha, 1999). Koronája szabálytalan, ágai görbék. Vesszői zöldek, négy, hosszanti irányban futó, barna paraléccel (Schmidt és Tóth, 2006). Levelei keresztben átellenesek, hosszúkás elliptikusak, 3–8 cm hosszúak, felül fénylők. Poligám virágai 3–8 tagú levélhónalji álmegnyílásokban nyílnak, a szirmok kiterülők, megnyúlt tojásdadok, zöldessárgák vagy fehérek. Termése 4 bordájú („papsipkaszerű”) tok, 10–12 mm átmérőjű, világos kárminpiros, a 4 fehéres, 6–8 mm hosszú magot a narancssárga magköpeny teljesen beburkolja. Lombfakadás után, májusban virágzik. Termése augusztus-szeptemberben érik, szeptember-októberben hullik (Bartha, 1999). Lombja ősszel pirosra színeződik. Ősszel nagy tömegben fejlődő rózsaszín vagy piros termése szép díszet ad (Schmidt és Tóth, 2006).

Hazája Európa, Nyugat-Ázsia. Nálunk erdős, bokros helyeken igen gyakori. Közepesen szárazságtűrő (Schmidt és Tóth, 2006).

Mérsékelt növekedés jellemzi, fiatalon gyorsan nő, de ezt aránylag gyorsan befejezi. Erőteljesen ágasodik. Viszonylag rövid életű cserje (legfeljebb 60 év). Természetes körülmények között jól újul, szívós. Sekély, de jól elágazó

gyökérzete a talaj felső részét köti meg. Levelei gyorsan bomlanak, így avarja gyorsan humifikálódik. Termése elsősorban a madaraknak nyújt táplálékot. Az egyedek termőképessége eltérő (Gencsi és Vancsura, 1992).

***Pyrus pyraster* – vadkörte (új nevén *Pyrus communis ssp. communis*)**

A vadkörte vagy vackor (*Pyrus pyraster*), a rózsavirágúak (*Rosales*) rendjébe, a rózsafélék (*Rosaceae*) családjába és az almaformák (*Maloideae*) alcsaládjába tartozó faj.

10–15 m magasra növő, hosszú életű, tömött, gömbölyded koronájú fa, kerekded, kopasz levelekkel (Schmidt és Tóth, 2006).

Törzse nyúlánk, kérge szürke, vastag, négyzetes cserepekben repedező, koronája laza, gömbölyded, oldalági erősek, az alsók el-vagy lehajlók (Bartha, 1999). Vesszője vékony, barna, fényes, tövisi erősek, rügyei szártól elálló, fényesek, sötétbarnák. Levelei szórt állásúak, kerekdedek vagy széles tojásdadok, 2–5 cm hosszúak, bőrszerűek, felül sötétzöldek, fényesek, fonákukon világoszöldek. Levélnyelük hosszú. Virágai sátorozó fürtökben leveles rövidhajtásokon nyílnak, fehérek. A porzósál portokjai jellegzetesen bíborpirosak (Bartha, 1998). Termése alma-áltermés: elhúsosodó vacokba sülyedt tüszőcsokor, mely a *Rosaceae* család *Maloideae* alcsaládjában jellemző (Erős-Honti, 2019). Az áltermés gömbölyded alakú, 20–30 mm átmérőjű, fanyar ízű. A mag 4–6 mm hosszú, tojásdad, lapított, barnásfekete (Bartha, 1999).

Hazája Európa, Kis-Ázsia (Schmidt és Tóth, 2006). A legkülönbözőbb társulásokban találkozunk vele a tölgy-kőris-szil ligetektől egészen a karsztbokorerdőig. Ennek megfelelően igen széles ökológiai skálán használható: jól bírja a száraz homokot és a szikes talajt is. Csemetéit erdészeti csemetekertekből lehet többnyire beszerezni: gyümölcsfák alanyául vagy extenzív fásításoknál elegyfának vagy erdősávok lezárására használják (Schmidt és Tóth, 2006).

Kedvező körülmények között kezdeti növekedése gyors, de alacsonyan ágazik el. Törzsvastagodása azonban sokáig megmarad, vaskos törzset nevel. Állományban többnyire rövid életű, korán átadja a helyét. 10 éves korától már terem. Kevésbé jól sarjad, ellenben magról jól újul. A szárazságot erőteljes karógyökere miatt jól viseli. Tövises volta miatt a madarak kedvelt élőhelye (Gencsi és Vancsura, 1992).

***Quercus robur* - Kocsányos tölgy**

A kocsányos tölgy (*Quercus robur*) a bükkfavirágúak (*Fagales*) rendjébe, ezen belül a bükkfafélék (*Fagaceae*) családjába tartozó fa.

A legtovább élő (250-400 év) és legnagyobbra növő őshonos fafajunk 30–40 métert is elérő, robusztus, szabálytalan koronát nevel (Schmidt és Tóth, 2006). Törzse nyúlánk, hengeres, kérge hosszant repedezett, vastag, kemény, sötétbarna, ágai felálló, vastagok (Bartha, 1999). Vesszője gyengén szögletes, zöldesbarna, kopasz, rügyei tompák, öt oldalúak, világosbarnák, finoman pillásak. Levelei szórt állásúak, elliptikusak vagy visszás tojásdadok, 8–15 cm hosszúak, vékonyak, kopaszak, rövid nyelűek (2–5 mm). Eglaki, porzós virágzata csüngő, sárgászöld, termős

virágai hosszú, merev tengelyen 4–6-osával ülnek. A termés kocsányos, 1 év alatt érik, 18–35 mm hosszú, világosbarna makk, frissen olajzöld hosszanti sávokkal, a kupacs a makk 1/4-ét borítja (Bartha, 1999).

Hazája Észak-Afrika, Európa, Kis-Ázsia (Schmidt és Tóth, 2006). Magyarországon sík-és dombvidéken állományalkotó faj, különösen ott, ahol a gyökerek számára elérhető magasságban van a talajvíz. Normál vagy enyhén nyirkos talajba való, de kisebb szárazságot és némi sziket is elvisel. Fényigényes, a késői fagyokra érzékeny (Schmidt és Tóth, 2006).

Lassú növekedésű, magassági növekedése fiatal korában kifejezetten lassú. Egyéves magoncok 8-14 cm magasak, ez elsősorban annak köszönhető, hogy 6 éves korukig a gyökérzetüket fejlesztik. 10 éves koruktól az évi növekményük 40-50 cm, amelyet 60-80 éves korukig tartanak, majd fokozatosan csökken a növekmény mértéke. Vastagodását szintén későn kezdi, jó termőhelyi körülmények között 10-12 mm-rel növeli évgyűrűit. 30- 50 évesen kezd teremni. Számos rovarfaj megél rajtuk, amelyre később jelentős fauna épül (Gencsi és Vancsura, 1992).

***Ulmus laevis* – Vénic-szil**

A vénic-szil a csalánvirágúak (*Urticales*) rendjébe, ezen belül a szilfafélék (*Ulmaceae*) családjába tartozó fa.

20–25 méterre növő, terebélyes fa (Schmidt és Tóth, 2006). Levelei nagyok, erősen aszimmetrikusak, fonákjuk molyhos. A termés hosszú kocsányú. Törzse nyúlánk, erősen ágas, alul nagy gyökérterpeszekkel, kérge barnásszürke, hálózatosan repedező, szabálytalanul lehámló, koronája szabálytalan, ágai vastagok, lehajlók (Bartha, 1999). Vesszője vékony, vörösesbarna vagy barna, fénylő, rügyei hegyesek, feltűnően tarkák. Levelei váltakozó állásúak, elliptikusak, 6–13 cm hosszúak, vékonyak, felül simák, fénylő sötétzöldek, fonákuk lágyan szőrös. Márciusban lombfakadás előtt virágzik. Termése májusban érik és hullik. Sárgás az őszi lombszíneződése (Bartha, 1999).

Nagy alkalmazkodóképességgel rendelkezik. Magzókorát 20-30 évesen éri el. Apró lependéktermései a széllel jól terjednek. Tuskóról és gyökérről egyaránt jól sarjad. Lassan növő fafaj.

Hazája Közép-és Kelet-Európa (Schmidt és Tóth, 2006). Nálunk főleg a síkvidéki folyók mentén, ligeterdőkben fordul elő. Normál talajviszonyok közé vagy folyóvíz mellé, nyirkos talajra ültethető. Gyenge sziken is megél (Schmidt – Tóth, 2006).

Magassági növekedése fiatalon gyors, növekménye a második évétől 30-40 cm-es, míg 8-10 éves kortól méteres is lehet, azonban ha elegendő helye van, inkább a koronáját fejleszti. Szárazabb termőhelyen növekedése viszonylag korán mérséklődik. Vastagsági növekedése is jelentős, különösen szabad állásban. Rövid életű. A szilfavész a vénic-szil pusztítja a legkevésbé. Jól tűri a füstszennyezést (Gencsi és Vancsura, 1992).

***Sorbus torminalis* - Barkóca berkenye**

A barkócaberkenye a rózsavirágúak (*Rosales*) rendjébe, ezen belül a rózsafélék (*Rosaceae*) családjába tartozó középtermetű, lombhullató növényfaj.

Hazánkban a legnagyobbra növő és a legedzettebb Sorbus faj, hosszú élettartammal (Schmidt és Tóth, 2006). 10–15, ritkán 20 m-es fává nő, csonka kúp vagy szabálytalan gömb alakú koronával. Törzse nyúlánk, kérge sötétbarna, cserepesen fölpatogzó (Bartha, 1999). Koronája boltozatos, ágai vastagok. Vesszője gyengén szögletes, zöldes-vagy vörösbarna. Rügyei zömök tojásdadok, összenyomottak, zöldek, fényesek. Levelei szórt állásúak, 3–4 karéjpárral, 5–10 cm hosszúak, felül kopaszodók, fényes sötétzöldek, fonákuk világoszöld (Bartha, 1999). A többi fajnál valamivel később, május végén-június elején virágzik (Schmidt és Tóth, 2006). Virágai sátorozó bugákban nyílnak, kicsik, fehérek, a virágkocsány és vacok szőrös (Bartha, 1999). Külön értéke, hogy lombja ősszel pirosra színeződik (Schmidt és Tóth, 2006). Termése hosszúkás vagy körte alakú, 12-15 mm hosszú, éretten barna színű, fehéren pettyezett, 2 kövecses magházzal (Schmidt és Tóth, 2006; Bartha, 1999). Magjai 6-7 mm hosszúak, ferde tojásdadok, vörösbarnák. Termése, amikor megpuhul, a naspolyára emlékeztető, igen kellemes ízű.

Hazája Észak-Afrikától Európán át Kis-Ázsiáig terjed (Schmidt és Tóth, 2006). Hazánkban főleg a közepesen száraz vagy száraz tölgyesekben fordul elő. Kertben ritkán találkozunk vele. Ennek az az oka, hogy a vadkörtehez hasonlóan ritkás karógyökérzetet nevel, így sorfa méretűvé nevelve rosszul tűri az átültetést. Fialat (2–3 éves) csemetéi az erdészeti csemetekertekből szerezhetők be (Schmidt és Tóth, 2006).

Növekedése lassú, fiatalon, kedvező körülmények között is legfeljebb 50 cm az éves növekménye. 30-40 éves korára befejezi a magassági növekedését. Vastagsági növekedése tartós, közepes élettartamú fafajunk. Akár 20-25 éves kortól teremhet, termését a madarak terjesztik (Gencsi és Vancsura, 1992).

A fajok közül a cserjeszintet a galagonya, kecskerágó adja. A középső lombkorona szintjéhez a mezei juhar, a vadkörte, barkóca berkenye tartozik, míg a felső lombkorona szintet a Vénic-szil, korai juhar, a gyertyán, kocsányos tölgy adja a későbbiekben.

3.4. A szén-dioxid megkötéséhez és a vízpára kibocsátáshoz szükséges műszeres mérések ismertetése

A szén-dioxid megkötéséhez hordozható infravörös gázanalizátort használtunk (CI-340 hordozható fotoszintézismérő, internet 5). Ennek működési elve, hogy a mérés során a mintalevelet a mérőfejbe csiptetjük, ahonnan a készülék egy pumpa segítségével áramoltatja a műszerben a levegőt. Az így megmért CO₂ mennyiségét a mérőműszer összeveti a légkör CO₂-szintjével, a kettő különbségéből pedig úgynevezett fotoszintetikus aktivitást számol. Ez az érték mikromol/m²*sec mértékegységben mutatja a fotoszintézis során beépülő széndioxid mennyiségét levélfelületre egységesítve egy másodperc alatt. Ebből átszámoltuk mol értékre, majd a CO₂ moláris tömegének (44 g/mol) ismeretében grammal tudjuk fejezni ezt a mennyiséget adott másodpercre vonatkozóan a levélfelület egységében.

A fotoszintézis napi menetének alakulásához (Pethő 2002) igazítva méréseink pontszerű értékeit kétórás időintervallumra számoltuk át (7200-zal szoroztuk meg a grammal kifejezett beépülő szén-dioxidot).

A vízpára-kibocsátás mértékét hasonlóan számoltuk ki, mint a szén-dioxid beépülését. Ebben az esetben azonban a vízgőz $\text{milimol/m}^2 \cdot \text{sec}$ mértékegységben adja meg a mérőműszer. Itt is megszoroztuk a víz (H_2O) moláris tömegével (18 g/mol) a molba átszámolt értéket, majd megszoroztuk 7200-zal a másodpercek számával két órában. A kapott értéket ezerrel osztva, literben adtuk meg a mértékegységet.

Mindkét paraméter méréséhez 11 és 14 óra között vettük a mintákat, hogy a napi maximum értékek közötti különbségeket tudjuk mérni. Az időjárási viszonyokat tekintve napsütéses, szélmentes, száraz időben mértünk minden alkalommal, ezt a következő alfejezetben részletezem.

3.5. A mérési napok időjárási körülményei

A mérések pontos napjait az 1. táblázatban tüntettem fel. Ezekhez kapcsolódóan 2021. július és szeptember hónapok csapadék és hőmérsékleti grafikonjait a melléklet tartalmazza (melléklet 9.1.) 2022-ben több mérési alkalmunk volt, ezeknek a hónapoknak a hőmérsékleti és csapadékviszonyait szintén a mellékletbe tettem. 2023-ban négy hónapban mértünk, ezeket is tartalmazza az 1. táblázat, valamint a csapadék és hőmérsékleti viszonyok a mellékletben találhatóak.

2021-ben a júliusi csapadékeloszlás egyenlőtlen volt (melléklet 9.1.), a mérés napját (július 7.) megelőző egy hétben nem vagy alig esett eső. A júliusi hőmérséklet a hónap első felében jelentősen meghaladta a sokévi átlagot. A mérés napján a napi középhőmérséklet 27°C volt. 2021 szeptemberének első két hetében nem esett csapadék. A mérés napján (szeptember 2.) és azt megelőző két hétben sem esett az eső. A szeptemberi hőmérséklet viszonylag hűvös volt, a mérés napján is a napi átlaghőmérséklet $16,5^\circ\text{C}$ volt.

A 2022-es évben májustól októberig követtük a hőmérsékleti és a csapadék adatokat (internet 4). Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) honlapján közzétett ábrák a melléklet 9.2. részében láthatóak.

2022 májusa csapadékos volt, ugyanakkor gyors hőmérséklet-növekedés jellemezte a hónap első és második felét is. A májusi mérést (május 11.) megelőző napokban kis mennyiségű csapadék esett, a napi középhőmérséklet 19°C volt (melléklet 9.2.1). Június első felében jelentősebb mennyiségű (5-10 mm) csapadék hullott (melléklet 9.2.2.), a hőmérséklet napi középértékei 22°C körül alakultak, ahogy a júniusi mérési napon is (június 8.). Júliusban a csapadék szinte teljes mértékben megszűnt (melléklet 9.2.3.), és innentől kezdve augusztus második feléig nem esett az ország jelentős területén. A Tabánon augusztusban sem volt jelentősebb csapadék. A napi középhőmérséklet $24-28^\circ\text{C}$ között mozgott. Augusztus nemcsak aszályos, de nagyon meleg hónap volt. A napi középhőmérséklet három alkalommal is elérte vagy meghaladta a $25-27^\circ\text{C}$ -t, amely hőségnapnak minősül (melléklet 9.2.4.). Szeptemberben nagyobb mennyiségű csapadék hullott országszerte, de ez is csak részben kompenzálta a nyári aszályos időszakot (melléklet 9.2.5.). Ennek a hónapnak az elején melegebb volt, míg a második felében jelentősen lecsökkent a hőmérséklet. Október hónap első feléig, amíg a mérések lezajlottak, jelentősebb csapadék nem volt, a hőmérséklet napközben $18-23$ fok között mozgott leginkább, míg éjjel előfordult 5°C is.

A 2022-es nyári csapadékszegény időszak mellett, hogy nem esett az eső, jelentős mértékű légköri aszályt is okozott. Ez azt jelenti, hogy a levegő páratartalma 30-40% fölé nem emelkedik. Ez a légköri jelenség nagyon megnöveli a párolgást a növényeknél, és a csapadékszegény időszak mellett tovább növeli a vízhiányt.

2023-as évben májusban, júniusban, júliusban és szeptemberben volt lehetőségünk mérni. Ezeknek a hónapoknak a csapadék eloszlását és hőmérsékleti adatait a 9.3. melléklet mutatja be részletesen. Ebben az évben sokkal több csapadék hullott, míg a hőmérsékleti értékek a sokévi átlag felett alakultak.

3.6. A növekedés mérése

2021 szeptemberében magasságot mértünk, valamint az azévi növekményt cm-ben. Erre azért került sor, mert a telepítés alkalmával nem mértünk kiinduló magasságot.

2022-ben a mérések kezdetén majd október közepén magasságot mértünk, valamint levélszámot becsültünk. E szerint a módszer szerint folyóméteren számoltuk a leveleket, majd a kijelölt egyedek hajtásait mértük meg. A két értékből becsültük a levelek számát, és a vegetációs időszakban több alkalommal szedett mintalevelek egyedi felületével megszorozva megkaptuk az egyes fajok összes levélfelületét.

2023-ban májusban és októberben mértünk ismét famagasságot. Ebben az évben azonban olyan nagy volt a levelek száma, hogy más módszer alapján igyekeztünk megbecsülni az összes levélfelületet. Az AccuPAR LP-80 fénymérő készüléket használtuk az összes levélfelület meghatározásához. A készülékkel teljes napsütésben meg kell mérni a zavartalan napfény PAR értékét (fotoszintetikusan aktív sugárzás, amelyet a növények hasznosítani tudnak), majd a lombzat alatt mérésenként négy ismétlésben a korona alatti terület PAR-értékét rögzítettük. A készülék automatikusan kiszámolja a LAI (leaf area index – levélfelület index) értéket, amely mutatja, hogy egységnyi koronavetület-területre hány négyzetméter levélfelület jut. Ha tudjuk a koronavetület-területet, akkor a LAI érték ismeretében egy egyszerű szorzással összes levélfelületet számolhatunk (Gyeviki 2011). Ezt a módszert önmagukban álló fák összes levélfelületének számításához használták (Steiner et al. 2016; Szabó et al. 2021). Esetünkben az egyes fajokra nem határoztunk meg külön koronavetület-területet, hanem egységesen a Miyawaki-erdő területét (40 m²) vettük, amelynél a korábbi két év fajokra meghatározott levélfelület-arányának átlagát vettük (%), és a mérési napokon kapott összes levélfelületet ennek ismeretében arányosítottuk.

Az egyedi levélfelület meghatározásához a levelek szedésénél ügyeltünk arra, hogy a faegyedre jellemző méretű leveleket gyűjtsünk. Minden fajról, több különböző egyedről összesen 10-10 levelet szedtünk alkalmanként. Ezeket préseltük, majd a levelek egyedi levélfelületét BioScience ADC levélszkennerrel állapítottuk meg mm² -ben.

A növekedés mérésének pontos időpontjait az 1. táblázat tartalmazza. Az adatokat excel táblázatba rögzítettük.

3.7. Egyéb ökológiai szolgáltatások mérése

2022-ben négy alkalommal, míg 2023-ban három alkalommal a mintalevelekről laborban lemostuk a rájuk rakódott port. Ehhez a megszedett leveleket óvatosan papírzacskóba gyűjtöttük, majd a laborban három ismétlésbe osztottuk azokat. A mintákat sorszámoztuk, a főzőpoharakat analitikai mérleggel előre megmértük, majd 50 ml desztillált vízbe egy kisméretű ecset segítségével óvatosan lemostuk a port. A leveleket ezt követően lepréseltük az egyedi levélfelület meghatározásához. A főzőpoharakat szárítószekrényben 8 órán keresztül 115 C°-on tartottuk, hogy a víz elpárologjon belőlük. A kihűlt, poros poharakat visszamértük, majd a tiszta és poros pohár közötti különbségből számoltuk a por mennyiségét (mg). A mintalevelek területadataival pedig g/m² mennyiséget tudunk megadni.

Az utolsó vizsgálati évben hőmérséklet adatokat is gyűjtöttünk. Egy hőmérőpisztollyal a Miyawaki-erdő körüli kb 2 méter sugarú körben pontszerűen mértük a környező talaj hőmérsékletét (60 adatot mérési naponként), emellett a fák levélzetének hőmérsékletét függetlenül a fajoktól (60 adat/ mérési nap), valamint a minierdő talajának hőmérsékletét (60 adat/ mérési nap).

3.8. A mintavételek időpontjai, a gyűjtött adatok feldolgozásának menete

A telepítés évében a mérésekre két alkalommal került sor. A következő években már havonta végeztük el a fotoszintetikus aktivitás méréseket 2022. májustól 2022. októberig. 2023-ban májustól szeptemberig mértünk a Miyawaki-erdőben (augusztus kivételével) havonta. A pontos mérési időpontokat az 1. táblázat tartalmazza.

A méréseket követően adatainkat excel táblázatba rendeztük, majd ebből wordtáblázatot vagy grafikont szerkesztettünk. Az adatokat SPSS 29.0.1.0 verziószámú statisztikai programmal elemeztük ki. Az egyes fajok közötti különbségeket ANOVA (egytényezős, véletlen elrendezésű varianciaanalízis) módszerével értékeltük, az egyes csoportok (fajok) közötti szignifikáns eltéréseket Duncan-teszttel ($\alpha=0,5$) határoltuk el egymástól. A táblázatokban és a grafikonokon feltüntetett, eltérő kisbetűk ezeket a különbségeket jelölik.

1. táblázat. A mérések összegzése a vizsgálati években (2021, 2022, 2023; saját szerkesztés)

Miyawaki-erdő, Tabán adatainak felvétele						
2021.	fotoszintetikus aktivitás	levelek egyedi mérete	levelek száma	faméreték felvétele	por-megkötés	hőmérséklet
	július 7.	---	---	---	---	---
	szeptember 2.	szeptember 2.	szeptember 2.	szeptember 2.	---	---
2022.	fotoszintetikus aktivitás	levelek egyedi mérete	levelek száma	faméreték felvétele	por-megkötés	hőmérséklet
	május 11.	május 11.	---	május 11.	május 11.	---
	június 8.	---	---	---	június 27.	---
	július 20.	---	---	---	július 20.	---
	augusztus 31.	---	---	---	augusztus 31.	---
	október 17.	október 23.	október 17.	október 17.	---	---
2023.	fotoszintetikus aktivitás	levelek egyedi mérete	levelek száma (helyette LAI)	faméreték felvétele	por-megkötés	hőmérséklet
	május 19.	május 19.	május 19.	május 19.	---	máj.19.
	június 22.	---	június 22.	---	június 22.	jún.22.
	július 18.	---	július 18.	---	július 18.	júl. 18.
	szeptember 25.	szept. 25.	szeptember 25.	---	szept. 25.	szept.25.
	---	---	---	október 25.	---	---



2. ábra. A tabáni Miyawaki-erdő telepítése 2021. május 20.-án
(Fotó: Szabó Veronika)

4. EREDMÉNYEK

4.1. A növekedés mértéke

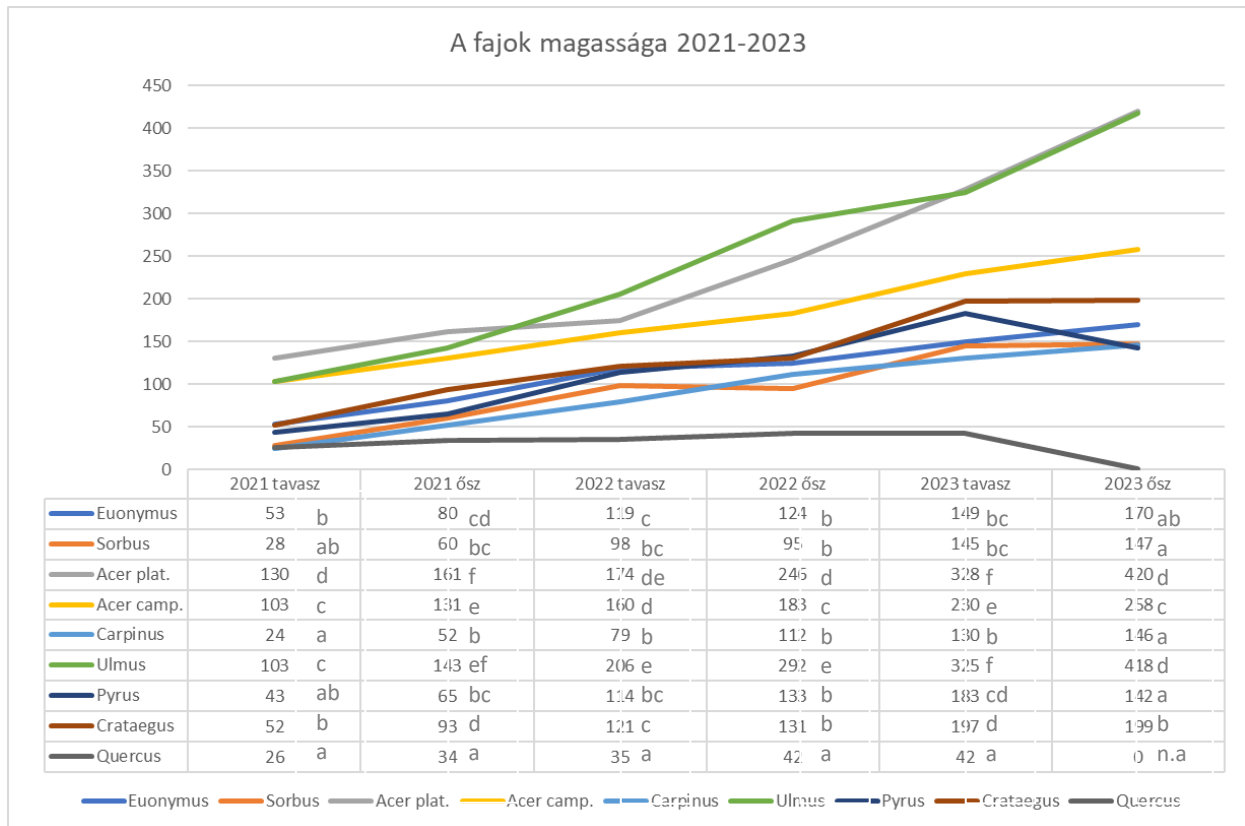
A három év során mért famagasságok eredményeit a 3. ábra mutatja, ahol jól látható a fajok növekedési mértéke. A kiindulási méretek 2021 tavaszán közel azonosak voltak (50 cm körüliek), ebből a sziliek (*Ulmus*), a mezei juhar (*Acer camp.*) és a korai juhar (*Acer plat.*) tértek el. Ezek kiindulási magassága 100-130 cm között volt átlagosan. A tavaszi méréseket késő májusban végeztük el, ezért az ábrán úgy látszik, mintha a tél folyamán nőttek volna a növények.

2021 őszén a fajok között nagyobb mértékű lett a növekedésbeli eltérés. A tölgy továbbra is kis mértékben fejlődött. A gyertyán (*Carpinus*), a berkenye (*Sorbus*) és a vadkörte (*Pyrus*) növekedése nagyobb volt, ezt követte a kecskerágó (*Euonymus*), galagonya (*Crataegus*). Szignifikáns különbséget mutat ezektől a fajoktól a mezei juhar (*Acer camp.*), a szil (*Ulmus*) és a korai juhar (*Acer plat.*) (3. ábra).

2022 tavaszán továbbra is a tölgy (*Quercus*) mutatta a legkisebb növekményt, ezt követte a gyertyán, a berkenye vadkörte, kecskerágó, galagonya. Utóbbi négy faj szignifikánsan is nagyobb növekményt nyújtott, mint a tölgy. Ezekről továbbra is nagyobb volt a növekménye a mezei juharnak, korai juharnak és a szilnek, amely ebben az időszakban már magasabb volt a kezdetek óta legmagasabb fajnál, a korai juharnál (3. ábra).

A 2022. őszi időszakban a fajok közötti növekedésbeli eltérések tovább nőttek. A tölgy a korábbi időszakoknak megfelelően a legkisebb eltérést mutatja (50 cm alatt). A berkenye és a gyertyán 100 cm körüli magassággal csak tendenciájában tér el a tölgytől, így ezek növekedési aránya mérsékelte. A kecskerágó, galagonya, vadkörte azonban már szignifikáns eltérést mutat a tölgyvel szemben. A korábbi legmagasabb fajok továbbra is elkülönülnek a többi fajtól. A mezei juhartól (250 cm) pedig már szignifikánsan is különbözik a szil (300 cm), és a kettő között áll a korai juhar 280 cm-es átlagos magasságával (3. ábra).

2023 tavaszán a tölgy kiveszett, így ezt a fajt már nem tudtuk a későbbiekben megfigyelni. Az utolsó vizsgált évben a szil növekedési üteme mérséklődött, míg a korai juhare nőtt, de mindkét faj 400 cm feletti átlagos magasságot mutat. A mezei juhar (250 cm) egyenesen folytatta a növekedését ebben az évben is. A galagonya növekedése egyelőre stagnál (200 cm), míg a vadkörte magassága csökkent (183 cm-ről 142 cm-re), amely annak tudható be, hogy a 2022-es aszályos évet követően több egyednek is visszaszáradt a csúcsa, majd alsóbb rügyekből újraindult a növekedése. A gyertyán, berkenye és kecskerágó továbbra is a közepes növekedési erélyű csoportba tartozik 150-200 cm között).



3. ábra. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok növekedésének mértéke (2021-2023). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak a fajok között az egyes mérési alkalmak során (Duncan-teszt, $\alpha=0,5$)

A magassági adatok mellett értékeltük a fajok leveleinek egyedi méretét is. Ezeknek az adatoknak az átlagértékeit a 2. táblázat tartalmazza. 2021-ben csak egy mérést végeztünk, mert a friss telepítés leveleit nem tartottuk célszerűnek leszedni. Érdekes, hogy a 2022-es év adatai alapján a levelek egyedi mérete őszi minden esetben csökkentek a tavaszi adatokhoz képest. Ha az egyes időpontok szerint nézzük a levelek méretét, láthatjuk, hogy a vadkörte és a galagonya elkülönülnek apró leveleikkel ($915,5 \text{ mm}^2$, valamint $926,5 \text{ mm}^2$). Ez a többi időpontnál is megfigyelhető. Ezt követően a következő csoportba tartozik a gyertyán, tölgy, kecskerágó, ezek levélmérete 1402 mm^2 és 2459 mm^2 között változott, de elmondhatóak, hogy ezek a közepes leveleket jelentik. A mezei juhar és a berkenye képeznek egy másik csoportot, míg egyértelműen a legnagyobb levelek a szilhez és a korai juharhoz tartoznak (2. táblázat). A 2023. tavasz a korai juharnál kisebb egyedi levélfelületet (7462 mm^2) adott a 2022 tavaszhoz képest (15.373 mm^2). A csapadékosabb nyár 2023-ban nagyobb egyedi levélfelületet hozott. A 2022-es évben őszi csökkent a levélfelület mérete. Ugyanez megfigyelhető a többi fajnál is mindkét évben (2022-ben és 2023-ban). Ez az ellentmondás abból adódhatott, hogy a nyár során a levelek széle elszáradt a korai juharnál, valamint a mintavétel során már csak a fiatalabb, kisebb levelek voltak a fákon, amelyekről szedtük a mintákat.

2. táblázat. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok egyedi levélfelülete (mm²) különböző mérési időpontokban. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak a fajok között az egyes mérési alkalmak során (Duncan-teszt, $\alpha=0,5$). A tölgy 2023. májusára kipusztult (n.a. = nincs adat)

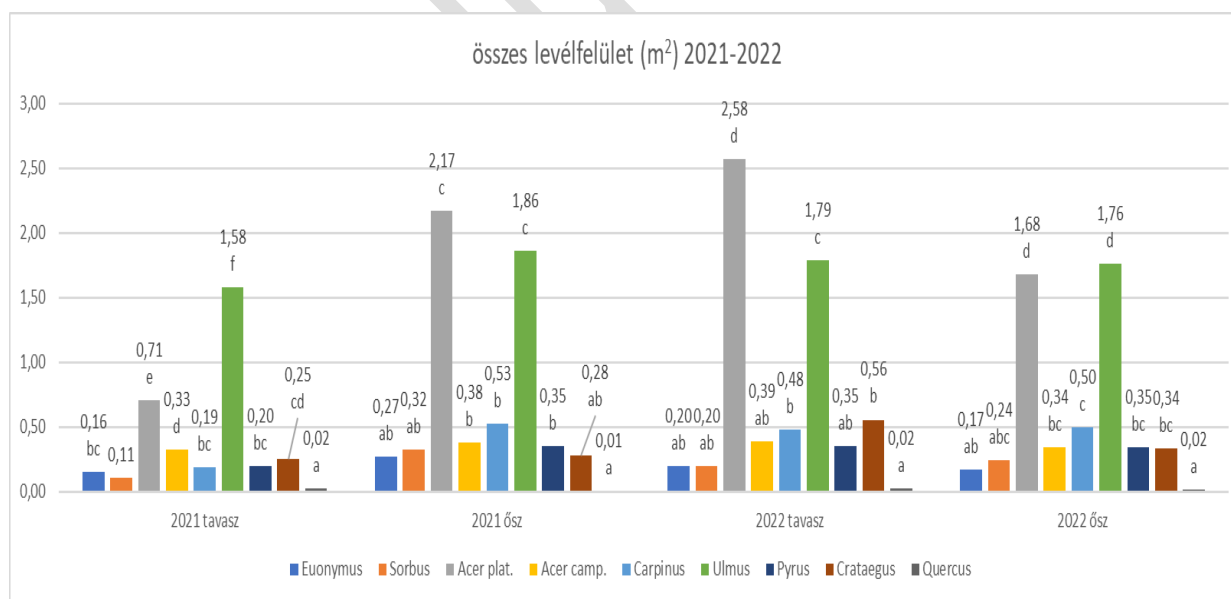
Fajok	2021. ősz	2022. tavasz	2022. ősz	2023. tavasz	2023. ősz.
Euonymus	1.402 a	2.109 b	1.227 a	2.565 c	2.285 b
Sorbus	4.398 bc	5.228 c	4.004 bc	5.631 e	4.710 d
Acer plát.	8.470 d	15.373 d	11.274 d	7.462 f	23.848 f
Acer camp.	3.277 b	2.538 b	2.459 ab	3.832 d	3.728 c
Carpinus	1.579 a	2.152 b	2.039 a	2.435 bc	2.256 b
Ulmus	4.398 bc	5.949 c	5.617 c	5.552 e	6.148 e
Pyrus	916 a	1.038 a	1.027 a	1.247 a	1.224 a
Crataegus	1.089 a	817 a	1.024 a	1.506 ab	1.102 a
Quercus	2.445 ab	1.453 ab	1.583 a	n.a.	n.a.

A levelek számában is mutatkoztak eltérések. Ezt a 3. táblázatban foglaltuk össze. Ebben az esetben is egyértelműen látszik, hogy a tölgynek volt a legkisebb a levélszáma (mindkét évben átlagosan 10 db). A berkenyék követték őket (24 db), majd a korai juhar, mezei juhar, kecskerágó, gyertyán. A vadvadkörte, galagonya és a szil tartoztak a legtöbb levéllel bíró csoportba. 2022-ben ez a tendencia megmaradt, és megfigyelhető, hogy a fajok levélszáma átlagosan nőtt a második évre. 2023-ban már nem tudtuk a leveleket megszámlálni, mert a harmadik évben már akkorák voltak a mintaegyedek, hogy nem volt lehetőségünk eszerint a módszer szerint meghatározni a levelek mennyiségét. Erről az összes levélfelület adatainál található több információ.

3. táblázat. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok levélszáma 2021-ben és 2022-ben. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak a fajok között az egyes mérési alkalmak során (Duncan-teszt, $\alpha=0,5$). 2023-ban más módszerrel határoztuk meg az összes levélfelületet, így nem számoltunk fajonkénti levélszámot.

Fajok	2021. őszi	2022. őszi
Euonymus	111 b	138 abc
Sorbus	24 a	62 ab
Acer plat.	76 ab	150 bc
Acer camp.	102 b	138 abc
Carpinus	120 b	246 cd
Ulmus	286 c	313 d
Pyrus	216 c	337 d
Crataegus	274 c	288 d
Quercus	10 a	10 a

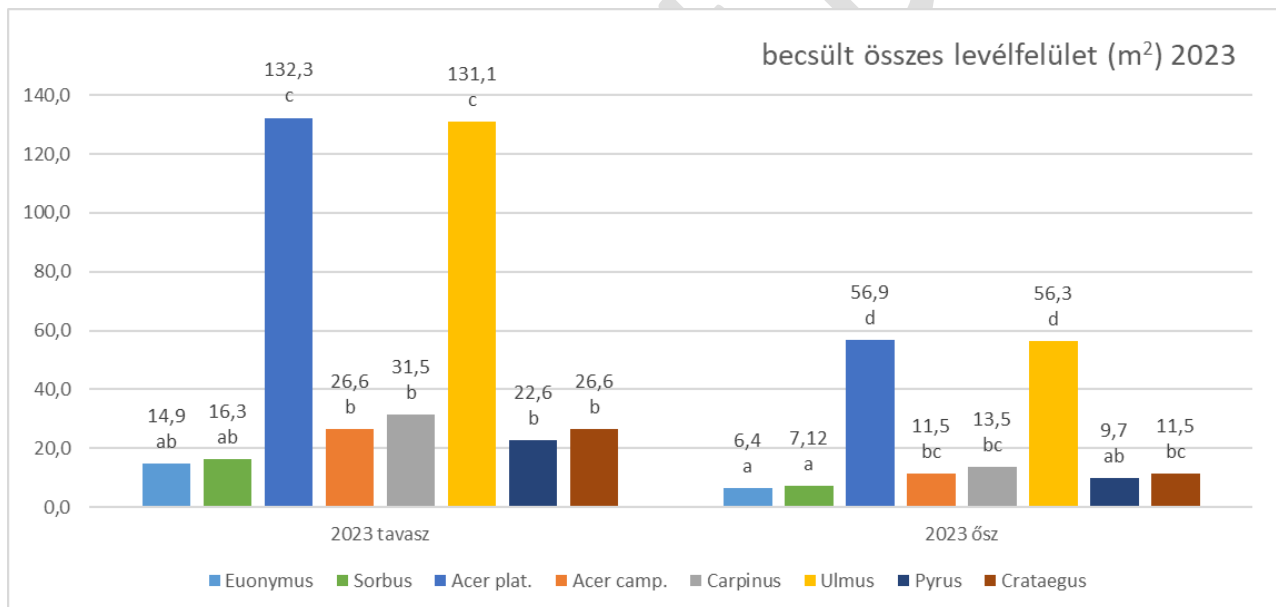
Az egyedi levélméréteket és a levélszámot összeszorozva megkaptuk az összes levélfelületet (m^2) fajonként és mérési naponként. Ennek összefoglalását az 4. ábrán láthatjuk. A 2023-as év adatait pedig a 5. ábrán, mivel eltérő módszerrel dolgoztunk.



4. ábra. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok összes levélfelületének (m^2) alakulása (2021 és 2022)

Látható az egyes fajok jelentős különbsége az összes levélfelület kapcsán. Kiemelkedik a korai juhar 1,5-2,5 m²-es összes levélfelületével, valamint a szil 1,5 és közel 2 m²-rel. Az első év őszén leginkább a szilnek volt kimagasló az összes levélfelülete. A tölgy mindkét évben nagyon kicsi lombtömeget növesztett, még a fél négyzetmétert sem éri el. A két év összevetésénél elmondható, hogy a fajok összes levélfelülete az előző évihez képes növekedett. Legnagyobb mértékben a korai juhar növelte meg második évre a teljes lombfelületét (megnégyszerezte). A gyertyán is nagyobb mértékben fejlődött, megduplázta a lombfelületét (4. ábra).

Ahogy az Anyag és módszer fejezetben leírtuk, ebben az esetben a mérési napokon AccuPAR készülékkel LAI-t mértünk, majd megszoroztuk a Miyawaki-erdő alapterületével (40 m²). A korábbi évek lombfelületének fajokra számolt arányát használtuk fel a lenti adatok számításához. Látható, hogy ez a módszer nagyságrendekkel nagyobb lombfelületet ad, mint a levelek számának és az egyedi levélfelületének szorzata. Ezt a módszert először alkalmaztuk vegyes kiültetésben, elsősorban az egyedül álló fák méréséhez használatos (Gyeviki 2011, Steiner et al. 2016, Szabó et al. 2021). Az egyes fajokat nézve látható, hogy a vegetációs idő előrehaladtával lecsökkent a lombfelület.



5. ábra. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok becsült összes levélfelületének (m²) alakulása 2023-ban (saját adat és szerkesztés)

4.2. A szén-dioxid megkötésének és a vízpára kibocsátásának eredményei

A fák eltérő mennyiségben kötik meg a szén-dioxidot. A 2021 júliusában, szeptemberében, 2022 májusában, júniusában, júliusában, augusztusában és októberében, valamint 2023 májusában, júniusában, júliusában és szeptemberében mért adatokat a 6. ábra mutatja be.



6. ábra. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok szén-dioxid megkötésének napi maximuma (g/m² levélfelület) (2021-2023, saját adatok). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak a fajok között az egyes mérési alkalmak során (Duncan-teszt, $\alpha=0,5$).

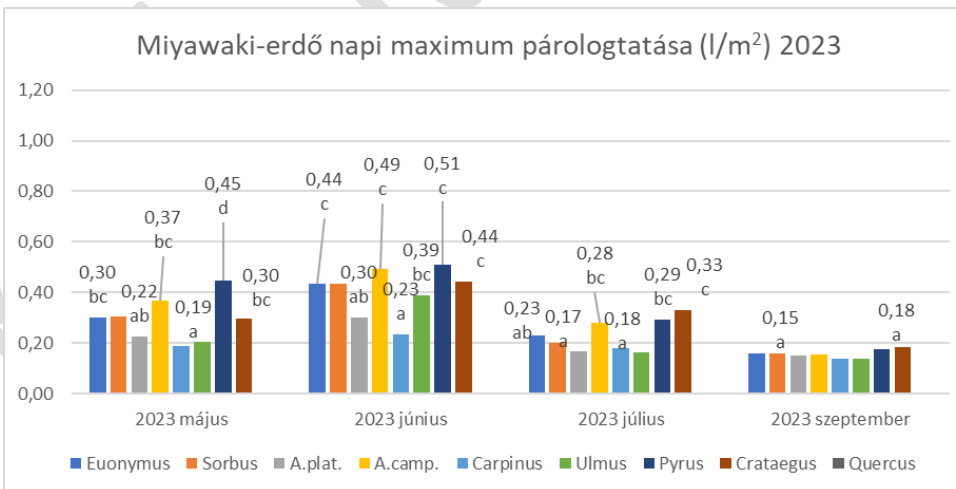
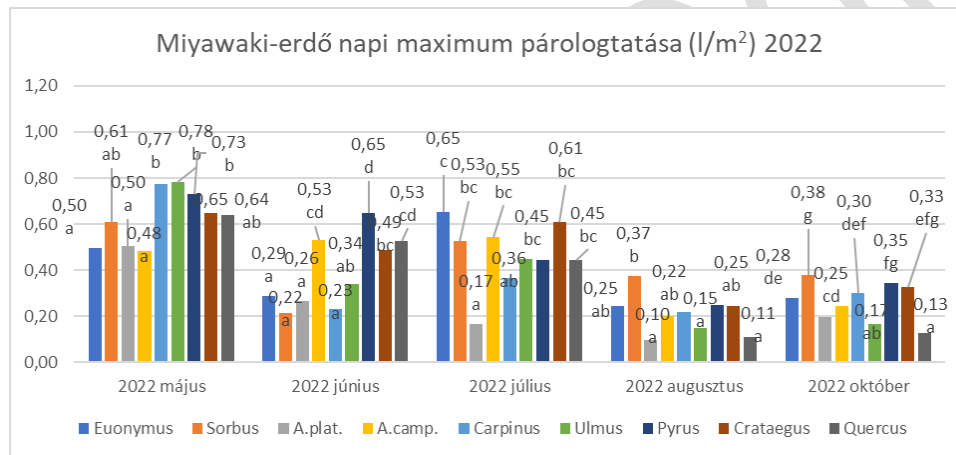
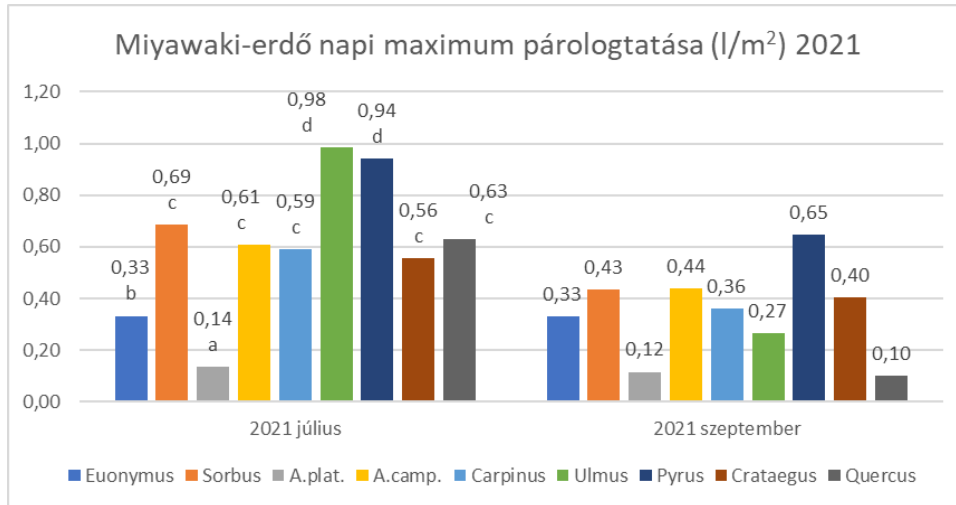
A telepítés évében (2021) a berkenye (2,92 g/m²) és a szil (3,75 g/m²) mutatta a legjobb szén-dioxid megkötést júliusban. A szeptemberi időszakra a többi faj értékei is megemelkedtek (3,07-4-78 g/m²), míg a berkenye szén-dioxid megkötése lecsökkent (1,78 g/m²). A korai juhar a telepítés évében mindkét mért hónapban alacsony értékeket mutatott (júliusban 0,45 g/m², szeptemberben pedig 1,18 g/m²).

A kecskerágó, a juharok és a vadkörte a 2022. augusztusi szén-dioxid megkötése mutatja, hogy az aszályos körülményeket rosszul viselték. A berkenye (3-5 g/m²), a galagonya (4-6 g/m²) ellenben mindegyik nyári hónapban egyre növekvő mértéken kötött meg szén-dioxidot. A tölgy alig haladta meg az 1 g/m² levélfelület értéket a megkötésben.

A tölgy 2023-ban végleg kiveszett a minierdőből, így az utolsó vizsgálati évben már nem szerepel a 7. ábrán. A vizsgált fajok közül a korai juhar (2,1 g/m²) kötötte meg a legkevesebb szén-dioxidot májusban, ezt követte a galagonya (2,34 g/m²) és a gyertyán (2,5 g/m²), a következő csoportba a kecskerágó (3,30 g/m²) és a berkenye (3,18 g/m²) tartozott. A mezei juhar (4,94 g/m²), a szil (4,53 g/m²), valamint a vadkörte (4,17 g/m²) kötötte meg a legtöbb szén-dioxidot 2023 májusában. Júniusban a gyertyán értékei (0,90 g/m²) jelentősen visszaestek, ahogy júliusban is (1,22 g/m²). A forró nyári hónapok megviselték ezt a fajt. A galagonya júniusban megkésztette (4,42 g/m²) a szén-dioxid-megkötő teljesítményét. Júliusban mindegyik faj értékei csökkentek, amely a túl meleg hőmérsékletre vezethető vissza. Szeptemberben kiegyenlítettebbek voltak a fajok értékei, ekkorra a galagonya értéke (2,22 g/m²) csökkent, míg a vadkörte volt a legmagasabb (4,07 g/m²).

A vízpára kibocsátás napi maximumát az egyes mérési napokon a 7. ábra mutatja. Az adatok 2021-ben 0,1-1,0 l/m² érték között változnak. A korai juhar párologtatott a legkevesebbet, míg a vadkörte, szil, galagonya és berkenye még a legmelegebb, csapadékszegény nyári hónapokban is 0,5 l/m² feletti mennyiségben juttatott vízpárát a környezetébe. A párologtatás mértéke szeptemberre lecsökkent, ahogy évszakot váltott az időjárás.

A második évre a párologtatás mértéke lecsökkent 0,1-0,8 l/m² értékek közé. Ugyanakkor az első évhez képest az öntözést is abbahagyták. Ebben az aszályos időszakban a korai juhar párologtatása augusztusra jelentősen lecsökkent (0,10 l/m²), majd ezt követően sem emelkedett. Megfigyeltük, hogy a korai juharok levelei augusztusra megégték, sokszor lankadtak, majd korai lombhulláshoz vezettek. Hasonlóan vízigényes növény a gyertyán, amely szintén a 2022. májusi időszakban 0,77 l/m² vizet párologtatott el, majd a nyári hónapokban felére esett vissza ez az érték. A gyertyán, ellentétben a korai juharral a lombzat alsó felében helyezkedik el, így a minierdő árnyékoló hatása és mikroklimája mérsékelte a kedvezőtlen hatásokat.



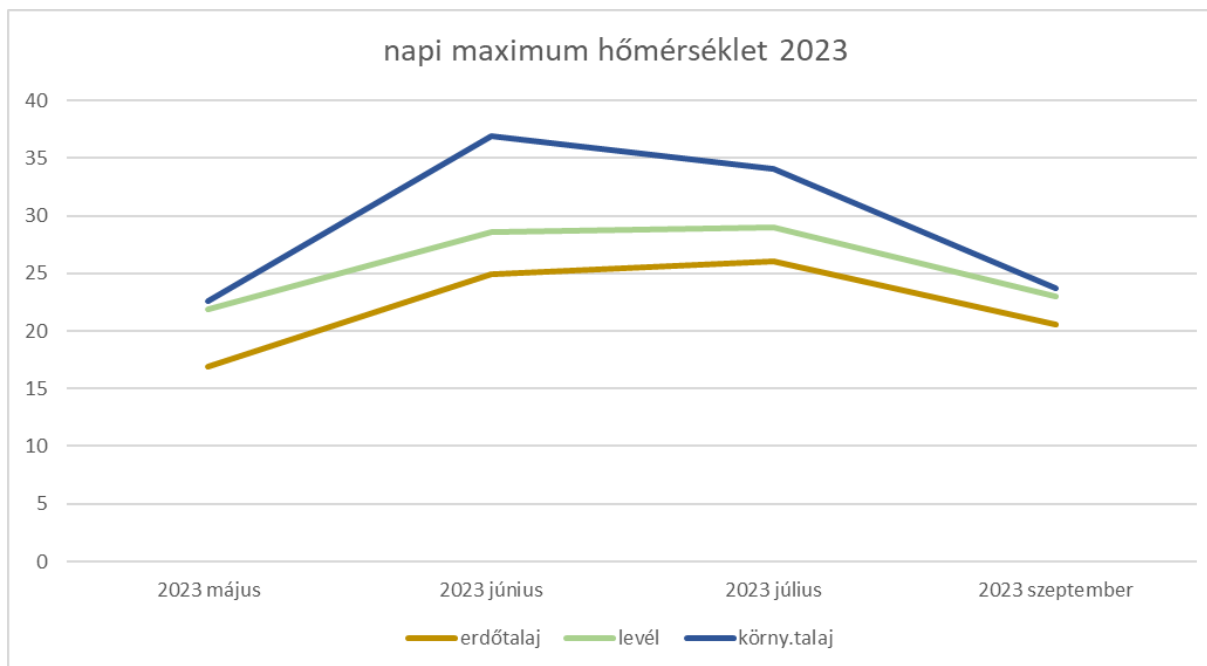
7. ábra. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok vízpára kibocsátásának napi maximuma (l/m² levélfelületre) 2021-2023 között. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak a fajok között az egyes mérési alkalmak során (Duncan-teszt, $\alpha=0,5$). (saját adat és szerkesztés)

Kiemelnék továbbá a galagonyát, amely melegkedvelő faj. A májustól júliusig tartó időszakban a párologtatása (7. ábra) a fotoszintetikus teljesítményével együtt (6. ábra) növekedett, míg ez utóbbi egész októberig emelkedett, addig a párologtatása lecsökkent augusztustól, amely adódhat a hőmérséklet csökkenéséből, valamint egy nagyobb csapadékból is.

Az utolsó mérési évben a párologtatás mértéke nem haladta meg a $0,50 \text{ l/m}^2$ értéket, amely érdekes abból a szempontból, hogy a 2023-as évben több csapadék esett (lásd melléklet), mint 2022-ben. Ezt a látszólagos ellentmondást abban látjuk feloldani, hogy a 2022-es, súlyosan csapadékszegény időszakban kialakult légköri aszályban a fajok sokkal több vizet veszítettek, mint a csapadékosabb 2023-as évben. A területet csak 2021-ben öntözték rendszeresen, amely a párologtatás mértékében nyomon követhető (7. ábra). 2023-ban a párologtatás kiegyenlítettebb a fajok között, és kevésbé mutatkozott meg a különbség közöttük.

4.3. Egyéb ökológiai szolgáltatások eredményei

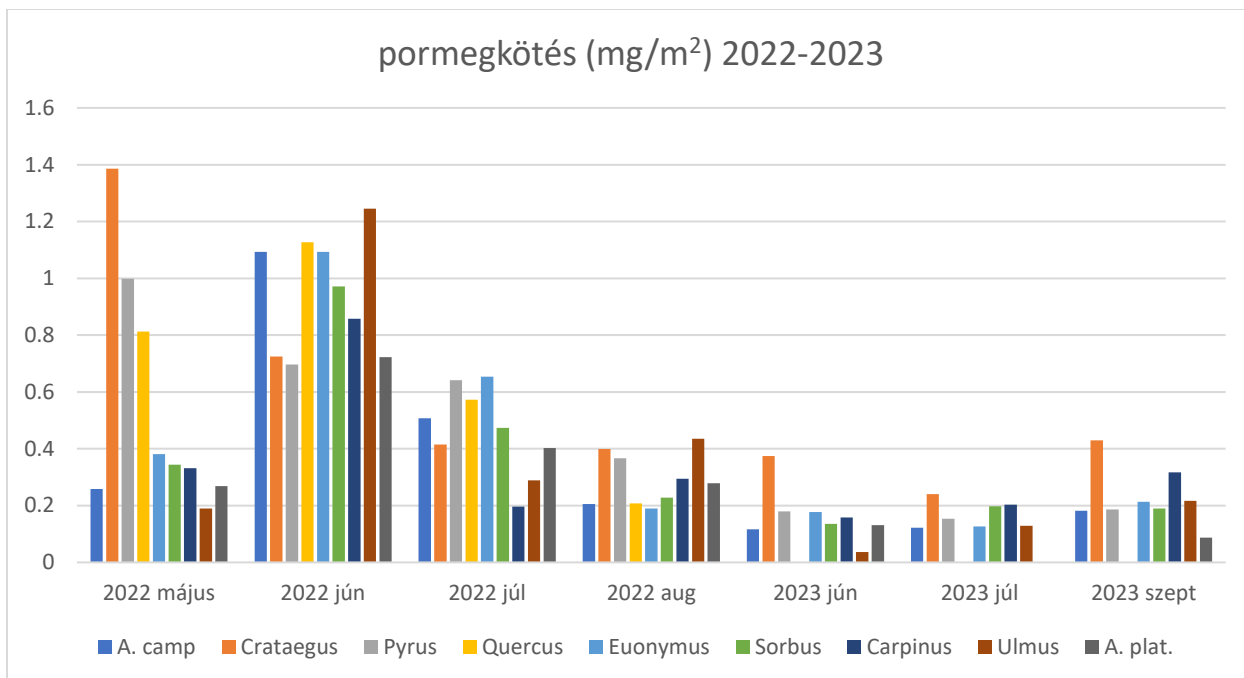
A 2023-as évben mértük a Miyawaki-erdő és a környezete hőmérsékletét. Eredményeinket a 8. ábrán foglaltuk össze. A környező talaj hőmérséklet minden vizsgált hónapban magasabb volt. Ez 23 C° -ot jelentett májusban, 37 C° -ot júniusban, 34 C° -ot júliusban és 24 C° -ot szeptemberben. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok leveleinek hőmérséklete 21 C° -ról indult májusban, majd júniusban és júliusban 29 C° , míg szeptemberben 23 C° volt. A meleg nyári hónapok során sem emelkedett 30 C° fölé a levelek hőmérséklete, amely még a fotoszintézis optimumgörbéjének a felívelő tartományába esik (internet 1). A minierdő talajának hőmérséklete májusban alig haladta meg a 15 C° -ot, a nyári hónapokban is $25\text{-}26 \text{ C}^\circ$ -on maradt, míg szeptemberben 20 C° -ra hűlt vissza. Ez a talajhőmérséklet a legnagyobb különbségek esetén $10\text{-}12 \text{ C}^\circ$ -kal alacsonyabb, mint a környező, rendszeresen nyírott pázsittal borított talaj hőmérséklete.



8. ábra. A Miyawaki-erdő és környezetének hőmérséklete 2023 vizsgált hónapjaiban
(saját adat, saját szerkesztés)

Az ökológiai szolgáltatások közé tartozik a növények pormegkötő képessége is. Ezt a 9. ábra mutatja be. Jól látszik, hogy 2022 csapadékszegény időszakában lényegesen nagyobb a vizsgált fajok leveleire lerakódott por mennyisége, mint 2023-ban. 2022 augusztusában a mintaszedés előtt hullott nagyobb mennyiségű csapadék (melléklet 9.2.), amely csökkentette a lerakódott port.

Megfigyelhető, hogy az alacsonyabb fajokon (galagonya, berkenye, vadkörte, gyertyán) nagyobb a leülepedett por mennyisége. Ez abból adódhat, hogy ezen a területen ez a szennyeződés elsősorban talaj eredetű, így a felvert talaj szemcséi ülepedhettek ki a leveleken. A magasabb fajokon a szállópor lerakódása okozhatta a nagyon változó értékeket. Ennek pontosítására további vizsgálatokat javaslunk.



9. ábra. A Miyawaki-erdőbe telepített fajok pormegkötő képessége 2022-2023 időszakban
(saját adat és szerkesztés)

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az adatok elemzéséből levonható következtetéseink közül az első, hogy a fajok növekedési mértéke jelentősebb, mint a csemetetermesztés során előállított példányoké. A tölgy az egyetlen olyan faj, amely a Miyawaki-módszerrel telepített minierdőben is az irodalmi adatok alapján felvázolt lassú növekedést mutatja (Gencsi és Vancsura 1992), hiszen mindössze 7 cm-t nőtt a két vegetáció alatt.

A kecskerágó, gyertyán, berkenye, galagonya növekedés is lassult, amely szintén alátámasztja Gencsi és Vancsura (1992) állítását, miszerint ezek a fajok lassan fejlődnek fiatalon is. A kecskerágónál kiemelték, hogy ez a faj viszonylag hamar abbahagyja a magassági növekedését. Ezt a megállapítást részben az általunk mért adatok is alátámasztják (3. ábra).

A korai és a mezei juhar, valamint a szil eleve nagyobb méretű ültetési anyagként került a Miyawaki-erdőbe, de a második év végére jól látszik, hogy a szil növekedési erélye volt a legnagyobb. Gencsi és Vancsura (1992) tapasztalatai alapján a szil első-második évében mindössze 30-40 cm-t növekszik. Ezzel szemben a minierdőbe telepített egyedek csak 2022-ben, egy vegetáció alatt 100 cm-t nőttek (3. ábra). Ez pedig határozottan alátámasztja a Miyawaki-módszer eredményességét, miszerint az így telepített csemeték az első években jelentős mértékű magassági növekedést mutatnak. Ugyan 2023-ban lassult a növekedés üteme, de még mindig 100 cm az éves növekménye, amely jelentősen nagyobb a szakirodalmi értékeknél (Gencsi és Vancsura 1992).

A lassú növekedésű mezei juharra, amelyre 5-6 cm éves növekmény a jellemző (Gencsi és Vancsura 1992), a tabáni Miyawaki-erdőben 60 cm-t nőtt két vegetációs időben. Ugyanígy a korai juhar is, amelytől 30-40 cm-t várnak, itt csak egy vegetációs időben is 80 cm-t nőtt (3. ábra). Ezt 2023-ban is tartotta, miszerint közel 30 centiméteres volt az éves növekménye.

Az egyedi levélfelületek jelentősen függenek a vegetációs időszak kezdetétől. A melegebb, szárazabb időszakban az azévi levelek mérete is csökkent. Továbbá 2022-ben a rendkívül száraz nyáron sok levél széle visszaszáradt (2. táblázat), és ez megmutatkozott a levelek egyedi méretében is, hiszen a kezdeti (májusi) adatok októberre lecsökkentek. 2023-ban is az őszi időszakban kisebb egyedi levélfelületeket mértünk, kivétel ez alól a korai juhar, amely megháromszorozta a levélméretét. Ez azzal magyarázható, hogy a tavaszi méréskor még nem alakult ki a fajra jellemző levélméret. Ugyanezt tapasztaltuk a szilnél is.

Az egyedek leveleinek száma fajra jellemzően tükrözi, mely egyedeknek van apró, de nagyszámú levele. A vadkörte, galagonya levelei noha aprók, sok van belőlük, ezek szignifikánsan is eltértek a többi fajtól. Ugyanígy a szil levélszáma is ebbe a csoportba tartozott, viszont a szilnek az egyedi levélmérete is jelentős. Ennek köszönheti, hogy hatalmas lombfelületet fejleszt (3. táblázat, 4. ábra). A korai juharnak lényegesen kevesebb levele van, viszont az egyedi levélméreteknél szintén kiemelkedő a lomb felülete a Miyawaki-erdőben.

2023-ban a nagy mennyiségű levél miatt bevezettünk egy másik összes levélfelületet becslő módszert, amelyet egyenként telepített fáknál használnak (Gyeviki, 2011; Steiner et al. 2016; Szabó et al. 2021). A korábbi évek

összes levélfelületénél egy nagyságrenddel nagyobb felületet kaptunk (5. ábra), amely adódhat a módszer pontatlanságából. Itt azt vettük alapul, hogy az első két mérési év alapján ki tudtuk számolni az egyes fajok levélfelület-arányát az egész borítottsághoz viszonyítva. Ezek az értékek azonban csak a kijelölt öt mintaegyed összes levélfelületének átlagát mutatta. A levélfelület-index alapján meghatározott összes levélfelület pedig a Miyawaki-erdő 40 m²-es, teljes területére vonatkozott. Ebből kifolyólag azt javasoljuk, hogy a továbbiakban célszerűbb lenne a fajok egyedszámával is számolni, hogy pontosabb eredményeket kapjunk.

A szén-dioxid megkötésénél a havi adatok fajonként jellegzetes mintázatot adtak (6. ábra). A kecskerágó, a berkenye, a vadkörte és a galagonya, vagyis a cserjeszinthez szokott fajok a forró, száraz nyár során csökkentették fotoszintetikus aktivitásukat, hiszen ezek a növények kevésbé vannak hozzászokva a közvetlen kitettségnek. A kedvezőtlenebb körülményeket követően azonban pótolták a fotoszintetikus aktivitás kieső részét, és még októberben is kiemelkedő teljesítményt nyújtottak.

A két juharnál a fotoszintetikus aktivitásuk alakulásán látszik, hogy jobban kedvelik a melegebb időszakot. Ezek az adatok alátámasztják Gencsi és Vancsura (1992) állítását, miszerint melegigényes fajok.

A gyertyán és a szil összevetése is érdekes, hiszen a 2022-es évben a júliusi adataik csökkentek, amelyben jelentős szerepe van a csapadékszegény, forró időszaknak. A gyertyán ugyanezt mutatja 2023-ban is, amely alátámaszthatja azt, hogy ez a faj vízigényes, és nem viseli jól ezt az időszakot. Ezt követően azonban megfigyelhető, hogy amíg a gyertyán a lombkoronák párás, kedvező mikroklímájában vissza tudta nyerni korábbi aktivitását, addig messze a többi növény fölé nyúló szileket jobban megviselte a légköri aszály, és a közvetlen napfénynek való kitettség (6. ábra). 2023-ban több csapadék hullott, így ez a megfigyelés kevésbé alátámasztható, de tendenciájában megmutatkozik, hiszen a gyertyán júliusig folyamatosan csökkentette a szén-dioxid megkötését, míg a szil mindhárom vizsgált hónapban tartotta a teljesítményét, majd szeptemberben a gyertyán növelte meg az aktivitását, addig a szil csökkentette. Ebben az utolsó évben – az elhúzódó magas nappali hőmérséklet, és csapadékos időszak ellenére – a szilek október végére lehullatták a lombjukat, míg a többi fajon meglehetősen sok lomb maradt még.

A vízpára változásaiban is megfigyelhetőek a fajokra jellemző alkalmazkodási stratégia (7. ábra). A legkiegyenlítettebb párákibocsátást a mezei juhar mutatta. Ezt követte a vadkörte, illetve a galagonya. Az olyan vízhez szokott fajok (Gencsi és Vancsura 1992), mint a szil vagy a gyertyán jól tükrözi, hogy a jobb vízellátottságú első évben nagyobb mértékben párologtattak vizet, mint a második évben, amikor az öntözés jelentősen megritkult, és el is maradt. A korai juhar párologtatásánál azt tapasztaltuk, hogy az első évi öntözés hatására sem volt jelentős a párologtatásuk, míg a száraz 2022-es évben a kezdeti időszakban sokat párologtattak, addig a vegetációs időszak második felére kimerültek. Ebben az évben korai volt a lombhullásuk, és vízhiány tüneteit mutatták (beszáradt levélszél, lankadás, korai lombhullás). 2023-ban azonban egyenletesebb volt a párologtatásuk mértéke, amely köszönhető a csapadékosabb időjárásnak, és vélhetően annak is, hogy sikerült alkalmazkodniuk a környezetükhöz.

A Miyawaki-erdő és környezete közti hőmérsékleti különbségek egyértelműen kifejezik a minierdő hűtő hatását, amely akár 10 C°-kal is alacsonyabb volt a nyári hónapokban, mint a környezete (rendszeresen nyírott gyepek).

Eredményünk alátámasztja Pongrácz és Bartholy (2016), Jószainé (2007), valamint Wang és mtsai (2021) megállapítását, miszerint a városi zöldkörnyezet mérsékli a hőszigetelést.

A pormegkötés, mint ökológiai szolgáltatás is kimutatható volt a minierdőben (Hrotkó és mtsai 2021; 9. ábra). Elsősorban az alacsonyabb fajokon mértünk nagyobb port, azonban ennek összetétele inkább talaj eredetű lehetett, mint a szálló por lerakódása. Ennek pontosítása érdekében javasoljuk a további vizsgálatokban az oldatok szűrését, valamint a benne található vegyületek meghatározását.

Összességében elmondható, hogy az egyes fajok növekményei messze túlmutatnak a csemetenevelés során tapasztalt adatokkal, így megállapíthatjuk, hogy a Miyawaki-módszer gyorsabb növekedésre ösztönzi a fákat (Miyawaki, 2004; Manuel 2020).

A szén-dioxid megkötését, beépülését mi eltérő módszerrel vizsgáltuk, mint Lerink és mtsai 2020. A magassági, valamint a lombfelületbeli gyarapodásuk jól mutatja, hogy a fajok eltérő mértékben növekednek abban az esetben is, hogy kedvező körülmények közé telepítettük őket.

A módszer terjedésével a Miyawaki-erdők Magyarországon és világszerte egyaránt egyre több helyen tűnnek fel. Népszerűségének fő oka, hogy kis helyigénye miatt optimálisan alkalmazható városi környezetben a közterületeken (internet 7). A tabáni minierdő telepítése óta Budapesten még 12, Baján két Miyawaki-erdő kapott helyet (melléklet 9.4). A hazai Miyawaki erdők összterülete 1287 m², ahol 4832 darab facsemete került elültetésre.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ENSZ jelentések szerint a világ népessége lassuló ütemben csökken. Ugyanakkor elmondható, hogy egyre nő a városokban élők száma. 1950-ben a Föld lakosságának 30%-a élt városokban, ez az arány 2010-re megfordult, 2018-ra pedig elérte az 55%-ot. Az 1950-es évek városi lélekszáma napjainkra 5,6-szeresére emelkedett, míg a vidéki lakosság alig kétszeresére duzzadt. 2050-re ez a tendencia tovább folytatódik, és jelen becslések szerint a világ lakosságának 68%-a fog városokban lakni (KSH 2018).

Városokban számos környezeti tényezőt az ember alakított ki, ezeket épített környezetnek nevezzük, amelyek során sajátos, mesterséges felszín jön létre. Ebből adódóan nagymértékben megváltoznak a különböző éghajlati elemek a városokat körülvevő természetes környezethez képest. Ahogy az emberek, úgy a fák is szűkebb életteret kapnak a városokban és nehéz kialakítani olyan feltételeket, amelyek szükségesek egy erdő létrejöttéhez.

A Miyawaki-módszer a nevét kitalálójáról, Akira Miyawaki japán botanikusról kapta. Miyawaki a japán ökoszisztéma regenerációjának tanulmányozása során arra jutott, hogy a legkönnyebben úgy lehet segíteni a természetes folyamatok felgyorsításában, ha környező, őshonosfafajok magvait vetjük el. Ez a módszer alkalmas olyan kisebb területek bevonására, amelyek kevésbé alkalmasak a többször iskolázott sorfák telepítésére. A talajcsere és a versengés hatására a telepített csemeték éves növekménye jelentősen megnő, így a széndioxid megkötésük szintén nagyobb lesz. Kis helyen nagy lombtömegük a szállópor csökkentésében is segítenek. A tabáni Miyawaki-erdőt 2021. május 20-án telepítették. Területe 40 m², amelyen 120 növényegyetet ültettek ki. Ezekből kilenc faj található meg a területen.

Az első hazai adaptációjú Miyawaki-erdőbe telepített kilenc őshonos faj széndioxid-megkötését, vízpára-kibocsátását, magassági növekedését, levélfelületváltozásait vizsgáltuk. A telepítés évében a mérésekre két alkalommal került sor. A következő évben már havonta végeztük el a fotoszintetikus aktivitás méréseket 2022. májustól 2022. októberig. 2023-ban pedig májustól szeptemberig (augusztus kivételével) mértünk. Ebben az évben hőmérséklet adatokat is gyűjtöttünk a környezetéből, valamint a minierdőből.

A vizsgálatok során gyűjtött adatok elemzéséből megállapítható, hogy a Miyawaki-módszerrel telepített fajok növekedési mértéke messze túlmutat a csemetetermesztés során előállított példányokén. Ebből arra következtethetünk, hogy a Miyawaki-módszer gyorsabb növekedésre ösztönzi a fákat, tehát telepítése hasznos eszköze lehet a városi klíma negatív hatásainak mérséklésére. A por- és széndioxid-megkötése is javítja a városi levegő minőségét, valamint hűtő hatása segíthet a városi hőszigetek megtörésében, mérséklésében.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni Dr. Szabó Veronika tanárnőnek a közös munkát, a rengeteg segítséget és útmutatást amit nyújtott a dolgozat elkészítése során. Hálás vagyok a Tabánon mérésekkel eltöltött napokért, ahol nagyon sokat tanultam és sok érdekes információval lettem gazdagabb. Tanárnő önzetlen segítsége, bátorítása és tanácsai mind hozzájárultak a szakdolgozat sikeres elkészítéséhez.

Kukkk Judit Dóra

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. Ariluoma, M., Ottelin, J., Hautamaki, R. Tuhkanen, E-M. and Manttari, M. 2021. Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. *Journal of Urban Forestry and Urban Greening*. 57:126939. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126939>.
2. Bartha D. 1999. Magyarország fa- és cserjefajai, Mezőgazda kiadó.
3. Bartha D. 2014. A mezei juhar (*Acer campestre*) botanikai jellemzői. *Erdészeti lapok*. CXLIX. évf. 2:55-57.
4. Beidokhti, A.N. and Moore, T.L. 2021. The effects of precipitation, tree phenology, leaf area index, and bark characteristics on throughfall rates by urban trees: A meta-data analysis. *Journal of Urban Forestry and Urban Greening*. 60:127052. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127052>
5. Beiser R. 2013. Teák gyógynövényekből és gyümölcsökből. Gyűjtés, elkészítés és fogyasztás. Budapest, Sziget Könyvkiadó, 63. oldal.
6. Bernáth J. és Németh É. 2007. Gyógy- és fűszernövények gyűjtése, termesztése és felhasználása, Mezőgazda kiadó.
7. Bridgman, H. and Oliver, J. 2006. *The Global Climate System*. University Press, Cambridge, 205–243.
8. Fehér A.S. (szerk.) 2019. *A növények élete*. Egyetemi jegyzet. Szegedi Tudományegyetem. p.280.
9. Gencsi L és Vancsura R. 1992. *Dendrológia*. Erdészeti növénytan II. Mezőgazda Kiadó. ISBN 963 81 6008 X.
10. Gencsi L. és Vancsura R. 1992. *Dendrológia*. Mezőgazda Kiadó. 728.
11. Gyeviski M. 2011. *Cseresznye oltványok produktivitásának egyes tényezői*. Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem. Kertészettudományi Doktori Iskola. p. 149.
12. Hrotkó K., Gyeviski M., Sütöriné Diószegi M., Magyar L., Mészáros R., Honfi P. és Kardos L. 2021. Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees in Budapest (Hungary). *Environ. Geochem Health*. 43:1927-1940.
13. Huszkó D. 2021. *Kutyafuttatók favédelmi lehetőségeinek vizsgálata*. Faápoló szakdolgozat. MATE. p.99.
14. Józsa Zsuzsanna I. 2007. *Zöldfelület-gazdálkodás, parkfenntartás*. Budapest. Mezőgazda kiadó
15. Kabisch N., Kraemer R., Masztalerz O., Hemmerling J., Püffel C. and Haase D. 2021. Impact of summer heat on urban park visitation, perceived health and ecosystem service appreciation. *Urban Forestry and Urban Greening* 60:127058. p. 9.
16. Kalapos T. 1994. *Homokpusztagyepi növények fotoszintézisének és vízforgalmának vizsgálata, különös tekintettel az időszakos szárazság hatására*. Eötvös Loránd Tudományegyetem. Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék. Kandidátusi értekezés. Budapest. p.150.
17. Kardos B.F. és Schild B. D. 2019. *Vigalmi negyedből parkrendszer*. DOI. 10.3624/2019/52/4. p.13.
18. KSH jelentés 2018. *Népesedési világnap 201. június 11*. Statisztikai Tükör. p.6.

19. Lerink, B., Schelhaas, M.-J. and Ottburg, F. 2020. Protocol for Inventory of Tiny Forests. Scientific report. Wageningen. p.5 <https://www.ivn.nl/tinyforest/tiny-forest-worldwide/effects-tiny-forest>
20. Manuel C. 2020. The Miyawaki method – Data and concepts. Urban Forest Company. Scientific report. p.33.
21. Miyawaki A. 2004. Restoration of living environment based on vegetation ecology: Theory and practice: Restoration of living environment. Ecol. Res. 19, 83–90. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00606.x>
22. Monostori T. 2016. A fotoszintézis jelentősége, a környezeti tényezők hatása a fotoszintézisre. Egyetemi jegyzet. Szegedi Tudományegyetem. p. 10.
23. MSZ 12172:2019 Díszfák és díszcserjék ültetése települések közterein c. szabvány
24. Nowak, D.J., Hrabayashi S., Bodine A. and Grebónfield E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. Environmental Pollution 193:119-129.
25. Nowak, D.J., Hoehn, R. and Crane, D.E. 2007. Oxygen Production by Urban Trees in the United States. Journal of Arboriculture and Urban Forestry. 33(3):220-226.
26. Ördög V. és Molnár Z. 2009. Növényélettan. Egyetemi jegyzet. p. 89.
27. Pethő M. 2002. Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó. Budapest.
28. Pongrácz R. és Bartholy J. 2013. Alkalmazott és városklimatológia. ELTE Természettudományi Kar. Egyetemi jegyzet. p. 180.
29. Samara, T. and Tsitsoni, T. 2011. The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. Journal of Noise Control Eng. DOI: 10.3397/1.3528970.
30. Schmidt G. és Tóth I. 2006. Kertészeti dendrológia, Mezőgazda kiadó
31. Steiner M., Sütöri-Diószegi M. and Hrotkó K. 2016. Growth characteristics of urban trees in Budapest. In: Slosár M. (ed.) 5th International Scientific Horticulture Conference. ISBN 978-80-552-1571-6. p.122-131.
32. Szabó V. és Kohut I. 2022. Foliar dust on leaves of some perennials. 7th Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning. <https://doi.org/10.7275/926n-3w61>
33. Szabó V., Hudomiet K., Katona B., Vértesy M., Sütöriné Diószegi M. 2021. Előzetes adatok a *Celtis australis* környezeti hasznosságáról. LOV konferencia. Budapest. p.8.
34. Szegedi S., Tóth T., Lázár I. and László E. 2014. A városklíma jellegzetességei és hatásai. In: Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával. Akadémia Kiadó, Budapest, pp. 51-82. ISBN 978 963 05 9540 7
35. Szerb A. 1935. Budapesti kalauz Marslakók számára: Tabán, Nyugat folyóirat, 2. szám)
36. Terbe I. 2022. A szénről, mint növényi tápelemeről ritkán beszélünk – I. rész: a szén-dioxid-trágyázás elméleti alapjai. Agrofórum online.
37. Tőkei L. 1997. Városklíma. In: Szász G.–Tőkei L. (ed.) Meteorológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 219–236.
38. Tuba Z. és Csintalan Zs 2010. Növényélettan, egyetemi jegyzet, SZIE Egyetemi Kiadó

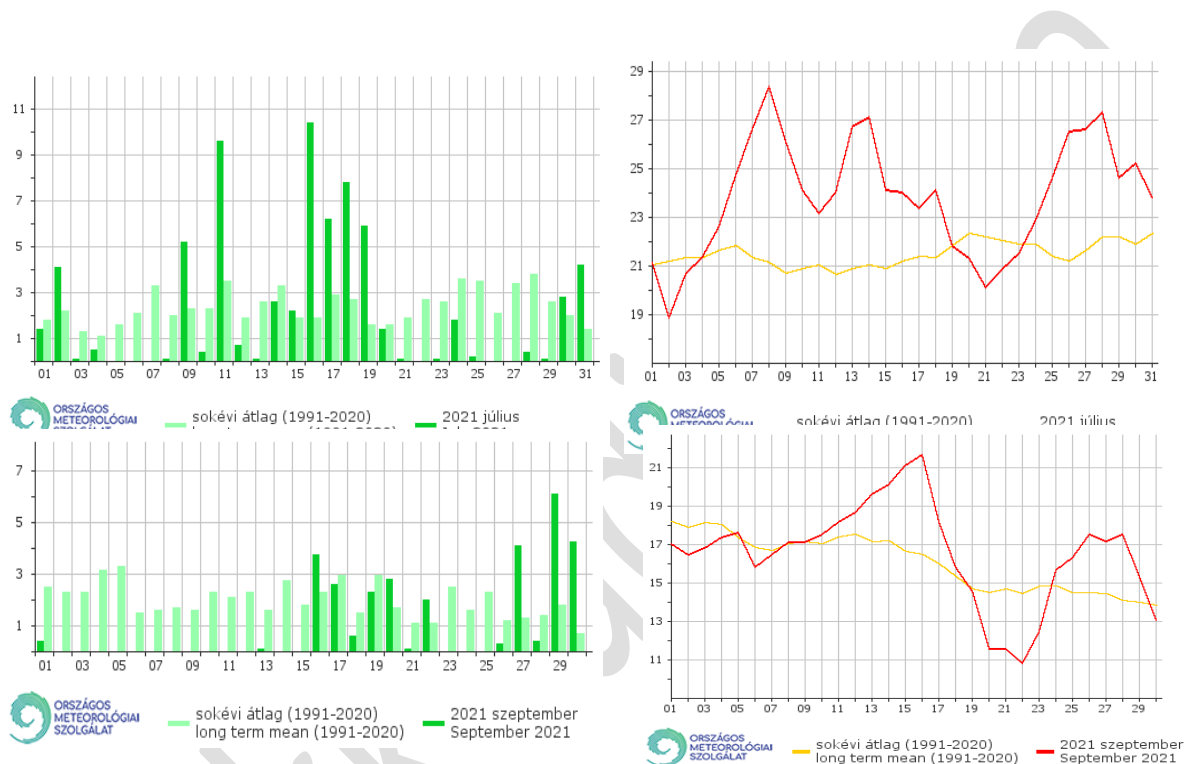
39. Unger J. 2010. A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa, MTA doktori értekezés.
40. Vértessy M. 2021. Hársfajták transzspirációjának és vízhasznosításának összehasonlítása. Faápoló szakdolgozat. MATE. p. 46.
41. Wang X., Wang Y., Qu X., Huang B., Li Z., Sun J., Wei X and Yang X. 2021. Urban trees in university campus: structure, function, and ecological values. Environmental Science and Pollution Research 28:45183-45198.

Internetes források irodalomjegyzéke

- internet 1. <https://vm-magazin.hu/fotoszintezis-oxigentermeles-es-klimavaltozas/> (letöltés dátuma: 2022. október 20.)
- internet 2. <https://zoldkalauz.hu/tablan> (letöltés dátuma: 2022. szeptember 18.)
- internet 3. <https://budavar.hu/tablan/> (letöltés dátuma: 2022. szeptember 18.)
- internet 4. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_honapok_idojarasa/ (letöltés dátuma: 2023. október 23.)
- internet 5. <https://cid-inc.com/plant-science-tools/photosynthesis-measurementplants/ci-340-handheld-photosynthesis-system/support/> (letöltés dátuma: 2022. szeptember 18.)
- internet 6. Jogtár. <https://net.jogtar.hu/rendelet?council=fovaros&dbnum=104&docid=A1200094.FOV> (letöltés dátuma: 2022. október 4.)
- internet 7. <https://www.fenntarthatofejloves.net/2022/05/16/erdok-zsebkendonyi-teruleten-a-miyawaki-modszer/>

9. MELLÉKLETEK

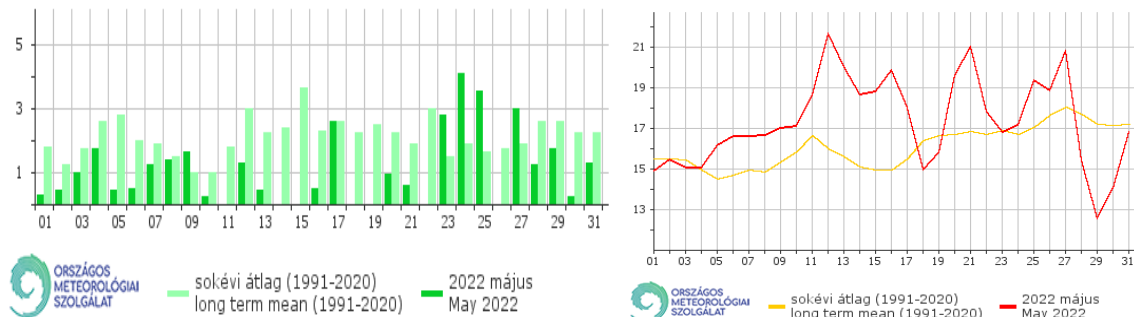
9.1. Meteorológiai adatok 2021. mérési napjaira (július 7. és szeptember 2.)



A 2021-es mérési hónapok (július felső sorban, szeptember alsó sorban) csapadékviszonyai (mm) és hőmérsékleti adatai (°C) a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

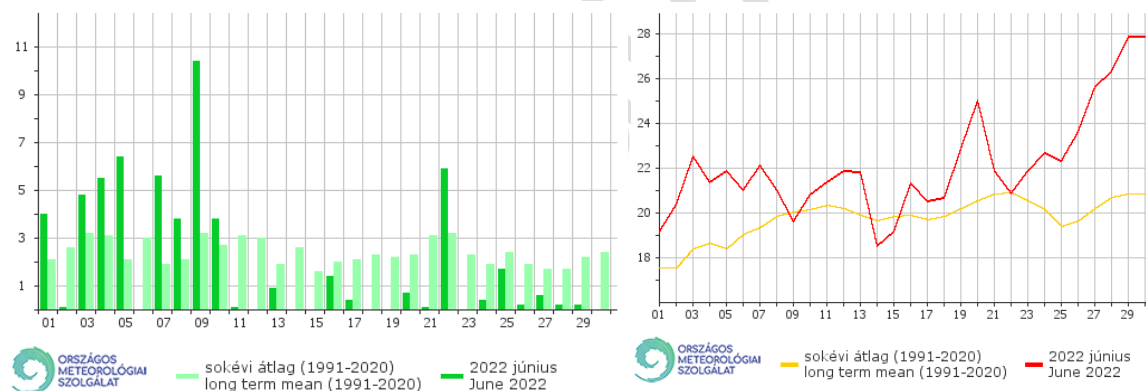
9.2. Meteorológiai adatok 2022. mérési napjaira

9.2.1. 2022. május



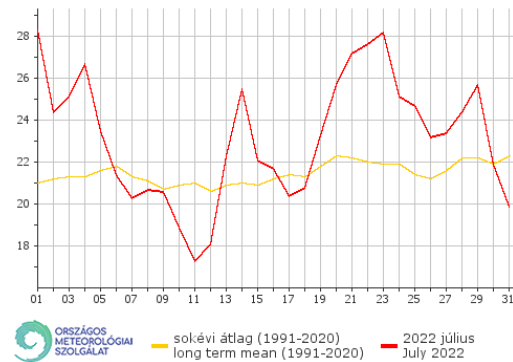
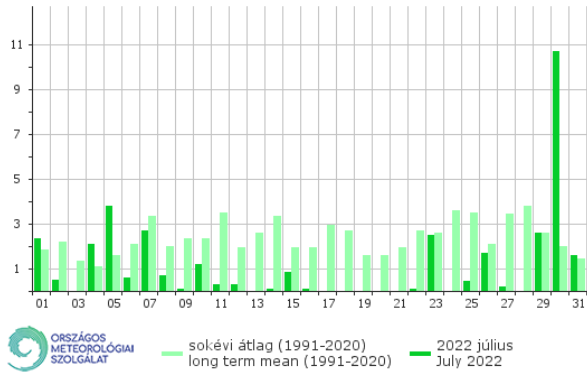
2022 májusának csapadékviszonya (balra, mm) és napi középhőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.2.2. 2022. június



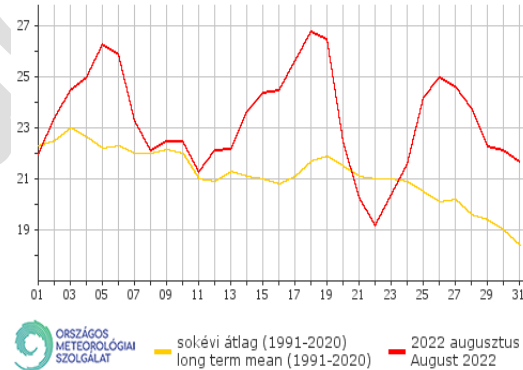
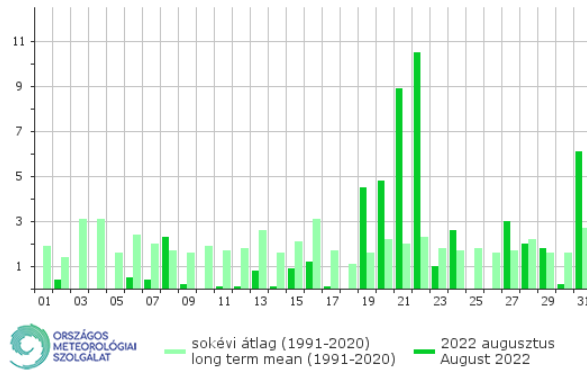
2022 júniusának csapadékviszonya (balra, mm) és napi középhőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.2.3. 2022. július



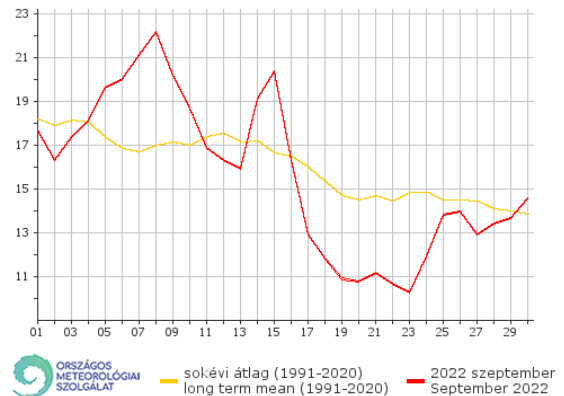
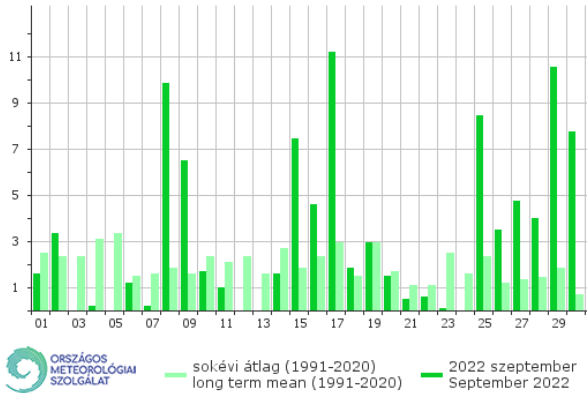
2022 júliusának csapadékviszonya (balra, mm) és napi középhőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.2.4. 2022. augusztus



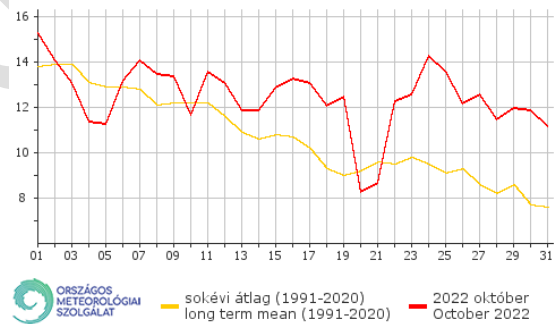
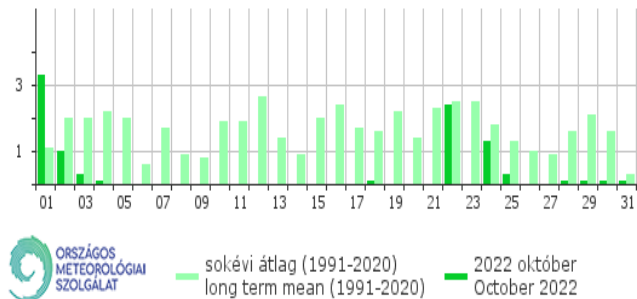
2022 augusztusának csapadékviszonya (balra, mm) és napi középhőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.2.5. 2022. szeptember



2022 szeptemberének csapadékviszonya (balra, mm) és napi közép-hőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

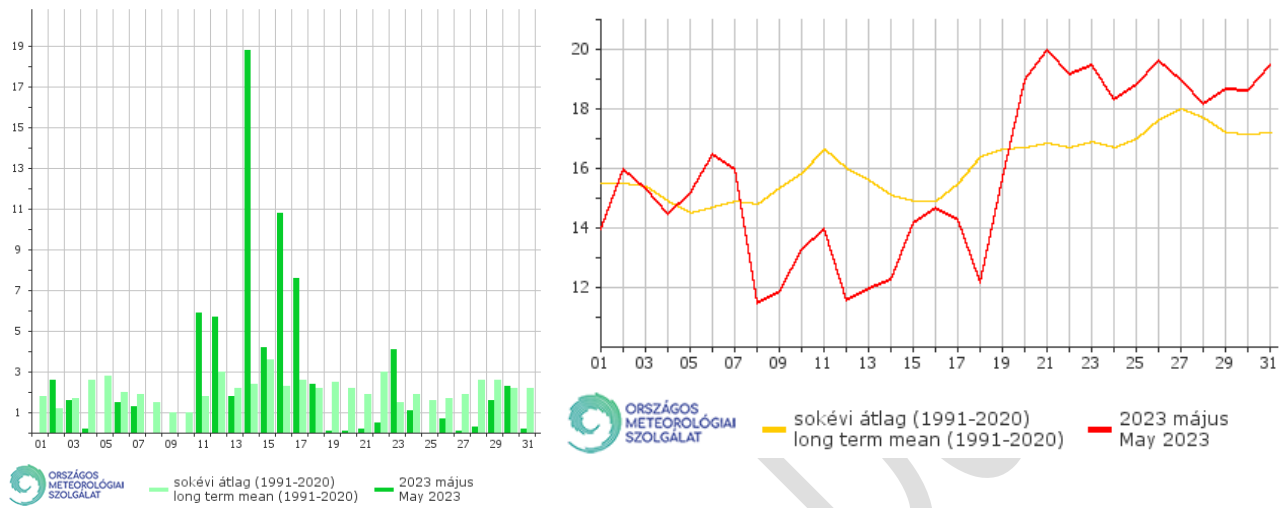
9.2.6. 2022. október



2022 októberének csapadékviszonya (balra, mm) és napi közép-hőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

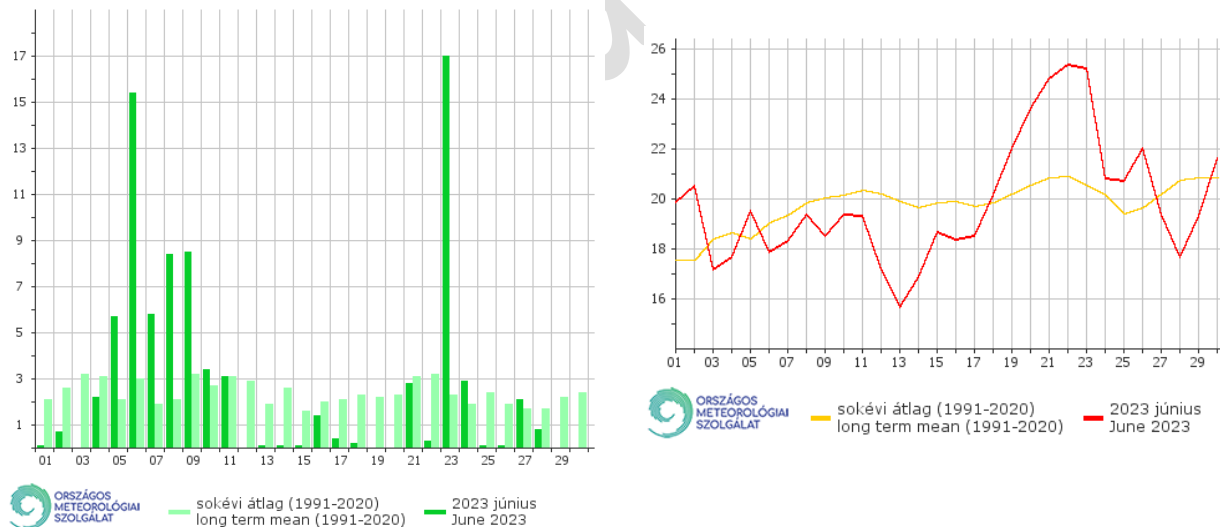
9.3. Meteorológiai adatok 2022. mérési napjaira

9.3.1. 2023. május



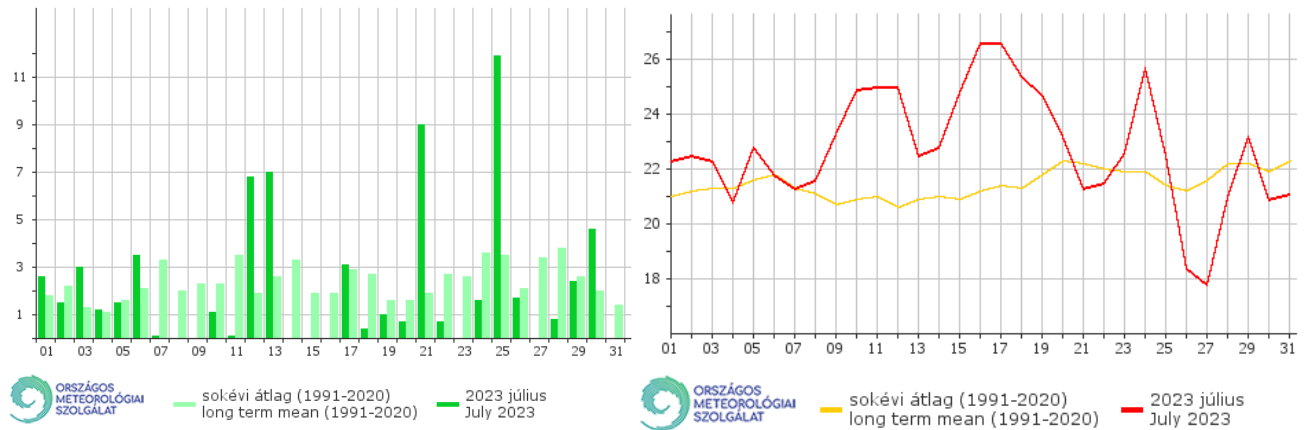
2023 májusának csapadékviszonya (balra, mm) és napi közép-hőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.3.2. 2023. június



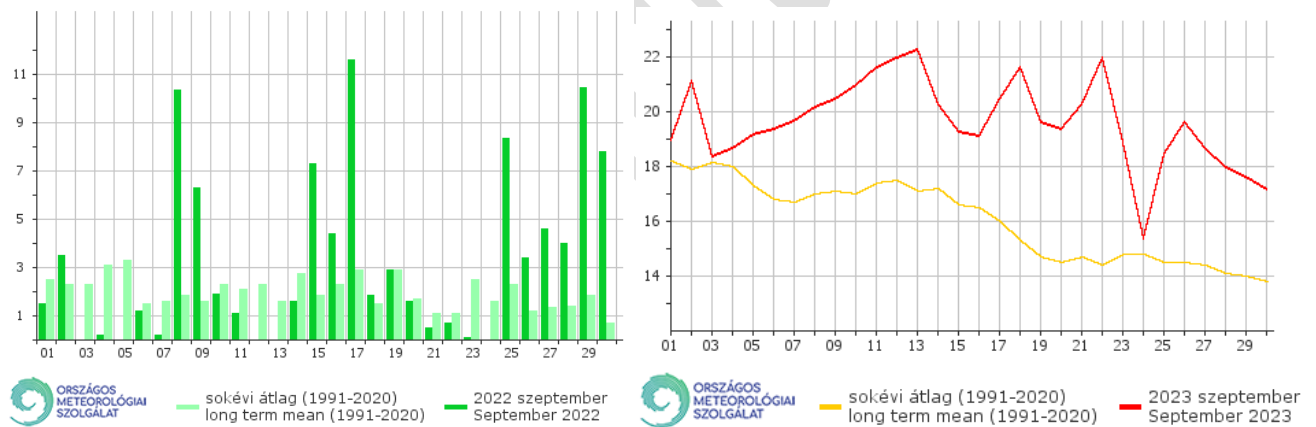
2023 júniusának csapadékviszonya (balra, mm) és napi közép-hőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.3.3. 2023. július



2023 júniusának csapadékviszonya (balra, mm) és napi közép-hőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.3.4. 2023. szeptember



2023 szeptemberének csapadékviszonya (balra, mm) és napi közép-hőmérsékletének (jobbra, °C) alakulása a sokévi átlag viszonylatában (forrás: internet 4)

9.4. Miyawaki-erdők Magyarországon

A hazai Miyawaki erdők telepítési idejük szerint sorba rendezve

	Helyszín	Terület (m ²)	Telepített növények száma
1.	Tabáni Miyawaki	40	120
2.	Bajai Miyawaki	120	400
3.	Soroksári Miyawaki	200	600
4.	Boráros téri Miyawaki	60	200
5.	Budafoki Miyawaki	55	200
6.	Lenhossék utcai Miyawaki	80	240
7.	Zsigmond téri Miyawaki	13	52
8.	2. Bajai Miyawaki	120	400
9.	Andor utcai Miyawaki	60	240
10.	Keresztúri Miyawaki	260	1300
11.	Bimbó úti Miyawaki	30	120
12.	Rákóczi híd Miyawaki	79	280
13.	Soroksári úti Miyawaki	50	200
14.	Népligeti Miyawaki	50	200
15.	Pestszentlőrinci Miyawaki	70	280

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Kukk Judit Dóra
A Hallgató Neptun kódja: CB22RF
A dolgozat címe: Az első hazai Miyawaki-erdő ökológiai szolgáltatásai
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Tájépítészeti, Településtervezés 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 valótlan 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 szellemi tulajdon-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: 2023 év 11 hó 01 nap


Hallgató aláírása


NYILATKOZAT

Kukk Judit Dóra (hallgató Neptun azonosítója: CB22RF) 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

2023. október 31.



dr. Szabó Veronika
belső konzulens