

ZDENĚK KLIMENT

## BILANCE, REŽIM A CHEMISMUS PLAGENIN ŘÍČKY BLŠANKY

Z. Kliment: *Balance, regime and geochemistry of suspended sediments of the Blšanka River.* – Geografie Sborník ČGS, 105, 3, pp. 255 – 265 (2000). The article evaluates the results of four-year measurement of suspended sediments in the Holedeč profile at the Blšanka River in the northwest Bohemia. The main attention is paid to the typology of the individual regime situation and to geochemical analysis of suspended sediment particles and active bank sediments.

KEY WORDS: Blšanka River – suspended sediments – geochemistry.

### 1. Úvod

Transport nerozpuštěných látek vodními toky představuje nezanedbatelnou položku v celkové bilanci oběhu látek v povodí. Pevné součásti minerálního i organického původu mohou být přemísťovány jednak jako dnové splaveniny (hrubší materiál původem převážně z říčního koryta a přilehlých svahů) a jednak jako plaveniny v suspenzi (jemnější částice, převážně produkt plošné eroze). Na základě transportovaného množství a charakteru materiálu lze v přirozených podmínkách, t.j. bez výrazných bodových zdrojů znečištění, usuzovat na intenzitu denudačních a erozních procesů v povodí, stejně tak lze hledat souvislosti k vývoji říčního koryta a přilehlé oblasti.

Měření nových splavenin je technicky náročné a realizuje se pouze na speciálně vybavených měrných profilech v experimentálních povodích. Častější je sledování plavenin v suspenzi. V naší zemi bylo systematické sledování transportu plavenin v suspenzi po vzoru okolních států zahájeno ČHMÚ v Praze od hydrologického roku 1985. Každodenní monitoring v současnosti zahrnuje okolo 50 vodoměrných stanic na českých a moravských řekách, což je asi polovina původně plánovaného počtu. Zpracované 10leté řady potvrdily očekávané regionální rozdíly v odnosu plavenin. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v průměru na přítocích Odry a Moravy (více jak 50 t/km<sup>2</sup> za rok).

Transport látek řekami je obecně ovlivněn charakterem klimatu, reliéfu, typem podloží, velikostí a tvarem povodí a v neposlední řadě způsobem využití krajiny i úpravami odtokových poměrů. Analýzy časových řad na stejném profilu vybízejí k hledání možné závislosti naměřených hodnot obsahů plavenin k vodnosti toku, popřípadě k příčinným erozní nebo nebezpečným dešťům v povodí. Vzhledem k velké časové i prostorové variabilitě plaveninových dat je nutné k naměřeným hodnotám zachovat individuální velmi citlivý přístup a respektovat délku pozorovacího období.

Plaveniny fungují jako přirozený sorbent, který na svůj povrch váže látky ve vodě rozpuštěné, včetně živin. Na plaveninách se kumulují i hůře rozpustné organické škodliviny (aromatické uhlovodíky, PCB, chlorované uhlovodí-

ky) a těžké kovy. V tomto smyslu se negativně projevují především průmyslové odpadní vody. Dočasně či trvale uložené kontaminované sedimenty vytvářejí potenciální riziko pro všechny živé organismy.

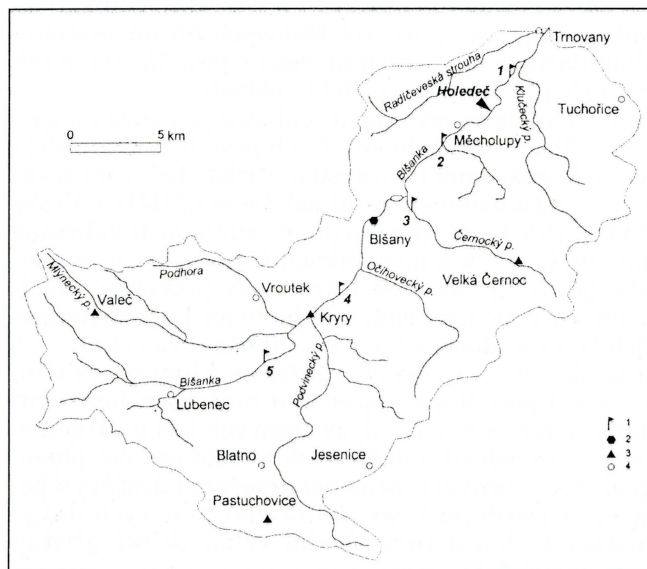
Príspevkem do složité problematiky transportu a chemismu plavenin je i studie z povodí Blšanky. Výzkumné aktivity, včetně monitoringu plavenin a chemické analýzy vzorků, byly v letech 1994-96 podpořeny interním grantem UK č. 121/94 "Změny erozních podmínek v území způsobené socialistickým zemědělstvím (na příkladu povodí Blšanky)".

## 2. Podmínky pro transport plavenin v povodí Blšanky

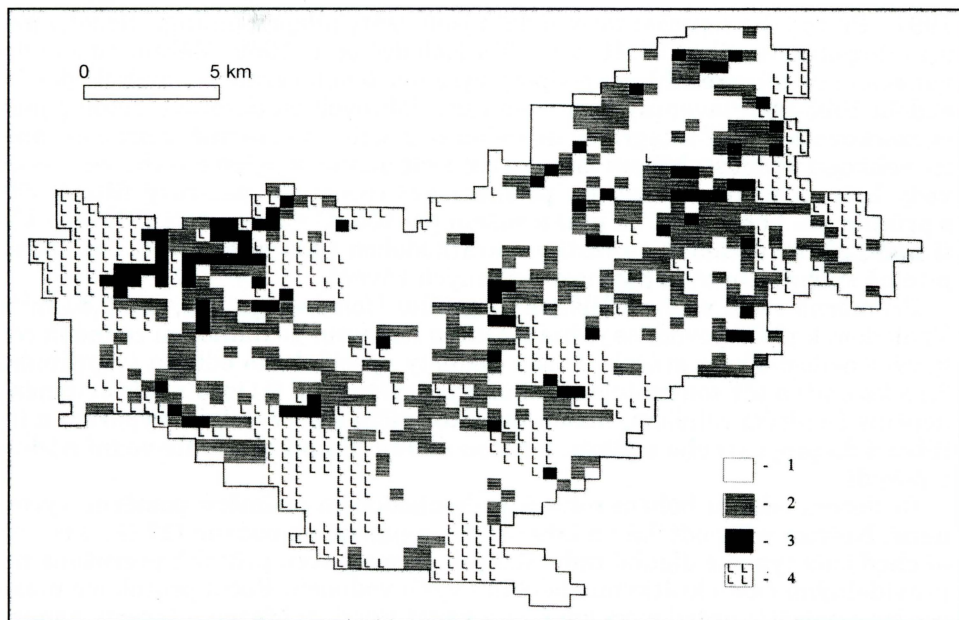
Povodí Blšanky leží v severozápadních Čechách. Blšanka pramení v Doupovských horách (680 m n. m.) a ústí jako pravostranný přítok pod Trnovany do Ohře (190 m n. m.). Délka toku je 46,8 m, plocha povodí je 482,5 km<sup>2</sup>. Povodí má vějířovitý tvar, je asymetrické ve prospěch pravých přítoků (320,5 km<sup>2</sup>). Největšími přítoky zprava jsou Podvinecký p., Očihovecký p., Černocký p. a Klučecký p., zleva Mlýnecký p. a tzv. Radčívěveská strouha. Průměrná hustota říční sítě je 0,67 km/km<sup>2</sup>.

Povodí Blšanky náleží k nejsušším a zároveň nejteplejším oblastem v Čechách. Průměrná srážka na povodí činí v dlouhodobém průměru 509,5 mm. Nejvíce srážek spadne v období červen – srpen (40,6 %). Plošně i časově rozložení srážek je velmi nerovnoměrné. Převážnou část povodí (asi 60 %) vyplňuje Rakovnická pahorkatina. Vesměs se jedná o erozně denudační reliéf širokých rozvodných hřbetů na podloží permokarbonu s široce rozevřenými mělkými až středně hlubokými údolími vodních toků. V horní části povodí se v reliéfu výrazněji uplatňuje vyzdvižená kra krystalinika Žihelské pahorkatiny a zalesněné svahy sopečné hornatiny Doupovských hor. Do dolní části po-

vodí Blšanky zasahuje plochý reliéf Mostecké, resp. Žatecké pánve. Analýzou dnových sedimentů Blšanky (viz Domáci 1975) bylo prokázáno, že se v materiálu transportovaném Blšankou nejvíce uplatňuje v povodí široce zastoupené svrchní červené souvrství středočeského karbonu, budované arkózovými písčivci s vložkami jiných sedimentárních hornin. Relativně malou odolnost uvedeného typu podloží vůči erozním procesům dokazuje i existence rozsáhlých stržových systémů. V dílčích povodích Očihoveckého, Černockého



Obr. 1 – Povodí Blšanky. 1 – místo odběru aktivních břehových sedimentů, 2 – klimatologická stanice, 3 – srážkoměrná stanice, 4 – významnější sídlo.



Obr. 2 – Náchylnost území povodí Blšanky k vodní erozi (podle P. Prášila 1996). 1 – slabě náchylné, 2 – středně náchylné, 3 – silně náchylné, 4 – lesy.

a Klučeckého p. celková délka strží až více než dvojnásobně prodlužuje stávající délku říční sítě, a to i při relativně malé sklonitosti povrchu (do  $5^\circ$ ). Nápadné je i červenohnědé zabarvení vody Blšanky, zvláště v obdobích vyšší vodnosti.

V povodí rovnoměrně převládají hlinité půdy, v plošně menších areálech následují půdy hlinitopísčité. Jedná se zejména o hnědé půdy, významné postavení mají hnědozemě. Erozní náchylnost povodí byla posuzována detailněji pomocí čtvercové sítě o straně 500 m kombinací dvou faktorů: vypočtené reliéfové energie a převažující půdní textury. Nejméně příznivě se v tomto smyslu v nezalesněném prostředí projevily mimo Doupovských hor zejména mírně ukloněné zemědělsky využívané údolní svahy samotné Blšanky a některých jejích přítoků (Černocký p.) – viz obr. 2.

Povodí Blšanky je intenzivně zemědělsky obhospodařovanou oblastí bez větších lidských sídel s nevýznamným průmyslem. Lesy pokrývají 25 % plochy povodí. Téměř 90 % plochy zemědělské půdy je zorněno. Z pěstovaných kultur jsou vedle obilnin ve větší míře zastoupeny chmelnice, které nedostatečně chrání půdu před erozí. Vypočtené průměrné dlouhodobé roční ztráty erozí (podle USLE) dosáhly pro některé chmelnice až  $17 - 25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Terénní průzkumy potvrdily značnou nepřerušovanou délku obdělávaných pozemků po spádnicí a často nevhodný směr obdělávání.

### 3. Hydrologický a plaveninový režim Blšanky

Vodnost Blšanky je sledována pravidelně již od r. 1901 v Holedeči ( $7,8 \text{ ř. km}$ ,  $P = 375,4 \text{ km}^2$ ). Použití historické řady pozorování vodních stavů (do r. 1970) do hydrologických výpočtů je omezené a orientační (viz. Čekal

1997). Proto jako reprezentativní data jsou vzaty údaje z limnigrafického měření, praktikovaného ČHMÚ v profilu Holedeč od r. 1969. Měření suspendovaných plavenin proběhlo za podpory výše uvedeného grantu v hydrologickém období 1995-98. Plaveniny byly odebírány dobrovolnou pozorovatelkou pomocí vzorkovače ČVUT integrační metodou ve svislici, a to denně, v případě změny velikosti vodnosti během dne i několikrát denně, a jejich obsahy ve vzorku vody byly následně stanoveny po filtrování (používán papírový filtr č. 389 s průměrnou pórovitostí 16  $\mu\text{m}$ ) a sušení při 105 °C v laboratoři ČHMÚ v Ústí nad Labem. Jedná se prozatím o krátkodobou řadu pozorování, což pochybitelně snižuje obecnou platnost učiněných závěrů.

Průměrná roční vodnost Blšanky v profilu Holedeč  $Q_{a(1969-97)}$  činí 0,82  $\text{m}^3/\text{s}$ . Vzhledem k ploše povodí se jedná o nízkou hodnotu, podmíněnou zejména celkovým nedostatkem srážek. Nízké hodnoty specifického odtoku (v průměru 2,18  $\text{l/s/km}^2$ ) a též součinitele odtoku (v průměru 13,5 %) jsou navíc ovlivněny nepřilíš členitým reliéfem, malou hustotou říční sítě, vysokým výparem a infiltrací do propustného podloží. Určitou měrou přispívají i malé vodní nádrže v povodí.

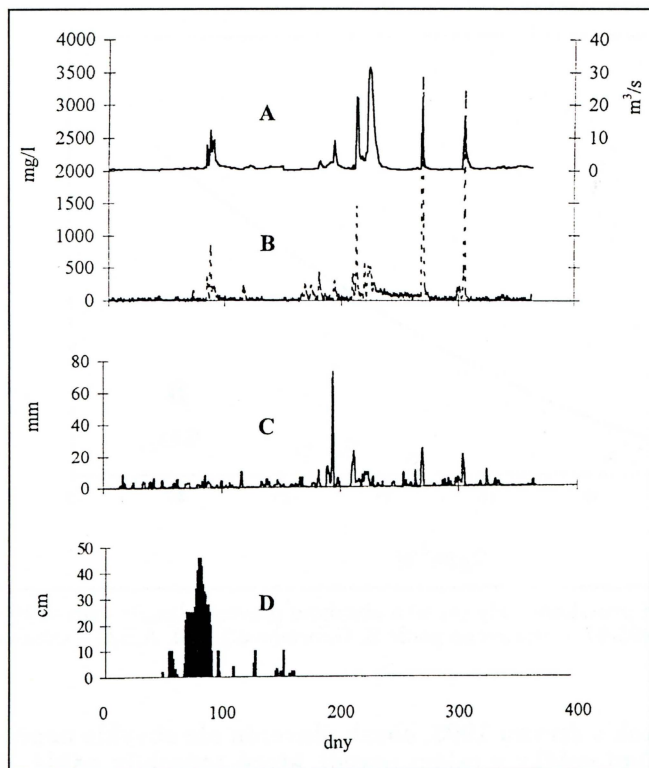
Rozložení odtoku během roku je v dlouhodobém průměru poměrně vyrovnané. Nejvíce vody odtéká na jaře (34 %), nejméně na podzim (17 %). Pro roční chod jsou typické dlouhé řady nízkých vyrovnaných průtoků přerušené nepravidelnými často krátkými obdobími vyšší vodnosti. Roční průtoková maxima lze s největší pravděpodobností očekávat v období březen – červen, naopak nikdy se nevyskytla v září a říjnu. Absolutní maximum bylo naměřeno v červnu 1995 (31,6  $\text{m}^3/\text{s}$ ), minimální průtok (0,02  $\text{m}^3/\text{s}$ ) byl zaznamenán v srpnu 1992. Interpretaci historické řady pozorování vodních stavů vyplynulo, že došlo k situacím, kdy koryto Blšanky vyschlo (naposled v r. 1965), stejně tak byl opakovaně dosažen vůbec nejvyšší naměřený vodní stav 280 cm (odpovídá asi 130  $\text{m}^3/\text{s}$  – 1909, 1956). Vysoká variabilita průtoků podmíněná náhlými nárůsty vodnosti vytváří předpoklady pro transport plavenin v korytě.

Období sledování plavenin bylo z hydrologického hlediska velmi nerovnoměrné. Hydrologický rok 1995 byl nadprůměrně vodný, spolu s největší naměřenou hodnotou průtoku za dobu limnigrafického měření od r. 1969. Zbýlé období bylo průměrně až podprůměrně vodné. Jednotlivé roky se odlišovaly i rozdělením vodnosti během roku. Zatímco v r. 1995 nejvíce vody odtéklo v červnu s podružnými maximy v lednu a překvapivě v září, v dalších letech byly nejvodnější zimní, resp. jarní měsíce. V zimním období 1996 a 1997 nebylo možné provádět odběry plavenin vzhledem k dlouhodobým zámrazům hladiny. Údaje o obsahu plavenin byly v tomto případě doplněny s ohledem na okrajové hodnoty za pomoci regresního vztahu mezi průtokem vody a obsahem plavenin (tab. 1).

Tab.1 - Data o průtocích vody a plaveninách v hydrologickém období 1995-98

Hydrologický rok	$Q_r$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{max}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$c_r$ ( $\text{mg/l}$ )	$c_{\text{max}}$ ( $\text{mg/l}$ )	$G_r$ (t)	$q_{\text{pl}}$ ( $\text{t/km}^2$ )
1995	1,73	31,3	80,9	3 412,0	24 216,6	64,5
1996	0,87	5,3	102,0	4 872,4	3 652,9	9,7
1997	0,56	5,6	61,0	3 934,0	1 821,2	4,8
1998	0,35	1,8	28,1	423,6	344,5	0,9
Průměr 1995-98	0,88	–	68,0	–	7 509,6	19,9



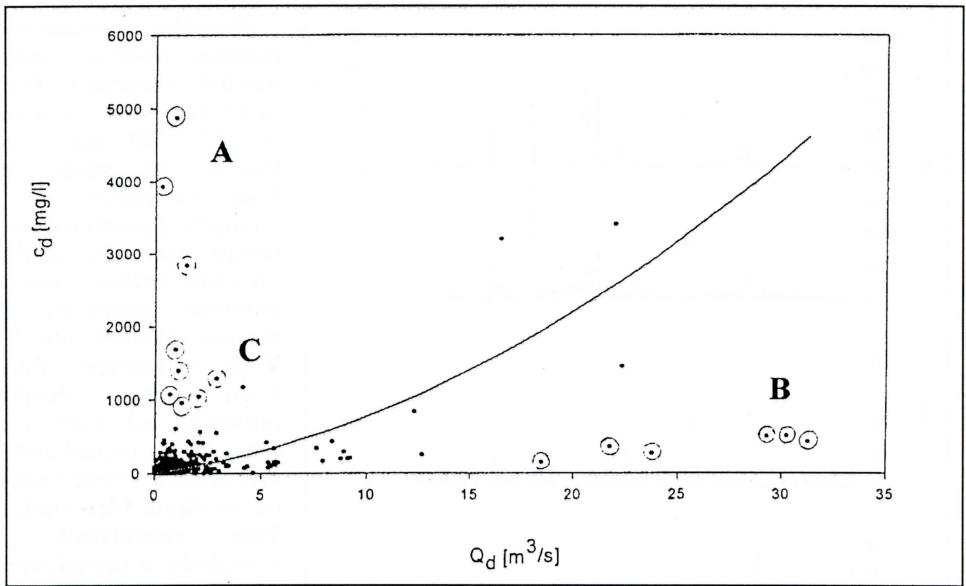


Obr. 3 – Roční chod průtoku vody (A), obsahu plavenin (B), srážek (C) a výšky sněhové pokrývky (D) – vztaheno k profilu Holedeč, hydrologický rok 1995 (upraveno podle Z. Gabrielo-vé 1998). Osa x – pořadí dne v hydrologickém roce.

by došlo k výraznému nárůstu průtoku vody, B. došlo k situacím kdy byly zjištěny i přes vysoké hodnoty průtoku vody nízké hodnoty plavenin, zejména při déletrvajících vysokých vodních stavech a po sobě následujících průtokových vrcholech, C. po dlouhém období nízkých průtoků způsobil malý, byť několikanásobný nárůst průtoku vody prudký neúměrný vzrůst obsahu plavenin (obr. 4). Zatímco první případ mohl být vyvolán s největší pravděpodobností antropogenním zásahem do říčního systému nebo také chybným odběrem vzorku, zbylé dva případy jsou přirozené a typické a nelze je opominout. Po vyloučení, popř. snížení váhy takto vybočujících extrémních hodnot byla odvozena a nejlépe vyhovovala daným podmínkám regrese ve tvaru kvadratické rovnice  $c = a + b \cdot Q + c \cdot Q^2$ . Závislost mezi obsahem plavenin a průtokem vody byla zjištěna u průtoků větších  $Q_a$ . Vliv sezóny se na těsnosti vztahu mezi oběma parametry významněji neprojevil. Velmi slabě se prokázal vztah mezi obsahem plavenin a srážkou v povodí posunutou o dva dny dopředu. Vzhledem ke krátkosti naměřené řady je nutné brát výsledky regrese pouze jako orientační.

Větší pozornost si zaslouhuje analýza mimořádných odtokových situací, a to zejména ve vztahu k příčinným faktorům. Bylo možné rozlišit čtyři situace: 1. tání sněhu v povodí, někdy provázené mírnými dešťovými srážkami, které nevyvolalo nejvyšší průtokové stavy (do  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ale způsobilo zvýšené obsahy plavenin (až okolo  $1000 \text{ mg/l}$ ), 2. několik dní trvající srážky, které vyvolaly

Největší průměrné měsíční obsahy plavenin byly zjištěny v období květen – červen a září ( $160 - 230 \text{ mg/l}$ ), nejmenší připadají na říjen až leden ( $20 - 70 \text{ mg/l}$ ). Z grafů ročních chodů plavenin, průtoků vody, srážek a stavu sněhové pokrývky je zřejmá závislost (obr. 3). Vyšší naměřené absolutní hodnoty obsahu plavenin (c) zpravidla odpovídají průtokovým vrcholům v určité vazbě na srážky a tání sněhu. Tato skutečnost je v souladu s nebodovým původem plavenin v návaznosti na proběhlé erozní procesy v povodí. Vlastní vztah mezi daným obsahem plavenin a průtokem vody je složitější a nelze jej z několika důvodů zobecnit na celý datový soubor: A. vyskytly se vysoké hodnoty obsahu plavenin (až přes  $4000 \text{ mg/l}$ ), aniž



Obr. 4 – Regresní vztah mezi průtokem vody ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) a obsahem plavenin ( $\text{mg}/\text{l}$ ) – profil Holedeč, hydrologické období 1995-97 – (upraveno podle Z. Gabrielové 1998). A,B,C – situace popsané v textu.

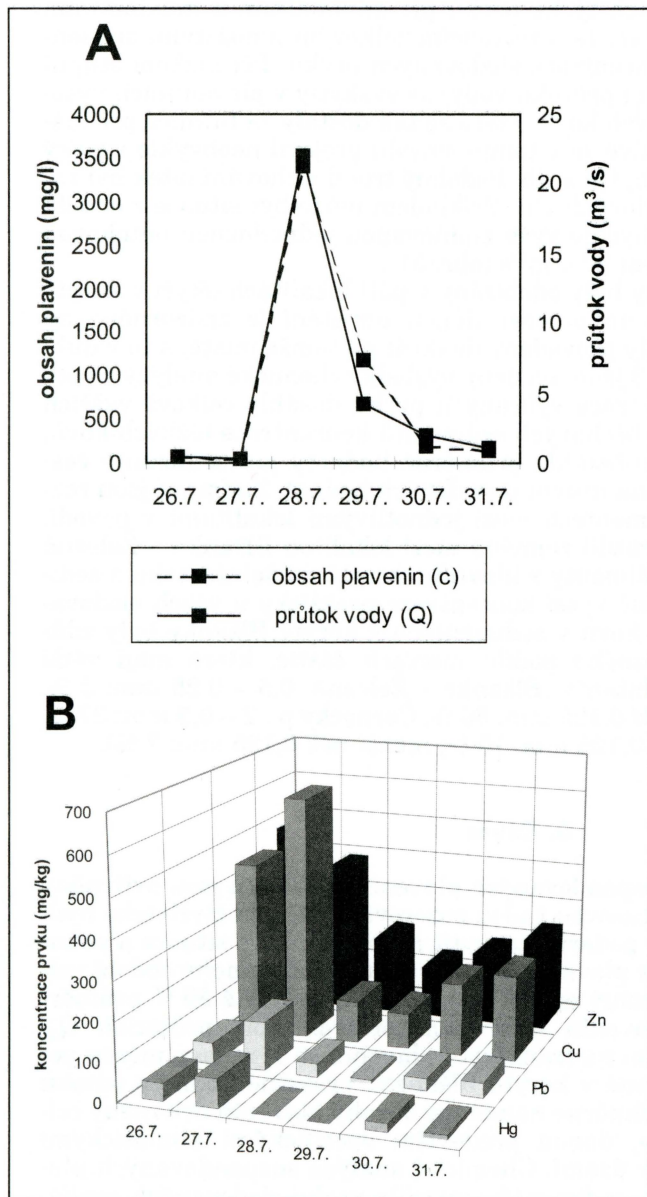
i nejvyšší naměřený průtok v červnu 1995, obsah plavenin ale obvykle nepřesáhl  $500 \text{ mg}/\text{l}$ , 3. intenzivní srážky v celém povodí, které způsobily náhlé až několikanásobné nárůsty průtoku (relativně nízké i vysoké hodnoty průtoku), při kterých byly naměřeny nejvyšší obsahy plavenin (ke  $4\,000 \text{ mg}/\text{l}$ ) a 4. lokální intenzivní srážky, které sice vyvolaly vyšší obsahy plavenin (až k  $1\,000 \text{ mg}/\text{l}$ ), ale prakticky se neprojevily nárůstem průtoku vody v korytě Blšanky. Fungování schématu je samozřejmě ovlivněno momentálním stavem zejména zemědělsky využívaných ploch v povodí. V mimovegetačním období lze očekávat celkově vyšší hodnoty odtoku vody i plavenin.

Vzhledem k nízkému průměrnému průtoku Blšanky je podstatná část ročního odtoku plavenin ( $G$ ) vázána na nepříliš četná období vyšší vodnosti. A to i přesto, že hodnota průměrného ročního obsahu plavenin je relativně vysoká (dvojnásobná v porovnání s některými českými povodími stejné plochy, kde jsou měřeny plaveniny). Až 80 % průměrného ročního množství plavenin je transportováno při průtocích  $Q_{30}$  a vyšších. Ve shodě s režimem vodnosti na Blšance ve sledovaném období připadlo největší odtěčené množství plavenin (až 80 %) na červen – červenec a září (vliv hydrologického roku 1995). Nejvyšší denní průtok plavenin ( $75 \text{ kg}/\text{s}$ ) byl dosažen 28. 7. 1995 při průtoku  $22,6 \text{ m}^3/\text{s}$  a obsahu plavenin  $3\,412 \text{ mg}/\text{l}$ , druhý nejvyšší denní průtok plavenin byl zaznamenán 2. 9. 1995 při průtoku  $16,5 \text{ m}^3/\text{s}$  a obsahu plavenin  $3\,207 \text{ mg}/\text{l}$ . V obou případech se jednalo o prudký až 50násobný nárůst průtoku po intenzivních srážkách. K podobným situacím, kdy byly naměřeny vyšší obsahy plavenin po lokálních přívalových srážkách, které však nevyvolaly takové nárůsty průtoku vody v samotném korytě Blšanky, došlo i několikrát i v průběhu letního období dalších let. Zbylých 20 % celkového množství plavenin za sledované období odtéklo víceméně v průběhu mimovegetačního období (1995 – 8 %, ale 1996 – 66 %, 1997 – 50 %, 1998 – 70 %).



Nadprůměrná vodnost hydrologického roku 1995 ovlivnila i hodnoty specifického odtoku plavenin (tab. 1). Při největším průtoku plavenin 28. 7. 1995 dosahoval specifický odtok plavenin 17,3 t/km<sup>2</sup>. Skutečná intenzita erozních procesů v povodí by vzhledem k ploše povodí odpovídala hodnotě zhruba 11krát vyšší.

#### 4. Chemická analýza plavenin Blšanky



V první polovině 90. let je zvýšená pozornost ve výzkumu říčního odnosu věnována chemické analýze plavenin. Plaveniny jsou dávány do přímé souvislosti se znečištěním vody zejména v oblastech s velkou koncentrací průmyslové a těžební činnosti. Při sedimentaci kontaminovaných plavenin dochází v závislosti na pevnosti vazeb polutantů ke kumulaci znečišťujících látek. Dočasně uložené říční břehové i dnové sedimenty tak představují určitý potenciální zdroj znečištění, který se aktivuje při stavech vyšší vodnosti.

Chemická analýza plavenin Blšanky byla zaměřena na stanovení obsahu vybraných prvků. Vzorčky plavenin byly analyzovány v Analytické laboratoři ÚAE v Kostelci nad Černými lesy metodou emisní spektrometrie AAS. Prvky byly stanoveny z mineralizátu, který

Obr. 5 – A. Průtok vody (m<sup>3</sup>/s) a obsah plavenin (mg/l), B. Koncentrace těžkých kovů v plaveninách (mg/kg), obojí v období 26. 7. – 31. 7. 1995, profil Holedeč na Blšance.

byl získán rozkladem kyselinou dusičnou v uzavřených PTFE nádobkách za zvýšeného tlaku při 170 °C po dobu 7 hodin. Zjišťován byl obsah makroelementů (P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn) a mikroelementů, tj. těžkých kovů (Zn, Cu, Cd, Pb) a As. Chemická analýza byla provedena pro dva typů vzorků: jednak pro plaveniny v suspenzi, jednak pro aktivní břehové sedimenty.

Pro analýzu suspendovaných plavenin bylo využito zpětně vzorků z pravidelného každodenního monitoringu plavenin v profilu Holedeč. Účelově byly vybrány situace pro nízké, střední a vysoké obsahy plavenin z hydrologického roku 1995 ve dvouměsíčních intervalech. Z tabulky 2 jsou na první pohled zřejmé rozdíly v koncentracích těchto prvků při minimálním a maximálním obsahu plavenin. Prokázalo se, že s rostoucím celkovým množstvím suspendovaných plavenin klesá koncentrace sledovaných prvků. Při nízkém stupni zakalení (zpravidla při malém průtoku vody) se vyskytly v plaveninách vysoké hodnoty koncentrací těžkých kovů, které se tak dostaly za hranice příslušných norem. Zvláště nepříznivě se v tomto smyslu projevil neobvykle vysoký obsah Hg a zvýšený obsah Zn, Cu a Pb. Podobný trend v chování látek byl zaznamenán v průběhu povodňových vln. Příkladem může být situace z období 26. – 31. 7. 1995, která zachycuje výše zmiňovanou jednoduchou odtokovou vlnu s kulminačním průtokem 22,6 m<sup>3</sup>/s (obr. 5).

Aktivní břehové sedimenty byly odebírány v pěti lokalitách (čtyři v korytě Blšanky, jedna na Černockém potoce). Jejich umístění je znázorněno na obr. 1. Odběry sedimentů byly provedeny dvakrát na témže místě, a to v dubnu a na podzim 1996. V tab. 3 jsou uvedeny výsledky chemické analýzy z podzimního odběru, kdy koncentrace vybraných prvků dosáhly celkově vyšších hodnot. V případě aktivních břehových sedimentů koncentrace těžkých kovů, včetně problematické Hg nepřesáhly průměrné hodnoty pro sedimenty českých řek a většinou zůstaly na úrovni pozadových hodnot. Zajímavé jsou rozdíly v obsahu prvků v sedimentech mezi jednotlivými lokalitami v povodí. V tomto ohledu je zřetelný rozdíl zejména mezi lokalitou Blšanka – Železná a Černocký p., resp. mezi sedimenty v hlavního korytě na dolním toku a sedimenty přítoku. Nesrovnatelně vyšší koncentrace prakticky u všech sledovaných prvků, včetně těžkých kovů v sedimentech v korytě Blšanky byly zdůvodněny zastoupením výrazného podílu menších částic, které mají větší schopnost na sebe vázat polutanty (Blšanka – Železná: 0,5 – 0,25 mm: 3 %, 0,25 – 0,125 mm: 11 %, menší 0,125 mm: 86 %, Černocký p.: 2 – 0,5 mm: 37 %, 0,5 – 0,25 mm: 41 %, 0,25 – 0,125 mm: 15 %, menší než 0,125 mm: 7 %).

## 5. Závěr

Poznatky o transportu suspendovaných plavenin Blšankou jsou ovlivněny prozatím relativně krátkou časovou řadou pozorování. Během čtyřletého hydrologického období se přesto podařilo zachytit různé odtokové situace a pokusit se o jejich typizaci. Odtok plavenin byl v průběhu sledovaného období velmi nerovnoměrný a úzce vázaný na nárůsty průtoku vody. Až 80 % průměrného ročního množství plavenin bylo transportováno při průtocích  $Q_{30}$  a vyšších. Lze se domnívat, že na transportu plavenin se výraznou měrou podílí plaveniny dočasně uložené v korytě Blšanky. Výsledné hodnoty odtoku plavenin jsou i přes vyšší průměrné naměřené obsahy plavenin ovlivněny celkově nízkou vodností toku, danou především specifickými klimatickými a hydrogeologickými poměry území. Chemická analýza suspendovaných plavenin a aktivních břehových sedimentů potvrdila vazbu sledovaných prvků,



Tab. 2 - Obsah prvků ve vzorcích suspendovaných plavenin

Datum	Situace	c mg/l	P g/kg	K g/kg	Na g/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	Fe g/kg	Mn g/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	As mg/kg
7.11.1994	min	4,86	29,75	14,67	2,13	71,28	24,17	46,07	10,71	5 088,2	1 033,1	5,37	252,07	196,30	44,63
14.12.1994	max	49,56	3,53	16,96	1,45	13,42	11,64	34,99	2,76	956,6	242,1	1,51	79,10	32,28	13,22
25.12.1995	střed	12,98	9,40	12,40	1,90	30,35	12,87	36,13	4,19	2 305,1	693,4	5,01	138,67	71,80	21,96
7.1.1995	min	7,40	16,49	22,16	2,78	63,65	22,84	69,59	10,96	3 909,5	2 324,3	5,54	824,32	143,20	52,7
27.1.1995	max	839,40	1,83	10,85	0,47	0,39	7,88	35,94	1,64	272,1	97,1	0,93	61,23	2,83	3,44
17.2.1995	střed	34,30	23,43	12,52	1,28	16,03	10,15	32,54	3,39	1 051,9	450,4	1,95	147,38	43,00	18,97
10.3.1995	min	7,05	0,69	6,25	1,28	26,67	9,17	18,96	2,31	1 810,4	2 263,9	1,94	429,17	120,80	10,28
24.4.1995	max	223,90	5,08	7,71	0,99	2,91	5,95	61,53	1,69	866,6	474,3	1,28	54,97	5,36	4,33
26.3.1995	střed	14,82	5,48	8,73	2,58	13,31	7,53	14,58	4,13	473,2	671,7	2,51	62,95	29,31	9,58
9.5.1995	min	6,79	8,49	56,78	14,34	80,26	49,87	105,99	12,86	4 371,1	8 243,4	9,67	601,97	317,10	32,89
7.6.1995	max	1 100,10	0,40	3,32	0,34	6,33	6,01	53,12	0,27	326,6	437,1	1,41	58,79	5,86	10,27
22.6.1995	střed	133,70	0,60	6,51	0,95	7,91	7,25	21,39	1,36	484,5	250,2	0,55	43,01	11,63	11,79
12.8.1995	min	9,40	111,01	29,52	24,68	122,61	48,67	36,33	0,92	8 513,3	4 930,9	2,18	1 257,98	219,70	12,50
28.7.1995	max	3 480,00	1,64	7,78	0,43	0,40	7,81	26,60	0,98	201,3	108,0	0,44	34,56	1,83	0,34
27.8.1995	střed	194,60	3,44	17,83	1,46	0,43	11,50	45,12	1,21	382,4	251,3	0,29	76,77	17,47	12,58
16.10.1995	min	7,20	57,64	21,67	16,76	259,03	43,61	49,86	4,11	6 095,8	10 250,0	7,64	555,56	68,19	19,17
2.9.1995	max	3 464,20	1,69	5,18	0,24	0,37	6,11	23,76	1,13	160,2	90,9	0,39	32,68	1,88	0,62
4.10.1995	střed	63,50	2,07	12,06	3,08	16,5	12,19	33,72	3,01	2 161,9	392,1	1,35	69,53	35,59	9,13

Tab. 3 - Obsah prvků ve vzorcích aktivních břehových sedimentů ze dne 16. 10. 1996

Lokalita	P g/kg	K g/kg	Na g/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	Fe g/kg	Mn g/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	As mg/kg
1. Blšanka - Veletice	0,534	6,171	0,270	11,967	5,603	16,713	0,841	71,73	21,91	0,190	13,719	0,049	5,340
2. Blšanka - Železná	1,344	12,885	0,522	12,178	9,781	29,070	1,357	135,52	53,01	0,391	30,094	0,102	16,407
3. Černočský potok	0,256	3,157	0,090	7,315	2,276	7,804	0,488	39,48	9,71	0,080	5,947	0,014	3,610
4. Blšanka - Strojčice	0,442	4,038	0,240	5,538	3,823	12,046	0,589	61,09	10,12	0,595	11,789	0,031	4,421
5. Blšanka - Mukoděly	0,802	7,880	0,296	6,812	6,403	22,403	0,878	163,98	36,51	1,093	24,240	0,166	6,389

včetně těžkých kovů na jemnou frakci plavenin. Ve vzorcích suspendovaných plavenin se vyskytly při nízkém obsahu plavenin (při malém průtoku vody) nepříznivé koncentrace Hg, Zn, Cu a Pb, které mohou být určitou odezvou na některé aktivity antropogenního původu v povodí.

#### Literatura:

- CÍLEK V., PETRŮJOVÁ, T. a kol. (1994): Koncentrace těžkých kovů v suspendovaných sedimentech dolního toku Labe. Studie ČHMÚ a ÚUG, Praha.
- ČEKAL, R. (1997): Hydrologické poměry řeky Blšanky. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 110 s.
- DOMÁČÍ, L. (1975): Plaveniny řeky Blšanky. Výzkumné práce ÚÚG, č. 7, Praha, s. 25-39.
- GABRIELOVÁ, Z. (1998): Plaveniny řeky Blšanky. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 102 s.
- KLIMENT, Z. (1996): Co odnášejí řeky? Geografické rozhledy, 5, č. 2, ČSGS, Praha, s. 47-50.
- KLIMENT, Z. (1997): Změny erozních podmínek v území způsobené socialistickým zemědělstvím (na příkladu povodí Blšanky). Závěrečná zpráva grantu UK č. 121/94, PřF UK Praha, 25 s.
- KLIMENT, Z., KOPP, J. (1997): Hodnocení plaveninového režimu na zdrojnicích Berounky. Geografie-Sborník ČSGS, 102, č. 2, ČGS, Praha, s. 130-139.
- PRÁŠIL, P. (1996): Podmínky pro erozi v povodí Blšanky. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 68 s.
- ŠÁRA, P. (1997): Vývoj a současný stav hydrografické sítě v povodí Blšanky. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 103 s.
- VESELÝ, J., GÜRTEROVÁ, P. (1996): Kontaminace sedimentů českých řek stopovými prvky. Sborník 7. Magdeburského semináře o ochraně vod. České Budějovice.

#### Summary

#### BALANCE, REGIME AND GEOCHEMISTRY OF SUSPENDED SEDIMENTS OF THE BLŠANKA RIVER

Suspended sediment is an important component of the river transport. Its increased outflow under natural conditions, that is without considerable local sources of pollution, signalized more intensive water erosion in the catchment area. Several recent papers suggest the danger following from the ability of suspended sediment to bind different substances, including the toxic ones.

The Blšanka River catchment area (482.5 km<sup>2</sup>) belongs to the driest and in the same time warmest regions in Bohemia. Frequently occurring brown soils enable intensive farming, the main grown crops being cereals and hop. The prevailing subjacent rocks of the Middle Bohemian Perm-Carbon (most frequently arcose sandstone) are bound to a vast system of ravines although the relief is relatively little inclined. Woods cover 25 % of the area. Neither more significant human settlements, nor industrial plants are located in the catchment area.

The hydrology of the Blšanka River has been monitored since 1901 in Holecdeč (limnigraph since 1969). A low level of the average annual flow (0.82 m<sup>3</sup>/s) is mainly influenced by global shortage of precipitation, by a high evaporation and by infiltration into the permeable underlayer. A long sequence of low equilibrated flows interrupted by irregular, often short periods of higher flows (March – June) is typical for the year curve.

The period of monitoring suspended sediment was very irregular from the hydrological viewpoint (Tab. 1); the year 1995 was very rich in water, the year 1998 very poor. Three situations can be distinguished in the relation between the content of suspended sediment and the discharge: A. High level of suspended sediment (up to 4000 mg/l) without increased discharge, B. High level of discharge and low level of suspended sediment, mainly when discharge was increased for a longer time and after ensuing flow peaks, C. Disproportional increase of suspended sediment after a small, although multiple increase of discharge after a long period of low water flow. Several categories of suspended sediment outflow were

recognized: 1. Snow melting in the catchment area that did not induce the highest discharge (up to  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) but caused increased volumes of suspended sediment (up to  $1000 \text{ mg/l}$ ), 2. Several day lasting rainfall followed by the highest measured discharge, the content of suspended sediment did usually not exceed  $500 \text{ mg/l}$ , 3. Intensive rainfall in the whole catchment area that caused a sudden multiple increase of discharge (low and high levels) when the measured content of suspended sediment was the highest (about  $4000 \text{ mg/l}$ ), 4. Local intensive rainfall that caused a higher content of suspended sediment (up to  $1000 \text{ mg/l}$ ) but was practically not followed by an increased discharge. The highest daily flow of suspended sediment ( $75 \text{ kg/s}$ ) was registered on July 28, 1995, the water flow being  $22.6 \text{ m}^3/\text{s}$  and the content of suspended sediment  $3\,412 \text{ mg/l}$  (which corresponds to  $17.3 \text{ t/km}^2$ ).

The geochemical analysis of the Blšanka sediment was aimed at establishing the content of selected elements, including heavy metals (Tabs 2 and 3). The samples of sediment were analysed by the method of emission spectrometry AAS from the mineralizate obtained by decomposition by nitric acid in closed PTFE pots under an increased pressure at  $170^\circ\text{C}$ . In the samples of suspended sediment, high concentrations of Hg, Zn, Cu and Pb were found when the volume of suspended sediment was low (by a low discharge) – they might be a response to some activities of anthropogenous origin in the catchment area.

Fig. 1 – The Blšanka River catchment area. 1 – sampling locality of active bank sediments, 2 – climatological station, 3 – rainfall measuring station, 4 – more significant settlement.

Fig. 2 – Susceptibility of the Blšanka River catchment area to water erosion (according to P. Prášil 1996). 1 – low susceptibility, 2 – medium susceptibility, 3 – high susceptibility, 4 – forests.

Fig. 3 – Year course of discharge (A), suspended sediment (B), rainfall (C) and snow cover (D) at the Holedeč profile in the hydrological year 1995 (according to Z. Gabrielová 1998). Axis x – rank of the day in the hydrological year.

Fig. 4 – Regressive relation between the discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) and suspended sediment ( $\text{mg/l}$ ) at the Holedeč profile, hydrological period 1995-97 (according to Z. Gabrielová 1998). A, B, C – situations described in the summary.

Fig. 5 – Discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), suspended sediment ( $\text{mg/l}$ ) and concentration of heavy metals in the suspended sediment of the Blšanka River ( $\text{mg/kg}$ ) at the Holedeč profile (July 26 – 31, 1995).

*(Pracoviště autora: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2.)*

*Do redakce došlo 15. 6. 1999*