

SZAKDOLGOZAT

Tóth Gergely

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

szakot gesztoráló intézet neve

Kertészmérnök alapképzési szak

**Levélmintákra rakódott porszennyezés nehézfém
vizsgálatainak összehasonlító értékelése**

Belső konzulens: Dr. Kardos Levente
tanszékvezető, egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Agrárkörnyezettani Tanszék

Készítette: Tóth Gergely

Budai Campus

2025

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	1
2	Szakirodalmi áttekintés.....	2
2.1	A légszennyezés általános bemutatása.....	2
2.2	A közlekedés hatása a légszennyezésre.....	3
2.3	Szilárd komponensek egészségügyi következményei.....	4
2.4	A szmog bemutatása.....	6
2.5	A növények szerepe.....	8
2.6	A nehézfémek kiülepedése.....	9
2.7	A leggyakoribb városi fák jellemzése.....	11
2.7.1	Az <i>Acer platanoides</i> L. 'Globosum' jellemzése.....	12
2.7.2	A <i>Fraxinus excelsior</i> 'Westhof's Glorie' jellemzése.....	12
2.7.3	A <i>Tilia tomentosa</i> 'Moench' jellemzése.....	13
3	Anyag és módszer.....	14
3.1	Mintavételi helyek bemutatása.....	14
3.2	A kísérlet bemutatása.....	16
3.3	Az atomabszorpciós spektrofotométer bemutatása.....	18
4	Eredmények és tárgyalásuk.....	21
4.1	Levélfelület.....	21
4.2	A levelekről lemosott por mennyisége.....	22
4.3	Nehézfémtartalom a növények levelén a por lemosása után.....	24
5	Következtetés és javaslattevél.....	26
6	Összefoglalás.....	27
7	Irodalomjegyzék.....	29
8	Ábrajegyzék.....	32

1 Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a környezetvédelemre és egyre szigorúbb törvényeket és szabályokat hoznak ennek védelme érdekében. Az ipari, gazdasági és technológiai fejlődés folyamatos növekedése néhol előnyt, néhol viszont hátrányt jelent a Föld megóvása szempontjából. Ahhoz, hogy az emberiség és a természet rendje fennmaradhasson elengedhetetlen az odafigyelés, a légszennyező, károsító anyagok kibocsátásának csökkentése.

A környezetre leginkább hatást gyakorló szektor az ipar és a közlekedés. Egyre több gyár épül szerte a világban, amik már modernebbek és technológiailag fejlettebbek, de még mindig sok olyan létezik, ahol a szabálytalanul elégetett gázok, anyagok környezetkárosítást okoznak. A közlekedés pedig olyan szinten nő, hogy minden évben egyre több autót dobnak piacra, amik már olyan szigorú törvények mellett kerülnek le a gyártósorról, hogy az autó el sem indul, ha bizonyos szintnél magasabb a károsanyag kibocsátása. Ez már egy jó útvonal, viszont az autók nagy többsége régi katalizátorral, elavult szerkezetekkel működnek, mivel az új autók nagyon drágák és nem tehetik meg az emberek a jobb autók megvételét. Hetente dől meg az egyszerre a levegőben lévő repülőgépek száma, és persze a tengeri közlekedés sem hagyott alább.

Szaktervezésem írásakor azért esett erre a témára a választásom, mivel a levegő a Föld összes élőlényének lételeme. Szerencsére már egyre több kutatás és kísérlet folyik annak érdekében, hogy a levegő tisztaságát megőrizzük. Ennek egyik fajtája a városokba ültetett fák leveleinek a vizsgálata, mivel a fák rengeteg szennyező anyagot képesek megkötni, így azok kevésbé veszélyeztetik az emberi egészséget. A legtöbb légszennyező anyag ugyanis az autók kipufogó gázából és a gépjárművek fékezéséből eredő sűrűködés következtében kerül a levegőbe és a legtöbb nehézfém is ezáltal kerül az ember légzőszervébe. Szerencsére a fák képesek rá, hogy megkössék ezeket a nehézfémeket a levelükön, így azok csak kis mértékben jutnak el az emberig. Egyre több fát telepítenek a forgalmas utak mentén, ezzel is segítve a városi levegő tisztán tartását és az emberi egészség védelmét. Én is részt vettem egy ilyen kísérlet sorozat egyik szakaszában 2024-ben és kíváncsi voltam rá, hogy miként változtak az eredmények egy korábbi, 2015-ös kísérlethez képest, amit szintén a MATE-n (korábban Szent István Egyetem) végeztek el. Ezen kísérleteket 3 fa fajra vizsgálva nézték meg, és arra voltak kíváncsiak, hogy milyen befolyásoló hatása van a légszennyező anyagok megkötésében az ültetett fa fajnak, amik az alábbiak voltak: az *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior* és *Tilia tomentosa*. Ennek a két kísérletnek az összehasonlítását végzem el, hogy lássam, nagyjából 10 év elteltével milyen változások következtek be a város levegőjének szennyezettségét tekintve. Megvizsgálom, hogy

a 2015-ben gyűjtött leveleken felhalmozódott szállópor és nehézfémek mennyisége milyen irányba változott a 2020-as évek elejére.

2 Szakirodalmi áttekintés

2.1 A légszennyezés általános bemutatása

A légszennyezés olyan folyamat, amelynek során különféle szilárd, folyékony vagy gáz halmazállapotú anyagok, illetve biológiai eredetű részecskék kerülnek a légkörbe, és azok az emberi egészségre, az ökoszisztémákra vagy a mesterséges környezetre káros hatást fejtenek ki. A szennyező komponensek irritációt, betegségeket vagy akár halált idézhetnek elő, továbbá veszélyeztetik a mezőgazdasági termelést, illetve rontják a környezeti elemek minőségét. Ahogy korábban is említettem, halmazállapotuk szerint lehetnek gázok, folyadékok vagy szilárd anyagok, eredetük alapján pedig természetes folyamatokból (pl. vulkanikus aktivitás) vagy antropogén forrásokból (pl. ipari kibocsátások, közlekedés) származhatnak. A légszennyezőket funkcionális szempontból primer és szekunder kategóriába soroljuk. Az elsődleges szennyezők közvetlen kibocsátás eredményeként jelennek meg a légkörben, ilyen például a vulkáni hamu, a közúti közlekedés során keletkező szén-monoxid, vagy az ipari üzemek által kibocsátott kén-dioxid. A másodlagos szennyezők ezzel szemben kémiai reakciók révén jönnek létre az atmoszférában, amikor az elsődleges komponensek egymással kölcsönhatásba lépnek. Tipikus példájuk a talajközeli ózon, amely a fotokémiai szmog egyik meghatározó alkotóeleme. Egyes szennyezők mindkét típusba besorolhatók, mivel közvetlen kibocsátás útján is bekerülnek a légkörbe, ugyanakkor más elsődleges anyagok átalakulásából is létrejöhetnek (Mahendra és Vaibhav, 2013).

Az ipari forradalom óta a légszennyezés mértéke igencsak megnőtt. A nagy mennyiségű fosszilis energiahordozók elégetése által rengeteg CO₂ jutott a légkörbe, ami az üvegházhatás kétharmadáért felel. A globális klímaváltozás hatására a sarkkörüi jégtakarók vastagsága közel felére csökkent, ezért 100 év alatt 15-20 cm-rel megnőtt az átlagos tengerszint. Emiatt van nyáron sokkal melegebb, valamint szárazabb időjárás és egyre gyakoribbak az erdőtüzek világszerte (Szűcs, 2021).

A légszennyezést 3 folyamattal jellemezhetjük: emisszió, transzmisszió és imisszió. Ilyen sorrendben is követik egymást, mert az emissziónak magát a kibocsátást értjük,

transzmisszióknak az elszállítódást, átalakulást (hogyan történik a levegőbe jutás után a részecskékkel), az imisszió pedig a 2. adott koncentráció, amely a területen mérhető. A levegő minőségét mérések alapján állapítják meg, Magyarországon ezt az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) méri. Ezeket az adatokat nagyrészt fix mérőállomások adataiból gyűjtik, de vannak mobil mérőállomások is. Mivel sok minden befolyásolja a méréseket, ezért teljesen pontos adatokat egyikből sem lehet kapni. Egy város légszennyezettsége nagyon sok mindentől függ. Ilyen például a földrajzi elhelyezkedés, hogy hegyvidéken található vagy alföldön, milyen a légmozgás és a klimatikus tényezők. Fontos maga a város infrastruktúrája, hogy milyen a beépítettség, tervezettség, a járműforgalom és a városi szmog mértéke. A szél ebben sokat tud segíteni, mivel ki tudja tisztítani egy város levegőjét. Budapesten az uralkodó szélirány É-ÉNY-i az Atlanti-óceán és a Földközi-tenger felől érkező ciklonok miatt. Az ebből az irányból érkező légtömegek a Duna fölött kitisztítják a városi levegőt és DK-i irányba szállítják azt tovább (Csapó, 2016).

Az ipari forradalom kezdetén, a sok gyár megépültével intenzív légszennyezés kezdődött. Akkoriban a közlekedés még nem befolyásolta a városok és a környezet szennyezését, de a belső égésű motorok és az autók sorozatgyártása a 20. század közepére ezt megfordította. Ekkora lett népszerű az urbanizáció és elkezdtek megalakulni a nagyvárosok, manapság pedig a megapoliszok felelősek a legnagyobb, közlekedésből származó légszennyezésnek a maguk 20-30 millió fős lakosságukkal.

2.2 A közlekedés hatása a légszennyezésre

A tömegközlekedés, de leginkább a személyautó és tehergépjármű forgalom az, ami a globális CO₂ kibocsátás kétharmadáért felel. A közlekedés emellett a tüzelőanyag égetés negyedéért is felelős. A légiforgalom és tengeri hajózás is egyre magasabb mértékben van jelen és mivel a teher- és utasforgalom is folyamatosan növekszik, ezért sürgető lenne egy kevésbé környezetszennyező üzemanyag alternatívát kitalálni. (Szalmáné és Bíró, 2022).

A közlekedésben résztvevő gépjárművekre már 30 éve van szabályozás. A fejlődő technika révén egyre szigorodó károsanyag-kibocsátási határokat írnak elő az újonnan forgalomba helyezett autókra. Ezeket EURO szabványoknak hívjuk. A legjobbnak az tekinthető, ha minden belsőégésű autót lecserélnénk elektromos autókra, de azoknak a sokkal magasabb áraik és a kisebb hatótávolságuk ezt egyelőre nem engedhetik meg. A közlekedésben nagy áttörés volt a katalizátor, ami a kipufogógáz átalakításáért felel. Először egy oxidációs,

majd redukciós folyamat megy végbe. A katalizátornak idő kell, mire eléri a maximális teljesítményét, ezért rövidtávú használatra nem kellene használnunk, mert úgy igazából minden, a kipufogóból távozó károsanyag a levegőbe jut. A katalizátorok egyik alkotóeleme a platina, így egy másik fajta, jelenleg még nem túl aggodalomkeltő, szennyező anyag kerülhet a levegőbe a közlekedés által, mert minimális mennyiség található csak meg belőle. Egy másik fontos lépés volt, hogy az üzemanyagok összetételén változtattak és ma már csak ólommentes üzemanyagokat lehet árusítani. Eleinte az oktánszám növelésében játszott szerepet, de a katalizátor megjelenésével be kellett tiltani, mivel annak megfelelő működéséhez elengedhetetlen az ólommentes üzemanyag (Csapó, 2016). Az ólom, az emberi szervezetre gyakorolt biokémiai hatása teszi súlyosan mérgező nehézfémmé.

A közlekedés nem csak az üvegházhatás miatt számít veszélyforrásnak a világon, hanem az emberi egészség miatt is. A városok levegője sok helyen a világon annyira szennyezett, hogy csak maszkban lehet az utcákra menni, de általában még ez is kevésnek bizonyul. A városok levegőjében megtalálható szilárd komponensek a légzőrendszerünkbe jutva akár súlyos károkat is tudnak okozni. Ezekből a szilárd komponensekből a legtöbb az autók fék- és kipufogórendszeréből jut a levegőbe, tehát a legnagyobb veszélynek a biciklisek vannak kitéve (Szalmáné és Bíró, 2022).

2.3 Szilárd komponensek egészségügyi következményei

A biciklisek fizikai erőnléttel vannak jelen a közlekedésben és ők vannak a legközelebb az autósokhoz, ezért náluk fordulhat elő leggyakrabban légúti megbetegedés. Hiába van elkülönített bicikli út a számukra a város nagy részén, még így is olyan közel vannak egymáshoz, hogy nincs ideje és lehetősége a kipufogógáznak felhígulnia. A gyalogosok már picit jobb helyzetben vannak, mert az autók és a gyalogosok között legalább 3-4 méter távolság van. Amennyiben fizikai mozgást végez valaki az utcán, akkor azt érdemes parkokban végezni, az autók szennyezésétől távol. Az egyik ilyen anyag az ózon, ami asztmát, krónikus légzőszervi károsodást okoz, de túl magas értéknél 3-4-szeresére is emelheti a szívmegállás esélyét. Jelenleg a 45 ppb az a határérték, ami még nem jár egészségügyi kockázattal (NSW Health, 2014), azonban a kerékpárosoknál megfigyeltek 60 ppb-t is. Összességében az ózon felelős leginkább az asztmás megbetegedésekért, amit gyerekeknél is megfigyeltek. Olyan fiatalok, akik magasabb ózon érték közelében sportoltak, sokkal valószínűbb volt az asztma kialakulása. A szén-monoxid egy szintén nagyon veszélyes szennyező anyag, mivel színtelen, szagtalan, gáz

halmazállapotú és leginkább a fosszilis anyagok nem megfelelő égése során keletkezik. A CO erősebben kötődik a hemoglobinhoz, mint az oxigén, ezért gátolja az oxigén szállítását a vérben. Ez igen veszélyes tud lenni az agyra és a szívre is, amik magas oxigénigénnyel rendelkeznek. Alacsony szintű jelenléténél még csak fáradtságot, szédülést okoz, de súlyos mérgezés esetén halálhoz is vezethet (Csapó, 2016).

A nitrogén-oxidok (NO_x) gyűjtőnév alatt a légkörbe jutó nitrogén-monoxidot (NO) és nitrogén-dioxidot (NO_2) értjük, melyek döntő többsége emberi tevékenység során, elsősorban égési folyamatok eredményeként keletkeznek. Magas hőmérsékleten a levegő nitrogénje és oxigénje reakcióba lép, amelynek során különböző oxidációs állapotú nitrogénvegyületek jönnek létre. Az emisszió legjelentősebb forrásai közé tartozik a közlekedés, az energiatermelés, az ipari égetési folyamatok, valamint bizonyos mezőgazdasági és termikus technológiák (Levegőminőségi terv, 2025). A kibocsátott nitrogén-monoxid a légkörben gyorsan oxidálódik nitrogén-dioxiddá, amely fotokémiai reakciókban kulcsszerepet játszik a légköri ózon (O_3) képződésében. A NO_2 a városi szmog egyik alapvető komponense, amely más másodlagos szennyezőkkel, például nitrát-aeroszollokkal, együtt jelentős mértékben befolyásolja a levegő minőségét (Országos Levegőterhelés-csökkentési Program, 2020). A nitrogén-dioxid közvetlenül irritálja a légutakat, növeli a légzőrendszer érzékenységét és hozzájárul a krónikus légzőszervi betegségek, asztma, illetve bronchitisz súlyosbodásához. Hosszú távú expozíció esetén növekedhet a kardiovaszkuláris betegségek előfordulása is. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által megállapított éves határérték ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alacsonyabb, mint az Európai Unió jelenlegi irányértéke ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), amelyet a hazai mérőállomások egy része időnként túllép (Nemzeti Népegészségügyi Központ, 2023). A NO_x továbbá savas ülepedés révén hozzájárul a talaj- és vízi ökoszisztémák savasodásához, valamint a növényzet nitráatterheléséhez (Levegőminőségi terv, 2025). A nitrogén-oxidok emissziója komplex környezeti probléma, amelynek kezelése integrált megközelítést igényel. Bár az elmúlt évtizedekben Magyarországon a NO_x -kibocsátás csökkenése kedvező irányú volt, a közlekedési szektor továbbra is meghatározó kibocsátó maradt. A légszennyezés csökkentésének kulcsa a technológiai innováció, a közlekedés átalakítása, valamint a lakossági és önkormányzati szintű intézkedések összehangolt alkalmazása. A NO_x -koncentráció mérséklése nem csupán környezetvédelmi, hanem népegészségügyi érdek is, amely hozzájárulhat a városi életminőség javításához és a légúti megbetegedések visszaszorításához.

A természetre is már nagyobb hatással bíró anyagok a kén-oxidokból keletkeznek (SO_x). Annál is leginkább a kén-dioxid okoz nagy károkat, mivel a vulkánok és ipari folyamatok

termelik. A szén és kőolaj gyakran tartalmaznak kén tartalmú vegyületeket, ezért égésükkor SO_2 képződik. A kén-dioxid, ha jelen van egy katalizátor, mint például az NO_2 , akkor az oxidáció során H_2SO_4 keletkezik, ami a savas eső egyik komponense. Emiatt is aggasztó az ilyen anyagok üzemanyagként való felhasználása, hiszen ilyenkor a savas eső az emberekre hullik vissza. De sok példát lehet látni az épületek károsodására is a savas eső következtében, de leginkább a régebben készült mészkő szobrok sínylik meg ennek hatását (Mahendra és Vaibhav, 2013).

A részecskék (particulate matter, PM) – más néven szálló por vagy finom részecskék – apró szilárd vagy folyékony halmazállapotú anyagok. Az aeroszol kifejezés azonban a részecskék és a hordozó gázra együttesen vonatkozik (Seinfeld & Pandis, 2016). A részecskék forrásai lehetnek természetes eredetűek vagy antropogének. Természetes eredetű például a vulkáni hamu, porviharok, erdőtüzek, de még a tengeri permet is. Emberi tevékenység alatt a fosszilis tüzelőanyagok elégetését értjük és az ipari létesítményekben létrejövő aeroszolókat (Myhre et al., 2013). Világszerte az emberi tevékenység által termelt aeroszolak a légkörben megtalálható összes mennyiségnek a 10%-át teszik ki. A szálló por ($\text{PM}_{2,5-10}$) magas koncentrációja összefüggésbe hozható olyan egészségügyi kockázatokkal, mint a szívbetegségek, légzési problémák, tüdőrák (Mahendra és Vaibhav, 2013). A légköri részecskék jelentős egészségügyi kihívására több orvosi vizsgálat is készült már és egyértelmű összefüggést mutattak ki a $\text{PM}_{2,5}$ -nek való kitettség és a légzőszervi, valamint szív- és érrendszeri megbetegedések és a tüdőrák előfordulása között (Li et al. 2022). A $\text{PM}_{2,5}$ részecskék számítanak a finom részecskéknek, ezek jutnak be teljesen a tüdőbe és a légútyagocskákba. A PM_{10} pedig a kettő közötti részbe tartozó részecskéket jelenti, ezek mivel nagyobbak, ezért általában a garatba és az orrjáratokba jutnak csak el. A nagyobb veszélyt emiatt a 2,5 mikrométernél kisebb részecskék jelentik, mivel azok mélyen bejutnak a légzőrendszerbe és komolyabb betegségeket tudnak okozni benne és a szív- és érrendszerben is.

2.4 A szmog bemutatása

A városi légszennyezés problémájára a 20. század során bekövetkezett súlyos szmogesemények irányították rá a figyelmet. Ennek egyik legismertebb példája az 1952. decemberi londoni szmogkatasztrófa, amely egy lassan mozgó anticiklon következtében alakult ki. A légköri helyzet miatt a levegőben jelentősen megnövekedett a korom- és kén-dioxid-koncentráció, aminek következményeként néhány nap leforgása alatt mintegy négyezerrel nőtt

a halálozások száma az átlagos értékhez képest, miközben a légzőszervi megbetegedések előfordulása is többszörösére emelkedett. Az úgynevezett London-típusú szmog (füstköd) kialakulásának elsődleges oka a szilárd fosszilis tüzelőanyagok, elsősorban a nagy kéntartalmú barnaszén égetése volt. Az égés során jelentős mennyiségű korom keletkezett, amely a reggeli órákban gyakran előforduló magas relatív páratartalom hatására a vízpára a koromszemcsékre csapódott ki, miközben a levegőben jelen lévő kén-dioxid – illetve annak oxidációs terméke, a kén-trioxid – vízben oldódva savas kémhatású ködöt hozott létre. Ez a folyamat kénessav- és kénsavképződéssel járt, amely savas ülepedést (savas esőt, ködöt) eredményezett.

Meteorológiai szempontból a jelenséget az inverziós rétegződés tette tartóssá. A gyenge napsugárzás hatására a felsőbb, tisztább légréteg gyorsabban felmelegedett, ami lezárta az alsóbb, hűvösebb légréteget. Így a hidegebb, sűrűbb levegő nem tudott felemelkedni, és a függőleges légmozgások hiánya megakadályozta a szennyezett levegő kicserélődését.

A London-típusú szmog jellegzetesen szürkés színű és reduktív hatású, kialakulásának kedvező feltételei közé tartozik a magas légnyomás, a tartósan magas páratartalom, a szélcsendes időjárás és a viszonylag alacsony hőmérséklet. Ebből adódóan elsősorban a téli hónapokban fordul elő nagyvárosi környezetben (Angyal et al. 2012).

A másik fajta szmog a Los-Angeles típusú szmog, ami egy fotokémiai szmog. Világszerte számos nagyobb településen tapasztalható. Ezen szmog összetevői, amelyek a legnagyobb kárt okozzák a növényzetben, illetve a legkedvezőtlenebb hatással vannak az emberi egészségre, a fotokémiai oxidánsok. Ide tartozik többek között az ózon (O_3), a peroxiacetil-nitrát (PAN), a peroxi-benzoil-nitrát (PBN), a hidrogén-peroxid (H_2O_2), a hangyasav ($HCOOH$), valamint egyéb minimális mennyiségben jelen lévő vegyületek. Ezeket együttesen fotokémiai oxidánsoknak nevezzük, amelyek közül az ózon és a PAN a legmagasabb koncentrációban fordul elő.

A fotokémiai szmog képződése nyári időszakban fokozottabb, mivel az intenzívebb napsugárzás elősegíti kialakulását. A légköri ózon szintje általában a kora délutáni órákban éri el a maximumot, mivel a szmogképződés fotokémiai folyamatait döntően a napfény irányítja. Bár a fotokémiai szmog sok esetben szabad szemmel nem érzékelhető, jelenléte súlyosan károsíthatja az egészséget, például a légutak és a szem irritációját okozva.

2.5 A növények szerepe

A légszennyezés napjaink egyik legsúlyosabb környezeti problémája, amely közvetlenül befolyásolja az emberi egészséget, az ökoszisztémák működését és a városi életminőséget. A növényzet, különösen a városi zöldfelületek és a fasorok, mérséklék a légszennyezés káros hatásait. A fák és cserjék képesek a levegőből származó szennyezőanyagok, például a szállópor (PM₁₀, PM_{2,5}), a nehézfémek és egyes gázok megkötésére, illetve lebontására.

A növények légszennyezést csökkentő szerepe elsősorban a levelek felületéhez köthető. A levélfelület nagysága, morfológiai jellemzői, például szőrözöttsége, viaszréteg vastagsága, felületi érdessége meghatározzák, hogy mennyi szennyező részecske képes megtapadni rajtuk. A Budapesten végzett vizsgálatok kimutatták, hogy az egyes fafajok között jelentős eltérések vannak: a sűrűbb, szőrözöttebb vagy molyhos levelű fajok nagyobb mennyiségű port képesek megkötni, mint a sima levelűek (Szabó et al. 2023). Ebből adódóan a megfelelő fafaj kiválasztása kulcsfontosságú a városi környezetben.

Az ezüsthárs (*Tilia tomentosa*) például kiemelkedő szerepet játszik a szállópor mennyiségének csökkentésében. Ennek oka, hogy a faj levelei igencsak szőrözöttek és nagy felületen képesek megkötni a levegőben szálló részecskéket. Egyes vizsgálatok szerint a budapesti fasorok évente több tonnányi nehézfémet és port képesek kiszűrni a levegőből, ezzel jelentős mértékben csökkentve az emberi szervezetre káros anyagok koncentrációját (Agroinform, 2021). Ez különösen fontos a forgalmas városi területeken, ahol a közlekedésből származó kibocsátás dominál.

Nemcsak Budapesten, hanem más hazai városokban is végeztek hasonló vizsgálatokat. Debrecenben például az Air Pollution Tolerance Index (APTI) segítségével értékelték különböző városi fafajok szennyezés-tűrését és levegőtisztító kapacitását. Az eredmények azt mutatták, hogy bizonyos fajok, például a juharok és kőrisek, kifejezetten alkalmasak arra, hogy városi környezetben mérsékeljék a légszennyezés negatív hatásait (Molnár et al. 2020). Ezek a kutatások azt is hangsúlyozzák, hogy a városi zöldinfrastruktúra tervezésekor nem csupán esztétikai, hanem funkcionális szempontokat is figyelembe kell venni.

A fák levegőtisztító hatása nemcsak a szilárd részecskék megkötésében, hanem bizonyos gázok, mint például a szén-dioxid, ózon, nitrogén-oxidok megkötésében is érvényesül. Emellett a növények párologtatása hűti a városi mikroklímát, ami közvetett módon csökkenti a szmogképződést és mérsékli a városi hősziget-hatást. Ez különösen fontos a klímaváltozás korában, amikor a városok egyre gyakrabban szembesülnek hőhullámokkal és

extrém időjárási eseményekkel. Ezekből a kísérletekből leszűrhető, hogy a növények – kiemelten a fás szárú fajok – nélkülözhetetlen szerepet töltenek be a légszennyezés mérséklésében. A kutatások alapján kijelenthető, hogy a fajspecifikus különbségek meghatározzák a légszennyező anyagok megkötésének hatékonyságát, ezért a várostervezés során célszerű a bizonyítottan hatékonyabb fajokat előnyben részesíteni. Ez nemcsak a lakosság egészségét védi, hanem hosszú távon hozzájárul egy élhetőbb és fenntarthatóbb városi környezet kialakításához.

2.6 A nehézfémek kiülepedése

A nehézfémek környezetben történő kiülepedése komplex fizikai, kémiai és biológiai folyamatok eredménye. A légkörből származó por és aeroszol részecskék, a felszíni vizekben oldott vagy kolloid formában jelenlévő fémionok, valamint a talajból mobilizálódó szennyezők mind hozzájárulnak ahhoz, hogy ezek az elemek az üledékekben, talajban vagy a vízoszlop alsó rétegeiben gyűljenek össze. Az ülepedés kulcsfontosságú, mivel csökkenti a vizekben és talajoldatokban lévő mobilizált és biológiailag hozzáférhető fémkoncentrációt, ugyanakkor potenciális környezeti kockázatot is hordoz, hiszen kedvezőtlen körülmények, például savasodás hatására a korábban immobilizált fémek ismét mobilizálódhatnak (Martínez-Guijarro et. al, 2021).

Mi, a kutatásunk során 5 nehézfém kiülepedését vizsgáltuk, most ezeket a nehézfémeket mutatom be. Ezek a következő elemek: cink, ólom, réz, vas, nikkel. A cink főként kationként (Zn^{2+}) fordul elő a környezetben. Oldhatósága erősen függ a pH-tól, valamint a szerves anyagok jelenlététől. A vizekben a Zn ionok gyakran megkötődnek agyagásványokon, vas- és mangán-oxidokon, valamint humuszanyagokon, amik elősegítik azok ülepedését. A fejlett iparral rendelkező országokban a talajok cink tartalma folyamatosan nő, mivel a bányászat, fosszilis tüzelőanyagok elégetése és a mezőgazdasági tevékenységek során több cink jut a talajokba, mint amennyi távozik onnan. A mezőgazdaság is igen nagy mértékben hozzátesz a cink nagy mennyiségű jelenlétéhez, ugyanis a szerves és foszfát tartalmú műtrágyák, peszticidek és szennyvíziszap használata is csak növeli a mennyiségét. Ezek közül a szennyvíziszap az, ami a legnagyobb mértékben károsít, ugyanis abban nagyon veszélyes mértékben feldúsulhat a cink és onnan közvetlenül a növényekhez juthat el (Simon, 2021). Ugyanakkor savas vagy redukált körülmények között visszaoldódhatnak, mobilizálódhatnak. A cink egy igen fontos nyomelem, számos enzim működéséhez nélkülözhetetlen, továbbá fontos szerepet játszik a sejtosztódásban

és az immunrendszer működésében. A túlzott bevitel azonban gátolja más fémek, például a réz vagy a vas felszívódását, valamint fitotoxikus hatásokat is okozhat a növényekben, és akut mérgezést válthat ki vízi szervezetekben (Jaishankar, et. al, 2014).

Az ólom a környezetben főként Pb^{2+} oxidációs állapotban fordul elő, és erősen kötődik az üledékekhez és a talajásványokhoz. A karbonátokkal, foszfátokkal és szulfidokkal stabil csapadékokat képez, ezért általában nehezen mobilizálódik. A légkörből történő ülepedés során, valamint a vízfolyások részecskeszállítás révén jelentős mennyiség kerülhet a talajba és az üledékekbe. Az emberi tevékenységek hatására - mint például az ipari tevékenységek és korábban még használatos ólmozott üzemanyagok - eléggé elszennyeződtek a talajaink, vizeink és a levegő is. Az utak környékén ezért igencsak nagy ólomtartalomra lehet számítani a talajokban. Manapság viszont már egy újabb technológia, az elektromos autók gyártása miatt van nagy ólomszennyezés, mégpedig az ólomakkumulátorokból (Simon, 2021). Biológiai funkciója nem ismert, emberi szervezetben nem létfontosságú elem. Ugyanakkor súlyosan toxikus, különösen a gyermekeknél okoz idegrendszeri károsodást, kognitív képességcsökkenést és fejlődési zavarokat. Hosszú távú kitettség esetén vesekárosodás, vérképzési zavarok és karcinogén hatások is megfigyelhetők (Tchounwou et al. 2012).

A talajok rézszennyezését hasonlóan a bányászat, kohászat és a fémelőállítás légkörre gyakorolt hatása okozza. Az egyik leginkább szennyező forrás a hőerőművekben elégetett szén után keletkező hamu, amit követ a fosszilis tüzelőanyagok és szemét elégetése. Ezért például voltak olyan mérések (Simon, 2021), amik a város és vidék rézszennyezettségét mérték és a városban akár 5-10-szer magasabb réztartalom is lehet. A talajba kerülésének egy másik módja például a vezetékek, csövek korróziója miatt is bekövetkezhet. A mezőgazdaságban a réz tartalmú növényvédőszer miatt, leginkább a szőlőültetvényeknél dúsulhat fel a felsőbb rétegekben a réz. Az emberi szervezetben is fontos szerepet játszik, hiszen a vasanyagcserében és az immunrendszer működésében is segít, azonban a magas rézfelhalmozódás máj- és vesekárosodáshoz vezethet, súlyosabb esetben idegrendszeri problémákat is előidézhet. A vizekben az algákat és a halakat is veszélyezteti már nagyon kis koncentrációban is. A növényeknek is elengedhetetlen a réz felvétele, hiszen fontos szerepe van a fotoszintézisben, az anyagcsere folyamatokban. Mivel a talajoknak is a felső részében dúsul fel leginkább, ezért a növényeknél is a gyökérzet károsodik elsősorban (elszíneződik, megvastagodik) a felsőbb részeken, mint például a levél, klorózis alakul ki (Simon, 2021; Jaishankar et al., 2014).

A vas környezeti jelenléte elsősorban kétvegyértékű (Fe^{2+}) és háromvegyértékű (Fe^{3+}) formákhoz köthető. Oxidáló környezetben hajlamos oldhatatlan oxidok és hidroxidok

formájában kicsapódni, míg redukáló viszonyok között oldott állapotban maradhat. A vas az egyik legfontosabb üledékképző ásvány, mivel a keletkező oxid-hidroxid fázisok más fémek számára is megkötő felületet biztosítanak. Biológiai szempontból nélkülözhetetlen elem: központi szerepe van az oxigénszállításban, a sejtlégzésben és a fotoszintézisben. Bár toxikus hatásai ritkábban kerülnek előtérbe, ipari eredetű nagy koncentrációban oxidatív stresszt okozhat, valamint íz- és szagproblémákat idéz elő ivóvízben (Martínez-Guijarro et al., 2021).

A nikkelt főként Ni^{2+} formában van jelen a környezetben. Közepes mobilitású elem, amely gyakran kötődik agyagásványokhoz, vas-oxidokhoz és szerves anyagokhoz. A savas környezet fokozza oldhatóságát, így a kiülepedés mértéke korlátozott lehet. Biológiai szempontból elsősorban mikroorganizmusok számára esszenciális, például bizonyos enzimek (ureáz, hidrogenáz) működéséhez szükséges. Az emberi szervezet számára nem nélkülözhetetlen, ellenben toxikus hatásokkal bír: nikkellergiát, légzőszervi panaszokat, emésztőrendszeri problémákat és rákos elváltozásokat okozhat. A vízi élővilágra is káros, mivel gátolja a fotoszintézist és a növekedést (Jaishankar et al., 2014).

2.7 A leggyakoribb városi fák jellemzése

Több kísérlet (Simon, 2021), (Hrotkó et al. 2021) volt már arról, hogy melyek azok a fák, amelyek a legjobbak lehetnek egy városi környezetbe nem csak a díszítő értékük miatt, hanem amiatt is, hogy mennyire tudják megkötni a légszennyező anyagokat és tisztítani a város levegőjét. Elengedhetetlen a fák és zöld területek jelenléte, amik közül főleg a fák számos ökológiai szolgáltatást nyújtanak. Nem csak „feldobják” az ember hangulatát és szépítik a várost, hanem csökkentik a városokban kialakuló hőszigeteket és védik a városban élők egészségét is, hiszen, ha nem lennének, sokkal több megbetegedés és halál következne be a sűrűn lakott területeken (Szabó et al., 2023). Ezt elsősorban az árnyékoló hatásukkal teszik, ezzel csökkentve az energiaköltségeket, hiszen hozzájárulnak ahhoz, hogy ne, vagy lassabban melegedjen fel az aszfalt és a házak. Emellett pszichológiai hatásuk is van, mert azok, akik a városban, fás környezetben élnek, vagy gyakran látnak fát, azoknál kevésbé alakul ki agresszió, és kevesebbet vannak betegszabadságon, illetve a gyerekeknél is kisebb százalékban fordul elő ADHD. Ezek szempontok mellett fontos az is, hogy milyen fákat telepítünk a városba, mert a növények sokféle morfológiája miatt vannak fajok, amik sokkal jobban megkötik a szennyező anyagokat. A fának és a környezetének harmóniában kell lennie, mert ha ez nincs meg, mert

rossz fát ültettünk az adott területre akkor az a fa kipusztul vagy nem váltja ki a hozzá fűzött reményeket (Cavender and Donnelly, 2019).

Kelet-Közép Európa 3 leggyakrabban ültetett közepes méretű, tehát 20-30 m magasságig is megnövő útmenti sorfája az *Acer platanoides* L. 'Globosum' (gömbjuhar), *Fraxinus excelsior* L. 'Westhof's glorie' (magas kőris), *Tilia tomentosa* 'Moench' (ezüst hárs).

2.7.1 Az *Acer platanoides* L. 'Globosum' jellemzése

Az *A. platanoides* a nevéből adódóan egy gömb alakú koronát növesztő faj, amely őshazájában, a Kaukázusban 25-30 méterre is megnőhet, azonban hazánkban oltva árulják és csak 6-8 méteresre nő meg. Emiatt kifejezetten jó lehet forgalmas utak mellé is. Koronája sűrű, az 1. képen látható, hogy a levelei nagyok, tenyeresen karéjosak és nagyjából 8-20 cm átmérővel rendelkeznek, színi oldalukon simák és fényesek, fonáki oldalukon viszont szőrözöttek, ezért nagyon jó árnyékot tud adni egész évben. Elsősorban ez segít neki, hogy minél jobb megkötő képessége legyen. Korán van lombfakadása és igen magas stressztűrő képessége miatt az egyik legjobb városi útsorfa (Franceschi et al., 2023). Az *Acer platanoides* fajcsoport tagjai jól viselik az urbanizációs stresszt, így a légszennyezést, a talajtömörödést és a hősziget-hatást, ezért a 'Globosum' is széles körben ültethető belterületen. Emellett jelentős árnyékoló és porfogó szereppel bír, amely hozzájárul a városi mikroklíma javításához (Nagy, 2020). Levelei a fajra jellemzően ötkaréjúak, tavasszal vöröses árnyalatúak lehetnek, majd nyáron fényes zöldek, ősszel pedig sárga színeződést mutatnak. A virágok kora tavasszal jelennek meg, jelentős díszértéket nem képviselnek. A termés lependék, amely viszonylag kis mennyiségben fejlődik. A fajta növekedési erélye lassú–mérsékelt, talaj- és klímaigénye nem kifejezetten magas (Pásztor, 2018).



1. kép: *Acer platanoides* levele: Haimei (2025)

2.7.2 A *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' jellemzése

A magas kőris is Európában, Törökországban és a Kaukázusban őshonos fafaj, kedvező körülmények között az akár 40 méteres magasságot is elérheti és igen gyors növekedésű. A *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' a közönséges kőris (*Fraxinus excelsior* L.) nemesített

fajtája, amelyet elsősorban városi környezetben, parkokban és fasorokban alkalmaznak. Koronája széles kúpos vagy ovális alakú, részben nyitott jelleggel. Törzse egyenes, erőteljes, gyökérzete mélyre le tud hatolni a talajba, karógyökérből indul, amely oldalirányban is elágazik, ennek köszönhetően jó szélállósággal rendelkezik. Lombja páratlanul szárnyalt, rendszerint 7–13 levélkéből áll, amelyek fényes, sötétzöld színűek és 15-30 cm hosszúságúak, amit a 2. kép szemléltet. A levelek későn fakadnak, ami mérsékli a tavaszi fagyok okozta károsodást, őszi színeződésük azonban kevésbé látványos, jellemzően sárgás-barna árnyalatokban jelentkezik.



2. kép: *Fraxinus excelsior* levele, Haimei (2025)

Ökológiai igényeit tekintve a 'Westhof's Glorie' a humuszban és tápanyagban gazdag, jó vízellátottságú, többnyire meszes talajokat kedveli. Fényigényes fajta, de félárnyékban is kielégítően fejlődik. Teljesen télállónak tekinthető, az USDA 4-es zónába sorolható, így a -30°C körüli hőmérsékleteket is károsodás nélkül átvészeli. Késői lombfakadása mellett városi környezetben is előnyösnek számít az, hogy nagy, zárt lombkoronája árnyékot biztosít, ezért előszeretettel alkalmazzák utcasorfaként és települési zöldfelületek árnyékoló fájaként (Haimei, 2025). A fajta ugyanakkor, a közönséges kőrishez hasonlóan, érzékenynek bizonyult a *Hymenoscyphus fraxineus* gomba által okozott kőrispusztulással szemben. Vizsgálatok kimutatták, hogy a 'Westhof's Glorie' erősen fertőződik, és a fás részekben kialakuló nekrotízisok jelentős mértékben csökkenthetik vitalitását (Enderle et al. 2022). Ez a tulajdonság korlátozza hosszú távú felhasználhatóságát, ugyanakkor az ellenállóbb fajtákkal való kombinált ültetése továbbra is reális lehetőség városi fásítási programokban.

2.7.3 A *Tilia tomentosa* 'Moench' jellemzése

A *Tilia* nemzetséghez tartozó hársfák szintén a leggyakrabban ültetett fák közé tartoznak a városokban. A *Tilia tomentosa* 'Moench' fajta a többi hárshez hasonlóan biomonitor, mivel jelentős mennyiségű kémiai elemet, például légszennyező anyagokat halmoz fel, ezáltal nagyon jól tükrözi a városi ökoszisztémát. Nagy aszály-, por- és ipari szennyezés-tűrő képessége van, ezért ez is kifejezetten alkalmas városokba és ipari területek környékére. A hársfa egyébként a gyógyászatban is használatos, légúti megbetegedésekre és emésztőszervi kezelésekre szokták alkalmazni. Bizonyos helyeken felhasználják a gyógyászatban az utcai sorfákat is, ezért ott figyelni kell arra is, hogy jól legyenek bevizsgálva (Miroslava et al. 2023).

A *Tilia tomentosa* levele felül enyhén molyhos, a főerek mentén pedig csillagszerű szőrökkel van borítva. Fonáki részén fehéres, nemezszerű bevonat szőnyegszerű réteget képez. Az ezüst hárs levelei szív alakúak, egyszerű levelek, amelyek váltakozva helyezkednek el az ágakon, ezt a 3. kép is igazolja. Méretük körülbelül 10-20 cm hosszú és 5-10 cm széles (Haimei, 2025).



3. kép: *Tilia tomentosa* levele, oregoni egyetem, N. a.

3 Anyag és módszer

3.1 Mintavételi helyek bemutatása

A mintavételek Budapesten történtek, ahol a napsütéses órák száma 2010-2200 körül voltak, az évi átlagos csapadékmennyiség 2015-ben 600mm, 2021 és 2023 között nagyjából azonos, 450mm. A kísérlet, amelyben részt vettem a tavalyi évben, 2 mintavételi ponttal készült el, az egyik a Budai Arborétum volt, a másik pedig a Deák Ferenc tér. A levélminták begyűjtése azonban pár évvel korábban 2021 és 2023 között történt. A másik, 2015-ös kísérlet, pedig 4 mintavételi hellyel rendelkezett, amelyek a következők: Andrásy út, Karolina út, Krisztina körút, Budai Arborétum.

Ami mindkét esetben fontos volt, hogy legyen egy olyan környezet, ahol kevés külső behatás éri a fákat, kontrollként használható egyedekre volt szükségünk, erre pedig a legalkalmasabbnak a Budai Arborétum tűnt. A MATE Budai Arborétum a Gellért-hegy oldalában található. A 19. században is már fontos területnek számított, hiszen szőlőtermesztés

folyt itt, azonban a filoxéra sajnos ezt is elpusztította. 1860-ban Entz Ferenc alapította meg a Vincellér- és Kertészképző Gyakorlati Tanintézetet, amivel el is indította a mai napig fontos egyetemi életet. Maga az arborétum 1893-1894-ben kezdte meg működését és a mai napig az egyik leggazdagabb arborétuma Magyarországnak. Dendrológiai értéke hatalmas „csaknem 2000 fásszárú dísznövény fajt és fajtát, több száz hagymás virágot és csaknem 250-féle egyéb élő dísznövényt foglal magában” (<https://budaiarboretum.uni-mate.hu/>). Ez a rengeteg növény nagyjából 7,5 hektáron terül el, amit a sok-sok évtized alatt bővítettek ki ekkorára. A növények-épületek nagyjából 60-40%-os arányban vannak. Az arborétum egész területe természetvédelmi területnek lett minősítve 1975-ben és az itt található épületek és szobrok is műemléki védelem alatt állnak (<https://budaiarboretum.uni-mate.hu/>). Az arborétum környékére alacsony forgalom jellemző, a Villányi út felől jár azonban villamos és busz is, de az út mellett és az egyetem területének szélén a kerítés borostyánnal vagy sűrű lombosított fakkal van borítva, így a szennyező anyagok kevésbé tudnak bejutni. Ennek és a folyamatos védelemnek, fenntartásnak köszönhetően vannak olyan fák, amelyek több mint 120 évesek.

A Deák Ferenc tér volt Haimei Chen másik mintagyűjtési pontja. Ez azért volt jobb választás a korábbi 3 helyett, mivel itt egyszerre volt megtalálható mind a 3 faj, így azonos környezetben lehetett őket vizsgálni, hogy melyik milyen hatással van a környezetére és a környezet milyen hatással van a fákra. A Deák Ferenc tér a belvárosban, az V. kerületben található, ahol igencsak nagy a nyüzsgés, hiszen ezt a kerületet másnéven „buli negyednek” is szokták hívni. De nem csak emiatt zsúfolt sokszor, hanem amiatt is, hogy rengeteg turista jár erre a Bazilika, Fashion Street és egyéb látnivalók miatt és ezáltal nagyon nagy a gépjármű forgalom is. Sok taxi van mindig a környéken, valamint turista buszok és innen indulnak a reptéri buszok, villamos is közlekedik erre. Ezekon kívül persze még rengeteg autós jár erre, és emiatt a nagy gépjármű forgalom következményeként mindig dugók alakulnak ki itt, így tehát ez a hely erősen szennyezettnek minősül.

A 2015-ös levélminták, az arborétumon kívül, 3 helyről lettek gyűjtve, mindhárom helyről 1 fajta fáról. Az első helyszín a Krisztina körúton volt, ahonnan *Acer platanoides* minták kerültek begyűjtésre. Az Erzsébet hídtól a Széll Kálmán térig tart a körút, ami jellegét tekintve inkább sugárút, illetve nem is csatlakozik egyetlen körútszerkezethez sem (egy nagyon kis szakaszt leszámítva). Nagyrésze az I. kerületben, míg egy kisebb hányada a XII. kerületben található. Forgalmát tekintve egy eléggé forgalmas útnak tekinthető, ugyanis a Pesti oldalról nagyon sokan erre felé jönnek át, illetve fordítva, ezen az úton mennek át oda, főleg amióta a Lánchíd nem használható, csak taxik és buszok számára. A Széll Kálmán térhez közelebbi

részénél folyamatos dugók vannak, mert a városból Hűvösvölgy felé nagyrészt erre mennek ki az emberek, illetve a Széll Kálmán tér is nagyforgalmú utak felé vezet tovább. Itt található meg a Déli Pályaudvar is, ami a Balatoni közlekedés elengedhetetlen csomópontja, és nem mellesleg nagyon sok tömegközlekedési eszköz is megfordul erre. Számszerít 15 különböző számjelzésű villamos és busz jár erre, ami szintén növeli a környék levegőjének a szennyezettségét. De nem szabad elfelejteni, hogy azért sok zöld terület is található itt, akár a Déli pályaudvarral szemben, akár a Vár alatt és azzal szemben lévő parkosabb területek.

Következő helyszín az Andrássy út volt, ahonnan a *Fraxinus excelsior* fáról lettek gyűjtve minták. Az Andrássy út is nagy forgalommal van terhelve folyamatosan és hasonló környezeti hatások érik, mint a Deák Ferenc teret, ugyanis az egyik vége ide csatlakozik be. A Deák Ferenc térrel együtt mindkét helyszín teljesen beépített, lakóházak és üzletek vannak mindkét oldalán. Az út két oldalán fasor található, ami árnyékot tud adni a sok embernek, akik erre sétálnak. Az Andrássy út szintén sok turistát vonz több okból is. Az egyik, a már korábban említett Deák Ferenc tér, a másik pedig a túlsó végén elhelyezkedő Hősök tere. Nem szabad elfeledkezni az Operáról sem, illetve a renget luxus divatmárkáról sem, amiknek üzletei megtalálhatóak az út mindkét oldalán. Nyugodtan mondhatjuk, hogy ez a helyszín is kitűnő választás volt, hiszen buszok és autósok tömegei járnak erre is és szennyezik vele a levegőt.

Utolsó helyszíneként pedig a Karolina útra esett a választás, amely a Villányi úttól a Bartók Béla út/Tétényi út kereszteződéséig tart. Forgalmát tekintve szintén egy nagy forgalmú útnak tekinthető, keresztezi a Nagyszőlősi utat, ami az M1/M7 autópályák felé vezet. Járnak rajta buszok, de leginkább azért okoz a sok autó légszennyezést, mivel csak két sávós, így csak lassan tudnak haladni rajta az autók és itt is nagyon sok dugó alakul ki. Kicsit enyhít a szennyezésen, hogy a két út közötti rész zöldterülettel van elválasztva és egy kisebb park is található mellette. Beépítettsége igen nagy, az út mentén majdnem végig épületek és lakóházak találhatóak.

3.2 A kísérlet bemutatása

A levélminták gyűjtése mindkét kísérlet során közel azonos módon történt, figyelve a fák életkorát és egészségi állapotát. 2015-ben tavasszal és ősszel is, míg 2016-ban csak ősszel történtek meg, csapadékmentes napokon, a fák alsóbb, nagyjából 3 méteres magasságban lévő leveleikről. 2021-2023-ban tavasszal, nyáron és ősszel is gyűjtöttek levélmintákat, 2023-ban mindhárom évszakban kétszer is. Ezek után a levélmintákat a laboratóriumba szállították és egy

levélfelület meghatározó gép (ADC BioScientific Ltd Area Meter AM350) segítségével lemérték őket és a felületükön kiülepedett por mennyiségét. Ezután fajtákra, helyszínekre és kisebb csoportokra bontva 250 cm³ desztillált vizes oldatba lettek lemosva és áztatva 24 órára. Az 1 nap elteltével 10 percig egy ultrahangos rázatás következett az UC005 AJ1, Tesla ultrahangos kompakt tisztító géppel. Az így keletkezett porkeveréket 2,0-4 µm méretű szűrőpapíron való szűrés után két részre osztottak, az egyiket, 25 ml-t egy főzőpohárba helyeztek, majd homokfürdőben párologtatták, amíg az súlyállandóságot elérte. A következő lépés a folyamatban az volt, hogy a főzőpoharakat lemérték üresen, a mérések előtt, majd ezt követően a szuszpenzióval együtt is megmérték a poharakat, az adatokat feljegyezték, végezetül pedig a szuszpenzió elpárolgása után is lemérték a poharakat és az ebből származó adatokat is felírták. A főzőpoharakat elektromos mérlegen mérték, melynek kimutatási határa 100 µg volt. Az így keletkezett szálló port, a nehézfémek meghatározására és mérésére további vizsgálatoknak vetették alá. A másik félretett leszűrt mintát kémiai analízisnek vetették alá, vagyis megmérték a kémhatását (pH), a fajlagos vezetőképességét (EC), sótartalmát és néhány ion mennyiségét is. Ezek az ionok az alábbiak voltak: kloridion (Cl⁻), ammóniumion (NH₄⁺), szulfácion (SO₄²⁻), és nitrácion (NO₃⁻). A kémhatást és a vezetőképességet a Mettler Toledo™ SevenGo Duo készülékkel, míg az ionok koncentrációját kémiai reakciónak vetették alá, majd spektrofotométerrel mérték. A kloridion koncentrációját Mohr-módszerrel határozták meg. A nyomelemek tartalmának meghatározása különböző mintatípusokon történt, szárított porlerakódásokon, levélmintákon, ágmintákon és talajmintákon. Mindegyiknél nedves roncsolásos eljárással zajlott a lentebb leírt módon. Majd a bepárlás után, a porlerakódások esetében 5 ml 65%-os salétromsavat (HNO₃) és 1 ml 30%-os hidrogén-peroxidot (H₂O₂) adagoltak lombikba, majd ezt a keveréket roncsolóberendezésbe helyezték. A levél-, ág- és talajmintákat ledarálták és 1-1g-ot kimértek belőlük és szintén lombikba helyezték. Majd ehhez is salétromsavas és hidrogén-peroxidos oldatot adtak, 10 ml és 4 ml arányban. Ezután roncsoló készülékbe helyezték a mintákat, ahol 130 °C-on 1,5 órán keresztül roncsolták. A roncsolás befejeztével és a minták lehűtése után desztillált vízzel hígították őket: a finom por mintákat 10 ml-re, míg a levél-, ág- és talajmintákat 100 ml végső térfogatra. Az így előkészített oldatokat szűrés után további elemzésre használták fel. A szűrletből a nyomelemek: réz (Cu), vas (Fe), nikkell (Ni), ólom (Pb) és cink (Zn) koncentrációját atomabszorpciós spektrofotométerrel (AAS) határozták meg, AURORA AI 1200 típusú készülékkel. Az AAS levegő-acetilén lánggal működött, és deutérium (D₂) háttérkorrekciót alkalmaztak a mérések során. A berendezés mérési pontossága 0,5%.

3.3 Az atomabszorpciós spektrofotométer bemutatása

A modern analitikai kémia számos módszert kínál az anyagok összetételének, valamint az egyes atomok, molekulák és komponensek koncentrációjának meghatározására. Az alkalmazott analitikai technikák között kiemelt szerepet töltenek be az atomspektroszkópiás eljárások, amelyek közé sorolható az atomabszorpciós (fényelnyelésen alapuló) spektrofotometria is. Az atomabszorpciós spektrometria (AAS) olyan analitikai módszer, amely alkalmas különösen fém-elemek nyomelem-koncentrációjának meghatározására folyadékból, illetve bizonyos esetekben szilárd mintából. Az atomkoncentráció meghatározására különféle spektroszkópiai módszerek állnak rendelkezésre, mint például az emissziós spektrofotometria vagy a fluoreszcencia-alapú eljárások. Az abszorpciós spektrofotometria azonban abban különbözik ezektől, hogy a mérés során nem a fénykibocsátást, hanem a fényelnyelés mértékét vizsgálják. Ebben az esetben a fényforrás külső, és az atomok gerjesztése a beérkező fény energiájának elnyelése révén valósul meg.

Az atomabszorpciós spektroszkópia (AAS) egy rendkívül érzékeny és megbízható műszeres analitikai technika, amely mintegy 70–80 különböző elem minőségi és mennyiségi meghatározására alkalmas. Az eljárás egyik lényeges jellemzője, hogy monoelemes módszer, tehát egy adott mérés során kizárólag egy elem koncentrációja határozható meg. Az AAS különösen jól alkalmazható nyomelemek kimutatására, mivel nagy pontosságot és alacsony kimutatási határt biztosít (Záray et al. 2019).

A módszer alapelve, hogy a vizsgált elem a mintában termikus energia hatására szabad atomokká alakul. A keletkező atommögön ezután az adott elemre jellemző hullámhosszúságú fénysugarat bocsátanak át. A fény egy részét az atomok elnyelik, ami az áthaladó fény intenzitásának csökkenésében mutatkozik meg. Lakatos et al. (2015) leírása alapján az elnyelés mértéke arányos a fényelnyelő atomok koncentrációjával, amelyet a Lambert–Beer törvény alkalmazásával számszerűen meghatározhatunk. Az abszorbancia (**A**) egy olyan, műszeres méréssel meghatározható fizikai mennyiség, amely a fény intenzitásának csökkenését fejezi ki, miután a fény egy anyagi közegen halad át. Az összefüggést a Lambert–Beer törvény írja le, amely szerint az abszorbancia a beérkező (**I₀**) és a kilépő (**I**) fényintenzitás hányadosának tízes alapú logaritmusaként határozható meg, vagyis $A = \lg(I_0 / I)$. Ez a kifejezés azt jelenti, hogy az abszorbancia értéke közvetlenül jellemzi a fényelnyelés mértékét: minél nagyobb az elnyelés, annál nagyobb az abszorbancia. A fényelnyelés és a vizsgált elem koncentrációja közötti kapcsolatot szintén a Lambert–Beer törvény írja le, amely az $A = \epsilon \times c \times l$ egyenlettel fejezhető

ki. Ebben az összefüggésben az ϵ a moláris abszorpciós együttható ($\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), amely egy adott anyagra jellemző állandó; a c a vizsgált anyag vagy elem koncentrációja ($\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) az adott közeg egységnyi térfogatában; míg az l az optikai úthossz vagy rétegvastagság (cm), azaz az a távolság, amelyen keresztül a fénynyaláb az elnyelő közegen áthalad. A moláris abszorpciós együttható értéke anyagspecifikus, vagyis az adott atomra vagy molekulára jellemző állandó (Német, 2010; Együd, 2016).

Az optikai úthossz nagysága a gyakorlatban rendszerint 1 és 10 centiméter közötti értékek között változtatható, a mérési körülményekhez és a minta tulajdonságaihoz igazodva. Az alapállapotú atomok esetében az összes elektron a számára megengedett legalacsonyabb energiaszintű pályán helyezkedik el. Ebben az állapotban az atom nem képes fényt kibocsátani, ugyanakkor képes meghatározott hullámhosszúságú fényt elnyelésére. Ennek következtében az atomabszorpciós spektrofotometriás mérések során az adott elemre jellemző hullámhosszú fénysugárral kell megvilágítani a mintában található atomokat. A besugárzás hatására az atomok gerjesztett állapotba kerülnek, ami azt jelenti, hogy bizonyos elektronjaik magasabb energiaszintű pályára lépnek. Ezt követően az elektronok visszatérnek eredeti, alapállapotú pályáikra, miközben meghatározott energiájú fotont bocsátanak ki. Ez a folyamat képezi az emissziós spektroszkópia alapját, ahol a kibocsátott fény intenzitását mérik (Ferreira et al. 2017).

Ezzel szemben az atomabszorpciós spektrofotometriában a beérkező fény intenzitásának csökkenését vizsgálják, vagyis a fényelnyelés mértékét határozzák meg. Az atomok gerjesztése során rendkívül összetett, számos színképvonalat tartalmazó spektrum jön létre, azonban a mennyiségi meghatározásokhoz kizárólag a legkisebb gerjesztési energiájú, úgynevezett rezonanciavonalat alkalmazzák. Ez biztosítja a mérés pontosságát és reprodukálhatóságát, mivel ez a vonal a legnagyobb intenzitású és legjellemzőbb az adott elemre nézve. Felépítésének alapvető részei az optikai rendszer, az atomizáló egység, a detektor, a jelfeldolgozó elektronika, valamint a kijelző vagy számítógépes adatfeldolgozó rendszer. Az optikai rendszer a fényforrástól egészen a detektorig terjed, feladata a fényvezetés, a hullámhossz kiválasztása és az elnyelés mértékének mérése. A fényforrás rendszerint üreghatód-lámpa (más néven vájtkatód-lámpa), amely inert gázzal – például neonnal vagy argonnal – van töltve. A lámpa két fő elektródból, anódból és katódból áll; utóbbi az elemre jellemző fémből készül, ezért minden vizsgált elemhez külön, specifikus üreghatód-lámpa szükséges. A katód anyagára jellemző hullámhosszúságú fény a rendszerben tovább halad, áthalad a szaggatón, majd az atomizáló egységen, ahol a mintából származó atomgökök elnyelik

a fényt. Az elnyelés mértéke arányos a mintában jelenlévő vizsgált atomok koncentrációjával. Az atomizáló egység célja, hogy a folyékony halmazállapotú mintát szabad atomokká alakítsa, ezáltal lehetővé téve a fényelnyelés mérését (Német, 2010).

Az atomizálás jellemzően termikus úton, magas hőmérsékleten történik. A legelterjedtebb eljárás a lángatomizálás, amely során az oldatot porlasztva juttatják be az égőbe, ahol az éghető és oxidáló gáz elegye (legtöbbször acetilén-levegő) biztosítja a megfelelő hőmérsékletet. Az ilyen típusú mérés a lángatomabszorpciós spektrofotometria (FAAS) elvén alapul. A módszer viszonylag egyszerű, gazdaságos és laboratóriumi körülmények között könnyen kivitelezhető. Az acetilén-levegő láng hőmérséklete elérheti a 2300 °C-ot, amely elegendő mintegy harminc különböző elem atomizálásához. Az égőfej kialakítása réses, ami biztosítja, hogy a fény pontosan a láng azon tartományán haladjon át, ahol az atomkoncentráció a legnagyobb, így növelve a mérés pontosságát. A fejlettebb, nagyobb érzékenységgű technika a grafitkemencés atomabszorpciós spektrofotometria (GFAAS), ahol az atomizálás egy fűtött grafitcsőben megy végbe. Ez a módszer alkalmas rendkívül kis koncentrációk, azaz ppb (part per billion) nagyságrendek meghatározására, míg a lángatomizálás elsősorban ppm (part per million) tartományban nyújt megbízható eredményt. A GFAAS rendszerek tehát pontosabbak, azonban drágábbak és bonyolultabb felépítésűek (Ferreira et al. 2017).

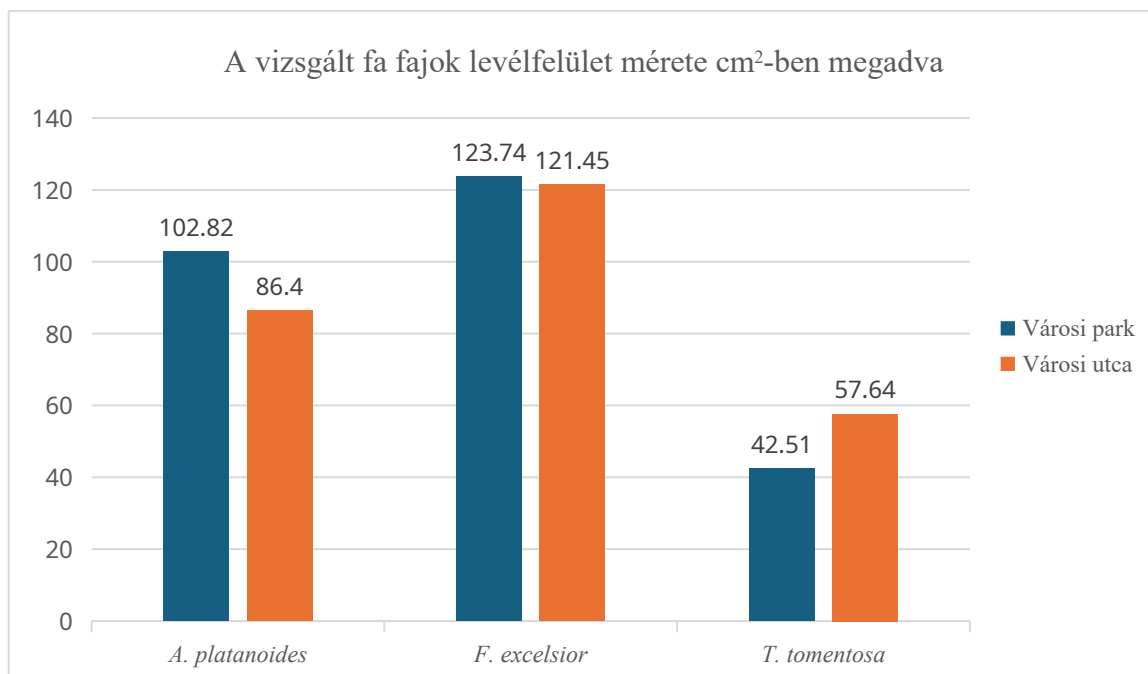
A Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszéken egy FAAS típusú készülék működik, amely acetilén-levegő elegy lángját alkalmazza az atomizálás során. A fény az atomizáló egységen való áthaladás után a monokromátorba kerül, amely a beérkező fényt hullámhossz szerint felbontja, és kiválasztja az elemre jellemző abszorpciós vonalat. Csak a kiválasztott, monokromatikus fény jut el a detektorhoz, mivel a többi hullámhossz zajként jelenne meg, és torzítaná a mérést. A detektor az ultraibolya és látható fény tartományában működik, ezért legtöbbször fotonelektron-sokszorozót alkalmaznak, amely a fényenergiát elektromos jellé alakítja. Emellett elterjedtek a félvezető alapú szilárdtest-detektorok is, amelyek szilíciumon alapuló anyagszerkezetük révén hatékonyan továbbítják a fény- és elektromos jeleket. Az így létrehozott elektromos jelet a jelfeldolgozó egység dolgozza fel. Az elektronika kiszámítja az abszorbancia értékét a Lambert–Beer törvény alapján, a bejövő és a kilépő fényintenzitások arányából. A rendszer logaritmikus erősítő segítségével felerősíti a jelet, majd kiszűri a mérés során keletkező zajokat, hogy minél pontosabb eredményt kapjunk. A végső abszorbancia-érték ezután a kijelzőn jelenik meg. A Tanszéken használt rendszer esetében a kijelző szerepét egy számítógép tölti be, amely nemcsak a mérési eredmények megjelenítését teszi lehetővé, hanem a műszer paramétereinek beállítását, az adatok tárolását, valamint statisztikai feldolgozását is. A

szoftver képes kalibrációs görbék készítésére, grafikus megjelenítésre, továbbá a mérési idő és az ismétlések számának beállítására, ezáltal elősegítve a mérések pontosságát és reprodukálhatóságát (Együd, 2016).

4 Eredmények és tárgyalásuk

4.1 Levélfelület

A levélfelület meghatározásának fontos része volt a kísérlet sikerességében, hiszen nem mindegy, hogy a vizsgált fának a levele mekkora felületen tud légszennyező anyagokat, nehézfémeket és port megkötni, tisztítani a levegőt.



1. ábra: saját szerkesztés Haimei (2025) adatok alapján

Az 1. ábra mutatja, hogy a fákról gyűjtött leveleket fajok szerint, illetve gyűjtési környezetük szerint bontották szét. Az *A. platanoides*-nél a levélfelületek mérete parkban gyűjtött levelek esetében $\pm 27,59$ cm², utcafáról gyűjtött levél esetében $\pm 20,51$ cm²-rel ingadoztak a megadotthoz képest. A *F. excelsior* fajnál a parkfáknál $\pm 20,31$ cm²-rel, az utcafák esetében $\pm 18,70$ cm²-rel eltérő levélméretet is voltak. A *T. tomentosa* leveleinél pedig parkfa esetében $\pm 8,04$ cm², utcafa esetében $\pm 11,04$ cm² eltérésekkel találkoztak. Az *A. platanoides* vizsgálatánál azt lehet látni, hogy a parkból gyűjtött leveleknek nagyobb a felületük, mint az utcai fának, ezért az volt a feltételezés, hogy a Deák Ferenc téren több napsugárzás éri a leveleket, ezért a párolgás csökkentése érdekében kisebb leveleket növesztett a fa. A *T.*

tomentosa ellenben fordítva, városi környezetben, a nagyobb stressz hatására nagyobb méretű leveleket fejleszt, így alkalmazkodva a környezetéhez. A *F. excelsior* leveleinek vizsgálatakor olyan eredmény jött ki, hogy a levelek mérete közel azonos volt mindkét hely esetében. Következtetésként levonható, hogy ennél a fajnál mindegy a környezeti hatás, azok nem befolyásolják a növény habitusát. Ezeknél a méréseknél is már látszódik, hogy nem mindegy a fajtaválasztás. A 2015-ös kísérlet idején picit eltérően alakultak a levélfelületek. A *F. excelsior* átlagos levélfelülete az arborétumban $154,98 \text{ cm}^2$, az Andrássy úton pedig $152,64 \text{ cm}^2$ volt. Méretük picivel nagyobb Haimei Chen (2025) méréseihez képest, viszont ugyanazt láthatjuk, hogy a parkos területen gyűjtött levelek nagyobb felülettel rendelkeznek minimálisan az utcai fákéhoz képest. A hársfa levelénél 2015-ben azonos levélfelületet mértek $56,76 \text{ cm}^2$ és $57,2 \text{ cm}^2$, de a 2021-2023-as méréseknél eltérés volt a levelek méretében a gyűjtési helyhez képest. Juhar tekintetében ellentétes eredményt láthatunk, 2015-ben az arborétumból gyűjtött levelek átlagos felülete $94,81 \text{ cm}^2$ a Krisztina körútról gyűjtötteké pedig $124,57 \text{ cm}^2$. Itt pont fordítva történt, mint a 2021-2023-as mérések idején, ahol is az arborétumban található fáknek volt nagyobb felületű levelük.

4.2 A levelekről lemosott por mennyisége

Másik ilyen mérés, ahol eltérő eredmények születtek a levelek felületéről lemosott por mértékében volt. Hrotkó et al. (2021) méréseiben az azonos fajták, de különböző gyűjtési helyeik között nagy különbség nem volt. A 1. táblázatban láthatjuk, hogy a forgalmas utak mentén lévő fák minden esetben magasabb szállópor koncentrációt mutattak, mint az arborétumi fajták. Eltérés van viszont a fafajták között, ami alátámasztja a korábban leírtakat, miszerint számít, hogy milyen fajokat ültetünk a városban. A juhar és a kőris esetében nagyjából azonosak lettek az értékek átlagosan $79,50 \text{ mg m}^{-2}$ és $68,70 \text{ mg m}^{-2}$, de a hárs már magasabb értéket mutat, ott átlagosan 111 mg m^{-2} por rakódott le. Ez azt bizonyítja, hogy simább levelű fajoknak a levelén kevesebb por tud lerakódni, mint a szőrözöttebb fajoknál. A hárs ezáltal igen jó fajnak minősül pormegkötés szempontjából. Haimei Chen (2025) adatai a 2. táblázatban eléggé eltérnek a korábbi mérésektől, főleg, ha azt nézzük, hogy míg korábban a hárs tartalmazta a legtöbb port, addig 2021-2023 között már itt lettek a legalacsonyabbak a mérések a többi fajhoz képest. Viszont így is nagyobb szennyezés tapasztalható rajtuk, mint korábban, a hárs esetét leszámítva, ahol most minimális csökkenés látható 111 mg m^{-2} -es átlagról parkfa esetében $82,80 \text{ mg m}^{-2}$ -re, míg utcai fa esetén $88,7 \text{ mg m}^{-2}$ -re csökkent. Átlagosan nézve az

értékek másfél-kétszeres értékre nőttek, ami szintúgy betudható annak, hogy az idő elteltével nagyobb lett a forgalmi közlekedésből származó szennyezés.

1. táblázat: Levelekről lemosott por mennyisége (mg m^{-2})
(Forrás: Hrotkó et al. 2021)

Mintavétel	<i>Acer</i> Arbor		<i>Acer</i> Krisztina		<i>Fraxinus</i> Arbor		<i>Fraxinus</i> Andrássy		<i>Tilia</i> Arbor		<i>Tilia</i> Karolina		Átlag
Tavasz 2015	66,5	ab	88,3	abc	67,1	ab	76,5	ab	102,5	bcd	116,9	bcd	86,3
Ősz 2016	81,8	ab	81,3	ab	58,6	a	72,6	ab	94,5	abc	130,0	d	86,5
Átlag	74,2	a	84,8	ab	62,8	a	74,6	a	98,5	bc	123,5	c	

2. táblázat: Levelek felületéről lemosott por mennyisége (mg m^{-2})
(Forrás: Forrás: saját szerkesztés, Haimei Chen 2025, adatok alapján)

Fafaj	<i>A. platanoides</i>	<i>F. excelsior</i>	<i>T. tomentosa</i>
Parkfa	102,50	135,80	82,80
Utcafa	237,40	209,40	88,70

Összevethető még évekre lebontva a 1. táblázat és az 3. táblázat, ahol láthatjuk, hogy a 2021-es évben nagyon alacsony mennyiségek jöttek ki. Ez amiatt történt, mivel 2021-ben először megszáritották a leveleket és csak utána áztatták be desztillált vizes oldatba, míg 2022-ben és 2023-ban a minták begyűjtése után egyből oldatba tették a leveleket. Innen látszik, hogy a már száraz levelekről sokkal nehezebben oldódnak le a por szemcsék, mint a friss levelekről. Ez rámutat arra, hogy ősszel fontos minél hamarabb eltávolítani a lehullott leveleket, mivel, ha jön egy esős időszak, akkor a levelekről könnyen lemosódnak a finom részecskék. A *T. tomentosa* mindhárom évben a legalacsonyabb értékű faj lett. 2021-ben és 2022-ben az *A. platanoides* és a *F. excelsior* közel azonos mennyiségű port kötött meg. 2023-ra azonban ezek között is nagyobb különbség alakult ki. A kőris esetében több mint háromszor annyi por rakódott a levelekre, mint a juharnál, ami amiatt történhetett, hogy az egyszerre áztatott levelek száma 5 db-ra csökkent, így valószínűleg jobban tudtak oldódni. Egyéb észrevétel, hogy 2023 egy csapadékosabb év volt az előző kettőhöz képest, ezáltal látható egy csökkenés a juharfa esetében, amivel arra a következtetésre jutottam, hogy a csapadék a por nagyrészt lemosa. Ez mutatja azt, hogy egy esős időszak hasznos a légszennyezés visszaszorítására, mivel lemossa a fák leveléről a port, így azt nem hordja szét a szél, illetve a levelek telítettségét csökkenti, tehát több port képesek újra megkötni. A *T. tomentosa* nem mutatott szignifikáns különbséget a

csapadékosabb időjárás idején, ami azért lehetett, mert a levelek szőrözöttsége miatt kevésbé tudta lemosni az eső a port.

3. táblázat: Levelekről lemosott por mennyisége évekre lebontva (mg m^{-2})
(Forrás: saját szerkesztés, Haimei Chen 2025, adatok alapján)

Fafaj	<i>A. platanooides</i>	<i>F. excelsior</i>	<i>T. tomentosa</i>
2021	27,40	29,60	36,80
2022	171,10	171,90	85,70
2023	100,20	344,30	90,00

4.3 Nehézfém tartalom a növények levelén a por lemosása után

Haimei Chen (2025) kutatása során csak a Deák Ferenc téren lévő fákról gyűjtött levélmintákat, mivel ott mindhárom fafaj megtalálható és nagy forgalomnak vannak kitéve. Ezért az összehasonlítás során a 2015-ös kísérletből elsősorban az Andrassy útról gyűjtött mintákat vizsgálom, mivel az van a legközelebb a Deák Ferenc térhez, de kitekintek a többi helyről gyűjtött mintákra is.

Hrotkó et al. (2021) méréseinél a tavaszi és őszi mintákban magas eltéréseket lehet találni bizonyos nehézfémek esetében. Ilyen például mindegyik faj esetében az ólom és a vas, amik hozzávetőlegesen a kétszeresükre nőttek az őszi időszakra. Megfigyelték, hogy az idősödő leveleken ezek a nehézfémek mindig magasabb szintre nőnek őszi, ami betudható egy természetes, öregedési jellegnek is, azonban ezek közel 100%-ban a leveleken találhatóak, így a légköri szennyezés útján is megtapadhatnak a leveleken. A nikkel tartalom a juhar és a kőris esetében csökkent az őszi időszakra, a hárs esetében viszont ugyanannyi maradt. A cink és réz esetében csökkenést vagy minimális hasonlóságot tapasztalhatunk a tavaszi és őszi mintáknál, ami egyezik a feltevésével, miszerint azok a vegetációs időszak elején szükségesek a növények számára.

A 4. táblázatban átlagoltam a kapott eredményeket, a könnyebb összehasonlítás miatt. Már itt is láthatunk érdekes eredményeket a fajták között. Réz, vas és ólom esetében a hárs volt kiemelkedő, ennél mérték a legmagasabb értékeket. A cinknél viszont ennek volt a

legalacsonyabb az értéke. A kőrisnél pedig a vas értéke van a többihez képest jóval alacsonyabb értéken, az ólom és a réz csak minimálisan van a juhar mérési adatai alatt. Így közel tíz év különbséggel olyan eltérő eredmények jöttek ki, mint például a vas értéke, ami az *A. platanoides* esetében a tizedére csökkent. Összehasonlítva ezeket a 5. táblázatban látható Haime Chen (2025) méréseivel azt vehetjük észre, hogy igen nagy eltérések is tapasztalhatóak bizonyos nehézfémeknél. Egyik ilyen a vas, ahol is átlagosan a tizedével kevesebb vas részecske volt megtalálható a Deák Ferenc téren gyűjtött fákon. Hasonlóképpen történt ez a nikkell és az ólom esetében is, viszont itt fordítva, tíz vagy akár hússzoros növekedést is láthatunk. A cinknél is csökkenés tapasztalható, bár kisebb mértékben, mint a vasnál, réz tekintetében pedig nagyjából azonos értékeket láthatunk. Kivétel ez alól a hárs, aminek réz tartalma a kétszeresére nőtt. Ezek az adatok elég érdekesnek tünnek számomra, azonban ne felejtjük el, hogy 2021-ben még covid-járvány volt, ezáltal kevesebb autó és gépjármű járt az utakon. Feltételezhető tehát, hogy azért mértek ennyivel alacsonyabb értéket a vas esetében, mert nem volt annyi gépjármű az utakon, ezért kisebb mértékben szennyezték a levegőt. Fontos észrevétel, hogy a gépjárműforgalom csökkenése mennyire befolyásolni tudja a nehézfémek jelenlétét és javítani a levegőminőséget. A covid-járvány ideje alatt több megapolisz levegője kitisztult és jobb levegőminőségi értékeket mértek szerte a világon, már a lezárások első napjaitól.

4. táblázat: A fajták levelének nehézfém-tartalma, a levelek felületén kiülepedett por lemosása után (mg kg^{-1})
(Forrás: saját szerkesztés, Hrotkó et al. 2021, adatok alapján)

Fafaj	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
<i>A. platanoides</i>	13,87	197,50	1,05	1,25	32,45
<i>F. excelsior</i>	12,23	165,00	1,52	1,22	26,65
<i>T. tomentosa</i>	20,75	206,00	1,30	1,50	20,08

5. táblázat: Nehézfémek kiülepedése a leveleken, a lemosott por után (mg kg⁻¹)
(Forrás: Haimei Chen 2025)

Species	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
<i>A. platanoides</i>	19.49±23.16	21.04±15.57	20.19±19.35	18.38±36.68	5.11±4.96
<i>F. excelsior</i>	10.46±8.95	19.58±22.62	12.33±12.02	13.56±24.42	3.09±3.01
<i>T. tomentosa</i>	46.64±37.94	31.25±24.47	45.29±29.18	14.33±32.57	11.46±9.00

5 Következtetés és javaslatétel

A kutatási eredményeimet kiértékelve arra a következtetésre jutottam, hogy a városi zöldfelületek fontos szerepet játszanak a levegőminőség javításában és a légszennyező anyagok megkötésében. Ilyen anyagok a nehézfémek, amik elsősorban az ipari tevékenységek és a közlekedés következtében keletkeznek, illetve a szálló por (PM), ami természetes eredetűként vulkáni hamuból, antropogénként pedig fosszilis anyagok elégetéséből, ipari tevékenységekből származik. A mérési adatok alapján megfigyelhető volt, hogy a különböző fajok között lényeges eltérés mutatkozik a por- és nehézfém-tartalom felhalmozódásában. Az *Acer platanoides* esetében volt látható a legnagyobb pormegkötő képesség, amit a korai lombfakadása és a közepesen nagyméretű sima levelei okoztak. A *Fraxinus excelsior* a juharhoz képest mérsékeltebb eredményeket mutatott, ami azzal állhat összefüggésben, hogy ez a faj érzékenyebb, rosszabbul tűri a városi stresszt. Hiába a kőrisnek voltak a legnagyobb levelei, a rosszabb stressztűrés miatt ez a faj a legkevésbé alkalmas a városba, a vizsgált három faj közül. A *Tilia tomentosanál* a levelek szőrözöttsége befolyásolta leginkább a lemosódás mértékét, ugyanis a csapadékos időszakokban sem csökkent jelentősen a levelén lévő por mennyisége. Ez arra utal, hogy hosszabb ideig képes megőrizni a már megkötött részecskéket, mint a másik kettő faj.

Az időbeli összehasonlítás alapján megállapítható, hogy az elmúlt években a légszennyezettség mértéke nem nőtt kiugró mértékben. Ennek egyik lehetséges oka, hogy szigorúbb környezetvédelmi szabályozások vannak, a zöldfelületeket próbálják folyamatosan növelni és persze egyre több elektromos autó van jelen az utakon. Nagy figyelmet fordítanak az egyéb környezetbarát közlekedési infrastruktúra fejlesztésére, ilyenek például a bérelhető biciklik, elektromos rollerek és bérelhető elektromos autók. Ugyanakkor a forgalmas utak mentén gyűjtött mintáknál továbbra is jelentős szennyezettség figyelhető meg, ami rávilágít

arra, hogy a közlekedési eredetű károsanyag kibocsátás továbbra is domináns szerepet tölt be a városi légszennyezésben.

Javaslatként megfogalmazható, hogy a városi zöldfelületek fejlesztésénél nagy figyelmet kell fordítani a por- és nehézfémmegekötés szempontjából hatékonyabb fajok arányának növelésére, mint például az *Acer platanoides* és a *Tilia tomentosa*. Még hatékonyabb hatást lehet elérni, ha a tervezés során vegyes fajösszetételt alkalmaznak a nagyobb morfológiai változatosság miatt. Ezáltal a fajok kiegészíthetik egymást és még nagyobb védelmező hatást tudnak elérni. Javasolom a rendszeres levél- és talajmintavételeket, laboratóriumi vizsgálatokat, hogy jobban nyomon lehessen követni a városi levegő minőségét. Fontos lenne a fák folyamatos gondozása, öntözése, így azok kevésbé lennének kitéve a városi stressznek és hatékonyabban tudnának fejlődni.

6 Összefoglalás

A szakdolgozatom végéhez érve összefoglalom a korábban leírtakat. Először is beleástam magam a szakirodalmi témába és kutatni kezdtem, hogy mitől is alakul ki a légszennyezés és annak milyen formái és hatásai lehetnek ránk, emberekre és a környezetre. Megnéztem, hogy a legnagyobb faktor, a közlekedés milyen hatást gyakorol egy város élhetőségére. Megvizsgáltam, hogy milyen anyagok azok, amik leginkább károsítják a levegőt és hogy azoknak milyen egyedi tulajdonságaik vannak. A növények szerepét is fontosnak tartottam megnézni, mivel azok minden városnak alappillérei, hogy legyenek zöldterületek. Ezután tovább kutattam a témám két fontos részét, a nehézfémeket és a városi növények kapcsolatát. Ezek után a kísérlet folyamatának leírását tartottam fontosnak, hogy bemutassam, milyen körülmények között vizsgáltuk a növényeket, amit a két kísérlet összehasonlítása követett. Megnéztem külön a 2015-ös adatokat is, külön a 2021-2023 közötti adatokat és egyben összevetve a két kísérletet, hogy kiderüljön milyen változások történtek az eltelt idő alatt. Az eredményekből sok hasznos információ született meg. Először is fontos, hogy milyen fákat ültetünk, mivel azok levélfelülete, morfológiája nagy hatással van arra, hogy milyen mennyiségű finom részecskét és nehézfémet tudnak megkötni. Mindhárom fajnál vannak szembetűnő értékek, mivel a *Tilia tomentosa* szőrözöttsége nagy mennyiségű port képes megkötni és azokat hosszú ideig tartani. Az *Acer platanoides* a nagy pormegkötő képességével hasznos városi fa, mivel nagy mennyiségű port és nehézfémet képes a nagyobb méretű levelein megkötni. A *Fraxinus excelsior* kicsit háttérbe szorul a másik két fajhoz képest, mert rosszabbul tűri a stresszhatásokat, azonban odafigyelés és jobb gondozás mellett szintén nagyon jó városi

fa lehet belőle. Fontos megemlíteni, hogy valószínűleg azért nem lettek annyira kiugró adatok, mint sokan gondolnák, mert a város is igyekszik élhető környezetet biztosítani az itt élők számára, így odafigyelnek a városi zöldinfrastruktúra fejlesztésére, illetve a közlekedés zöldebbé tételére elektromos autók bérlésével, illetve környezetbarát közlekedési eszközök számának a bővítésével. Végző gondolatom, hogy a közlekedés még mindig nagy faktora a városi levegő magas szennyezettségének és amennyiben nem teszünk az ellen, hogy ezen csökkentünk, akkor szépen lassan a növények már nem fogják tudni megkötni és visszatartani a légszennyező anyagok terjedését, ami miatt még rosszabb és károsabb levegője lesz a városnak.

7 Irodalomjegyzék

Agroinform.hu - <https://www.agroinform.hu/hazikert/az-ezrust-hars-a-megoldas-a-legszennyezettsegre-51818-001>

Aguilar-Gomez, S., Dwyer, H., Zivin, J. G., & Neidell, M. (2022). This is air: The “Nonhealth” effects of air pollution. *Annual Review of Resource Economics*, 14(1), 403–425. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111820-021816>

Angyal, Zs., Ballabás, G., Csüllög, G., Kardos, L., Munkácsy, B., Pongrácz, R., & Szabó, M. (2012). *A KÖRNYEZETVÉDELEM ALAPJAI*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Természettudományi Kar.

Aničić Urošević, M., Jovanović, G., Stević, N., Deljanin, I., Nikolić, M., Tomašević, M., Samson, R., 2019. Leaves of common urban tree species (*Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides*, *Betula pendula* and *Tilia cordata*) as a measure of particle and particle-bound pollution: a 4-year study. *Air Qual Atmos Health* 12, 1081–1090. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00724-6>

Az Európai Számvevőszék 02/2025. sz. különjelentése: „Városi szennyezés az Európai Unióban: A városokban tisztább lett a levegő, de még mindig túl nagy a zaj”, Az Európai Unió Kiadóhivatala, 2025.

Bertalan, É., Borszéki, J., Farsang, Gy., Galbács, G., Kamarás, K., Kántor, T., Kurunczi, S., Lakatos, J., Medzihradskyné Schweiger, H., Mihucz, V. G., Osán, J., Pallósi, J., Pap, T., Posta, J., Richter, P., Salma, I., Tatár, E., Török, Sz., Varga, I., & Záray, Gy. (2019). *Az elemanalitika korszerű módszerei* (2nd ed.). Akadémiai Kiadó. https://mersz.hu/hivatkozas/m583aekm2a_impreszum_p1#m583aekm2a_impreszum_p1

Castanheiro, A., Hofman, J., Nuyts, G., Joosen, S., Spassov, S., Blust, R., Lenaerts, S., De Wael, K., Samson, R., 2020. Leaf accumulation of atmospheric dust: Biomagnetic, morphological and elemental evaluation using SEM, ED-XRF and HR-ICP-MS. *Atmospheric Environment* 221, 117082. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117082>

Cavender, N., & Donnelly, G. (2019). Intersecting urban forestry and botanical gardens to address big challenges for healthier trees, people, and cities. *Plants People Planet*, 1(4), 315–322. <https://doi.org/10.1002/ppp3.38>

Corada, K., Woodward, H., Alaraj, H., Collins, C.M., De Nazelle, A., 2021. A systematic review of the leaf traits considered to contribute to removal of airborne particulate matter pollution in urban areas. *Environmental Pollution* 269, 116104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116104>

Csapó P. (2016). A közlekedési eredetű légszennyezés hatása a városi kerékpározásra. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Környezettudományi Centrum

Együd N. (2016). A légköri nikkelszennyezettség jellemzése levélminták vizsgálata alapján. Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest

Enderle, R., Stenlid, J., Vasaitis, R., & Langer, G. J. (2022). Susceptibility of selected Fraxinus excelsior cultivars to ash dieback disease. *Forest Pathology*, 52(4), e12772. <https://doi.org/10.1111/efp.12772>

Ferreira, S. L., Bezerra, M. A., Santos, A. S., Santos, W. N. D., Novaes, C. G., De Oliveira, O. M., Oliveira, M. L., & Garcia, R. L. (2017). Atomic absorption spectrometry – A multi element technique. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 100, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.012>

Franceschi, E., Moser-Reischl, A., Rahman, M., Pauleit, S., Pretzsch, H., Rötzer, T., 2022. Crown Shapes of Urban Trees-Their Dependences on Tree Species, Tree Age and Local Environment, and Effects on Ecosystem Services. *Forests* 13, 748. <https://doi.org/10.3390/f13050748>

Fülöp, T., Hanus, I., Molnár, K., Örvös, M., Patkó, I., & Pitrik, J. (2011). Levegőtisztaság-védelem (By Domokos E. & Radnainé Gy. Zs.; 2. javított kiadás). Pannon Egyetem Környezetmérnöki szak, Környezetmérnöki Tudástár.

Haimei C. (2025). Interaction of Urban Trees and Atmospheric Fine Particulate Matter in Budapest. Hungarian University of Agriculture and Life Sciences

Hrotkó, K., Gyevik, G., Sütöriné Diószegi, M., Magyar, L., Szabó, V., Honfi, P., Mészáros, R., & Kardos, L. (2021). Aeroszol részecskék kiülepedése és nehézfém-tartalma három fafaj fajtáinak levelein Budapesten. *Kertgazdaság*, 53(1), 14–29.

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

Lakatos J., Bánhidi O., Lengyel A., Lovrity Z., Muránszky G. 2015, Analitikai kémia anyagmérnököknek, Miskolc, Nemzeti Tankönyvkiadó

Li, T., Yu, Y., Sun, Z., & Duan, J. (2022). A comprehensive understanding of ambient particulate matter and its components on the adverse health effects based from epidemiological and laboratory evidence. *Particle and Fibre Toxicology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12989-022-00507-5>

Martínez-Guijarro, R., Paches, M., Romero, I., & Aguado, D. (2021). Sources, mobility, reactivity, and remediation of heavy metal(loid) pollution: A review. *Advances in Environmental Engineering Research*, 2(4), 033 <https://www.lidsen.com/journals/aecer/aecer-02-04-033>

MATE főoldal: <https://budaiarboretum.uni-mate.hu/>

Mitrović, M., Kostić, O., Miletić, Z., Marković, M., Radulović, N., Sekulić, D., Jarić, S., & Pavlović, P. (2023). Bioaccumulation of Potentially Toxic Elements in Tilia tomentosa Moench Trees from Urban Parks and Potential Health Risks from Using Leaves and Flowers for Medicinal Purposes. *Forests*, 14(11), 2204. <https://doi.org/10.3390/f14112204>

- Molnár, V. É., Németh, Z., Molnár, P., & Tóthmérész, B. (2020). The Air Pollution Tolerance Index as a quick tool for city tree species in Debrecen, Hungary. *Ecological Indicators*, 113, 106236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106234>
- M.P. Choudhary, V. Garg., Causes, consequences and control of air pollution, (2013). in: All India Seminar on Methodologies for Air Pollution Control, Held at MNIT
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nagy, B. (2020). *Városi fásorok ökológiai jelentősége és szerepe a mikroklíma javításában* (szakdolgozat). Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Német, B. (2010). Környezet diagnosztika fizikai módszerei-2; Atompektroszkópia; Pécsi Tudomány Egyetem Fizikai Intézet 2010. <https://polc.ttk.pte.hu/nemetb/Spektr-Lab-Elm-2-Atomspektroszkopia.pdf>
- NSW Health, (2014): Health Effects of Traffic-Related Air Pollution, 1–8.
- Oregon State University: <https://landscapeplants.oregonstate.edu/plants/tilia-tomentosa>
- Osváth, Z. (2014). Másfél évszázada a Gellért-hegy déli lejtőjén. Az épített örökség intézménytörténeti tudathordozó funkciója a Budapesti Corvinus Egyetem Budai Campusán. *PER ASPERA AD ASTRA*, 1(2), 92–116. <https://doi.org/10.15170/paaa.2014.01.02.06>
- Pásztor, Z. (2018). *Díszfák és díszcserjék városi alkalmazhatósága* (szakdolgozat). Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest.
- Sanjay K., Dipti N., Ashwani S., (2017). Smog: Anthropogenic pollution, University College of Computer Applications, Guru Kashi University, ISBN: 978-93-86171-80-1
- Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. (2016) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Simon V. (2021). A környezeti elemek nehézfém szennyezettségének vizsgálata Ungvár város területén, II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Biológia és Kémia Tanszék
- Szabó, V., Chen, H., Hrotkó, K., & Kohut, I. (2023). Investigation of dust deposition in vegetation Period as an ecological service on urban trees in Budapest—A case study. *Pollutants*, 3(4), 507–520. <https://doi.org/10.3390/pollutants3040035>
- Szalmáné Cs. M., Biró K., (2022). A fenntartható közlekedés klímainnovációs vonatkozásai. *Logisztikai évkönyv*, 273-285. doi 10.23717/logevk.2022.25
- Szücs, C. (2021). A klímaváltozás és a légszennyezés helyzete és változásai. *Acta Carolus Robertus*, 11(1), 145–155. <https://doi.org/10.33032/acr.2586>
- Tóth, B. (2024). *Acer nemzetség városi alkalmazásának vizsgálata különös tekintettel az Acer platanoides fajtáira* (szakdolgozat). Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budapest.

Wiersma, H., Buiteveld, J., Hiemstra, J., & Copini, P. (2022). Assessment of lesion development in *Fraxinus excelsior* cultivars Altena, Atlas and Westhof's Glorie inoculated with different isolates of *Hymenoscyphus fraxineus*. *Forest Pathology*, 52(5). <https://doi.org/10.1111/efp.12772>

Záray G., Mihucz V. G. (szerk.) (2019). *Az elemanalitika korszerű módszerei*. Akadémiai Kiadó. <https://doi.org/10.1556/9789634544487>. (Letöltve: 2025. 10. 07. https://mersz.hu/dokumentum/m583aekm2a_81/#m583aekm2a_78_p2)

8 Ábrajegyzék

1. kép: Acer platanoides levele: Haimei (2025).....	12
2. kép: Fraxinus excelsior levele, Haimei (2025).....	13
3. kép: Tilia tomentosa levele, oregoni egyetem, N. a.....	14
1. ábra: saját szerkesztés Haimei (2025) adatok alapján.....	21
1. táblázat: Levelekről lemosott por mennyisége (mg m^{-2}).....	23
2. táblázat: Levelek felületéről lemosott por mennyisége (mg m^{-2}).....	23
3. táblázat: Levelekről lemosott por mennyisége évekre lebontva (mg m^{-2}).....	24
4. táblázat: A fafajták levelének nehézfém tartalma, a levelek felületén kiülepedett por lemosása után (mg kg^{-1}).....	25
5. táblázat: Nehézfémek kiülepedése a leveleken, a lemosott por után (mg kg^{-1}).....	26

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizgaszabályzat

**6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

**a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről**

A hallgató neve: Tóth Gergely
A Hallgató Neptun kódja: H3YVSS
A dolgozat címe: Levélmintákra rakódott porszennyezés nehézfém
vizsgálatainak összehasonlító értékelése
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Agrárkörnyezettani 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. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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.

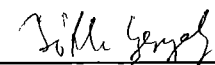
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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: Budapest, 2025.10.29.



Hallgató aláírása

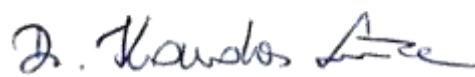
NYILATKOZAT

Tóth Gergely (név) (hallgató Neptun azonosítója: H3YVSS) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre **javaslom** / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem***²

Kelt: Budapest, 2025. november 1. g



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Tóth Gergely
Neptun-kódja:	H3YVSS
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat készítés, KERTU073N
A munka címe:	Levélmintákra rakódott porszennyezés nehézfém vizsgálatának összehasonlító értékelése

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Angol-magyar fordítás, ötletelés	ChatGPT verzió: GPT-5	2.6 alfejezet egy része, 3.3 alfejezet egy része

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve, Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2025. 10. 31.

Jóh. György

Hallgató aláírása

Dr. Károly László

Konzulens/Témavezető aláírása