

# Talaj- és növényvizsgálatok a Tisza árterében a 2000. évi szennyezések után

Győri Zoltán<sup>1\*</sup>, Kovács Béla<sup>1</sup>, Prokisch József<sup>1</sup>,  
Zsombik László<sup>1</sup>, Sipos Péter<sup>1</sup>, Boros Norbert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem, Debrecen, Magyarország

<sup>2</sup>Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, Magyarország

\*Levelező szerző, e-mail: gyori.zoltan@unideb.hu

Beérkezett: 2025. április 20.; elfogadva: 2025. május 7.

## Összefoglalás

A 2000. évben két nagy árhullám vonult le a Tiszán, amelyek során nemcsak a cianidszennyezés okozott hatalmas károkat, hanem a nehézfémeket szuszpenzióként szállító ár is riadalmat váltott ki. Hatásaik vizsgálatára több kutatási program is indult, egyrészt az akkori Környezetvédelmi Minisztérium, másrészt az NSF–MTA–OTKA nemzetközi pályázati program keretében. Ez utóbbinak volt a koordinátora az Egyesült Államokból Domy Adriano és hazánkából Németh Tamás. Az ártérben lerakódott új talajréteg adta az ötletet, hogy vizsgáljuk meg az ártéri talajok elemtartalmát, különös tekintettel a toxikus és potenciálisan toxikus elemekre. Ez négy helyen, a 276–709. folyamkilométer között történt mintavételek (talaj 0–300 cm) mintáinak elemzésével valósult meg. Több kivonószert alkalmazva foglaltuk össze az eredményeket az ólom és a kadmium elemekre. Az árterekben az új feltalaj elemekben gazdagabb lett, mint az alsó rétegek, de az elemek döntő hányada a nehezen oldható kémiai formákhoz tartozott. A legelők növénymintái egyik helyen sem mutattak akkumulációt a vizsgált elemekre.

**Kulcsszavak:** tiszai ártér, szennyezés, kadmium, ólom, legelő

## Study of the heavy metal content of floodplain soils and plants along the upper Tisza River

Zoltán Győri<sup>1</sup>, Béla Kovács<sup>1</sup>, József Prokisch<sup>1</sup>,  
László Zsombik<sup>1</sup>, Péter Sipos<sup>1</sup>, Norbert Boros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Debrecen, Debrecen, Hungary

<sup>2</sup>Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő, Hungary

## Summary

The sampling of soils in the floodplain of the Tisza River was successfully carried out in four locations in the 275.0–708.7 river kilometre range. We determined that the 12-layer samples obtained per drilling (0–300 cm) in each location show a completely different picture from the soils outside the floodplain. Therefore, it is not possible to separate the genetic layers here. We tried to determine the element content of the soil samples with various officially accepted extraction agents: with the HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> digestion and with the Lakanen–Erviö method, which refers to the amount that can be taken up by plants. We also tried two sequential extraction methods from the upper layer. We also wanted to estimate the biological uptake of the examined elements with these for environmental and health protection reasons. It can be stated that because of the floods, a new 5–8 cm layer was formed on the soil surface at each sampling location, which covered the former meadow vegetation and thus created a new top-soil layer. Here, of course, the effect that was observed between Tivadar, which received one contamination, and the other two (Tisza–Szamos) affected places, took effect. In the Vásárosnamény floodplain, the different colour and chemical composition of the particle size of the sludge settling out of the river water (suspension) can be observed in the new layer.

We obtained basic data on the total and Lakanen–Erviö solvent extractable element content of the settled sludge (new topsoil layer) and the entire section, highlighting the toxic and potentially toxic elements (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn). The distribution of the individual elements is characterized by the highest concentration in the upper layer and decreases with depth, but the minimum was measured at 170–200 cm, slightly increasing values were obtained. At

Vásárosnamény and Rakamaz, the lead contamination is almost the same. According to the results of the sequential extraction, the amount soluble in aqua regia for lead and cadmium was 40–70% of the total amount, depending on the location, while the easily soluble ratio was around 1%. The remaining part is the element content bound to carbonates. The plant samples of the pastures did not show accumulation of the elements examined.

**Keywords:** floodplain of Tisza, pollution, cadmium, lead, plants

## Bevezetés

Két romániai bányavállalatnál történt gátszakadás 2000-ben, amelyek következtében toxikus és potenciálisan toxikus elemeket nagy mennyiségben tartalmazó szennyezés érte el hazánkat, és haladt végig a Tisza magyarországi szakaszán. Az első esetben közel 100 000 m<sup>3</sup> nagy cianidtartalmú szennyezett víz érkezett, amelynek nehézfém-tartalma is igen jelentős, az erősen szennyezett felszíni víz határértékének többszöröse volt.

A második baleset során mintegy 20 000 tonna nehézfém-tartalmú iszap került a folyóba. A nehézfémek kisebb része oldott formában haladt végig az ország területén, míg jelentősebb része lebegőanyaghoz kötött formában volt jelen. A tartós esőzések és a hóolvadás miatt a Tisza kilépett medréről, és az áramlási viszonyoknak megfelelően a nagy nehézfém-tartalmú lebegőanyag kiülepedett, egy új, 5–10 cm vastag réteget hozva létre az ártéri talajokon (Black–William 2001; Bird et al. 2003; Macklin et al. 2003; Kraft et al. 2006; Soldán et al. 2001). Az efféle szennyezések veszélye nemcsak az oldható és híguló nehézfém-tartalomban rejlik, hanem abban a tartamhatásban is, hogy mikor válnak oldhatóvá a jelen lévő, kémiaiilag kötött elemek. Ez a talaj pH-jának erőteljes csökkenése esetén lehet számottevő (Fleit–Lakatos 2003; Gosztonyi et al. 2010; Alapi–Győri 2003; Prokisch et al. 2009).

Mivel a Tisza-völgyben az ártéri területek egy része mezőgazdasági hasznosítás alatt állt/áll (legelők, kaszálók, gyümölcsösök, szántóföldi kultúrák), az időben elhúzódó tartamhatások megismeréséhez alapadatokra volt szükség. Ezért intenzív kutatómunka kezdődött mind a vízi, mind az ártéri ökoszisztéma vizsgálatára, amely lehetőséget adott arra is, hogy újabb ismereteket szerezzünk a korábbi üledékek, hordalékok elem-tartalmáról. Ennek meghatározó részese volt az akkori Környezetvédelmi Minisztérium és a Magyar Tudományos Akadémia Németh Tamás irányításával. Ehhez társult az az Amerikai Egyesült Államok illetékesei által támogatott program, amely az NSF–MTA–OTKA program keretében valósult meg (Adriano et al. 2003). A kutatások célja az ártéri talajok elem-tartalmának, köztük nehézfém-tartalmának meghatározása volt, a talajok terhelésének értékelése, az áradás során az ártéren lerakott iszap, illetve az ott található talajok vizsgálata szekvens (egymás utáni) extrakcióval, valamint a legelők és a kaszálók növényállományának vizsgálata nehézfémekre.

## Vizsgálati anyag és módszer

Az első mintavételi hely egy kaszáló volt Tivadarban, amelyet csak a második (borsabányai) szennyezés érintett 2000 márciusában (1. táblázat). A második egy akkor csikólegelőként hasznosított terület Vásárosnaményben. Ismert, hogy ennek a helynek a közelében torkollik a Szamos a Tiszába, így először itt vizsgálható a két szennyezés (nagybányai cianidos, 2000. január) együttes hatása. A harmadik terület Rakamazon volt, egy szintén legelőként hasznosított terület a Bodrog torkolatánál. A legelőtől mintegy 500 méter távolságra, a közút és a vasút között egy olyan szántó is található, amelyen az áradások utáni két évben csemegekukoricát termesztettek, így erről a területről kukoricamintát is vettünk. Továbbá egy tiszacsegei kaszálóról is mintáztunk, feltételezve, hogy a szennyező forrásoktól távolodva csökken a szennyezés hatása. Mivel ezek a területek mind az ártérben voltak, és valamilyen hasznosítás alatt állnak, szükségesnek tartottuk, hogy egy olyan területről is mintázzuk a feltalajt, mint a Tiszakürti Arborétum, ahol csak az atmoszferikus kiülepedés jelent potenciális szennyező forrást. Ez a hely közel van a Tisza gátjához, és az elmúlt száz évben nem bolygatták meg a talajt.

1. táblázat | Mintavételi helyek

Mintavétel helye	Földrajzi koordináták	Folyamkilométer
Tivadar	N 48° 04' 00,6" E 22° 31' 04,8"	708,7
Vásárosnamény	N 48° 07' 46,5" E 22° 19' 39,5"	683,0
Rakamaz	N 48° 07' 43,8" E 21° 26' 28,7"	543,1
Tiszacsege	N 47° 42' 59,9" E 20° 57' 08,7"	454,6
Tiszakürt	N 46° 53' 14,5" E 20° 07' 17,4"	275,0

Az első talajmintavételre 2000 júliusában került sor. A Felső-Tisza árterében a szennyező forrásoktól különböző távolságokra három mintavételi helyet jelöltünk ki, ahol 300 cm mély fúrásokat készítettünk Eijkelkamp típusú fúróval (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Giesbeek, Hollandia), tehát úgynevezett bolygatlan talajmintavételre volt lehetőségünk.

A laboratóriumba szállítás után a talaj- és iszapmintákat 60 °C-on kiszárítottuk, majd 2 mm-es szitát használva megdaráltuk. A teljes elemtartalom meghatározásához MSZ 21470-50:1998 szerinti  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$  elegyes roncsolást végeztünk. A szennyezés abszolút mértéke nem ad felvilágosítást arról, hogy ez mekkora potenciális veszélyt rejt magában. A növények számára felvehető nehézfém-tartalommal jól korrelál a Lakanen–Erviö-féle kivonat elemtartalma (Lakanen–Erviö 1971), így ezt is elkészítettük a magyar szabvány szerint. A különböző vegyületformákhoz kötött nehézfémek mennyiségének meghatározására alkalmas az egymás utáni – szekvens – extrakció módszere, amelynek során egyre erősebb kivonószereket adunk a mintákhoz. Mi 2001-ben a McGrath-féle eljárást használtuk (McGrath–Cegarra 1992), amely szerint a 0,1 M  $\text{CaCl}_2$ -os kivonat a fémek vízoldható és kicserélhető frakciójának, a 0,5 M NaOH-os kivonat a szerves anyaghoz, a 0,05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  kivonat a karbonátokhoz kötött elemfrakció, míg a királyvízes roncsolás a fémek maradék – reziduális – frakciójának meghatározására szolgál. Utóbb azonban azzal szembeültünk, hogy a BCR (EU Community Bureau of Reference) lett a leggyakoribb módszer, amelyet a kutatók sikeresen alkalmaznak talajok, szennyvíziszapok, (édes és sós vízi) üledékek, valamint porok vizsgálatára (Zimmerman–Weindorf 2010). Ennek a kivonási módszernek az első lépése a 0,11 M ecetsavas kivonás (könnyen oldható), majd a 0,1 M hidroximetil HCl (redukálható) következik. A harmadik lépés a 8,8 M  $\text{H}_2\text{O}_2 + 1$  M ammónium-acetátos (oxidálható) kivonás, majd a királyvíz következik mint kivonókeverék.

Az elemtartalom analitikai meghatározását Perkin-Elmer Optima 3300 DV típusú ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) berendezéssel végeztük. A vizsgált elemek az Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S és Zn voltak; ezek közül kiemelten kezeltük a Cd, Cu, Pb és Zn elemekkel kapott eredményeket. Akkor már tíz éve résztvevői voltunk a Wageningeni Egyetem „International Soil, Plant Sample Exchange” programjának. Több BCR hiteles anyagmintát (Quevauviller et al. 1996) is vizsgáltunk módszereink validálása céljából. Az elemzésekhez alkalmazott minták jelzését és eredetét a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat | A módszerek validálásához használt hiteles anyagminták

BCR CRM 141R (fémekkel szennyezett meszes vályogtalaj)
BCR CRM 142R (homokos talaj nyomelemek méréséhez)
BCR CRM 143R (szennyvíziszappal kezelt talaj nyomelemek méréséhez)
BCR CRM 281R (angolperje, elemzéshez)

Növénymintákat vettünk a fúrások közelében és a mentett oldali (referencia)területről. Ezeket a mintákat fajok szerint szétválogattuk (közel száz faj), és az elem-

zést salétromsav + hidrogén-peroxidos roncsolás utáni törzsoldatból a korábban említett műszerrel végeztük el. Tekintettel arra, hogy mind Vásárosnaménynál, mind Rakamaznál szántó is volt a mintavételi helyhez közel, az ott termesztett kukoricát is mintáztuk. Összességében több mint 400 talajminta és több mint 660 növényminta elemzésére került sor.

A statisztikai feldolgozás során SPSS 8.0 for Windows, Microsoft Excel 2000 programmal értékelést végeztünk, amely magában foglalta a szórás számítást, kéttényezős (hely, mélység) varianciaanalízist, valamint az egytényezős varianciaanalízist.

## A vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása

### A vizsgált talajok elemtartalma

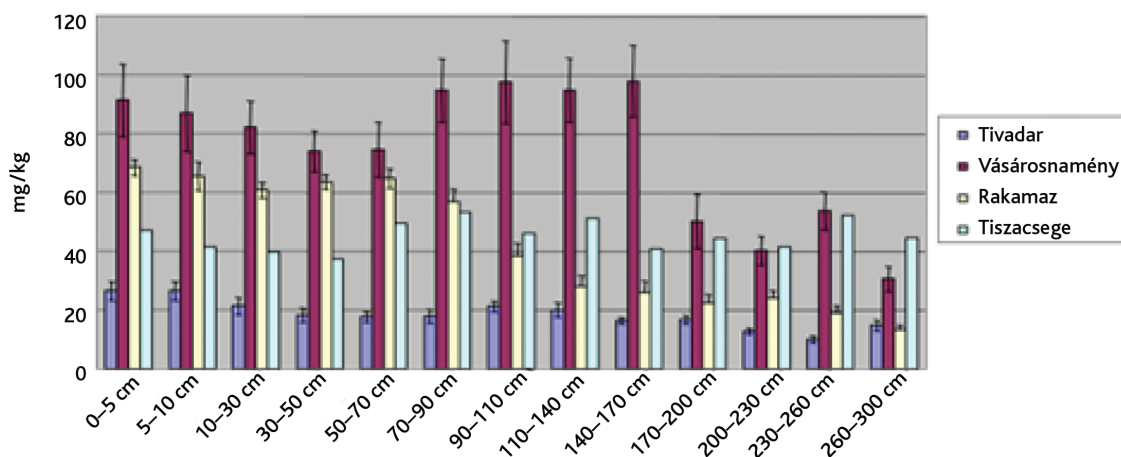
#### 1. Összes elemtartalom

Vizsgálataink nyomán a kiemelt kadmium, réz, nikkel, ólom és cink elemeket tekintve megállapítható volt, hogy a felalajban magasabb a koncentrációjuk, mint az alsó rétegekben. Ebben az összeállításban csak a kadmium és az ólom eredményeinek egy részét ismertetjük.

A talajszelvények adatait értékelve a kadmiumtartalom Tivadarnál a legalacsonyabb (0,8 mg/kg), itt ugyanis csak a Tiszába került hordalék, illetve más, például a borsabányai üledékek hatásával kell számolnunk. Az átlagérték Vásárosnaménynál a legmagasabb (1,7 mg/kg), ahol már a Szamos által szállított különböző eredetű anyagok hatásával is számolni kell. Nem sokkal alacsonyabb a talaj Cd-tartalma Tiszacsegénél, ahol a többi jelentős mellékfolyó okoz, illetve okozhatott korábbi szennyezést. A Rakamaznál kapott 1,38 mg/kg-os érték áll a harmadik helyen, de ez is csaknem duplája a Tivadarnál mért Cd-tartalomnak.

Az adatokat a talajszelvény mélysége szerint rendezve a mintavételi helyek átlagában a felső 0–5 cm-es réteg Cd-tartalma a legmagasabb (2,05 mg/kg), ezután pedig a mélységgel csökken úgy, hogy a sorrendben az első hét helyen a felső hét réteg adatai vannak. Az egyes rétegek kadmiumtartalmát tekintve jelentős csökkenés a 110 cm-nél (1,0 mg/kg) mélyebb rétegekben figyelhető meg.

Az egyes mintavételi helyeket külön-külön is értékelve az adatok azt mutatják, hogy Tivadarnál a legegyszerűsebb az eloszlás, de a felső két rétegben (0–10 cm) eléri az 1 mg/kg-ot. A felső 30 cm kadmiumtartalma Vásárosnaménynál több mint 2 mg/kg, amely érték 30–50 cm-nél 1,5 mg/kg-ra csökken, majd az 50–90 cm-es rétegben újra emelkedik, ezután pedig 1,5-re csökken. A 140–170 cm közötti mélységnél 2,2 mg/kg-os értéket mértünk, az ez alatti rétegekben pedig már 1 mg/kg körüli értékeket. Tiszacsegén a felső két 10 cm-es rétegben szintén több mint 2 mg/kg-ot mértünk, és még a legmélyebb rétegben is 1,2 mg/kg-ot. A rakamazi mintákban a kadmiumtartalom a felső réteg 2 mg/kg-os érté-



1. ábra | A HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható ólomtartalom a talajszelvényekben

kéről 90 cm-nél 1 mg/kg-ra csökkent, innen pedig már nem változott.

A helyeket tekintve a szelvény ólomtartalma átlagban Tivadarnál volt a legalacsonyabb (18,4 mg/kg), Tiszacsegén és Rakamazon hasonló (45,8 és 47,4 mg/kg), míg Vásárosnaménynál a legmagasabb (81,2 mg/kg).

Az adott elem mélységi eloszlása egy-egy helyen azt mutatja, hogy a vásárosnaményi értékeknél (1. ábra) az összes ólom koncentrációja a felső 170 cm-es rétegben több 75 mg/kg-nál, és csak ezután csökken 30–45 mg/kg-ra. Tivadarnál az ólom eloszlása meglehetősen egyenletes a szelvényben (18–25 mg/kg közötti), és csak a 200 cm-nél mélyebb rétegekben 10–15 mg/kg. Rakamazon a felső hat rétegben 50–70 mg/kg között van, ezután lecsökken 20–40 mg/kg-ra. Tiszacsegén az első négy rétegben egyenletes a szelvény ólomtartalma, majd némi emelkedést mutat, 170 cm-től pedig csökken.

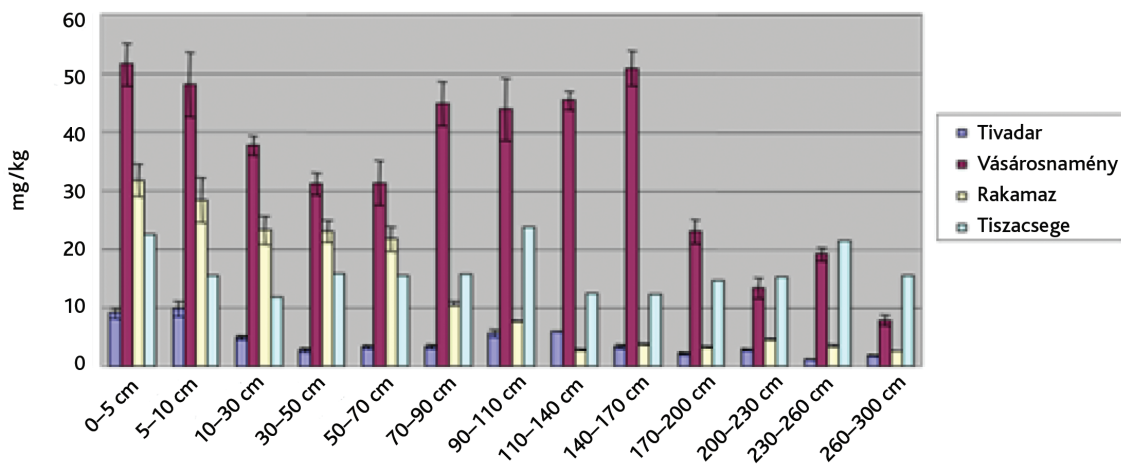
Több esetben tapasztaltuk, hogy az egymáshoz közeli mintavétel ellenére a talajminták mérési adatai az átlagnál nagyobb szórást mutatnak, ami a mintaterületek erős inhomogenitására utal.

## 2. Lakanen–Erviő-féle kivonatban oldható elemek

A kadmiumkoncentrációk Tivadarnál a legalacsonyabbak (0,19 mg/kg), míg Vásárosnamény és Tiszacsege esetében az értékek ennek négyszeresei. A rétegeket tekintve 5–10 cm-nél volt a legmagasabb, több mint 0,7 mg/kg. Tivadarnál az eloszlás meglehetősen egyenletes, csak a felső 10 cm-es rétegben haladja meg a 0,3 mg/kg-ot.

Vásárosnaménynál a szelvény 1 mg/kg fölötti értékei csak a 200 cm-nél mélyebb rétegben csökkentek ez alá. Rakamazon a kezdeti 0,9 mg/kg-os Lakanen–Erviő-féle oldható kadmiumtartalom a 90–110 cm-es rétegben már 0,2 mg/kg, amely érték a mélységgel tovább csökkent. Tiszacsegén a felső rétegek 1,1–1,3 mg/kg-os értéke csak 140 cm-nél csökkent 0,5 mg/kg-ra. Figyelemre méltó, hogy míg Tivadarnál az összes/LE-arány 3:1, addig Vásárosnaményban a felső rétegeknél csak 2:1.

Az ólomtartalmat vizsgálva ezzel a kivonószerezettel ugyanazt a sorrendet kapjuk, mint a salétromsav + hidrogén-peroxidos roncsolás után (2. ábra). Ennek alapján a tivadari 9,1 mg/kg-os értékekkel szemben Vásárosnaménynál 51,4 mg/kg-ot mértünk. Az eltérés több mint



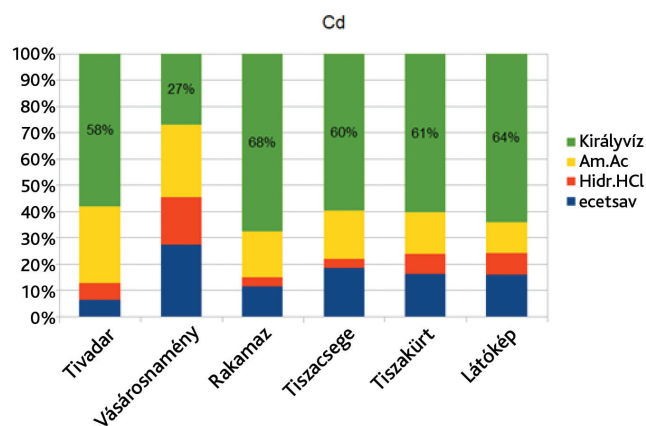
2. ábra | Ammónium-acetát-EDTA (Lakanen–Erviő) oldható ólomkoncentráció a különböző talajrétegekben

ötszörös. Az egyes talajrétegeket értékelve erre az elemre is igaz, hogy minden mintavételi helyen a felső 0–5 cm-es rétegben a legmagasabb a koncentrációja. Ezután közel egyező az 5–10, a 70–90 és a 30–50 cm-es rétegek ólomtartalma, de az abszolút értékek helyenként különböznek. A 70–140 cm-es rétegben változás figyelhető meg az LE-féle oldható ólomtartalomban, mert mind Tiszacsegénél, mind Vásárosnaménynál emelkednek az értékek. Tivadarnál a két felső rétegből (10 cm) az LE-kivonószerrel 10 mg/kg ólom vonható ki, amely érték a mélységgel gyakorlatilag 5 mg/kg-ra csökken. Ezzel szemben Vásárosnaményban a két felső réteg ólomtartalma közel 50 mg/kg, 70 cm-nél 30 mg/kg-ra csökken, majd a mélységgel 170 cm-ig ismét a kezdeti értékig emelkedik. Ezután csökken 20 mg/kg-ra vagy az alá. Rakamazon a felső réteg 30 mg/kg-os ólomtartalma 90 cm-nél 10 mg/kg-ra csökken, ezután 2–3 mg/kg-os értéke nem változik a mélységgel.

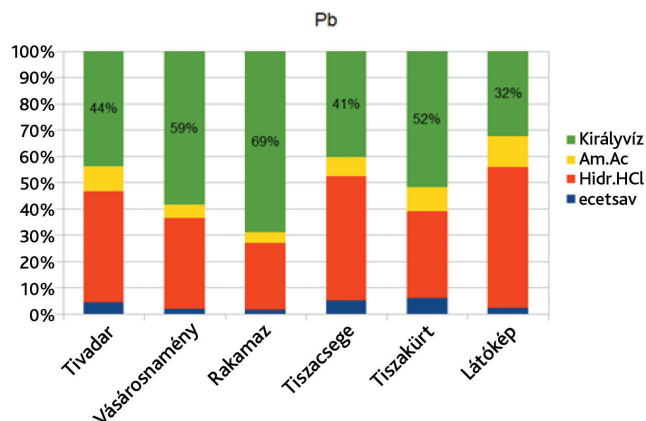
A Tiszakürti Arborétum feltalajából származó minták eredményei szerint ennek a talajnak az összes Cd-tartalma 0,36 mg/kg, Cu-tartalma 17,3 mg/kg, Pb-tartalma 18,8 mg/kg, Zn-tartalma pedig 56,7 mg/kg. A Lakanen–Erviő-féle kivonattal mért elemtartalmak mennyisége: Cd < 0,02 mg/kg, Cu: 3,93 mg/kg, Pb: 3,26 mg/kg, Zn: 3,12 mg/kg. Ezek az értékek alacsonyabbak az általunk vizsgált ártéri talajok felső rétegének elemtartalmánál.

### 3. A BCR egymás utáni kivonás eredményei

A kadmium- és az ólomtartalomra vonatkozó eredmények százalékos megoszlása a 3. és 4. ábrán látható. A kadmium ecetsavban oldható aránya Tivadarnál 6 százalék, míg Vásárosnaménynál 27 százalék. A második kivonószerrel (redukálható) kapott arány az utóbbi helyen 18 százalék, míg a többi adat alig éri el a 6 százaléket. Az oxidálható frakció aránya Tivadarnál és Vásárosnaménynál közel 30 százalék, míg a másik két helyen nem éri el a 20 százaléket. Ezzel összefüggésben a maradék frakció az utóbbi helyen csak 27 százalék. A többi helyen eléri vagy meg is haladja a 60 százaléket.



3. ábra | Az egymás utáni kivonás (BCR) kadmiumtartalom-arányainak százalékos megoszlása



4. ábra | Az egymás utáni kivonás (BCR) ólomtartalom-arányainak százalékos megoszlása

Az ólomtartalom esetén az ártéri minták összetételében az ecetsavban oldható arány nem éri el az 5 százaléket, és az ammónium-acetát HCl-oldatban is csak 4–10 százalék közötti. Ugyanakkor a redukálható frakció a kontrolltalajokhoz viszonyítva helytől függően magas (Rakamaz: 25 százalék, Tivadar: 42 százalék). A redukálható frakció magas arányának az a magyarázata, hogy az üledéket döntően ólom-, cink- és rézvegyületek jellemzik. Ezek a vegyületek pedig legtöbbször a pirithez és a cinkszulfidhoz köthetők (Osán et al. 2002).

A maradék frakció aránya Tivadarnál 43 százalék, Rakamazon 69 százalék, míg Tiszacsegén csak 40 százalék. Tiszacsegén bizonyára a vizsgált években bekövetkező áradás üledékátrendező hatásával is számolni kell.

### A növényminták elemzésének eredményei

A különböző növénymintavételek után a fajok szerinti szétválogatás következett, majd elvégeztük a kémiai elemzést. Az összefoglaló adatokból arra a következtetésre jutottunk, hogy 2000-ben a pázsitfűfélék (*Poaceae*) esetében Tivadarnál a hullámtérből származó minták kadmium- és ólomkoncentrációi szignifikánsan nagyobbak, mint a mentett oldalról származó mintáké (hullámtér: Cd 0,105–0,109 mg/kg, Pb 1,89–4,34 mg/kg; mentett oldal: Cd 0,090–0,095 mg/kg, Pb 0,53–0,55 mg/kg). Ez a különbség a folyón lefelé haladva fokozatosan csökken, majd Tiszacsegénél teljesen eltűnik (hullámtér: Cd 0,108–0,112 mg/kg, Pb 0,05–0,778 mg/kg; mentett oldal: Cd 0,110–0,115 mg/kg, Pb 0,341–0,347 mg/kg).

A pillangósok (*Fabaceae*) esetében nem figyelhető meg ugyanez az eltérés a hullámtérről, illetve a mentett oldalról származó mintáknál.

Az ártérben termesztett gazdasági növények közül 2001-ben a kukoricát mintáztuk Vásárosnaménynál (2. mintavételi hely) és Rakamaznál (3. mintavételi hely). Az ötleveles kukorica, amely a tápanyagellátás szempont-

jaból legjobb indikációs fenofázisnak tekinthető, a bemutatott elemeket tekintve nem tért el az általunk más szántókon mért nagyszámú minta átlagától.

## Következtetések

Az általunk végzett vizsgálatok eredményei alapján a következő főbb megállapítások tehetők.

A 2000. évben a Tiszán levonuló két nagy (cianid+zagy és zagy) árhullám után az árterében található talajok mintázása során (a 275–709. folyamkilométerek között négy helyen, 0–300 cm mélységben) gyűjtött minták elemzése alapján megállapítottuk, hogy a fúrásoként kapott tizenkét rétegminta teljesen eltér az árterén kívüli talajoktól. Itt tehát nem lehet elkülöníteni a genetikai rétegeket.

A talajminták elemtartalmát különböző kivonószerekből mértük. Ezek közül minden mintát elemeztünk az úgynevezett teljes roncsolással, valamint a növények által felvehető mennyiségre utaló Lakanen–Erviö-módszerrel. A felső rétegben két egymás utáni kivonási módszert is kipróbáltunk. Ezekkel becsülni kívántuk a vizsgált elemek biológiai felvehetőségét is környezet- és egészségvédelmi okokból.

Megállapítható, hogy az áradások eredményeként a talaj felszínén minden mintavételi helyen egy új, 5–8 centiméteres réteg alakult ki, amely betakarta a korábbi rétet növényzetét, és ezzel új feltalajréteget hozott létre. Itt természetesen érvényesült az a hatás, amely az egy szennyeződést kapott Tivadar és a két (Tisza–Szamos) hatást elszennvedő többi hely között megfigyelhető volt. A vásárosnaményi árterén az új rétegben megfigyelhető a folyó vizéből (szuszpenzió) kiülepedő iszap szemcseméretének eltérő színe és kémiai összetétele is.

Alapadatokat kaptunk a kiülepedett iszap (új feltalaj) és a teljes szelvény összes és Lakanen–Erviö-féle oldószerekkel kivonható elemtartalmáról, kiemelve a toxikus, illetve potenciálisan toxikus elemeket (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn).

Az egyes elemek eloszlására jellemző, hogy a felső rétegben a legnagyobb a koncentrációjuk, és a mélységgel hasonlóan csökkennek, de a 170–200 centiméternél mért minimum után kissé növekvő értékeket kaptunk.

Vásárosnaménynál és Rakamaznál közel azonos nagyságú volt az ólomszennyeződés.

Az egymás utáni kivonás azt eredményezte, hogy a kártyvízben oldható mennyiség az ólom és a kadmium esetében helytől függően 40–70 százaléka volt a teljes mennyiségnek, míg a könnyen oldható arány legfeljebb 5 százalék körüli. A fennmaradó rész a karbonátokhoz kötött elemtartalom.

A legelők növénymintái nem mutattak akkumulációt a vizsgált elemekre egyik helyen sem.

## Köszönetnyilvánítás

*Jelen munkát a Németh Tamás által koordinált KÖM 84/2000 és az OTKA–MTA–NSF kutatási programok keretében végezték a szerzők.*

## Irodalomjegyzék

- Adriano, D. C., Németh, T. & Győri, Z. eds. (2003) Natural Attenuation of Metals along the Tisza River-Floodplain-Wetlands Continuum. University of Georgia – RISSAC of HAS – University of Debrecen, Debrecen.
- Alapi, K. & Győri, Z. (2003) Investigating the heavy metal-loaded floodplain sediments of the River Tisza. *Acta Agraria Debrecenensis*, Vol. 10. pp. 96–101.
- Bird, G., Brewer, P. A., Macklin, M. G., Balteanu, D., Driga, B., Serban, M. & Zaharia, S. (2003) The solid state partitioning of contaminant metals and As in river channel sediments of the mining affected Tisa drainage basin, northwestern Romania and eastern Hungary. *Applied Geochemistry*, Vol. 18. No. 10. pp. 1583–1595. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(03\)00078-7](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(03)00078-7)
- Black, M. & William, P. (2001) Preliminary assessment of metal toxicity in the Middle Tisza River (Hungary) flood plain. *Journal of Soils and Sediments*, Vol 1. No. 4. pp. 213–216. <https://doi.org/10.1007/BF02987727>
- Fleit, E. & Lakatos, Gy. (2003) Accumulative heavy metals pattern in the sediment and biotic compartments of the Tisza watershed. *Toxicology Letters*, Vol. 140–141. pp. 323–332. <https://doi.org/10.1556/APhyt.47.2012.2.15>
- Gosztonyi, Gy., Braun, M., Prokisch, J. & Szabó, Sz. (2010) Examination of zinc and iron mobilization with acid treatments and the metal content of maize and stinging nettle in the active floodplain of the river Tisza. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol. 6. No. 2. pp. 25–33.
- Kraft, C., Tümpeling, W. von & Zachmann, D. W. (2006) The effects of mining in Northern Romania on the heavy metal distribution in sediments of the rivers Szamos and Tisza (Hungary). *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, Vol. 34. No. 3. pp. 257–264. <https://doi.org/10.1002/AHEH.200400622>
- Lakanen, E. & Erviö, R. (1971) A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. *Acta Agraria Fennica*, Vol. 123. pp. 223–232.
- Macklin, M. G., Brewer, P. A., Balteanu, D., Coulthard T. J., Driga B., Howard, A. J. & Zaharia, Z. (2003) The long term fate and environmental significance of contaminant metals released by the January and March 2000 mining tailings dam failures in Maramures County, upper Tisa Basin, Romania. *Applied Geochemistry*, Vol. 18. No. 2. pp. 241–257. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00123-3](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00123-3)
- McGrath, S. P. & Cegarra, J. (1992) Chemical Extractability of Heavy Metals During and After Long-Term Applications of Sewage Sludge to Soil. *Journal of Soil Science*, Vol. 43. No. 2. pp. 313–321.
- MSZ 21470-50 (1998) Environment Protection. Testing of Soils. Determination of Total and Soluble Toxic Element, Heavy Metal and Chromium (VI) Content. Hungarian Standard.
- Osán, J., Kurunzi, S., Török, S. & Van Grieken, R. (2002) X-ray analysis of sediment riverbank of Tisza (Hungary): Identification of particles from mine pollution events. *Spectrochimica Acta Part B*, Vol. 57. No. 3. pp. 413–422. [https://doi.org/10.1016/S0584-8547\(01\)00405-0](https://doi.org/10.1016/S0584-8547(01)00405-0)

- Prokisch, J., Széles, É., Kovács, B., Győri, Z., Németh, T., West, L., Harper, S. & Adriano, D. (2009) Sampling strategies for testing and evaluation of soil contamination in riparian systems at the Tisza River basin, Hungary. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 40. No. 1. pp. 391–406. <https://doi.org/10.1080/00103620802649039>
- Quevauviller, P. H., Muntau, H., Fortunati, U. & Vercautere K. (1996) The Certification of the Total Contents (Mass Fractions) of Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn and Aqua Regia Soluble Contents (Mass Fractions) of Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn in a Calcareous Loam Soil (CRM 141R). BCR Information. Commission of the European Communities, Brussels.
- Soldán, P., Pavonič, M., Bouček, J. & Kokeš, J. (2001) Baia Mare accident – Brief ecotoxicological report of Czech Experts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 49. No. 3. pp. 255–261. <https://doi.org/10.1006/eesa.2001.2070>
- Zimmerman, A. J. & Weindorf, D. C. (2010) Heavy Metal and Trace Metal Analysis in Soil by Sequential Extraction: A Review of Procedures. *International Journal of Analytical Chemistry*, No. 3–4. Article No. 387803. <https://doi.org/10.1155/2010/387803>

A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID\_1)