

Monitorovanie riečnych sedimentov na Slovensku

JOZEF KORDÍK, IGOR SLANINKA a DUŠAN BODIŠ

Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Monitoring of stream sediments in Slovakia

Paper presents results of the stream sediment monitoring program in the Slovak Republic implemented from 1996. The monitoring has been established within the framework of the project "Partial Monitoring System – Geological Factors," aiming to obtain background information on abiotic component of natural environment. Stream sediment monitoring is carried out yearly on a national network of 48 locations throughout Slovakia. Natural geological conditions govern the origin of elements with the very stable contents. On the other hand, a high spatial and temporal variability of element concentrations is usually put down to both natural geological conditions and/or anthropogenic contamination. Contamination pattern of monitored stream sediments does not vary significantly within 16 years monitoring period. Good stream sediment quality and rare presence of pollutants are typical for the most of the main Slovak rivers. Anomalies with contaminated sites have been observed in Štiavnica, Hnilec and Hornád river basins. They are partly caused by natural background conditions (occurrence of ore deposits), where migration of contaminants into sediments is forced due to intensive mining and industrial activities in the past. Very serious anthropogenic pollution permanently occurs in the Nitra river basin.

Key words: stream sediment, quality, chemical composition, monitoring, Slovakia

Úvod

Riečny sediment tvoria častice odvodené z hornín alebo biologických materiálov znosovej oblasti, ktoré boli transportované kvapalnou fázou alebo pevnou, resp. suspendovanou fázou (anorganický a organický sestón), usadzovanou z vody (Bodiš et al., 1999). Riečny sediment odráža geochemický charakter pôd, hornín a produktov ich zvetrávania v povodí a charakterizuje tiež samotný vodný tok. Význam štúdia riečnych sedimentov v posledných desaťročiach vzrástol, pretože ich vlastnosti a genéza umožňujú robiť dôležité závery v rámci prospektorských, geochemických aj environmentálnych hodnotení. Príkladom hodnotenia riečnych sedimentov z pohľadu environmentálnych záujmov sú práce Förstnera a Wittmanna (1979) a Borovca et al. (1993) a z prospektorského a geochemického pohľadu Meyera et al. (1979), Barneta et al. (1986), Planta a Halea (1994) a iné.

Na Slovensku bolo formovanie chemického zloženia riečnych sedimentov pred rokom 1990 prediskutované zriedka, a to predovšetkým z dôvodu nedostatku primárnych údajov. Najkomplexnejšie sú chemické zloženie a kvalita riečnych sedimentov prezentované v geochemickom atlase riečnych sedimentov (Bodiš et al., 1999), ktorý je mapovým zobrazením distribúcie chemických prvkov v rámci celého Slovenska a bol zostavovaný v rokoch 1991 – 1999 (spolu bolo odobratých viac ako 25 000 vzoriek). Riečnym, ale predovšetkým dnovým sedimentom v poslednom období venovali pozornosť viacerí autori z VÚVH, SVP, š. p., a SHMÚ (napr. Döményová a Takáčová, 2005; Metelková et al., 2004; Valúchová

et al., 2002, 2004, 2005; Hucko, 2005a, b; Sirotiak, 2005; Pliešovská et al., 1999; Brehuv et al., 2004a, b; Brehuv et al., 2005; Weigeltová, 2003; Hucko a Pišoft, 2000; Matok a Hucko, 2001; Hucko et al., 2001). V súčasnosti je štúdium a interpretácia výsledkov chemického zloženia a kvality riečnych sedimentov systematicky vykonávané v rámci projektu monitorovania geologických faktorov životného prostredia realizovaného v ŠGÚDŠ (Klukanová et al., 2006; Iglárová et al., 2011). Čiastkový monitorovací systém (ČMS) Geologické faktory tvorí neodmysliteľnú súčasť národnej environmentálnej monitorovacej siete a je zameraný hlavne na tzv. geologické hazardy, t. j. škodlivé prírodné alebo antropogénne geologické procesy ohrozujúce prírodné prostredie a v konečnom dôsledku človeka. V rámci tohto monitorovacieho programu je od roku 1996 sledované aj chemické zloženie a kvalita riečnych sedimentov (monitorovací subsystém 07), ktorého výsledky sú predmetom tohto príspevku.

Cieľom monitorovacieho subsystému je identifikácia časových zmien a priestorových rozdielov obsahu vybraných prvkov v riečnom sedimente hlavných tokov Slovenska, a to vplyvom primárnych (geogénnych), ako aj antropogénnych podmienok. Monitorovaciu sieť riečnych sedimentov predstavuje v súčasnosti 48 odberových miest (obr. 1), pričom pri ich výbere boli zohľadnené najmä:

- kritérium ekologickej účelnosti (t. j. situovanie odberových miest v oblastiach s predpokladaným antropogénnym zaťažením, ako aj v oblastiach s rozhodujúcim vplyvom prírodných faktorov na chemické zloženie stanovovaných parametrov),
- regionálny charakter monitorovacej siete (odberové

miesta charakterizujú približne každý 70. km významného toku v hlavných povodiach Slovenska),

- situovanie odberov v miestach národného monitoringu kvality povrchových vôd Slovenska, ktorý je realizovaný Výskumným ústavom vodného hospodárstva (VÚVH) a Slovenským vodohospodárskym podnikom, š. p. (SVP, š. p.).

Analyzovaná asociácia prvkov predstavuje hlavné (Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn) a stopové (Cr, Cu, Al, Zn, Hg, Co, As, Cd, Ni, Se, Pb, Sb) prvky. Po optimalizácii podmienok monitorovania sú od roku 2011 vo vybraných lokalitách sledované aj vybrané organické látky a rozšírená asociácia stopových prvkov.

Metodika

Vzorkovanie, frekvencia a laboratórne spracovanie

Riečny sediment na účely monitoringu reprezentuje jemnozrnný materiál transportovaný tečúcou vodou. Odber vzorky je raz ročne realizovaný metódou tzv. asociačnej vzorky pozdĺž brehu povrchového toku (zvyčajne do 20 m), a to v miestach, kde hydrodynamické podmienky umožňujú ukladanie jemnozrnných sedimentov. Vzorky sú odoberané do obalov z PVC materiálu. Hmotnosť odoberanej vzorky je okolo 2 kg. Úprava odobratých asociačných vzoriek je najskôr realizovaná sušením pri laboratórnej teplote a následným sitovaním pod frakciu 0,125 mm. Vzorky sú analyzované na celkový (totálny) obsah vybraných prvkov a prevedené do roztoku kompletným rozkladom. Analytické práce boli do roku 2005 realizované v laboratóriu ŠGÚDŠ v Bratislave a od roku 2006 sú realizované v akreditovanom laboratóriu GAL ŠGÚDŠ, Regionálne centrum Spišská Nová Ves. V tab. 1 a tab. 2 sú zhrnuté použité analytické metódy stanovovania jednotlivých parametrov, rozsah stanovení a neistoty meraní pri danom rozsahu stanovovania v GAL ŠGÚDŠ Spišská Nová Ves.

Spracovanie údajov a interpretácia výsledkov

Prezentácia výsledkov monitoringu riečnych sedimentov je vzhľadom na zložitosť podmienok tvorby sedimentu a dynamické prejavy (zvetrávanie, sedimentácia, migrácia látok) interpretačne náročná. Interpretácia výsledkov zohľadňuje predovšetkým **aplikáciu štatistickej analýzy** (popisné štatistické parametre, časová a priestorová variabilita) a **legislatívny prístup**.

Časová **variabilita** v zásade vyjadruje stabilitu obsahu prvku v sedimente v jednotlivých lokalitách počas monitorovacieho obdobia. Je hodnotená prostredníctvom variačného koeficientu v_c , ktorého výpočet je založený na percentuálnom vyjadrení pomeru hodnoty štandardnej odchýlky k hodnote aritmetického priemeru pre každý sledovaný parameter a každú monitorovanú lokalitu:

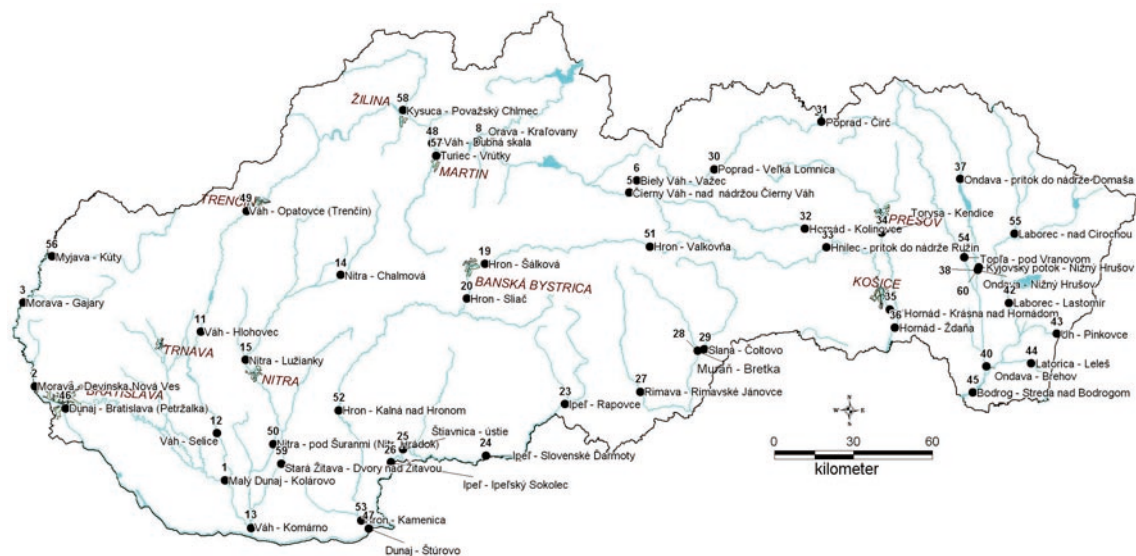
$$v_c = \frac{S_{ij}}{\bar{x}_j} \cdot 100 \quad [\%], \text{ kde:}$$

S_{ij} smerodajná odchýlka i-prvku v j-lokalite,

$\bar{x}_j$ aritmetický priemer i-prvku v j-lokalite.

Podobne je formou variačného koeficientu riešená aj priestorová variabilita (distribúcia) prvku. Charakterizuje ju vzťah vyjadrujúci pomer smerodajnej odchýlky k hodnote aritmetického priemeru všetkých meraní sledovaného prvku (ukazovateľa):

$$v_p = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \quad [\%]$$



Obr. 1. Lokalizácia monitorovaných odberových miest riečnych sedimentov.

Fig. 1. Monitoring sites of stream sediments.

Tab. 1
Analyzovaná asociácia prvkov a použité laboratórne techniky
Analysed parameters and laboratory techniques used

Zavedená metóda		Ostatné špecifikácie	
Parameter	Druh	Rozsah	Neistota
As, Bi, Se, Sb	AAS	(0,1 – 1) mg/kg (1 – 10) mg/kg (10 – 1 000) mg/kg	25 % 15 % 8 %
As		(0,02 – 0,1) % (0,1 – 1) % (1 – 10) %	25 % 15 % 8 %
Sb		(0,0015 – 0,1) % (0,1 – 1) % (1 – 10) %	25 % 10 % 5 %
Cd		(0,1 – 5) mg/kg (5 – 50) mg/kg (50 – 5 · 10 ³) mg/kg	20 % 10 % 5 %
Cu		(1 – 10) mg/kg (10 – 100) mg/kg (100 – 10 · 10 ³) mg/kg	20 % 10 % 5 %
Ni, Co		(3 – 10) mg/kg (10 – 100) mg/kg (100 – 10 · 10 ³) mg/kg	20 % 10 % 5 %
Pb		(5 – 25) mg/kg (25 – 100) mg/kg (100 – 10 · 10 ³) mg/kg	25 % 10 % 5 %
Zn		(0,5 – 10) mg/kg (10 – 100) mg/kg (100 – 10 · 10 ³) mg/kg	20 % 10 % 5 %
Hg		(0,01 – 0,1) mg/kg (0,1 – 1) mg/kg (1 – 1 000) mg/kg	15 % 10 % 5 %
Cr	AES-ICP	(5 – 25) mg/kg (25 – 100) mg/kg (100 – 5 000) mg/kg	20 % 15 % 10 %
V		(5 – 25) mg/kg (25 – 100) mg/kg (100 – 5 000) mg/kg	20 % 15 % 10 %
Mo		(0,2 – 2) mg/kg (2 – 25) mg/kg	30 % 13 %
As	RFS	(2 – 10) mg/kg (10 – 50) mg/kg (50 – 2 000) mg/kg	30 % 10 % 5 %
Ba		(10 – 100) mg/kg (100 – 2 000) mg/kg	10 % 5 %
Cd		(2 – 10) mg/kg (10 – 50) mg/kg (50 – 200) mg/kg	20 % 10 % 5 %
Cr		(5 – 50) mg/kg (50 – 500) mg/kg (500 – 900) mg/kg (900 – 15 · 10 ³) mg/kg	15 % 7,5 % 5 % 2,5 %
Cu		(5 – 50) mg/kg (50 – 3 000) mg/kg (3 000 – 60 · 10 ³) mg/kg	10 % 5 % 2,5 %
Mo		(3 – 20) mg/kg (20 – 100) mg/kg (100 – 1 000) mg/kg	10 % 5 % 2,5 %
Ni		(4 – 50) mg/kg (50 – 150) mg/kg (150 – 750) mg/kg (750 – 4 000) mg/kg	15 % 7,5 % 5 % 2,5 %
Pb		(5 – 50) mg/kg (50 – 1 000) mg/kg (1 000 – 5,5 · 10 ³) mg/kg	15 % 7,5 % 5 %
Sb		(2 – 10) mg/kg (10 – 300) mg/kg (300 – 3 · 10 ⁴) mg/kg	15 % 7,5 % 5 %
Sn		(2 – 50) mg/kg (50 – 2 000) mg/kg (2 000 – 17 · 10 ³) mg/kg	10 % 5 % 2,5 %
Sr		(5 – 25) mg/kg (25 – 600) mg/kg (600 – 1 200) mg/kg	10 % 5 % 3 %
Zn		(5 – 100) mg/kg (100 – 2 · 10 ³) mg/kg (2 · 10 ³ – 4 · 10 ⁴) mg/kg	10 % 5 % 3 %
Zr		(5 – 100) mg/kg (100 – 10 · 10 ³) mg/kg	10 % 5 %

Vysvetlivky: G – gravimetria; AAS – atómová absorpčná spektrometria; AES-ICP – atómová emisná spektrometria s indukčne viazanou plazmou; RFS – röntgenfluorescenčná spektrometria

Explanations: G – gravimetry; AAS – atomic absorption spectrometry; AES-ICP – atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma; RFS – X-ray fluorescence spectrometry

Tab. 2
Analyzovaná asociácia a použité laboratórne techniky – organické ukazovatele
Analysed parameters and used laboratory techniques – organic parameters

Parameter	Zavedená metóda	Ostatné špecifikácie	Neistota
	Druh	Rozsah	
Obsah prchavých chlórovaných alifatických a aromatických uhľovodíkov: tetrachlórmetán 1,1 dichlóretylén chloroform 1,1,2,2 tetrachlórétán	GC	(1 – 10) µg/kg (10 – 500) µg/kg	30 % 25 %
1,1 dichlóretán benzén toluén 1,2 dichlóretán 1,1,1 trichlóretán 1,2 dichlóretylén 1,1,2 trichlóretylén 1,1,2,2 tetrachlóretylén chlórbenzén 1,2 – 1,3 – 1,4 dichlórbenzény o, m, p xylén etylbenzén		(1 – 10) µg/kg (10 – 500) µg/kg	25 % 20 %
Obsah chlórovaných pesticídov: p, p' – DDD p, p' – DDE p, p' – DDT o, p – DDD o, p – DDT hexachlórbenzén Lindan (γ-BHC) α-BHC P-BHC 6-BHC		(0,01 – 50) mg/kg	25 %
Obsah chlórovaných pesticídov: isodrin heptachlór heptachlóreoxid metoxychlór endosulfán I. endosulfán II. endrin dieldrin		(0,01 – 50) mg/kg	25 %
Obsah polychlórovaných bifenylov: Delor 103 Delor 106		(0,005 – 0,1) mg/kg (0,1 – 50) mg/kg	30 % 25 %
Obsah polycyklických aromatických uhľovodíkov: acenaftylén acenaftén antracén chryzén benzo (b) fluorantén benzo (k) fluorantén benzo (a) pyrén benzo (a) antracén benzo (g,h,i) perylén fenantrén fluorantén fluorén naftalén pyrén indeno (1,2,3-cd)pyrén dibenzo (a,h) antracén		(0,01 – 2 000) mg/kg	25 %
Obsah aromatických uhľovodíkov – suma: benzén, toluén, o, m, p xylén		(1 – 1 000) µg/kg	25 %
Obsah nepolárnych extrahovateľných látok (uhľovodíkový index)		(1 – 50 000) mg/kg	25 %
Obsah extrahovateľných organicky viazaných halogénov	C	(1 – 2) mg/kg (2 – 200) mg/kg	25 % 15 %
adsorbovateľných organicky viazaných halogénov		(10 – 1 000) mg/kg	15 %

Vysvetlivky: GC – plynová chromatografia

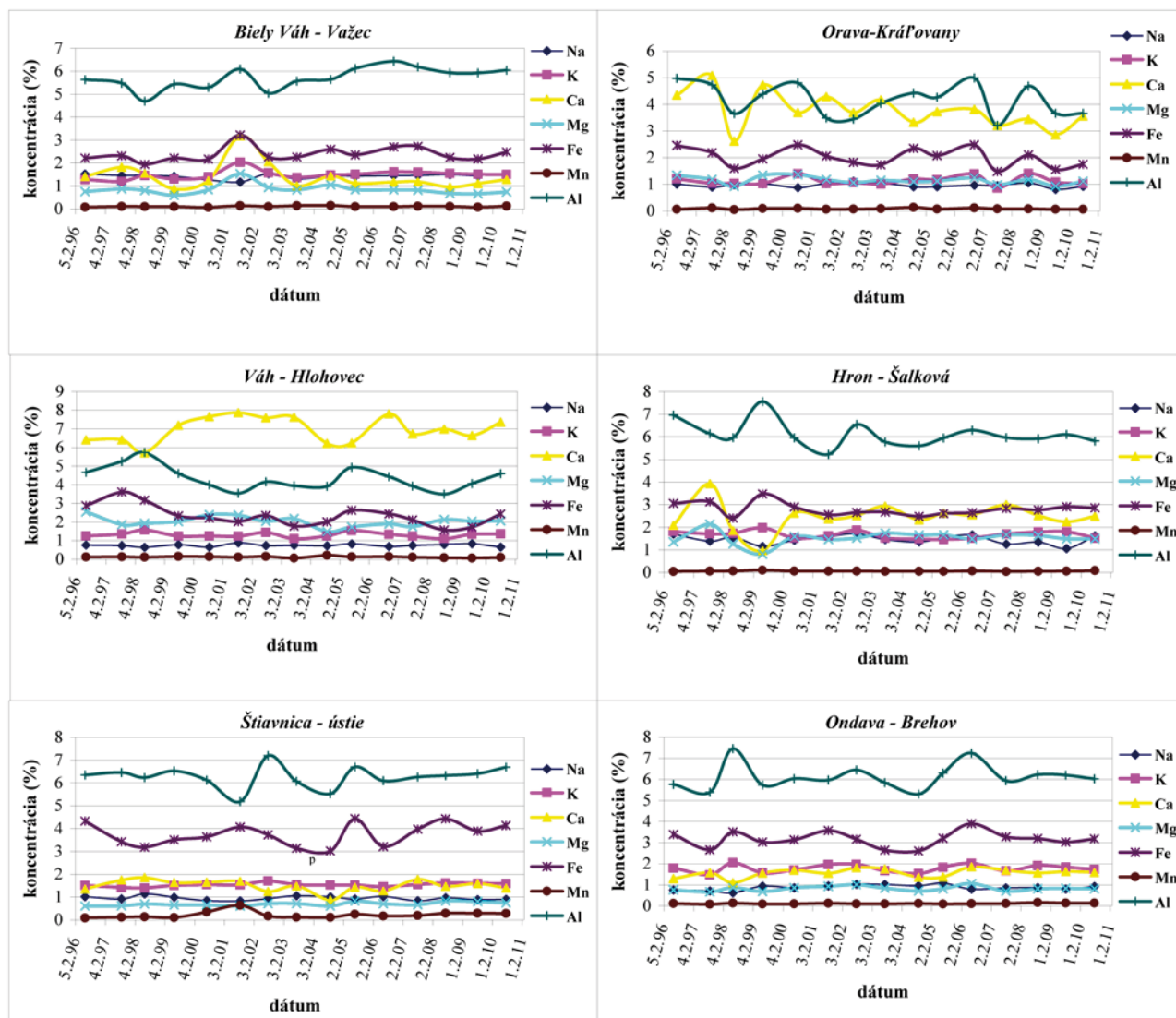
Explanation: GC – gas chromatography

Legislatívny prístup je založený na porovnaní nameraných obsahov prvkov s príslušnými limitnými koncentráciami. V súlade s odporúčaním Smernice MŽP SR č. 4/1999-3 na zostavovanie a vydávanie Geochemickej mapy riečnych sedimentov v mierke 1 : 50 000 sú na účely hodnotenia kontaminácie riečnych sedimentov v rámci monitoringu využité limitné koncentrácie platné pre pôdy (Rozhodnutie MP SR č. 531/1994 o najvyšších prípustných hodnotách škodlivých látok v pôde a o určení organizácií oprávnených zisťovať skutočné hodnoty týchto látok).

V kontexte cieľov monitorovacieho systému riečnych sedimentov je zároveň pri hodnotení ich kontaminácie uplatnený Metodický pokyn MŽP SR č. 549/98-2 na hodnotenie rizík zo znečistených sedimentov tokov a vodných nádrží (Metodický pokyn, 1998), ktorý vychádza z medzinárodne platných noriem, predpisov a postupov aplikovaných predovšetkým v krajinách EÚ a Ameriky. Princíp hodnotenia podľa metodického pokynu je založený

na prepočítaní nameraných hodnôt na tzv. štandardizovaný sediment a jeho porovnávaní s limitnými hodnotami. Štandardizovaný sediment je sediment obsahujúci po prepočte 25 % lútitovej frakcie (t. j. prachovo/íllovej frakcie so zrnitosťou zložením $<0,063$ mm) a 10 % organickej hmoty. Lútitová frakcia sedimentov sa používa z dôvodu prednostného viazania kontaminantov na túto zrnitosť frakciu sedimentov. Výsledky celkového hodnotenia sedimentov sú potom podľa účinku zloženia sedimentu na ekosystém zaradené do troch základných tried:

- bez účinku – namerané hodnoty pre každú chemickú látku či zlúčeninu sú menšie ako limitná hodnota MPC (maximálna prípustná koncentrácia) pre sušinu sedimentu,
- potenciálne riziko – namerané hodnoty aspoň pre jednu chemickú látku či zlúčeninu sú $\geq$ MPC, resp. $<$ ako IV (intervenčná hodnota),
- závažné riziko – namerané hodnoty aspoň pre jednu chemickú látku alebo zlúčeninu sú $\geq$ IV.



Obr. 2. Distribúcia prvkov so stabilným obsahom v čase vo vybraných monitorovaných lokalitách.

Fig. 2. Distribution of elements with stable contents in time at selected monitoring sites.

Výsledky

Hodnotenie chemického zloženia riečnych sedimentov

Obsah prvkov v monitorovaných sedimentoch odráža na jednej strane príslušajúce geologické prostredie znosovej oblasti, resp. hydrologicko-klimatické podmienky v príslušnej oblasti, a na druhej strane sekundárny – antropogénny, príp. antropogénno-geogénny vplyv. Základné štatistické zhodnotenie jednotlivých monitorovaných lokalít a dátového súboru ako celku prezentuje tab. 3. Variabilita koncentrácií stanovovaných parametrov je vyjadrená formou variačných koeficientov v tab. 4.

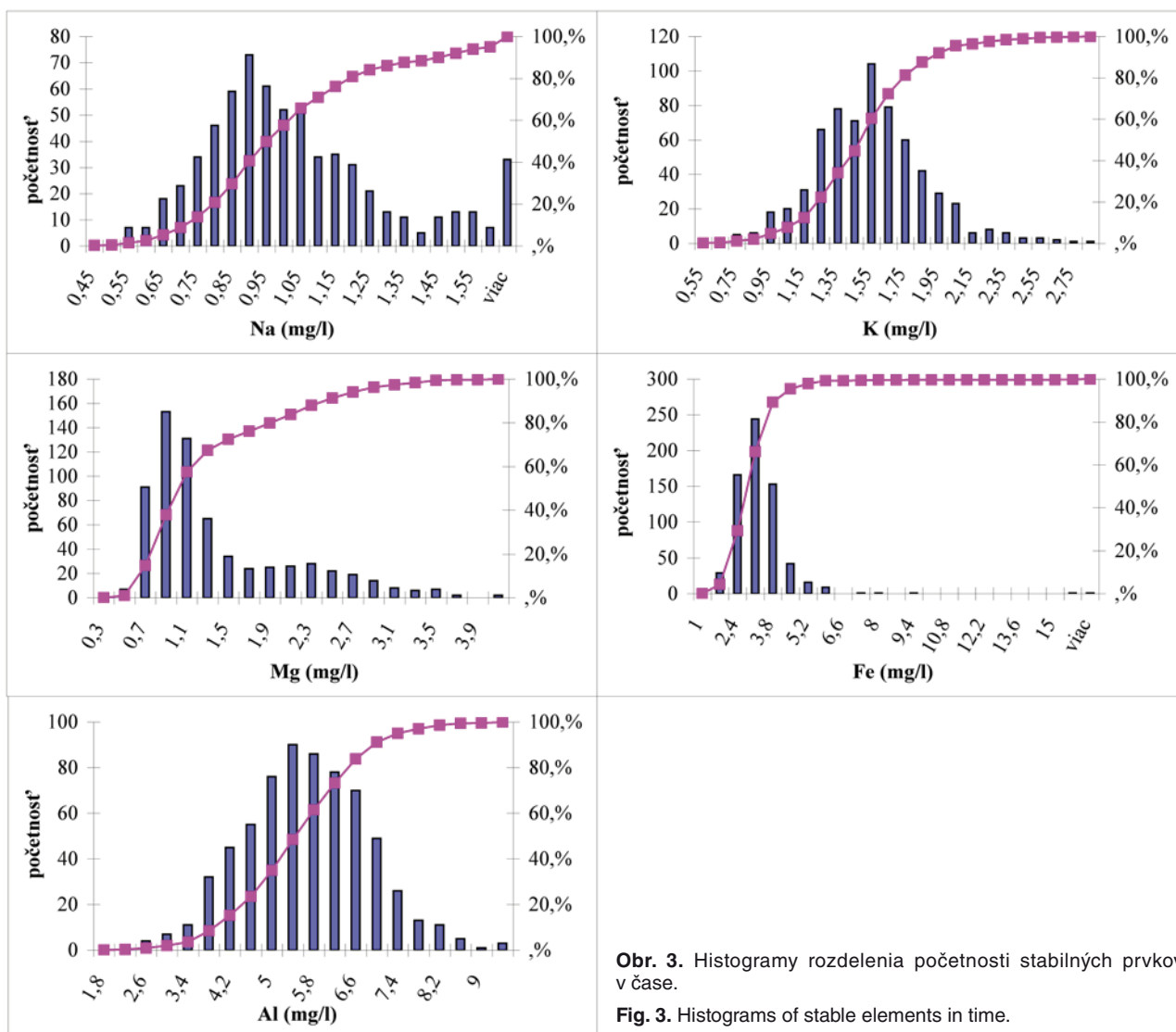
Na základe pozorovaných časových zmien v obsahu jednotlivých prvkov je možné posúdiť tzv. **stabilitu chemického zloženia** monitorovaných riečnych sedimentov, ktorá odráža predovšetkým obsah prvkov v horninovom prostredí, ich geochemické vlastnosti, klimatické podmienky v príslušnej oblasti, resp. antropogénny vplyv. Na základe variability obsahu prvkov v čase rozoznávame prvky

s výraznou a strednou stabilitou obsahu, resp. nestabilné prvky. Variabilita koncentrácií stanovovaných parametrov v jednotlivých lokalitách a celkovo je vyjadrená formou variačných koeficientov v tab. 4.

Prvky so stabilným obsahom v riečnom sedimente

Do tejto skupiny je možné zaradiť predovšetkým tzv. hlavné prvky s priemerným obsahom v riečnom sedimente zvyčajne nad 1 % – Na, K, Mg, Al a Fe. Ich distribúcia je daná najmä geologickou stavbou povodia a geochemickými podmienkami procesov zvetrávania a migrácie prvkov. Priemerná hodnota koeficientu časovej variability sa pohybuje v rozpätí od 13 % do 18 % (tab. 4). Priebehy distribúcie stabilných prvkov v čase sú pre vybrané monitorované lokality uvedené na obr. 2. Charakter distribúcie (histogramy) uvedených prvkov je zachytený na obr. 3.

Plošná distribúcia **sodíka** v riečnych sedimentoch Slovenska sa vyznačuje pomerne vyrovnaným obsahom



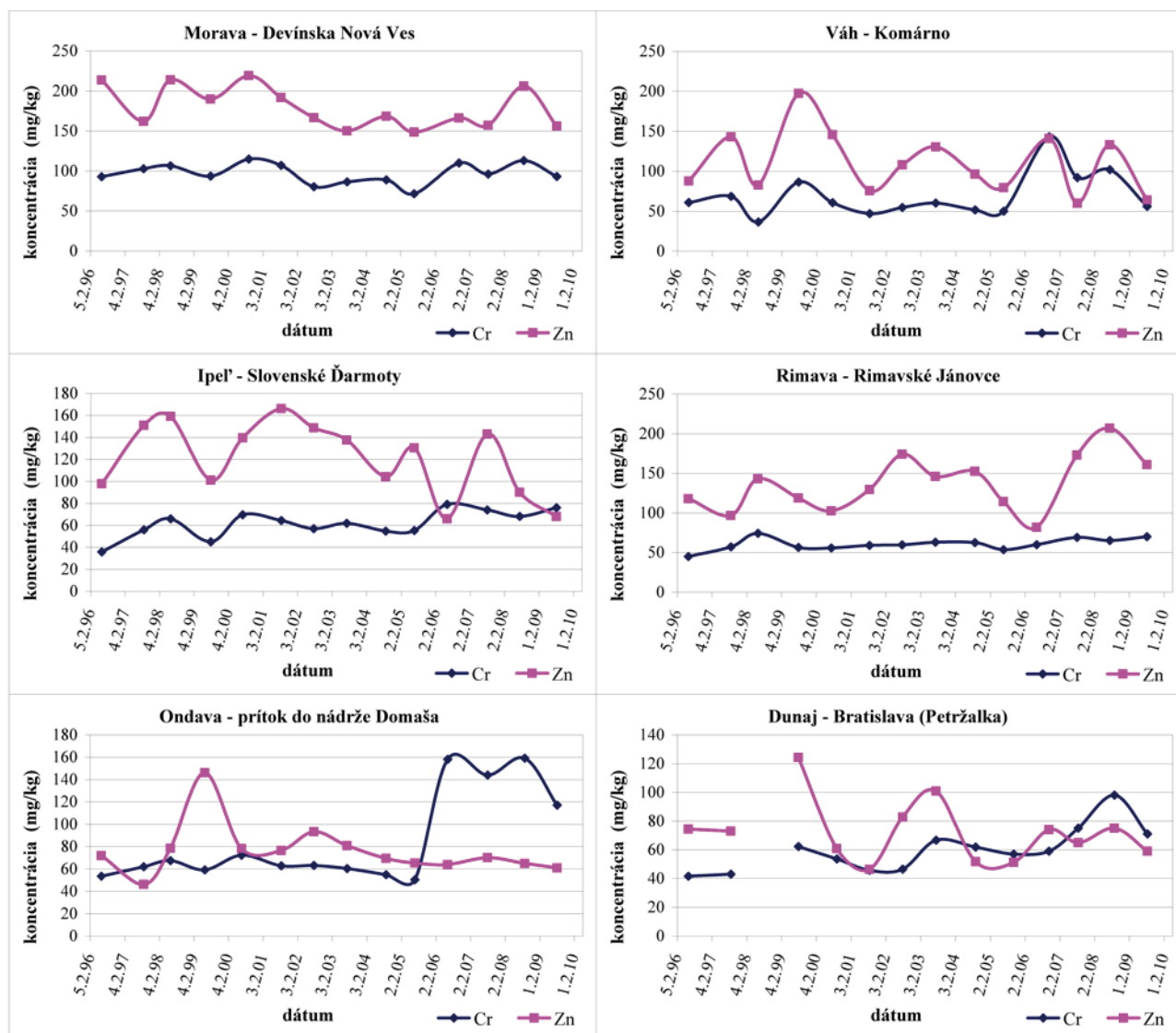
Obr. 3. Histogramy rozdelenia početnosti stabilných prvkov v čase.

Fig. 3. Histograms of stable elements in time.

(koeficient variácie všetkých meraní $v_p = 28\%$) – tab. 4. Priemerná koncentrácia Na v sedimentoch všetkých monitorovaných lokalít je 1,01 % (medián 0,95 %). Najvariabilnejší obsah Na na úrovni 24 %, resp. 25 %, bol zaznamenaný v lokalitách č. 37 (Ondava – prítok do Domaše) a č. 50 (Nitra). Najnižšie koncentrácie sodíka, do 0,8 % (tab. 3), sú charakteristické pre toky Kysuca (lokalita č. 58), Myjava (56), Malý Dunaj (1), Turiec (57), Váh (11, 49), Nitra (50) a Morava (2). Nadpriemerné zastúpenie sodíka, zväčša nad 1,2 %, bolo pozorované v sedimentoch Muráňa (28), Rimavy (27), Popradu (30, 31), Hrona (19, 20, 51) a hornej časti Váhu (5, 6). Keďže sodík patrí medzi hlavné litofilné prvky, obsah Na do značnej miery závisí od geologického prostredia v príslušnom drénovanom povodí. Najvyššie koncentrácie sodíka sú viazané na znosové oblasti kryštalinika tatrika a veporika (granitoidy, metamorfity), príp. na neovulkanické horninové prostredie

(najmä oblasť stredného Slovenska). Naopak, najnižší obsah sodíka v riečnych sedimentoch je všeobecne viazaný na znosové oblasti karbonatických hornín (Bodiš et al., 1999).

Podobne ako v prípade sodíka, plošný obsah **draslíka** je v riečnych sedimentoch veľmi vyrovnaný (koeficient variácie všetkých meraní $v_p = 22\%$) – tab. 4. Najvariabilnejší obsah K je dokumentovaný pre sedimenty Dunaja (lokality č. 46, 47). Priemerná koncentrácia K v sedimentoch všetkých meraní je 1,49 % (medián 1,49 %) – tab. 3. Obsah draslíka zvyčajne sleduje geologické podmienky v príslušnom povodí, v nížinných oblastiach môže byť ovplyvnený aj antropogénnou (najmä poľnohospodárskou) činnosťou. Najvyšší obsah K, zvyčajne nad 1,7 %, je viazaný predovšetkým na oblasti budované granitoidmi jadrových pohorí, resp. metamorfmi paleozoických súvrstiev. Z monitorovaných lokalít bol najvyšší obsah



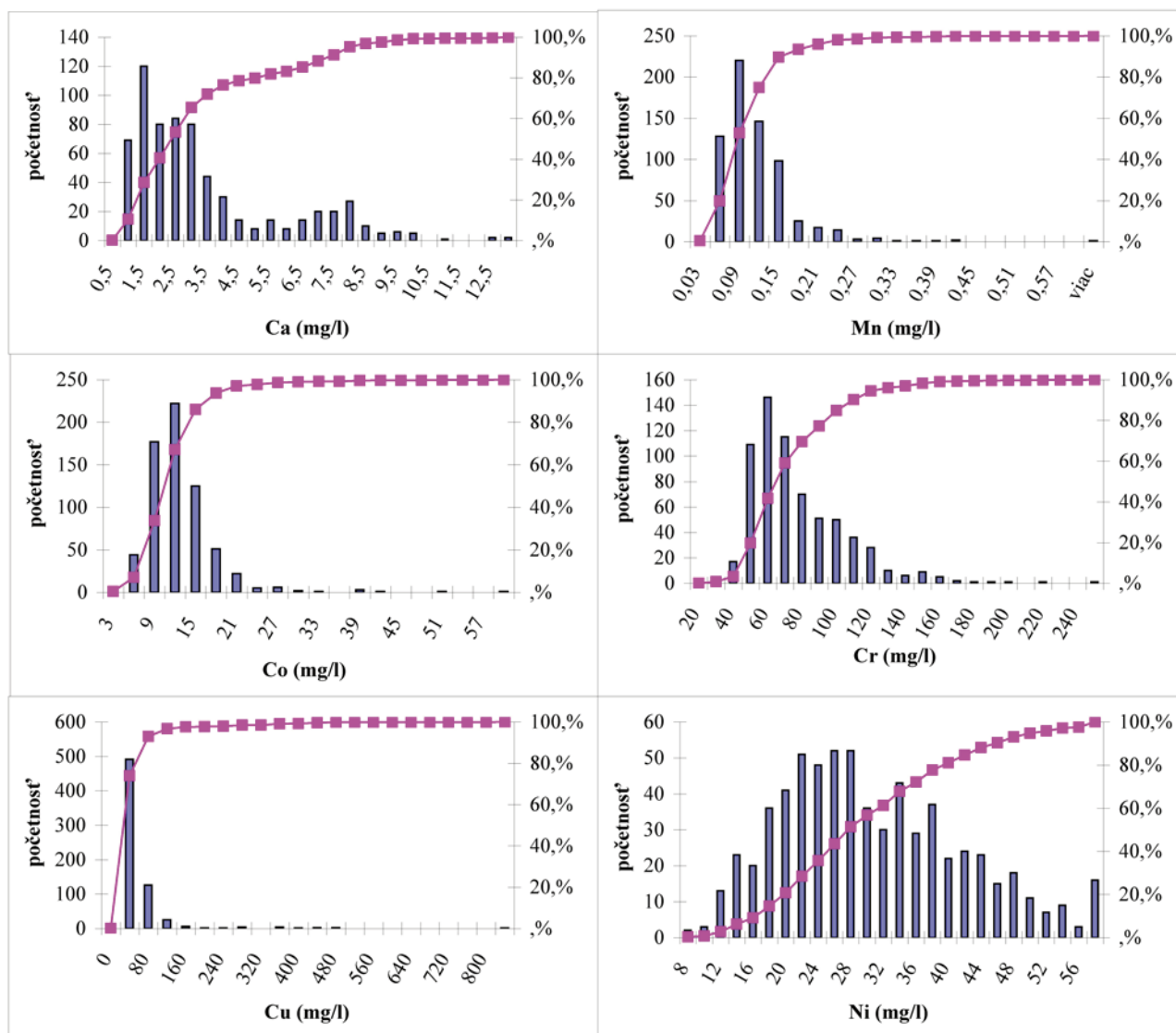
Obr. 4. Distribúcia prvkov so strednou stabilitou obsahu v čase vo vybraných monitorovaných lokalitách.

Fig. 4. Distribution of elements with moderate stability contents in time at selected monitoring sites.

draslíka pozorovaný v riečnych sedimentoch riek Východoslovenskej nížiny (40, 44 – 45, 54 – Ondava, Latorica, Bodrog, Topľa), Hnilca (lokalita č. 33), Hrona (19, 20, 51) a Slanej (29). Územia deficitné na draslík (najmä oblasti budované mezozoickými karbonátmi) podmieňujú nízky obsah draslíka v riečnom sedimente, a to zvyčajne do 1,2 %. Najnižší obsah draslíka bol zväčša zaznamenaný v riečnych sedimentoch Dunaja (46, 47), Váhu (8, 12, 13, 49) a Turca (57).

Horčík sa na rozdiel od veľmi stabilného obsahu v čase vyznačuje pomerne veľkou plošnou variabilitou koncentrácií spomedzi hlavných prvkov (koeficient variácie všetkých meraní $v_p = 55\%$) – tab. 4. Plošná variabilita obsahu Mg je v sedimentoch Slovenska podmienená predovšetkým rôznorodosťou zloženia zdrojového horninového substrátu v príslušnom povodí. Najvariabilnejší obsah Mg bol zaznamenaný v sedimentoch Váhu (lokality č. 5, 6, 48,

49), Ipľa (24), Hornádu (32) a Ondavy (37). Príčinou variabilného obsahu Mg v čase je pravdepodobne pestrosť zdrojového horninového materiálu (príslušné odberové miesta reprezentujú veľké znosové oblasti). Celoslovenská priemerná koncentrácia Mg dosahuje hodnotu 1,29 %, avšak podstatne nižšiu hodnotu mediánu 1,02 % (tab. 3). Najvyšší obsah horčíka (hodnoty zvyčajne nad 2,0 %) je charakteristický pre znosové oblasti so zastúpením karbonatických hornín (vápence, dolomity) a bol pozorovaný v sedimentoch Váhu (lokality č. 5, 11 – 13), Turca (57) a Muráňa (28). Nadpriemerné koncentrácie horčíka v sedimentoch Dunaja (46, 47) a Malého Dunaja (1) môžu byť okrem prírodných daností (prevaha karbonatického materiálu v sedimentoch) podmienené aj antropogénnou činnosťou. Najnižšie koncentrácie horčíka, zvyčajne pod 0,8 %, boli sledované v povodiach Ondavy (38), Laborca (42), Tople (37), Moravy (3), Slanej (29), Ipľa a Štiavnice



Obr. 5. Histogramy rozdelenia početnosti prvkov so strednou stabilitou obsahu v čase.

Fig. 5. Histograms of elements with moderate stability contents in time.

(24 – 26) a sú charakteristické najmä pre oblasť Spišsko-gemerského rudohoria, stredoslovenské neovulkanity a sedimenty vonkajšieho flyšového pásma.

Hliník patrí medzi prvky s pomerne vyrovnaným obsahom v riečnych sedimentoch s hodnotou plošnej variability len na úrovni $v_p = 22 \%$ (tab. 4). Priemerná koncentrácia hliníka všetkých meraní je 5,44 % (medián 5,46 %). Dôvodom všeobecne vysokého obsahu hliníka v riečnych sedimentoch je fakt, že hliník patrí medzi hlavné litofilné prvky v geologickom prostredí s dobrou migračnou schopnosťou a uvoľňovaním do sedimentu. Rozdielna distribúcia hliníka je kontrolovaná rôznym pomerným zastúpením na hliník bohatších (kryštalikum, ílovce, andezity), resp. chudobnejších hornín (pieskovce, karbonatické horniny) v povodí. Najvyšší obsah hliníka (zvyčajne nad 6,5 %) je charakteristický pre riečne sedimenty tokov Latorica (lokalita č. 44), Hnilec (33), Rimava (27), Bodrog (45), Ipeľ (23) a Hron (51, 52, 53). Najnižší obsah Al (zvyčajne pod 4,5 %) bol zistený vo vážskych sedimentoch (lokality 8, 11 – 13, 49), na Dunaji (46 – 47) a Ondave (37) – tab. 3.

Železo patrí medzi prvky, ktorých distribúcia je riadená geologickými podmienkami v príslušných povodiach. Plošná variabilita koncentrácií Fe bola zistená na úrovni $v_p = 37 \%$ (tab. 4). Rozhodujúcim faktorom distribúcie železa sa javí pomer hornín so zvýšeným zastúpením tmavých minerálov s obsahom železa (smerom k bázejšiemu horninám je všeobecný trend vzostupu obsahu železa). Z pohľadu zmeny obsahu Fe v čase boli najvariabilnejšie koncentrácie zistené v sedimentoch Hnilca, Hornádu (lokality č. 32, 33) a Dunaja (47). Variabilita obsahu železa v čase je daná pravdepodobne premenlivosťou prírodných podmienok v znosovej oblasti v príslušnom časovom období. Priemerná koncentrácia železa všetkých meraní je 2,91 %, resp. medián 2,75 % (tab. 3). Najvyšší obsah železa, zvyčajne nad 3,4 %, je typický pre riečne sedimenty stredoslovenských neovulkanitov (povodia riek Hron – lokalita č. 52, Štiavnica a Ipeľ – 23 – 26) a paleogénnych metamorfítov Spišsko-gemerského rudohoria (povodia Slanej – 29 a Hnilca – 33) – tab. 3. Vysoký obsah železa bol sledovaný aj v sedimentoch Latorice (44) a Bodrogu (45). Najnižší obsah železa (zvyčajne pod 2,3 %) bol sledovaný vo vážskych sedimentoch (5, 6, 8, 11 – 13, 49), v Toryse (34) a hornom úseku Hrona (51).

Prvky so strednou stabilitou obsahu v riečnom sedimente

Do tejto skupiny boli zaradené prvky Ca, Ni, Mn, Co, Zn, Cr a Cu. Ich distribúcia do značnej miery závisí od prírodných pomerov v príslušnej oblasti, avšak ich výraznejšiu variabilitu obsahu v čase môže podmieňovať aj antropogénna činnosť. Priemerná hodnota koeficientu časovej variability sa pri týchto prvkoch pohybuje v rozpätí 23 % až 42 % (tab. 4). Príklady distribúcie prvkov so strednou stabilitou obsahu (Cr a Zn) v čase sú pre vybrané monitorované lokality uvedené na obr. 4 (pre Ca a Mn na obr. 2). Charakter distribúcie (histogramy) týchto prvkov je uvedený na obr. 5. Z obrázkov je zrejma rôzna miera stability prezentovaných prvkov. V prípade vážskej lokality

v obidvoch prípadoch (zinok aj meď) je dokumentovaný výrazne stabilnejší obsah ako na tokoch Hnilca a Štiavnice, kde v dôsledku geogénno-antropogénneho ovplyvnenia bola zaznamenaná väčšia variabilita hodnôt obidvoch chemických ukazovateľov.

Spomedzi hlavných prvkov sa najväčšou priestorovou variabilitou koncentrácií ($v_p = 77 \%$) vyznačuje **vápnik** – tab. 4. Vysoká variabilita vápnika je podmienená najmä veľkými rozdielmi jeho koncentrácií v zdrojových horninách. Vápnik charakterizujú aj špecifické podmienky pri zvetrávaní, migrácii a tvorbe sekundárnych minerálnych fáz. Najvariabilnejší obsah Ca v čase bol sledovaný v sedimentoch horného Váhu (lokality č. 5, 6), Nitry (14), Ipeľ (24), Laborca (55) a Kysuce (58). Podobne ako v prípade horčička je to spôsobené predovšetkým premenlivosťou obsahu karbonatického materiálu v sedimente, a teda pestrosťou zdrojového horninového materiálu (príslušné odberové miesta reprezentujú veľké znosové oblasti). Priemerný obsah vápnika v monitorovaných riečnych sedimentoch je 3,15 %, resp. medián len 2,34 % (tab. 3). Vysoká koncentrácia vápnika (zvyčajne nad 6 %) vo vážskych sedimentoch (lokality č. 11 – 13, 49) a Turci (57) je viazaná predovšetkým na pôvodný horninový substrát mezozoických karbonátov. V prípade vysokých koncentrácií vápnika v dunajských sedimentoch (46, 47) a Malom Dunaji (1) sa tiež predpokladá jeho pôvod predovšetkým z karbonatického materiálu sedimentov, ale na druhej strane nie je možné vylúčiť ani jeho antropogénny prínos do prostredia. Sedimenty s nízkymi koncentraciami vápnika (zvyčajne pod 1,15 %) sú charakteristické najmä pre metamorfované horniny paleozoika (nízky obsah CaO) v Spišsko-gemerskom rudohorí (Hnilec – lokalita č. 33), sedimenty Ipeľ (23, 24) a sedimenty viazané na flyšové súvrstvia (toky Východoslovenskej nížiny – 38, 42 – 45).

Mangán sa spomedzi viac-menej stopových prvkov vyznačuje pomerne nízkou priestorovou variabilitou koncentrácií ($v_p = 55 \%$) – tab. 4. Variabilita obsahu mangánu v sedimentoch je kontrolovaná najmä rozdielnou mobilitou a vysokou citlivosťou mangánu na oxidačno-redukčné podmienky vo vzorkovanom sedimente (v oxidačných podmienkach je mobilita mangánu nízka, v anoxických naopak). Podmienkou vyššieho obsahu mangánu v sedimente je zvyčajne aj jeho prítomnosť v zdrojových horninách (najmä v intermediárnych až bázeických metavulkanitoch, andezitoch a ílovcoch). Najvariabilnejší obsah mangánu bol zaznamenaný v sedimentoch Štiavnice (lokalita č. 25), Hornádu (32), Dunaja (47) a Nitry (50). Priemerná koncentrácia mangánu v riečnych sedimentoch monitorovaných lokalít je 0,1 %, medián 0,09 % (tab. 3). Najvyššie koncentrácie mangánu, zvyčajne nad 0,12 %, boli sledované v sedimentoch Moravy (lokalita č. 2, 3), Hnilca (33), Ipeľ, Štiavnice (24 – 26) a Latorice (44). Najnižší obsah mangánu, zvyčajne pod 0,06 %, majú sedimenty Turca (57), Nitry (lokalita č. 14), Popradu (30), Hrona (19 – 20, 51), Kysuce (58) a Váhu (5, 49).

Nadpriemerný obsah **niklu** je indikatívny najmä pre sedimenty flyšového pásma, neovulkanické horniny a čiastočne granitoidy tatrika, veporika a gemerika. Priemerná koncentrácia niklu v monitorovaných

sedimentoch je $29,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, resp. medián $27,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (tab. 3). Najvyššie hodnoty niklu (zvyčajne nad $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) sú viazané predovšetkým na znosové oblasti ílovcov a pieskovcov vonkajšieho flyšového pásma, čo sa prejavuje zvýšenými koncentraciami niklu najmä v tokoch východného Slovenska (lokality č. 30, 37, 40, 44, 45, 55), Kysuce (58), resp. Moravy (2), Malého Dunaja (1) a Myjavy (56) – tab. 3. Najnižší obsah niklu (zvyčajne pod $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) je pozorovaný v sedimentoch Ipla a Štiavnice (25 – 26), Hrona (19, 51, 52), Váhu (5), Muráňa (28), Nitry (14) a Dunaja (46 a 47). V rámci stopových prvkov patrí nikel k plošne najmenej variabilným prvkom s koeficientom $v_p = 39 \%$ (tab. 4). Najmenšia stabilita z časového hľadiska bola vypočítaná v sedimentoch Nitry (lokalita č. 14), Hrona (19) a Hornádu (32).

Priemerná koncentrácia **medi** dosiahla hodnotu $41,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, medián $27,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3). Distribúcia medi je do značnej miery podmienená jej obsahom v horninovom prostredí, výskytom rudných mineralizácií a v nemalej miere aj antropogénnymi aktivitami (napr. aplikácia fungicídov v poľnohospodárstve, vinohradníctve a pod.). Najvyššie koncentrácie medi geogénneho, resp. geogénno-antropogénneho pôvodu (zvyčajne nad $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) boli zistené v riečnych sedimentoch Spišsko-gemerského rudohoria, resp. stredoslovenských neovulkanitov – povodia Hnilca (lokalita č. 33 – ďaleko najvyššia hodnota mediánu $343 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Štiavnice (25), Hrona (20, 52, 53) a Hornádu (32). Zvýšený obsah medi v lokalite Malý Dunaj (1) môže byť čiastočne aj antropogénneho pôvodu. Najnižšie koncentrácie medi (zvyčajne pod $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) boli sledované vo vážskych sedimentoch (lokalita č. 5, 12, 13), resp. sedimentoch Hrona (51), Dunaja (46, 47), Ipla (24), Muráňa (28) a Torysy (34). Pre medi je typická výrazná priestorová variabilita koncentrácií ($v_p = 198 \%$), ktorá je spôsobená najmä lokálnym výskytom veľmi vysokých, anomálnych koncentrácií medi v znosových zrudnených oblastiach (tab. 4). Z pohľadu zmeny obsahu medi v čase bol výrazne najvariabilnejší obsah pozorovaný v sedimentoch Hornádu (lokalita č. 32).

Chróm spolu s niklom patrí k stopovým prvkom s nízkou plošnou variabilitou obsahov v rámci monitorovaných lokalít ($v_p = 39 \%$). Z pohľadu časových zmien bol najvariabilnejší obsah chrómu sledovaný v sedimentoch Dunaja (lokalita č. 47) a Váhu (12). Priemerná koncentrácia chrómu v monitorovaných sedimentoch je $73,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, resp. medián $66,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3). Všeobecne je distribúcia chrómu výrazne ovplyvňovaná horninovým prostredím. Podobne ako v prípade niklu, nadpriemerný obsah chrómu (zvyčajne nad $90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) je podmienený jeho obsahom v zdrojových horninách paleogénnych sedimentov. Vďaka dobrej odolnosti voči zvetrávaniu chróm zvyčajne migruje na veľké vzdialenosti. Najvyššie koncentrácie chrómu pravdepodobne geogénneho pôvodu boli zistené v sedimentoch Latorice (lokalita č. 44), Kysuce (58), Váhu (48), Tople (54), Bodrogu (45) a Moravy (2, 3). V povodí Nitry (15, 50), Myjavy (56) a Malého Dunaja (1) môže byť nadpriemerný obsah chrómu podmienený aj antropogénnym prínosom do riečneho sedimentu. Oblasti jadrových pohorí, Spišsko-gemerského rudohoria a neovulkanitov sa

vyznačujú zväčša podpriemernými koncentraciami chrómu (pod $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) – Hron (51, 52), Štiavnica (25), Váh (lokality č. 5, 6, 12), Nitra (14), Ipeľ (26).

Zinok sa vyznačuje výraznou priestorovou variabilitou obsahu ($v_p = 135 \%$), ktorá je spôsobená predovšetkým výskytom veľmi vysokých, odlahlých koncentrácií Zn v zrudnených znosových oblastiach (tab. 4). Výrazne najvariabilnejší obsah zinku v čase bol zaznamenaný pre sedimenty Hornádu (lokalita č. 32) a Váhu (11). Priemerná koncentrácia zinku v riečnom sedimente je $194 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, medián $122 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3). Výraznejšie vyšší obsah zinku (zvyčajne nad $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) je v riečnych sedimentoch viazaný predovšetkým na geogénne, resp. geogénno-antropogénne podmienené anomálie v zrudnených oblastiach. Ide predovšetkým o oblasť stredoslovenských neovulkanitov – sedimenty Štiavnice (lokalita č. 25 – ďaleko najvyššia hodnota mediánu analyzovaných vzoriek $1490 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Hrona (20, 52, 53), Ipla (23, 26) a oblasť Spišsko-gemerského rudohoria – sedimenty Hnilca (33). Ďalším potenciálnym zdrojom anomálnych koncentrácií zinku sú antropogénne aktivity spojené predovšetkým so širokým uplatnením zinku v rozličných priemyselných odvetviach a poľnohospodárstve. Predpokladáme, že čiastočne z antropogénnej činnosti pochádza vysoký obsah zinku v sedimentoch Malého Dunaja (1) a Myjavy (56). Najnižší obsah zinku (zvyčajne pod $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) zodpovedá najmä prostrediu jeho nízkych koncentrácií v materskom horninovom substráte – paleogén flyšového pásma, resp. karbonátogénne horninové prostredie, a je charakteristický najmä pre vážske sedimenty (lokality č. 8, 12, 49), resp. toky Východoslovenskej nížiny a prilahlých oblastí (34, 37 – 38, 54 – 55).

Priemerná koncentrácia **kobaltu** v monitorovaných lokalitách je $11,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, resp. medián $10,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3). Distribúcia kobaltu sa v monitorovaných lokalitách vyznačuje pomerne vyrovnaným obsahom pohybujúcim sa prakticky v rozmedzí $6 - 14 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (koeficient priestorovej variability $v_p = 45 \%$) – tab. 4. Výrazne najvariabilnejší obsah kobaltu bol zistený v sedimentoch Hornádu (lokalita č. 32). Najvyššia hodnota mediánu ($28,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) bola vypočítaná pre monitorovanú lokalitu Hnilec (č. 33) v Spišsko-gemerskej oblasti. Zvýšený obsah Co vzhľadom na jeho distribúciu v materskom horninovom substráte môže byť očakávaný v prostredí neovulkanitov, avšak výraznejšie anomálie v týchto oblastiach v monitorovaných tokoch neboli zaznamenané.

Prvky nestabilné, resp. s nízkou stabilitou obsahu v riečnom sedimente

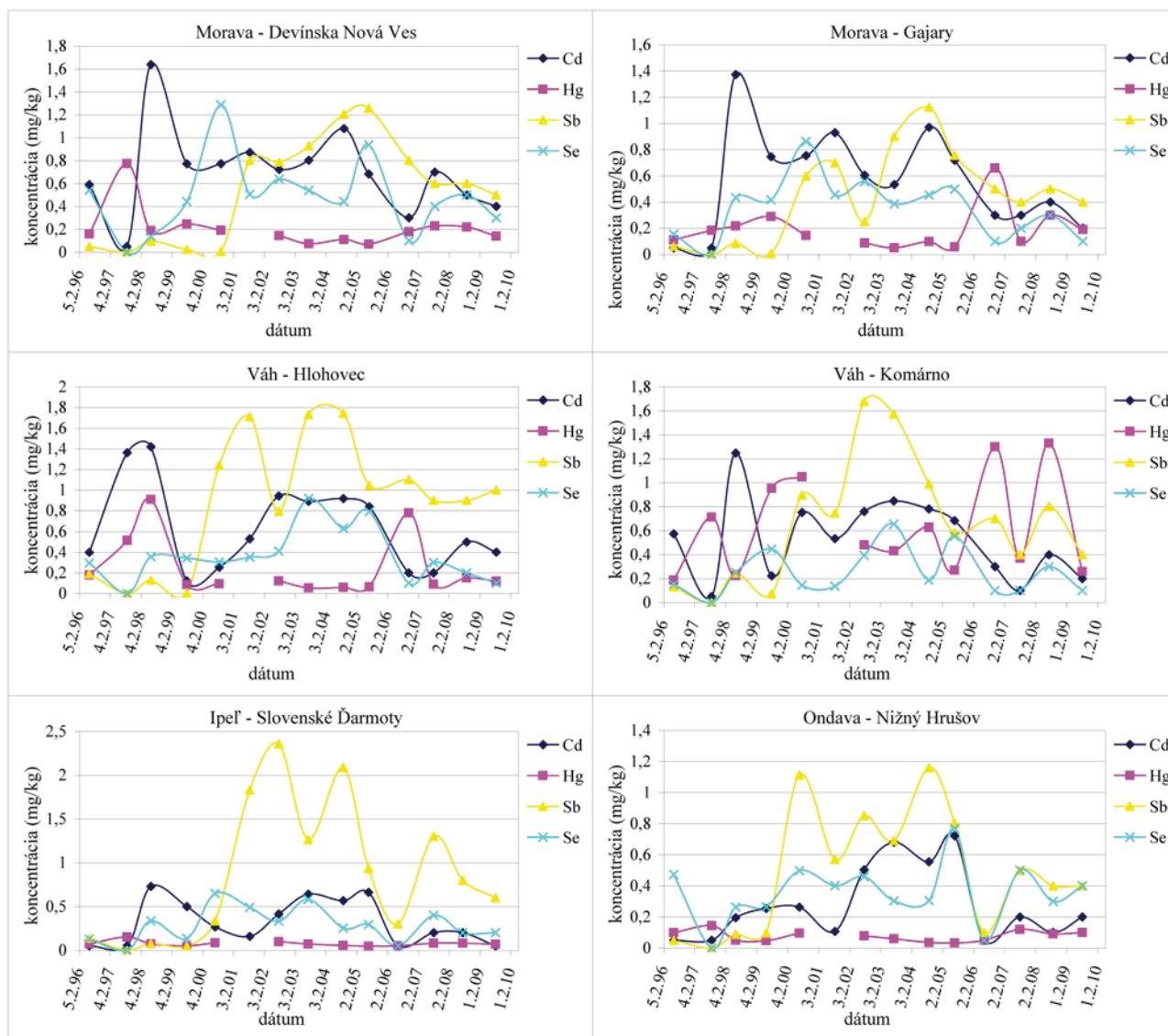
Do tejto skupiny boli zaradené stopové prvky As, Se, Pb, Hg, Cd, Sb. Priemerná hodnota koeficientu časovej variability sa pri uvedených prvkoch pohybuje v rozpätí 44% až 88% . Všeobecne je distribúcia stopových prvkov kontrolovaná intenzitou ich uvoľňovania zo zdrojového materského prostredia, zložením a celkovým charakterom sedimentu (podiel organickej hmoty, ílovej frakcie, obsah Fe a Mn oxidov a veľkosť zŕn vo frakcii). Vo výraznejšej miere však môže byť variabilita týchto prvkov ovplyvnená aj

antropogénne podmienenými faktormi. Príklady distribúcie prvkov s nestabilným obsahom (Cd, Hg, Se, Sb) v čase sú pre vybrané monitorované lokality uvedené na obr. 6. Charakter distribúcie (histogramy) uvedených prvkov je zaznamenaný na obr. 7. Z obrázkov je zrejma diferencovaná miera variability obsahu prezentovaných prvkov pre rôzne monitorované lokality, ktorá pravdepodobne odráža najmä aktuálny podiel antropogénneho, resp. geogénno-antropogénneho ovplyvnenia v príslušnom časovom období. Distribúcia týchto prvkov sa vyznačuje typicky nesymetrickým rozdelením hodnôt (zvyčajne blízke lognormálnemu rozdeleniu). To znamená, že pre väčšinu vzoriek je charakteristický pomerne nízky obsah prvku, na druhej strane sú však typické odľahlé až extrémne koncentrácie (histogramy na obr. 7).

Distribúcia **arzénu** v riečnych sedimentoch Slovenska má viaceré špecifiká. Nadpriemerný (anomálny) obsah

As je vo veľkej miere podmienený výskytom rudných mineralizácií, na druhej strane však môže odrážať aj antropogénne aktivity v príslušnej oblasti. Priemerná koncentrácia arzénu všetkých meraní je $19,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, resp. medián $9,9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3). Veľmi výrazná variabilita obsahu As indikuje jeho zložitú migračnú

vlastnosť v prírodnom systéme ($\bar{V}_c = 54 \%$, $v_p = 543 \%$ – tab. 4). Výrazne najvariabilnejší obsah arzénu v čase bol zaznamenaný v sedimentoch Hornádu (32). Geogénne, resp. geogénno-antropogénne podmienený vysoký obsah arzénu (obvykle nad $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) bol sledovaný v lokalitách Hnilec (č. 33) a Slaná (29) – tab. 3, kde sú zdrojom arzénu najmä početné rudné mineralizácie viazané na tento región (v minulosti ťažené a upravované). Podobný charakter majú anomálie v oblasti kryštalinika Nízkych Tatier, resp. anomálny obsah viazaný na neovulkanity Štiavnických



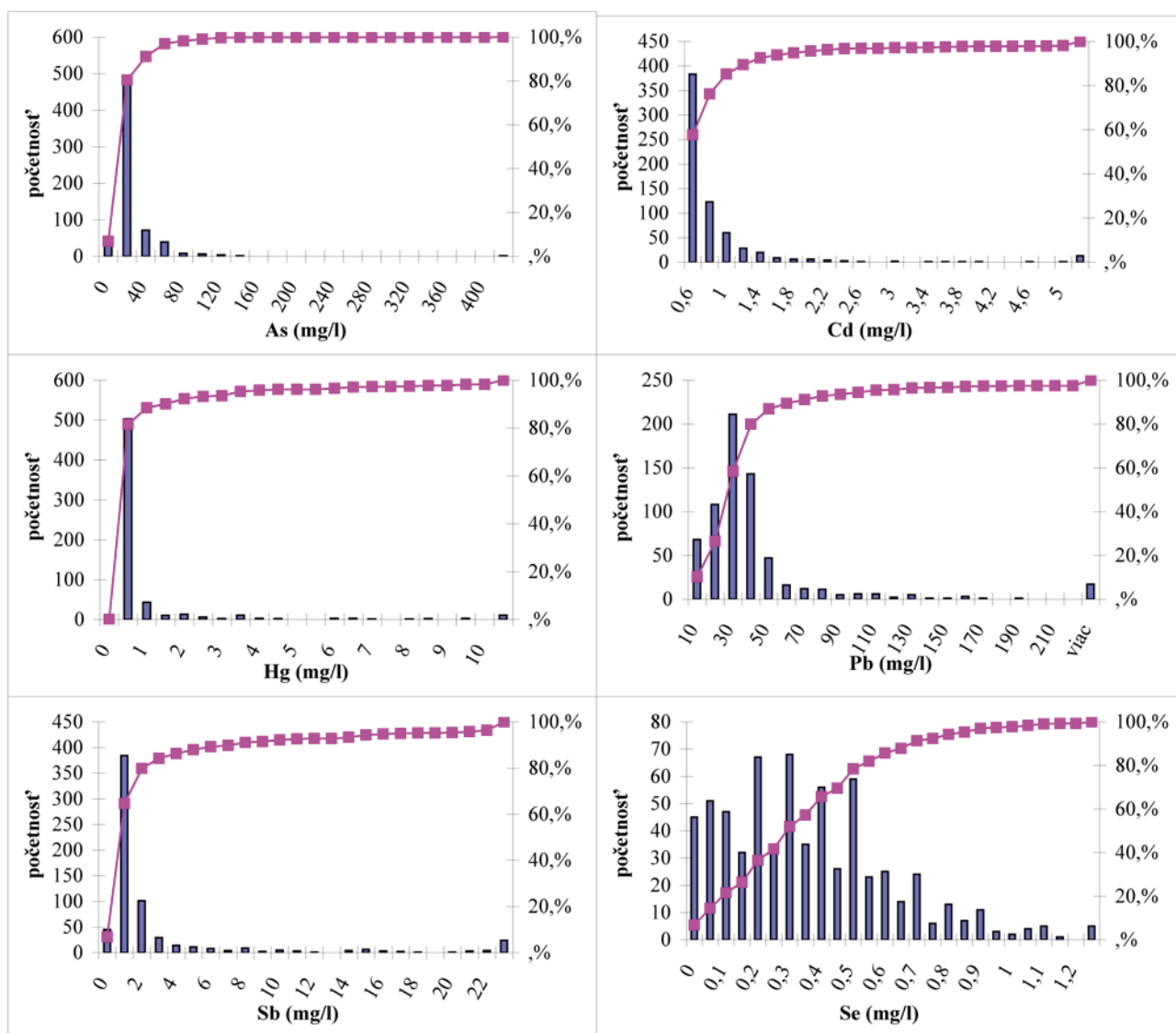
Obr. 6. Distribúcia prvkov s nestabilným obsahom v čase vo vybraných monitorovaných lokalitách.

Fig. 6. Distribution of elements with unstable contents in time at selected monitoring sites.

a Kremnických vrchov, ktoré sú dokumentované najmä zvýšenými koncentráciami As v riečnych sedimentoch Hrona (19, 20, 52 – 53). Predovšetkým antropogénny pôvod má anomálny obsah As v sedimentoch Ondavy (lokalita č. 38) pôvodom z odkaliska Poše a Nitry (14, 15, 50), kde je zdrojom As najmä banská a úpravárenská činnosť v oblasti Hornej Nitry. Najnižšie koncentrácie arzenu (zvyčajne pod $7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) boli sledované v sedimentoch Dunaja (46, 47), niektorých tokov Východoslovenskej nížiny (37, 42, 55), Váhu (12, 49) a Torysy (34).

Koncentrácie **kadmia** sú v riečnych sedimentoch zvyčajne veľmi nízke, s priemernou hodnotou všetkých meraní $0,74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, resp. mediánom $0,47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3). Najvyšší obsah Cd bol sledovaný na toku Štiavnica (lokalita č. 25) s priemernou hodnotou $9,43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a mediánom $8,01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nadpriemerné koncentrácie Cd v riečnom sedimente (väčšinou nad

$0,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) boli zaznamenané v znosových oblastiach Ipľa (26) a Hrona (52, 53) – tab. 3. Dôvodom tohto prevažne geogénneho, príp. geogénno-antropogénneho vysokého obsahu je prirodzený výskyt kadmia v rudných mineralizáciách neovulkanitov čiastočne mobilizovaný ťažobnou a úpravárenskou činnosťou (predovšetkým ide o banskoštiavnickú rudnú oblasť). Najnižšie koncentrácie arzenu (zvyčajne pod $0,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) boli sledované v sedimentoch Dunaja (46), Váhu (12, 49), Popradu (31) a niektorých tokov Východoslovenskej nížiny (38, 42, 54, 55). Priestorová variabilita kadmia je vysoká s hodnotou $v_p = 207 \%$ (tab. 4). Najvýraznejšie zmeny obsahu kadmia v čase boli sledované v sedimentoch Hornádu (lokalita č. 32) a Laborca (42). Rozsah a rýchlosť koncentračných zmien zvyčajne značne závisí od charakteru zdroja znečistenia a aktuálnych hydrodynamických a geochemických podmienok v prostredí (systéme).



Obr. 7. Histogramy rozdelenia početnosti prvkov s nestabilným obsahom v čase.

Fig. 7. Histograms of elements with unstable contents in time.

Tab. 3

Základné štatistické parametre analyzovaných zložiek za obdobie rokov 1996 – 2011 (x – aritmetický priemer; med – medián)
 Basic statistical parameters of analysed compounds for the period 1996–2011 (x – arithmetic mean; med – median)

Lokalita	1		2		3		5		6		8		11	
	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med
Na (%)	0,70	0,69	0,77	0,77	0,86	0,84	1,37	1,25	1,42	1,43	0,96	0,96	0,74	0,74
K (%)	1,66	1,66	1,72	1,69	1,57	1,55	1,63	1,60	1,49	1,50	1,13	1,06	1,30	1,25
Mg (%)	2,27	2,31	0,96	0,93	0,68	0,66	2,60	2,77	0,85	0,83	1,15	1,14	2,03	2,04
Ca (%)	6,93	6,88	2,41	2,61	1,80	1,44	3,92	4,01	1,42	1,24	3,77	3,69	6,96	6,98
Fe (%)	3,32	3,18	3,14	3,10	2,68	2,77	2,22	2,17	2,39	2,26	2,00	2,06	2,35	2,32
Mn (%)	0,12	0,13	0,17	0,15	0,16	0,14	0,06	0,06	0,10	0,10	0,08	0,08	0,12	0,12
Al (%)	5,77	5,76	5,61	5,59	4,92	4,88	5,39	5,04	5,70	5,64	4,16	4,26	4,34	4,15
As (mg · kg ⁻¹)	14,0	13,7	9,87	9,73	7,62	7,70	8,48	8,22	7,04	7,27	11,2	7,20	9,04	9,39
Cd (mg · kg ⁻¹)	0,89	0,90	0,69	0,70	0,55	0,53	0,41	0,13	0,38	0,29	0,53	0,58	0,61	0,50
Co (mg · kg ⁻¹)	11,9	12,0	13,1	12,0	10,6	9,5	8,97	8,55	8,98	8,61	8,28	7,80	8,86	8,00
Cr (mg · kg ⁻¹)	87,3	90,0	97,6	96,0	91,3	93,1	48,4	50,0	55,9	54,3	83,5	63,8	73,0	69,3
Cu (mg · kg ⁻¹)	55,2	58,7	34,6	33,6	29,1	28,0	15,2	15,0	19,5	18,0	24,0	19,7	46,6	31,0
Hg (mg · kg ⁻¹)	0,46	0,49	0,21	0,18	0,19	0,14	0,07	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,24	0,11
Ni (mg · kg ⁻¹)	41,5	42,1	42,2	41,0	33,4	34,0	20,4	21,0	28,0	26,0	26,9	26,4	33,4	33,8
Pb (mg · kg ⁻¹)	40,6	42,7	29,1	31,0	41,8	24,0	24,9	23,0	21,7	24,3	34,8	22,0	46,6	25,7
Sb (mg · kg ⁻¹)	2,73	1,10	0,68	0,60	0,49	0,50	0,82	0,79	1,13	0,97	0,56	0,50	0,93	1,00
Se (mg · kg ⁻¹)	0,59	0,62	0,48	0,44	0,34	0,39	0,34	0,22	0,32	0,30	0,29	0,20	0,35	0,30
Zn (mg · kg ⁻¹)	338	355	180	168	148	144	96	92	97	101	82	82	203	113
Lokalita	12		13		14		15		19		20		23	
Na (%)	0,92	0,94	0,86	0,86	0,83	0,85	0,92	0,91	1,45	1,46	1,15	1,17	1,10	1,11
K (%)	1,03	1,03	1,14	1,09	1,25	1,24	1,55	1,58	1,66	1,69	1,69	1,72	1,60	1,66
Mg (%)	2,10	2,10	2,07	2,08	1,08	1,00	1,06	1,06	1,53	1,52	1,97	1,91	0,88	0,88
Ca (%)	7,79	7,79	6,74	6,80	5,87	5,31	3,08	3,11	2,46	2,52	3,37	3,35	1,20	1,16
Fe (%)	1,58	1,61	2,07	1,96	2,69	2,73	2,73	2,74	2,79	2,76	2,96	2,84	3,65	3,54
Mn (%)	0,08	0,08	0,09	0,09	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,09
Al (%)	3,49	3,46	4,29	3,87	4,65	4,61	5,60	5,62	6,11	5,96	6,08	6,14	6,84	6,72
As (mg · kg ⁻¹)	6,14	6,24	8,70	9,25	44,0	41,7	24,5	22,8	23,2	25,6	35,2	35,9	13,1	13,1
Cd (mg · kg ⁻¹)	0,36	0,12	0,50	0,53	0,41	0,25	0,46	0,30	0,40	0,30	0,42	0,30	0,51	0,48
Co (mg · kg ⁻¹)	6,70	7,24	7,04	7,80	9,6	10,0	10,2	9,23	8,82	8,25	11,7	11,7	12,3	12,3
Cr (mg · kg ⁻¹)	59,9	44,5	67,5	60,1	49,4	47,1	101,4	94,6	58,3	57,8	59,6	55,9	92,6	76,8
Cu (mg · kg ⁻¹)	11,1	10,8	19,2	16,5	38,4	31,0	30,6	23,9	35,1	32,6	86,9	90,4	31,4	26,4
Hg (mg · kg ⁻¹)	0,06	0,06	0,59	0,46	22,43	10,66	3,19	3,32	0,10	0,08	1,03	0,34	0,47	0,34
Ni (mg · kg ⁻¹)	19,9	21,3	23,1	21,4	20,4	20,0	24,9	25,6	20,3	18,0	22,8	23,0	28,2	24,6
Pb (mg · kg ⁻¹)	13,7	11,0	22,0	20,8	27,7	31,9	24,6	25,9	37,4	36,0	58,0	57,9	77,6	65,6
Sb (mg · kg ⁻¹)	0,61	0,55	0,72	0,70	0,77	0,82	0,81	0,63	10,28	13,27	18,49	19,10	3,61	3,50
Se (mg · kg ⁻¹)	0,21	0,20	0,24	0,15	0,59	0,50	0,39	0,39	0,28	0,20	0,32	0,34	0,61	0,60
Zn (mg · kg ⁻¹)	54	56	105	96	146	117	130	121	146	138	227	211	358	369
Lokalita	24		25		26		27		28		29		30	
Na (%)	0,89	0,89	0,95	0,93	1,05	1,05	1,64	1,69	1,68	1,70	1,02	1,02	1,44	1,50
K (%)	1,36	1,40	1,53	1,53	1,25	1,29	1,69	1,65	1,27	1,22	1,82	1,77	1,56	1,56
Mg (%)	0,82	0,73	0,69	0,69	0,82	0,78	0,97	0,98	2,45	2,67	0,79	0,76	1,24	1,23
Ca (%)	1,63	1,21	1,49	1,49	1,66	1,69	1,37	1,32	2,65	2,53	1,62	1,54	2,35	2,24
Fe (%)	3,34	3,34	3,74	3,72	4,05	3,95	3,08	3,04	3,11	3,12	3,81	3,83	2,67	2,53
Mn (%)	0,15	0,13	0,22	0,16	0,13	0,13	0,09	0,08	0,10	0,10	0,13	0,12	0,07	0,07
Al (%)	6,06	6,16	6,27	6,32	5,97	6,02	7,04	7,16	6,06	6,22	5,96	6,02	6,13	6,11
As (mg · kg ⁻¹)	8,13	7,23	16,4	17,3	6,95	7,00	11,8	13,5	9,6	9,6	37,9	39,2	9,27	9,07
Cd (mg · kg ⁻¹)	0,31	0,20	9,43	8,01	2,14	1,88	0,49	0,49	0,42	0,30	0,53	0,50	0,38	0,20
Co (mg · kg ⁻¹)	12,5	12,7	14,8	14,0	14,2	13,1	11,8	12,0	11,5	11,0	12,0	11,0	12,5	12,0
Cr (mg · kg ⁻¹)	62,7	64,3	48,2	49,0	53,6	54,2	60,7	60,0	58,6	58,7	68,8	62,4	65,2	67,0
Cu (mg · kg ⁻¹)	14,8	15,0	116,7	106,1	33,7	31,2	27,6	29,0	18,5	17,4	48,5	43,1	33,3	36,0
Hg (mg · kg ⁻¹)	0,07	0,07	0,15	0,17	0,07	0,08	0,20	0,14	0,10	0,07	1,00	0,63	0,20	0,20
Ni (mg · kg ⁻¹)	21,4	21,1	16,8	17,0	15,7	16,0	23,8	24,4	20,7	20,0	29,8	28,7	40,7	39,0
Pb (mg · kg ⁻¹)	24,1	22,5	535,9	526,3	111,2	106,8	28,5	30,2	27,9	28,0	36,2	33,0	31,2	31,0
Sb (mg · kg ⁻¹)	0,98	0,80	1,64	1,60	0,50	0,40	1,19	1,00	1,15	0,90	16,75	15,49	1,21	1,09
Se (mg · kg ⁻¹)	0,28	0,25	0,23	0,20	0,14	0,10	0,32	0,31	0,18	0,14	0,30	0,30	0,34	0,36
Zn (mg · kg ⁻¹)	118	131	1577	1490	441	435	135	130	93	89	171	174	166	171
Lokalita	31		32		33		34		35		36		37	
Na (%)	1,18	1,18	0,99	0,99	0,99	0,99	1,08	1,09	0,97	0,95	0,95	0,92	0,87	0,87

	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med
K (%)	1,47	1,46	1,48	1,36	2,22	2,23	1,40	1,35	1,54	1,53	1,61	1,57	1,36	1,27
Mg (%)	1,11	1,19	1,20	1,14	0,91	0,90	0,83	0,83	1,18	1,20	1,06	1,03	0,69	0,66
Ca (%)	2,28	2,39	2,65	2,67	0,69	0,63	2,39	2,41	2,38	2,33	2,31	2,32	1,70	1,55
Fe (%)	2,40	2,29	3,44	2,53	6,17	5,42	2,13	2,09	2,57	2,54	2,73	2,68	2,43	2,40
Mn (%)	0,07	0,07	0,11	0,09	0,15	0,14	0,07	0,07	0,09	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06
Al (%)	5,22	5,10	4,97	4,75	7,47	7,57	4,71	4,80	4,96	4,97	5,55	5,39	4,66	4,34
As (mg · kg ⁻¹)	7,11	7,20	195	13,20	58,1	62,3	6,04	6,60	14,5	15,1	10,8	11,3	6,52	5,90
Cd (mg · kg ⁻¹)	0,28	0,13	0,80	0,46	0,78	0,91	0,40	0,39	0,54	0,60	0,52	0,50	0,25	0,25
Co (mg · kg ⁻¹)	9,61	9,25	13,5	10,0	30,3	28,1	9,75	8,68	10,8	10,0	11,3	11,9	11,7	11,0
Cr (mg · kg ⁻¹)	79,7	68,0	77,7	63,3	79,3	76,4	73,7	54,7	72,2	60,2	74,5	69,5	90,6	63,1
Cu (mg · kg ⁻¹)	18,8	19,4	178	63,6	337	353	21,4	18,0	43,4	40,6	32,0	29,7	20,9	21,6
Hg (mg · kg ⁻¹)	0,10	0,07	8,50	8,26	1,50	1,29	0,17	0,13	0,63	0,64	0,39	0,34	0,05	0,05
Ni (mg · kg ⁻¹)	35,7	36,6	31,0	27,0	35,2	37,2	27,8	27,9	35,1	35,0	32,3	32,0	41,4	45,1
Pb (mg · kg ⁻¹)	20,7	20,7	35,6	24,4	73,2	79,0	19,7	20,0	26,9	28,0	25,0	25,0	17,8	17,0
Sb (mg · kg ⁻¹)	0,67	0,55	7,08	6,54	33,38	31,30	5,53	0,60	2,91	2,78	1,81	1,71	0,47	0,30
Se (mg · kg ⁻¹)	0,30	0,25	0,28	0,26	0,43	0,50	0,24	0,23	0,25	0,18	0,32	0,33	0,31	0,30
Zn (mg · kg ⁻¹)	95	92	202	127	474	394	86,2	81,0	154	144	141	138	75,0	70,0
Lokalita	38		40		42		43		44		45		46	
Na (%)	0,81	0,83	0,87	0,86	0,81	0,85	0,93	0,94	0,85	0,84	0,86	0,87	1,01	1,01
K (%)	1,49	1,45	1,78	1,79	1,18	1,27	1,62	1,60	2,19	2,27	1,90	1,90	0,93	0,97
Mg (%)	0,56	0,54	0,82	0,81	0,65	0,66	0,80	0,77	1,13	1,09	0,89	0,88	3,05	2,99
Ca (%)	1,18	1,02	1,56	1,57	0,92	0,94	0,80	0,76	1,05	1,02	1,00	1,05	7,79	8,26
Fe (%)	2,49	2,35	3,16	3,17	2,71	2,68	3,36	3,31	4,49	4,55	3,67	3,57	2,80	2,72
Mn (%)	0,10	0,09	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06	0,17	0,15	0,11	0,10	0,09	0,07
Al (%)	4,78	4,78	6,12	6,02	4,42	4,48	6,18	6,29	7,99	8,09	6,80	6,88	3,99	4,00
As (mg · kg ⁻¹)	32,1	16,7	23,2	15,7	6,26	6,29	8,04	8,60	13,0	13,2	14,3	11,2	4,52	3,65
Cd (mg · kg ⁻¹)	0,27	0,20	0,34	0,30	0,44	0,20	0,39	0,24	0,56	0,40	0,47	0,51	0,39	0,09
Co (mg · kg ⁻¹)	11,4	11,0	12,1	12,0	10,4	10,0	12,2	12,0	18,0	17,0	14,7	14,0	8,1	7,1
Cr (mg · kg ⁻¹)	76,0	59,1	90,6	80,2	69,6	62,7	77,4	76,7	109,9	111,0	94,1	94,1	59,5	58,0
Cu (mg · kg ⁻¹)	24,1	18,3	24,4	26,8	24,2	22,7	29,2	29,0	39,5	37,9	32,4	34,0	15,1	13,9
Hg (mg · kg ⁻¹)	0,08	0,08	0,14	0,11	0,18	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09
Ni (mg · kg ⁻¹)	34,7	34,0	44,6	46,0	33,1	34,3	37,4	36,6	56,2	59,0	46,8	47,8	21,4	21,1
Pb (mg · kg ⁻¹)	19,1	20,6	24,2	24,3	22,4	23,0	24,9	25,1	28,0	30,9	24,4	25,0	18,7	18,0
Sb (mg · kg ⁻¹)	0,57	0,50	0,82	0,50	0,61	0,50	0,63	0,40	0,58	0,60	0,97	0,40	0,32	0,27
Se (mg · kg ⁻¹)	0,35	0,31	0,32	0,30	0,35	0,40	0,40	0,37	0,48	0,50	0,37	0,36	0,13	0,08
Zn (mg · kg ⁻¹)	82,6	85,8	117	122	103	97,0	115	110	139	139	116	114	71,4	69,0
Lokalita	47		48		49		50		51		52		53	
Na (%)	0,96	0,94	0,86	0,85	0,72	0,74	0,81	0,76	1,57	1,57	1,11	1,11	0,97	0,96
K (%)	1,03	0,97	1,53	1,52	1,20	1,24	1,56	1,59	1,88	1,80	1,61	1,64	1,56	1,54
Mg (%)	2,59	2,64	1,84	1,53	1,80	1,78	1,04	1,07	1,72	1,70	1,45	1,45	0,99	1,00
Ca (%)	7,60	7,61	5,43	4,47	7,04	7,08	4,03	4,55	2,78	2,83	2,41	2,41	2,09	2,09
Fe (%)	3,01	2,71	2,68	2,74	1,92	2,00	2,71	2,59	2,22	2,21	3,55	3,31	3,32	3,19
Mn (%)	0,11	0,09	0,11	0,10	0,06	0,05	0,11	0,10	0,05	0,05	0,10	0,09	0,12	0,11
Al (%)	4,14	3,92	5,33	5,32	3,89	4,17	5,52	5,47	6,17	6,30	6,41	6,62	6,37	6,34
As (mg · kg ⁻¹)	7,17	5,47	12,3	11,2	6,38	7,00	21,7	21,2	9,09	8,86	33,7	30,9	28,6	22,9
Cd (mg · kg ⁻¹)	0,56	0,44	0,56	0,40	0,39	0,30	0,74	0,50	0,43	0,20	1,30	1,40	1,19	1,00
Co (mg · kg ⁻¹)	8,65	8,09	10,2	9,0	7,57	8,00	9,7	9,0	6,76	6,00	13,4	13,6	12,5	13,0
Cr (mg · kg ⁻¹)	81,1	62,5	103	104	78,3	77,0	101	88	42,2	44,0	49,2	48,8	59,5	56,0
Cu (mg · kg ⁻¹)	15,9	14,7	34,3	36,0	24,4	23,5	35,6	40,1	13,7	12,8	72,2	72,0	45,4	45,0
Hg (mg · kg ⁻¹)	0,13	0,11	0,14	0,13	0,09	0,09	2,50	2,79	0,07	0,05	0,59	0,65	0,26	0,26
Ni (mg · kg ⁻¹)	21,0	21,1	34,3	32,1	28,8	31,7	26,4	28,0	14,5	14,0	18,3	18,0	20,8	21,0
Pb (mg · kg ⁻¹)	32,1	27,9	39,8	40,1	37,1	28,0	29,8	27,6	27,7	26,0	67,7	70,7	42,0	44,0
Sb (mg · kg ⁻¹)	0,49	0,45	3,04	3,30	1,13	0,90	0,97	0,80	1,40	0,93	11,69	13,60	6,52	6,50
Se (mg · kg ⁻¹)	0,16	0,12	0,49	0,50	0,31	0,20	0,60	0,70	0,22	0,20	0,22	0,26	0,28	0,20
Zn (mg · kg ⁻¹)	108	103	132	131	95,0	85,6	173	174	97	91,00	444	451	390	360
Lokalita	54		55		56		57		58		59		celý súbor	
Na (%)	1,08	1,07	0,90	0,95	0,68	0,62	0,84	0,77	0,61	0,62	0,97	1,02	1,01	0,95
K (%)	1,71	1,68	1,38	1,42	1,57	1,63	1,14	1,13	1,45	1,59	1,48	1,49	1,49	1,49
Mg (%)	0,82	0,82	0,82	0,78	0,84	0,82	2,94	2,96	0,86	0,88	1,15	1,21	1,29	1,02
Ca (%)	1,80	1,87	2,88	2,22	4,24	3,91	8,78	8,38	4,43	3,92	4,33	4,37	3,15	2,34
Fe (%)	2,57	2,37	2,60	2,65	2,62	2,87	2,85	3,00	2,77	2,89	2,55	2,61	2,91	2,75
Mn (%)	0,08	0,07	0,07	0,07	0,12	0,10	0,06	0,05	0,08	0,07	0,14	0,13	0,10	0,09
Al (%)	5,70	5,38	4,73	4,71	4,69	4,65	4,85	4,90	5,02	5,57	5,21	5,26	5,44	5,46

	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med	x	med
As (mg · kg ⁻¹)	7,80	7,30	6,78	6,80	7,46	7,18	7,58	7,60	6,89	7,20	11,7	10,8	19,1	9,9
Cd (mg · kg ⁻¹)	0,30	0,20	0,25	0,10	0,43	0,40	0,63	0,40	0,43	0,40	0,52	0,30	0,74	0,47
Co (mg · kg ⁻¹)	11,0	11,2	10,0	10,0	8,4	8,0	10,0	9,0	11,1	11,0	8,8	8,0	11,3	10,6
Cr (mg · kg ⁻¹)	96,2	108,0	79,5	84,0	91,0	98,0	69,3	66,0	98,8	113	64,4	66,0	73,3	66,0
Cu (mg · kg ⁻¹)	22,5	21,9	24,3	24,0	31,1	30,5	37,8	41,0	38,8	44,0	24,4	25,0	41,6	27,0
Hg (mg · kg ⁻¹)	0,08	0,06	0,04	0,04	0,16	0,14	0,25	0,28	0,14	0,13	0,05	0,05	0,99	0,12
Ni (mg · kg ⁻¹)	39,4	36,7	38,3	40,0	37,1	39,0	30,5	30,0	47,0	51,0	25,6	24,0	29,8	27,6
Pb (mg · kg ⁻¹)	21,6	20,0	19,8	20,0	26,1	26,0	38,0	38,0	30,9	36,0	25,9	27,0	43,7	27,2
Sb (mg · kg ⁻¹)	0,91	0,70	0,73	0,60	1,00	0,80	1,73	1,10	0,87	0,70	0,83	0,70	3,19	0,80
Se (mg · kg ⁻¹)	0,25	0,29	0,22	0,20	0,50	0,40	0,53	0,70	0,35	0,30	0,47	0,40	0,33	0,30
Zn (mg · kg ⁻¹)	78,9	74,9	72,6	71,0	290	285	174	187	146	159	109	110	194	122

Vysvetlivky: Zoznam odberových miest

Explanations: List of monitored sites

ID	Lokalita	riečny km	ID	Lokalita	riečny km
1	Malý Dunaj – Kolárovo	2,5	34	Torysa – Kendice	49,9
2	Morava – Devínska Nová Ves	1,5	35	Hornád – Krásna nad Hornádom	27
3	Morava – Gajary	44,5	36	Hornád – Ždaňa	17,2
5	Čierny Váh – nad nádržou Čierny Váh	11,4	37	Ondava – prítok do nádrže Domaša	91,4
6	Biely Váh – Vážec	15	38	Ondava – Nižný Hrušov	42
8	Orava – Kralovany	0,3	40	Ondava – Brehov	4,2
11	Váh – Hlohovec	100,7	42	Laborec – Lastomír	31
12	Váh – Selice	47,7	43	Uh – Pinkovce	18,5
13	Váh – Komárno	1,5	44	Latorica – Leleš	21,3
14	Nitra – Chalmová	123,8	45	Bodrog – Streda nad Bodrogom	6
15	Nitra – Lužianky	65,6	46	Dunaj – Bratislava (Petržalka)	1 869
19	Hron – Šáľková	181,4	47	Dunaj – Štúrovo	1 718,8
20	Hron – Sliač	161,1	48	Váh – Dubná skala (Nezbudská Lúčka)	270,3
23	Ipeľ – Rapovce	137,9	49	Váh – Opatovce (Trenčín)	157,2
24	Ipeľ – Slovenské Ďarmoty	89,5	50	Nitra – pod Šuranmi (Nitriansky Hrádok)	0,8
25	Štiavnica – ústie	1,1	51	Hron – Valkovňa	261,3
26	Ipeľ – Ipeľský Sokolec	35,2	52	Hron – Kalná nad Hronom	63,7
27	Rimava – Rimavské Jánovce	26,5	53	Hron – Kamenica	1,7
28	Muráň – Bretka	0,6	54	Topľa – Vranov nad Topľou	15,3
29	Slaná – Čoltovo	28,3	55	Laborec – nad sútokom s Cirochou (Lackovce)	69,9
30	Poprad – Veľká Lomnica	107,6	56	Myjava – Kúty	3
31	Poprad – Čirč	39,9	57	Turiec – Vrútky	3,5
32	Hornád – Kolinovce	100,7	58	Kysuca – Považský Chlmec	0,6
33	Hnilec – prítok do nádrže Ružín	4,1	59	Stará Žitava – Dvory nad Žitavou	15,1

Priemerná koncentrácia **olova** zo všetkých meraní je 43,7 mg · kg⁻¹, resp. medián 27,2 mg · kg⁻¹ (tab. 3). Distribúcia olova môže byť podobne ako v prípade zinku okrem prírodných daností (nadväznosť s materským horninovým prostredím) podmienená aj antropogénnym znečistením. Z hľadiska prírodných zdrojov sú vysoké koncentrácie Pb v riečnych sedimentoch viazané predovšetkým na výskyt polymetalických ložísk (neovulkanity). Rozsiahla banská činnosť v týchto oblastiach spojená s ťažbou a úpravou rúd podmieňuje vysoké koncentrácie olova – najvyššie koncentrácie Pb boli zistené na toku Štiavnice (lokalita č. 25) s priemernou hodnotou 535,9 mg · kg⁻¹ a mediánom 526,4 mg · kg⁻¹. Vysoký obsah Pb (zvyčajne nad 50,0 mg · kg⁻¹) viazaný na polymetalické zrudnenie v stredoslovenských neovulkanitoch, resp. zrudnenia v oblasti Spišsko-gemerského rudohoria, bol dokumentovaný v sedimentoch Ipeľa (23, 26), Hrona (20, 52 – 53) a Hnilca (33). Výrazná priestorová variabilita hodnôt ($v_p = 195\%$) zaraďuje olovo v rámci stopových prvkov medzi najviac variabilné prvky (tab. 4). Variabilita obsahu Pb je spôsobená výskytom anomálnych koncentrácií predovšetkým v zrudnených oblastiach,

o čom svedčí výrazne vyššia priemerná koncentrácia olova v porovnaní s hodnotou mediánu (všetky merania).

Distribúcia **ortuti** v riečnych sedimentoch Slovenska sa okrem veľmi premenlivého obsahu v čase vyznačuje najvýraznejšou priestorovou variabilitou s hodnotou $v_p = 596\%$ (tab. 4). Variabilita obsahu ortuti v priestore a čase je podmienená zložitou jej geochemickými – migračnými – vlastnosťami a tiež jej uvoľňovaním z antropogénnych zdrojov. Najvýraznejšie zmeny obsahu ortuti v čase boli sledované v sedimentoch Nitry (lokalita č. 14), Hrona (20) a Laborca (42). Priemerná koncentrácia ortuti všetkých meraní je 0,99 mg · kg⁻¹, avšak hodnota mediánu len 0,12 mg · kg⁻¹ (tab. 3). Najvyšší obsah ortuti (zvyčajne nad 0,6 mg · kg⁻¹) bol zistený v sedimentoch v Spišsko-gemerskom rudohorí, resp. v okolí Banskej Bystrice a je spojený s výskytom Hg zrudnení (geogénno-antropogénne anomálne oblasti). Ide najmä o monitorovacie lokality na Hornáde (lokalita č. 32, 35), Hnilci (33), Hrone (52) a Slanej (29). Anomálny obsah ortuti v sedimentoch Nitry (14 – 15, 50) a Malého Dunaja (1) je možné považovať za antropogénny. Najnižší obsah ortuti, zvyčajne pod 0,07 mg · kg⁻¹, bol sledovaný

Tab. 4

Koeficienty časovej a plošnej variability vyjadrené v % (čiernou sú odlišené hodnoty časovej variability vyššie ako priemerná hodnota plus jeden násobok smerodajnej odchýlky)
Coefficients of temporal and spatial variability expressed in % (values higher than the mean plus one standard deviation are distinguished by black color)

Lokalita	Koeficienty časovej variability																	
	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Zn
1	11	10	7	10	11	21	10	39	64	18	14	22	31	12	31	230	58	23
2	12	9	16	28	14	29	13	38	52	33	13	22	82	16	25	100	67	14
3	8	7	8	35	12	52	10	45	68	30	26	28	83	17	162	76	65	23
5	23	14	35	42	19	36	19	43	100	24	20	37	47	20	39	79	97	24
6	7	13	26	41	13	24	8	50	76	23	21	53	54	28	44	89	70	18
8	8	14	12	18	17	28	15	127	95	25	53	48	49	24	121	95	73	24
11	9	10	14	10	23	32	14	45	70	37	24	74	120	23	156	66	72	129
12	9	11	6	12	22	28	16	52	100	31	64	39	49	27	47	70	102	28
13	9	18	15	17	24	24	25	49	70	38	41	42	70	37	41	77	81	40
14	16	15	20	47	17	24	20	81	91	25	26	77	153	38	38	69	84	42
15	11	8	8	19	9	19	8	44	72	33	30	69	54	16	35	86	52	23
19	14	10	18	26	10	23	9	45	78	27	18	36	40	45	36	80	91	29
20	16	12	13	19	17	23	14	40	72	21	21	27	139	21	37	66	70	28
23	22	14	5	14	19	25	12	53	70	36	44	51	100	29	57	90	111	37
24	20	11	43	82	15	43	11	67	83	42	20	47	38	28	43	91	69	29
25	9	5	11	17	13	66	8	54	47	25	14	36	36	23	44	92	58	41
26	9	11	20	26	19	23	10	49	36	26	21	30	38	31	36	86	92	17
27	14	11	9	17	9	48	8	42	58	31	12	36	88	18	35	87	67	25
28	11	12	24	18	11	20	5	42	80	22	21	45	88	23	30	83	87	14
29	17	14	23	23	13	19	9	43	65	22	32	37	69	26	32	71	67	39
30	13	11	15	27	17	27	10	42	73	26	22	45	47	21	31	84	49	27
31	13	12	25	34	22	33	13	45	96	32	36	42	62	31	45	81	72	37
32	11	19	26	16	94	74	18	363	175	98	39	246	51	37	97	96	54	147
33	13	14	9	27	48	27	13	42	57	30	15	25	68	20	37	59	76	40
34	12	11	13	22	11	16	8	47	69	33	46	80	107	14	44	332	62	28
35	11	14	12	15	10	24	14	35	45	28	40	26	68	17	35	71	88	26
36	11	15	15	19	12	19	15	43	55	22	31	37	49	22	38	75	65	32
37	24	15	28	34	9	16	18	56	84	25	51	26	47	28	55	102	76	30
38	15	13	14	42	13	29	11	103	86	22	38	85	43	17	30	89	55	25
40	14	10	14	13	11	18	10	77	77	22	25	28	79	16	25	143	57	17
42	15	16	10	25	11	46	14	35	160	25	27	48	159	19	50	84	60	19
43	14	15	13	24	12	44	10	36	76	25	12	29	45	17	38	107	55	22
44	17	14	16	28	13	33	10	43	66	21	14	25	37	14	33	78	60	11
45	13	9	9	15	13	23	10	64	57	21	12	14	73	14	33	183	55	14
46	16	24	8	28	22	45	16	58	113	35	25	47	73	29	49	85	87	29
47	20	23	22	25	59	71	18	104	79	48	81	55	72	22	80	61	85	52
48	17	18	26	35	14	38	15	38	83	24	27	30	58	26	32	35	39	23
49	11	19	28	28	31	37	22	44	93	39	20	38	58	29	96	59	68	39
50	25	10	9	32	16	62	9	19	92	20	29	28	36	20	31	44	40	36
51	11	8	8	13	9	15	8	19	105	23	8	22	75	27	10	66	71	22
52	4	6	8	9	14	23	7	30	26	18	12	15	57	17	13	41	51	20
53	7	5	7	27	7	32	5	38	54	15	16	34	31	17	23	38	76	44
54	15	16	13	15	18	31	11	26	104	17	24	28	53	23	16	68	45	20
55	15	9	17	70	10	16	7	23	111	14	18	26	35	15	10	69	84	17
56	18	8	8	23	19	37	13	30	64	19	24	20	76	18	18	63	78	20
57	19	14	18	16	11	26	5	35	82	22	16	26	47	15	19	99	60	26
58	9	28	24	44	27	54	31	25	59	22	31	26	69	33	28	58	43	34
59	15	4	13	12	10	49	4	39	94	24	12	14	42	14	22	52	81	25
x	14	13	16	26	18	33	12	54	79	28	27	42	66	23	44	88	69	32
medián	13	12	14	23	14	28	11	43	76	25	24	36	57	21	36	79	69	26
s	5	5	8	14	15	15	5	50	27	13	15	34	30	7	32	49	16	24
koeficient plošnej variability	28	22	55	77	37	55	22	543	207	45	39	198	596	39	195	249	81	135

Poznámka: x – priemerná hodnota koeficientu časovej variability daného prvku pre všetky lokality; medián – medián koeficientu časovej variability daného prvku pre všetky lokality; s – smerodajná odchýlka koeficientu časovej variability daného prvku pre všetky lokality

Note: x – average value of temporal variability coefficient of given element for all monitored sites; median – median of temporal variability coefficient of given element for all monitored sites; s – standard deviation of temporal variability coefficient of given element for all monitored sites

v sedimentoch Váhu (5, 8, 12), Starej Žitavy (59), Hrona (51) a v tokoch Východoslovenskej nížiny (37, 54, 55).

Priemerná koncentrácia **antimónu** všetkých meraní je $3,19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, medián však iba $0,80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3). Podobne ako v prípade ďalších stopových prvkov (napr. Hg, Zn, Pb, Cu), aj vysoký obsah antimónu je v riečnych sedimentoch zvyčajne dôsledkom geogénno-antropogénnych anomálií v Spišsko-gemerskom rudohorí, resp. v stredoslovenských neovulkanitoch. Zvyčajne ide o obsah antimónu nad $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ktorý bol zaznamenaný v monitorovaných lokalitách Hnilca (lokalita č. 33), Hornádu (32), Hrona (19 – 20, 52, 53), Slanej (29). V ostatných monitorovaných lokalitách boli sledované podstatne nižšie koncentrácie antimónu, väčšinou do $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pre antimón v riečnych sedimentoch je charakteristická výrazná plošná variabilita hodnôt ($v_p = 249 \%$) – (tab. 4).

Koncentrácie **selénu** dosahujú v riečnych sedimentoch veľmi nízke hodnoty (priemer $0,33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, medián $0,30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) – tab. 3. Plošná variabilita obsahu Se v porovnaní s inými stopovými prvkami je pomerne nízka – $v_p = 81 \%$ (tab. 4). Najvyššie koncentrácie selénu, zvyčajne nad $0,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, boli zaznamenané v sedimentoch Nitry (lokalita č. 50), Turca (57), Malého Dunaja (1), Ipla (23), Nitry (14), Hnilca (33), Váhu (48), Moravy (2). Najnižšie koncentrácie selénu, zvyčajne pod $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, boli zistené v sedimentoch Ipla (26), Dunaja (46, 47), Muráňa (28) a Váhu (8, 12, 13).

Kvalitatívne hodnotenie riečnych sedimentov

Na posúdenie obsahu kontaminujúcich látok boli použité limitné hodnoty v zmysle Rozhodnutia MP SR č. 531/1994, ako aj v zmysle Metodického pokynu MŽP SR č. 549/98-2 (tab. 5). Parametre prekračujúce kategórie B, C, resp. MPV a IV v riečnych sedimentoch v roku 2011 sú prezentované v tab. 6 a 7. Zvlášť je zhodnotený obsah vybraných ukazovateľov stanovený v riečnom sedimente, ako aj obsah vybraných prvkov prepočítaný na štandardizovaný sediment.

Prekročenie limitných koncentrácií *kategórie B* (indikujúcich silné znečistenie) bolo pre neštandardizovaný sediment v roku 2011 zaznamenané v lokalitách Orava – Kraľovany (Cr), Nitra – Chalmová (Hg), Hron – Sliač (Hg), Štiavica – ústie (Zn, Cd, Pb), Ipeľ – Ipeľský Sokolec (Pb), Hornád – Krompachy (Hg, Ba), Hnilec – prítok do nádrže Ružín (Cu, As, Sb), Nitra – pod Šuranmi (Hg), Hron – Kalná nad Hronom (Zn). Pre štandardizovaný sediment to boli lokality Orava – Kraľovany (Cr), Nitra – Chalmová (Hg), Hron – Sliač (Cu, Hg), Štiavica – ústie (Zn, Cd, Pb), Ipeľ – Ipeľský Sokolec (Zn, Co, Cd, Pb, Ba, V), Muráň – Bretka (Ba), Hornád – Krompachy (Hg, Ba), Hnilec – prítok do nádrže Ružín (Cu, Sb), Dunaj – Bratislava (V) a Hron – Valkovňa (Ba). Limitná koncentrácia *kategórie C* bola v roku 2011 prekročená pre neštandardizovaný sediment v lokalite Hornád – Krompachy (Ba) a pre štandardizovaný sediment v lokalitách Ipeľ – Ipeľský Sokolec (V) a Hornád – Krompachy (Hg, Ba).

Hodnotenie obsahu prvkov v zmysle Metodického pokynu MŽP SR č. 549/98-2 prinieslo podobné výsledky

ako v predchádzajúcej časti, predovšetkým čo sa týka celkového charakteru kontaminácie monitorovaných riečnych sedimentov. Prekročenie maximálnych prípustných koncentrácií predstavujúcich potenciálne riziko na ekosystém bolo zaznamenané v nasledujúcich lokalitách: Hron – Sliač (Cu, Sb), Štiavica – ústie (Zn), Ipeľ – Ipeľský Sokolec (len štandardizovaný sediment – Zn, Co, Cd), Muráň – Bretka (len štandardizovaný sediment – Co, Ni), Slaná – Čoltovo (Sb), Hornád – Krompachy (len štandardizovaný sediment – Cu, Hg), Hnilec – prítok do nádrže Ružín (len neštandardizovaný sediment – Cu, Co, As, Sb), Ondava – prítok do nádrže Domaša (Ni), Latorica – Leleš (Ni), Bodrog – Streda nad Bodrogom (Ni), Dunaj – Bratislava (Co, Ni), Dunaj – Bratislava (Co), Hron – Kalná nad Hronom (Cu, Zn), Hron – Kamenica (len štandardizovaný sediment – Co), Kysuca – Považský Chlmec (len neštandardizovaný sediment – Ni), Stará Žitava – Dvory nad Žitavou (len neštandardizovaný sediment – Ni). Prekročenie intervenčných hodnôt predstavujúcich závažné riziko na ekosystém bolo zaznamenané v lokalitách: Štiavica – ústie (len neštandardizovaný sediment – Zn), Ipeľ – Ipeľský Sokolec (len štandardizovaný sediment – Zn) a Hornád – Krompachy (Cu).

Rozdiely vo výsledkoch pre neštandardizovaný, resp. štandardizovaný sediment sú vo väčšine vzoriek

Tab. 5
Limitné hodnoty koncentrácií škodlivých látok používané na hodnotenie kvality sedimentov u nás a vo svete
Limit values for concentrations of harmful substances used for the assessment of sediment quality in Slovakia and abroad

Ukazovateľ	MP MŽP č. 549/98-2 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		Rozhodnutie MP č. 531/94-540 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
	MPC	IV	B	C
Arsén	55	55	30	50
Kadmium	12	12	5	20
Kobalt	19	–	50	300
Chróom	380	380	250	800
Meď	73	190	100	500
Ortuť	10	10	2	10
Nikel	44	210	100	500
Olovo	530	530	150	600
Antimón	15	–	–	–
Selén	2,9	–	5	20
Vanád	56	–	–	–
Zn	620	720	500	3 000

Poznámka: B – pri jej prekročení je potrebný monitoring lokality; C – pri jej prekročení sú potrebné sanačné opatrenia; MPC – maximálna prípustná koncentrácia (predstavuje maximálne prípustné riziko, hladina zabezpečujúca prežitie 95 % všetkých druhov organizmov v danom ekosystéme); IV – intervenčná hodnota (predstavuje závažné riziko; koncentrácia určitej látky, pri ktorej je zabezpečená ochrana len 50 % všetkých živočíšnych druhov ekosystému)

Note: B – when it exceeded, the monitoring of site is required; C – when it exceeded the remedial measures are required; MPC – maximum permissible concentration (a maximum acceptable risk level to ensure the survival of 95 % of all types of organisms in the ecosystem); IV – intervention value (a serious risk; concentration of a substance that protects the only 50 % of all species in ecosystem)

Tab. 6

Parametre prekračujúce limitné hodnoty pre riečne sedimenty v zmysle „Rozhodnutia MP SR číslo 531/1994-540“ v roku 2011
(kategórie B, C)
Parameters exceeding the limit values for stream sediments under “Decisions of the Ministry of Agriculture No. 531/1994-540” in 2011
(category B, C)

a) neštandardizovaný sediment				
kategória	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre
B	Orava – Kralovany (8) Nitra – Chalmová (14) Hron – Sliač (20) Štiavnica – ústie (25) Ipeľ – Ipeľský Sokolec (26)	Cr Hg Hg Zn, Cd, Pb Pb	Hornád – Krompachy (32) Hnilec – prítok do nádrže Ružín (33) Nitra – pod Šuranmi (Nitr. Hrádok) (50) Hron – Kalná nad Hronom (52)	Hg, Ba Cu, As, Sb Hg Zn
C	Hornád – Krompachy (32)	Ba		
b) štandardizovaný sediment				
kategória	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre
B	Orava – Kralovany (8) Nitra – Chalmová (14) Hron – Sliač (20) Štiavnica – ústie (25) Ipeľ – Ipeľský Sokolec (26)	Cr Hg Cu, Hg Zn, Cd, Pb Zn, Co, Cd, Pb, Ba, V	Muráň – Bretka (28) Hornád – Krompachy (32) Hnilec – prítok do nádrže Ružín (33) Dunaj – Bratislava (46) Hron – Valkovňa (51)	Ba Hg, Ba Cu, Sb V Ba
C	Ipeľ – Ipeľský Sokolec (26)	V	Hornád – Krompachy (32)	Hg, Ba

Tab. 7

Parametre prekračujúce limitné hodnoty pre riečne sedimenty v zmysle „Metodického pokynu MŽP SR č. 549/98-2“ v roku 2011
(maximálne prípustné hodnoty a intervenčné hodnoty)
Parameters exceeding the limit values for stream sediments under “Methodological Guideline of Ministry of the Environment
No. 549/98-2” in 2011 (maximum permissible values and intervention values)

a) neštandardizovaný sediment				
kategória	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre
MPC	Hron – Sliač (20) Štiavnica – ústie (25) Slaná – Čoltovo (29) Hnilec – prítok do nádrže Ružín (33) Ondava – prítok do nádrže Domaša (37)	Cu, Sb Zn Sb Cu, Co, As, Sb Ni	Latorica – Leleš (44) Bodrog – Streda nad Bodrogom (45) Hron – Kalná nad Hronom (52) Kysuca – Považský Chlmec (58) Stará Žitava – Dvory nad Žitavou (59)	Ni Ni Cu, Sb Ni Ni
IV	Štiavnica – ústie (25)	Zn	Hnilec – prítok do nádrže Ružín (33)	Cu, As
b) štandardizovaný sediment				
kategória	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre	názov toku/lokalita (poradové číslo)	prekračujúce parametre
MPC	Hron – Sliač (20) Štiavnica – ústie (25) Ipeľ – Ipeľský Sokolec (26) Muráň – Bretka (28) Slaná – Čoltovo (29) Hornád – Krompachy (32)	Cu, Sb Zn Zn, Co, Cd Co, Ni Sb Cu, Hg	Hnilec – prítok do nádrže Ružín (33) Dunaj – Bratislava (46) Dunaj – Štúrovo (47) Hron – Kalná nad Hronom (52) Hron – Kamenica (53)	Cu, Sb Co, Ni Co Sb Co
IV	Ipeľ – Ipeľský Sokolec (26)	Zn	Hnilec – prítok do nádrže Ružín (33)	Cu, Sb

pomerne malé. Výraznejšie rozdiely boli zaznamenané predovšetkým v sedimentoch s nízkym zastúpením lútovej (ílovej, hlinitej) frakcie, t. j. v hrubozrnných sedimentoch (Dunaja, Muráňa, Rimavy, Slanej), kde sa po prepočte výraznejšie zvýšili hodnoty koncentrácií posudzovaných prvkov.

Ak porovnáme kvalitatívne výsledky riečnych sedimentov z pohľadu dlhodobého monitorovania (Iglárová et al., 2011), v zásade sa plošná distribúcia prírodne prítomných aj kontaminujúcich látok výraznejšie nezmenila. Riečne sedimenty na riekach Váh (horný a stredný úsek), Hron (horný úsek), Muráň a Dunaj a väčšiny tokov Východoslovenskej nížiny a priľahlých oblastí sú prakticky neznečistené a koncentrácie látok zväčša reprezentujú ich prírodné obsahy. Vzhľadom na dynamické vlastnosti riečnych sedimentov však boli v niekoľkých odberových snímkach zaznamenané zvýšené koncentrácie niektorých stanovených ukazovateľov, ktoré však nie sú trvalejšieho charakteru. Na druhej strane monitoring jasne poukázal na výrazne a trvalo znečistené toky riek Nitra (lokality č. 14 – 15, 50), Štiavnica (25), Hornád (32) a Hnilec (33), Hron – Kalná nad Hronom (52), resp. Hron – Kamenica (53). Znečistené toky Štiavnice, Hrona, Hornádu a Hnilca reprezentujú geogénno-antropogénne anomálie viazané na banskoštiavnickú, resp. spišsko-gemerskú rudnú oblasť. Anomálne koncentrácie niektorých kovov svedčia o pomerne značnom zafažení oblastí potenciálnymi nebezpečnými látkami, ktoré pretrvávajú aj po útlme baníctva na Slovensku. Závažný je obsah látok (najmä Hg a As) na rieke Nitra (Chalmová, Lužianky) pochádzajúci z intenzívnej priemyselnej činnosti na hornom Ponitří.

Záver

Štúdium a interpretácia výsledkov chemického zloženia a kvality riečnych sedimentov sú systematicky vykonávané v rámci projektu monitorovania geologických faktorov životného prostredia realizovaného v ŠGÚDŠ. Cieľom monitorovacieho subsystému riečne sedimenty je identifikácia časových zmien a priestorových rozdielov obsahu vybraných prvkov v riečnom sedimente hlavných tokov Slovenska, a to vplyvom primárnych (geogénnych), ako aj antropogénnych podmienok. Monitorovaciu sieť riečnych sedimentov predstavuje v súčasnosti 48 odberových miest.

Veľká mobilita niektorých prvkov, ale aj dynamika prírodných procesov vplyvajú na chemické zloženie a vlastnosti riečnych sedimentov. Z časového hľadiska sa v rámci monitorovacieho obdobia najstabilnejšie prejavuje obsah hlavných prvkov Al, K, Na, Fe a Mg a zo stopových prvkov Ni a Cr. Distribúcia týchto prvkov je v prevažnej miere ovplyvňovaná geogénnymi faktormi, ktorých pôsobenie v čase je pomerne stále. Nestabilným zložením a veľkou variabilitou sa vyznačujú z hlavných prvkov Ca a zo stopových prvkov najmä Pb, Hg, Cd, Cu a As. Veľká časová variácia je spôsobená predovšetkým zvýšenou citlivosťou prvkov na hydrodynamické a geochemické podmienky ich migrácie (napr. pH, oxidačno-redukčné podmienky), ako aj

to, že na ich distribúciu vo výraznejšej miere môžu pôsobiť v čase premenlivé antropogénne faktory.

Riečne sedimenty na riekach Váh (horný a stredný úsek), Hron (horný úsek), Muráň a Dunaj a na väčšine tokov Východoslovenskej nížiny a priľahlých oblastiach sú prakticky neznečistené a koncentrácie látok zväčša reprezentujú ich prírodný obsah. Na druhej strane monitoring riečnych sedimentov jasne poukázal na výrazne a trvalo znečistené toky Nitra (lokality č. 14 – 15, 50), Štiavnice (25), Hornádu (32) a Hnilca (33), Hrona – Kalnej nad Hronom (52), resp. Hrona – Kamenice (53).

References

- BARNET, I., DURÍŠ, M. & MRŇA, F., 1986: Geochemický výskum ríčních sedimentů v Českém masivu. *Academia, Praha*.
- BODIŠ, D., RAPANT, S., KHUN, M., KLUKANOVÁ, A., LEXA, J., MACKOVÝCH, D., MARSINA, K., PRAMUKA, J. & VOZÁR, J., 1999: Geochemický atlas Slovenskej republiky, časť VI. Riečne sedimenty. *MŽP SR – GS SR, Bratislava, 145 s.*
- BOROVEC, Z., TOLAR, V. & MRÁZ, L., 1993: Distribution of some metals in stream sediments of the central part of the Labe (Elbe) river, Czech Republic. *Ambio, 22, 200 – 205.*
- BREHUV, J., BOBRO, M. & HAČULÁK, J., 2004a: Contamination of sediment deposits at the backwater level ends in waterwork Ružín I by some heavy metals. *EKOLOGIA, Bratislava, 23, 1, 80 – 85.*
- BREHUV, J., BOBRO, M., HAČULÁK, J., ŠPÁLDON, T. & SLANČO, P., 2004b: Kontaminácia prostredia nádrže vodného diela „Ružín I“ ťažkými kovmi v rokoch 2002 – 2003. *Acta Montanistica Slovaca, 4, 9, 395 – 400.*
- BREHUV, J., BOBRO, M., HAČULÁK, J., ŠPÁLDON, T. & SLANČO, P., 2005: Vplyv starých banských záťaží na kontamináciu tokov ústiach do nádrže vodného diela „Ružín I“ vybranými prvkami v roku 2004. *Acta Montanistica Slovaca, 1, 10, 322 – 328.*
- DÖMÉNYOVÁ, J. & TAKÁČOVÁ, D., 2005: Zhodnotenie kvality sedimentov tokov a vodných nádrží v rámci prieskumného monitoringu v SR. In: *Sedimenty vodných tokov a nádrží. Zbor. z konferencie so zahraničnou účasťou. SVHS ZSVTS pri VÚVH Bratislava, 15 – 29.*
- FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W., 1979: Metal pollution in the aquatic environment. *Springer-Verlag, Berlin, 485 p.*
- HUCKO, P. & PIŠOFT, O., 2000: Odbery a rozborý sedimentov z vodárenskej nádrže Starina. Záverečná správa. *Manuskript. Archív VÚVH, Bratislava.*
- HUCKO, P., HUDEC, I., PIŠOFT, O. & WEIGELTOVÁ, S., 2001: Posúdenie výskytu vodných rias v rybníkoch mesta Spišské Vlachy. Záverečná správa. *Manuskript. Archív VÚVH, Bratislava.*
- HUCKO, P., 2005a: Vplyv antropogénnej činnosti v povodí Zemplínskej Širavy na kvalitu akumulovaných sedimentov. *Vodohospodársky spravodajca, 3 – 4, 37 – 39.*
- HUCKO, P., 2005b: Zhodnotenie kvality sedimentov vodného diela Liptovská Mara – Bešeňová. *Vodohospodársky spravodajca, 7 – 8, 13 – 16.*
- IGLÁROVÁ, L., WAGNER, P., HRAŠNA, M., CIPCIAR, A., FRANKOVSKÁ, J., BAJTOŠ, P., SMOLÁROVÁ, H., GLUCH, A., VLČKO, J., BODIŠ, D., KLUKANOVÁ, A., ONDRÁŠIK, M., ONDREJKA, P., LIŠČÁK, P., PAUDITŠ, P., PETRO, L., DANANAJ, I., HAGARA, R., MOCZO, P., LABÁK, P., KRISTEKOVÁ, M., FERIANC, D., VANKO, J., KOVÁČIKOVÁ, M., ZÁHOROVÁ, L., MIKITA, S., MATYS, M., GAJDOŠ, V., MASAROVICOVÁ, M., SLÁVIK, I., VYBÍRAL, V., RAPANT, S., GREIF, V., BRČEK, M., KORDÍK, J. & SLANINKA, I., 2011: Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory, správa za obdobie 2002 – 2009, záverečná správa. *Manuskript. Archív MŽP SR – Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.*
- KLUKANOVÁ, A., WAGNER, P. & HAGARA, R., 2006: Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory. Informácia o stave

- monitorovania geologických faktorov životného prostredia s poukázaním na hroziace havárie a možnosti predchádzania týmto haváriám. *Manuskript. Archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 12 s.
- MATOK, P. & HUCKO, P., 2001: Eróznio-sedimentačné procesy na VN Klenovec. Časť C: Kvalitatívne zloženie sedimentov so zameraním na obsah látok podmieňujúcich eutrofizáciu. Záverečná správa. *Manuskript. Archív VÚVH, Bratislava*.
- METELKOVÁ, M., DÖMÉNYOVÁ, J., SLOBODNÍK, J., OSWALD, P., MURIN, M., DRASTICHOVÁ, I. & KUŠNÍR, P., 2004: Vyhodnotenie výsledkov prieskumného monitoringu v roku 2003. Chemické látky prítomné vo vzorkách odpadových, povrchových vôd a sedimentov riek a ekotoxikologické analýzy. Záverečná správa. *Manuskript. Archív SHMÚ, Bratislava*.
- Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky z 27. augusta 1998 č. 549/98-2 na hodnotenie rizík zo znečistených sedimentov tokov a vodných nádrží. Banská Bystrica 1998.
- MEYER, W. T., THEOBALD, P. K. & BLOOM, H., 1979: Stream sediment geochemistry. In: Hood, P. J. (ed.): *Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores*. Geol. Surv. Canada, Geological Report, 31, 411 – 434.
- PLANT, J. A. & HALE, M., 1994: Drainage geochemistry in mineral exploration. *Handbook of exploration geochemistry*, 6. Elsevier, Amsterdam.
- PLIEŠOVSKÁ, N., FLÓRIÁN, K. & SESZTÁK, J., 1999: Znečistenie vodných tokov a nádrží východného Slovenska anorganickými polutantami. In: *Zbor. prednášok z konferencie s medzinárodnou účasťou „Sedimenty vodných tokov a nádrží“*. VÚVH Bratislava, 20 – 21. 10. 1999, 54 – 56.
- Rozhodnutie Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky č. 531/1994-540 o najvyšších prípustných hodnotách škodlivých látok v pôde a o určení organizácií oprávnených zisťovať skutočné hodnoty týchto látok. *Vestník MP* 1994.
- SIROTIK, M., 2005: Zhodnotenie kontaminácie dnových sedimentov vodných diel Veľké Kozmálovce, Ružín a Zemplínska Šírava organickými polutantmi. In: *Sedimenty vodných tokov a nádrží. Zbor. z konferencie so zahraničnou účasťou*. SVHS ZSVTS pri VÚVH Bratislava, 47 – 62.
- VALÚCHOVÁ, M., KOBELOVÁ, M., HUCKOVÁ, A., ŠÍPOŠ, P. & NAGY, Š., 2002: Monitoring kvality povrchových vôd a sedimentov tokov, kanálov a zdrže ovplyvnených vodným dielom Gabčíkovo. Záverečná správa za obdobie do 31. 12. 2001. *Manuskript. Archív SVP, OZ Povodie Dunaja, š. p., Bratislava*.
- VALÚCHOVÁ, M., KOBELOVÁ, M., HUCKOVÁ, A., TARABOVÁ, M. & NAGY, Š., 2004: Monitoring kvality povrchových vôd a sedimentov tokov, kanálov a zdrže ovplyvnených vodným dielom Gabčíkovo. Záverečná správa za obdobie do 31. 12. 2003. *Manuskript. Archív SVP, š. p., OZ Povodie Dunaja, š. p., Bratislava*.
- VALÚCHOVÁ, M., KOBELOVÁ, M., HUCKOVÁ, A., TARABOVÁ, M. & NAGY, Š., 2005: Monitoring kvality povrchových vôd a sedimentov tokov, kanálov a zdrže ovplyvnených vodným dielom Gabčíkovo. Záverečná správa za obdobie do 31. 12. 2004. *Manuskript. Archív SVP, š. p., OZ Bratislava*.
- WEIGELTOVÁ, S., 2003: Zataženie sedimentov fosforom vo vodných nádržiach na Slovensku. In: *Sedimenty vodných tokov a nádrží. Zbor. z konferencie so zahraničnou účasťou*. SVHS ZSVTS pri VÚVH Bratislava, 71 s.

Rukopis doručený 3. 1. 2013

Revidovaná verzia doručená 7.2. 2013

Rukopis akceptovaný red. radou 27.2. 2013

Monitoring of stream sediments in Slovakia

Paper presents results of stream sediment monitoring program in the Slovak Republic implemented from 1996. The monitoring has been established within the framework of the project “Partial Monitoring System – Geological Factors”, aiming to obtain background information on abiotic component of natural environment. Stream sediment monitoring is carried out yearly on a national network of 48 locations distributed throughout Slovakia (Fig. 1). Analysed parameters and used laboratory techniques are shown in Tabs. 1 and 2.

Basic statistical parameters of analysed compound for the period 1996–2011 and coefficients of temporal and spatial variability are presented in Tabs. 3 and 4. Based on the temporal variability of element contents, the elements are distinguished with a stable contents, moderate stability and unstable contents. Natural geological conditions govern the origin of elements with the stable contents (Na, K, Mg, Al and Fe). Their distributions at selected monitoring sites and histograms are presented in Figs. 2 and 3, respectively. Distribution of elements with moderate temporal variability (Ca, Ni, Mn, Co, Zn, Cr and Cu) largely depends on natural conditions in the area, but their greater

variability can condition also anthropogenic activities. Their distribution at selected monitoring sites and histograms are given in Figs. 4 and 5, respectively. High spatial and temporal variability of element concentrations (unstable contents), usually put down to both natural geological conditions and/or anthropogenic contamination, is typical for elements As, Se, Pb, Hg, Cd and Sb (distribution at selected monitoring sites and histograms are presented in Figs. 5 and 6, respectively).

To assess the contamination level of stream sediments the limit values in terms of “Decisions of the Ministry of Agriculture No. 531/1994-540”, as well as in terms of “Methodological guidelines of Ministry of the Environment No. 549/98-2” are used (Tab. 5). The results of sediment quality assessment (comparison of measured values with limit values), in particular for non standardized and standardized sediments, are presented in Tabs. 6 and 7. Contamination pattern of monitored stream sediments does not vary significantly in 16 years monitoring period. Good stream sediment quality and rare presence of pollutants are typical for the most of the main Slovak rivers. Anomalies with contaminated sites have been permanently

observed at monitoring sites: Štiavnica – mouth (locality 25), Hron – Kalná nad Hronom (52), Hron – Kamenica (53), Hnilec – inflow into dam Ružín (33) and Hornád – Krompachy (32). They are partly caused by natural background conditions (occurrence of ore deposits) where

the migration of contaminants is forced in sediments due to intensive mining and industrial activities in the past. Very serious anthropogenic pollution permanently occurs in the Nitra river basin – monitoring sites: Nitra – Chalmová (14), Nitra – Lužianky (15) and Nitra – Nitriansky Hrádok (50).