

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM**  
Természettudományi és Informatikai Kar  
**Környezettudományi Doktori Iskola**  
Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

**NEHÉZFÉMEK KÖRNYEZETI VISELKEDÉSE  
ANTROPOGÉN HATÁSOKRA MÓDOSULT KERTI  
TALAJOKBAN, SZEGED PÉLDÁJÁN**

*Doktori (PhD) értekezés tézisei*

**Szolnoki Zsuzsanna**

Témavezető: Dr. habil. Farsang Andrea  
Egyetemi docens

Szeged, 2014



## BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A városi területek intenzív növekedése és az ott zajló antropogén tevékenységek a városi talajok fizikai és kémiai tulajdonságainak módosulását, különböző mértékű átalakulását, valamint e talajok elszennyeződését is magával vonják. A városokban koncentráltan jelentkező gépjármű forgalom, a háztartások fűtése, a háztartási- és ipari hulladékok kontrollálatlan elhelyezése, valamint az ipari forrásokból származó emisszió együttesen eredményezik e talajok nehézfém tartalmának emelkedését. Mivel ezen anyagok biológiailag nem bonthatók le és így a talajokban felhalmozódni képesek, a nehézfémek a környezetterhelés kiváló indikátoraivá váltak. Ám a városi talajok nem csupán a nehézfémek „gyűjtő közegeként” viselkednek, hanem könnyen e toxikus és potenciálisan toxikus anyagok forrásává is válhatnak, hiszen a nehézfémek e talajokból közvetlen (a szennyezett porok inhalációjával, a talaj lenyelésével, vagy bőrön keresztül felszívódva) és közvetett módon (a szennyezett talajokon termelt zöldségek és gyümölcsök elfogyasztása révén) is a városi lakosok szervezetébe juthatnak. A városi kiskertek és zöldségekertek talajai, melyek művelésükből kifolyólag is szennyeződhetnek nehézfémekkel (fém tartalmú növényvédő szerek alkalmazása, komposztok-, szerves- és műtrágyák talajba keverése, szennyezett öntözővíz használata stb.), kiemelt figyelmet érdemelnek a rajtuk folyó növénytermesztés miatt. Doktori kutatásom során ezért célul tűztem ki, hogy komplex képet kapjak a zömében a technogén belvárosi talajok és a városokat övező természetes talajok közötti átmeneti zónában („városi pufferezónában”) elhelyezkedő kerti talajokról, nagy hangsúlyt helyezve e talajok nehézfém szennyezettségére és az ebből eredő esetleges káros hatásokra.

Vizsgálatom színhelyéül Magyarország harmadik legnépesebb városát, Szegedet választottam, ahol – sok más magyar és európai nagyvároshoz hasonlóan – növénytermelési funkcióval rendelkező talajok zömében a belvárostól távolabb, a külvárosi városrészekben található, így Szeged jól reprezentál más, nehéziparral nem rendelkező, hasonló méretű magyar és európai városokat is.

A doktori kutatásommal kapcsolatos céljaim a következők voltak:

- Céлом volt felmérni, hogy az urbanizáció és a kertművelés együttes hatása milyen mértékben módosítja a Szeged „pufferzónájában” elhelyezkedő, növénytermesztési funkcióval rendelkező kerti talajok fizikai és kémiai tulajdonságait, talajtani besorolásukat meghatározó bélyegeit.

- Céлом volt továbbá a kertekben feltárt példaszelvényeket a nemzetközi korrelációs talajosztályozási rendszerbe, a „Világ Talaj Referenciabázisba” (Word Reference Base for Soil Resources, WRB) besorolni.
- Céлом volt a kerti talajok nehézfém-szennyezettségének vizsgálata mellett, feldúsulási faktorokat, egy- és többváltozós statisztikai módszereket, valamint a fémkoncentrációk vertikális és horizontális eloszlásának vizsgálatát együttesen alkalmazva elkülöníteni a kerti talajokban antropogén forrásokból dúsuló fémek körét, valamint megadni ezek forrásait azért, hogy a városi környezetterhelés és a kertművelés kumulatív nehézfém-szennyező hatásának mértéke megítélhető legyen.
- Továbbá céлом volt a nehézfémterheltség szempontjából hasonló kerteket többváltozós statisztikai módszert alkalmazva csoportosítani azért, hogy a létrejött csoportok részletesebb vizsgálatával pontosabb képet kaphassak a kerti talajok fémterheltségét befolyásoló tényezőkről.
- Céлом volt a nehézfémek mobilitását, így növény általi felvehetőségét nagymértékben befolyásoló talajtulajdonságok vizsgálatával és értékelésével felmérni az antropogén hatásokra módosult kerti talajok nehézfém-pufferoló képességét.
- Céлом volt továbbá szekvenciális feltárás segítségével megbecsülni az egyes elemek mobil (növény által könnyen felvehető) és potenciálisan mobilizálható fémhányadait, valamint feltárni az e téren tapasztalható különbségeket az antropogén- és geogén eredetű fémek között.
- Végül, de nem utolsó sorban céлом volt a városi kerti talajokban gyakran termesztett zöldségfélék nehézfém-tartalmának vizsgálatával felmérni, hogy a különböző zöldségek milyen mértékben képesek az egyes elemeket ténylegesen akkumulálni a városi kerti talajokból, valamint céлом volt bioakkumulációs indexek segítségével értékelni a fémek mobilitását a talaj–növény rendszerben.

## **ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK**

### **Mintavétel**

A városi kerti talajok vizsgálatához, a Szeged külvárosában elhelyezkedő Baktó városrész összesen 50 családi házának 51 kertjéből (31 zöldségeskert, 9 gyümölcsöskert, 11 díszkert) gyűjtöttem feltalaj (0–10 cm)

átlagmintákat és kontroll (80–100 cm) mintákat 2010 folyamán. A vizsgált kertek közül 9 kertben talajszelvények feltárására és helyszíni vizsgálatára is sor került, mely kerti példaszelvények genetikai szintjeiből illetve rétegeiből szintén történt talajmintavétel laboratóriumi elemzés céljából. A vizsgált kertek közül 20 kertből különböző zöldségféléket (saláta, spenót, sóska, vöröshagyma, sárgarépa) is begyűjtöttem, így összesen 134 talajminta és 35 növényminta laboratóriumi analízisére került sor. A talajminták és növényminták begyűjtésén kívül kérdőívet is kitöltöttem a lakókkal, mely kérdések a talajhasználat módjára, a kert múltjára, növényvédő szerek és egyéb talajjavító anyagok használatára, valamint az esetleges feltöltésekre irányultak.

### **Laborvizsgálatok**

A talajminták esetében, a laboratóriumi előkészítést (szárítást, porítást, szitálást) követően, a következő vizsgálatok történtek: A fizikai-féleség meghatározása az Arany-féle kötöttségi szám ( $K_A$ ) alapján történt. A kémhatást desztillált vizes és KCl-os talajkivonatban [ $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{pH}(\text{KCl})$ ] határoztam meg potenciometriás módszerrel, míg a talajminták tömegszázalékban kifejezett szénsavasmész-tartalmát ( $\text{CaCO}_3\%$ ) Scheibler-féle kalciméterrel, gázvolumetria alkalmazásával vizsgáltam. A humusztartalom (H%) mérését kolorimetriás módszerrel végeztem tömény savas és kálium-dikromátos oxidációt követően, míg a humuszminőséget szintén optikai úton, frakcionálás nélkül, Hargitai módszere szerint vizsgáltam, és a humuszminőséget a humuszstabilitási koefficiens (K) értékkel jellemeztem. A talajminták vízben oldható összes sótartalmát (összes só %) konduktométer alkalmazásával, a telítési talajpaszta vezetőképességének mérésével vizsgáltam.

Az „összes” fémtartalom meghatározásához a talajmintákat királyvízzel tártam fel mikrohullámú feltáróban, majd a nehézfémek (Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Cd) és As, valamint referencia elemként a Ti mérése induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrofotométerrel (ICP-OES) történt. Néhány kiválasztott talajminta esetében, a különböző mobilitású fémfrakciókat is meghatároztam (ICP-OES) a „módosított BCR” szekvenciális feltárást alkalmazva.

A növényminták nehézfém-tartalmának mérésére szintén ICP optikai emissziós spektrofotométerrel került sor, a minták laboratóriumi előkészítését, valamint a mikrohullámú, töménysavas (cc.  $\text{HNO}_3$ ) feltárást követően.

## Feldúsulási faktorok és bioakkumulációs indexek számítása

A vizsgált elemek feltalajban való dúsulásának mértékét feldúsulási faktorok (EF) segítségével becsültem meg. Kétféle feldúsulási faktort számítottam. Az egyik a „feltalajra vonatkozó feldúsulási faktor” (Top Enrichment Factor; TEF), mely a feltalajban és a kontroll mintában mérhető fémkoncentrációk aránya. Az általam alkalmazott másik feldúsulási faktor az úgynevezett „talajtani feldúsulási faktor” (Enrichment Factor Pedologic; EFP), mely a tényleges elemkoncentrációk helyett a vizsgált elem és egy alkalmasan megválasztott referencia elem (esetemben a Ti) arányát mutatja a feltalajban az alapközethez képest. A fenti faktorokat a következő módon számítottam:

$$TEF = \frac{[E]_{SH}}{[E]_{RH}} ; EFP_{Ti} = \frac{[E]_{SH} / [Ti]_{SH}}{[E]_{RH} / [Ti]_{RH}}$$

ahol „E” a vizsgált elem koncentrációja a felszíni (SH) szintben (0–10 cm) és a referencia (RH) szintben (80–100 cm) ugyan azon a mintavételi helyen.

A vizsgált fémek mobilitását a talaj–növény rendszerben bioakkumulációs indexek (BAI) számolásával és értékelésével vizsgáltam, mely index az adott növény (illetve vizsgált növényi rész) által akkumulált fémmennyiség és a növény termőhelyeül szolgáló talajban mérhető fémtartalom hányadosa:

$$BAI = \frac{[E]_{Növény}}{[E]_{Talaj}}$$

ahol „E” a kérdéses fém koncentrációja (mg/kg) a vizsgált növényben (szárazanyagra vonatkoztatva) és a talajban („összes”, királyvíz oldható koncentráció).

## Eredmények kiértékelésének módszerei és statisztikai elemzések

A mérési eredmények feldolgozását és értékelését a Microsoft Office Excel 2003 program, valamint az IBM SPSS Statistics 20 program segítségével végeztem el. A mérési eredmények és számított adatok értékeléséhez többváltozós statisztikai módszereket (korrelációs számítás, főkomponens elemzés, klaszterelemzés), valamint paraméteres és nem paraméteres statisztikai próbákat (páros mintás t-próba, két mintás t-próba, variancia-analízis, valamint Mann–Whitney U teszt, Kruskal–Wallis próba) alkalmaztam. A mért vagy számított adatok térbeli eloszlásának vizsgálatához geoinformatikai módszereket használtam. Az adatok térbeli elemzését és a különböző térképek (nehézfém térképek, feldúsulási faktor térkép, klaszter térkép) elkészítését az ArcMap 10 programmal végeztem.

## **EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA, TÉZISEK**

**1. A külvárosi kerti talajok módosulnak az urbanizáció és a kertművelés együttes hatására, mely módosulás e talajok szerves anyagának mennyiségi- és minőségi változásában, a fizikai féleség módosulásában, valamint e talajok szénsavasmész-tartalmának mennyiségi változásában nyilvánul meg leginkább.**

A Szeged „pufferzónájában” feltárt kerti példaszelvények, valamint a kertekből származó talajminták vizsgálati eredményei alapján kijelenthető, hogy a városi kerti talajokat érő változatos antropogén hatások következtében e kerti talajok egyes tulajdonságai (fizikai-féleség, humusztartalom és humuszminőség, szénsavas-méstartalom) módosulást szenvednek részben a kertművelés (szerves trágyák, valamint konyhai és kerti hulladékokból származó komposztok alkalmazása, talajszintek átkeverése stb.), részben pedig más, nem a kertek műveléséhez szorosan kapcsolódó antropogén beavatkozások (kerti talajok feltöltése, idegen talajanyag bekeverése) kapcsán:

- i. Az előbbi a kerti talajok humuszállapotának mennyiségi- és minőségi változásában nyilvánul meg leginkább, hisz a kerti feltalajok összes humusztartalma megnövekszik, de egyúttal a gyengébb minőségű, nyers humuszanyagok kerülnek túlsúlyba a terület eredeti talajának humuszállapotához képest.
- ii. Utóbbi pedig a kerti talajok fizikai-féleségének módosulásában nyilvánul meg leglátványosabban, hiszen a feltöltésekhez használt, általában durvább textúrájú talajanyag alkalmazása a feltalajok fizikai féleségét a durvább szemcsefrakciók irányába tolja, a feltöltött kertek feltalajainak Arany-féle kötöttségi számát csökkentve.
- iii. A kerti talajok felszíni szintjének szénsavasmész-tartalmában is mennyiségi változás (a feltalajok szénsavasmész-tartalmának nem minden kertet érintő és nem egyforma mértékű növekedése) következik be, mely változást a kertek művelése és a feltöltések együttesen eredményezik.

**2. A külvárosi kerteket érő antropogén hatások és az ezek eredményeként kialakuló talajmódosulások mértéke jóval kisebb és más jellegű, mint a belvárosi, erősen technogén talajok esetében.**

Szeged „pufferzónájában” a közel természetes állapotú talajok uralkodnak, melyek csak olyan mértékű módosulást szenvedtek (felszíni szintek átkeverése, megnövekedett humusztartalom), ami nem teszi indokolttá e talajok antropogén talajcsoportba (WRB) sorolását. Ugyanakkor

találkozhatunk talajszerű anyagokkal feltöltött, részben, vagy teljes egészében antropogén talajokkal is, ami jól tükrözi a városi kerti talajok változatosságát. A külvárosi kertekben például találunk közel természetes állapotú Chernozems talajokra (Vermic, Calcic Chernozems), fiatal, antropogén felszíni szinttel rendelkező Cambisol talajra (Hortic Cambisol), valamint vastag, ember által létrehozott felszínű Anthrosol talajra (Terric Anthrosol) is.

**3. A feldúsulási faktorok (EF) alkalmazása, a fémkoncentrációk vertikális- vagy térbeli eloszlásának vizsgálata, vagy a többváltozós statisztikai módszerek alkalmazása külön-külön nem elegendőek ahhoz, hogy az antropogén forrásokból feldúsuló fémeket elkülönítsük a geogén eredetű fémektől. Viszont e módszerek együttes alkalmazásával az antropogén forrásból dúsuló fémek nagy biztonsággal elkülöníthetők még e fémekkel csak kis mértékben terhelt, külvárosi kerti talajok esetében is.**

A feltalajok királyvíz-oldható („összes”) As, Zn, Cd, Pb, Ni, Co, Cr és Cu koncentrációjának vizsgálatát követően megállapítást nyert, hogy e külvárosi kerti talajok csupán 18%-a tekinthető valamilyen fémmel (főként rézzel) kifejezetten szennyezettnek, és e talajok fémterheltsége (a legtöbb vizsgált elem tekintetében) is mérsékeltőbb a Szeged belterületi, Technosol talajok fémterheltségéhez képest. Ennek ellenére a rézen kívül is vannak olyan elemek, melyek kerti talajokban mérhető koncentrációjának kialakulásában az antropogén hozzájárulás is szerepet játszik. Az antropogén forrásból is feldúsuló fémek körét ugyanis sikerült elkülöníteni a kizárólag geogén eredetű fémektől a feldúsulási faktorokat, egy- és többváltozós statisztikai módszereket, valamint a fémkoncentrációk vertikális és horizontális eloszlásának vizsgálatát együttesen alkalmazva.

**4. Az általam számított feldúsulási faktorok, nevezetesen a *feltalajra vonatkozó feldúsulási faktor* (TEF), valamint a titán (Ti) referencia elemmel számolt *talajtani feldúsulási faktor* (EFP<sub>Ti</sub>) egyaránt jól alkalmazhatók a feltalajban jelentős mértékben dúsuló fémek elkülönítéséhez, hisz a két feldúsulási faktor (EF) statisztikailag megegyező eredményt ad.**

Ezek alapján a vizsgált kerti feltalajokban a Ni, Co, Cr és As antropogén forrásból nem dúsulnak (EF~1), koncentrációjuk kialakulásában csak a litogén háttér és a pedogén folyamatok játszanak szerepet. Ellenben a Cu (EF~4,2), Zn (EF~2,7), Pb (EF~2,5) és Cd (EF~1,5) a kertek feltalajában

jelentős mértékben dúsulnak, mely feldúsulásért a talajképző folyamatok mellett az antropogén hozzájárulás is felelős.

A főkomponens analízis segítségével (PCA) – mely szintén elkülönítette a geogén elemek csoportját (PC2: Ni, Co, Cr, As) – az antropogén forrásból dúsuló fémek két csoportját (PC1: Pb, Zn, Cd és PC3: Cu) is sikerült elkülönítenem, mely csoportok az antropogén fémek eltérő forrására utalnak:

- i. A PC1 elemei (Pb, Zn és Cd) közül a Cd antropogén feldúsulása csak néhány kertet érint, főként pontforrásoknak köszönhetően, de e toxikus fém koncentrációja két kert feltalajában a „B” szennyezettségi határértéket is meghaladja. Az Pb és a Zn viszont a kertek jelentős részében antropogén forrásból dúsul, legfőbb forrásuk a gépjármű közlekedés okozta légköri ülepedés.
- ii. Az antropogén forrásból feldúsuló elemek másik csoportját (PC3) a Cu egyedül alkotja, melynek koncentrációja számos kertben meghaladja a „B” szennyezettségi határértéket is, e mellett a feldúsulási faktorok alapján is e fém antropogén feldúsulása a legnagyobb mértékű. A Cu csaknem minden kertet érintő antropogén feldúsulását azonban nem a közlekedés és a légköri ülepedés okozza, hanem a kertek művelése során gyakran alkalmazott réz-tartalmú növényvédő szerek használata.

### **5. A nehézfémterheltség szempontjából hasonló kertek térben is jól elkülönülnek, ami megerősíti azt, hogy a külvárosi kerti talajokat érő antropogén fémterhelés két fő forrása a közlekedés (légköri ülepedés) és a növényvédő szerek alkalmazása.**

Az antropogén eredetű fémek (Cu, Pb, Zn, Cd) összetett forrása (közlekedés, kertművelés), valamint az egyes kertekben e fémek nem egyforma mértékű feldúsulása indokoltá tette a nehézfémterheltség szempontjából hasonló mintaterék (kertek) homogénebb csoportokra rendezését, mely csoportosításhoz a klaszterelemzés módszerét választottam. A klaszter analízis során három kiugró mintavételi helyet is sikerült azonosítanom, melyek extrém magas vagy extrém alacsony fémkoncentrációikkal nem jellemzőek a kerti talajok összességére, így e kiugró esetek kizárását követően (a vizsgált kertek 6%-a) a maradék kerteket három jól elkülönülő csoportba soroltam nehézfémterheltségük alapján, mely csoportok térben is jól elkülönülnek egymástól:

- i. Az I. klasztert az *antropogén fémterheléstől mentes kertek* alkotják (a vizsgált kertek 18%-a), melyek feltalajában az amúgy antropogén eredetűnek talált fémek [(Pb, Zn, és Cd); (Cu)] sem dúsulnak fel. E klaszter elemeit főként díszkertek alkotják és zömében a forgalmas

főúttól legtávolabb, a vizsgált terület északi, észak-nyugati részén helyezkednek el.

- ii. A II. klasztert az *antropogén fémekkel erősen terhelt kertek* alkotják (a vizsgált kertek 51%-a), melyek feltalajában az antropogén eredetűnek talált fémek mindegyike – a zömében közlekedés eredetű Pb és Zn, valamint a növényvédőszer-eredetű Cu is – feldúsul valamilyen mértékben. E kertek a vizsgált terület jelentős részét lefedik, de ide tartoznak a közvetlenül a forgalmas főút mellett elhelyezkedő kertek is. E csoport elemei között egyaránt találunk zöldséses-, gyümölcsös- és díszkerteket is, ami jól mutatja, hogy fémterhelés a kert hasznosításától függetlenül bárhol kialakulhat.
- iii. A III. klasztert a *rézrel erősen terhelt kertek* alkotják (a vizsgált kertek 25%-a), melyek feltalajában az antropogén eredetűnek talált fémek közül csak a Cu dúsul fel antropogén forrásból. E csoport kertjeit a terület középső részén elhelyezkedő, szinte kivétel nélkül zöldséses- és gyümölcsös kertek alkotják, mely kertek jelenlegi és múltbeli művelése eredményezte a réz antropogén feldúsulását.

## **6. A városi kerti talajokat érő egyes antropogén beavatkozások eltérő irányba befolyásolják (csökkentik, illetve növelik) e kerti talajok nehézfém-pufferoló képességét.**

A kerti talajok fémterheltségének vizsgálatát követően sor került e talajok nehézfém-pufferoló képességének értékelésére, ami kiemelkedő fontosságú azon talajok esetében, melyeken emberi fogyasztásra szánt zöldségek termesztése folyik. Megállapítást nyert, hogy az antropogén hatások következtében kis mértékben módosult baktói kerti talajok nehézfém-pufferoló képessége jó, mert a vizsgált kerti feltalajok gyengén lúgos kémhatással rendelkeznek, ami önmagában is akadályozza a fémek mobilizálódását. Ezen túlmenően az antropogén hatások következtében a feltalajba kerülő szén-savas mészt tovább növeli a kerti talajok nehézfém-pufferoló képességét a talajok savanyodásának akadályozása révén, míg a kertek szerves- és ásványi kolloidokban szegény talajanyaggal való feltöltése e talajok nehézfém-pufferoló képességének csökkentése irányába hat. Igaz, a nehézfémek megkötésében nagy szerepet játszó humuszanyagok összes mennyisége növekszik a talajba kevert szerves anyagok (szerves trágyák, komposztok stb.) hatására, de nem a jó minőségű humuszanyagok, hanem a nyers, gyengén humifikálódott humuszanyagok mennyisége nő, így ez a kerti talajok nehézfém-pufferoló képességének növeléséhez nem járul hozzá.

**7. A kerti talajokban geogén eredetűnek talált elemek (Ni, Co, Cr, As) potenciális mobilitása csekély mértékű, míg az antropogén eredetűnek talált fémek potenciális mobilitása a  $Cd < Cu < Zn < Pb$  sorrendben növekszik.**

Mivel a fémek „összes” mennyiségének ismerete nem ad információt az egyes elemek felvehetőségéről vagy mobilitásáról, ezért néhány kiválasztott kerti talajminta esetében az elemek mobil (növények által könnyen felvehető) és potenciálisan mobilizálható frakcióit is vizsgáltam a három lépcsős, módosított BCR szekvenciális feltárást alkalmazva. Ezen eredmények alapján kijelenthető, hogy az általam a kerti talajokban geogén eredetűnek talált elemek (Ni, Co, Cr, As) potenciális mobilitása csekély mértékű, ezen elemek „összes” mennyiségének legnagyobb hányada ugyanis a maradék (inert) frakcióban, az ásványok rácsában, erősen kötve fordul elő. Az általam antropogén eredetűnek talált fémek potenciális mobilitása viszont a  $Cd < Cu < Zn < Pb$  sorrendben növekszik, és e fémek esetében a mobilizálható és potenciálisan mobilizálható frakciók kerülnek túlsúlyba az „összes” fémtartalom belül. A könnyen mobilizálható, növények számára is felvehető frakció aránya azonban még az antropogén eredetű fémek esetében sem jelentős, ami e kerti talajok jó nehézfém-pufferoló képességének nagymértékben köszönhető.

**8. A kertekben gyakran termesztett zöldségfélék fémfelvétele nem egyforma mértékű, a levélzöldségek több cinket, kadmiumot és arzént akkumulálnak, mint a gyökérszöldségek, ám emberi fogyasztásra a vizsgált zöldségfélék mindegyike egyaránt alkalmas.**

A városi kerti talajok fémterheltségéből eredő esetleges káros hatások mértéke nem ítélnél meg e talajokon termesztett zöldségek nehézfém-tartalmának ismerete nélkül, ezért a kertekben gyakran termesztett különböző zöldségfélék (saláta, spenót, sóska, sárgarépa, vöröshagyma) nehézfém-tartalmát is vizsgáltam. Ezen eredmények ismeretében elmondható, hogy a vizsgált zöldségekben mért fémkoncentrációk nagyságrendje nagyjából megegyezik más nagyvárosok, különböző talajaiban termelt zöldségekben mért koncentrációkkal, ám a Szeged pufferzónájában elhelyezkedő kerti talajokban termelt zöldségek ólomkoncentrációja jóval kisebb ezeknél. Az általam vizsgált zöldségek kis mértékben megnövekedett rézkoncentrációi viszont jól tükrözik e külvárosi kerti talajok antropogén rézterheltségét. A kerti talajok „összes” fémtartalma és az azokon termelt különböző zöldségfélékben mérhető fémkoncentrációk között azonban nincsen kapcsolat, ami jól mutatja azt, hogy a növények által ténylegesen felvett nehézfém mennyisége nem a

talajok „összes” nehézfém-tartalmától, hanem a talaj könnyen mobilizálható fémtartalmától és a talaj nehézfém-pufferoló képességétől, valamint növény specifikus tényezőktől is függ. A vizsgált zöldségfélék közül a levélzöldségek (saláta, sóska, spenót) szignifikánsan több arzént, cinket és kadmiumot akkumulálnak, mint a gyökérszöldségek (vöröshagyma, sárgarépa). Azonban a Szeged pufferzónájában vizsgált kerti talajokon termesztett zöldségek egyike sem tartalmaz határérték feletti (élelmiszerekben maximálisan megengedhető) Cd vagy Pb koncentrációkat, e zöldségek emberi fogyasztásra alkalmasak, így a külvárosi kertekben termesztett gyökérszöldségek és levélzöldségek fogyasztása sem veszélyezteti az emberi egészséget.

### **9. A kalkulált bioakkumulációs indexek (BAI) alapján az elemek mobilitási sora az általam vizsgált talaj–növény rendszerben a következő: Zn > Cd > Cu > Ni > As > Cr > Pb ≈ Co.**

A vizsgált elemek mobilitását a talaj–növény rendszerben bioakkumulációs indexek (BAI) segítségével vizsgáltam, mely index a különböző növények fémfelvételi hajlamát és az egyes fémek mobilitásának mértékét egyszerre jellemzi. A vizsgált elemek mobilitási sora a kalkulált átlagos BAI értékek alapján a következő: Zn > Cd > Cu > Ni > As > Cr > Pb ≈ Co. A legmobilabb elemek tehát az általam vizsgált talaj–növény rendszerben a Zn és a Cd, mely fémeket a vizsgált zöldségek a legnagyobb mértékben képesek felvenni a kerti talajok „összes” fémtartalmához viszonyítva. A levélzöldségek (saláta, sóska, spenót) e fémekből azonban lényegesen többet képesek akkumulálni, mint a kertekben gyakran termesztett gyökérszöldségek (sárgarépa, vöröshagyma), amit nem csak a növények fémkoncentrációi, hanem a kalkulált BAI értékek is igazolnak.

Doktori kutatásom jó példája annak, hogy a városi környezetben bekövetkező, antropogén tevékenységek generálta változások esetleges negatív hatásai nem becsülhetők meg a városi környezeti elemek komplex vizsgálata nélkül, különösen igaz ez a talajra, mely nem csak befogadója és tárolója a talajba közvetlenül bekerülő, vagy a többi környezeti elemből (köztük a szennyezett városi légtérből) érkező káros anyagoknak, hanem ezen anyagok közvetlen vagy közvetett forrása is egyben. A kutatás során elért eredmények is rávilágítanak arra, hogy nem csak a városi környezet és az ott zajló antropogén tevékenységek vannak hatással a városi talajokra, hanem e talajok is hatással lehetnek a városi lakosok életminőségére, melynek hosszú távú következményeit mindig szem előtt kell tartanunk.

## AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

- Szolnoki, Zs.,** Farsang, A., Puskás, I., 2013. Cumulative impacts of human activities on urban garden soils: Origin and accumulation of metals. *Environmental Pollution* 177, 106–115. (IF: 3,730 (2012))
- Szolnoki, Zs.,** Farsang, A., 2013. Evaluation of metal mobility and bioaccessibility in soils of urban vegetable gardens using sequential extraction. *Water Air and Soil Pollution* 224, 1737. (IF: 1,748 (2012))
- Farsang, A., Puskás, I., **Szolnoki, Zs.,** 2009. Human health risk assessment: A case study of heavy metal contamination of garden soils in Szeged. *AGD Landscape and Environment* 3, 11–27.
- Szolnoki, Zs.,** Farsang, A., 2013. Nehézfémek feldúsulása és mobilitása kertművelés alatt álló talajokban, városi környezetben. *Talajvédelem* (Különszám), 491–502.
- Szolnoki, Zs.,** Farsang, A., Puskás, I., 2011. Szeged külvárosi, kerti talajainak osztályozása. *Talajvédelem* (Különszám), 93–102.
- Szolnoki, Zs.,** Farsang, A., Puskás, I., 2012. Nehézfémek eredetének és feldúsulásának vizsgálata egy külvárosi kertes övezet talajában. In: Galbács, Z. (Szerk.) Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Symposium on Analytical and Environmental Problems. JATEPress, Szeged. pp. 38–42.
- Szolnoki, Zs.,** Farsang, A., Puskás, I., 2011. Nehézfém-feldúsulás vizsgálata városi környezetben, kerti talajokon. In: Mócsy, I. et al. (Szerk.) VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia I.-II. Ábel Kiadó, Kolozsvár. pp. 653–657.