

A folyópartok alakjának szerepe a hullámtereken kiüledő üledékek szemcse- és nehézfém frakcionációjában, a Duna és a Tisza példáján¹

SZALAI ZOLTÁN–BALOGHNÉ DI GLÉRIA MÁRIA–JAKAB GERGELY–CSUTÁK MÁTÉ
BÁDONYI KRISZTINA–TÓTH ADRIENN²

Abstract

Physical speciation of sediment associated heavy metals in active floodplains of the Danube and Tisza rivers, Hungary

Several studies deal with the riparian zones as natural buffers. The present paper focuses on the filtration and physical speciation of suspended load by riparian belts, which is a form of appearance of this buffer function. Five transects were traversed along the Danube and Tisza rivers. Samples were taken from riverbank deposits, natural levees, along the line of willow grove and from the active floodplains. Grainsize composition of sediments and concentrations of five heavy metals (Cd, Co, Cu, Pb, Zn) were determined from the average samples. The samples were physically separated into five fractions (<5 mm, 5–10 mm, 10–20 mm, 20–50 mm, >50 mm). The heavy metal content of each fraction was determined. Our results have shown that the profile and exposition of bank have an effect on the fractionation of the sediment and heavy metals. The presence or absence of natural levees (and crevasses) cause different distribution of the heavy metals along the transects and manifest themselves in different granulometry of the individual samples. Alluvia of the two studied rivers have distinct sediment texture and heavy metal distribution. This is due to the different origin and properties of these sediments and heavy metals.

Bevezetés

Számos tanulmány, tankönyv és ismeretterjesztő írás foglalkozik a vízfolyásokat kísérő hullámterek szűrő és puffer funkcióival. Két legjelentősebb folyónkat övező hullámterek szintén kettős szűrőként funkcionálnak. A hullámterek kiüledítik a kiáradó folyóvízben lebegő anyagot, a szalgként követő erdők pedig egyúttal hatékonyan csökkentik a levegő szálló és ülepedőpor-tartalmát

¹ A kutatás az OTKA T 38122 és T 38394 témaszámú tematikus pályázatok, valamint a Környezetvédelmi Céllalap K-36-02-00105 számú projektjének támogatásával valósult meg.

² MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45. E-mail: szalaiz@mtafki.hu

(SMART, R.P. et al. 2001; BARGAGLI, R. 1998; SZALAI Z. 2002). E szűrő mechanizmusnak tényleges működésével azonban viszonylag keveset foglalkoznak, pedig ennek eredményeként nemcsak a szennyező anyagok felhalmozódási „forró pontjainak” eloszlására, hanem a hullámtéri feliszapoló-dásban mutatkozó inhomogenitásokra is hatással van.

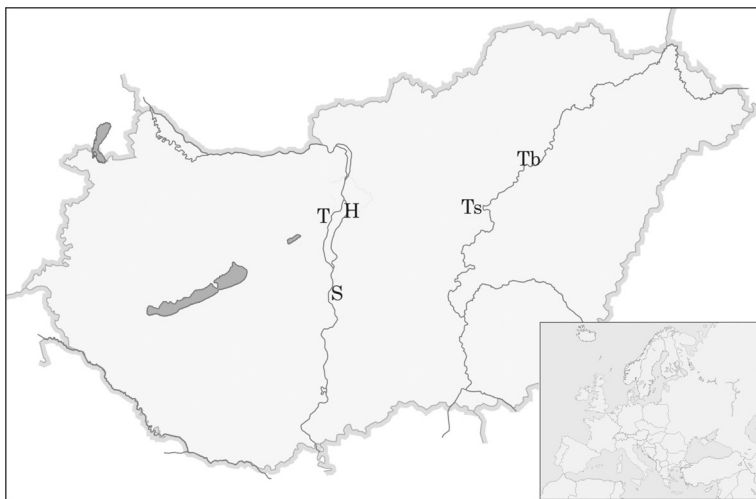
A Dunát és a Tiszát ért nehézfém-szennyezések a legtöbb ismertté vált esetben az árhullámmal együtt vonultak le. Amennyiben a nehézfémek elsősorban lebegtetett hordalék formájában vannak jelen, úgy a hullámtérre kilépő folyóvízből azok a part alakjának és a növényzet szerkezetének megfelelően ülepednek ki. A partok alakja és a növényzet szerkezete azonban nemcsak egyszerű szűrőként viselkedik, a lebegtetett hordalékot szemcsetartományként osztályozva ülepíti ki. E „frakcionáció” eredményeként azonban a homogénnek tekinthető hordalék nemcsak fizikai minősége szerint válik szét. Kiinduló feltételezésünk az volt, hogy mivel a folyóhátak megléte, ill. hiánya befolyással van erre a folyamatra, így a folyótól távolodva a vizsgált nehézfémek is más-más szediment-frakcióban mutatnak maximumot. Jelen tanulmányban a Tisza és a Duna hullámterein vizsgáljuk a folyópartok alakjának e frakcionációra gyakorolt hatását a kadmium, a kobalt, a réz az ólom és a cink vonatkozásában.

Bár nem e tanulmány tárgya, a folyóvízi formakincs nevezéktana körül a közelmúltban a Vízügyi Közlemények (NAGY I. et al. 2001; GÁBRIS GY. et al. 2002), a Földrajzi Értesítő (SCHWEITZER F. 2001) és a Földrajzi Közlemények (GÁBRIS GY. 2003) hasábjain lezajlott szakmai vita miatt említést kell tenni a folyóhát–parti hát–parti gát problematikáról is. A nevezéktani vitában nem kívánunk állást foglalni. Talán megszokásból BUTZER, K.W. (1986) geomorfológiai összefoglaló művének magyar fordítása és JAKUCS L. (1995) alapján konzekvensen a *folyóhát* elnevezésnél maradtunk.

Anyag és módszer

Munkánkhoz három Duna, és két Tisza menti transzektet jelöltünk ki. A Duna menti mintaterületek a Háros-sziget Budafok felé eső partszakasza, a sziget nagytényi partszakasza, valamint Solt közelében, a dunaföldvári hídtól É-ra húzódó partszakasz, a Tisza mentiek pedig Tiszabábolna, ill. Tizasüly közelében lettek kijelölve (1. ábra). Az igen szűkre szabott hullámterek miatt a Tisza menti transztektek a folyóparttól az árvédelmi gátaig húzódtak. A Duna menti transztektek végét a hullámtereken húzódó második holtmeder vonaláig jelöltük ki (2. ábra).

A tizasülyi transzekt kivételével az összes partot folyóhát kíséri. Ezek közül mind vertikálisan, mind horizontálisan a legkevésbé határozott kifejlődésű a tiszabábolnai. A legszélesebb folyóhátat Solt közelében, a legmagasabbat pedig Nagytényi közelében harántolta a kijelölt transzekt. A legrövidebb transzektet Tizasüly határában vettük fel. Ennél némileg hosszabb a tiszabábolnai, a leghosszabbak, és egyben a legtöbb mintavételi pontot tartalmazók pedig a dunai transztektek voltak. Kijelölésüknél ügyeltünk arra, hogy azok olyan partszakaszokon legyenek, amelyeken az utolsó áradás(ok) óta nem helyeztek el kotrási maradékot. A mintavételezéseket kisvíz idején végeztük, így a mederoldalból is lehetőség nyílt mintákat gyűjteni. Az öntéseket a legfelső 10 cm-es szintekből mintáztuk. A mintákat a partokon azonos magasságú szinten egy 5 m-es egyenes mentén, m-enként vettünk. A többi pontban a mintákat egy 2,5 m-es élhosszúságú négyzet sarokpontjaiból és középpontjából gyűjtöttünk. Az adott mintavételi pontokat az ezekből képzett átlagminták jellemzik.



I. ábra. A vizsgált transzektek helyzete

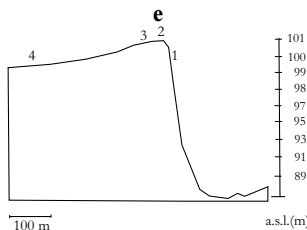
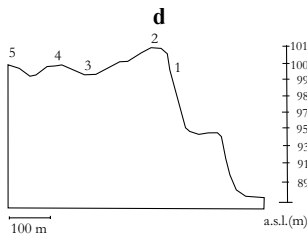
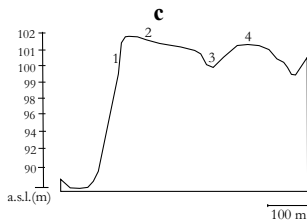
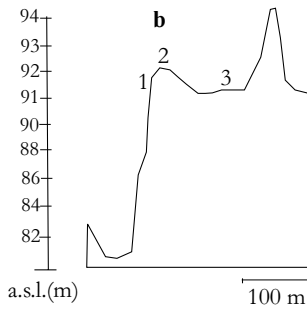
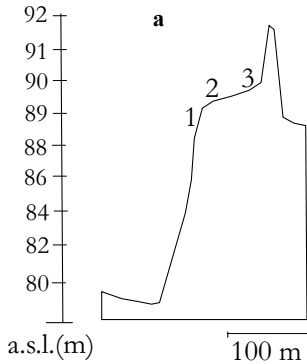
Location of the studied transects

A mintákat pipettás eljárással a következő frakciókra bontottuk fel: <0,005 mm; 0,005–0,01 mm; 0,01–0,02 mm; 0,02–0,05 mm; >0,05 mm. A begyűjtött átlagmintákat valamint a szétválasztott szemcsetartományokat egyaránt légszárász állapotra szárítottuk, majd „salétromsav-hidrogénperoxid” feltárási módszerrel kezeltük.

Az előkészített mintákból Zeiss AAS-30 típusú grafitkemencés atomabszorpciós spektrofotométerrel határoztuk meg az alábbi elemeket: Cd, Co, Cu, Pb, Zn. Az átlagmintákban a vizsgált fémek koncentrációja (AVG) nem a szemcsetartományokban tapasztalt értékekből képzett átlag, hanem az eredeti (frakcionálatlan) mintában mért érték. A minimum (MIN) és maximum (MAX) értékek az a frakcionált minták minimum és maximum értékei. E két tényező hányadosából képzett értéket T -vel jelöltük ($T_i = MAX_i / MIN_i$). Ezt a mérőszámot mintáink homogenitásának jellemzésekor alkalmaztuk. Hasonlóan számítottuk ki az „ a ” indexet, amely az $5 \mu m$ alatti frakciónak a maximális részarányú szemcsefrakcióhoz való arányát jellemzi ($a = [< 5 \mu m]_i / MAX_i$).

Kizárólag a nehézfémek eloszlásának vizsgálatokor alkalmaztuk a $t(T)$, a T_x , a cs és az AVM indexeket. A T_x index az x -ik legmagasabb arányban jelen levő koncentrációnak a MAX -hoz viszonyított arányát jelzi ($T_x = MAX_i / M_x$). Az egyes transzektekben számított T értékek maximumainak és minimumainak hányadosa a $t(T)$ index, mellyel a transzekteken belül az adott minták T értékeinek homogenitására utal, azaz $t(T)$ értéke minél magasabb, a transzekten belül annál nagyobb a különbség a minták homogenitása között. Végezetül az AVM index az átlagminta koncentrációnak és a frakcionált minták mediánjainak hányadosa ($AVM_i = AVG_i / medián_i$).

A minták homogenitásának e mérőszámok alkalmazásakor kettős értelme van: a szemcsetartományok homogén eloszlásáról akkor beszélhetünk, ha a vizsgált frakci-



ók közel azonos arányban vannak egy mintában jelen. Homogén eloszlásról a nehézfémek esetébe akkor beszélhetünk, ha az összes szemcsetartományban hasonló koncentrációkat mérhetünk.

Eredmények

A felszíni üledékek szemcseösszetételének változása a transztek mentén

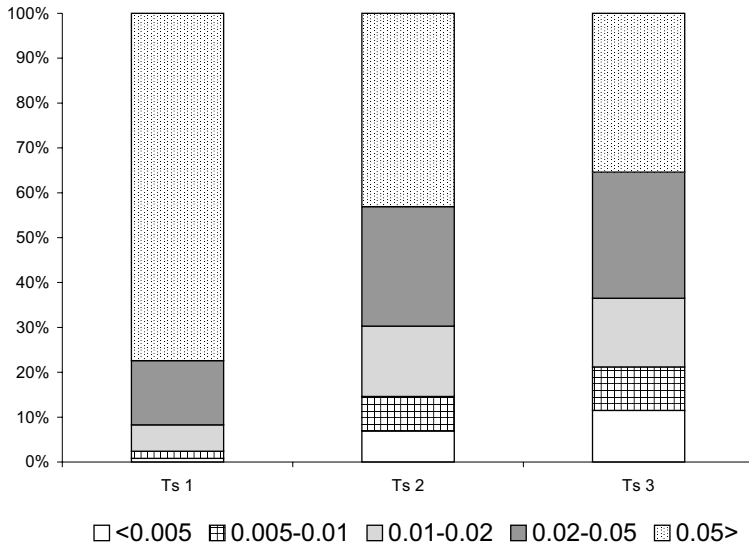
Az összes mintavételi pont közül a partoldalakban felvettek tartalmazza legnagyobb arányban az 50 μm -nél durvább, azaz a homokfrakciót. A tiszai pontoknál a homok aránya megközelíti a 80%-ot (3. ábra). A transzekt mentén haladva a homokfrakció aránya a tiszasülyi parttól távolodva a bokorfüzesek vonaláig rohamosan csökken. Ettől a vonaltól a hullámtér irányában e frakció csökkenésének mértéke alacsonyabb. A homok részaránya a bokorfüzesek vonalában 43%, a gát előtt pedig 36%.

A homokfrakció arányának csökkenésével együtt a többi szemcsefrakció aránya ugrásszerűen megnő. A legnagyobb mértékű növekedés a két legfinomabb (<5 μm és az 5–10 μm) tartományban tapasztalható. A növekedés üteme a gátig az agyagfrakciónál (<5 μm) a legmagasabb. A gát felé haladva a finomabbik iszap1 tartomány (5–10 μm) arányának növekedése mérséklődik, az iszap 2 (10–20 μm) és por (20–50 μm) arányának növekedési üteme pedig gyakorlatilag nem változik, azaz stagnál.

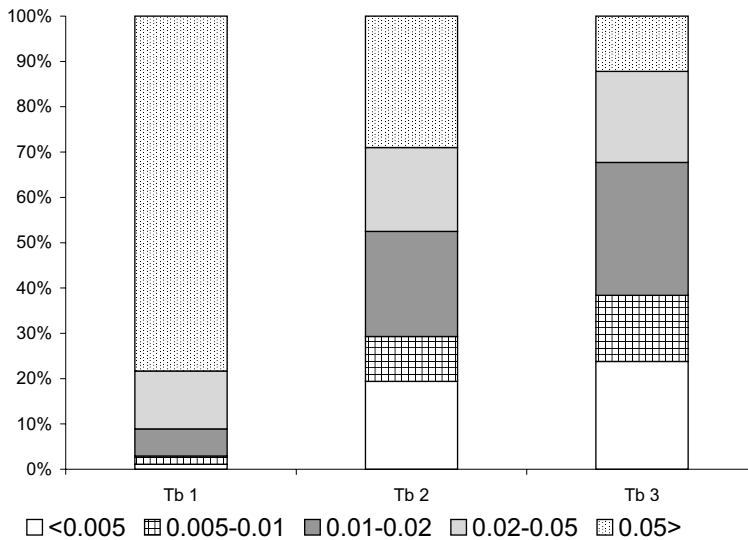
A tiszabábolnai transzekt mentén (4. ábra) parttól a folyóhátig a homokfrakció (>50 μm) aránya a tiszasülyinél jelentősebb mértékben, 80% közeléből 30% alá, a gátig pedig 12%-ig csökken. A

2. ábra. A vizsgált transztek profiljai. – a = Tiszasüly; b = Tiszabábolna; c = Háros-sziget; d = Nagytétény (hárosi part); e = Solt

2. ábra. Profiles of the studied transects. – a = Tiszasüly; b = Tiszabábolna; c = Háros Island; d = Nagytétény (Háros bank section); e = Solt



3. ábra. Öntések szemcseösszetételének eloszlása a talajfelszínen, Tiszasüly
Grainsize distribution of surface sediments along Tiszasüly transect



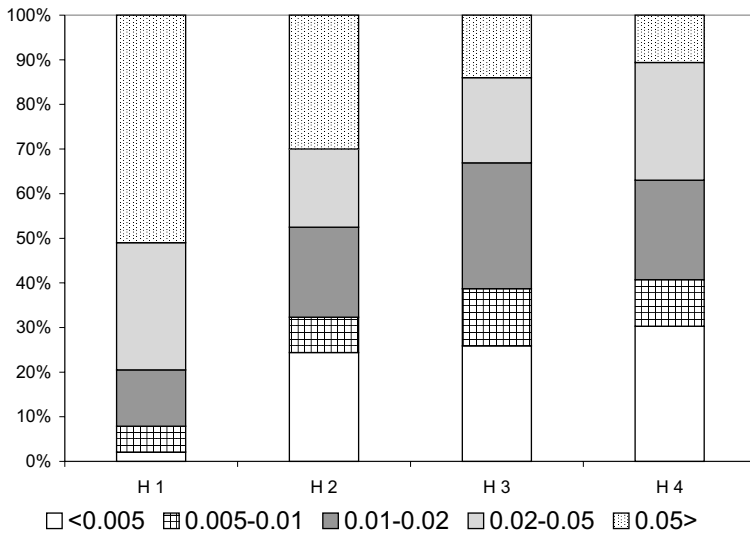
4. ábra. Öntések szemcseösszetételének eloszlása a talajfelszínen, Tiszabábolna
Grainsize distribution of surface sediments along Tiszabábolna transect

gát előtt a homok részaránya jóval alacsonyabb, mint a tiszasülyi transzektben, amiben a szélesebb hullámtér is közrejátszik. Ha a hullámtéri üledékekben a homok részaránya egyenletesen csökkenne, valamint e transzekt mentén is a tiszasülyi transzektkez hasonló part alak és növényzet volna jellemző, akkor a gát előtt gyűjtött mintában a homoknak 20% körüli részarányban kéne jelen lenni. A folyóhát megléte így harmadával csökkenti a homok részarányát a hullámtéren. A por tartomány (20–50 mm) aránya a parttól folyóhátig csekélyebb arányban, mintegy 45%-kal nő meg (1. táblázat). A hullámtéren ez a növekedési arány az ötödére esik. A folyóhát a leghatásosabban a legfinomabb szemcsetartomány kiülepedését fokozta. A hullámtéren a legjelentősebb mértékben viszont az 5–10 µm közötti frakció kiülepedése fokozódik.

1. táblázat. Szemcsefrakciók részarányának változása a transzekt mentén

Pontok	<0,005	0,005–0,01	0,01–0,02	0,02–0,05	>0,05
	mm				
Tizasüly					
az 1-től a 2. pontig	763	381	166	86	-44
a 2-től a 3. pontig	67	26	-3	6	-18
Tiszabábolna					
az 1-től a 2. pontig	1664	450	287	45	-63
a 2-től a 3. pontig	23	47	26	9	-58
Háros					
az 1-től a 2. pontig	1062	36	60	-39	-41
a 2-től a 3. pontig	6	62	40	9	-53
a 3-tól a 4. pontig	17	-19	-21	38	-24
Nagytétény					
az 1-től a 2. pontig	1592	80	162	-25	-50
a 2-től a 3. pontig	-30	16	-31	52	9
a 3-tól a 4. pontig	48	5	-3	13	-32
a 4-től az 5. pontig	5	10	47	0	-38
Solt					
az 1-től a 2. pontig	746	34	133	-37	-41
a 2-től a 3. pontig	32	23	-14	70	-52
a 3-tól a 4. pontig	1	75	41	-22	-48

A Duna menti mederoldalakot reprezentáló pontokban a homokfrakció aránya (50–60% közötti részarányal) jóval a tiszai mederoldalak mintáiban mértek alatt maradnak. A tiszai transzektkehez hasonlóan a hárosi transzekt mentén a homokfrakció részaránya folyamatosan csökken (5. ábra). A tiszai transzektkektől eltérően viszont nemcsak a homok, hanem a por frakció részaránya is alacsonyabb a folyóhát öntéseiben, mint közvetlenül a parton. A Háros-szigeten folyóhát mögötti holtmedrek vakon indulnak és végződnek, így az árhullámok idején általában csak a megemelkedő talajvíz által kerül elöntésre. A szigetet a kiáradó folyóvíz csak 5–7 évente lepi el. A holtmeder felszíni öntésében az agyagfrakció aránya közel egyező a folyóhátéval. A legnagyobb növekedést, és egyben a legmagasabb részarányt a durvább iszapfrakció (10–20 µm) mutatja. A parttól legtávolabb a legfinomabb szemcsetartomány uralja az öntéseket.



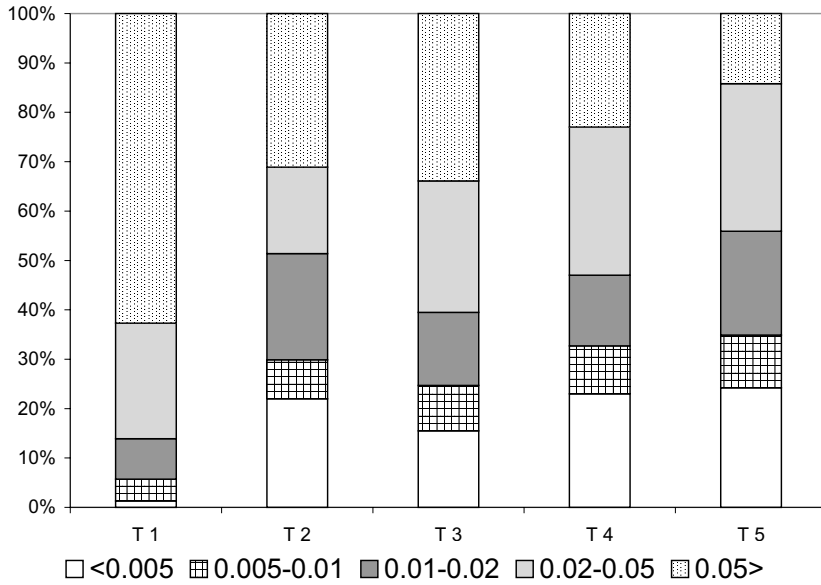
5. ábra. Öntések szemcseösszetételének eloszlása a talajfelszínen, Háros-sziget

Grainsize distribution of surface sediments along Háros Island transect

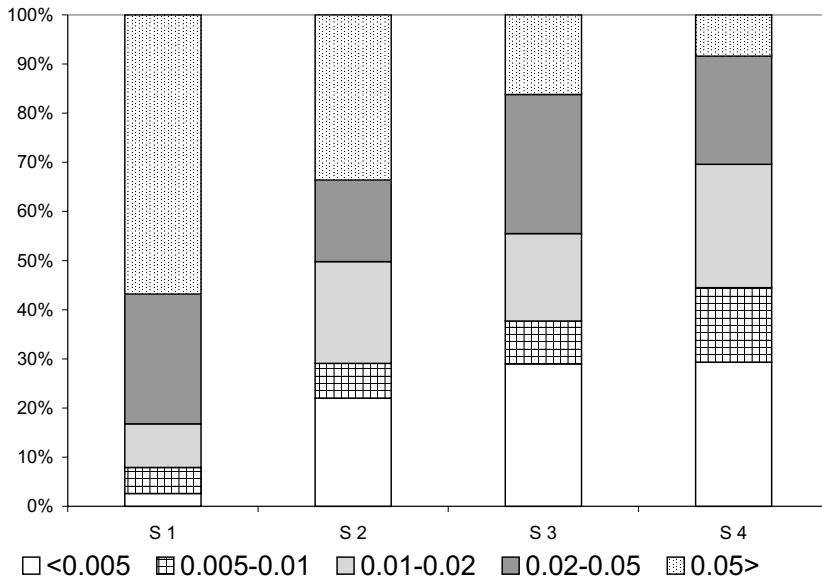
A nagytényi transzekt a folyóhoz legközelebb eső holtmedre egy természetes eredetű átvágódásnak köszönhetően közvetlenebb kapcsolatban van a folyóval. Ennek következtében a folyóhát mögötti holtmeder már kisebb árvizek idején is megtehető a mederből kilépő vízzel. Erre utal a folyóhát mögötti holtmeder üledékeiben az átvágások mögötti öntésekre jellemző üledékek megjelenése (BRIDGE, J.S. 2003), amit a környezetéhez képest durvább frakciók magasabb részaránya jellemez. Ez az oka annak, hogy a folyótól távolabb (150 m-nél távolabb) még mindig a durvább szemcseméretetek dominálnak (6. ábra).

A legszélesebb folyóhát a solti transzektet jellemzi, aminek a folyó felé eső és a hullámtér felé néző oldalát is megmintáztuk. Az uralkodó szemcsetartományok közötti eltérés e transzekt mentén tér el a legélesebben. A mederoldalban és a folyóhátán (1-es és 2-es pontok) a legdurvább (homok) szemcsetartomány uralkodik, addig az ártér felé eső oldal és az ártéri pontban a legfinomabb tartomány aránya a legmagasabb (7. ábra).

A folyóhátaknak a növényzet típusától független frakcionáló szerepét hangsúlyozza az uralkodó szemcsetartomány és a legkisebb arányban jelenlevő szemcsetartomány részarányainak eloszlása (T) a transzekt mentén (2. táblázat). A MAX értékek a tiszasülyi transzekt mentén fokozatosan csökkennek le. A többi transzekt mentén a MAX értékei 30% körüli értékre csökkennek. A MIN értékek a transzekt mentén fokozatosan emelkednek 10% körülire. A tiszasülyi füzesek mentén tapasztalt MIN értékek a folyóhátak azonos index értékeihez közelítenek. Ez azt jelenti, hogy a homoknál finomabb szemcsetartományok között a parttól távolodva egy kiegyen-



6. ábra. Öntések szemcseösszetételének eloszlása a talajfelszínen, Nagytétény
Grainsize distribution of surface sediments along Nagytétény transect



7. ábra. Öntések szemcseösszetételének eloszlása a talajfelszínen, Solt
Grainsize distribution of surface sediments along Solt transect

2. táblázat. A minták szemcseeloszlásainak minimum, maximum és *T* értékei

Minta	MIN	MAX	a	T	cM(s)
Ts 1	0,8	77,4	0,010	96,8	homok
Ts 2	6,9	43,1	0,160	6,2	homok
Ts 3	9,7	35,4	0,325	3,6	homok
Tb 1	1,1	78,3	0,014	71,2	homok
Tb 2	9,9	29	0,669	2,9	homok
Tb 3	12,2	29,3	0,812	2,4	iszap2
H 1	2,1	51	0,041	24,3	homok
H 2	7,9	30	0,813	3,8	homok
H 3	12,8	28,2	0,918	2,2	iszap2
H 4	10,4	30,3	1,000	2,9	agyag
T 1	1,3	62,7	0,021	48,2	homok
T 2	7,9	31,1	0,707	3,9	homok
T 3	9,2	33,9	0,457	3,7	homok
T 4	9,7	30	0,767	3,1	por
T 5	10,7	29,9	0,809	2,8	por
S 1	2,6	56,8	0,046	21,8	homok
S 2	7,1	33,6	0,655	4,7	homok
S 3	8,7	29	1,000	3,3	agyag
S 4	8,4	29,3	1,000	3,5	agyag

lítódési folyamat zajlik. Ezt a folyamatot úgy gyorsítják fel, hogy az áradás során lebegtetett homok jelentős része már a folyóhátak oldalában kiülepedik.

Ugyanezt a homogenizációt mutatja a *T index* is: A Tisza-mederben mutatózó 71–97-es értékek a hullámtéri 2,5–3,5-es értékekre csökkennek, míg a Duna mentén a 20–50-es értékek csökkennek le hasonló mértékben. A solti eloszlás a partot határoló folyóhát ellenére átmeneti jelleget mutat a többi folyóhát és a tiszasülyi eloszlás között, ami feltehetően az alacsonyabb folyóhátának valamint a homokfrakció csekélyebb súlyának köszönhető.

A legfinomabb vizsgált szemcsetartományra gyakorolt szűrő hatást az agyag-maximum- (*a*) indexek eloszlása mutatja. Az „*a*” érték az összes folyóhátan a mederoldali 0,05-nél kisebb értékről egységesen 0,7 körülire emelkedik (2. táblázat). A tiszasülyi part esetében az „*a*” értéke a bokorfüzesek 0,16, és még a gát közelében sem éri el a 0,35-ös értéket. Ez arra utal, hogy a növényzet az 5 µm-nél finomabb szemcsetartomány szűrésében kevésbé játszik hatékony szerepet.

Nehézfémek koncentrációinak megoszlása a transzekttek mentén

Összehasonlítva más folyókkal, a Duna és a Tisza magyarországi szakaszai a felszíni üledékeik nehézfém tartalmát tekintve nem tartoznak a szennyezett folyók közé (KABATA-PENDIAS, A.–PENDIAS, H. 2001). A frakcionálatlan átlagmintákat tekintve ezek koncentrációi a referencia értékek alatt maradnak.

Az ártereken a nehézfémek sem vertikálisan, sem horizontálisan nem egyenletesen oszlanak el. A felhalmozódási zónák a domborzat és a növényzeti mintázatok eredményeként alakulnak ki. Domború ártereken a legjelentősebb felhalmozódási területek a folyóhátakon és a bokorfüzesek folyó felőli oldalain alakulnak ki. Amennyiben a partvonal a medertől a gátakig fokozatosan emelkedik, úgy e felhalmozódási zóna a bokorfüzesekhez kapcsolódik.

A folyóhátak megléte a vizsgált elemek transzektenkénti eloszlására egyértelmű hatással van. *A tiszai transztek mentén ezeket a 2000 februárjában és márciusában levonuló nehézfém-szennyezések alakították ki.* A vizsgált elemekre jellemző, hogy koncentrációik a mederoldaltól (1-es pont) a gát felé növekednek. Azoknál az elemeknél, amelyeknél a növényzeti határ után tovább növekszik a felhalmozódás mértéke, ott feltételezhető, hogy akkumulációjukra elsősorban a domborzat van hatással. Tiszasúly esetében ilyen elem volt a cink, az ólom és a kobalt (8. ábra). A réz és a kadmium koncentrációi ezekkel szemben a bokorfüzesek vonalától az árvízvédelmi gátig már alig nőnek. Mivel a felsorolt elemek közül a kobalt természetes geokémiai háttérnek megfelelő koncentrációtartományban van jelen (SIPOS, P. 2003, 2004; SZABÓ GY. 1996, 1997, 2001), így a kiülepedés jellegére a szennyezés önmagában feltételezhetően nincs hatással.

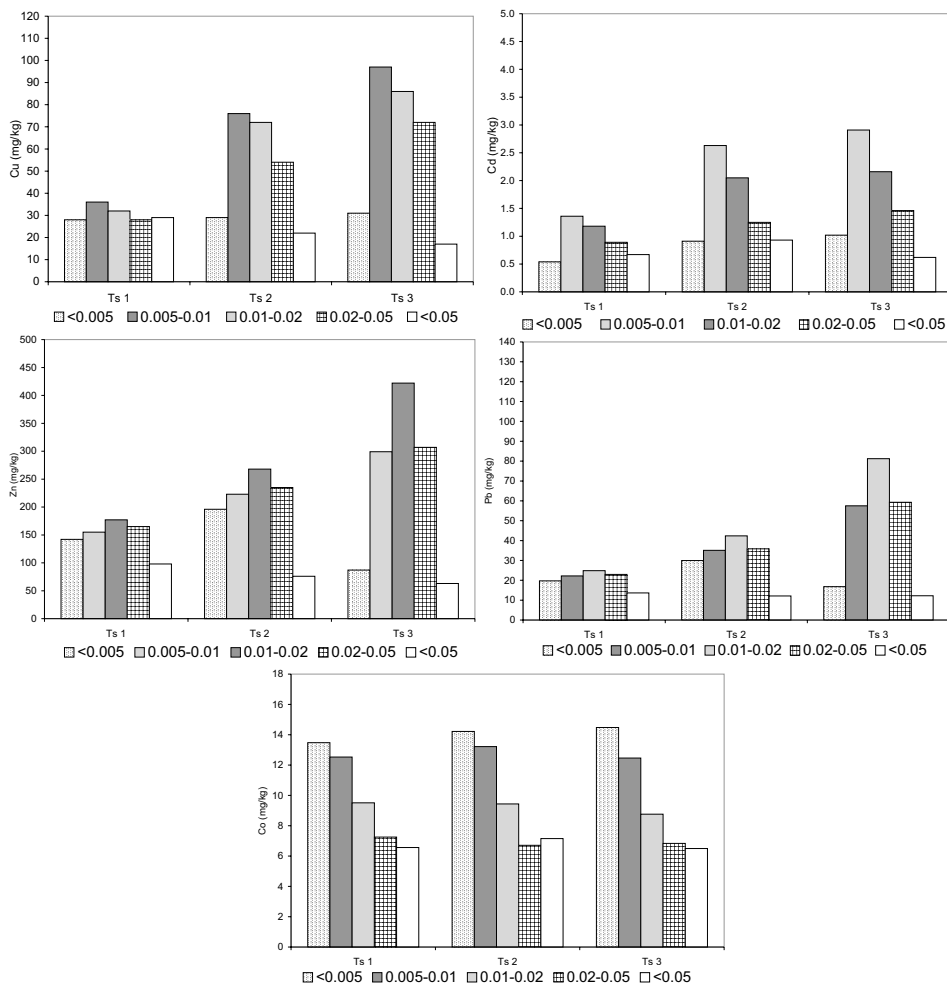
A tiszabábolnai transzekt mentén a vizsgált elemek a folyóhátan érik el legmagasabb koncentrációikat (9. ábra). Az elemek többségének hullámtéri koncentrációi a mederoldalban mértékhez voltak hasonlóak. A kadmium a hullámtéren hasonló mennyiségben volt mérhető, mint a folyóhátan.

Az transztekek közül a hárosi az összes többitől különbözik, mivel az összes mintavételi pontban hasonló koncentrációkat figyelhettünk meg (10. ábra). A nagytétényi part (11. ábra) és a solti transzektnél (12. ábra) a tiszabábolnaihoz hasonló elem eloszlást tapasztaltunk.

Nhézfémek koncentrációinak megoszlása üledék frakciónként

A part alakjának és a növényzet szerkezetének nemcsak a nehézfémek koncentrációinak térbeli eloszlására van hatása. Amennyiben a mintáinkat szemcseméretenként szétválasztjuk (frakcionáljuk), kiderül, hogy a különböző mintavételi pontokban a nehézfémek eltérő szemcsefrakcióhoz kötődnek. Az általunk tanulmányozott öt nehézfém a vizsgált hullámtereken – számos szakirodalmi forrástól eltérően – nem a legfinomabb szemcsetartományhoz kötődött. A maximális koncentrációk szemcsetartományonkénti és transzektenkénti eloszlása ráadásul elemenként különböző (3. táblázat).

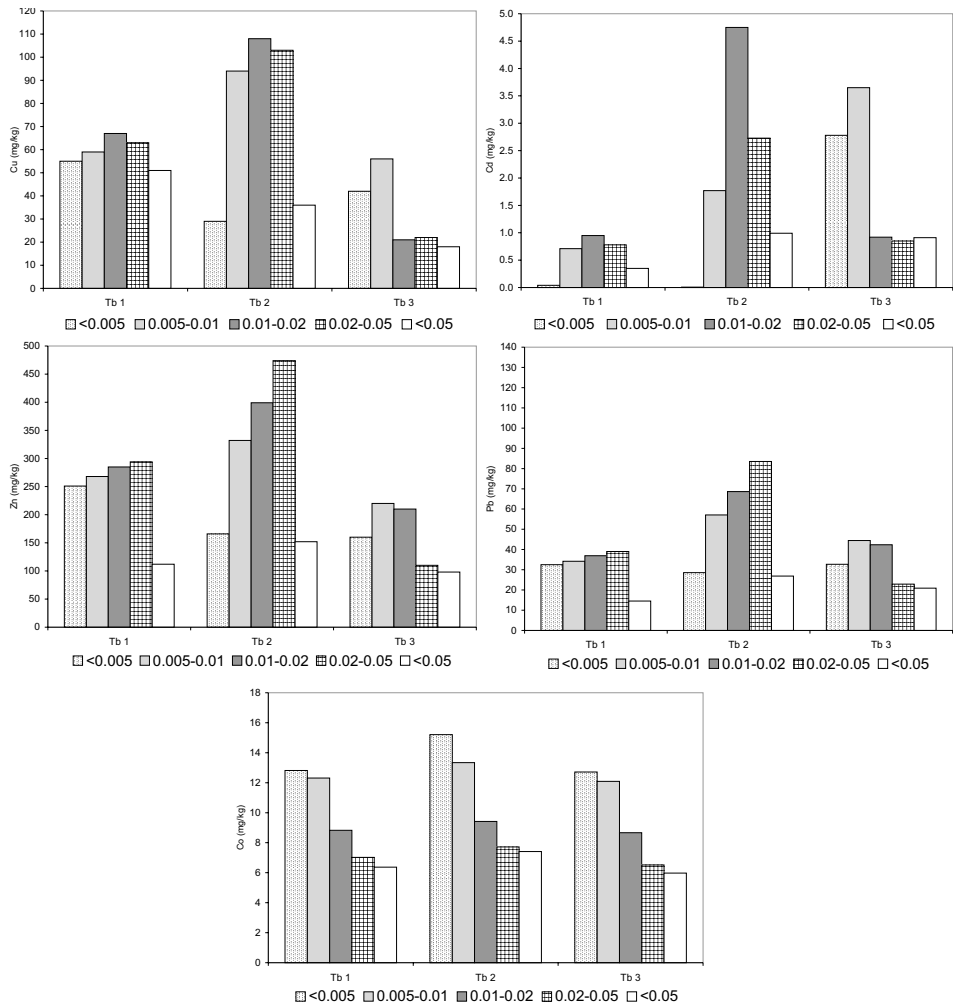
A nehézfémek szemcseméretenkénti megoszlása az öt transzekt mentén eltérően alakult. Az egymásra leginkább hasonlító eloszlást a hárosi és a tiszabábolnai transzektnekél tapasztaltuk. A hárosi transzektnekél a folyótól távolodva az egyre finomabb frakcióba tolódtak a koncentráció maximumok, de azok sosem estek a 0,5 mm alatti frakcióba. Tiszabábolnánál a folyóhától távolodva igaz ez a megállapítás.



8. ábra. Öntések nehézfém-koncentrációjának eloszlása transztek mentén, Tiszasüly. – Cu = réz; Cd = kadmium; Zn = cink; Pb = ólom; Co = kobalt

Heavy metal content distribution along Tiszasüly transect. – Cu = copper; Cd = cadmium; Zn = zinc; Pb = lead; Co = cobalt

A solti transzektben a folyóhától a hullámtér felé ugyanolyan a nehézfémek mintán belüli megoszlása. A többi mintáktól eltérően mindig az 5 mm alatti tartományban mérhető a legmagasabb koncentráció és az egyre durvább frakciókhoz egyre alacsonyabb nehézfém koncentrációk köthetők. A három előbbi transzektből eltérően a nagytéyeni transzektben a folyóhát mögött is durva szemcseméretűkhez kötődnek a koncentráció maximumok, ami a folyóhátat keresztül szelő természetes bevágódással magyarázható.

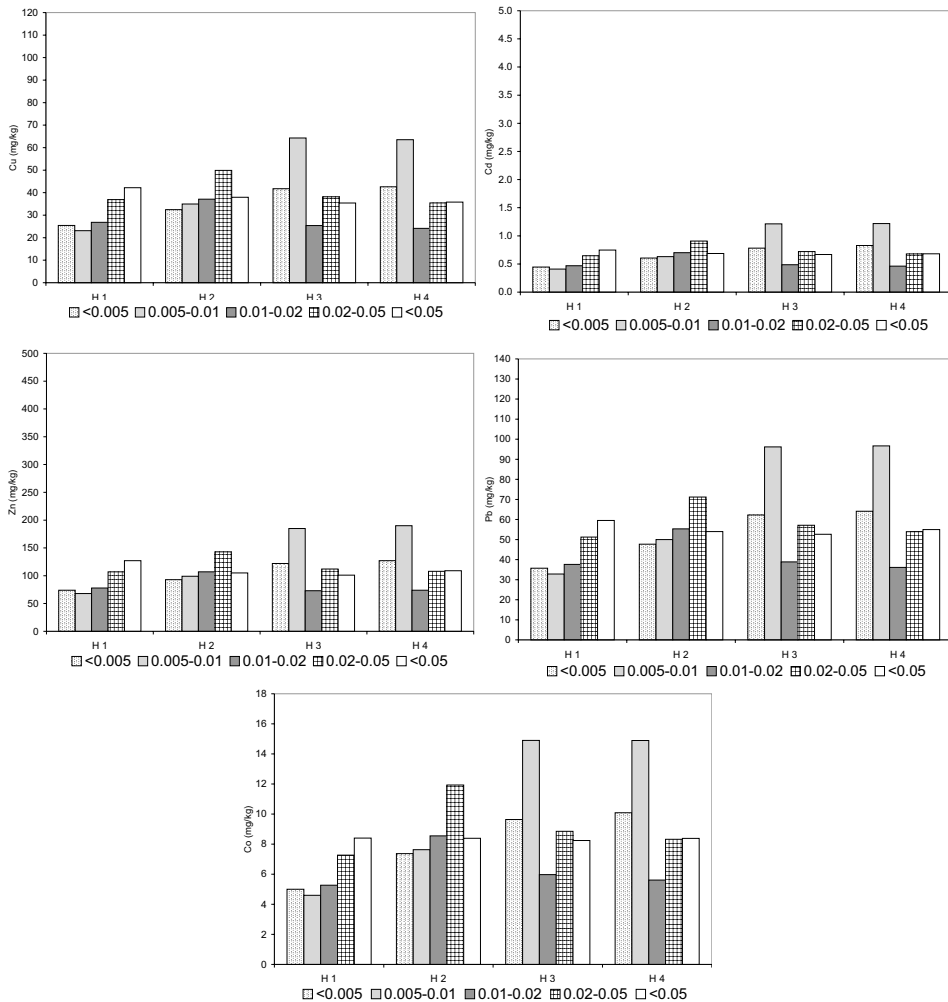


9. ábra. Öntések nehézfém-koncentrációinak eloszlása transztek mentén, Tiszabólna. – A jelmagyarázatot l. a 8. ábránál

Heavy metal content distribution along Tiszabólna transect. – For the legend see Figure 8

Végül a parttól a gátig folyamatosan, folyóhátal nem szegélyezett tiszasülyi transzekt mentén az eddigiektől eltérően a maximális koncentrációk egy meghatározott szennyezetartományhoz kapcsolódnak. A réz és a kadmium a 10–20 mm közötti tartományban, az ólom és a cink pedig az 5–10 mm közötti tartományban mutatott maximumot minden mintavételi pontban.

Külön kell említést tenni a kobaltról, amely a többi elemtől eltérően jellemzően az 5 mm alatti frakcióhoz köthető leginkább. A vizsgált nehézfémek közül ez az egye-

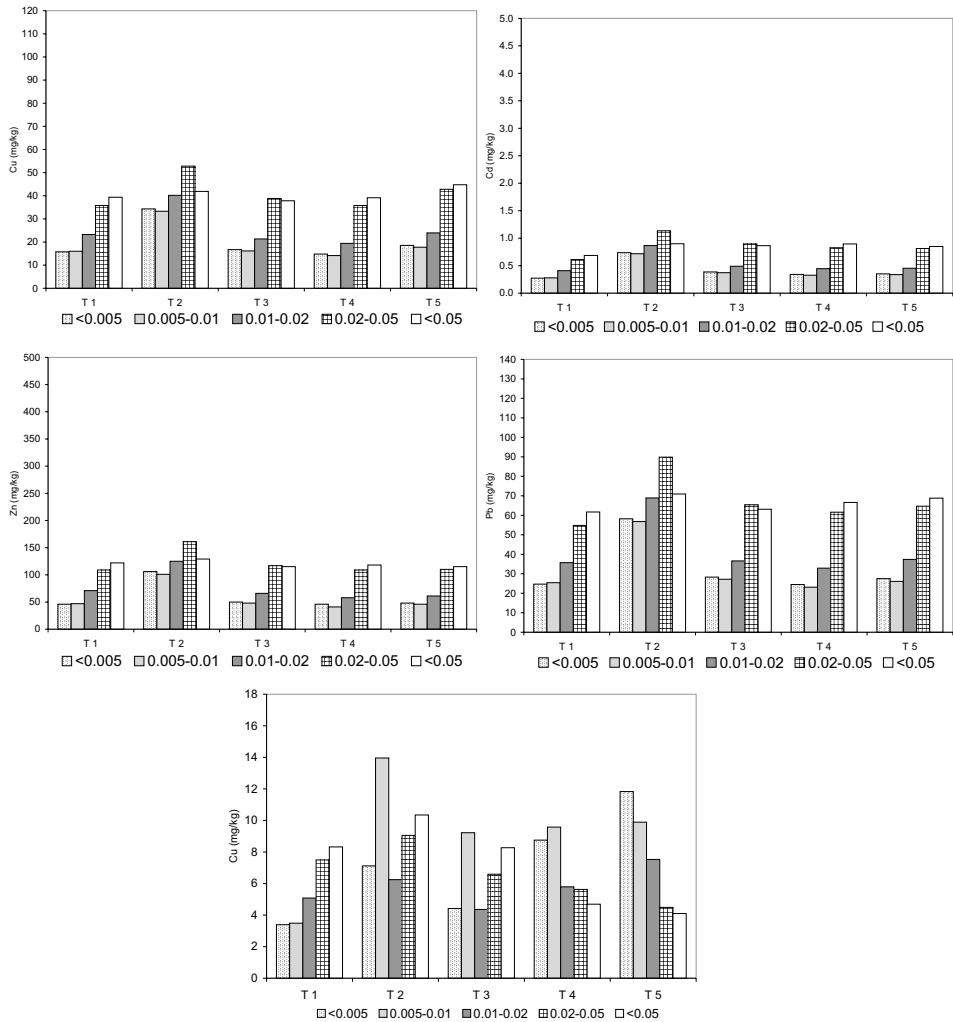


10. ábra. Öntések nehézfém-koncentrációinak eloszlása transztek mentén, Háros-sziget. – A jelmagyarázatot l. a 8. ábránál

Heavy metal content distribution along Háros Island transect. – For the legend see Figure 8

düli, amely természetes koncentrációkban van jelen, ami egyúttal ezt a különbözőséget is valószínűleg megmagyarázza.

Az 5 mm alatti frakcióhoz való kötődés mértékét az „a” indexszel jellemezhetjük (4. táblázat). Általában a legalacsonyabb „a” értékeket a nagytényi transzektben tapasztalhattunk, ahol az összes vizsgált elemmel kapcsolatban általában 0,4 közüli értékek, a folyóhátan, pedig 0,65 körüli értékek adódtak. Ennél magasabb „a” értékek adódtak a közeli hárosi transzektben. A nagytényi transzektől eltérő-

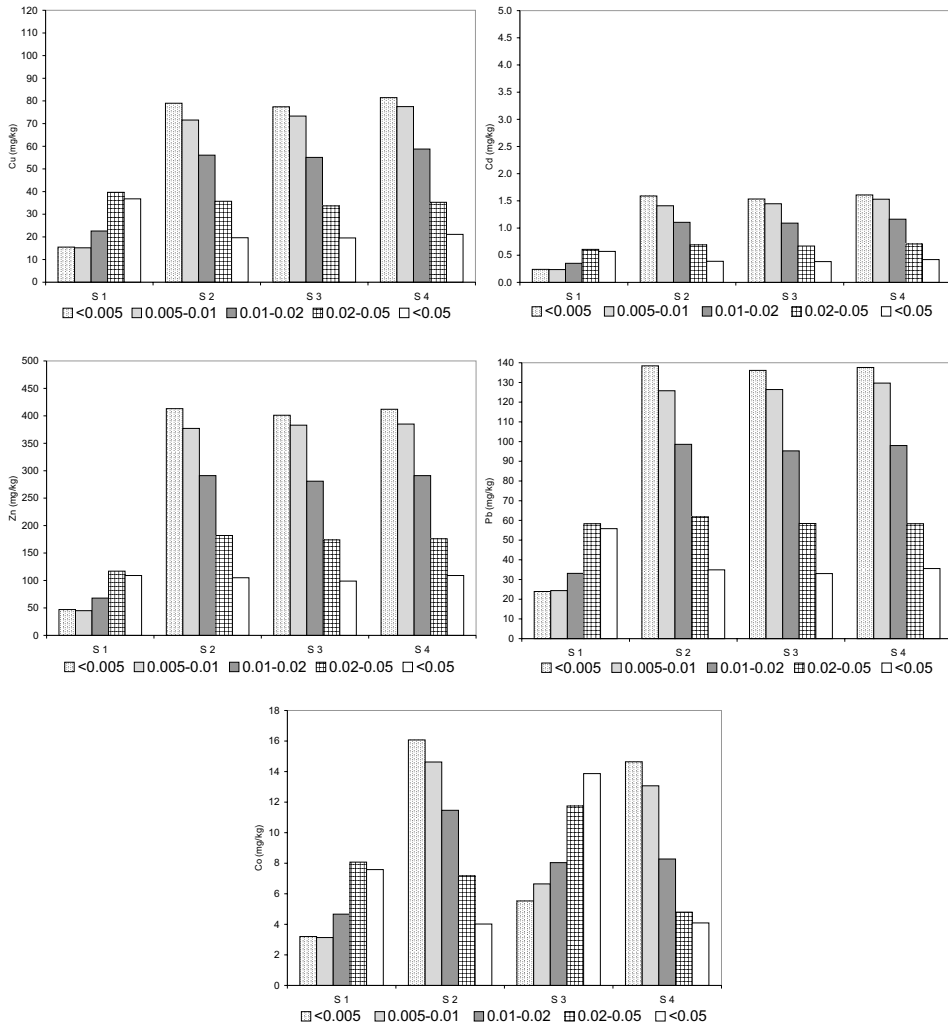


11. ábra. Öntések nehézfém-koncentrációinak eloszlása transztek mentén, Nagytétény. – A jelmagyarázatot l. a 8. ábránál

Heavy metal content distribution along Nagytétény transect. – The legend see at *Figure 8*

en itt a folyóhátan nem emelkedett meg az „*a*” index. E paraméter tekintetében az említett két transzekt összes mintavételi pontja azonos jellegűnek tekinthető.

A Tisza menti transzekteknél általánosságban jóval magasabb „*a*” értékeket számoltunk, azaz az 5 mm alatti frakciónak a maximális koncentrációjú szennyezettanyaghoz viszonyított nehézfém-tartalma magasabb a hárosi és a nagytétényi mintáknál. A dunai példakkal ellentétben, Tiszababólnánál éppen a folyóhátan adódtak a



12. ábra. Ötések nehézfém-koncentrációinak eloszlása transzektek mentén, Solt. – A jelmagyarázatot l. a 8. ábránál

Heavy metal content distribution along Solt transect. – For the legend see Figure 8

legalacsonyabb „*a*” értékek ($a \approx 0,3$). Ezzel ellentétben Tiszasülynél a parttól távolodva, a koncentrációk emelkedésével párhuzamosan egyenesen csökken ez a mutató.

Míg az „*a*” index a legfinomabb frakcióban mért koncentrációkkal kapcsolatban ad ismereteket, a *T/T_x* diagramokkal a nehézfém koncentrációknak a szennyezettartományokon belüli megoszlását jellemezhetjük. Mintavételi pontjaink közül a folyóhátakat és a hullámtereket hasonlítottuk össze ezekkel a diagrammokkal. A 2-es

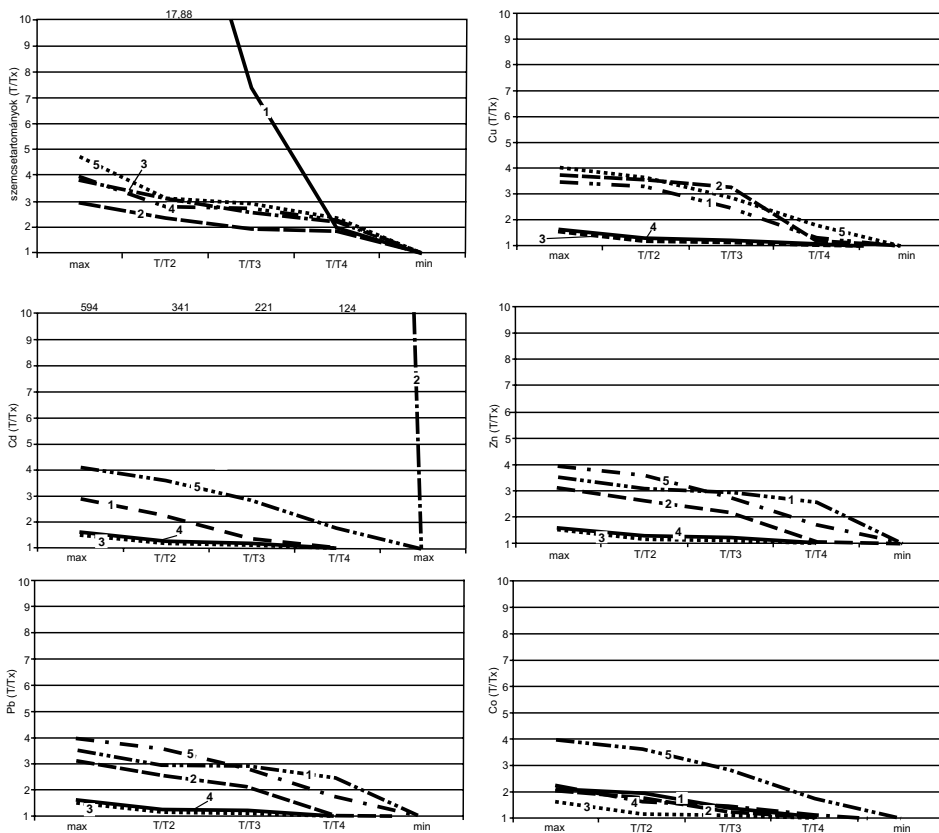
3. táblázat. A maximális nehézfém-koncentrációk szemcsetartománya

Minta	Cu	Cd	Zn	Pb	Co
Ts 1	iszap1	iszap1	iszap2	iszap2	agyag
Ts 2	iszap1	iszap1	iszap2	iszap2	agyag
Ts 3	iszap1	iszap1	iszap2	iszap2	agyag
Tb 1	iszap2	iszap2	por	por	agyag
Tb 2	iszap2	iszap2	por	por	agyag
Tb 3	iszap1	iszap1	iszap1	iszap1	agyag
H 1	homok	homok	homok	homok	homok
H 2	por	por	por	por	por
H 3	iszap1	iszap1	iszap1	iszap1	iszap1
H 4	iszap1	iszap1	iszap1	iszap1	iszap1
T 1	homok	homok	homok	homok	homok
T 2	por	por	por	por	iszap1
T 3	por	por	por	por	iszap1
T 4	homok	homok	homok	homok	iszap1
T 5	homok	homok	homok	homok	agyag
S 1	por	por	por	por	por
S 2	agyag	agyag	agyag	agyag	agyag
S 3	agyag	agyag	agyag	agyag	homok
S 4	agyag	agyag	agyag	agyag	agyag

4. táblázat. Az 5 µm-nél finomabb VémFvÉIrakFlyban mprnt nehézfém-koncentrációs Flyk arány a maximális IIV-koncentrációs Flykhoz képest (a Index)

Minta	Cu	Cd	Zn	Pb	Co
Ts 1	0,778	0,397	0,802	0,792	1,000
Ts 2	0,382	0,346	0,731	0,707	1,000
Ts 3	0,320	0,351	0,206	0,207	1,000
Tb 1	0,821	0,042	0,854	0,833	1,000
Tb 2	0,269	0,002	0,350	0,342	1,000
Tb 3	0,750	0,762	0,727	0,735	1,000
H 1	0,603	0,595	0,583	0,600	0,595
H 2	0,650	0,668	0,650	0,670	0,618
H 3	0,650	0,644	0,659	0,647	0,647
H 4	0,671	0,681	0,668	0,663	0,678
T 1	0,401	0,399	0,377	0,400	0,407
T 2	0,649	0,649	0,658	0,648	0,510
T 3	0,431	0,430	0,427	0,433	0,479
T 4	0,378	0,382	0,390	0,368	0,913
T 5	0,414	0,413	0,417	0,400	1,000
S 1	0,391	0,395	0,402	0,410	0,397
S 2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
S 3	1,000	1,000	1,000	1,000	0,399
S 4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

sorozatú mintavételi pontokban (folyóhátak, ill. Tiszasüllynél a bokorfüzesek vonala) a két tiszai és a solti transzettek mutatnak hasonlóságokat (13. ábra). Ezekben a mintában az összes vizsgált elem a minimális koncentrációkhoz képest három-négyszer-



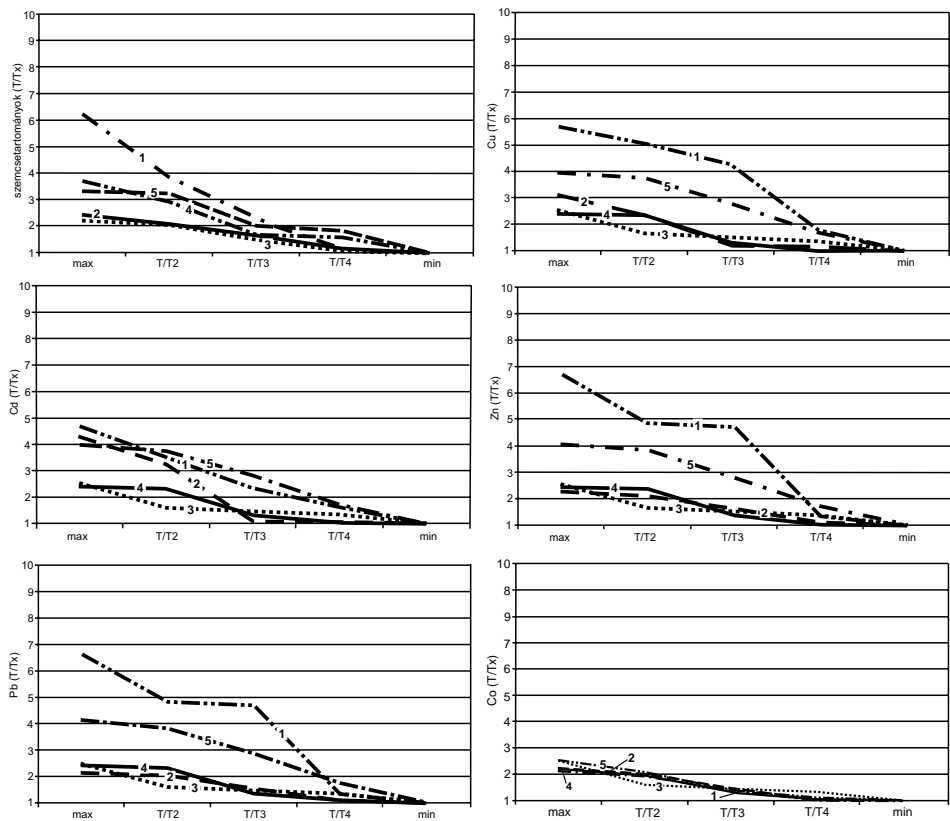
13. ábra. Folyóhátokról gyűjtött minták T/T_x diagramja (Tiszasüly esetében a bokorfüzesek vonala). – 1 = Tiszasüly; 2 = Tiszabábolna; 3 = Háros; 4 = Nagytétény; 5 = Solt. Cu = réz; Cd = kadmium; Zn = cink; Pb = ólom; Co = kobalt

T/T_x diagram for natural levee sites (the line of willow grove for Tiszasüly transect). – 1 = Tiszasüly; 2 = Tiszabábolna; 3 = Háros; 4 = Nagytétény; 5 = Solt. Cu = copper; Cd = cadmium; Zn = zinc; Pb = lead; Co = cobalt

res koncentrációban van jelen. A tiszasülyi bokorfüzesek vonalában a legmagasabb koncentrációk hasonlóan aránylanak a legalacsonyabbakhoz, mint a tiszabábolnai folyóhátan. A második és a harmadik legmagasabb koncentrációknak a legalacsonyabb koncentrációkhoz viszonyított aránya viszont már a tiszasülyi bokorfüzeseknél magasabb, mint a tiszabábolnai és a sülyi folyóhátakon. Ezzel ellentétben a hárosi és a nagytétényi folyóhátakon a maximális rézkoncentrációk alig több mint másfélszerese a minimális értékekhez képest. A második legmagasabb koncentrációnál a különbség már csak 25% körüli. Ehhez hasonló, 21% körüli a harmadik legmagasabb koncentrációnak az aránya. Ezekben a transzektokban a rézen kívül a kadmium, a cink és az ólom is hasonló lefutást mutat.

A folyóhát mögötti hullámtéren a szennyezőanyagok közötti koncentráció megoszlások megváltoznak (14. ábra), úgy, hogy a mintákon belül a maximális és minimális koncentrációk közötti különbség megnő. A többi transzektől eltérően a solti hullámtéren a mintán belüli inhomogenitás nemcsak a koncentráció tartomány nagyságában mutatkozik meg, hanem abban is, hogy kevesebb szennyezőanyaghoz kapcsolódnak a magasabb koncentrációk, mint a többi mintavételi pontban.

Felmerülhet a kérdés, hogy a frakcionált minták középértékei mennyire esnek egybe az eredeti átlagmintákkal. Ennek jellemzésére az átlagminták koncentrációinak és a frakcionált minták mediánjainak hányadosát (*AVM*) használtuk (5. táblázat). Az *AVM* értékek eloszlása tekintetében a transzektéken belül és a két folyó között is van különbség. A Tiszai mintáknál az *AVM* a parttól távolodva általában nő (igaz Tiszabábolnátnál a folyóhátan mutatkoznak a minimális értékek), azaz a hullámtéren



14. ábra. Folyóhátakról mögötti hullámtérről gyűjtött minták T/T_x diagramja. – A jelmagyarázatot l. a 13. ábránál

T/T_x diagram for floodplain sites. – For the legend see Figure 13.

5. táblázat. Az AVM index értékek megoszlása

Minta	Cu	Cd	Zn	Pb	Co
Ts 1	1,034	1,124	1,032	1,001	0,804
Ts 2	1,130	1,360	1,036	1,007	0,958
Ts 3	1,139	1,301	1,114	1,118	1,357
Tb 1	1,017	0,704	0,981	0,997	0,948
Tb 2	0,777	1,073	0,919	0,919	1,190
Tb 3	1,545	1,957	1,063	1,062	0,873
H 1	1,432	1,386	1,385	1,356	1,367
H 2	1,072	1,033	1,038	1,019	1,019
H 3	1,048	1,014	0,991	0,999	1,000
H 4	1,123	1,087	1,063	1,056	1,073
T 1	1,566	1,488	1,493	1,496	1,476
T 2	1,065	1,028	1,000	1,006	0,990
T 3	1,034	0,998	0,970	0,970	1,036
T 4	1,138	1,099	1,103	1,079	1,180
T 5	1,048	1,013	1,015	0,966	1,000
S 1	1,596	1,538	1,500	1,586	1,522
S 2	0,859	0,832	0,828	0,818	0,820
S 3	0,891	0,862	0,872	0,851	1,169
S 4	0,892	0,861	0,863	0,854	1,159

ken az átlagmintákban magasabb koncentrációk vannak, mint a frakcionált minták mediánja. A dunai hullámtereken ennek épp az ellenkezője figyelhető meg. Ezen túl a dunai mintáknál a folyóhátak AVM-jei a hullámtéri értékekhez hasonlatosak.

Sok esetben önmagukban a nehézfémek eloszlásánál többet mond a kémiai-
lag rokon elemek egymáshoz viszonyított arányainak változása. E munkában mind-
össze öt elemet mértünk, így e párok közül a Zn/Cd hányadosok eloszlását vizsgál-
hattuk. A dunai és a tiszai transzettek és a minták között a Zn/Cd arányok (6. táb-
lázat) tekintetében alapvető különbségek vannak. A Tisza hullámterein a mintákon és
a transzettekben belül is jelentős inhomogenitást tapasztalhattunk. A mintán belüli in-
homogenitás egyúttal azt jelenti, hogy az átlagmintákra jellemző Zn/Cd arányok a frak-
cionált mintákban tapasztalható arányoktól. Ez a különbözőség arra utal, hogy az el-
térő szemcseméretűek más-más eredetűek. Ebben az esetben felmerül a kérdés, hogy
vajon az átlagminta Zn/Cd értékei használhatóak-e egyáltalán? A Duna hullámterein
gyűjtött minták a Tiszával ellentétben homogénnek mutatkoztak. A Háros-szigeten
nemcsak a szemcsefrakciók között, de még a transzecten belül sincsenek különbö-
zőségek. A nagy-tétényi transzекtnél a kadmium aránya a cinkhez képest a folyótól
távolodva nő, a solti transzект mentén viszont csökken. A változás mértéke a tiszai-
aknak csak a töredéke (20 és 30%).

A nem azonos mállásfolyamat során szabaddá váló elemeket általában nem
szokták aránypárként vizsgálni. Jelen esetben a Cu/Co arányt a Tisza esetében a
szennyezőként jelen levő elem és egy nem szennyezőként jelen levő nehézfém ará-
nyaként kívántuk alkalmazni. A Cu/Co arányoknak (7. táblázat) a várakozásaink sze-

6. táblázat. A transzettek mentén gyűjtött felszíni minták cink/kadmium arányai

Minta	<0,005	0,005–0,01	0,01–0,02	0,02–0,05	<0,05	AVG
	mm					
Ts 1	263,0	114,0	150,0	185,4	146,3	160,0
Ts 2	215,4	84,8	130,7	188,0	81,7	135,9
Ts 3	85,3	102,7	195,4	210,3	101,6	175,3
Tb 1	6275,0	377,5	300,0	376,9	320,0	526,0
Tb 2	20750,0	187,6	84,0	173,8	153,2	160,5
Tb 3	57,6	60,3	228,3	129,4	107,7	94,4
H 1	166,3	165,9	166,3	165,4	169,8	166,2
H 2	153,5	157,1	152,6	157,7	152,8	153,5
H 3	156,0	152,4	149,9	155,6	151,0	152,1
H 4	153,2	156,0	160,5	159,1	160,1	156,6
T 1	167,9	168,5	173,2	178,4	177,6	173,8
T 2	144,0	140,9	144,3	142,0	143,3	140,4
T 3	129,9	128,7	134,4	130,7	132,9	130,6
T 4	134,5	125,4	130,0	132,0	131,8	130,6
T 5	136,8	136,1	134,4	135,3	135,3	134,7
S 1	195,8	190,7	193,7	192,8	191,3	188,9
S 2	259,7	267,4	263,1	263,4	270,6	262,0
S 3	261,2	264,9	257,6	260,5	259,2	260,6
S 4	256,1	251,6	250,4	248,6	259,5	251,0

7. táblázat. A transzettek mentén gyűjtött felszíni minták réz/kobalt arányai

Minta	<0,005	0,005–0,01	0,01–0,02	0,02–0,05	<0,05	AVG
	mm					
Ts 1	2,1	2,9	3,4	3,9	4,4	3,9
Ts 2	2,0	5,7	7,6	8,0	3,1	6,7
Ts 3	2,1	7,8	9,8	10,5	2,6	6,9
Tb 1	4,3	4,8	7,6	9,0	8,0	7,2
Tb 2	1,9	7,0	11,5	13,3	4,9	6,5
Tb 3	3,3	4,6	2,4	3,4	3,0	4,5
H 1	5,1	5,0	5,1	5,1	5,0	5,3
H 2	4,4	4,6	4,3	4,2	4,5	4,7
H 3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,5
H 4	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,5
T 1	4,7	4,6	4,6	4,8	4,7	4,9
T 2	4,8	2,4	6,4	5,8	4,0	4,8
T 3	3,8	1,8	4,9	5,9	4,6	3,2
T 4	1,7	1,5	3,4	6,4	8,3	3,2
T 5	1,6	1,8	3,2	9,5	10,9	3,3
S 1	4,8	4,8	4,9	4,9	4,9	5,1
S 2	4,9	4,9	4,9	5,0	4,9	5,1
S 3	14,0	11,0	6,9	2,9	1,4	5,2
S 4	5,6	5,9	7,1	7,3	5,2	5,5

rint igen nagy szórást kellett volna mutatni. Ezzel ellentétben a tiszai mintákban és transzektben a Cu/Co hányadosok szórása kisebb, mint a Zn/Cd arányoké. A várakozásokkal némi ellentétben ez az arány a Duna menti hullámtereken is alacsony szórást mutatott. A hárosi transzektben és mintákban a mintán és a transzektben belül is a különbségek 10–15% körül maradtak. Az átlagmintákat tekintve a solti transzekt mentén a hárosi transzekthez hasonlóan csekély különbségeket tapasztaltunk, de a mintákon belüli inhomogenitás viszont jelentősen megnőtt.

Következtetések

Tudatában vagyunk annak, hogy öt transzekt még oly alapos vizsgálatából sem lehet általános érvényű következtetéseket levonni. Ennek ellenére az öt különböző helyzetű transzekt mentén gyűjtött minták mégis több tanulsággal szolgálnak. Bár minden transzekt mederfali pontjában a homok frakció dominált, ez a közép-tiszai mederfalakban jóval hangsúlyosabb volt a dunai pontokhoz képest. A folyóhátakon a homokfrakció aránya minden esetben 30% körülire esett, míg a tiszasülyi kontrollnál a bokorfüzeseknél még mindig 40% feletti, azaz a bokorfüzesek frakcionáló hatékonysága önmagában 30%-kal alacsonyabb, mintha ebben a folyóhát megléte is közre játszana. Szintén hasonló kapcsolatot fedezhetünk fel az 5 µm alatti frakció arányának a megléte és a folyóhát jelenléte között.

A folyóhátak megléte esetén ennek a frakciónak az aránya a hullámtereken 20–30% között mozog, esetenként azonban ennél magasabb is lehet. Amennyiben a folyóhát nem fejlődött ki a parton, ill. azon természetes (vagy mesterséges) átvágás van, akkor a növényzet szűrő szerepe ezt csak 10–15% körüli arányra képes emelni. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy bár a cserjeszintben dús kifejlődésű puhafa ligetek jelentősen lelassítják az áradó víz sebességét, a finom frakció kiszűrésében mégis jóval alárendeltebb szerepet játszik, mint a partprofil és a hullámtéri domborzat.

A folyópart alakjának szerepe van a hullámtereken kiüledő nehézfémek horizontális eloszlására. Egyes források arról tanúskodnak, hogy a parttól távolodva alig tapasztalható különbségek a lerakott üledékek nehézfém tartalmában (MARTIN, C.W. 1997, 2000). A Maros hazai szakaszán KISS T.–SIPOS Gy. (2002) a folyóhátak mögötti szűk sávban mérte a legmagasabb koncentrációkat. A meder és hullámtéri üledékekben a nehézfémeknek ez utóbbi eloszlását – teljesen más jellegű vízfolyások példáján – mások is leírták (HUDSON-EDWARDS, K.A. et al. 2001). Mi ezekkel az eredményekkel ellentétben ettől eltérő eloszlást tapasztaltunk két jelentősen eltérő vízhozamú és különböző eredetű hordalékot szállító folyó, a Duna és a Tisza mentén egyaránt. A BRINKMANN, W.L.F. (1989), MILLER J.R. (1997) és MACKLIN, M.G. (1996) által különböző hullámterekről leírtakhoz hasonlóan a folyóhátakon tapasztaltuk a legmagasabb nehézfém-koncentrációkat. Ezeknek a transzektben belüli eloszlására azonban nemcsak a part alakja van hatással. Amíg a domború partoldalról induló hárosi transzektben az összes vizsgált elem hasonló koncentrációkban volt jelen az összes mintavételi pontban, addig az attól

másfél km-re levő egyenes partoldalról induló nagytétnyi transzekt esetében a vizsgált elemek a transzekt mentén jellegzetes eloszlást mutattak.

Sajnos, a transzektnek alacsony számnak köszönhetően ismétléssel nem tudtuk igazolni, de felállítható egy olyan munkahipotézis, amely szerint a domború partokon a nehézfémek eloszlása a hullámtereken nemcsak a partok alakjától (valamint a vízhozamtól és a hordaléksűrűségtől), hanem a part lefutásától is függ: a domború partokon ez az eloszlás homogénebb, az egyenes és a homorú partokon (amennyiben nem szakadó partról van szó) az inhomogenitás nő.

Ha a mintáinkat szemcsefrakciónként szétválasztjuk, a szétválasztott tartományokban egymástól eltérő nehézfém-koncentrációk mérhetők. Korábbi szakirodalmi adatok szerint (MACKLIN, M.G.–DOWSETT, R.B. 1989; DAWSON, E.J.–MACKLIN, M.G. 1998) a folyásirányban lefelé inkább a finomabb, felfelé inkább a durvább tartományban tapasztalhatók magasabb értékek. Ennek némileg ellentmond KISS T.–SIPOS GY. (2002), akik feltételezik, hogy a finomabb frakciókhoz egyúttal magasabb nehézfém koncentrációk is tartoznak. Ez utóbbi megállapítást annak ellenére nem sikerült sem a Duna, sem pedig a Tisza menti hullámtereken igazolni, hogy a két folyó mentén kiüledett üledékek nehézfém-tartalma teljesen más eredetű. Azaz sem a Duna, sem a Tisza hullámterein nem feltétlenül a legkisebb szemcseméretre kötődnek a legmagasabb nehézfém-koncentrációk.

A Duna és a Tisza menti hullámterekre igaznak bizonyult, hogy a vizsgált fémek koncentrációinak változása nem volt összhangban a szemcsetartományok arányainak változásával. A tiszasülyi és a tiszabábolnai mederoldalakban lényegében az összes vizsgált elem – a homok frakciótól eltekintve – az összes tartományban hasonló koncentrációban volt jelen, míg a homokban ezeknél jóval alacsonyabb koncentrációkat mérhettünk. A BIRD, G. et al. (2003) által 2000-ben a Tisza (és a Szamos) mederben a (Nagybányától Szegedig) gyűjtött minták közül a tiszabábolnai és tiszasülyi mintákban a 63 mm-nél finomabb tartományban magasabb értékeket mértek. Az eltérés a réz, a kadmium, az ólom és a cink esetében a tiszasülyi mintáknál jelentős.

A Budapest alatti hullámtereken a domború partról induló transzektben jóval kisebb mértékű a nehézfémek frakcionációja, mint az egyenes partról induló transzekt mentén. E mellett mindkét transzektre igaz, hogy a folyóhátaktól a hullámter irányában a maximális koncentrációk inkább az 50 mm feletti tartomány helyett a 20–50 mm közötti tartományban mutatkoznak. Ettől 80 km-re D-re a partoldalban megmarad a durvább frakciókban mérhető koncentráció maximum, a hullámtereken viszont MACKLIN, M.G.–DOWSETT, R.B. (1989) által leírtakkal egyezően ez a 10 mm alatti tartományokba tolódik. A Tisza mentén ugyanez a finomabb frakcióba való eltolódás nem volt megfigyelhető.

A Zn/Cd arányok a szennyezett mintákban, a szemcsefrakciók közötti nagy eltérések miatt nem jellemzik az átlagmintákat. A szennyezések jellemzésére a nem szennyezők és szennyezők aránypárjai sem szolgáltak többlet információval.

A folyóhátak megléte vagy hiánya elsősorban a 2000. évi tiszaihoz hasonló események, vagyis az árvizek idején lebegtetett hordalék formájában levonuló

szennyezés esetén játszik szerepet. A folyóhát megléte a hullámtereken erőteljesebb mértékben tolja el a koncentrációmaximumokat a finomabb tartományok irányában. A folyóhátak ezen túl az elemekre jellemző T/T_x görbéket is eltolják, ami azt jelzi, hogy a szennyezőknek a szemcsefrakciók közötti eloszlása inhomogénebbé válik.

Igazolódott, hogy a vizsgált elemek közül a Tisza hullámterein természetes koncentrációkban csak a kobalt van jelen. Ezzel ellentétben a Duna mentén az összes vizsgált elem a geokémiai háttérnek megfelelő mennyiségben van a hullámtéri üledékekben. Meg kell jegyezni, hogy a dunai hullámtereken a keményfaligetek és a nagyobb lombkorona borítású fehér nyárasok alatt ezeknek a koncentrációknak (a kadmium, a réz, az ólom és a cink tekintetében) több mint a két-háromszorosa is jelen lehet, ami arra utal, hogy a nagyvárosok és ipari létesítmények környezetében levegő szálló és ülepedő portartalmának is jelentős hatása van az öntetalajok nehézfémkoncentrációira (SZALAI Z. 1998).

Összességében elmondhatjuk, hogy a Duna és a Tisza között ugyan jelentős különbségeket fedezhetünk fel az általuk lerakott üledékek szemcseösszetétele, nehézfém tartalma és azok eloszlása között, de az általuk lerakott üledékek nehézfém tartalmának hullámtéri frakcionációját okozó folyamatok hasonló irányba mutatnak. E folyamatok jellegét pedig elsődlegesen a folyóhátak megléte határozza meg, amire a part lefutása lehet még jelentős hatással. A part lefutásának az üledék-frakcionációra gyakorolt hatását illetően tett felvetéseinket munkahipotézisnek kell tekinteni.

IRODALOM

- BARGAGLI, R. 1998. Trace elements in terrestrial plants. An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. – Springer, New York. 324 p.
- BIRD, G.–BREWER, P.–MACKLIN, M.G.–BALTEANU, D.–DRIGA, B.–SERBAN, M.–ZAHAIRA S. 2003. Solid state partitioning of contaminant metals and as in river sediments of the mining affected Tisa drainage basin, NW Romania and E Hungary. – *Applied Geochemistry* 50. pp. 1583–1595.
- BRIDGE, J.S. 2003. Rivers and floodplains. – Blackwell, Oxford. 486 p.
- BRINKMANN, W.L.F. 1989. Geo-Ecologic Environment of a River Main Floodplain Sediment Profile: A Micro Scale Study. – *GeoJournal* 19. pp. 15–26.
- BUTZER, K.W. 1986. A földfelszín formakincse. – Gondolat Kiadó, Bp. 519 p.
- DAWSON, E.J.–MACKLIN, M.G. 1998. Speciation of heavy metals in floodplain and flood sediments: a reconnaissance survey of the Aire Valley, West Yorkshire, UK. – *Environmental Geochemistry and Health*, 20. 2. pp. 67–76.
- GÁBRIS GY. 2003. Övzátony vagy parti hát? – *Földr. Közl.* 51. 1–4. pp. 178–184.
- GÁBRIS GY.–TELBI SZ T.–NAGY B.–BELARDINELLI, E. 2002. A tiszai hullámtér feltöltődésének kérdése és az üledékképződés geomorfológiai alapjai. – *Vízügyi Közlemények* 84. 3. pp. 305–317.
- GERGELY A. 1996. A Háros-sziget botanikai értékei. – In: SIMON T. (szerk.): *Természeti kincsek Dél-Budán.* – Cserépfalvi Kiadó, Bp. pp. 52–69.
- HUDSON-EDWARDS, K.A.–MACKLIN, M.G.–MILLER, J.R.–LECHLER, P.J. 2001. Sources, distribution and storage of heavy metals in the Río Pilcomayo, Bolivia. – *Journal of Geochemical Exploration* 72. pp. 229–250.
- JAKUCS L. 1995. *Természetföldrajz II. A Föld külső erői.* – Mozaik, Szeged. 302 p.

- KABATA-PENDIAS, A.–PENDIAS, H. 2001. Trace elements in soils and plants. – CRC Press. Boca Raton. 413 p.
- KISS T.–SIPOS GY. 2001. A morfológia és a nehézfém-tartalom kapcsolatának vizsgálata a Maros medrében és hullámsíkján. – In: ILYÉS Z.–KEMÉNYFI R. (szerk.): A táj megértése felé. Tanulmányok a 75 éves Pinczés Zoltán professzor tiszteletére. Debreceni Egyetem Néprajzi Tanszék–Eszterházy Károly Főiskola Földrajz Tanszék, Debrecen–Eger, pp. 63–81.
- MACKLIN, M.G. 1996. Fluxes and storage of sediment-associated metals in floodplain systems: assessment and river basin management issues at a time of rapid environmental change. – In: ANDERSON, M.G.–WALLING, D.E.–BATES, P. (eds): Floodplain Processes. Wiley, Chichester, pp. 441–460.
- MACKLIN, M.G.–DOWSETT, R.B. 1989. The chemical and physical speciation of trace metals in fine grained overbank flood sediments in the Tyne basin, north-east England. – *Catena* 16. pp. 135–151.
- MARTIN, C.W. 1997. Heavy metal concentrations in floodplain surface soils, Lahn River Germany. – *Environmental Geology* 30. pp. 119–125.
- MARTIN, C.W. 2000. Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany. – *Catena* 39. pp. 53–68.
- MILLER J.R. 1997. The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. – *Journal of Geochemical Exploration* 68. pp. 101–118.
- NAGY I.–SCHWEITZER F.–ALFÖLDI L. 2001. A hullámtéri hordalék-leakódás (övezet). – *Vízügyi Közlemények* 83. 4. pp. 539–564.
- SCHWEITZER F. 2001. A magyarországi folyószabályozások geomorfológiai vonatkozásai. Folyóink hullámterének fejlődése, kapcsolatuk az árvizekkel és az árvízvédelmi töltésekkel. – *Földr. Ért.* 50. pp. 63–72.
- SIPOS, P. 2003. Distribution of Cu, Ni, Pb and Zn in forest soil profiles from the Cserhát Mts., NE Hungary. – *Acta Mineralogica Petrographica* 44. pp. 43–50.
- SIPOS, P. 2004. Geological and pedogenic effects on heavy metal distributions in forest soils from the Cserhát Mts. and the Karancs area, NE Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* 47. 4. pp. 411–429.
- SMART, R.P.–SOULSBY, C.–CRESSER, M.S.–WADE, A.J.–TOWNEND, J.–BILLETT, M.F.–LANGAN, S. 2001. Riparian zone influence on stream water chemistry at different spatial scales: a GIS-based modelling approach, an example for the Dee, NE Scotland. – *The Science of the Total Environment* 280. pp. 173–193.
- SZABÓ GY. 1996. Nehézfémek a talajban. – *Földr. Közl.* 120. (44.) 4. pp. 253–266.
- SZABÓ, GY. 1997. Heavy metals in soils and plants – *Acta Geographica Debrecina* 34. pp. 355–364.
- SZABÓ, GY. 2001. Role of Land Use in Spatial Distribution of Heavy Metals – *Papers of the 4th Moravian Geographical Conference CONGEO'01, Tisnov, Czech Republic* 10–14. pp. 136–140.
- SZALAI Z. 1998. Nehézfémek teljes üledésének meghatározási lehetőségei talaj- és növényminták analízisének segítségével (Budapest, Háros-sziget mintaterület példáján). – *Földr. Ért.* 47. 4. pp. 515–523.
- SZALAI Z. 2002. Nehézfém-szennyezések folyóvizeinkben. – In: KARÁTSON D. (főszerk.): Magyarország földje: kitekintéssel a Kárpát-medence egészére. Magyar Könyvklub, Bp. pp. 519–521.