

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Antropogén hatások talajtani következményeinek
vizsgálata Debrecenben**

Sándor Gábor

Témavezető: Dr. habil. Szabó György



DEBRECENI EGYETEM

Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2021.

1. BEVEZETÉS

Az urbanizáció mértékének növekedése a környezet átalakításával és károsításával jár együtt. Az emberi tevékenységek (ipar, közlekedés stb.) jelentős szennyezőanyag kibocsátást eredményeznek. Az ipari emissziók és a belső égésű motorok működése során keletkező anyagok, ülepedés útján közvetlenül a talajba kerülhetnek, majd hosszabb távon a felszín alatti vizeket is elszennyezhetik (Resitoglu et al. 2015, Sagna et al. 2017, Thi Lan et al. 2018).

A nagyvárosi környezetben előforduló beavatkozások teljesen megváltoztathatják a felszín eredeti morfológiáját. A terepegyengetés alkalmával a talajok is nagymértékben sérülhetnek. A feltöltésből adódóan számolnunk kell a mesterséges anyagok mennyiségi növekedésével, illetve egy teljesen új kultúrréteg kialakulásával (Dolgikh et al. 2009, Aleksandrovskii et al. 2015, Golyeva et al. 2018). Másrészt a magasabb térszínnek elegyengetésével, elhordásával a talaj egy mélyebb szintje kerül felszínre, amelyet így az antropogén hatások közvetlenül is érintenek (Szabó, 1998).

A mesterséges anyagokkal (aszfalt, beton) burkolt talajfelszínek aránya településen belül is nagy eltéréseket mutat, rendszerint egy nagyváros központi részén szembevetően a burkolt felszínek túlsúlya, míg a belvárostól távolabbi, kertvárosi övezetben a zöldfelületek dominánsak (Tobias et al. 2018, Grunewald et al. 2019). A technogén rétegek megfosztják a talaj felszíni, humuszban gazdag szintjét a napfénytől, a levegőtől és a csapadéktól, ezáltal a természetes módon lezajló mikrobiológiai és talajfejlődési folyamatok sérülnek. Romlik a talaj oxigén- és vízháztartása, csökken a szellőzőtsége, a talaj tömörebbé válik.

A 2018-ban lezáruló megyei klímastratégiákban hangsúlyosan szerepelnek a talajokat érintő problémák, a csapadék megtartását elősegítő megoldások és a zöldfelületi rendszerek javítására irányuló fejlesztési javaslatok. A hazai települések talajainak állapotáról elsősorban a Települési Környezetvédelmi Programok adhatnak információt, ezen dokumentumoknak elkészítési kötelezettségéről az 1995. évi LIII. törvény, 46. §-a rendelkezik. A programok sorra veszik a környezeti elemek állapotát, valamint az adott településen előforduló földtani közege potenciálisan veszélyt jelentő tevékenységeket.

A talajokat komoly hatások érhetik a települések belterületén. Vizsgálatuk segít megérteni az urbánus talajokban lezajló folyamatokat és változásokat. Hozzájárul a következmények minél pontosabb megismeréséhez. Az eredmények és az azokból levont következtetések befolyásolhatják a döntéshozókat a települési környezetvédelmi célú fejlesztések kivitelezésében. A városi talajok vizsgálata az utóbbi néhány évben került a figyelem előterébe. A téma aktualitása miatt fontosnak éreztem, hogy Debrecen példáján foglalkozzak ezzel a kérdéssel.

2. CÉLKITŪZÉSEK

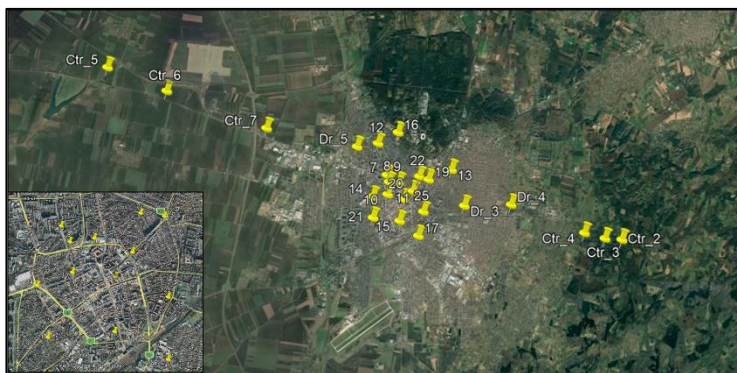
A dolgozat célja meghatározni, hogy hogyan módosultak a debreceni talajok tulajdonságai a városi környezetben. A vizsgálatok kiterjedtek Debrecen centrumára, családi házas övezetére, valamint külterületére. A mintavételezés talajszelvényekből és furatokból történt, amelyet laboratóriumi feldolgozás követett. Disszertációmban a következő konkrét célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. A szelvényekből és furatokból begyűjtött talajminták fizikai és kémiai tulajdonságának meghatározása.
2. Az alábbi, potenciálisan toxikus elemek (PTE): Ni, Cu, Cr, Pb, Zn, Ba koncentrációinak meghatározása, valamint az érvényben lévő határértékekkel való összehasonlítása.
3. A talajtulajdonságokban antropogén hatásra bekövetkezett változások meghatározása, egyrészt a különböző területhasználati típusok (belváros, szuburbán terület, városkörnyéki kontrol terület) talajaiban, másrészt szelvénybeli lefutásukban (vertikális eloszlás).
4. Statisztikai vizsgálatokkal feltárni az egyes paraméterek közötti összefüggéseket. A vizsgált talajtulajdonságok és PTE koncentrációk között Spearman-féle korreláció értékét meghatározni.
5. Különböző akkumulációs indexek számításával meghatározni az antropogén hatásra feldúsult PT elemek mértékét.
6. Főkomponens analízis vizsgálattal elkülöníteni az antropogén és a litogén eredetű PT elemeket
7. Klaszteranalízissel vizsgálni a talajokat ért antropogén hatások térbeli megoszlását.
8. A talajszelvényeket besorolni a WRB nemzetközi talajosztályozási rendszer irányelvei alapján. Az alkalmazott referencia csoportok és minősítők elemzésével az antropogén hatás erősségére és területi összefüggéseire is következtetéseket kívántunk levonni.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintaterületünkön 2012-től 2015-ig 22 talajszelvényt és 3 furatot mintáztunk meg. A mintavételi pontokat egy kelet nyugati irányú szegmens mentén jelöltük ki, azok kiválasztásánál figyelembe vettük az eltérő táji adottságokat, valamint a beépítés jellegét. Ezek alapján a szelvényeket kontrol, szuburbán és belvárosi csoportokba rendeztük. Mindkét tájegységből a területi arányuknak megfelelő darabszámban kerültek kijelölésre a mintavételi helyszínek (1. ábra). Követve a város területének a Hajdúság és Nyírség tájegységekben elfoglalt részarányát, 6 szelvény a Hajdúságból 19 a Nyírségből került ki.

A minták begyűjtése különböző módon történt. A talajfúrást Eijkelkamp típusú kézi talajfúróval végeztük, a furatok készítése során 20 cm-ként vettünk mintát. Az ásott kontrol szelvényekből genetikai szintenként kerültek begyűjtésre a talajminták. Az egyes szintek teljes terjedelméből, több pontból történt mintavétel, amelyekből aztán az adott szintet reprezentáló átlagmintát képeztünk. A szuburbán és belvárosi talajszelvények esetében jól elkülöníthető rétegeket különböztettünk meg, a mintavétel is ezekből a különböző vastagságú, többnyire homogén rétegekből történt. A talajmintavételezés során feljegyeztük a szelvények pontos koordinátáját, a szelvényekről, furatokról és környezetükről fényképes dokumentációt készítettünk.



1. ábra. A szelvények helyzete Debrecenben

A minták feldolgozására a Debreceni Egyetem Földrajzi Laboratóriumában került sor. A minta szárítását homogenizálás követte, a 2 mm lyukátmérőjű szita segítségével elválasztottuk a növényi maradványokat és a durva vázrészt. A szitán fennmaradt antropogén eredetű anyagok jelentik a talajok műterméktartalmát mennyiségüket az eredeti talajminta tömegéhez viszonyítva %-ban adtuk meg (IUSS WORKING GROUP WRB. 2006).

Az előkészített minták szemeseösszetételét a 0,2 mm-nél durvább frakció esetében szitálással, a 0,2 mm alatti frakció további szedimentológiai vizsgálatát Köhn pipettás eljárással a MSZ-08-0205-1978 szerint végeztük. A talaj kémhatását 1:2,5 arányú desztillált vizes és kálium-kloridos szuszpenzióban WTX pH 340 típusú mérőműszerrel elektrometriásan határoztuk meg (MSZ-08-0206/2-1978). A talaj CaCO₃-tartalmának mérése Scheibler-féle kalciméterrel történt, (MSZ-08-0206/2-1978), a szervesanyag-tartalmát Tyurin módszere szerint határoztuk meg (MSZ-08-0210-1977).

A mintákon alkalmazott teljes feltárást (5 ml cc. HNO₃ és 1 ml H₂O₂) követően, Agilent Technologies 4100 típusú mikrohullámú plazma atom emissziós spektrométerrel kerültek a PTE (nehézfém) koncentrációk (Cu, Zn, Cr, Pb, Ba, Ni, Fe) meghatározásra. A méréseket a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar, Szervetlen- és Analitikai Kémiai Tanszékének munkatársai végezték.

A PTE (nehézfém) feldúsulás mértékét több index és faktor alapján értékeltük: Feldúsulási Faktor (EF), Geoakkumulációs index (I_{geo}), Szennyezettségi faktor (Cf), Szennyezettségi fok (C_{deg}), Szennyezőanyag terhelési index (PLI) és Nemerow féle szennyezettségi index (NPI).

A szelvények osztályba sorolását a nemzetközi talajosztályozási rendszer irányelvei alapján végeztük (IUSS Working Group, WRB. 2015).

Az adatok feldolgozását és grafikai megjelenítését Microsoft Word Excel 2013, és C2 Version 1.7.7 szoftverek segítségével végeztük.

A statisztikai elemzéseket IBM SPSS Statistic 23 programmal futtattuk le. Elvégeztük az adatok normalitás vizsgálatát, majd a paraméterek közötti összefüggések kimutatása céljából Spearmann-féle korreláció számítását végeztünk. A Főkomponens analízis a vizsgált elemek antropogén és geogén eredetére mutat rá. A talajokat ért antropogén hatások térbeli megoszlásának vizsgálatát hierarchikus klaszteranalízis lefuttatásával végeztük. Eredményeink geovizualizációját a QGIS 7.4.1 program segítségével végeztük.

4. EREDMÉNYEK

A kutatás eredményeit a Debreceni Egyetem Doktori Szabályzatnak megfelelően tézisekben foglaltuk össze.

1. Tézis

A debreceni talajok tulajdonságaiban (szemcseösszetétel, műterméktartalom, kémhatás, CaCO_3) bizonyítottuk az antropogén hatás befolyásoló szerepét. A jelzett tulajdonságok mennyiségében határozott és statisztikailag is igazolt eltérések figyelhetők meg a kontrol terület talajaihoz viszonyítva.

A hajdúsági kontrol szelvények szintjeiben agyagos vályog és vályogos talajféleséget állapítottunk meg. A tájegységhez tartozó városi szelvényekben már megjelenik a durva homok frakció. A Nyírségben megtalálható gyengén fejlett humuszos homoktalajokban a homok frakció legalább 80%-os dominanciája jellemző.

A nyírségi kontrol és szuburbán szelvények szedimentológiai jellemzői nagyfokú hasonlóságot mutattak, a finom frakciók részaránya általában a mélyebb rétegekben emelkedhet meg, különösen a kovárványcsíkokat tartalmazó szintekben lehet jóval magasabb az agyag mennyisége.

A belvárosi és az ahhoz közeli szelvényekben a homok frakció részaránya a legmagasabb. Mivel a központhoz közeledve növekszik a mesterségesen lefedett területek és az infrastrukturális elemek aránya, gyakrabban fordul elő emberi tevékenység következtében bekövetkezett feltöltés és átkeverés.

A kontrol szelvények egyikében sem fordultak elő antropogén eredetű anyagok. A szuburbán zóna szelvényei közül azonban 5-ben, míg a 11 belvárosi szelvény közül 9-ben azonosítottunk műtermékeket. Az 1. táblázatban a kiválasztott 16 szelvény talajmintáira vonatkoztatva jelenítettük meg az alapstatisztikai mutatókat.

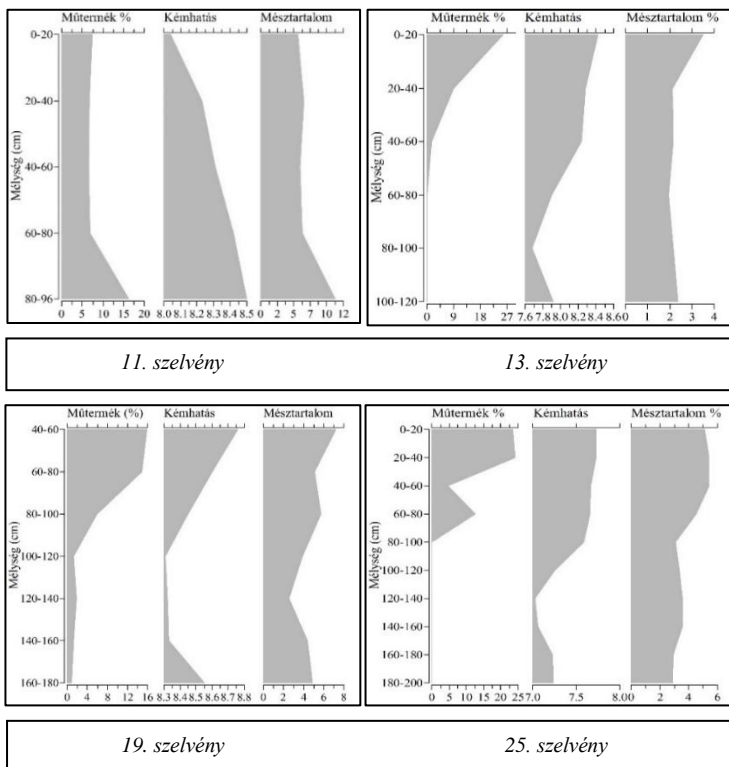
1. táblázat. A műterméket tartalmazó szelvények mintáira vonatkoztatott ($n=87$) alapstatisztikai mutatók

	Átlag	Médián	Minimum	Maximum	Szórás
Belváros	5,33	3,89	0,00	24,15	5,30
Szuburbán	7,60	3,61	0,00	37,24	9,49

A durva homok frakció ilyen arányban való előfordulása, valamint az antropogén eredetű anyagok legkisebb mértékű jelenléte a kontrol talajokhoz képest az emberi tevékenységek következményeként számolhatók el.

A vizsgált szelvényekben nagy arányban a magas kalciumtartalommal bíró, építési és bontási törmelék típusú antropogén eredetű anyagok fordultak elő. A paraméterek közötti összefüggést egyrészt a hasonló vertikális lefutás (2. ábra) másrészt, a statisztikai elemzés is kimutatta (2. táblázat). Az alábbi szelvények igazolják leginkább feltételezésünket (11, 13, 19, 25): a kémhatás, a CaCO_3 és műterméktartalom hasonló vertikális megoszlást eredményezett. Kimutattuk, hogy azokban a mintákban, ahol magas volt az építési és bontási anyagok jelenléte, ott rendszerint magasabb pH értéket

és CaCO_3 tartalmat észleltünk, ami az ilyen típusú anyagok eleve magas kalciumtartalmának tudható be (2. ábra).



2. ábra. A műtermék, a kémhatás és CaCO_3 tartalom vertikális lefutása a 11, 13, 19 és 25-ös szelvényekben

A tulajdonságok között fennálló erős kapcsolat, és a hasonló vertikális lefutás alapján egyértelműen kijelenthető az antropogén anyagok által okozott változás a mésztartalomban és a kémhatásban.

2. táblázat. A Spearmann-féle korrelációsszámítás eredményei a műtermékeket tartalmazó városi mintákra (n=87) vonatkoztatva (** p < 0,01)

Tulajdonságok	Műtermék	pH H ₂ O	pH KCl	CaCO ₃
Műtermék	1,000	,660**	,686**	,400**
pH H ₂ O	,660**	1,000	,955**	,651**
pH KCl	,686**	,955**	1,000	,670**
CaCO ₃	,400**	,651**	,670**	1,000

2. Tézis

A talajtulajdonságok vertikális lefutásának vizsgálatával kimutattuk a debreceni talajok bolygatottságát, az SS/TS index segítségével ennek a mértékét is meghatároztuk.

A városi szelvények tulajdonságainak vertikális lefutása eltérő mintázatot mutatott a kontrol területek talajaihoz képest. A műtermékek mélyebb rétegekben való előfordulása már a terepi vizsgálatok során rámutatott az antropogén hatásra bekövetkezett bolygatásra. A belvárosi szelvények teljes mélységükben tartalmaztak antropogén eredetű anyagokat, a szuburbán zóna külső részein elhelyezkedő szelvényekben azonban már többnyire csak a szelvények felső néhány tíz centiméteres rétegében fordultak elő.

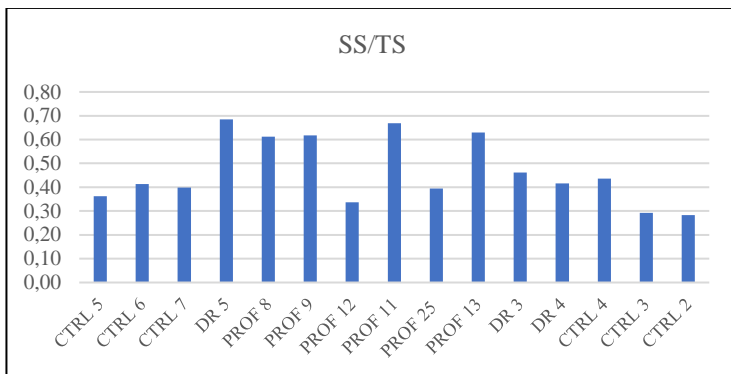
A belvárosi szelvények döntő többségében megfigyelhetők gyakori, hirtelen bekövetkező textúraváltások, amelyek egyértelműen az emberi átkeverés és áthalmozás szerepét bizonyítják.

A nyírségi kontrol szelvények mésztartalma a felszíntől a mélyebb rétegek felé mutat csökkenő tendenciát, az emberi tevékenységek által kevésbé érintett szuburbán szelvényekben hasonló a kalciumtartalom megoszlása. A belváros irányában azonban a mésztartalom vertikális lefutása szabálytalan képet mutat a szelvényekben, ami a magasabb és alacsonyabb mésztartalmú rétegek szabálytalan váltakozásában, gyakran a mélység felé növekvő értékekben nyilvánul meg.

A kémhatás vertikális lefutásában felismerhetők a bolygatottságra utaló jelek, melyek a belváros és a szuburbán zóna belvároshoz közelebb eső szelvényeiben jelentkeztek legnagyobb mértékben. A szelvények egy csoportjában szabálytalan volt a pH értékek megoszlása, másik részüknél viszont egyveretű, monoton lefutású, amiben ugyan előfordult kismértékű csökkenés a mélység felé, azonban nem voltak kiugró értékek. Ezekben az esetekben feltételezhető, hogy a teljes szelvényt érintette az áthalmozás, melynek során összekeveredett, homogenizálódott az áthalmozott talajanyag.

A debreceni talajok bolygatottságának mértékét az altalaj (subsoil – SS) és feltalaj (topsoil – TS) humusztartalmának hányadosából számított érték segítségével határoztuk meg. A kontrol szelvények SS/TS értékei 0,4 körül és az alatt alakultak, a

magasabb értékek az erősebb emberi tevékenységből eredő áthalmazást és bolygatást jelentik. A városi zónában elhelyezkedő szelvények SS/TS magas értékei és maximumai a belvárosban fordulnak elő, ahol Debrecen legerősebben bolygatott talajai találhatóak (3. ábra).



3. ábra. A humusztartalomhoz kapcsolódó SS/TS értékek a felszíni lefedéssel nem rendelkező szelvényekben

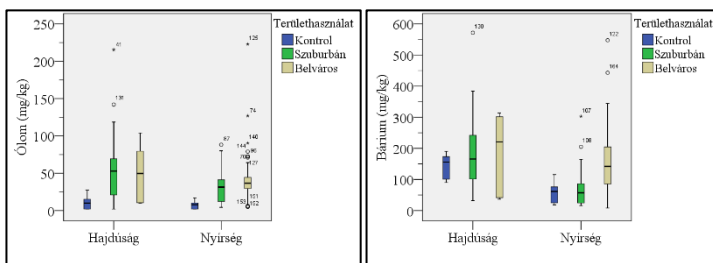
Megállapítást nyert, hogy az antropogén hatásra bekövetkezett bolygatás –a humusztartalom vertikális lefutása, illetve a számított SS/TS értékek alapján – a belvárosi talajokat érintette legnagyobb mértékben. A szuburbán zóna szelvényeinek egyes példányaiban még azonosíthatók a bolygatás nyomai, míg a városmagtól távolabbi területeken a humusztartalom tekintetében nem mutattunk ki bolygatásra utaló jeleket.

3. Tézis

A vizsgált potenciálisan toxikus elemek vonatkozásában a debreceni talajok mérsékelten szennyezettek. A gépjárműforgalommal leginkább érintett belvárosban a legmagasabb a közlekedési kibocsátáshoz kapcsolódó fémek (Zn, Pb, Ba) koncentrációja, amelyek esetében a szuburbán zónában is előfordulnak határértéket meghaladó értékek.

A begyűjtött minták közel 10%-ában mutattunk ki határértéket meghaladó cink, ólom-, és bárium-koncentrációt. A vizsgált PT elemek a közlekedésből származó szennyezőanyagokhoz tartoznak, ezzel a típusú terheléssel a szuburbán és belvárosi zónák talajai szinte folyamatosan érintettek.

A belváros és a szuburbán területek talajainak ólom (Pb) tartalmában nem tapasztalható lényeges különbség, azonban a centrumtól távolodva a kontrol területek irányába megközelítőleg felére csökken a talajok ólom tartalma (4. ábra).



4. ábra. Az ólomtartalom megoszlása

5. ábra. A báriumtartalom megoszlása

A belvárosi és a szuburbán talajok báriumterhelésében is egyértelmű különbségek figyelhetők meg (5. ábra). A szuburbán területek még érintettek a gépjárműforgalommal, így mindkét tájegységen mértünk határérték fölötti, kiugró értéket. A kontrol zónákban viszont minden egyes minta báriumkoncentrációja határérték alatt maradt. Utóbbi két esetben érdemes az adatok interkvartilis terjedelmét is megvizsgálni.

A Hajdúságban kétszeres különbség figyelhető meg ebben a tartományban a Nyírséggel szemben. Az antropogén hatások mértéke mindkét területen elmarad a belvárosi szinthez képest, így az itt szóban forgó különbségek leginkább a talajok adszorpciós kapacitásában meglévő különbségekre vezethetők vissza (5. ábra).

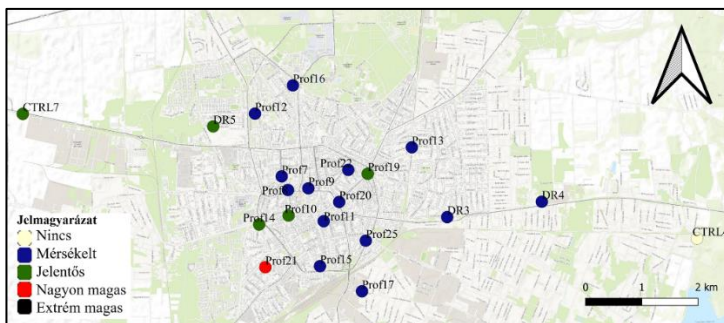
4. Tézis

Különböző indexek segítségével számszerűsítettük a vizsgált fémek feldúsulásának mértékét a belváros és a szuburbán területek talajaiban. Az ólom és a bárium esetében volt a legnagyobb mértékű a feldúsulás, ami a belváros mellett a szuburbán területek talajait is érinti.

A nehézfémek akkumulációjának értékelését a Feldúsulási Faktor (EF), a Geoakkumulációs Index (Igeo), a Nemerow-féle szennyezettségi index, a Szennyezettségi faktor (Cf), Szennyezettségi fok (Cdeg) és Szennyezőanyag terhelési index (PLI) alapján végeztük.

A króm (Cr) esetében nem volt kimutatható komolyabb feldúsulás, a nikkelnél (Ni) a belvárosi minták esetében állapítottunk meg mérsékelt akkumulációt. A cink (Zn) és a réz (Cu) esetében a belvárosi és a szuburbán területeken is csak elszórtan, egy-két mintavételi pontban tapasztaltunk mérsékelt vagy jelentős mértékű feldúsulást.

A legerőteljesebb feldúsulást az ólom (Pb) (6. ábra) és bárium (Ba) esetében mutattuk ki, ami a belvárosi és szuburbán területeken is határozottan megfigyelhető.



6. ábra. Az ólom Feldúsulási Faktor (EF) értékei a debreceni szelvények feltalajában

5. Tézis

A Feldúsulási Faktor, a Geoakkumulációs Index, valamint a Főkomponens analízis eredményei alapján megállapítottuk, hogy a króm és a nikkelt geogén eredetű, a bárium és az ólom pedig az antropogén eredetű elemek közé sorolható.

A főkomponens analízis lefuttatását követően megállapítottuk, hogy a hat elem, 3 főkomponensre csökkent elfogadható mintavételezési szinten. A PC1-et a Cr és a Ni alkotja, a táblázatból egyértelműen látszik, hogy a Cu és a Zn, valamint az Pb és a Ba kerültek ugyanabba a főkomponensbe (3. táblázat).

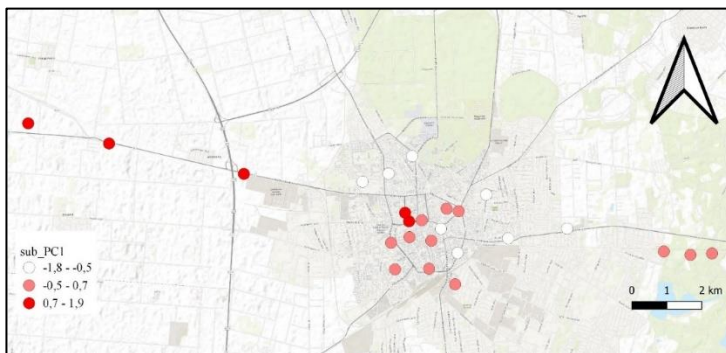
3. táblázat. A vizsgált elemek rotációs főkomponens mátrixa

Feltalaj	PC1	PC2	PC3	Altalaj	PC1	PC2	PC3
Cr_log	0,852			Cr_log	0,833		
Ni_log	0,891			Ni_log	0,900		
Cu_log		0,818		Cu_log			0,752
Zn_log		0,777		Zn_log			0,877
Pb_log			0,663	Pb_log		0,923	
Ba_log			0,833	Ba_log		0,776	
Variancia %	34,36	31,008	21,062	Variancia %	33,549	28,469	25,964

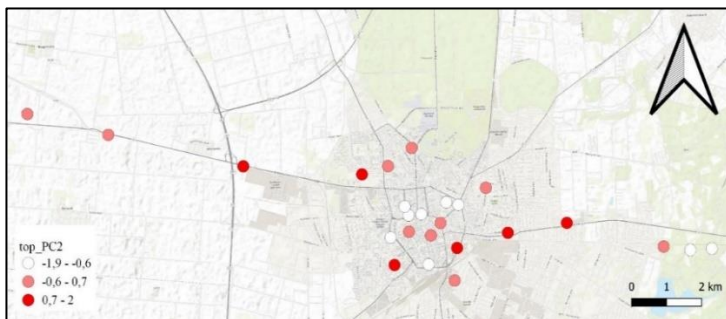
A talaj nikkelt- (Ni) és krómtartalma (Cr) között erős ($p < 0,01$), szignifikáns, pozitív korrelációs kapcsolat van ($r_{Ni-Cr} = 0,667$). Továbbá mindkét fém hasonlóan erős, pozitív szignifikáns összefüggést mutatott a humusztartalommal, az iszap- és agyagfrakcióval és a kalcium-karbonáttal.

A potenciálisan toxikus elem-tartalmuk együtt mozgására jellemző, hogy a legmagasabb koncentrációk mind a nikkelnél, mind a krómnál ugyanazokban a mintákban fordulnak elő, amelyek Debrecen peremterületein lévő kontrol szelvényekhez köthetők (7. ábra). Az eddigi saját elemzések alapján, valamint más szerzők munkájával összhangban (Maja et al., 2018) arra a következtetésre jutottunk, hogy a króm (Cr) és a nikkel (Ni) talajbeli koncentrációit nem befolyásolják antropogén hatások, így ezeket a geogén eredetű fémek közé soroltuk.

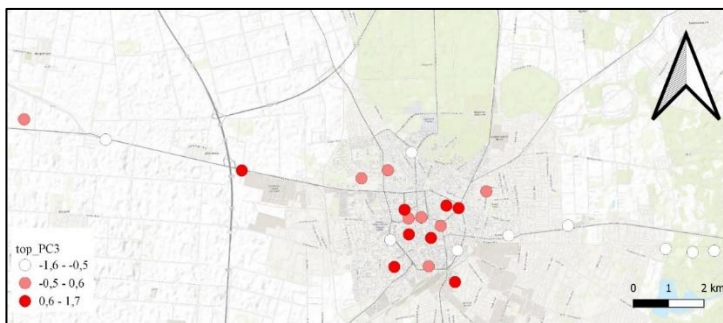
A cink és a réz között szintén erős ($p < 0,01$), pozitív korrelációs kapcsolat mutatható ki ($r \text{ Cu-Zn} = 0,718$), emellett a humusztartalommal, valamint iszap-és agyagfrakcióval is hasonló összefüggések jellemzőek. Területi megoszlásukban a magasabb koncentrációk elszórta helyezkednek el, a legalacsonyabbak viszont a mintaterületünk központi részében csoportosulnak. A PTE vizsgálati adatainak elemzéséből nem állapítható meg egyértelműen a cink (Zn) és a réz (Cu) antropogén vagy geogén eredete. Összességében elmondható, hogy erős, az egész településen érezhető antropogén hatás nincs, de néhány mintavételi pontban nem zárható ki az antropogén hatásra történő réz és cink feldúsulás (8. ábra).



7. ábra. A Ni és Cr (PC1) regressziós pontszámainak területi megoszlása a debreceni szelvények altalajában



8. ábra. A Cu és Zn (PC2) regressziós pontszámainak területi megoszlása a debreceni szelvények feltalajában



9. ábra. A Ba és Pb (PC3) regressziós pontszámainak területi megoszlása a debreceni szelvények feltalajában

Az ólom (Pb) és a bárium (Ba) azonos főkomponensbe kerültek (3. táblázat). Erős ($p < 0,01$), pozitív korrelációs kapcsolat áll fenn a PTE k között. A fémek koncentrációi egyértelműen magasabbak voltak a városi területeken, mint a kontrolszelvényekben, a határérték túllépések is gyakran a belvárosban fordultak elő. Az EF értékek alapján az altalajban és feltalajban is megfigyelhető a vizsgált PT elemek feldúsulása. A főkomponens analízis eredményei a kontrol szelvényekhez kötik a PTE legalacsonyabb koncentrációit, míg a magasabbak a közlekedéssel és egyéb antropogén hatással érintett városi területekhez kapcsolódnak (9. ábra). Tehát az ólom (Pb) és a bárium (Ba) esetében a főkomponens analízis eredményei is alátámasztották az antropogén eredetet.

6. Tézis

A szelvényeket besoroltuk a WRB rendszerbe. A talajokban bizonyítottan bekövetkezett antropogén hatás térbeli rendje, valamint a WRB rendszer antropogén hatást kifejező referencia csoportja és minősítők alkalmazása között kapcsolat figyelhető meg. A Technosol referencia csoportot, valamint hozzájuk kapcsolható minősítőket nagyobb részt a belváros, kisebb részt a szuburbán zóna szelvényeinél alkalmaztuk.

A kontrol területek szelvényei az adott kistájra leginkább jellemző, természetes talajtípusok példái. A Hajdúságban *Chernozem*, a Nyírségben *Arenosol* referencia csoportba soroltuk a talajokat. A szuburbán zóna külső részein, a kontrol területekhez közel eső szelvényeknél nem tapasztaltunk olyan mértékű antropogén hatást, ami a talajok referenciacsoportba való sorolásánál is megnyilvánult volna.

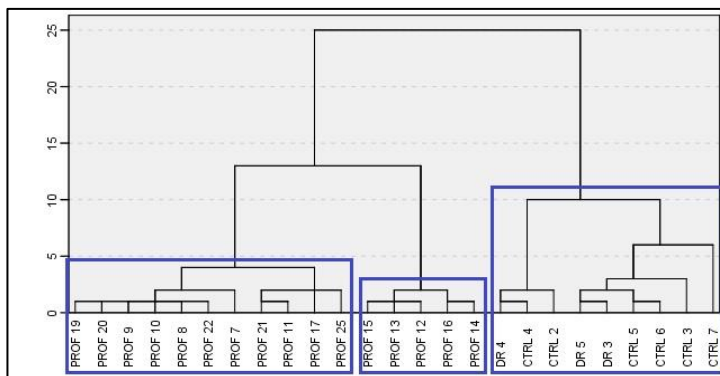
A szuburbán zóna belvároshoz közelebb eső szelvényeiben az emberi tevékenységek egyértelmű nyomot hagytak. Határozottan növekedett a műterméktartalom, valamint a felszíni lefedettség mértéke, ezzel együtt a Technosol referencia csoport, valamint az *Ekranic* és *Urbic* minősítő alkalmazása is komoly hangsúlyt kapott. A belvárosban lévő szelvények osztályozásánál továbbra is a *Technosol* referencia csoport és az *Ekranic* és *Urbic* minősítők domináltak, ezenkívül több olyan minősítő alkalmazása volt indokolt, ami a talajok emberi tevékenység hatására bekövetkező változásait írja le. A belvárosi szelvények döntő többségénél a következő minősítők alkalmazása volt indokolt. A határérték feletti nehézfém-

koncentráció előfordulása esetén a *Toxic* minősítőt használtuk. Amennyiben a szelvény talajanyagát a különböző munkálatok miatt, helyben teljesen áthalmozták, amely következtében az eredeti genetikai talajszerkezetek nem azonosíthatók, abban az esetben a *Relocatic* minősítőt használtuk. A más helyszínről származó talajanyag a szelvény talajával való átkeverése miatt a *Transportic* jelzőt alkalmaztuk.

7. Tézis

Klaszteranalízissel elkülönítettük Debrecen városán belül azokat a területeket, amelyek talajait az antropogén hatások jobban, illetve kevésbé érintették. Továbbá sikerült összefüggéseket kimutatni az eltérő beépítési kategóriák és a talajokban emberi tevékenységeknek betudható változások között.

Az analízisbe már csak az egyértelműen antropogén hatásra módosult talajtulajdonságokat vontuk be (kémhatás, CaCO_3 , a szerves anyag, műterméktartalom, ólom és bárium koncentrációk). Az altalaj és feltalaj adataival lefutott klaszteranalízis dendrogramja alapján három csoportba rendeztük a debreceni szelvényeket (10. ábra).



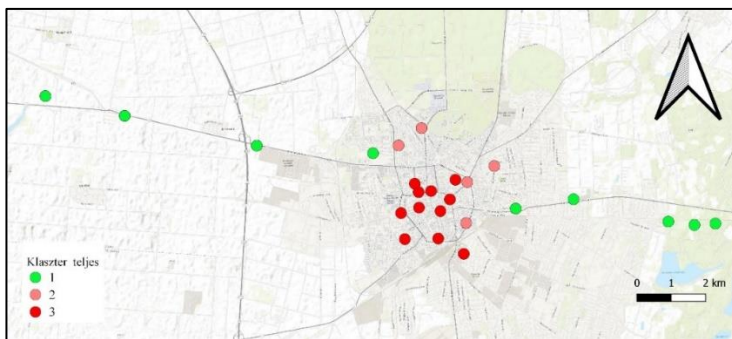
10. ábra. Az összevont adatokra lefutott klaszteranalízis Ward eljárással képzett dendrogramja

Az első csoport szelvényei a kontrol területekről és a szuburbán zóna külső részéről kerültek ki (11. ábra).

Műtermékek nem kerültek elő ezekből a szelvényekből, az ólomkoncentráció átlagos értéke itt a legalacsonyabb.

A második klaszter talajaiban már megjelennek az antropogén eredetű anyagok, valamint a városi talajokra jellemző emelkedett pH értékek is megfigyelhetők, a nehézfémek átlagos mennyisége nem közelíti meg a határértékeket (4. táblázat). A szelvények majdnem 50%-a csoportosul a harmadik klaszterben, nagyrésztük a belvárosban helyezkedik el (11. ábra). A kémhatás, műtermék és CaCO_3 értékei alapvetően magasnak mondhatók, a három tulajdonság között – korábban kimutatott összefüggés – az emberi tevékenységek következményének tudható be.

Az ólom (Pb) és bárium (Ba) átlagos koncentrációja itt a legmagasabb, utóbbi a határérték közelében tartózkodik (4. táblázat).



11. ábra. Az egyes klaszterekbe tartozó szelvények az összevont minták alapján

4. táblázat. A vizsgálatba bevont paraméterek értékei az összevont eredmények klaszterei alapján

Klaszter		pH	% -ban			mg/kg-ban	
			Műtermék	CaCO ₃	Humusz	Pb	Ba
1.	átlag	6,52	0,00	4,82	1,85	32,37	96,43
	szórás	±1,12	0,00	±3,92	±1,48	±48,03	±56,31
2.	átlag	8,08	10,31	3,54	0,71	39,64	75,23
	szórás	±0,46	±9,34	±1,33	±0,57	±13,46	±41,54
3.	átlag	8,28	8,12	6,60	1,37	51,34	196,28
	szórás	±0,32	±7,67	±2,50	±0,64	±24,62	±86,43

A város centrum térségében érte a talajokat a legintenzívebb emberi hatás, ide összpontosul a gépjárműforgalom nagyrésze, a bolygatás mértéke itt a legnagyobb, a talajok eredeti genetikai szintjei itt ismerhetők fel a legkevésbé. A műtermékek és a szerves anyag tartalom nagyarányú jelenléte a mélyebb rétegekben tipikus példája a városi talajok áthalmazásának. A potenciálisan toxikus elemek antropogén eredetét az ólomnál (Pb) és a báriumnál (Ba) állapítottuk meg, az említett fémek határérték túllépése, a szelvények egyes mintáiban megfigyelhető és kimutatható akkumulációja is mind a belvárosi mintavételi helyekhez kapcsolódik. A szelvények nagyrészt forgalmas útvonalak és csomópontok közvetlen közelében találhatók.

A városmagtól távolodva csökken az emberi tevékenységek intenzitása, ezzel együtt megfigyelhető, hogy a talajtulajdonságokban már nincs olyan nagy eltérés a kontrol területekhez viszonyítva. Csökken az antropogén anyagok jelenléte, valamint az altalaj alacsony humusztartalma is az áthalmazás és bolygatás elmaradására enged következtetni. A PTE koncentrációi – egy-két kivételtől eltekintve – csak megközelítik az érvényben lévő határértékeket, a kimutatható feldúsulás határozottan elmarad a belvárosi eredményektől.

IRODALOMJEGYZÉK

- Aleksandrovskii, A. L., Aleksandrovskaya, E. I., Dolgikh, A. V., Zamotaev, I. V., Kurbatova, A. N. 2015. Soils and Cultural Layers of Ancient Cities in the South of European Russia, GENESIS AND GEOGRAPHY OF SOILS, ISSN 10642293, Eurasian Soil Science, Vol. 48, No. 11, pp. 1171–1181.
- Dolgikh, A. V., Aleksandrovskii, A. L. 2009. Soils and Cultural Layers in Velikii Novgorod, GENESIS AND GEOGRAPHY OF SOILS, ISSN 10642293, Eurasian Soil Science, Vol. 43, No. 5, pp. 477–487.
- Golyeva, A., Khokhlova, O., Lebedeva, M., Shcherbakov, N., Shuteleva, I. 2018. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Ancient Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region, Russia), Geosciences, 8,313,
- Grunewald, K., Richter, B., Behnisch, M. 2019. Multi-Indicator Approach for Characterising Urban Green Space Provision at City and City-District Level in Germany, International Journal of Environmental Research and Public Health, 16, 2300
- IUSS Working Group WRB, 2007. World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports, No. 103. FAO, Rome, pp. 93.
- IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports, No. 106. FAO, Rome, pp. 192.
- Maja, M., Poznanović Spahić, Sanja M. Sakan, Bojan M. Glavaš-Trbić, Pavle I. Tančić, Sandra B. Škrivanj, Jovan R. Kovačević & Dragan D. Manojlović 2019 Natural and anthropogenic sources of chromium, nickel and cobalt in soils impacted by agricultural and industrial activity (Vojvodina, Serbia), Journal of Environmental Science and Health, Part A, 54:3, 219-230
- Resitoglu, I. A., Altinisik, K., Keskin, A. 2015. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems, Clean Techn Environ Policy 17:15–27.
- Sagna, K., Amou, K. A., Boroze, T. T-E., Kassegne, D., Almeida, A. Napo, K. 2017. Environmental Pollution due to the Operation of Gasoline Engines: Exhaust Gas Law, International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering ; 5(4): 39-43.
- Szabó, J. 1998. A települések hatásai – in: A társadalom hatása a földfelszínre (antropogéogeomorfológia) – szerk. Borsy Z. – Általános Természetföldrajz, 832 p.
- Thi Lan, B. N., Takeshi Kobayashi, T., Suetsugu, A., Tian, X., Kameya, T. 2018. Estimating the Possibility of Surface Soil Pollution with Atmospheric Lead Deposits Using the ADMER Model, Sustainability, 10, 720;
- Tobias, S., Conen, F., Duss, A., Wenzel, M. L., Buser, C., Alewell, C. 2018. Soil sealing and unsealing: State of the art and examples, Land Degrad Dev;29:2015–2024.

Jogszabályok

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól

Szabványok

MSZ 08-0205:1978 A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.

MSZ 08-0206-2:1978 A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.

MSZ 21470-50:2006 Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikuselem-, a nehézfém- és a króm(VI)tartalom meghatározása.



Nyilvántartási szám: DEENK/427/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Sándor Gábor
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10036916

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

1. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Kovács, Z., **Sándor, G.**, Szabó, G., Novák, T.: Open-access soil information and soil classifier system.
IJECSSE. 4 (3), 12-15, 2015. ISSN: 2277-9477.
2. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Influence of human activities on the soils of Debrecen, Hungary.
Soil Science Annual. 65 (1), 2-9, 2014. EISSN: 2300-4975.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/ssa-2014-0001>
3. Vince, T., Szabó, G., Csoma, Z., **Sándor, G.**, Szabó, S.: The spatial distribution pattern of heavy metal concentrations in urban soils - a study of anthropogenic effects in Berehove, Ukraine.
Central European Journal of Geosciences. 6 (3), 330-343, 2014. ISSN: 1896-1517.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/s13533-012-0179-7>
IF: 0.663

További közlemények

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (2)

4. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Urban soils on the drift sand areas in Hungary.
In: Soil sequences atlas. Ed.: Marcin Switoniak, Przemyslaw Charzynski, Nicolaus Copernicus University Press., Torun, 197-209, 2014. ISBN: 9788323132820
5. **Sándor, G.**, Szabó, G., Charzynski, P., Szykowska, E., Novák, T., Switoniak, M.: Technogenic soils in Debrecen.
In: Soil sequences atlas. Ed.: by Marcin Świtoniak, Przemysław Charzyński, Nicolaus Copernicus University Press, Torun, 35-74, 2013. ISBN: 9788323132820





Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

6. Mester, T., Balla, D. Z., Botos, Á., Szabó, G., **Sándor, G.**, Novák, T.: Az antropogén hatások mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tisztántúli kertek talajaiban. *Talajvédelem. Kisz.*, 179-187, 2017. ISSN: 1216-9560.
7. **Sándor, G.**, Szabó, G.: A debreceni városi talajok vizsgálatának első eredményei. *Föld emb.* 6 (1-4), 10-20, 2014. ISSN: 1585-5465.
8. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Az antropogén eredetű anyagok vizsgálata Debrecen talajaiban. *Műszaki Tud. közl.* 1, 159-164, 2014. ISSN: 2393-1280.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33895/mk-2014.01.15>

Magyar nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

9. **Sándor, G.**, Boda, P., Márta, L., Novák, T.: Egykori talajművelés nyomainak vizsgálata középhegységi erdős terület mikro-domborzataiban és talajaiban. *Acta Scientiarum Transylvanica.Chimica.* 25 (3), 102-109, 2017. ISSN: 1842-5070.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

10. Al Basha, N., Eplényi, A., **Sándor, G.**: Inspirative geology -the influence of natural geological formations and patterns on contemporary landscape design. *Landscape architecture and art.* 17, 39-48, 2021. ISSN: 2255-8632.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22616/j.landarchart.2020.17.05>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (4)

11. Boda, P., Márta, L., **Sándor, G.**: Homoktalajok vizsgálata Debrecen környéki mintaterületen.
In: XII. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia : Tanulmánykötet. Szerk.: Csicsék Gábor, Kiss Ibolya, Pincehelyi Zita Év, PTE TTK Szentágotthai János Protestáns Szakkollégium, Pécs, 24-28, 2017. ISBN: 9789634290490
12. **Sándor, G.**, Nádasy, L. Z.: Városi talajok vizsgálata a XXII. kerületben.
In: Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai. Szerk.: Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 520-526, 2017. ISBN: 9789633065426
13. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Talajvizsgálatok Debrecen belvárosában.
In: Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás (4)(2013.05.23-2013.05.24) Debrecen, Hungary), Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 357-365, 2013. ISBN: 9789633183342
14. **Sándor, G.**, Szabó, G.: A nehézfémterheltség és a területhasználathoz kapcsolódó vizsgálatok. Vásárosnamény talajaiban.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában III. : Térinformatikai Konferencia és szakkiallítás Debrecen 2012. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 345-352, 2012. ISBN: 9789633182185





Idegen nyelvű konferencia közlemények (3)

15. Nádasy, L. Z., **Sándor, G.**, Illyés, Z.: The Role of Individual Trees in the Protection of Urban Image.
Proceedings of the Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning, 6 (1), 1-12, 2019. ISSN: 2642-338X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7275/0x5f-e822>
16. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Investigation of soil properties and vertical distribution of heavy metal content in urban soils in the city centre of Debrecen, Hungary.
In: International Multidisciplinary Conference (10)(2013)(Baia Mare-Nyiregyháza), Bessenyei Publishing House, Nyiregyháza, 132-138, 2013. ISBN: 9786155097669
17. **Sándor, G.**, Szabó, G.: The effect of agricultural cultivation on heavy metal content of the soil.
In: XVIII. Nemzetközi Tehetséggondozási, Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia : Szolnok, 2012. szeptember 28-29. = 18th International Talent Management Student Conference on Environmental Protection and Rural Development. Szerk.: Szabó Attila, Alumni K. : Szolnoki Főisk., [Szolnok], 1-8, [2012]. ISBN: 9789638933966

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

18. Mester, T., **Sándor, G.**, Botos, Á., Balla, D. Z., Szabó, G., Novák, T.: Az antropogén hatások mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tisztultú kertek talajaiban.
In: Talajtani Vándorgyűlés: Az előadások és a poszterek összefoglalója / kész. Sándor Zsolt, Szász Gizella, Magyar Talajtani Társaság, Debrecen, 26, 2016.
19. **Sándor, G.**, Szabó, G.: A mezőgazdasági művelés hatása a talaj nehézfém-tartalmára.
In: XVIII. Nemzetközi Tehetséggondozási - Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési - Diákkonferencia, [Szolnoki Főisk.], Szolnok, 37-38, [2013].
20. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Területhasználati típusok és a talajtulajdonságok kapcsolatának vizsgálata Vásárosnamény példáján.
In: XIII. RODOSZ Konferencia : Kivonatok jegyzéke, [RODOSZ], Kolozsvár, 105-106, 2012.





21. **Sándor, G., Szabó, G.:** Vásárosnamény talajainak nyomelem-vizsgálata.

In: XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia : Veszprém, 2012.
április 6-7. : konferencia kötet : program és előadás összefoglalók. Szerk.: Selmeczy Géza
Balázs, Üveges Viktória, Pannon Egyetem Mérnöki Kar Környezettudományi Intézet,
[Veszprém], 82, 2012.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 0,663

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
0,663**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2021.08.31.



**Short thesis for the degree of doctor of philosophy
(PhD)**

**Studying the pedological consequences of
anthropogenic events in Debrecen**

Gábor Sándor

Supervisor: Dr. habil. György Szabó



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Doctoral School of Earth Sciences

Debrecen, 2021.

1. INTRODUCTION

Increase in the level of urbanisation entails the transformation and damage of the environment. Human activities (industry, transport, etc.) result in significant pollutant emission. Materials generated by industrial emissions and internal combustion engines can be discharged directly into the soil by deposition and then contaminate groundwater in the long-term (Resitoglu et al. 2015, Sagna et al. 2017, Thi Lan et al. 2018).

Transformations in urban environments may completely change the original morphology of the surface. Soils can also be greatly damaged during surface levelling. Due to the filling, we have to take into account the increase in the quantity of artificial materials and the formation of a completely new cultural layer (Dolgikh et al. 2009, Aleksandrovskii et al 2015, Golyeva et al. 2018). In addition, levelling and removing higher surfaces a deeper level of soil is exposed, which is thus directly affected by anthropogenic effects (Szabó, 1998).

The proportion of soil surfaces covered with artificial material (asphalt, concrete) varies widely even within a settlement. Generally, the predominance of paved surfaces is evident in the central part of a major city, while in the suburban zone further from the city centre, green spaces dominate (Tobias et al., 2018, Grunewald et al., 2019). Technogenic layers deprive the surface, humus-rich level of the soil of sunlight, air and precipitation, thereby damaging the naturally occurring microbiological and soil development processes. The oxygen and water budgets of the soil deteriorate, its ventilation decreases, the soil becomes more compact.

The county climate strategies, accomplished by 2018, included soil problems, rainfall retention solutions and development proposals to improve green surface systems. Information on the condition of soils in Hungarian settlements can be obtained primarily from the Municipal Environmental Programmes, the obligations for the preparation of which are specified in §46 of Act LIII of 1995. Programmes discuss the state of environmental elements and activities potentially harmful to the geological media found in the given settlement.

Soils can be severely affected in the inner areas of settlements. Studying these soils can help to understand the processes and changes taking place in urban soils. The results and the conclusions may influence decision-makers in the implementation of developments targeting urban environmental protection. Studying urban soils has come in the focus in the last few years. I felt it important to deal with the issue on the example of Debrecen due to the timeliness of the topic.

2. OBJECTIVES

The aim of the thesis is to determine how the properties of the soils in Debrecen have changed in the urban environment. The examinations covered the centre of Debrecen, its neighbourhoods with detached houses and its outskirts. Samples were taken from soil profiles and boreholes, followed by laboratory processing. In my dissertation, I set out the following specific objectives:

1. Determination of the physical and chemical properties of soil samples taken from profiles and boreholes.
2. Determination of the concentration of the following potentially toxic elements (PTE): Ni, Cu, Cr, Pb, Zn, Ba, and comparing them with the authoritative limit values.
3. Determination of soil property changes occurred due to anthropogenic effects in the soils of different land use types (city centre, suburb, control areas in the outskirts of the city) on the one hand, and on the other hand, in their pattern within the profiles (vertical distribution).
4. Exposing the relationship between certain parameters based on statistical analyses. Determination of Spearman Correlation value between the studied soil properties and PTE concentrations.
5. Determination of the grade of PT elements accumulated as a result of anthropogenic effects calculating various accumulation indices.
6. Separation of anthropogenic and lithogenic PT elements with the help of main component analysis.
7. Studying the spatial distribution of anthropogenic effects on the soil using cluster analysis.
8. Classification of the soil profiles based on the directives of the WRB international soil classification system. Drawing conclusions on the strength and spatial correlations of anthropogenic effects with analysing the applied reference groups and qualifiers.

3. MATERIALS AND METHODS

From 2012 to 2015, 22 soil profiles and 3 boreholes were sampled in the study area. The sampling points were selected along an east-west segment, and the different landscape conditions and the type of build-up were taken into account when selecting them. Based on this, the profiles were organised into control, suburban and downtown groups. Sampling sites have been selected from both landscapes with numbers corresponding to their territorial proportion (Figure 1). Following the share of the area of the city in the Hajdúság and Nyírség landscape regions, 6 profiles were taken from the Hajdúság 19 from the Nyírség.

Samples were taken in different ways. Soil drilling was carried out with an Eijkelkamp type hand-driller, with samples taken at every 20 cm. Soil samples were taken from the dug control profiles from each genetic horizon. Samples were taken from several points in the entire range of each level, and then an average sample representing that level was formed. In the case of the suburban and downtown soil profiles, distinct layers were distinguished, and sampling was made from these mostly homogeneous layers of different thickness. During the sampling, the exact coordinates of the profiles were recorded and photo-documentation of the profiles, boreholes and their surroundings was also prepared.

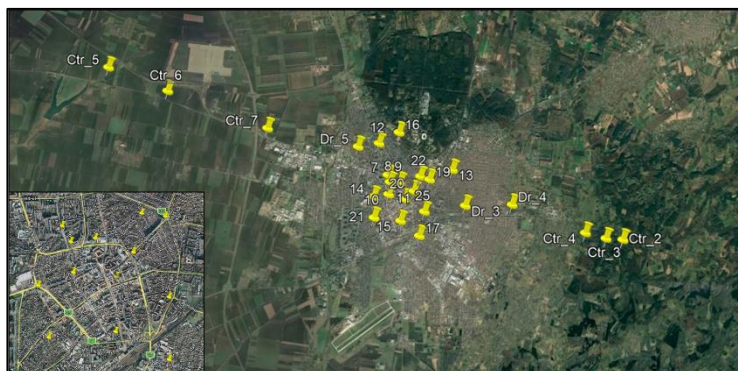


Figure 1. Location of soil profiles in Debrecen

Samples were analysed in the Geographical Laboratory of the University of Debrecen. The drying of the samples was followed by homogenization. Plant remains and the coarse texture were separated using a sieve with a mesh size of 2 mm. Substances of anthropogenic origin remaining on the sieve represent the artefact content of the soils in percentages relative to the weight of the original soil sample (IUSS WORKING GROUP WRB. 2006).

The grain size distribution of the prepared samples was determined by sieving in the case of the fraction greater than 0.2 mm, and further sedimentological analysis of the fraction smaller than 0.2 mm was carried out according to MSZ-08-0205-1978 using the Köhn pipette procedure. The pH of the soil was determined electrometrically in a distilled aqueous and potassium chloride suspension of 1:2.5 with a measuring instrument of WTX pH 340 type (MSZ-08-0206/2-1978). The CaCO₃ content of the soil was measured by Scheibler calcimeter (MSZ-08-0206/2-1978), its organic matter content was determined according to the Tyurin method (MSZ-08-0210-1977).

Following the full exposition of on the samples (5 ml cc. HNO₃ and 1 ml H₂O₂), PTE (heavy metal) concentrations (Cu, Zn, Cr, Pb, Ba, Ni, Fe) were determined using an Agilent Technologies 4100 microwave plasma atom emission spectrometer. The measurements were carried out by the colleagues of the Department of Inorganic and Analytical Chemistry, Faculty of Science and Technology, University of Debrecen.

Enrichment of PTEs (heavy metals) was assessed on the basis of several indices and factors: Enrichment Factor (EF), Geoaccumulation Index (I_{geo}), Contamination Factor (C_f), Degree of Contamination (C_{deg}), Pollutant Load Index (PLI) and Nemerow pollution index (NPI).

Classification of the profiles was based on the directives of the international soil classification system (IUSS Working Group, WRB. 2015).

Processing and graphical visualisation of the data were performed using softwares Microsoft Word, Excel 2013, and C2 Version 1.7.7.

Statistical analyses were performed using the software IBM SPSS Statistic 23. Normality test of the data was also performed, and then a Spearman correlation calculation was carried out to detect the relationship between the parameters. Main Component analysis reveals the anthropogenic and geogenic origin of the studied

elements. The spatial distribution of anthropogenic effects on soils was studied based on hierarchical cluster analysis. The geovisualisation of the results was carried out with the help of the software QGIS 7.4.1.

4. RESULTS

Results of the research are summarised in theses in accordance with the Doctoral Regulations of the University of Debrecen.

Thesis 1

The influence of anthropogenic action in the properties of soils (grain size distribution, artefact content, pH, CaCO₃) has been proved. There are marked and statistically verified differences in the amount of properties indicated compared to the soils in the control area.

Clayey adobe and adobe soil types were identified in the horizons of the control profiles in the Hajdúság. The coarse sand fraction appears in the urban profiles belonging to the region. In the poorly developed humus containing sand soils found in the Nyírség, at least 80% dominance of the sand fraction is typical.

The sedimentological characteristics of the control and suburban profiles in the Nyírség showed a high degree of similarity, the proportion of fine fractions can increase generally in the deeper horizons, especially in horizons containing illuvial strips, the amount of clay may increase significantly.

In the profiles in the city centre and nearby, the proportion of the sand fraction is highest. As the proportion of artificially covered areas and infrastructure elements increases towards the city centre, filling and mixing due to human activity is more frequent.

None of the control profiles contained material of anthropogenic origin. However, artefacts were identified in 5 or the suburb profiles and in 9 out of the 11 profiles in the city centre. The basic statistical indicators in relation to the soil samples of the selected 16 profiles are presented in Table 1.

Table 1. Basic statistical indicators in relation to the profiles containing artefacts (n=87)

	Mean	Median	Minimum	Maximum	Standard deviation
City centre	5.33	3.89	0.00	24.15	5.30
Suburb	7.60	3.61	0.00	37.24	9.49

The occurrence of coarse sand fraction in this proportion, as well as the slightest presence of substances of anthropogenic origin compared to the control soils can be considered the consequence of human activities.

A high proportion of anthropogenic substances of construction and demolition debris with a high calcium content occurred in the studied profiles. The relationship between the parameters was shown by a similar vertical pattern, on the one hand (Figure 2) and, on the other hand, by the statistical analysis (Table 2). The following profiles

support our assumption the most (11, 13, 19, 25): pH, CaCO₃ and artefact content resulted in a similar vertical distribution. It was showed that in samples with a high presence of construction and demolition materials, higher pH and CaCO₃ content were usually observed, which is due to the inherently high calcium content of this type of material (Figure 2).

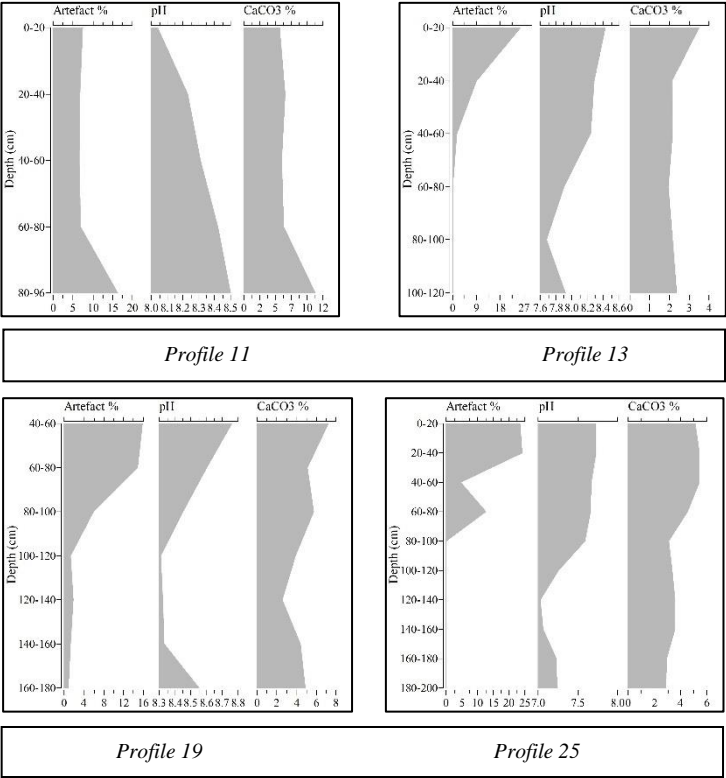


Figure 2. Vertical pattern of artefact content, pH and CaCO₃ content in profiles 11, 13, 19, and 25

Table 2. Results of Spearman correlation calculations for urban samples containing artefacts (n=87) (** p < 0.01)

Properties	Artefact	pH H ₂ O	pH KCl	CaCO ₃
Artefact	1.000	.660**	.686**	.400**
pH H ₂ O	.660**	1.000	.955**	.651**
pH KCl	.686**	.955**	1.000	.670**
CaCO ₃	.400**	.651**	.670**	1.000

Based on the strong relationship between the properties and, on the similar vertical pattern, it is clear that the changes in lime content and in pH are caused by anthropogenic materials.

Thesis 2

Disturbance of soils in Debrecen has been identified based on the vertical pattern of soil properties and also the grade of disturbance has been determined based on the SS/TS index.

The vertical pattern of the properties of urban profiles was different from those of the soils in the control areas. The occurrence of artefacts in deeper layers has already shown anthropogenic disturbances during field studies. The downtown profiles contained substances of anthropogenic origin throughout their full depth, however, in the profiles located in the outer parts of the suburban zone, they mostly occurred only in the upper few tens of centimetres of the profiles.

Frequent, sudden changes in texture can be observed in the vast majority of the profiles in the city centre. These clearly indicate the role of anthropogenic mixture and reworking.

The lime content of the control profiles in the Nyírség shows a decreasing trend from the surface to the deeper horizons, and the distribution of calcium content in the suburban profiles less affected by human activities is similar. In the direction of the city centre, however, the vertical pattern of the lime content is irregular in the profiles, which is manifested in the irregular alternation of horizons with higher and lower lime content, often with values increasing with depth.

In the vertical pattern of pH, there are signs of disturbance, which appeared most in the profiles of the city centre and the suburban zone close to the city centre. In one group of the profiles, the distribution of pH values was irregular, while in the other part it was monotonous, in which there was a slight decrease with depth, but there were no outliers. In these cases, it can be assumed that the entire profile was affected by reworking, during which the reworked soil material was mixed and homogenised.

The degree of disturbance of the soils of Debrecen was determined based on the value calculated from the ratio of the humus content of the subsoil (SS) and the topsoil (TS). The SS/TS values of the control profiles were around 0.4 and below, the higher

values reflecting reworking and disturbance resulting from stronger human activity. The high values and maximums of the profiles located in the urban zone are found in the city centre, where the most disturbed soils of Debrecen are located.

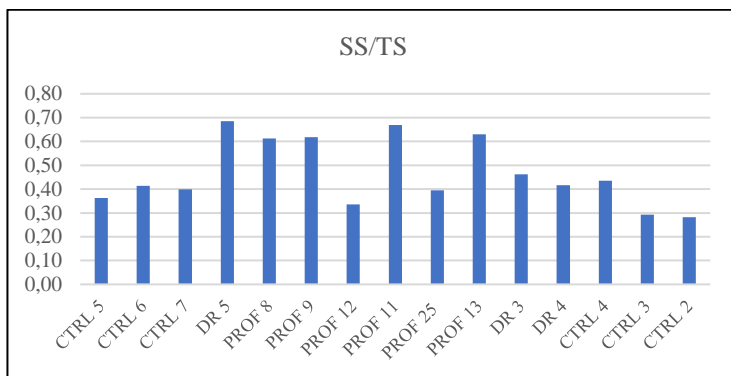


Figure 3. *SS/TS values associated with humus content in the profiles without surface cover*

It can be declared that anthropogenic disturbance – based on both the vertical pattern of the humus content and the SS/TS values – affected the soils in the city centre the most. Traces of disturbance could be identified in some of the profiles in the suburban zone, while no signs of disturbance were detected in areas further away from the core of the city.

Thesis 3

Considering the studied potentially toxic elements, soils in Debrecen are moderately contaminated. Concentration of metals associated with transport (Zn, Pb, Ba) is highest in the city centre with the highest level of traffic. Regarding the concentration of the above metals, values exceeding the limit also occurred in the suburb.

In almost 10% of the samples concentrations of zinc, lead and barium exceeding the limit were observed. The studied PT elements belong to pollutants from transport with which soils of the suburbs and the city centre are affected continuously.

There is no significant difference in the lead (Pb) content of the soils of the city centre and those of suburban areas, however, the lead content of the soils is approximately halved towards the control areas, moving away from the city centre (Figure 4).

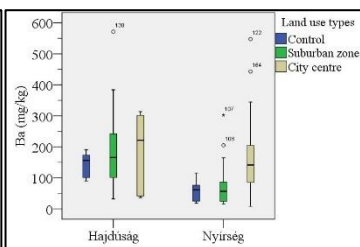
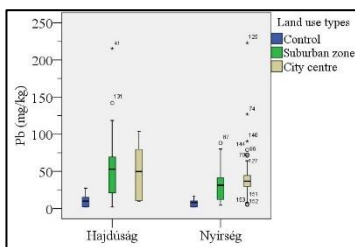


Figure 4. Distribution of lead content

Figure 5. Distribution of barium content

There are also clear differences in the barium load of soils in the city centre and suburban soils. The suburban areas are still affected by traffic, therefore outlier limit were also measured in both regions. However, the barium concentration of each sample in the control zones remained below the limit. In the latter two cases, it is also worth examining the interquartile range of the data.

There is a double difference in this range in the Hajdúság compared to the Nyírség. The extent of anthropogenic effects in both areas is lower than in the city centre, thus differences in this respect are mostly due to differences in the adsorption capacity of the soils (Figure 5).

Thesis 4

The grade of enrichment of the studied metals in the soils of the city centre and the suburbs has been determined. Enrichment was greatest in the cases of lead and barium which affects soils not only in the city centre but also in the suburbs.

The evaluation of the accumulation of heavy metals was based on the Enrichment Factor (EF), the Geoaccumulation Index (I_{geo}), the Nemerow pollution index, the Contamination Factor (C_f), the Degree of Contamination (C_{deg}) and the Pollutant Load Index (PLI).

No significant enrichment was detected in the case of chromium (Cr), while moderate accumulation was found in the case of samples from the city centre in nickel (Ni).

In the case of zinc (Zn) and copper (Cu), moderate or significant enrichment was found only at one or two scattered sampling sites in the city centre and in the suburban areas.

Strongest enrichment was detected in the case of lead (Pb) (Figure 6) and barium (Ba), which can be observed markedly in downtown and suburban areas as well.

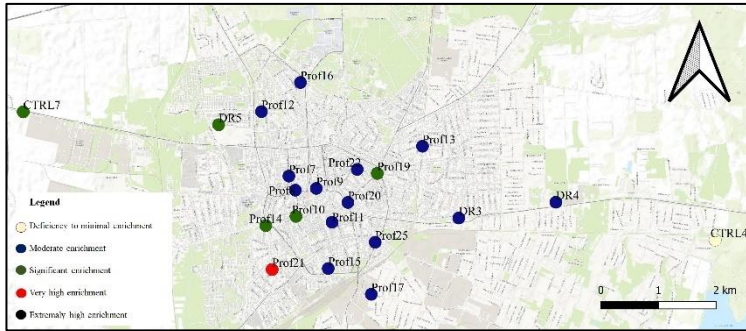


Figure 6. Enrichment Factor (EF) values of lead in the topsoil of the profiles in Debreceen

Thesis 5

Based on the Enrichment Factor, the Geoaccumulation Index and the results of the Principal Component analysis, the geogenic enrichment of chromium and nickel, and the anthropogenic enrichment of barium and lead have been proved.

After performing the principal component analysis, we found that the six elements were reduced to 3 main components at an acceptable sampling level. PC1 is made up of Cr and Ni, and it is clear from the Table that Cu and Zn, as well as Pb and Ba were included in the same principal component group (Table 3).

Table 3. Rotational major component matrix of the studied elements

Topsoil	PC1	PC2	PC3	Subsoil	PC1	PC2	PC3
Cr_log	0.852			Cr_log	0.833		
Ni_log	0.891			Ni_log	0.900		
Cu_log		0.818		Cu_log			0.752
Zn_log		0.777		Zn_log			0.877
Pb_log			0.663	Pb_log		0.923	
Ba_log			0.833	Ba_log		0.776	
Variance %	34.36	31.008	21.062	Variance %	33.549	28.469	25.964

There is a strong ($p < 0.01$), significant, positive correlation between the *nickel* (Ni) and *chromium content* (Cr) of the soil ($r_{Ni-Cr} = 0.667$). In addition, both metals showed a similarly strong, positive significant correlation with the humus content, silt and clay fractions and calcium carbonate.

The movement of their potentially toxic element content is characterised by the fact that the highest concentrations for both nickel and chromium occur in the same samples that are related to the control profiles in the outskirts of Debrecen (Figure 7). Based on our own analyses, as well as in line with the work of other authors (Maja et al., 2018), we have concluded that the concentrations of chromium (Cr) and nickel (Ni) in the soils are not influenced by anthropogenic effects, therefore these were classified as metallic elements of geogenic origin.

There is also a strong ($p < 0.01$) positive correlation between zinc and copper ($r_{Cu-Zn} = 0.718$), similar correlations were found with the humus content and silt and clay fractions. Considering spatial distribution, the higher concentrations are scattered, while the lowest concentrations are concentrated in the central part of the study area. The analysis of PTE test data does not clearly establish the anthropogenic or geogenic origin of zinc (Zn) and copper (Cu). Overall, there is no strong anthropogenic effect detectable throughout the entire municipality, however, copper and zinc enrichment at some sampling sites due to anthropogenic effects cannot be excluded (Figure 8).

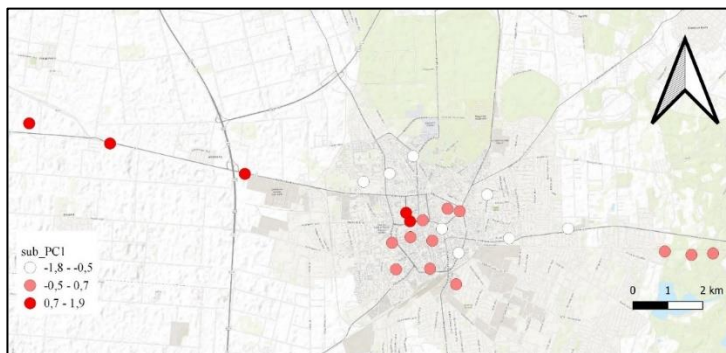


Figure 7. Spatial distribution of the regression points of Ni and Cr (PC1) in the subsoil of the profiles in Debrecen

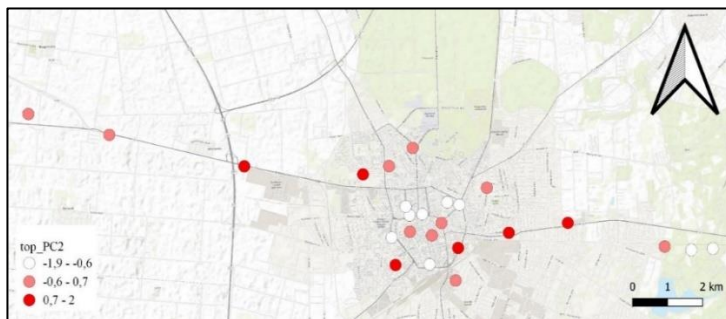


Figure 8. Spatial distribution of the regression points of Cu and Zn (PC2) in the topsoil of the profiles in Debrecen

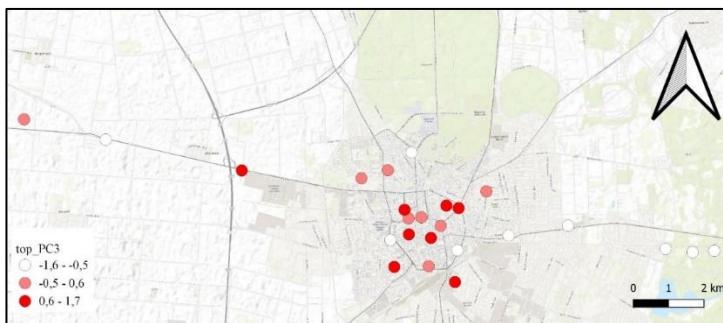


Figure 9. Spatial distribution of the regression points of Ba and Pb (PC3) in the topsoil of the profiles in Debrecen

Lead (Pb) and barium (Ba) were in the same principal component (Table 3). There is a strong ($p < 0.01$), positive correlation between the PTEs. Metal concentrations were clearly higher in urban areas than in the control profiles, and limits were often exceeded in the city centre. Based on the EF values, the enrichment of the studied PT elements can be observed in both the subsoil and topsoil. The results of the principal component analysis link the lowest concentrations of PTE to the control profiles, while the higher concentrations are related to urban areas affected by transport and other anthropogenic effects (Figure 9). Thus, in the case of lead (Pb) and barium (Ba), the results of the principal component analysis confirmed the anthropogenic origin.

Thesis 6

There is a connection between the spatial properties of anthropogenic effects proved in the soils, and the reference group of the WRB system indicating the anthropogenic effects and the application of qualifiers.

The profiles of the control areas are examples of the natural soil types most characteristic of the given region. In the Hajdúság the soils were classified into the *Chernozem*, while in the Nyírség, they were classified into the *Arenosol* reference group. In the outer parts of the suburban zone, in the case of the profiles close to the control areas, no anthropogenic effects of such grade that would have been reflected in the classification of soils into the reference group.

In the profiles of the suburban zone closer to the city centre, human activities left a clear mark. Artefact content and the level of surface coverage increased markedly, therefore the *Technosol* reference group and the *Ekranic* and *Urbic* qualifiers were used. In the classification of profiles in the city centre the *Technosol* reference group and the *Ekranic* and *Urbic* qualifiers continued to dominate, and several qualifiers were justified in describing changes in soils as a result of human activity. For the vast majority of downtown profiles, the use of the following qualifiers was justified. In the case of heavy metal concentrations above the limit, the *Toxic* qualifier was used. If the soil material of the profile was completely reworked locally due to various works, as a result of which

the original genetic soil levels cannot be identified, the *Relocatic* qualifier has been used. If the soil of the profile was mixed with soil material from other sites, the *Transportic* attribute was used.

Thesis 7

Areas within Debrecen with stronger and weaker anthropogenic influence have been separated using cluster analysis. In addition, correlations between the different build-up categories and the changes in soils caused by anthropogenic activities were found.

Only soil properties (pH, CaCO₃, organic matter, artefact content, lead and barium concentrations) were included in the analysis. Based on the dendrogram of the cluster analysis performed on the data of the subsoil and the topsoil, the profiles in Debrecen were classified into three groups (Figure 10).

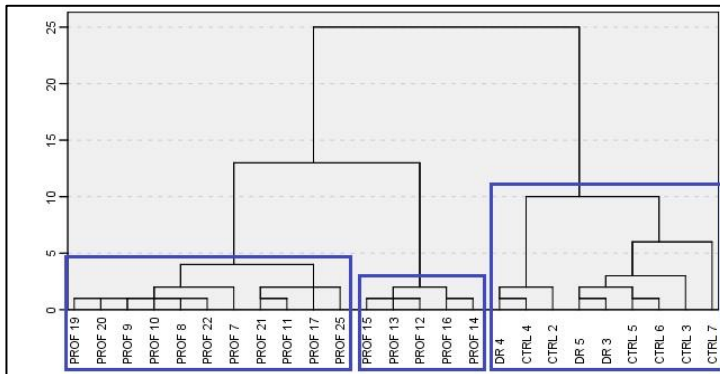


Figure 10. Dendrogram of a cluster analysis performed on the combined data based on Ward's method

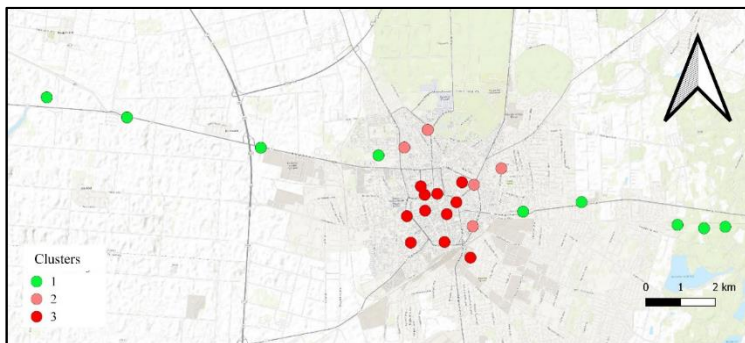


Figure 11. Profiles in each cluster based on the combined samples

Profiles in the first group were selected from the control areas and the outer parts of the suburban zone (Figure 11).

No artefacts have been recovered from these profiles and the average concentration of lead is smallest here.

Anthropogenic substances appear in the soils of the second cluster, as well as elevated pH values for urban soils, the average amount of heavy metals does not approach the limit values (Table 4). Almost 50% of the profiles are grouped in the third cluster, most of them are located in the city centre (Figure 11). The values of pH, the artefact and CaCO₃ content are basically high, and the relationship between the three properties – previously shown – is due to the consequences of human activities.

The average concentration of lead (Pb) and barium (Ba), is highest here and the latter is about the limit (Table 5).

Table 4. Values of the studied parameters based on the combined cluster of the results)

Cluster		pH	in %			in mg/kg	
			Artefact	CaCO ₃	Humus	Pb	Ba
1.	Average	6.52	0.00	4.82	1.85	32.37	96.43
	Standard deviation	±1.12	0.00	±3.92	±1.48	±48.03	±56.31
2.	Average	8.08	10.31	3.54	0.71	39.64	75.23
	Standard deviation	±0.46	±9.34	±1.33	±0.57	±13.46	±41.54
3.	Average	8.28	8.12	6.60	1.37	51.34	196.28
	Standard deviation	±0.32	±7.67	±2.50	±0.64	±24.62	±86.43

Soils in the central area of the city were affected by the most intense human impact, the majority of the traffic is concentrated here, the degree of disturbance is the highest here, the original genetic horizons of the soils are least recognizable here. The high content of artefacts and organic matter in the deeper horizons is a typical example of urban soils being reworked. The anthropogenic origin of potentially toxic elements was found in the case of lead (Pb) and barium (Ba), the mentioned metals exceeded the limit values and accumulated in certain samples from the profiles in the city centre. The profiles are mostly located in the immediate vicinity of busy roads and junctions.

Moving away from the core of the city, the intensity of human activities decreases, and at the same time it can be observed that there is no longer such a large difference in soil properties compared to the control areas. The presence of anthropogenic substances decreases, and the low humus content of the subsoil suggests the lack of reworking and disturbance. The concentrations of PTE – with one or two exceptions – are only close to the existing limits, the detectable enrichment is clearly below that in the city centre.

REFERENCES

- Aleksandrovskii, A. L., Aleksandrovskaya, E. I., Dolgikh, A. V., Zamotaev, I. V., Kurbatova, A. N. 2015. Soils and Cultural Layers of Ancient Cities in the South of European Russia, GENESIS AND GEOGRAPHY OF SOILS, ISSN 10642293, Eurasian Soil Science, Vol. 48, No. 11, pp. 1171–1181.
- Dolgikh, A. V., Aleksandrovskii, A. L. 2009. Soils and Cultural Layers in Velikii Novgorod, GENESIS AND GEOGRAPHY OF SOILS, ISSN 10642293, Eurasian Soil Science, Vol. 43, No. 5, pp. 477–487.
- Golyeva, A., Khokhlova, O., Lebedeva, M., Shcherbakov, N., Shuteleva, I. 2018. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Ancient Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region, Russia), Geosciences, 8,313,
- Grunewald, K., Richter, B., Behnisch, M. 2019. Multi-Indicator Approach for Characterising Urban Green Space Provision at City and City-District Level in Germany, International Journal of Environmental Research and Public Health, 16, 2300
- IUSS Working Group WRB, 2007. World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports, No. 103. FAO, Rome, pp. 93.
- IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports, No. 106. FAO, Rome, pp. 192.
- Maja, M., Poznanović Spahić, Sanja M. Sakan, Bojan M. Glavaš-Trbić, Pavle I. Tančić, Sandra B. Škrivanj, Jovan R. Kovačević & Dragan D. Manojlović 2019 Natural and anthropogenic sources of chromium, nickel and cobalt in soils impacted by agricultural and industrial activity (Vojvodina, Serbia), Journal of Environmental Science and Health, Part A, 54:3, 219-230
- MSZ 08-0205:1978 A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.
- MSZ 08-0206-2:1978 A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.
- MSZ 21470-50:2006 Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikuselem-, a nehézfém- és a króm(VI)tartalom meghatározása.
- Resitoglu, I. A., Altinisk, K., Keskin, A. 2015. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems, Clean Techn Environ Policy 17:15–27.
- Sagna, K., Amou, K. A., Boroze, T. T-E., Kassegne, D., Almeida, A. Napo, K. 2017. Environmental Pollution due to the Operation of Gasoline Engines: Exhaust Gas Law, International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering ; 5(4): 39-43.
- Szabó, J. 1998. A települések hatásai – in: A társadalom hatása a földfelszínre (antropogéneomorfológia) – szerk. Borsy Z. – Általános Természetföldrajz, 832 p.
- Thi Lan, B. N., Takeshi Kobayashi, T., Suetsugu, A., Tian, X., Kameya, T. 2018. Estimating the Possibility of Surface Soil Pollution with Atmospheric Lead Deposits Using the ADMER Model, Sustainability, 10, 720;
- Tobias, S., Conen, F., Duss, A., Wenzel, M. L., Buser, C., Alewell, C. 2018. Soil sealing and unsealing: State of the art and examples, Land Degrad Dev;29:2015–2024.
1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól



Registry number: DEENK/427/2021.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Gábor Sándor
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10036916

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (3)

1. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Kovács, Z., **Sándor, G.**, Szabó, G., Novák, T.: Open-access soil information and soil classifier system.
IJECSCSE. 4 (3), 12-15, 2015. ISSN: 2277-9477.
2. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Influence of human activities on the soils of Debrecen, Hungary.
Soil Science Annual. 65 (1), 2-9, 2014. EISSN: 2300-4975.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/ssa-2014-0001>
3. Vince, T., Szabó, G., Csoma, Z., **Sándor, G.**, Szabó, S.: The spatial distribution pattern of heavy metal concentrations in urban soils - a study of anthropogenic effects in Berehove, Ukraine.
Central European Journal of Geosciences. 6 (3), 330-343, 2014. ISSN: 1896-1517.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/s13533-012-0179-7>
IF: 0.663

List of other publications

Foreign language international book chapters (2)

4. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Urban soils on the drift sand areas in Hungary.
In: Soil sequences atlas. Ed.: Marcin Switoniak, Przemyslaw Charzynski, Nicolaus Copernicus University Press., Torun, 197-209, 2014. ISBN: 9788323132820
5. **Sándor, G.**, Szabó, G., Charzynski, P., Szykowska, E., Novák, T., Switoniak, M.: Technogenic soils in Debrecen.
In: Soil sequences atlas. Ed.: by Marcin Świtoniak, Przemysław Charzyński, Nicolaus Copernicus University Press, Torun, 35-74, 2013. ISBN: 9788323132820





Hungarian scientific articles in Hungarian journals (3)

6. Mester, T., Balla, D. Z., Botos, Á., Szabó, G., **Sándor, G.**, Novák, T.: Az antropogén hatások mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tisztántúli kertek talajaiban. *Talajvédelem. Kisz.*, 179-187, 2017. ISSN: 1216-9560.
7. **Sándor, G.**, Szabó, G.: A debreceni városi talajok vizsgálatának első eredményei. *Föld emb.* 6 (1-4), 10-20, 2014. ISSN: 1585-5465.
8. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Az antropogén eredetű anyagok vizsgálata Debrecen talajaiban. *Műszaki Tud. közl.* 1, 159-164, 2014. ISSN: 2393-1280.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33895/mk-2014.01.15>

Hungarian scientific articles in international journals (1)

9. **Sándor, G.**, Boda, P., Márta, L., Novák, T.: Egykori talajművelés nyomainak vizsgálata középhegyeségi erdős terület mikro-domborzataiban és talajaiban. *Acta Scientiarum Transylvanica.Chimica.* 25 (3), 102-109, 2017. ISSN: 1842-5070.

Foreign language scientific articles in international journals (1)

10. Al Basha, N., Eplényi, A., **Sándor, G.**: Inspirative geology -the influence of natural geological formations and patterns on contemporary landscape design. *Landscape architecture and art.* 17, 39-48, 2021. ISSN: 2255-8632.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22616/j.landarchart.2020.17.05>

Hungarian conference proceedings (4)

11. Boda, P., Márta, L., **Sándor, G.**: Homoktalajok vizsgálata Debrecen környéki mintaterületen. In: XII. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia : Tanulmánykötet. Szerk.: Csicsék Gábor, Kiss Ibolya, Pincehelyi Zita Év, PTE TTK Szentágotthai János Protestáns Szakkollégium, Pécs, 24-28, 2017. ISBN: 9789634290490
12. **Sándor, G.**, Nádasy, L. Z.: Városi talajok vizsgálata a XXII. kerületben. In: Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai. Szerk.: Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 520-526, 2017. ISBN: 9789633065426
13. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Talajvizsgálatok Debrecen belvárosában. In: Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás (4)(2013.05.23-2013.05.24)(Debrecen, Hungary), Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 357-365, 2013. ISBN: 9789633183342
14. **Sándor, G.**, Szabó, G.: A nehézfémterheltség és a területhasználathoz kapcsolódó vizsgálatok. Vásárosnamény talajaiban. In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában III. : Térinformatikai Konferencia és szakkiallítás Debrecen 2012. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 345-352, 2012. ISBN: 9789633182185





Foreign language conference proceedings (3)

15. Nádasy, L. Z., **Sándor, G.**, Illyés, Z.: The Role of Individual Trees in the Protection of Urban Image.
Proceedings of the Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning, 6 (1), 1-12, 2019. ISSN: 2642-338X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7275/0x5f-e822>
16. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Investigation of soil properties and vertical distribution of heavy metal content in urban soils in the city centre of Debrecen, Hungary.
In: International Multidisciplinary Conference (10)(2013)(Baia Mare-Nyíregyháza), Bessenyei Publishing House, Nyíregyháza, 132-138, 2013. ISBN: 9786155097669
17. **Sándor, G.**, Szabó, G.: The effect of agricultural cultivation on heavy metal content of the soil.
In: XVIII. Nemzetközi Tehetség gondozási, Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia : Szolnok, 2012. szeptember 28-29. = 18th International Talent Management Student Conference on Environmental Protection and Rural Development. Szerk.: Szabó Attila, Alumni K. : Szolnoki Főisk., [Szolnok], 1-8, [2012]. ISBN: 9789638933966

Hungarian abstracts (4)

18. Mester, T., **Sándor, G.**, Botos, Á., Balla, D. Z., Szabó, G., Novák, T.: Az antropogén hatások mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tisztántúli kertek talajaiban.
In: Talajtani Vándorgyűlés: Az előadások és a poszterek összefoglalója / kész. Sándor Zsolt, Szász Gizella, Magyar Talajtani Társaság, Debrecen, 26, 2016.
19. **Sándor, G.**, Szabó, G.: A mezőgazdasági művelés hatása a talaj nehézfém tartalmára.
In: XVIII. Nemzetközi Tehetség gondozási - Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési - Diákkonferencia, [Szolnoki Főisk.], Szolnok, 37-38, [2013].
20. **Sándor, G.**, Szabó, G.: Területhasználati típusok és a talajtulajdonságok kapcsolatának vizsgálata Vásárosnamény példáján.
In: XIII. RODOSZ Konferencia : Kivonatok jegyzéke, [RODOSZ], Kolozsvár, 105-106, 2012.





21. **Sándor, G., Szabó, G.:** Vásárosnamény talajainak nyomelem-vizsgálata.

In: XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia : Veszprém, 2012.

április 6-7. : konferencia kötet : program és előadás összefoglalók. Szerk.: Selmeczy Géza

Balázs, Üveges Viktória, Pannon Egyetem Mérnöki Kar Környezettudományi Intézet,

[Veszprém], 82, 2012.

Total IF of journals (all publications): 0,663

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 0,663

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

31 August, 2021

