

# ZRNITOSTNÍ CHARAKTERISTIKA MODERNÍCH FLUVIÁLNÍCH SEDIMENTŮ – PŘÍKLADOVÁ STUDIE Z VÝCHODNÍ MORAVY

Grain size characteristics of modern fluvial deposits – a case study from the eastern Moravia (Czech Republic)

Slavomír Nehyba<sup>1</sup>, Klára Hilscherová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: slavek@sci.muni.cz

<sup>2</sup> Výzkumné centrum pro chemii životního prostředí a ekotoxikologii PřF MU, Kamenice 126/3, 625 00 Brno; e-mail: hilscherova@recetox.muni.cz

(25–31 Kroměříž, 25–32 Zlín)

**Key words:** modern fluvial deposits, large and small rivers, grain size, bed load, suspended load

## Abstract

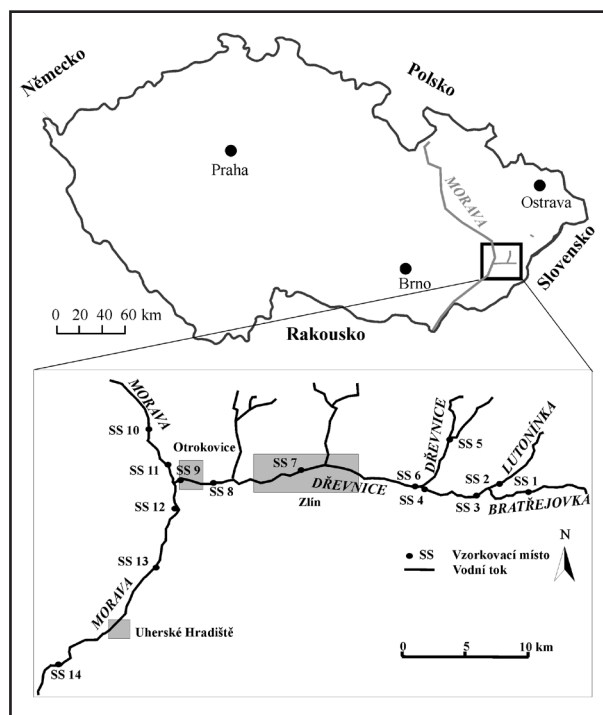
Modern fluvial deposits of both small and large rivers were studied at 14 monitoring sites in the area of eastern Moravia (Czech Republic). The grain size of deposits reflects wider spectra of transportation, although the suspended load dominates. The grain size of studied fluvial sediments was both sediment supply and discharge controlled. The role of the material source seems to be dominant whereas the influence of fluvial discharge is seasonal. Studied sediments reflect seasonal trends and variability in fluvial discharges with maximum discharge values in the early spring (snow melting) and summer (thunderstorm events) periods.

## Úvod

Fluviální systémy představují hlavní transportní fenomén terestrického prostředí. Fluviální sedimenty hrají významnou roli v komplikovaných vazbách transportu unášeného materiálu i polutantů v moderních kontinentálních depozičních systémech. Zrnitost a složení jsou základními charakteristikami sedimentárních hornin a obsahují důležitou informaci o depozičních procesech. Poznatky o prostorové a časové variabilitě velikosti částic moderních fluviálních sedimentů na území České republiky jsou relativně omezené. Velikost částic je klíčová pro porozumění dynamice transportu i distribuci sedimentárního materiálu v povodí (Stone – Walling 1997, Walling et al. 2000), ovlivňuje „erodovatelnost, způsob transportu, rychlost sedimentace, je v úzkém vztahu s minerálním a chemickým složením sedimentu a hraje významnou roli z hlediska schopnosti vázat kontaminanty“ (Horowitz – Elrick 1987, Walling – Moorehead 1989, Whitmore et al. 2004).

## Charakteristika zájmové oblasti

Studovaná oblast se nachází ve v. části České republiky v širším okolí města Zlín (obr. 1). V zájmovém území byly studovány jak sedimenty menších vodních toků (Dřevnice, Bratřejovka, Lutonínka), tak i velkého toku (Morava). Významné jsou rozdíly ve velikosti povodí, geologické stavbě a geomorfologii zdrojové oblasti, průtoku i typu řečiště, které tvoří přirozená i umělá koryta (Pesl 1982, Vlček 1984, Demek 1987, Vůjta 1987, Novák 1994, Havlíček 2001). Přirozené „přírodní“ podmínky jsou přeměněny výraznou antropogenní aktivitou (průmyslovou i zemědělskou činností). Oblast je v současnosti vystavena erozním procesům, svahovým deformacím, jsou zde dokumentovány četné břehové nátrže a další projevy erozních



Obr. 1: Schematická mapa studované oblasti a lokalizace vzorkovacích míst.

Fig. 1: Sketch map of the studied area with location of the sampling sites.

procesů vázané na vodní toky (Volšan 1989, Jinochová, 1996a, 1996b, 1997, Kašpárek 1997a, 1997b).

## Metody práce

Moderní fluviální sedimenty byly vzorkovány během let 2005–2008 na 14 odběrových místech. V letech 2005–2006 byly každoročně ve dvou odběrových kampaních (květen a září) odebrány dnové sedimenty aktivních částí

toku. Lokalizace odběrových míst je znázorněna v obr. 1. V rámci řeky Moravy byly v květnu 2005 sledovány vedle sedimentů řečiště dostupných z břehu také sedimenty blízké proudnici. Vždy byla odebrána jen povrchová vrstva dnových sedimentů o mocnosti max. několika centimetrů. Vzhledem k výrazným sezónním změnám v říčním průtoku i zrnitosti bylo rozhodnuto vzorkovat na vybraných místech plaveniny (pomocí „sedimentárních“ pastí) a dnové sedimenty s měsíčním krokem. Během další odběrové kampaně pak byly od června 2007 do července 2008 tyto sedimenty vzorkovány na 3 vybraných odběrových místech z výše uvedených 14 (tj. odběrové místo 8 na Dřevnici, odběrová místa 11 a 13 na Moravě). Celkem bylo odebráno 138 vzorků na zrnitostní analýzu.

Zrnitostní studium bylo prováděno kombinovanou metodou síťovou a laserové difrakce. Pomocí síťovacího zařízení Retsch AS 200 byla analyzována „hrubší“ frakce (4 mm–0,063 mm), zatímco laserový granulometr Cilas 1064 byl využit k hodnocení „jemnějšího“ podílu (0,0004–0,5 mm).

### Výsledky

Podíly hlavních zrnitostních složek/tříd sedimentu jsou uvedeny v tab. 1 A, B. Střední velikost zrna je uváděna jako medián (Mz) a vytřídění jako ( $\sigma$ I), které byly vypočteny dle Folk – Ward (1957).

Vzorky z řeky Moravy odebrané poblíž proudnice představovaly nejhrubší zjištěné sedimenty, které byly

klasifikovány jako písčité šterky, šterkovité písky a písky (Konta 1973, Kukul 1985) (Mz v rozmezí -0,5 až 3,4  $\phi$ ) velmi špatně vytríděné ( $\sigma$ I mezi 2,2 a 2,7  $\phi$ ). Tyto sedimenty byly značně hrubozrnnější než současně odebírané vzorky blíže břehu. Střední velikost zrna dnových sedimentů odebraných v letech 2005–2006 je prezentována na obr. 2.

Dnové sedimenty mají převážně dominantní zastoupení písku a prachu. Lze je klasifikovat ponejvíce jako prachovité písky nebo písčité prachy, méně často jako písky, písčité šterky nebo prachovito-písčité šterky. Role šterkové frakce je obvykle zanedbatelná, ale v několika případech byla významná. Přítomnost jílové frakce je relativně nízká. Hodnota Mz se pohybovala od -0,42 do 6,0  $\phi$  a hodnota vytřídění  $\sigma$ I mezi 1,3 a 2,8  $\phi$ . Tyto hodnoty ukazují na spíše horší vytrídění. Jemnozrnnější vzorky jsou obecně lépe vytríděné, než vzorky hrubozrnnější.

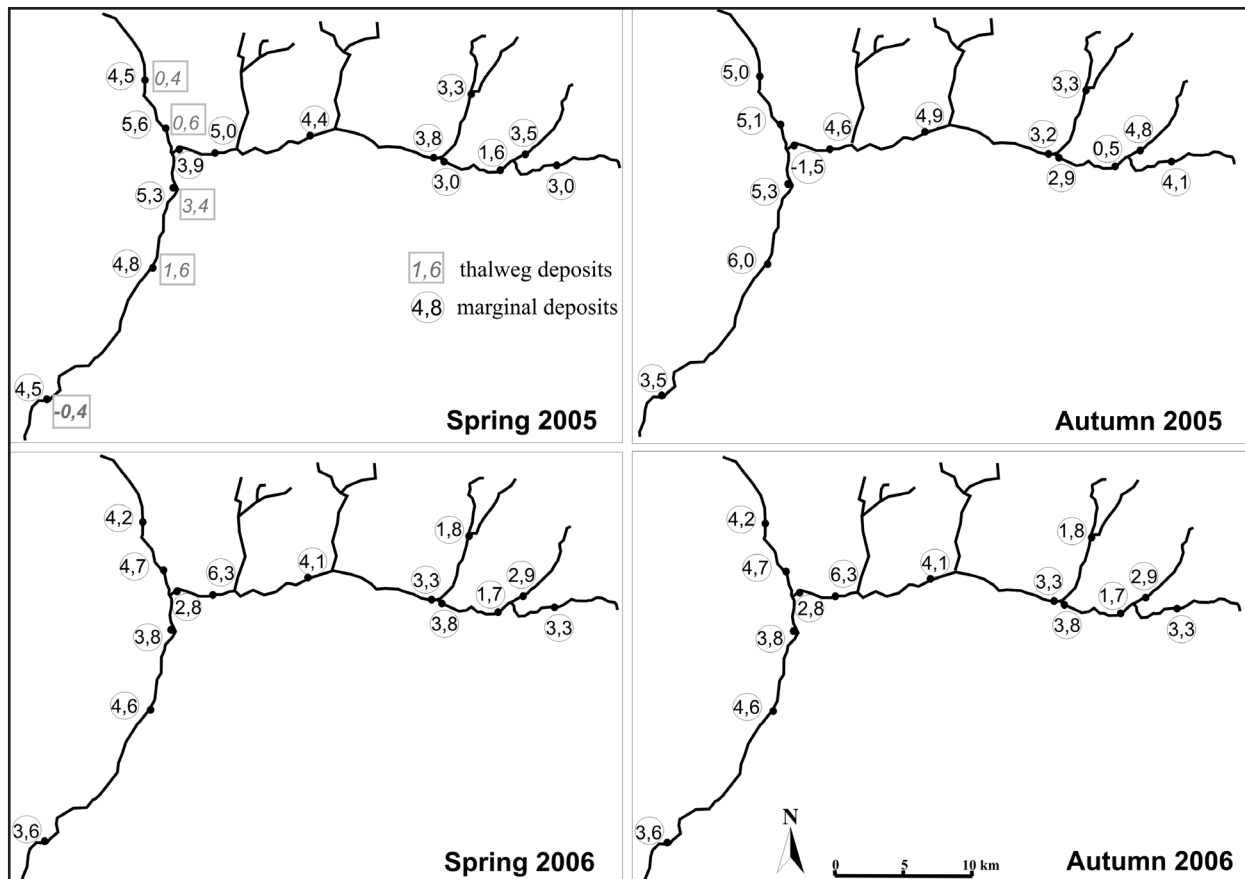
Rychlejší ukládání větších zrn a snižování sklonu spádové křivky vede v některých případech k celkovému zjemňování fluvialních sedimentů směrem po toku. V zájmové oblasti byl tento trend opakovaně narušen nejspíše bočním přínosem materiálu přítoky nebo erozí březních sedimentů, které jsou tvořeny staršími (pleistocén–holocén) šterky a písky. Tyto projevy porušení celkového zjemňování fluvialních sedimentů směrem po toku lze sledovat zejména v okolí vzorkovacích míst 3, 9 a 14 (viz obr. 2). Sezónní rozdíly (jaro vs. podzim) v zrnitosti studovaných sedimentů byly výrazné, nevykazovaly však jednoznačný trend změny.

A	Site code	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mz( $\phi$ )	( $\sigma$ I)
		Median (Minimum–Maximum)					
	SS 1	4,3 (3,6–7,4)	59,2 (55,5–70,1)	30,9 (20,2–31,9)	5,6 (4,0–7,5)	3,4 (3,0–4,1)	2,6 (2,4–2,8)
	SS 2	1,4 (0,1–4,5)	69,7 (39,8–72,6)	23,1 (18,5–52,0)	5,9 (4,4–7,9)	3,2 (2,8–4,8)	2,4 (2,0–3,4)
	SS 3	19,4 (4,2–30,4)	71,8 (64,6–85,1)	7,3 (4,1–8,6)	1,5 (0,9–2,1)	1,0 (0,0–1,7)	2,0 (1,3–2,2)
	SS 4	3,1 (1,1–3,9)	61,4 (43,9–74,2)	30,3 (18,6–48,4)	5,0 (3,8–6,6)	3,4 (2,9–4,3)	2,4 (2,3–2,7)
	SS 5	10,1 (0,1–49,8)	67,4 (39,9–75,7)	18,0 (8,3–22,5)	3,4 (1,6–4,0)	2,6 (–0,1–3,3)	2,4 (1,9–3,4)
	SS 6	1,4 (0,4–2,4)	68,6 (62,3–72,2)	23,5 (18,6–32,9)	3,4 (3,3–4,4)	3,4 (3,2–3,8)	2,2 (2,0–2,3)
	SS 7	1,0 (0,5–1,5)	48,2 (32,2–59,7)	45,6 (35,7–60,2)	4,7 (4,0–7,1)	4,3 (3,8–4,9)	2,0 (1,9–2,1)
	SS 8	0,2 (0,0–0,8)	23,6 (13,3–40,9)	66,3 (50,9–72,6)	8,7 (6,9–16,9)	5,3 (4,6–6,3)	1,9 (1,8–2,2)
	SS 9	9,4 (1,2–62,2)	38,1 (31,7–64,0)	36,4 (5,6–47,5)	4,9 (0,6–9,8)	3,4 (–1,5–3,9)	2,5 (2,1–3,5)
	SS 10	0,3 (0,0–48,0)	34,6 (26,5–69,1)	40,9 (14,6–60,8)	7,2 (2,0–12,7)	4,6 (0,4–5,5)	2,2 (1,9–2,7)
	SS 11	1,0 (0,0–18,8)	43,8 (31,2–67,8)	47,9 (12,1–59,4)	7,9 (1,4–8,4)	4,7 (0,6–5,1)	2,2 (1,7–2,7)
	SS 12	4,0 (0,7–7,6)	71,6 (22,8–89,0)	21,8 (3,2–65,2)	3,4 (0,3–9,7)	3,4 (1,6–5,3)	2,1 (1,9–2,6)
	SS 13	0,6 (0,1–1,5)	23,3 (20,6–62,8)	64,3 (32,9–66,5)	12,1 (2,8–12,4)	5,1 (3,4–6,0)	2,3 (2,2–2,8)
	SS 14	7,3 (0,4–25,2)	61,2 (46,3–67,6)	31,6 (5,7–37,6)	4,5 (1,4–6,8)	2,8 (–0,5–3,6)	2,2 (1,8–2,7)

B	Site code	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mz( $\phi$ )	( $\sigma$ I)
		Median (Minimum–Maximum)					
	SS 8	0,4 (0–1,1)	21,0 (1,0–50,2)	67,2 (40,2–86,0)	11,0 (7,2–15,0)	5,3 (4,3–6,3)	1,9 (1,4–2,6)
	SS 11	4,2 (0–22,7)	23,6 (5,2–78,9)	61,0 (4,7–77,9)	11,0 (0,9–18,1)	5,0 (1,1–6,6)	2,6 (1,6–3,8)
	SS 13	7,9 (0,6–30,9)	30,8 (6,6–52,5)	51,3 (24,7–77,1)	9,7 (3,1–15,7)	4,6 (2,1–6,3)	2,7 (1,7–3,5)
	SS 15	0,8 (0–2,7)	41,6 (25,0–57,3)	46,5 (34,4–62,7)	11,1 (5,6–15,7)	5,0 (4,1–5,7)	2,2 (1,2–2,6)
	SS 16	7,2 (0,5–25,1)	35,1 (11,8–57,7)	50,6 (26,5–77,3)	7,0 (3,9–12,9)	4,3 (3,3–5,6)	2,5 (1,5–3,9)
	SS 8PL	0,1 (0–0,8)	15,8 (0–67,5)	70,2 (28,3–82,0)	13,9 (3,9–19,0)	5,8 (3,4–6,5)	1,7 (1,5–2,2)
	SS 11PL	0	4,1 (0–9,5)	75,5 (70,0–81,0)	20,5 (12,0–30,0)	6,6 (5,9–7,2)	1,6 (1,3–1,7)
	SS 13PL	0	2,0 (0–4,5)	73,5 (70,5–77,0)	24,8 (20,5–29,0)	6,8 (6,4–7,3)	1,7 (1,5–1,8)

Tab. 1: Zrnitostní charakteristiky studovaných sedimentů, A) dnové sedimenty – vzorkovací kampaň 2005–2006, B) dnové sedimenty a plaveniny – vzorkovací kampaň 2007–2008. Vysvětlivky: SS 1–17 vzorkovací místa, PL – plaveniny.

Tab. 1: Characteristics of sites – sediment properties and composition, A) bedload during the years 2005–2006, B) bedload and suspended load during the years 2007–2008. Explanations: SS 1–17 sampling sites, PL – suspended load.



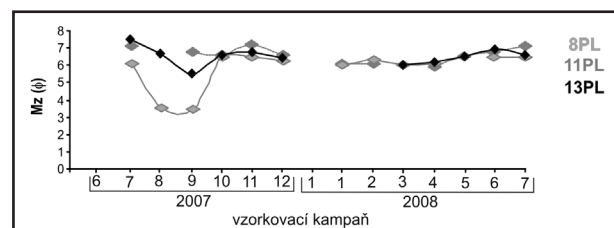
Obr. 2: Plošné vyjádření střední velikosti zrna ( $Mz$ ) studovaných dnových sedimentů. Hodnoty v jednotkách  $\phi$ .  
 Fig. 2: Areal distribution of the graphic mean ( $Mz$ ) for bedload at the sampling sites; values in  $\phi$  units.

Měsíční vzorkování dnových sedimentů ukazuje určité rozdíly mezi jednotlivými odběrovými místy. Odebrané dnové sedimenty z Dřevnice lze klasifikovat převážně jako prachy (9 $\times$ ), případně písčité prachy (5 $\times$ ) a ojediněle jako prachovitý písek. Hodnoty  $Mz$  kolísají mezi 4,3 a 6,3  $\phi$ . Relativně nejhrubší byly vzorky z pozdního léta 2007. Podíl jílové frakce byl relativně nízký (7,2–15 %). Vzorky z odběrového místa 11 na řece Moravě lze převážně klasifikovat jako prach (6 $\times$ ) nebo písčité prach (6 $\times$ ) a jen ojediněle jako štěrkovitý písek nebo štěrkovito-prachovitý písek. Hodnoty  $Mz$  kolísají mezi 1,1 a 6,6  $\phi$ . Nejhrubší byly vzorky z léta 2007 i 2008. Podíl jílové frakce byl relativně nízký (0,9–18,1 %). Vzorky z odběrového místa 13 na řece Moravě byly velmi proměnlivé. Nejčastěji byl klasifikován písčité prach (6 $\times$ ), dále byl zjištěn prachovitý písek (3 $\times$ ), prach (2 $\times$ ), prachovito-písčité štěrk (2 $\times$ ) a ojediněle štěrkovito-písčité prach (6 $\times$ ). Hodnoty  $Mz$  kolísají mezi 2,1 a 6,3  $\phi$ . Relativně nejhrubší byly vzorky z pozdního jara a léta 2008. Podíl jílové frakce byl nízký (3,1–15,7 %). Odebrané dnové sedimenty řeky Dřevnice jsou jemnozrnější než sedimenty řeky Moravy (vyšší hodnota  $Mz$ , nižší především podíl štěrkové a zčásti také písčité frakce).

Studované vzorky plavenin (12 vzorků) z řeky Dřevnice lze rozdělit na dvě skupiny. Vzorky z měsíců červenec a srpen 2007 jsou nápadně hrubozrnější a tyto lze klasifikovat jako prachovité písky. V těchto vzorcích dominuje písčité frakce tvořící 65,5–67,7 %, prachovitá frakce představuje 28,3–29,5 % a jílovitá pak 2,1–2,2 %

Nízká je přítomnost štěrku (0,3–0,8 %). Klasy štěrkové velikosti byly tvořeny rostlinnými úlomky a sklem. Naprostá většina vzorků plavenin z Dřevnice (tj. ostatní odběry kromě červenec, srpen 2007) je pak klasifikována jako prach, když 74–82 % vzorku tvoří prachovitá frakce. Jílovitá frakce tvoří v těchto vzorcích většinou 14–19 % a písčité frakce 0–9 %.

Studované plaveniny řeky Moravy (22 vzorků) jsou v naprosté většině jemnozrnější než plaveniny Dřevnice. Ponejvíce je lze klasifikovat jako jílovitý prach nebo prach. Ve vzorcích dominuje prachovitá frakce tvořící 70–81 %, jílovitá složka tvoří 12–30 %. Písčité složka v některých vzorcích (5 $\times$ ) nebyla přítomna vůbec, většinou je zastoupena prvními procenty a v ojedinělém vzorku pak byla zastoupena 9,5 %.

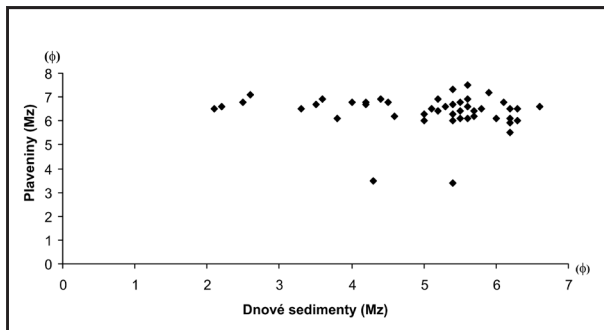


Obr. 3: Časový vývoj střední velikosti zrna ( $Mz$ ) studovaných plavenin. Hodnoty v jednotkách  $\phi$ .

Fig. 3: Distribution of the graphic mean ( $Mz$ ) for suspended load during the studied time period; values in  $\phi$  units.

Pokud srovnáme zrnitost plavenin během roku (obr. 3) lze uvažovat o relativně hrubozrnnějších sedimentech transportovaných vodním tokem během pozdního léta, kdy byly zjištěny také nejvíce rozkolísané hodnoty Mz. Během podzimu, zimy a jara byly hodnoty Mz relativně stabilní.

Pokud srovnáme zrnitost dnových sedimentů a plavenin odebraných na jednotlivých odběrových místech ve „stejný“ čas (obr. 4), nebyla zjištěna jejich významná závislost. Výsledek potvrzuje rozdílný způsob transportu materiálů tvořících tyto sedimenty. Dnové sedimenty odrážejí „časově“ jiný interval sedimentace než odebrané „odpovídající“ plaveniny a sedimenty charakterizují poněkud odlišné procesy v rámci vodního toku. To ukazuje na komplikované výpovědní hodnoty různých typů moderních fluviálních sedimentů zvláště ve vztahu k interpretaci procesů kontaminace antropogenními procesy.



Obr. 4: Srovnání hodnot střední velikosti zrna (Mz) dnových sedimentů a plavenin odebraných ve stejném dni na odpovídajících lokalitách. Hodnoty v jednotkách  $\phi$ .

Fig. 4: Relation of the graphic mean (Mz) of time related bedload and suspended load on related sampling sites. The values are in  $\phi$  units.

### Interpretace a diskuze

Dominance písčité a prachovité frakce spolu s proměnlivým zastoupením šterku vypovídá o širokém spektru transportních mechanismů klastického materiálu (suspenze, saltace a trakce) dnových sedimentů. Dominantní složku materiálu transportovaného v suspenzi (viz plaveniny) tvoří prachová frakce (podobně Walling – Moorehead 1989), ale také značná část písčitého materiálu může být transportována tímto způsobem (podobně Owens et al. 2005). Nízký podíl jílu mohl ovlivnit kohezivní vlastnosti suspence a projevit se také v charakteristice transportovaných částic (individuální zrna vs. agregáty zrn) (Dropo – Ongley 1994). Významný podíl jemnozrnného materiálu v moderních fluviálních sedimentech bývá spojován s antropogenní aktivitou (Walling et al. 2000).

Zrnitostní složení plavenin není přímo závislé na průtoku vzhledem k tomu, že řeka Morava má značně větší průtok než Dřevnice. Zjištěné rozdíly ukazují nejspíše na určitý vliv reliéfu (sklon) a především složení zájmové oblasti. V rámci malých vodních toků jsou zrnitostní charakteristiky významně ovlivněny zrnitostí zdrojových hornin. V Dřevnici lze jednoznačně doložit dominantní zdroj klastického materiálu z hornin račanské jednotky magurského flyše a kvartérních sprašových hornin. Část

materiálu však má nepochybně antropogenní původ (Nehyba et al. 2010). Dosažené výsledky lze interpretovat tak, že zrnitost transportovaného materiálu je rozhodující měrou ovlivněna charakteristikami zdroje („sediment supply controlled“) a nejspíše částečně/sezonně transportní kapacitou vodního proudu („discharge controlled“). Role těchto řídicích faktorů je nejspíše částečně odlišná pro dnové sedimenty a pro plaveniny.

Sezonní rozdíly mezi jednotlivými vzorky lze zčásti spojit s klimatickou charakteristikou zájmového území, kde se významně uplatňuje role letních bouřek na krátkodobém zvýšení průtoku a lokální erozi spolu s přínosem relativně hrubšího materiálu. Podzimní a zimní měsíce jsou naopak charakteristické nízkým průtokem a akumulací jemného materiálu. Rozbor hydrologických poměrů zájmové oblasti faktorů je prezentován v Nehyba et al. (2010).

Šterková frakce je často dominantně tvořena antropogenním a organickým (úlomky rostlin, semena, apod.) materiálem. Produkce organického materiálu je vzhledem k intenzivnímu zemědělskému využívání krajiny také významně závislá na lidských aktivitách. Antropogenní procesy nesledují jednoznačně změny v říčním průtoku a mohou významně ovlivnit „přírodní“ procesy, na které je ze zrnitostního záznamu usuzováno.

### Poděkování

Studium bylo prováděno v rámci výzkumného záměru MSM 0021622412.

**Literatura**

- Demek, J. (ed.) (1987): Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČSR. Academia Praha, 1–584.
- Dropo, I. G. – Ongley, E. D. (1994): Flocculation of suspended sediment in rivers of southwestern Canada. – *Water Research*, 28, 1799–1809.
- Folk, R. L. – Ward, W. (1957): Brazos River bar: a study in the significance of grain-size parameters. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.
- Havlíček, P. (ed.) (2001): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000, list 25-31 Kroměříž. ČGS Praha, 1–75.
- Jinochová, J. (1996a): Mapa významných krajinných jevů list 25-34 Luhačovice. ČGS Praha.
- Jinochová, J. (ed.) (1996b): Mapa významných krajinných jevů list 25-32 Zlín. ČGS Praha.
- Jinochová, J. (ed.) (1997): Signální mapa střetů zájmů list 25-32 Zlín. ČGS Praha.
- Kašpárek, M. (ed.) (1997a): Mapa antropogenních zátěží a geodynamických jevů list 25-34 Luhačovice. ČGS Praha.
- Kašpárek, M. (ed.) (1997b): Mapa antropogenních zátěží a geodynamických jevů list 25-32 Zlín. ČGS Praha.
- Konta, J. (1973): Kvantitativní systém reziduálních hornin, sedimentů a vulkanoklastických usazenin. Univerzita Karlova Praha. 1–375.
- Kukal, Z. (1985): Návod k pojmenování a klasifikaci sedimentů. Metodická příručka ÚÚG Praha. 1–80.
- Nehyba, S. – Adamová, M. – Faimon, J. – Kuchovský, T. – Holoubek, I. – Zeman, J. (2010): Modern fluvial sediment provenance and pollutant tracing: A case study from the Dřevnice River basin, eastern Moravia, Czech Republic. *Geologica Carpathica*. In press.
- Novák, Z. (ed.) (1994): Geologická mapa ČR list 25-31 Kroměříž. ČGS Praha.
- Owens, P. N. – Batalla, R. J. – Collins, A. J., Gomez, B. – Hicks, D. M. – Horowitz, A. J. – Kondolof, G. M. – Marden, M. – Page, M. J. – Peacock, D. H. – Petticrew, E. L. – Salomons, W. – Trustrum, N. A. (2005): Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. *River Research and Applications* 21. p. 693–717.
- Pesl, V. (ed.) (1982): Geologická mapa ČSR list 25-32 Gottwaldov. ČGS Praha.
- Vlček, V. (ed.) (1984): Vodní toky a nádrže. Zeměpisný lexikon ČSR. Academia Praha 1–315.
- Volšan, V. (ed.) (1989): Mapa významných krajinných jevů list 25-32 Gottwaldov. ČGS Praha.
- Vůjta, M. (ed.) (1987): Geologická mapa ČSR list 25-34 Luhačovice. ČGS Praha.
- Walling, D. E. – Moorehead, P. W. (1989): The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview. *Hydrobiologia* 176/177. 125–149.
- Walling, D. E. – Owens, P. N. – Waterfall, B. D. – Leeks, G. J. L. – Wass, P. D. (2000): The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *The Science of Total Environment* 251. p. 205–222.
- Whitmore, G. P. – Crook, K. A. W. – Johnson, D. P. (2004): Grain size control of mineralogy and geochemistry in modern river sediment, New Guinea collision, Papua New Guinea. *Sedimentary Geology*, 171. 129–157.