

SZAKDOLGOZAT

Szilasi Laura

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Környezettudományi Intézet
Környezetmérnök alapképzési szak

Potenciálisan toxikus elemek vizsgálata növényekben az M0 autópályán mentén

Belső konzulens: **Dr. Horváth Márk Kálmán**
Egyetemi docens, csoportvezető

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** **Környezettudományi Intézet**
Környezetanalitikai és
Környezettechnológiai Tanszék
Környezetkémiai Csoport

Készítette: **Szilasi Laura**

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés és célkitűzések.....	2
2	Szakirodalmi feldolgozás	3
2.1	M0 autóút	3
2.2	Közlekedés és a környezet kapcsolata.....	4
2.2.1	Közlekedés által kibocsájtott potenciálisan toxikus elemek.....	5
2.3	Potenciálisan toxikus elemek jellemzése.....	7
2.4	Növények elemfelvétele	10
2.5	Potenciálisan toxikus elemek a növényekben	11
2.6	Mintavételezés.....	13
2.6.1	Minta kezelés.....	14
2.7	Minta előkészítés.....	14
2.8	Optikai mérési módszerek	16
2.8.1	Optikai emissziós színeképelemzés (OES)	17
2.8.2	Induktív csatolású plazma (ICP)	18
3	Anyag és módszertan.....	20
4	Eredmények.....	25
5	Következtetések.....	35
6	Összefoglalás.....	36
7	Irodalmijegyzék.....	37
8	Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	39
9	Hallgatói nyilatkozat	41
10	Konzulensi nyilatkozat	42

1 Bevezetés és célkitűzések

Szakedolgozatom témájának azért választottam a potenciálisan toxikus elemek vizsgálata a növényekben mert úgy gondolom, hogy a az egyik legnagyobb környezetszennyezési forrást a közlekedés jelenti, viszont leginkább csak a légszennyező anyagokra térünk ki ebben a témában annak ellenére hogy a közlekedéssel nem csak szén-dioxidot bocsájtunk ki. A közlekedéssel nem csak légszennyezés történik, hanem számos más kibocsájtás történik, mindegyik emissziónál szennyező anyagok jutnak a környezetbe, ezen szennyezőanyagok között pedig találkozhatunk potenciálisan toxikus elemekkel is.

A kibocsátásoknak mérésére azért választottam az M0 autót mentét mert Dunaharasztiiban élek, amely az egyik legforgalmasabb csomópont, és számtalanszor menve az úton tapasztaltam már nagy forgalmat, valamint több alaklommal is dugót főleg a reggeli és délutáni csúcsforgalmi időszakokban. Emiatt is tartottam érdekesnek, hogy vajon egy ennyire forgalmas út mentén a növények mekkora szennyezésnek vannak kitéve, és ezáltal mennyi potenciálisan toxikus elem tapad meg a felületükön és akár ennek következtében mekkora mennyiségben jut be a szervezetükbe.

Célom az volt, hogy az M0 autót mellett közvetlenül élő növények potenciálisan toxikus elem tartalmát vizsgálva arra voltam kíváncsi, hogy a növények levél felületén kimutatható-e, hogy a közlekedésből származó potenciálisan toxikus elemek megtelepsznek a növényzeten vagy nem kimutatható ezáltal a közlekedésből származó kibocsátások hatásával az utak menti növényzetre és azok toxikus elem tartalmára.

2 Szakirodalmi feldolgozás

2.1 M0 autóút

Az M0 körgyűrű építésének tervezése azért kezdődött el, hogy a fővárosot tehermentesítsék az átmenő forgalom alól mivel az 1970-es években a Dunán igen kevés híd volt található, összesen Szob-Mohács szakaszon nyolc darab híd, ebből hat darab a fővárosban, így aki át akart menni rajta azok nem tudták kikerülni Budapestet így ez az áthaladó forgalom nagy terhelést okozott a városnak és az előre látható becslések azt mutatták, hogy az autóforgalom a jövőben egyre jobban nőni fog. (Szánthó 1987)

Az M0 autóutat már a kezdeti terveken is négy szakaszra osztották az elsőszakasz az M1 autópályától az M5 autópályáig a déli szektor, a második szakasz az M5 autópályától az M3 autópályáig a keleti szektor, a harmadikszakasz az M3 autópályától a 10.számú főútig az északi szektor, a negyedik szakasz pedig a 10.számú főúttól az M1 autópályáig tartó nyugati szektor volt a tervek szerint. (Szánthó 1987)

Az M0 autóút körgyűrűjének építése 1987-ben kezdődött meg az elsőszakasszal, ennek fő célja az volt, hogy összekösse az Alföldet a Dunántúllal. (Valenta et al.,1994)

Az első szakasz, a déli szektor volt, amit megépítettek, ez kezdetben 2x2 sávós autóút volt, amelyet kettős záróvonal választott el, de a megnövekedett forgalom miatt fejlesztésre volt szükség a forgalombiztonság növelésének érdekében. Ehhez először előregyártott beton elemeket helyeztek el a forgalmi irányok elválasztásához. Majd tervet készítettek második pályához, valamint a meglévő pálya átépítéséhez. (Kőrösi 2023)

A teljes M0 körgyűrű a mai napig nem készült el, mivel az az utolsó szakasz építésének tervezésében és kivitelezésében nem született még végleges döntés. A nyugati szektor nyomvonal terv a többek között azért sem végleges még mivel ez környezeti szempontból érzékeny terület mert természetileg védett területen haladna át az autóút. Bár a lokális forgalmi problémákat megoldaná a körgyűrű befejezése nem lehet elmenni a terület védettsége mellett. (Kőrösi 2023) Az M0 autóút várható forgalmára már az építés megkezdésekor is voltak becslések. Az Országos Közút Hálózat 2022. évi adatai szerint az M0 autóúton átmenő összes forgalmának átlag értéke természetes mérőszámban 75842 j/nap míg személygépkocsi egységben 94838 Ej/nap emellett a kapacitáskihasználtság átlagban 72% volt 2022-ben. (Országos Közutak)

2.2 Közlekedés és a környezet kapcsolata

A közlekedési járművek széles körben való elterjedése miatt egyre nagyobb az a hatás is, ami a közlekedésből adódóan éri a környezetet és annak elemeit. Ha a közlekedésre gondolunk az első leginkább szennyező hatás, ami eszünkbe jut az a levegőszennyezés, de ezen kívül a közlekedés együtt jár hőterheléssel, zajszennyezéssel, talaj- talajvíz szennyezéssel, vízszennyezéssel és fontos megemlíteni a hulladék képződést is ezek mind hatással vannak a környezet állapotára. A gépjárművek károsanyag kibocsátás tekintetében képesek szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú szennyezőanyagot is kijuttatni a környezetbe. (Török)

Az Európai Unióban a légszennyezéshez a közlekedés igen nagy mértékben járul hozzá mivel számos szennyező anyagot juttatnak ki a levegőbe a belső égésű motorok működésük közben, ezek a légszennyező anyagok a következők nitrogén-oxidok, szén-dioxid, szén-monoxid, finomszemcsés anyagok a PM2 és PM5 részecskék, valamint számos szerves vegyület is kerül a levegőbe. (Bellin et al.2022)

Ezek közül a vegyületek közül a szén-dioxid az egyik legjelentősebb mivel üvegházhatást okozó gáz ezáltal szerepet játszik a klímaváltozásban emiatt van, hogy a leginkább a szén-dioxid kibocsátást akarják csökkenteni a gépjárműveknél, ezért is támogatják sokan az elektromosjárműveket mivel azok közvetlenül a működésük során nem juttatnak ki légszennyező gázokat a légkörbe.

Ugyan akkor nem felejtkezhetünk meg a zaj-és rezgésterhelésről sem, amit a közlekedési járművek okoznak. Ez elsősorban a járművek mennyiségétől, valamint állapotától is függ, de befolyásoló szerepe van az útburkolat minőségének is. A nagyobb forgalom nagyobb zajterheléssel is jár, a járművek állapota azért van hatással erre mivel egy régebbi autó hangosabb lehet ma már szerencsére az újabb autók tervezésekor azt is figyelembe veszik, hogy a lehető legkevesebb zajszennyezéssel járjon, ez egy nagyvárosban sokat javíthat az életminőségen. Az útburkolat minősége pedig azért fontos mivel egy kopottabb, „kátyusabb” úton a nagyobb kamionok mellett már a személygépkocsik áthaladásának zaj-és rezgésterhelését is érzékelhetjük, a rezgések a környék épületeit, létesítményeit is károsíthatják.

A talaj-és vízszennyezése adódhat a levegőből kiülepedett szennyező anyagok miatt, valamint a közlekedésből származó folyékony vagy szilárd részecskékből, amelyek az útburkolatról a csapadékkal együtt jut a felszíni vizekbe vagy a talajba majd onnan a talajvízbe.

Bár a közlekedéssorán közvetlenül hulladéktermelés nem történik, úgy, mint például egy ipari gyártás során, az elhasznált alkatrészek, akkumulátorok, valamint gumiabroncsok azok, amelyek a keletkező hulladékot képezik és ezeknek az elhelyezése jelent veszélyt a környezetre.

[1]

2.2.1 Közlekedés által kibocsájtott potenciálisan toxikus elemek

Európában évente körülbelül 400 000 felnőtt korai halála vezethető vissza a légszennyezésre. Légszennyezés jelentős részét a közúti közlekedésből származó kibocsátások teszik ki. Míg a kipufogógázból származó részecskék kibocsátás csökkentése terén jelentős technológiai fejlesztések történtek, jelenleg nincsenek intézkedések a kibocsátások nem kipufogógázból származó részecskék csökkentésére, ilyenek például a fékek kopásából, az útburkolat kopásából, a gumiabroncsok kopásából és az út porfelverődéséből származó szennyeződések. Ezek a nem kipufogógázból származó-források a kipufogócsövek kipufogógázaival megegyezhető mértékű vagy akár még több szennyezőanyagot juttathatnak ki az autóutak mentén, ezzel fokozva a környezet PM-koncentrációjának növekedését. (Amato et.al 2014)

A nem kipufogógázból származó források különböző mértékben potenciálisan toxikus elemeket is juttathatnak a környezetben. A fékbetéteknél fontos, hogy széles hőmérsékleti tartományban is tartósak legyenek mivel sokszor nagyon magas hőmérsékletnek is ellen kell állniuk a súrlódásokkor. Ahhoz, hogy a fékbetétek megfelelőek legyenek erre a célra nagyon sokféle szerves és szervetlen vegyületet használnak a különböző gyártók. Háromféle csoportot különböztethetünk meg a fékbetétek összetétele szerint a fémes, félfémes és az azbesztmentes szerves vegyületek alkotják ezeket. Ugyan akkor a fékbetéteknek vannak funkcionális összetevőik is ennek egyik csoportja a súrlódási karakterisztikát befolyásoló anyagok ide tartoznak a kenőanyagok például szulfidok ezek közül is a Sb_2S_3 (antimon (III)-szulfid), Cu_2S (réz (II)-szulfid), PbS (ólom(II)-szulfid), MoS_2 (molibdén (IV)-szulfid) ezek az anyagok segítenek abban, hogy a kopás mértéke, valamint a súrlódási együttható is kisebb legyen. Másik ilyen csoport a mechanikai szilárdságot biztosító szálak ezek korábban azbesztet tartalmaztak, de mivel felismerték annak karcinogén toxikus hatását ma már nem használják helyette üvegszálakat, valamint fém granulátumokat használnak, amelyek gyakran készülnek acél, réz vagy bronz felhasználásával. Funkcionális összetevők harmadik csoportját a töltőanyagok képezik ezek lehetnek szerves és szervetlen vegyületekből is például $CaCO_3$ (kalcium-karbonát) vagy MoO_3 (molibdén-trioxid). (Budai 2011)

Mivel a legtöbb gyártók sokféle fékbetétet gyártanak különböző összetétellel, amelyek üzleti titkot képeznek így ezeknek a potenciális toxikus anyag kibocsátására csak becsléseket tudunk használni, valamint ezek különböző irodalmi adattípusok, modellek és gyártók függvényében több nagyságrendben is változnak. Ezekből arra következtethetünk, hogy fékbetétek kijuttathatnak réz, cink, ón, ólom, kadmium, nikkel, valamint króm elemeket is a környezetbe. (Budai 2011)

Gumiabroncsok tekintetében sem tudunk kibocsátásra pontos adatokat mondani mivel az összetétele függ a gyártótól, valamint a gyártás idejétől is. Számos összetevő mellett ugyanakkor található benne ZnO (cink-oxid), de emellett előfordulhat még az abroncsokban kis mértékben ólom és kadmium is. Fontos az abroncsok vizsgálatokor megemlíteni, hogy a súrlódási felületük összetétele eltérhet a gumiabroncs egyéb részeitől így kibocsátások tekintetében az egész abroncs vizsgálata félrevezető is lehet. Az abroncsok összetételének vizsgálata során több tanulmány eredménye is az, hogy a potenciális toxikus elemek közül cink van legnagyobb arányban az abroncsokban, körülbelül 1 tömegszázalékát teszi ki, de a cink mellett vizsgáltak egyéb fémeket és bár ezek koncentrációja jóval kisebb megtalálhatóak a gumiabroncsokban ezek a fémek pedig a következők ólom, réz, nikkel, króm, kadmium és ón. (Budai 2011)

Az útburkolat tekintetében ugyan akkor jobban lehet következtetni hiszen nagy része valamilyen kőzetanyag és kis részéhez adnak bitumenes kötőanyagot, valamint egyéb adalékanyagokat. A bitumen potenciálisan toxikus elem tartalmának arányát a nyersolaj származási helye, valamint feldolgozása határozza meg leginkább. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy a durva kőzetanyag fémtartalma jóval nagyobb lehet, valamint sokszor az útburkolathoz aprított gumiabroncsokat is használnak melyek magas cink tartalma növelheti az útburkolat cink tartalmát is. Mindezen komponenseket figyelembe véve az útburkolat tartalmazhat kadmiumot, arzént, ólmot, rézet, cinket, krómot, valamint nikkelt is, emellett az útburkolat festékek is tartalmazhatják ezeket a fémeket. (Budai 2011)

És a legkézenfekvőbb kibocsátás a kipufogógáz is tartalmaz potenciális toxikus elemeket. Mivel napjainkban már nem ólmozzák a benzint ennek köszönhetően az ólom koncentráció az elmúlt 10-20 évben csökkent a közlekedési kibocsátásokban ugyan akkor továbbra is találkozhatunk különböző fémekkel az üzemenyagokban. (Budai 2011)

Számos kutatás irányult a gépjárművekből kibocsájtott potenciális toxikus elemek vizsgálatára, ezek a vizsgálatok figyelembe vették az autópályák melletti közelebbi és távolabbi területeket

vizsgálva mind a talaj, felszíni és felszín alatti vizek és az élővilágra gyakorolt hatást is, amit a potenciális toxikus elemek okoznak és visszavezethetőek a közlekedésre.

Gépjárművekből származó fém kibocsátás három féle módon viselkedhet az egyik amikor lerakódik az útestre, majd onnan vagy porral, vagy a csapadékkal együtt távozik, második módja amikor a levegőbe kerül majd onnan lerakodik az út közvetlen közelébe és ezzel fokozza a talaj és a növényzet fém koncentrációját, a harmadik lehetőség pedig, hogy szétszóródik a légkörben és hatalmas távolságok megtétele után rakodik csak le. (Nasrardi 2007)

2.3 Potenciálisan toxikus elemek jellemzése

Azokat az elemeket nevezzük potenciálisan toxikus elemeknek, amelyek egy bizonyos koncentrációt meghaladva toxikus hatást fejtenek ki az élőlényekben. (Heltai et al.2019)

Potenciálisan toxikus elem kifejezést a nehézfémekre használjuk mivel ez az elnevezés szerencsésebb mert nem a sűrűség vagy egyéb fizikai jellemző, hanem a kémiai, valamint biológiai hatás alapján soroljuk be, ami a fogalom célja is. A nehézfémek megnevezést az 5 g/cm³-nél nagyobb sűrűségű fémekre használjuk. (Horváth 2019)

Ezek alapján a potenciálisan toxikus elemek közé tartozik a króm, cink, kobalt, nikkell, réz, arzén, szelén, molibdén, kadmium, ón, higany és az ólom is. Élettani hatásuk igen eltérő lehet mert vannak közöttük olyanok, amelyek kis mennyiségben esszenciális fémek, azaz nélkülözhetetlenek a szervezet számára, nagyobb mennyiségben ugyan akkor hatásuk toxikus.

Az élőszervezetek sokszor kerülhetnek kapcsolatba potenciálisan toxikus elemekkel, amelyek lehetnek fémek és félfémek, ezek az élőszervezetekbe, vagy azok felületére kerülhetnek. A bioakkumuláció miatt az élőszervezetek sokszor sokkal nagyobb koncentrációban tartalmazhatnak potenciálisan toxikus fémeket, mint a közvetlen környezetük például víz, talaj levegő vagy az üledék. (Öllös 2012)

Ez a nagyobb koncentráció nem mindig jelenti azt, hogy ez az élőszervezet szövetére káros ugyan is lehet, hogy pozitív hatásuk van a szervezetre, ugyan akkor néhány elemnél nagy koncentrációban néhánynál pedig már kis koncentrációban káros toxikus hatást fejthetnek ki, amikor találkoznak az élőszervezettel. (Öllös 2012)

Bioakkumuláció során a potenciálisan toxikus elemek egy része felhalmozódik a szervezetben így az idősebb élőlénykegyedekben sokszor sokkal nagyobb a koncentrációja bizonyos elemeknek, mint a fiatalabb élőlényekében. (Öllős 2012)

A potenciálisan toxikus elemek a táplálékláncba kerülve biomagnifikációra is képesek, ez azt jelenti, hogy bizonyos élőszervezetek nem választják ki így a tápláléklánc magasabb szintjén jobban feldúsulhatnak. (Öllős 2012)

Az **alumínium (Al)** élettani hatása még nem tisztázott, pozitív hatással nem rendelkezik. Idősebb korban szervezetből való ürítése csökken, az emberi szervezetbe számos úton kerülhet például környezetszennyezéssel, gyógyszerekkel, valamint ételkészítéshez használt edényekből is. Konkrét toxicitása nincs ugyanakkor számos kutatás foglalkozott azzal, hogy a szervezetben található Al koncentráció összefüggésben van az Alzheimer kórral erre konkrét összefüggést nem találtak ugyan akkor a magas Al bevitel negatív hatással van az idegrendszerre, valamint a csontképzőrendszer funkcióira is. (Horváth 2020)

Kadmium (Cd) érdekessége, hogy születéskor a szervezetben alig fellelhető így azzal a környezeti hatások során szennyeződik a szervezet, az életkorral együtt nő a kadmium koncentrációja. A kadmium fő forrásának a dohányzást tartják mivel a dohányzók szervezetében a kadmium koncentrációja jóval nagyobb, megközelítőleg kétszerese, mint a nemdohányzókéban. A kadmium hozzá járul a kalcium kiürítéshez a veséből ez okozhatja a csontok gyengülését, emiatt kadmiummérgezés megakadályozható lehet több kalcium bevitelével. (Horváth2020) A kadmium belélegezésének következtében károsítja a tüdőt, az élőszervezetben való felhalmozódásának következtében kialakuló kadmium mérgezés egyik legszörnyűbb példája az itai-itai betegség, amely Japán egyik folyójánál történt a lakkosággal mivel kadmiummal szennyezett vízzel öntöztek rizstáblákat, ez a betegség a csontokban jelentkezett és nagy fájdalommal járt. (Öllős 2012)

Kobalt (Co) a B12-vitamin egyik alkotó elem ezért az állatok szervezetében jelentős szerepet játszik, ezen kívül a nitrogén megkötő mikroorganizmusok számára nélkülözhetetlen. (Pethő 1993) Ugyanakkor a kobalt a növényekben toxikus hatást fejthet ki. (Öllős 2012)

A **króm (Cr)** a természetben két vegyértékszámú fordul elő a króm (III) és króm (VI), toxicitásuk viszont nagyon eltérő, ezért fontos volt olyan analitikai módszereket kidolgozni, amelyekkel megtudjuk különböztetni egymástól őket, a vizsgált mintákban legyen szó akár környezeti, élelmiszeri vagy egyéb mintákról. A króm (III) esszenciális elem mivel elengedhetetlen az élőszervezetek megfelelő működéséhez, mivel jelentős szerepet játszik az

anyagcsere folyamatok megfelelő működésében, fokozza az enzim aktivitást, valamint hatással van a koleszterin és a zsírsavszintézisre is. Ezzel szemben a króm (VI) nagyon toxikus elemnek számít mivel rákkeltő hatása bizonyított. (Pethő 1993)

A **réz (Cu)** közepesen mérgező fém. Kis mennyiségben nélkülözhetetlen a szervezet számára, szerepet játszik a hemoglobin képzésben és több enzim rendszerben is fontos alkotó elem. Nagyobb mennyiségben akut tüneteket is okoz ez hányással, görcsökkel, anémiával járhat. A májban akkumulálódik, és egyben gátolja annak működését, és csak lassan ürül ki belőle. (Horváth 2020) Réznek az alacsonyabb rendű élőlényekre toxikusabb a hatása, ezért használják például algicidként tavakban vagy fa konzerválásra. (Öllős 2012)

Környezetben a **vas (Fe)** gyakran fordul elő és igen fontos elemnek számít két természetes oxidációs állapotával találkozhatunk az egyik az Fe(II) a másik pedig az Fe(III). A Fe(III) vizes oldatban hidroxid komplexet alkot. Vizes oldata nem toxikus ugyan akkor jellegzetes színt és ízt ad. A vas nélkülözhetetlen az élőszervezetek számára a megfelelő mennyiségben ugyan is szerepet játszik az oxigén transzportban, a respirációban, valamint számos enzim működésében is, toxicitása jelentősen kicsi abban az esetben, ha a felvétele nem túlzott mértékű. (Öllős 2012)

Nikkel (Ni) fontos nyomelem, ugyanakkor egyes formákban lehet toxikus, valamint rákkeltő hatása is. Az arra érzékenyebb embereknél bőrgyulladással is járhat a nikkel tartalmú fémekkel való érintkezés. (Öllős 2012)

Az **ólom (Pb)** egy nagyon toxikus fém, mérgezéses tünetei lehetnek akut vagy krónikusak is. Akut enyhe mérgezést követően a tünetek lehetnek bélgörcs, hányás, valamint gyengeség. Krónikus tünetek adódhatnak a hosszantartó folyamatos ólommérgezésből mivel a szervezetből az ólom nem képes kiürülni ez vezethet ahhoz, hogy a fogíny megsűrkül majd a fogak kihullanak, valamint felhalmozódott ólom okozhat idegbénulást is. (Horváth 2020)

A **cink (Zn)** esszenciális elem, fontos szerepet játszik a megfelelő enzim működésben. Cink hiány okozhat törpenövést, klorózt és az embrionális szövetekben is mutathat károsodást. Növényekben is megfigyelhető a hiánya a növekedési folyamatokban, ugyanakkor viszonylag kevés növényi enzim tartalmaz kötött állapotban cinket, de az enzim aktivitás mértékében szerepet játszik. A cink általában a talaj felső rétegeiben kötődik meg, a mélyebben lévő gyökérszövetekbe nehezebben jut el, ezért a mélyen gyökérsző fáknál tapasztalható leginkább cink hiány. (Pethő 1993)

2.4 Növények elemfelvétele

A növényeknek a normális növekedéshez lényegében ugyanazokra az elemekre van szükségük, amelyet főként a talajból származó ionok formájában szereznek be. A talajok azonban a talajfejlődés nagyfokú eltérései és a talajrendszerben rejlő heterogenitás miatt nagyon eltérő mértékben képesek biztosítani ezeket az ionokat. A gyökerek túlnyomórészt a talajoldat fázisából jutnak hozzá a tápanyagokhoz, de van, hogy a koncentrációjuk kicsi, ezért fontos a szilárd és - a tápanyagtól függően - a gázfázisból történő utánpótlás is. (Hodge 2023)

A növények anyagfelvételéhez ismernünk kell a sejtélettani folyamatokat. Az anyagfelvételben két folyamatot kell megkülönböztetnünk az első sejtfalban, valamint a plazmalemma felületén lejátszódó anyagvándorlásokat. A sejtfalban ionfelvétel zajlik mivel a tápelemeket ionok formájában veszi fel a növény. Mivel az ionok elektromos töltéssel rendelkeznek ezért hidratálódnak. A hidratált ionok átvándorlása csak a sejt energiájának közreműködésével történhet, mivel a sejthártya hidrofób tulajdonsága miatt az akadályozza az ionok átjutását. Így ez egy aktív folyamat mivel a hártján való áthaladáshoz energia szükséges, ugyanakkor az ionfelvétel a gyökér kéregszövetében a határhártyáig nem igényli a sejt energiáját. A folyamat sebességét a kémiai és fizikai tulajdonságok befolyásolják. (Pethő 1998)

Növények anyagfelvétele közben felvehetnek potenciálisan toxikus elemeket is. Az, hogy a toxikus elem hová kerül, valamint, hogy milyen sebességgel jut el oda azt az anyag fizikokémiai tulajdonságai, valamint a környezeti állapotok határozzák meg. (Öllős 2012) Ugyanakkor a növényekben kialakulhat nehézfém tolerancia is, ami egy összetett jelenség. Sokszor a toxikus elem felvételt próbálja megakadályozni valamilyen módon. Ezt teheti úgy, hogy a gyökér által kiválasztott nyálkás anyagok kötik meg a potenciálisan toxikus elemek ionjait, így mérséklik ezek hozzáférhetőséget. Egy másik módja, hogy a már felvett potenciálisan toxikus elemek egyes vegyületek szintézisével indukálják a növényben ezzel olyan komplexet hoznak létre, amelyek méregtelenítik a növényeket. Ezek a fitokelatinok, melyek szintézissel jönnek létre glutationból, alapvázuk glutaminsavból, valamint ciszteinből áll, a cisztein egy olyan kéntartalmú aminosav, amely képes a nehézfémek ionjait megkötni. a fitokelatin koncentráció a nagyobb lesz abban az esetben, ha a növény potenciálisan toxikus elem felvétele nő, ugyanakkor ez a folyamat csak egy bizonyos koncentrációig tart, ha azt meghaladja a növény már nem képes a potenciálisan toxikus elemek méregtelenítésére ennek következtében a növényen megjelennek a mérgezés tünetei (Pethő 1998)

A növény anyagcseréjében akkor is zavar áll be, ha a talajban valamely elem koncentrációja kevesebb mint amennyi szükséges lenne, ekkor a növényen hiánytünetek jelennek meg amelyek morfológiai elváltozásokat okozhatnak. Ezek az elváltozások a növények különböző részein válnak láthatóvá. bizonyos elemek, ha beépülnek a növény egyes részeibe akkor utána nem vándorolnak, ugyan akkor vannak elemek, amelyek képesek a vándorlásra, tehát mobilisek ezek leginkább a nem szerves vegyületek alkotó elemei vagy a növényben lezajló lebomló és újra képződő folyamatok során felhasználható szerkezeti elemek. (Pethő 1998)

A növényekben az anyag elosztását a különböző szervekben, szövetekben végbemenő anyagcsere intenzitása szabályozza. Azok a szervek, amelyekben az anyagcsere intenzívebb metabolikus gyűjtőhelyként szolgálnak, de a többi szerv kárára vonnak el anyagokat, ilyen szervek a fiatal levelek és termések. Ezért figyelhető meg sokszor az öregebb leveleken a mobilizálható elemek egyes hiánytünetei mivel onnan vonják el a tápanyagokat az élénk anyagcseréjű szervek, ha a talajból nem tudják megfelelően felvenni. Ilyen elemek a nitrogén, foszfor, magnézium és a kálium ezek reutilizálható elemek, azaz mobilizálhatóak és újra felhasználhatóak, ezzel szemben vannak a reutilizációra nem képes elemek ezek közé tartozik a vas, mangán, kén, kalcium és a bór ezek a fiatalabb leveleken mutatják előbb a hiánytüneteket. (Pethő 1998)

2.5 Potenciálisan toxikus elemek a növényekben

Potenciálisan toxikus elemek mind a talajban mind pedig a növényekben megtalálhatóak természetes forrásból, valamint antropogén hatások következtében is. Az, hogy a talajba fémek bejussanak azt a csapadék mellett a mezőgazdasági művelés is szerepet játszik, valamint gyorsítja a bejutás folyamatát. Egyes vizsgálatok ugyanakkor találtak összefüggést is a légszennyezettség, valamint a talaj legfelső rétegében és a növényekben előforduló elemek között. (Nasradi 2007)

Természetes módon nehézfémek általában a talajképző kőzetek miatt fordulnak elő. Ércen kívül még a magmás kőzetekre jellemző a magas fém koncentráció. A Ni(nikkel) 23., Zn (cink)24., Cu (réz)25., Pb(ólom) a 35., a Cd (kadmium) pedig a 68. helyet foglalja el gyakoriság szerint a földkéregben. (Nasradi 2007)

Antropogén módon, azaz emberitevékenység következtében is kerülhetnek fémek a talajba és ezáltal a növényekbe is. Ilyen emberi tevékenységek közé tartozik az bányászat, a fosszilis

tüzelőanyagok és energia hordozók elégetése, mezőgazdaság, valamint az ipar és a közlekedés is. Ezek hatása sokszor nagy mértékben károsítják a környezetet, valamint káros hatásuk van az emberi egészségre is. Az antropogén szennyezés következtében a termőföldek minősége is romolhat, amely következtében nem tudnak megfelelő mennyiségű és minőségű terményt előállítani. Igaz az is, hogy a szántóföldekre trágyázás során is juttatnak ki potenciálisan toxikus elemeket, például műtrágyák és növényvédőszeresek egy része is tartalmazhat ilyen elemeket. Fontos megemlíteni, hogy a foszfor műtrágyák nagyrésze tartalmaz kadmiumot, ugyanakkor egyes vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a szerves trágyákban átlagosan nagyobb a kadmium koncentráció. Emellett a szuperfoszfát műtrágyákat a szerves trágyával összehasonlító vizsgálat azt az eredményt mutatta, hogy szerves trágya esetén a Cu (réz) és a Zn (cink) is nagyobb koncentrációban fordultak elő. Nem csak a trágyákkal növelték a fémtartalmat a termőföldeken, hanem a növényvédőszeresekkel is az 1960-as években megkezdődött a vegyszeres növényvédőszeres alkalmazása ezek gyakran tartalmaztak As-t (arzén), Pb-t (ólom), Hg-t (higany), Cu-t (réz) valamint Zn-t (cink) is, igaz ezen tartalmú szerek használatát vagy betiltották, vagy korlátozták használatát így ezek alkalmazása csökkent az utóbbi években. Szennyvíziszappal történő trágyázás esetén ugyan akkor a fém koncentráció megnövekedhet amiatt hogy a szennyvíz tisztítás során a Zn(cink), Cu(réz),Mn (mangán),Pb (ólom),Ni(nikkel), és Cd(kadmium) is nagyságrendekkel feldúsul, ugyan akkor ez még nem gátolja a szennyvíz iszap kihelyezését.(Nasrudi 2007)

Ezen kívül potenciálisan toxikus elemek a közlekedés miatt is juthatnak a növényekben, azt, hogy ezek az elemek hogyan jutnak a környezetbe azt az előző fejezetben már bemutattam a közlekedés és a környezet kapcsolatának elemzése során.

A potenciálisan toxikus elemek környezetbe való kerülését követően bekerülnek a növényiszervezetekbe, ahol jelentős és káros hatást gyakorol mind a növények növekedésére, mind a termés hozamra. Az olyan elemek, mint az arzén (As), a kadmium (Cd), az ólom (Pb), a króm (Cr), a nikkel (Ni) és a higany (Hg) a növényekre gyakorolt, káros hatásuk miatt potenciálisan toxikus elemnek számítanak. Ezek az elemek befolyásolják a növények fejlődési folyamatait, és mind a vegetatív, mind a reprodukív szervekben változásokat idéznek elő. (Hussain et.al. 2023)

2.6 Mintavételezés

Mintavételezésre azért van szükség mert a teljes objektumot egy részről nem áll módunkban, például egy egész folyót elszállítani, más részről nem is akarjuk bevinni a laboratóriumba a teljes objektumot például egy hulladék halmot. Fontos mintavételkor, hogy a megfelelő mintának reprezentatívnak kell lennie, ez azt jelenti, hogy ugyan olyan összetételűnek kell lennie, mint az objektumnak, amelyből származik. (Berkó et al. 2021)

Egy minta akkor lesz reprezentatív, ha homogén az objektum és jól mintázható, abban az esetben is lehet még reprezentatív a minta, ha inhomogén, de homogenizálható az objektumunk és megfelelően homogenizáljuk. Abban az esetben viszont, ha nem homogenizálható inhomogén az objektum akkor több mintát is kell vennünk és ezekből átlagmintát kapunk viszont ez nem lesz teljesen reprezentatívnak mondható minta. (Berkó et al 2021)

A minta vételezéskor fontos a tervezés, ugyanis a minta vételezéskor több számos kérdésre is tudnunk kell válaszolni, hogy megfelelően tudjuk végezni a minta vételt. Ehhez tudnunk kell, hogy milyen mintát milyen analitikai vizsgálatot akarunk elvégezni, valamint, hogy milyen komponens is fogunk vizsgálni a mintában mert ennek megfelelően tudjuk majd, hogy honnan, hány darab és mennyi mintára lesz szükségünk. (Berkó et al. 2021)

Tervezés során fontos, hogy megfelelő edényt válasszunk a minta tárolására. Figyelembe kell venni, hogy megfelelő méretű legyen ez által elég mintát bele tudjunk helyezni, egy nagyobb sűrűségű vagy nagyobb tömegű minta esetén a tároló elég erős legyen. A legfontosabb szempont pedig, hogy a mintatartónk ne lépjen semmilyen kölcsönhatásba a minta összetevőivel, nehogy valamilyen módon ez által szennyezetté váljon a mintánk például a mintavevő anyaga megköthet, valamint ki is vonhat komponenseket a mintából. Az üveg minta tartó előnye, hogy a korrózió ellen áll, könnyen tisztítható, és jó a hőálló képessége ugyanakkor viszont törékeny és fém ionok is kiválhatnak belőle ezzel szennyezve mintát. Ezzel szemben a műanyagból nem oldódhatnak ki fém ionok és rugalmas is, valamint szintén korrózió álló, viszont nem olyan széles tartományban hő álló, mint az üveg, valamint tisztíthatósága is nehezebb. A fém mintatárolónak az egyik legnagyobb hátránya, hogy csak kis mértékben korrózió álló, valamint fémeke ki oldódhatnak belőle ugyan akkor előnye, hogy jó a hőállósága, valamint rugalmas és erős. (Berkó et al. 2021)

A minta vételezés során fontos elkészíteni a mintavételi jegyzőkönyvet, mivel ez tartalmaz minden olyan körülményt a mintavételezés helyszínét, idejét, időtartalmát, időjárási

viszonyokat például a szél erősség vagy szél irány, hőmérséklet és a csapadék, valamint hogy szabványos vagy egyedi mintavétel történt, minták jelzését, számozását, helyszíniműveleteket, tárolási körülményeket, a mintavevő, esetleges tanúk adatait, hitelesítési aláírásokat amennyiben szükséges, hiszen ezek mind hatással lehetnek az esetleges eltérésekre vagy hibákra. Ezek azért is fontosak mert egy minta vételezés sohasem ismételfő meg ugyanúgy. (Berkó et al. 2021)

2.6.1 Minta kezelés

A minták tárolása során fontos figyelembe venni, hogy a mintánk és a vizsgálandó komponensünk a tárolás során idővel változik-e. Vannak olyan komponensek, amelyek tartósan változatlanok maradnak így semmilyen beavatkozásra nincsen szükségünk. Ugyan akkor vannak olyan összetevők, amelyek mennyisége vagy koncentrációja változhat az idő múlásával, ezeket célszerű valamilyen módon tártósítani. Változásnak az oka a mintában végbemenő kémiai, biológiai és fizikai folyamatoknak a következménye. Ezekre legnagyobb hatással a hőmérséklet emelkedése lehet ezért, hogy a folyamatot lassítsuk hűtjük a mintákat, ha viszont közel nullára akarjuk redukálni a változás sebességét, akkor fagyaszthatjuk is az egyes mintákat. Ha a mintán változását mikroorganizmusok okozzák akkor a minta szűrése segíthet, valamint a mikroorganizmusok elpusztítása ez történhet hővel, UV fénnel, oxidáló szerekkel vagy méreggel is, ugyan akkor fontos, hogy a mintában vizsgálandó komponenseket ne befolyásolja ezek alkalmazása. Általánosan használható tartósító szer nincsen mindig figyelembe kell venni, hogy a vizsgálat milyen komponensekre tér ki és mi a vizsgálat célja és ezeknek megfelelően kell tartósítási eljárást alkalmazni. (Berkó et al.2021)

2.7 Minta előkészítés

A minta analízise előtt azt megfelelő képen elő kell készíteni nagyon ritka, hogy egy mintát előkészítés nélkül tudnánk analízálni. Általában maga a minta előkészítése több időt vesz igénybe, mint maga a mérés. Az, hogy egy mintát mi alapján készítünk elő az függ a minta jellegétől, a mérés módszerétől és a meghatározandó komponensektől is. Általában a gáz halmazállapotú minták azok, amelyeket analízálni tudunk előkészítés nélkül is. A folyékony halmazállapotú mintáknál sokszor elég a szűrés és a megfelelő pH érték beállítása is. A legtöbb

előkészítő munkát a szilárd minták igénylik főleg abban az esetben, ha a választott analitikai módszer csak oldatokat képes elemezni. (Berkó et al. 2021)

A minta előkészítésre használt műveleteket két fő csoportra oszthatjuk az egyik a fizikai a másik a kémiai.

A fizikai előkészítés lényege, hogy a mintát kémiailag nem változtat meg csak olyan állandó állapotra hozom, amely alkalmassá teszi a mintát az analízisre. Ilyen műveletek közé tartozik az aprítás, őrlés, szemcseméret szerinti válogatása ez szitálással vagy szűréssel történhet, ide tartozik még a roncsolás mechanikai behatással, valamint a formára hozás is. (Berkó et al. 2021)

Az aprítási és őrlési műveleteket azért szokták alkalmazni, hogy a mintát még jobban homogenizálhassuk, hogy azok az analízis számára kezelhetőbbek legyenek, valamint a kémiai minta előkészítése során növeljük a reaktivitást. nagyobb szemcsék esetén az aprítás során először törő mozsarat használunk, ezután dörzsmozsarat majd legvégül golyósmalmot alkalmazunk ezzel már mikrométeres részecskéket is kaphatunk. Abban az esetben, ha a mintánk rugalmas vagy esetlegesen biológiai mintánk van ezeket általában fagyasztás mellett szoktuk aprítani mivel ekkor törékenyebbek lesznek. (Berkó et al. 2021)

A szitálás művelete összefügg az aprítással, valamint a szemcseméret szerinti válogatással is. A szitálás során szitasorozatokat alkalmazunk, amelyek vagy fém, vagy műanyag szálakból készült hálót tartalmazó szitákból állnak. a szita méretét a minta mennyiségének függvényében határozzuk meg. A folyadék vagy gáz halmazállapotú mintákban jelenlévő szilárd részecskéket szűréssel távolítjuk el annak megfelelően, hogy a mérendő komponensünket a szilárd részecske zavarja vagy hogy pont azokra vagyunk kíváncsiak az analízis során. A szűrést mindig a megfelelő pórusméretű, anyagú és tisztaságú szűrőközeget alkalmazva végezzük el. Például oldott vagy lebegő anyag esetén a folyadékból való elválasztáshoz 0,2 vagy 0,45 μm szűrőt alkalmazunk, levegő aeroszol tartalmának szűrését 2,5 vagy 10 μm -es szűrőkkel végezzük. (Berkó et al. 2021)

A szárítást tömegállandóságig szokás végezni olyan magas hőmérsékleten, ami a mintát nem károsítja tehát a szárítási hőmérsékleten illékony komponens nem távozik a mintából, és semmilyen bomlás sem indul el a mintában. A tömegállandóságig való szárítás azt jelenti, hogy a mintát a megfelelő hőmérsékleten addig tároljuk amíg tömegének folytonos ellenőrzése mellett már nem veszít többet a tömegéből. Ehhez a folyamatot többféle módon és eszközzel is végezhetjük például alkalmazhatunk exikkátort, szárítószekekrényt vagy valamilyen főzőlapot is. (Berkó et al. 2021)

A kémiai előkészítő műveletek csoportjába is több eljárás tartozik. Ide soroljuk elválasztás más néven extrakció, a dúsítás, valamint hígítás, a származékképzés, valamint a roncsolás elemanalízis céljára, az, hogy a felsorolt műveletek közül melyiket alkalmazzuk az annak függvénye, hogy mi a célja az analízisnek. (Berkó et al. 2021)

Az elválasztási műveletek célja bizonyos mintakomponensek egymástól való különválasztása, elkülönítése. Ide tartozik a folyadék-folyadék extrakció, az ioncsere, a csapadékképzés, az adszorpció vagy a deszorpció az illékonyítás vagy a desztilláció az abszorpció, a dialízis, valamint a kioldás. (Berkó et al. 2021)

Dúsításra abban az esetben van szükség, ha mérendő komponens koncentrációja az adott mintában a mérés határ alá esik. Ilyenkor a legtöbb esetben a dúsítás során valójában elválasztást végzünk ekkor az elválasztás után kisebb végtérfogatba juttatjuk a mérendő komponens. Olyan analitikai módszerek alkalmazása során mely a fényelnyelésen alapul gyakori a mérendő komponens olyan származékképzési reakciója, amelynek célja a fényelnyelés biztosítása vagy annak fokozása. (Berkó et al. 2021)

A roncsolás alkalmazásakor az a célunk, hogy egy szilárd mintában lévő kémiai kötések elroncsoljuk és a komponenseket olyan formára hozzuk, amelyek egy alkalmas oldószerben képesek jól feloldódni. Ennek főbb módjai például a hamvasztás vagy savelegekkel való feltárás. (Berkó et al. 2021)

2.8 Optikai mérési módszerek

Az optikai mérések a fény és az anyag kölcsönhatásán alapuló mérési módszerek. Elektromágneses sugárzasként tekintünk ekkor a fényre, amivel a különböző anyagi rendszerek amik lehetnek atomok, molekulák ionok vagy vegyületek is kölcsönhatásba lépnek vele. Két féle területet tudunk megkülönböztetni aszerint, hogy a fényforrása az anyagon kívül helyezkedik el és onnan érkezik a fény, vagy pedig magában az anyagiközegben keletkezik a fény. (Berkó et al. 2021)

A szemünkben csak a 400-700 nm hullámhosszú elektromágneses sugárzás kelt látásérzetet. A látható fény az elektromágneses spektrumnak csak egy kis sávja, mivel a frekvenciája $7 \cdot 10^7$ - $8 \cdot 10^{14}$ Hz közé esik. (Berkó et al. 2021)

Az anyag és az elektromágneses sugárzás kölcsönhatásakor, ha az elektromágneses sugárzás az anyag határához ér akkor az anyag a sugárzás egy részét a határfelületről visszaveri, egy másik része áthalad az anyagon és a maradék része pedig elnyelődik az anyagban. (Berkó et al. 2021)

2.8.1 Optikai emissziós színeképelemzés (OES)

Optikai emissziós színeképelemzést egy elemanalitikai módszer. Lényege, hogy a vizsgálni kívánt mintánk anyagát az arra alkalmas mintabevitelieszközökkel a spektroszkópiai sugárforrásba juttassuk, ott megtörténik az anyag elpárolgása, atomokrabontása, gerjesztése és ionizációja is. Ezt követően a kisugárzott fényt felbontjuk hullámhossz szerint, amihez optikai rácsot vagy prizmat használunk. Majd a megfelelő érzékelőkkel detektáljuk. Ebből kapjuk meg az emissziós színeképet, ami a kisugárzott intenzitás hullámhossz szerinti eloszlását jeleníti. Napjainkban leginkább már csak fényelektromos detektálással működő spektrométereket használunk, mivel ezeknek az eredménye pontosabb és kevesebb hibalehetőséget ad, mint a mint a fényképezéssel rögzített. Ezek a spektrométerek lehetnek lehet monokromát, polikromát vagy képkalkotó detektálási móddal működőek. a detektálást követően az adat rögzítés majd a jel feldolgozás következik és ez után megkapjuk az analitikai eredményeket, amely tartalmazza a minőségi és mennyiségi összetételt is. (Heltai és Kristóf 2008)

A mintánk lehet szilárd, folyadék vagy gázhalmazállapotú. A gerjesztéshez használt sugárforrások köze tartozik a láng, ívkisülés, szikrakisülés, Glimm-kisülés, atmoszférikus nemesgáz plazmák, valamint lézer is. A spektrométerek többféle módon különböztethetjük meg például, hogy a kisugárzott fényt mivel bontja meg ehhez használhatunk prizmat, optikairácsot vagy optikai szűrőket. Ezenkívül a detektorok is különbözőek lehetnek például fényképlemez, fotoelektronsokszorozó valamint fotodióda-tömb. De a jelfeldolgozás is több módon történhet ugyan is lehet egy spektrométer manuális vagy számítógépes is. (Heltai és Kristóf 2008)

Az OES módszereknél a legnagyobb szerepe a sugárforrásoknak van mivel fontos, hogy a vizsgált minta jó hatásfokkal legyen gerjeszthető, valamint intenzív emissziója is megvalósítható legyen. Az emissziós színeképelemzésnél elvileg és gyakorlatilag is lehetséges, hogy a gerjesztett összes elem sugárzását detektálni tudjuk, ami azt jelenti, hogy egyszerre vagyunk képesek a mintában található összes elem meghatározására. Ugyan akkor ehhez polikromátor típusú spektrométer szükséges mivel a monokromáttal egyidejűleg csak egy hullámhossz mérésére vagyunk képesek. A mérés során ugyanakkor fontos az is, hogy a

kiszűrjük a zavaró hatásokat és korrekciójuk céljából áttekintsük a számunkra releváns hullámhossz tartományt. (Heltai és Kristóf 2008)

2.8.2 Induktív csatolású plazma (ICP)

Az ICP-OES először 1974-ben került kereskedelmi forgalomba, és azóta az egyik legszélesebb körben használt analitikai technikává vált a világon. Az ICP-OES hatékony eszköz a nyom- és ultramaradványos elemkoncentrációk meghatározására a legkülönbébb mintákban, kifejezetten a többelemes analízishez ajánlott használni. Alkalmazások széles körében használják, többek között a környezeti monitoringban, élelmiszer-analízisben és az orvosi diagnosztikában is. (Douvris et.al 2023)

OES módszerek követelményeinek leginkább Greenfield és Fassel által 1963-ban szabadalmaztatott induktív csatolású plazma sugárforrás az, amely megfelel az elvárt szempontoknak. Ezek a szempontok a következők; első, hogy *„lehetővé tegye a fő-, mellék-, és nyomelemek egyidejű jó hatásfokú gerjesztését, kimutatását és megbízható kvantitatív meghatározását a mintából”* emellett *„a spektrális zavarások és mátrix zavarások legyenek elhanyagolhatók, vagy jól korrigálhatók”,* valamint *„tegye lehetővé szilárd, folyadék és gázhalmazállapotú minták bevitelét a folyamatos vagy injektálós módszerrel is.”* (Heltai és Kristóf 2008)

Az induktív energiaközléssel létre jövő plazma képe argon gázban hasonló a lánghoz. Az égő, amit ICP-nél használunk három kvarccsőből áll. A mintaaeroszolt szállító vivőgázáram a középső csőben megy át körülbelül $1-2 \text{ L min}^{-1}$ térfogat sebességgel. A külső és közbenső csőbe megy át a plazma fenntartó gázáram, amelynek térfogati sebessége $10-15 \text{ L min}^{-1}$, itt jön létre a kisülés. A tekercsre váltóáramot kapcsolnak. Váltakozó mágneses tér jön létre, emiatt a tekercsben lévő töltéssel rendelkező, mozgó részecskék mozgási energiája megnő. A tekercs belsőjében körülbelül 10000K hőmérséklet jön létre annak köszönhetően, hogy a részecskék a plazmagáz atomjaival ütközve ionizációt okoznak. A külső csőfal mellé bevezetett plazmagáz hűtő hatásának köszönhetően a kvarccső nem tud megolvadni. Az indukciós tekercsben áramoltatják a hűtővizet a tekercs anyaga vörösrézéből van. A mintaaeroszol egészen hosszú ideig halad át a magas hőmérsékletű zónán, itt plazma állapotba kerül, azaz elpárolog, gerjesztődik valamint ionizálódik, a tekercs feletti zónában jön létre a lángszerű plazma, ez

tulajdonképpen az az analitikai zóna ami az OES számára a legfontosabb. Ezt a lángot a legtöbb ICP spektrométerben oldalról figyelik. (Heltai és Kristóf 2008)

A megfigyelési magasságot minden elemnél külön kell optimalizálnunk abban az esetben, ha a szekvens spektrométer használunk egyelemes meghatározásoknál. Ha viszont sokcsatornás szimultán elemanalízist végzünk akkor kompromisszumot keresünk és annak megfelelően állítjuk be a megfigyelési magasságot. (Heltai és Kristóf 2008)

Az induktív csatolású plazma analitikai zónájában a sugárzásos energiaveszteséget képes kiegyenlíteni az ütközésből adódó gerjesztési, valamint ionizációs folyamatok révén, mivel a lokális termodinamikai egyensúly állapotában az eltérés nem mérvadó, emellett a kiegyenlítéshez elegendő az elektronkoncentráció is. De a folyamatban a metastabil állapotú argonatomoknak a szerepe is fontos (Heltai és Kristóf 2008)

Az ICP-OES első sorban oldatos elemzési módszer, de vannak olyan eszközök, amelyekkel szilárd mintát is lehet vizsgálni. ICP-OES-sel megközelítőleg hetven elem ng cm^{-3} nagyságrendű kimutatási határral négy-öt koncentrációnagyságrendben lineáris kalibrációval meghatározható. (Heltai és Kristóf 2008)

3 Anyag és módszertan

Vizsgálatom során, mint ahogy már az előzőekben említettem az M0 autópályát melletti növényzet, valamint talaj legfelső rétegének potenciálisan toxikus elem tartalmát vizsgáltam.

Először kiválasztottam a mintavételi pontjaimat, ehhez figyelembe vettem Budapest és térségének uralkodó szélirányát, ami észak-nyugati [3] így az általam választott mintázási pontok az M0 autópályát azon oldalára kerültek, amelyek a széliránynak köszönhetően több szennyezőanyagra lehetett számítani, az az az út déli- délkeleti oldalán lévő megállóhelyekre esett a végső választásom.

Összesen négy mintavételi pontot választottam ebből három az M0 autópályán található pihenőhelyek lettek név szerint az Annahegyi pihenő, Szigetszentmiklósi pihenőhely és az Alacska pihenőhely, a negyedik mintavételi pontom nem egy pihenőhely volt, hanem az M0 autópályát Dunaharasztnál lévő felüljárója mellett lévő pont mivel szerettem volna egy minta vételi pontot a lakóhelyemnél is és ez a hely volt a legkönnyebben megközelíthető a minta vételhez.

A következő négy képen az látható, hogy a minta vételi pontom milyen távolságban és hogyan helyezkedett el az M0 autópályához képest.



1.számú kép: Annahegyi pihenőhely



2.számú kép: Szigetszentmiklósi pihenőhely



3.számú kép: Alacska pihenőhely

4.számú kép: Dunaharaszti M0 felüljáró mellett

A mintavételt 2023 szeptember 9.-én végeztem a helyszínekre való eljutásban apukám segített. Az első minta vételi hely az Annahegyi pihenőhely volt 9:32 kor kezdtem a minta vételt ezen a ponton ekkor az idő napsütéses volt, szelet alig tapasztaltam az időjárás applikációm szerint 5 km/h volt, a hőmérséklet pedig 22°C volt.

A második mintavételi pontom a Szigetszentmiklósi pihenőhely volt itt a minta vételt 10:27 perckor kezdtem meg, az időjárás szintén napos volt a hőmérséklet ekkor 23°C-ot érte el, a szélereősség itt 6 km/h-ra volt tehető.

A harmadik mintavételi pontomon az Alacska pihenőhelyen 11 után kezdtem meg a minta vételt ekkor a hőmérséklet már elérte a 27°C is, a szélereősség ezen a területen 4 km/h volt az időjárás derús, napsütéses volt.

A negyedik egyben az utolsó minta vételi pontom Dunaharasztnál az M0 autóút felüljárója alatt volt, ide 14 óra előtt nem sokkal érkeztünk meg és kezdtem el a minta vételt az időjárás itt is napsütéses volt 28°C-kal, a szélereősség pedig mindössze 4 km/h volt.

A minta vételt követően a méréshez a minták megfelelő előkészítése következett, ez a folyamat több lépcsős volt. Első körben a begyűjtött növény rész mintákat választottam szét elkülönítve a levél, szár és gyökér részeket. Ezután a levélminták egyik felét megmostam, ez azért volt szükséges mert arra voltunk kíváncsi, hogy a növények levelein mekkora mennyiségben

maradnak meg a potenciálisan toxikus elemek, ehhez tudnunk kellett azt is hogy a levelek mekkora koncentrációban tartalmazzanak esetlegesen potenciálisan toxikus elemeket, így a mosott minták lettek a „kontrol minták”. A mosást követően a növény mintákat, valamint a talajmintákat szárítószekrénybe helyeztem.

Miután a minták megfelelően kiszáradtak, a minták aprítása következett ez dörzs mozsárban történt majd megfelelő méretre törés után az átszitált mintákat műanyag centrifuga csőbe helyeztem a mintákat. Ekkor a minták már csak számot kaptak 1-20-ig. Az, hogy melyik szám pontosan melyik mintához tartozik az az első táblázatban látható.

1.számú táblázat: Minták számát, típusát és mintavételi helyszínét jelöli

(Forrás: Saját munka)

Minta száma	Minta típusa	Mintavételi helyszín
1	Mosott levél	Annahegyi pihenőhely
2	Mosott levél	Szigetszentmiklósi pihenőhely
3	Mosott levél	Alacska pihenőhely
4	Mosott levél	Dunaharaszti
5	Nem mosott levél	Annahegyi pihenőhely
6	Nem mosott levél	Szigetszentmiklósi pihenőhely
7	Nem mosott levél	Alacska pihenőhely
8	Nem mosott levél	Dunaharaszti
9	Gyökér	Annahegyi pihenőhely
10	Gyökér	Szigetszentmiklósi pihenőhely
11	Gyökér	Alacska pihenőhely
12	Gyökér	Dunaharaszti
13	Szár	Annahegyi pihenőhely
14	Szár	Szigetszentmiklósi pihenőhely
15	Szár	Alacska pihenőhely
16	Szár	Dunaharaszti
17	Talaj	Annahegyi pihenőhely
18	Talaj	Szigetszentmiklósi pihenőhely
19	Talaj	Alacska pihenőhely
20	Talaj	Dunaharaszti

A minták további előkészítése CEM MARS 5 mikrohullámú roncsolóval történt, ehhez a mintákból kimértünk 0,2500-0,3500g-ot teflonba majd ehhez először 5 ml 65m/m% (tömegszázalékos) HNO₃ (salétromsav) majd 2 ml 30 m/m% (tömegszázalékos) H₂O₂ (hidrogén-peroxid) adtunk.

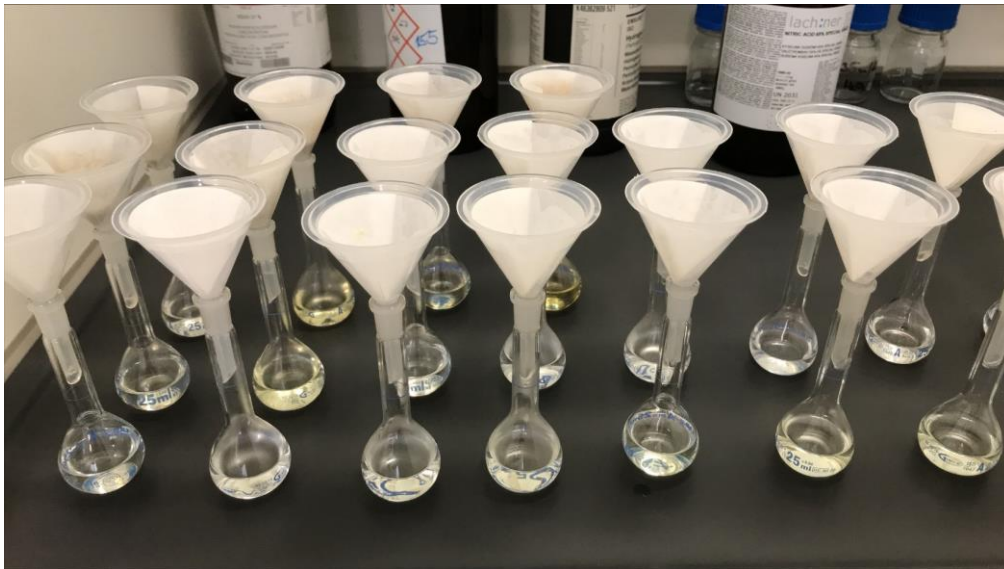


5 számú kép: Ezen a minták kimérés előtt láthatóak a mérleggel együtt, amivel kimértük őket a teflonba.



6.számú kép: Itt a CEM MARS 5 mikrohullámú roncsolót láthatjuk, benne a teflon bomba

Ezután a teflon bombákat a helyükre helyeztük majd a mikrohullámú roncsolón elindítottuk először a RAMP time programot 170 °C-on ez 20 percig tartott, majd utána a HOCD time-ot 800W-on ez 40 perces volt. Ezután lehűtöttük a mintákat majd MN619 szűrőpapír segítségével egy tölcseren át 25ml-es lombikba szűrtük át őket, ezt követően a lombikokat jelre töltöttük. Így a mintákat már csak le kellett mérni mivel megfelelően előlettek készítve.



7.számú kép: Itt a roncsolást követően a leszűrt minták láthatók a mérőlombikokban még a jelre töltés előtt

A minták méréséhez HORIBA ACTIVA-M ICP-OES készüléket használtuk. A készülékben a plazma 1300 W-os, a plazma gáznak argon gázt (Ar) használtunk melynek térfogatsebessége 16 L/min volt, a burkoló gáz térfogatsebessége pedig 0,4 L/min. Ez a készülék Meinhard-porlasztóval és ciklontípusú ködkamrával rendelkezik, a porlasztó gáz nyomása 2,78 bar-os. A minták bevitele és lemérése után az eredmények pontosságát QC mintával ellenőriztük. Így kaptuk meg a minták potenciálisan toxikus elem tartalmát.



8.számú kép: HORIBA ACTIVA-M ICP-OES készülék látható Forrás: <https://archive.szie.hu/regionalis-egyetemi-tudaskozpont>

4 Eredmények

Az vizsgálat alapja az volt, hogy megnézzük a növények levél felszínén mennyi potenciálisan toxikus elem rakodik le. Ehhez a begyűjtött növény minták leveleinek egyik felét lemostam a mintaelőkészítés során és a mosott és nem mosott minták eredményét akartam összehasonlítani. Az alap feltevésem az volt, hogy a lemosott levélminták potenciálisan toxikus elem koncentrációja kisebb lesz, mint a nem mosott leveleké. A levélminták mellett a növények gyökereiben és szárában is mértünk potenciálisan toxikus elemeket, valamint a talajminták koncentrációját is mértem így ezeket az eredményeket fogom a következőkben összehasonlítani különböző szempontok alapján. A második táblázatban láthatóak a mérési eredményeim potenciálisan toxikus elemekre, valamint mintákra bontva, az első táblázatban (Anyag és módszer bekezdés) látható az, hogy melyik minta melyik minta vételi ponthoz tartozik, valamint, hogy talaj vagy növényi részből származik.

2.számú táblázat: Mérésem eredményei (Forrás: Saját munka)

Minta száma	Alumínium mg/kg	Kadmium mg/kg	Kobalt mg/kg	Króm mg/kg	Réz mg/kg	Vas mg/kg	Nikkel mg/kg	Ólom mg/kg	Cink mg/kg
1	41,96	n.d.	n.d.	n.d.	24,27	104	n.d.	n.d.	14,88
2	44,67	n.d.	n.d.	n.d.	27,2	85,01	n.d.	n.d.	26,66
3	52,3	n.d.	n.d.	n.d.	4,76	91,74	n.d.	n.d.	13,60
4	23,72	n.d.	n.d.	n.d.	5,34	58,27	n.d.	n.d.	26,91
5	37,75	n.d.	n.d.	n.d.	6,90	104	n.d.	n.d.	18,57
6	56,51	n.d.	n.d.	n.d.	24,6	105	n.d.	n.d.	39,08
7	81,7	n.d.	n.d.	n.d.	3,41	149	n.d.	n.d.	12,88
8	64,5	n.d.	n.d.	n.d.	21,5	115	n.d.	n.d.	16,82
9	5960	n.d.	0,07	6,67	13,93	9446	4,25	3,23	67,76
10	3392	n.d.	n.d.	4,05	13,30	27417	2,22	3,57	150
11	865,5	n.d.	n.d.	n.d.	35,06	915	n.d.	n.d.	39,06
12	1306	n.d.	n.d.	n.d.	73,96	1553	n.d.	n.d.	50,93
a	121	n.d.	n.d.	n.d.	3,99	173	n.d.	n.d.	29,68
14	119	n.d.	n.d.	n.d.	36,88	152	n.d.	n.d.	37,01
15	77,87	n.d.	n.d.	n.d.	6,15	126	n.d.	n.d.	29,37
16	97,35	n.d.	n.d.	n.d.	37,87	139	n.d.	n.d.	27,07
17	6165	n.d.	n.d.	6,61	30,55	8642	3,26	5,12	40,61
18	6489	n.d.	0,55	7,58	29,77	8718	5,57	2,47	33,88
19	4036	n.d.	n.d.	3,39	26,59	5051	0,62	2,68	34,44
20	8506	n.d.	0,11	9,06	9,49	9631	4,85	3,90	31,83

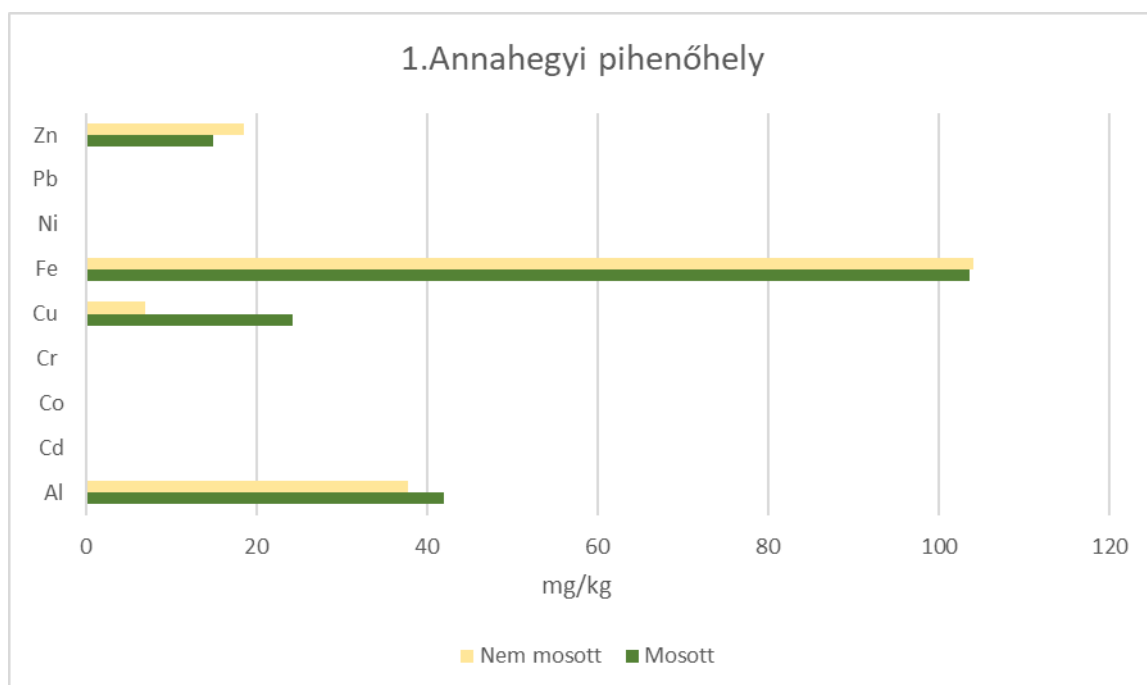
A második számú táblázatban kiderül, hogy az összes vizsgált elem közül nem sikerült mindet kimutatni a mintákból, valamint, volt példa arra is, hogy némelyik elem csak egy két mintában volt a kimutatásihatár érték felett. A táblázatban a sötétebb zöld színnel jelöltem azokat az értékeket, amelyek a kimutatási határérték felett voltak. Ebből egyből látható, hogy kadmium egyik mintában sem volt kimutatható. Az n.d. jelölésnél az eredmények a kimutatási határ alattiak voltak.

A kobaltnál az látható, hogy csak három mintában volt kimutatható, ugyan akkor a kobalt tartalom nem érte el az 1 mg/kg értéket, érdekesség, hogy ahol a kobalt tartalom kimutatási érték felett volt a mintákban minden minta különböző mintavételi helyszínről származott. Ebből leginkább az szűrt szemet, hogy az első helyszínről származó gyökér minta tartalmazott kobaltot ezzel szemben ugyan arról a helyről származó talajmintában nem volt kimutatható, a másik két minta, amelyből kimutatok a második és harmadik mintavételi helyszínről származó talajminták voltak, az, hogy azokon a helyszíneken csak a talajban volt kimutatható a kobalt jelenléte, ez utalhat arra, hogy a talajfelszínen megmaradt, de a növények nem vették fel.

Krómot, nikkelt és ólmot sem tudtam minden mintában mérni, ezeknél az elemeknél minden helyszínről származó talajmintában kimutatható volt ezen elemek jelenléte, valamint emellett az első és második helyszínről vett gyökérmintákban is kimutathatóak voltak ezek a fémek.

Az alumíniumnál, réznél, vasnál és cinknél minden növényi rész, valamint talajmintákban is kimutathatóak voltak ezek az elemek. Így ezeknél a fémeknél össze tudtam hasonlítani, hogy a mosott és nem mosott levélminták között milyen potenciálisan toxikus elem koncentráció különbségek voltak.

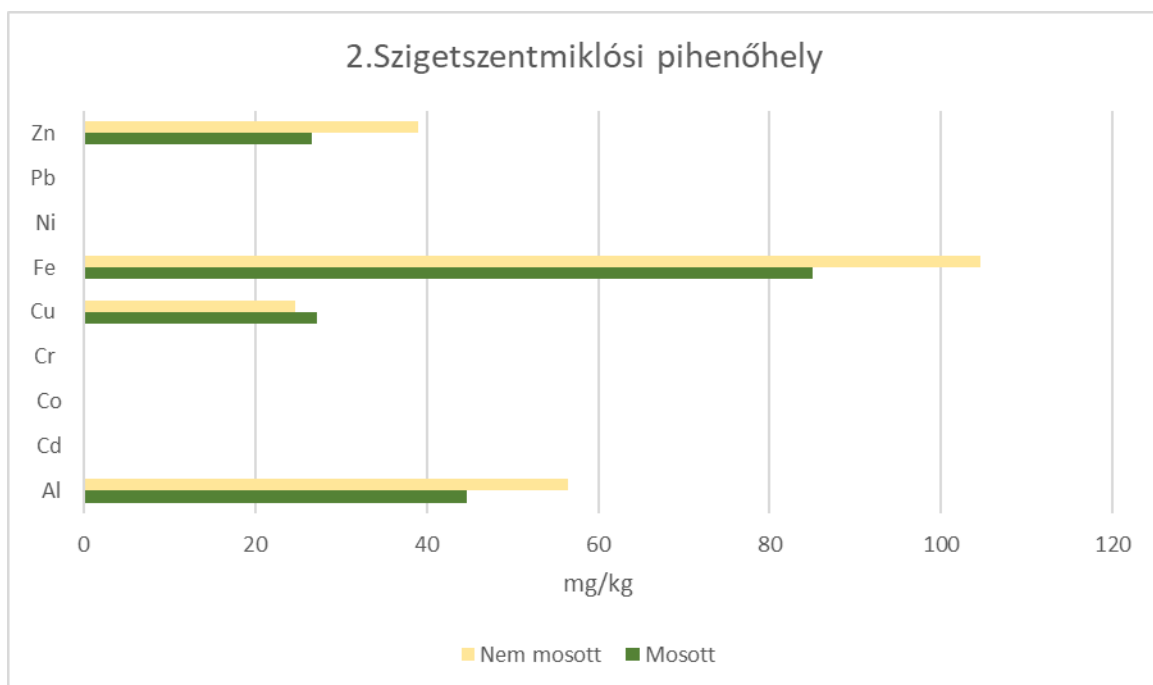
1.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma az első helyszínről (Forrás: Saját munka)



Az első diagramon látható az első helyszínről vett levélminták mosott és nem mosott mintáinak eredménye, ebből az láthatjuk hogy azoknál ez elemeknél ahol a mérésnél az elemtartalom elérte e kimutatási határt hogy minden elemnek a tartalma más milyen különbséget hozott a a

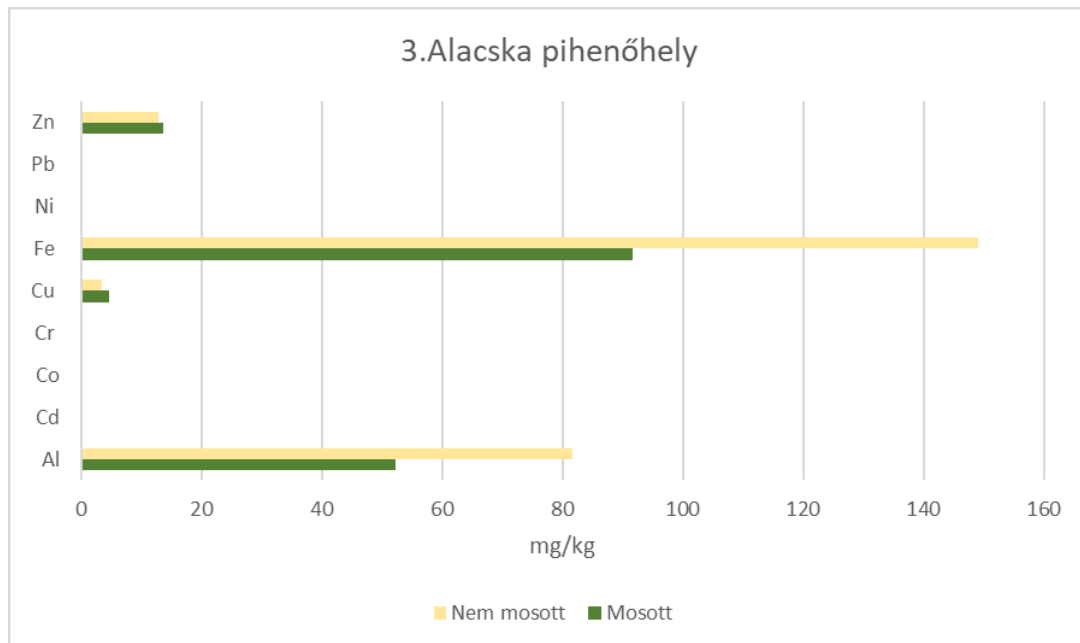
mintákban, vagyis még a vasnál a két minta között a különbség szinte elhanyagolható volt addig réznél a mosott levél elem tartalma majdnem háromszorosa volt a nem mosotténak, ezzel együtt az alumínium tartalom is a mosott levélben magasabb volt mint a nem mosottéban ami az ellenkezőjét mutatja az eredeti feltevésnek ami alapján a levél felületen a közlekedés okozta levegőszennyezés miatt nagyobb a potenciálisan toxikus elemek tartalma, ugyanakkor cink tartalom az eredeti feltevésemet támasztja alá mivel nagyobb volt a nem mosott levélben a koncentráció mint a mosott levél mintában. A réz és alumínium tartalma arra enged következtetni, hogy ezeket az elemeket a növények a leveleikben tárolják, valamint, hogy a felszínükön nem marad meg akkora mértékben, mint magában a levélben.

2.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma a második helyszínről (Forrás: Saját munka)



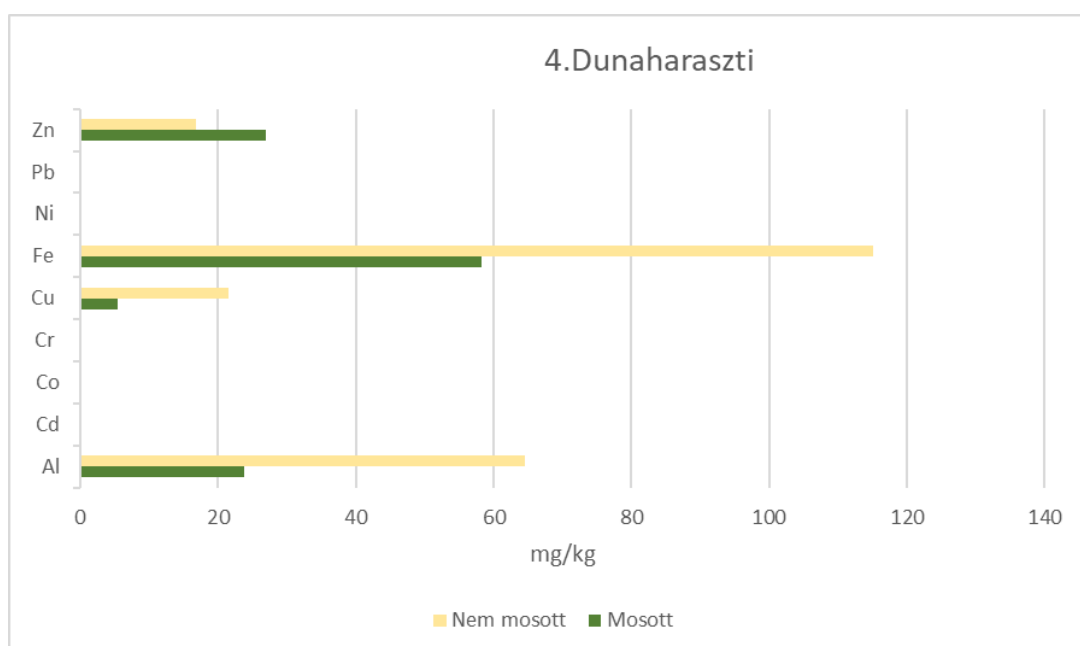
A második diagramon, ugyan úgy a mosott és nem mosott levélminták eredményei látszódnak, mint az első. Itt az olvashatjuk le, hogy a réznél a mosott levelekben megint nagyobb volt a potenciálisan toxikus elem tartalom, mint a nem mosott levélnél. Ugyan akkor a többi kimutatott elemnél már az figyelhető meg hogy a nem mosott levél elem tartalma volt magasabb, vagyis a levél felületén megtapadtak a potenciálisan toxikus elemek és ez jelentős különbséget adott a koncentrációk között. alumíniumnál megközelítőleg 10 mg, cink és vas esetében mintegy 20 mg különbség volt a mintákban.

3.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma a harmadik helyszínről (Forrás: Saját munka)



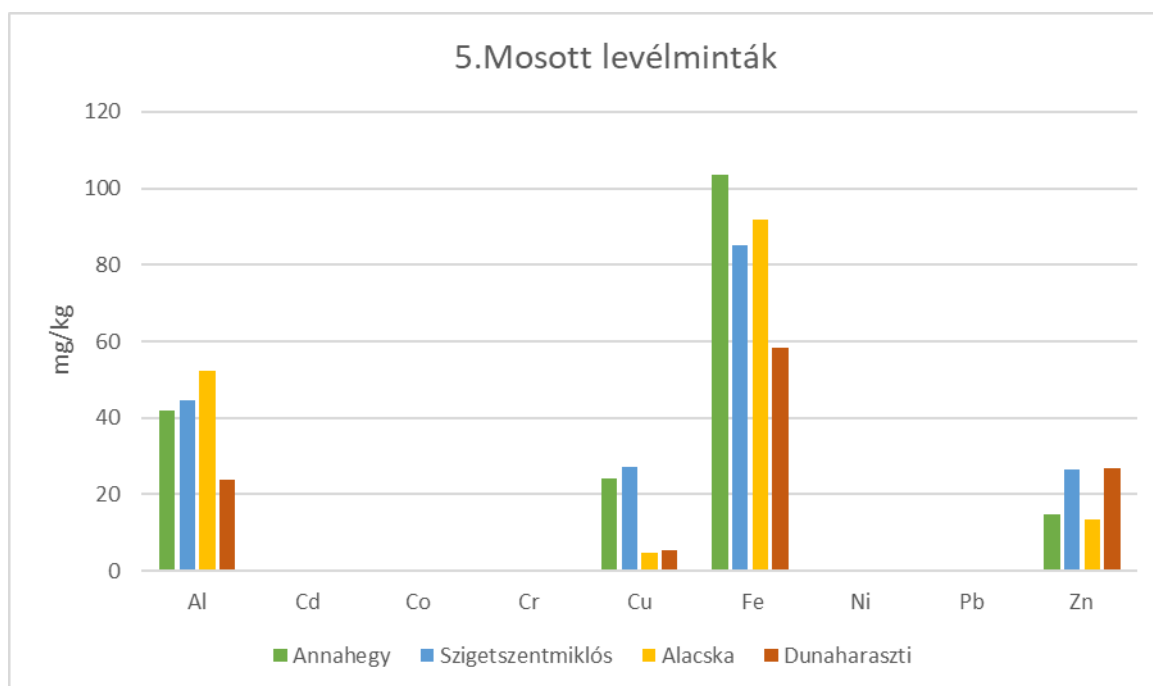
A harmadik diagramon látható a harmadik helyszínről származó mosott és nem mosott levélminták összehasonlítása. Itt a cinknél és réznél nem volt nagy különbség a minták között, ugyanakkor az alumíniumnál megközelítőleg 30 mg volt a különbség, vasnál pedig majdnem a duplája a mért koncentrációnak a mintákban a nem mosott minta javára. Ebből az látszik, hogy ezen helyszínen a levegőből alumínium és vas rakodott le a levél felületre.

4.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma a negyedik helyszínről (Forrás: Saját készítés)



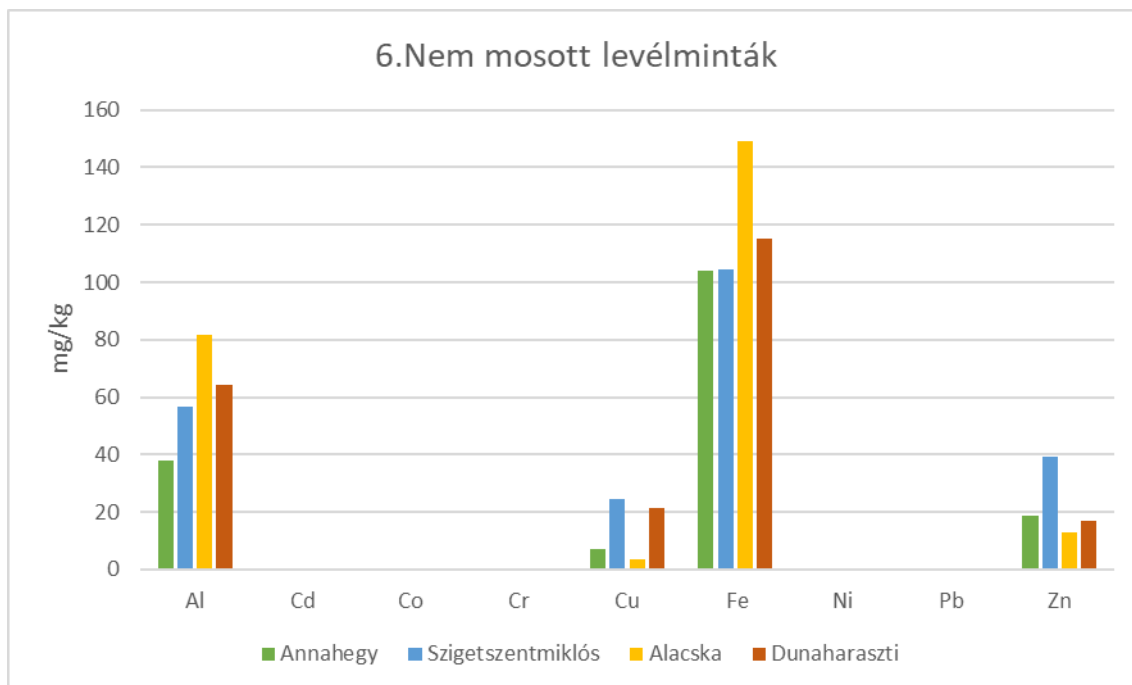
A negyedik diagramon látható az utolsó mintavételi helyszín mosott és nem mosott levél mintáinak eredménye. Itt a cink eredménye azt mutatja, hogy a mosott mintában nagyobb volt a koncentráció, ugyan akkor vas, réz és alumínium esetén a nem mosott minták koncentrációja több mint kétszerese volt a mosott levélminta koncentrációjának, ez az arány magasabb, mint a többi minta vételi pontnál volt.

5. diagram a helyszínekről származó mosott levélmintákat hasonlítja össze egymással (Forrás: Saját munka)



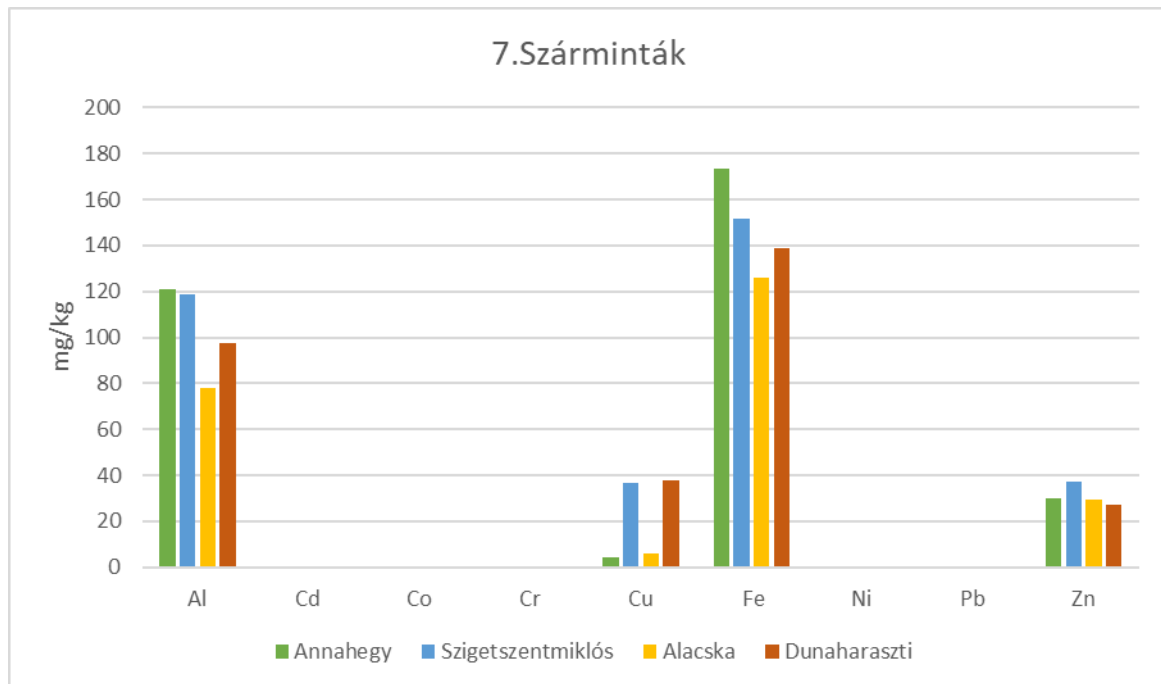
Az ötödik diagramból kiderül, hogy a mosott levélmintáknál az alumínium tartalom a harmadik mintavételi ponton volt a legnagyobb még a negyedik mintavételi helyen a legkisebb, a réz a harmadik és negyedik helyen majdnem azonos mennyiségben voltak jelen a mintákban, de az első és második helyen is hasonló eredményt mutattak ugyan akkor ezekről a mintavételi pontokról származó levelekben jóval nagyobb több mint kétszerese volt a réz koncentráció. Ekkora különbség nem volt a többi elemnél a helyszínek között a mosott levélmintákban. Vas esetén a legnagyobb koncentráció az első helyszínen még a legkisebb a negyediken volt. A cink esetében pedig nem volt annyira nagy a különbség a helyszínek között, mint a többi elemnél itt a második és negyedik helyszínről származó minták közel azonosak és nagyobb koncentrációjúak voltak, mint az első és harmadik mintavételi helyszínről származóak, amelyek szintén majdnem azonos mennyiségben tartalmaztak cinket.

6. diagram a helyszínekről származó nem mosott levélmintákat hasonlítja össze egymással (Forrás: Saját munka)



A hatodik diagram tartalmazza a nem mosott levélminták eredményeit. Ebből láthatjuk, hogy az alumínium koncentrációkat növekvő sorrendbe tudjuk állítani koncentráció növekedés szerint az első az Annahegyi pihenőhelyről származó minta, a második Szigetszentmiklói pihenőhelyről szedett levélminta a harmadik a Dunaharasztiánál lévő M0 felüljáró mellől vett minta és legnagyobb alumínium tartalommal az Alacska pihenőhelyről származó minta bír. Réz tartalomnál azt láthatjuk, hogy a második és negyedik helyről származó mintákban nagyobb a koncentráció, mint a másik kettő esetében. Vas tartalom az első és második helyszínen szinte azonos mennyiségben volt a mintákban, emellett a negyedik helyszínről származó mintában is csak egy kicsivel volt több a koncentráció, a harmadik helyszínről szedett minta viszont kiugróbb eredményt hozott vas tartalom szempontjából is. A vas és alumínium aránya helyszínekhez képest majdnem ugyan olyan mivel csak az Alacska pihenőhely mellől származó minta koncentrációja ugrik ki jobban a többi helyszínhez képest. Ugyan akkor cink tartalom tekintetében a második minta vételi pont eredménye mutatott kiugróbb eredményt, ez majdnem kétszerese volt a többi mintához képest.

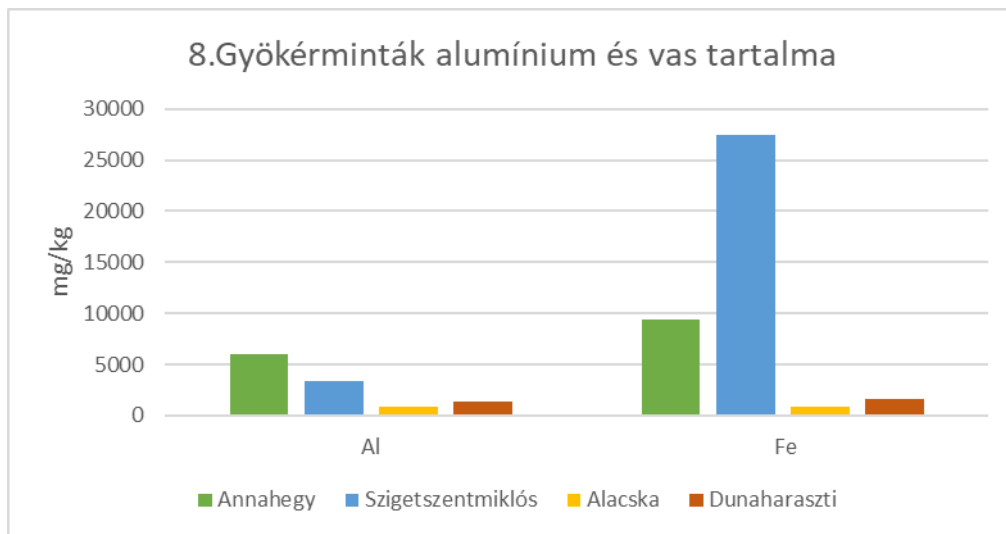
7. diagram a helyszínekről származó szár mintákat hasonlítja össze egymással (Forrás: Saját munka)



A hetedik számú diagramon láthatóak a szárminták, amelyek elemkoncentrációját a helyszínek között össze lehet hasonlítani egymással. Alumínium és vas tekintetében láthatjuk, hogy a harmadik helyszínről származó mintákban kisebb a szárban lévő elem koncentráció, mint a többi helyszínen, ez azért is érdekes mert a levélminták eredménye pontosan ennek az ellenkezőjét mutatta mivel ott ezeknél az elemeknél a harmadik helyszínen volt a legnagyobb a koncentráció. Cink esetében az elem koncentrációk között nem volt nagy különbség, körülbelül ugyan akkora arányban tartalmaztak a minták cinket. Réz tartalom aránya ugyan akkor megegyeztek a levelek arányával mivel itt is több mint duplája, sőt itt körülbelül négyszerese volt a második és negyedik helyszínről származó minták réz koncentrációja a másik két helyszínhez képest.

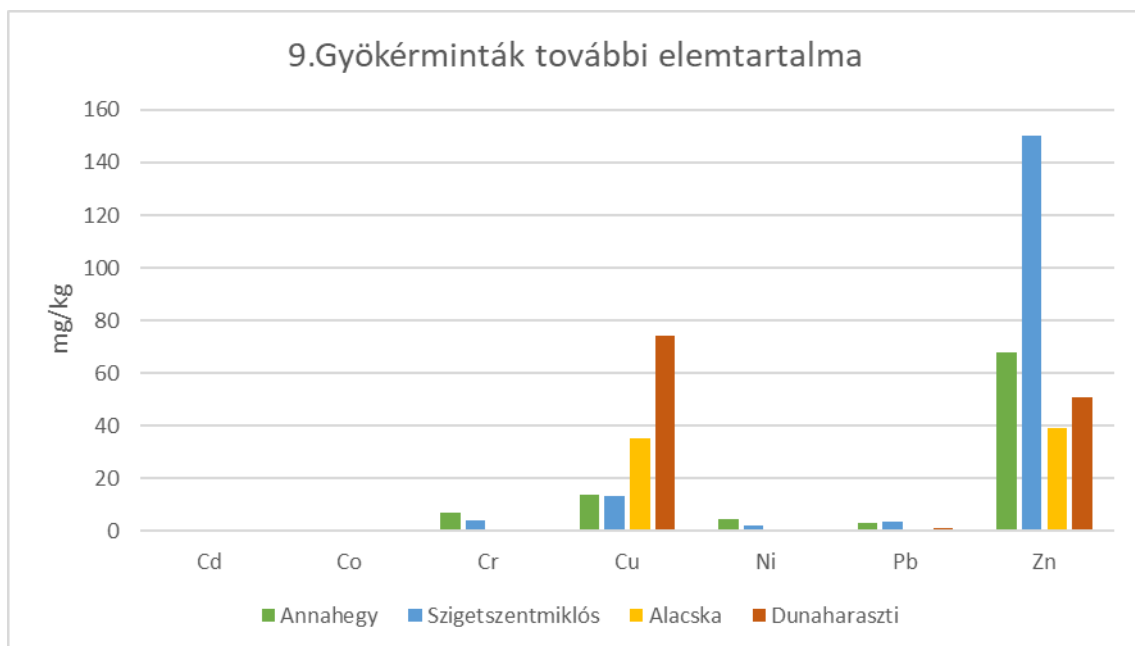
A nyolcas és kilences diagramok a gyökérminták elemtartalmának összehasonlítását tartalmazzák, azért készült ebből két diagram, hogy jobban szemléltesse a koncentrációkat mivel az alumínium és vas koncentráció majdnem százszorosa volt a többi elemnek.

8. diagram a gyökérminták alumínium és vas tartalma (Forrás: Saját munka)



A nyolcas diagramon látható, hogy gyökér minták alumínium tartalma volt a legnagyobb ez több mint 500mg/kg. A minták vas tartalma az első helyszínen majdnem 1000mg/kg volt ez a koncentráció a harmadik és negyedik helyszínről vett minták többszöröse, de a legkiemelkedőbb értéket a második helyszínről származó vas tartalom mutatta mivel ez majdnem 3000 mg/kg volt, ez az első helyszínről származó minta vas koncentrációjának majdnem a háromszorosát jelenti.

9. diagram a többi elemtartalmat mutatja a gyökérmintákban (Forrás: Saját munka)

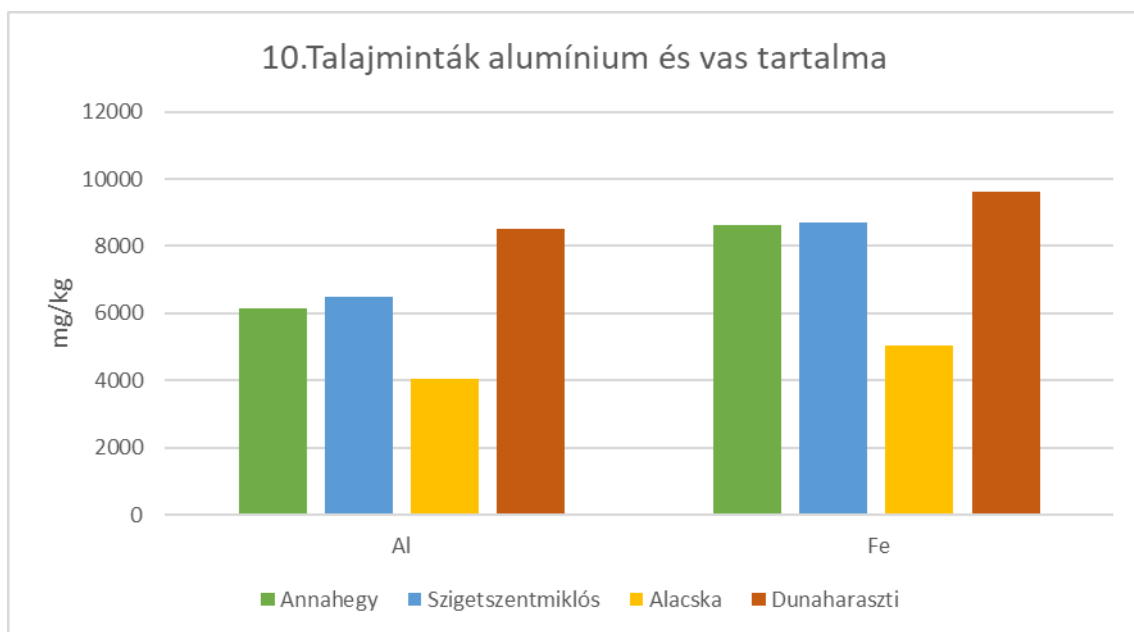


A kilencedik diagramon látható elemek koncentrációja kisebb volt a gyökérmintákban mint az alumínium és vas koncentrációja. A gyökér mintákban a króm, nikkel és ólom az első és

második minta vételi ponton kimutathatóak voltak, igaz csak kis koncentrációban. A réz az Annahegyi és Szigetszentmiklósi pihenőről származó mintákban közel azonos koncentrációt tartalmaztak, viszont az Alacska pihenőhelyről vett minta ezeknek majdnem kétszeresét tartalmazta rézből, a Dunaharaszti ből származó gyökérminták pedig a harmadik helysín mintájának is duplája volt. Cink esetében a legkiemelkedőbb érték a második helysín mintájában figyelhető meg, mivel a többi helysínről vett minták cink tartalma kevesebb mint fele volt.

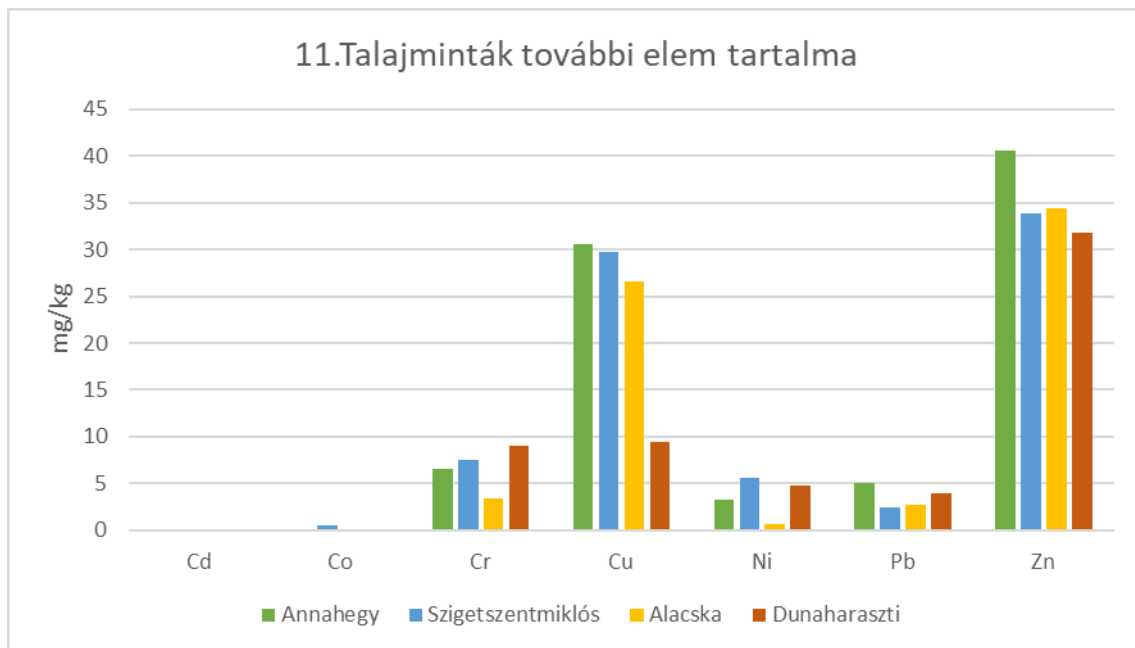
A tizedik és tizenegyedik diagram az előző kettőhöz hasonlóan a talajminták elemtartalmát mutatják, ezek is a nagy koncentráció különbség miatt lettek ketté szedve.

10. diagram talajminták alumínium és vas tartalma (Forrás: Saját munka)



A tizedik diagramon látható, hogy az alumínium koncentráció az első és második helysín talajmintáiban megközelítőleg azonosak voltak, nagy eltérés mutatkozott azonban a harmadik és negyedik helysín között ugyan is a Dunaharaszti ből származó minta alumínium tartalma majdnem a duplája volt az Alacska pihenőhelyről származónak, az első kettő helysínről származó minták koncentrációja ezek közé esett, a két minta átlagával voltak majdnem egyenlő koncentrációjúak. Vas tartalommal a harmadik helysín mintája volt a legkisebb a többi minta majdnem egyforma nagyságú volt megközelítőleg a duplája az Alacska pihenőből származónak.

11. diagram a többi elemtartalmat mutatja a talajmintákban (Forrás: Saját munka)



A tizenegyedik diagramról a további elemek aránya olvasható le, ebből látszódik kadmium még a talajmintákban sem érte el a kimutatási határértéket, valamint a kobalt is csak kis mennyiséget tartalmazott. Ugyan akkor a talajmintákból minden helyszínről származó mintában kimutatható volt a króm, nikkell és ólom jelenléte is, ezek koncentrációja egyik helyszínen sem érte el a 10mg/kg-ot. Réz tartalomnál megfigyelhető, hogy az első három helyszín koncentrációja nagyjából azonos viszont a az utolsó helyszínről vett minta koncentrációja fele akkora mint a többi. A cink koncentrációk közel azonosak voltak az első helyszínen mutatott kisebb kiugrást, de ez is kevesebb mint 10 mg/kg eltérés volt.

5 Következtetések

Az előző bekezdésben bemutatott eredményeiből számos következtetést le lehet vonni. Kezdvé azzal, hogy az eredeti feltevésemet mely a vizsgálat alapját adta miszerint a növények felületén leülepednek a levegőből származó szennyezőanyagok közöttük a potenciálisan toxikus elemek nem sikerült teljes mértékben igazolnom. Ennek oka, hogy a mosott és nem mosott levele összehasonlításánál több helyszínen és több elemnél is elő fordult, hogy a mosott levélmintában nagyobb volt az elem koncentráció, ugyanakkor igaz az is, hogy voltak olyan elemek, amelyek igazolták a feltevésemet mert a mosott levélminta elem koncentrációja kisebb volt, mint a nem mosott levélmintájé.

Azok az elemek, amelyek nem igazolták a feltevésemet az első minta vételi helyszínen az alumínium és a réz voltak, a második helyszínen csak a réz, a harmadik helyszínen pedig a cink és a réz tartalom volt nagyobb a mosott mintában, a negyedik helyszínen pedig a cinkben. Ezek az eredmények szerint a növények levelin nem telepsznek meg a potenciálisan toxikus anyagok. Ezzel szemben viszont az első helyszínen a cink koncentráció, a második helyszínnél a cink, vas és alumínium tartalom, a harmadik helyszínnél a vas és alumínium és a negyedik helyszínen pedig a réz, vas és alumínium koncentráció azt bizonyítja, hogy a potenciálisan toxikus elemek megtelepsznek a növények levél felületén. Ebből következtethetünk arra is, hogy az alumínium és a vas inkább növények felületére jellemző, míg cinket valószínűleg a növény a levelében is magasabb koncentrációban is tartalmaz.

Mivel a talajmintákban volt a legnagyobb a potenciálisan toxikus elemek mért koncentrációja ez arra enged következtetni, hogy a legtöbb szennyező anyag a talaj legfelső rétegébe kerül, ez valószínűleg abból adódik, hogy a levegőből a talajra is leülepednek a szennyezőanyagok, valamint azok a szennyező anyagok, amelyek a növényekre ülepednek le először azok a csapadékkal a talajba kerülnek ugyan úgy. Mivel a gyökérmintákban is nagyobbak voltak a koncentrációk ezért valószínűnek tartom, hogy a növények a gyökerükön keresztül nagyobb mennyiségben veszik fel a potenciálisan toxikus elemeket, mint a levelükkel.

6 Összefoglalás

A közlekedés által okozott levegőszennyezés következtében potenciálisan toxikus elemek kerülnek az autópályák mentén és ezen elemek megtelepsznek a növényeken, a vizsgálatom alapjául az a feltevés szolgált, hogy az autópályák mentéről származó levélmintákat összehasonlítom úgy, hogy a minták egyik felét lemosom a másikat pedig nem, a mérésemet nem csak levélmintákkal, hanem a minta vételihelyszínekről begyűjtött gyökér, szár és talajmintákkal is kiegészítettem.

Mintavétel helyszínéül az M0 autópályát mellett választottam négy pontot mivel ez hazánk egyik legforgalmasabb autópályája. A négy helyszín három pihenőhely volt név szerint az Annahegyipihenő, Szigetszentmiklósi pihenő, valamint az Alacska pihenőhely, a negyedik mintavételi pontom Dunaharasztnál lévő M0 autópályát felüljárója alatt történt.

A minták begyűjtése után a minták előkészítése történt, amelyhez előbb a levélminták felét lemostam, majd ezt követően az összes mintát szárítószekrénybe helyeztem. Amikor a minták megfelelőképpen kiszáradtak mozsár segítségével megfelelő méretűre őröltem a mintákat majd át szitáltam őket. Ezek után a minták roncsolása történt, amelyet CERM MARS5 mikrohullámúroncsolóval végeztem, a roncsolás után a mintákat átszűrtem 25 ml mérőlombikba majd ezt követően jelig töltöttem őket. Ezután a megfelelően elkészített mintákat HORIBA ACTIV-M ICP-OES készüléken lemértem és a kapott eredményeket elemeztem.

Az eredményekből az eredeti feltevésemet nem tudtam beigazolni miszerint a mosott levelek potenciálisan toxikus elem koncentrációja kisebb, mint a nem mosott leveleké mert ez csak az alumíniumnál és vasnál volt megfigyelhető és csak három helyszínen mintájánál, emellett a réz koncentráció az első és második helyszínen mintáiban pont az ellenkezőjét mutatta miszerint a mosott levél rendelkezett nagyobb koncentrációval. A szár mintákban az alumínium, vas cink és réz koncentráció volt kimutatható. A gyökér mintáknál az első és második helyszínről származó mintákban a kadmium kivételével minden elem elérte a kimutatási határértéket, viszont a harmadik és negyedik helyszínen mintáiban nem volt kimutatható a kobalt, króm, nikkal és ólom sem. A legnagyobb koncentrációka a talajminták mutatták minden elem tekintetében, ebből következtettem arra a megállapításra, hogy a talajfelső rétegében jobban kiülepednek a közlekedésből származó potenciálisan toxikus elemek, mint a növényekben.

7 Irodalmijegyzék

F.Amato,F.R.Cassee, H.A.C. Denier van der Gon, R.Gehrig, M.Gustafsson, W.Hafner, R.M.Harrison, M.Jozwicka, F.J.Kelly, T.Moreno, A.S.H.Prevot, M.Schaap,J. Sunyer, X.Querol
Urban air quality: The challenge of traffic non-exhaust emissions
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.04.053>

T.Bellin, S.Casadei, T. Rossi, A.Bernetti, R. Lauretis, G. Lonati (2022) Determination of Euro 6 LPG passenger car emission factors through laboratory and on-road tests: Effect on nation-wide emissions assessment for Italy <https://doi.org/10.1016/j.aecoa.2022.100186>

Berkó R., Farkas Gy., Ságiné Hende A. (2021.) *Környezetvédelem II.* Budapest: Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft

Budai P. (2011) *A közúti közlekedés nehézfém kibocsátásainak hatása a csapadékvizek szennyezettségére* [PhD-értekezés] Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Víz- és környezetmérnöki alprogram Letöltés dátuma:2023.09.30.
Forrás:

<https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/5545/ertekezes.pdf?sequence=2>

C. Douvris, T. Vaughan, D. Bussan, G. Bartzas, R. Thomas (2023) How ICP-OES changed the face of trace element analysis: Review of the global application landscape
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167242>

Heltai Gy, Horváth M. Fekete I., Halász G., Kovács K., Takács A, (2019) Potenciálisan toxikus elemek mobilitásának jellemzése a talaj/víz/üledék/légkör rendszerben. *Magyar Kémia Folyóirat* 125.évfolyam 2.szám, 53-58o DOI: 10.24100/MKF.2019.02.53

Heltai Gy., Kristóf J. (2008) Pokol Gy (szerk)(2011) *Környezeti analitika, Környezetmérnöki Tudástár*; Veszprém: Pannon Egyetem-Környezetmérnöki Intézet Az anyag a HEFOP 3.3.1-P.-2004-0900152/1.0 téma keretében készült a Pannon Egyetemen. Letöltés dátuma: 2023.10.29.
Forrás: https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/05-Kornyezeti_analitika.pdf

A.Hodge (2023) Plant uptake of mineral nutrients <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00234-2>

Horváth G (szerk)(2020) *Élelmezéségszégstan I.* Budapest: Akadémia Kiadó Utolsó megtekintés:2023.10.24. Forrás: https://mersz.hu/hivatkozas/m647eet1_0/#m647eet1_0

Dr. Horváth M. (2019) *Műszeres környezetanalitika Fogalomtár I.*Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft.

B.Hussain,L.Riaz, K.Li, K.Hayat, N.Akbar, M.Z.Hadeed, B.Zhu, S.Pu *Abiogenic silicon: Interaction with potentially toxic elements and its ecological significance in soil and plant systems* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122689>

Körösi G. (2023) A Budapest körüli M0 útgűrű tervezésének tapasztalatai, egyedi sajátosságai [H.n.] Letöltés dátuma:2023.09.20. Forrás: <https://scholar.google.hu/>

Naszradi T.(2007) *A közúti járműforgalom nehézfém-szennyező hatása az utak melletti talajra és növényzetre* [Phd-értekezés] Gödöllő: Biológia Tudományi Doktori Iskola Letöltés dátuma:2023.09.30.Forrás: <https://archive2020.szie.hu/file/tti/archivum/Naszradiphd.pdf>

Öllös G.(2012) *Környezetvédelem* Gödöllő: Új Levédia Kft.

Pethő M. (1993) *Mezőgazdasági növények élettana* Budapest: Akadémia Kiadó Utolsó megtekintés: 2023.10.29. Forrás: https://mersz.hu/dokumentum/m100mne_1/

Pethő M. (1998) *A növényélettan alapjai* Budapest: Akadémia Kiadó Utolsó megtekintés: 2023.10.29. Forrás: https://mersz.hu/dokumentum/m90ana_1/

Szánthó P. (1987) Épül az M0 autópálya körgyűrű. *Dunakanyar* (XXIII.)1szám,15-20o

Török Á.[N.a.] Időjárás és éghajlati hatások és közlekedés kapcsolata [H.n.] Letöltés dátuma:2023.10.24. Forrás: <http://real.mtak.hu/5032/1/1133183.pdf>

Valenta P.-Lászlóné Márkus M.-Kovács I.(1994) Az M0 autótút I/A szakaszának építési munkái. *Közlekedésépítés-és Mélyépítésitudományi Szemle* XLIV .évfolyam 11.szám,446-453o

[1] *Közlekedés és környezet* Széchenyi Egyetem Közlekedési Tanszék Utolsó megtekintés dátuma: 2023.10.24. Forrás: <https://ko.sze.hu/catdoc/list/cat/7086/id/7097/m/4974>

[2] Az Országos Közutak 2022. évre vonatkozó keresztmetszeti forgalom (2023) [H.n.] Letöltés dátuma:2023.10.21. Forrás: <https://www.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/forgalomszamlalas/>

[3] Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja Utolsó megtekintés: 2023.10.30. Forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

8 Táblázatok és ábrák jegyzéke

1.számú kép: Annahegyi pihenőhely 20.oldal

2.számú kép: Szigetszentmiklósi pihenőhely 20.oldal

3.számú kép: Alacska pihenőhely 21.oldal

4.számú kép: Dunaharaszti M0 felüljáró mellett 21. oldal

5 számú kép: Ezen a minták kimérés előtt láthatóak a mérleggel együtt, amivel kimértük őket a teflonba. 23.oldal

6.számú kép: Itt a CEM MARS 5 mikrohullámú roncsolót láthatjuk, benne a teflon bomba 23.oldal

7.számú kép: Itt a roncsolást követően a leszűrt minták láthatók a mérőlombikokban még a jelre töltés előtt 23.oldal

8.számú kép: HORIBA ACTIVA-M ICP-OES készülék látható 24.oldal

1.számú táblázat: Minták számát, típusát és mintavételi helyszínét jelöli 22.oldal

2.számú táblázat: Mérésem eredményei 25.Oldal

1.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma az első helyszínről 26.oldal

2.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma a második helyszínről 27.oldal

3.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma a harmadik helyszínről 28.oldal

4.diagram: Mosott és nem mosott levélminták potenciálisan toxikus elem tartalma a negyedik helyszínről 28.oldal

5.diagram a helyszínekről származó mosott levélmintákat hasonlítja össze egymással 29.oldal

6.diagram a helyszínekről származó nem mosott levélmintákat hasonlítja össze egymással 30. oldal

7.diagram a helyszínekről származó szár mintákat hasonlítja össze egymással 31. oldal

8.diagram a gyökérminták alumínium és vas tartalma 32.oldal

9. diagram a többi elemtartalmat mutatja a gyökérmintákban 32.oldal

10.diagram talajminták alumínium és vas tartalma 33.oldal

11. diagram a többi elemtartalmat mutatja a talajmintákban 34.oldal

9 Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

A szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szilasi Laura
A Hallgató Neptun kódja: VRM71K
A dolgozat címe: Potenciálisan toxikus elemek vizsgálata növényekben az M0 autópályán mentén
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Környezetanalitikai és Környezettechnológiai 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 nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023. év október hó 31 nap

Szilasi Laura
Hallgató aláírása

10 Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Szilasi Laura (hallgató Neptun azonosítója: VRM71K) 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 javaslom¹.

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

Kelt: Gödöllő 2023. év október hó 31 nap


belső konzulens