

# VÝVOJ SLEPÉHO RAMENE U POLANKY NAD ODROU V CHKO POODŘÍ

Origin and evolution of an oxbow lake near Polanka nad Odrou in Poodří PLA

Jan Sedláček<sup>1</sup>, Ondřej Kielar<sup>1</sup>, Daniel Šimíček<sup>1</sup>, Veronika Kapustová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra geologie PFF UP, 17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc; e-mail: jan.sedlacek@upol.cz

<sup>2</sup> Katedra fyzické geografie a geoekologie Ostravské univerzity, Chittusiho 10, 710 00 Ostrava

(15-43 Ostrava)

**Key words:** River cutoff; oxbow lake; high-resolution stratigraphy; sedimentation rate; terrestrialization

## Abstract

This paper concerns sediments of a recent oxbow lake located within Poodří Protected Landscape Area (PLA). Aim of this study is to characterise and describe initial stages of sedimentary infill. High-resolution tools were used for determination of the basic sediment properties. Sediment samples were measured for water content, magnetic susceptibility, grain size analysis, visible light reflectance spectroscopy (output data were expressed in CIEL\*a\*b\* system) and total organic carbon (TOC) concentrations. Studied oxbow lake, located near Polanka nad Odrou, was created after the floods in 2010 by a rupture of the meander neck. We extracted two cores, 108 cm long POD1 and 81 cm long POD2. Sediments were composed mainly of silty fraction with a higher content of clay. Sediments with sandy admixture, suggesting first stages of oxbow lake filling, were found in lower sequences of both cores, but the base of the oxbow lake was not reached. Magnetic susceptibility and CIEL\*a\*b\* parameters show certain variability of the sedimentary conditions which can indicate seasonal variations, especially spring flood pulses and higher organic productivity in summer months. On the other hand, TOC content is low, probably due to the rapid degradation of organic matter. The oxbow lake is still hydraulically connected with the active channel and therefore is well oxygenated. Considering small accommodation space, sediment accumulation rate is very high, up to 18 cm per year. Gradual shallowing and narrowing leads to the reduction of oxbow lake area.

## Úvod

Jedním z hlavních rysů meandrujících řek je tvorba slepých ramen. Jejich vznik v rámci České republiky je v posledním století podmíněn spíše antropogenními úpravami a narovnáním koryt řek. Vzhledem k tomu se přirozeně odškrčené meandry vyskytují vzácněji. Stejně vzácně jsou současná pozorování popsána v české i světové literatuře (např. Citterio – Piegay 2009; Poesen – Hooke 1997; Miřijovský et al. 2015). Jedním z mála míst v tuzemsku, kde lze tyto jevy dokumentovat je tok řeky Odry v CHKO Poodří se zachovalým meandrovým pásem. Vzhledem k častým rozlivům a záplavám zde dochází k rychlé modifikaci a změnám toku řeky a nadále vznikají nová slepá ramena (Hradecký et al. 2016).

Jejich sedimenty mohou poskytovat informace o vývoji fluvialního prostředí a procesech sedimentace v daném povodí, včetně vývoje koncentrací polutantů (Bábek et al. 2008, 2011). Takové sedimentační prostředí se může vyznačovat velkou dynamikou. Cílem této studie je popsat iniciální stadia vzniku slepých ramen na příkladu vybrané lokality, pomocí nástrojů vysokorozlišující stratigrafie popsat sedimentační prostředí, zachytit případné změny v přínosu sedimentu a poskytnout vhled do rychlosti akumulace.

## Metodika

Pro tuto studii byla odebrána jádra ze sedimentů akumulovaných na dně jezera pomocí pístového vzorkovače firmy Eijkelkamp (Nizozemí) do plastových vzorkovacích tub o průměru 3 cm. Získaná jádra byla vytlačena z tuby, podélně rozříznuta a vzorkována s vertikálním intervalem 1 cm. Sušení vzorků probíhalo při teplotě

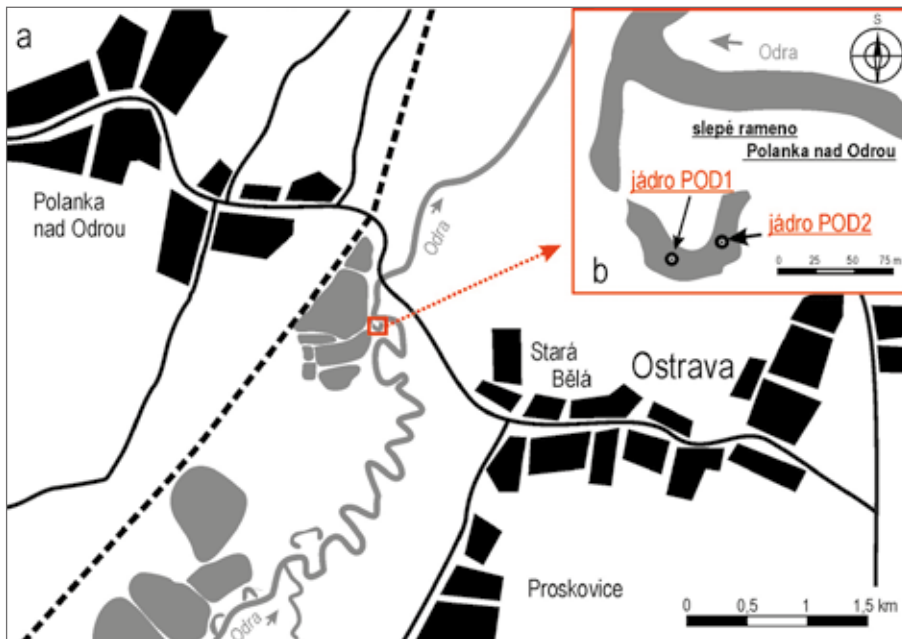
45 °C. Obsah vody byl spočítán z váhového rozdílu mokrého a suchého vzorku a vyjádřen v procentech. Měření hmotnostně specifické magnetické susceptibilitě probíhalo na kappa můstku KLY-4S (Agico s.r.o., Brno) s citlivostí  $3 \cdot 10^{-8}$  SI, intenzitou magnetického pole  $300 \text{ Am}^{-1}$  a operační frekvencí 920 Hz. Barva vzorků byla změřena spektrálním fotometrem SP-62 (X-Rite, USA) s kulovou geometrií a napojením na databázový software QA-Master. Data byla prezentována ve standartním barevném prostoru CIE 1976 ( $L^*a^*b^*$ ).

U vybraných vzorků byl proveden zrnitostní rozbor za pomoci laserového granulometru Analysette 22 MicroTec plus (Fritsch, SRN). Všechny výše zmíněné metody byly realizovány na Katedře geologie Univerzity Palackého v Olomouci. Obsah celkového organického uhlíku (TOC) byl stanoven přímo ze vzorku zbaveného karbonátů rozkladem v HCl a analyzován elementárním analyzátozem ELTRA 1000CS (ELTRA, SRN) v laboratořích České geologické služby (Brno).

## Popis lokality a výsledky

Zájmové území (obr. 1a) se nachází v CHKO Poodří uvnitř národní přírodní rezervace Polanská niva, 1 km jižně od vlakové stanice v Polance nad Odrou a cca 8,5 km jihozápadně od centra Ostravy. Od východu je omezeno tokem řeky Odry a ze západu rybníkem Velký Budní. Průměrný roční průtok (Q1) řeky Odry (KS Svinov, ČHMÚ) činí  $12,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , tři nejvyšší historické povodně po dobu pozorování byly zaznamenány v letech 1985 ( $372 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), 1997 ( $688 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) a 2010 ( $404 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).

Studovaná lokalita byla jako celek původně meandrem řeky Odry. Po povodních v roce 2010 došlo k avulzi



Obr. 1a: Geografická pozice studovaného slepého ramene; 1b: Místa odběru sedimentárních jader.

Fig. 1a: Geographical position of the studied oxbow lake; 1b: Detailed map of location and core extraction sites.

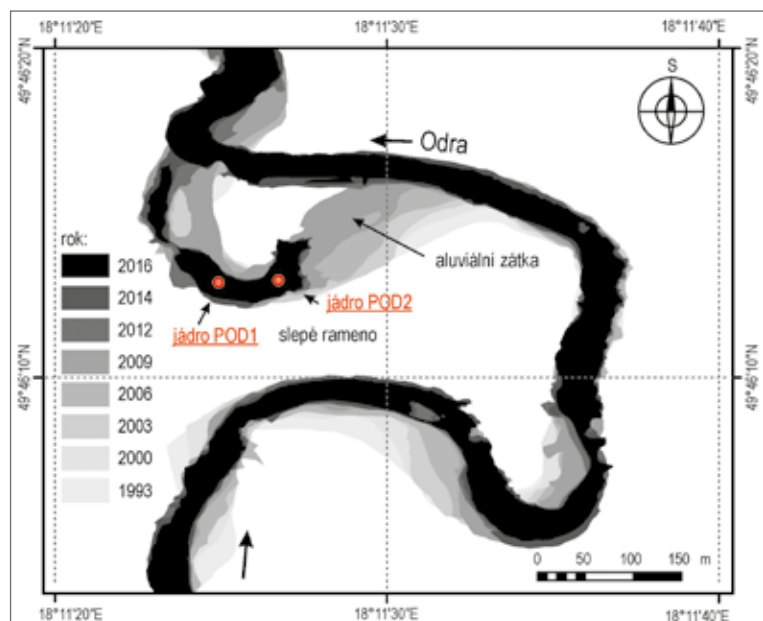
koryta a protržení meandrové šíje, jde tedy o typ tzv. chute cutoff (Toonen et al. 2012). Na horní straně meandru se rychle vytvořila aluviální zátka a v současné době je zarostlá vegetací. Z dolní strany (po proudu) bývalého meandru probíhala komunikace s hlavním tokem přes úzký kanál, který byl během několika let také postupně zanášen, až došlo ke vzniku slepého ramene. V současné době není lokalita za normálních průtoků protékána skrze deprese v aluviální zátce. Dynamický vývoj lokality, odvozený ze satelitních snímků a dokumentovaný mezi lety 1993 a 2016, je zachycen na obrázku 2 a dokumentuje změny toku řeky Odry směřující k vytvoření slepého ramene. Jak je patrné z obrázku, hlavní změna proběhla mezi roky 2009 a 2012, kdy došlo k protržení meandru, vzniku reziduálního jezera a rychlému růstu aluviální zátky. Současná vodní plocha činí 2431,1 m<sup>2</sup> (stav v roce 2016), oproti původní ploše meandru 5758,6 m<sup>2</sup> (stav v roce 2010).

Dvě jádra, odebraná z vodní plochy současného slepého ramene, (obr. 1b) jsme označili jako POD1 (N 49°46'13.13", E 18°11'25.17") a POD2 (N 49°46'13.55", E 18°11'26.87"). Hloubka vody je variabilní, v případě jádra POD1 činila 2,3 m a v případě jádra POD2 jen 0,8 m (září 2016). Mocnost sedimentu činí po dekompanci 81 cm (POD2) a 108 cm (POD1). V obou jádrech jsme zachytili sled jemnozrnných sedimentů. Jen na bázi se místy objevuje písčité prach, u jádra POD2 prachovitý písek až jemnozrnný písek. Do nadloží sestávají převážně z hnědošedého, černo-

hnědého a případně černého jílovitého prachu. Laminace je slabě vyvinutá a projevuje se pouze střídáním barevně odlišených vrstev s pozvolnými přechody, jinak jádra jeví téměř homogenní charakter. Sedimenty obsahují proměnlivé množství převážně drobného fyto-detritu (lístky a úlomky větviček). Ovšem objevují se vrstvy či laminy bohaté na organickou hmotu, mající černou barvu a vyznačují se ostřejším vymezením, zejména vůči své bázi. V obou jádrech chybí výrazné litologické rozhraní, které by se dalo interpretovat jako báze sedimentů slepého ramene. Ovšem při zarážení vrtů byly v podloží indikovány hrubozrnné štěrkovité sedimenty, prozrazené odporem

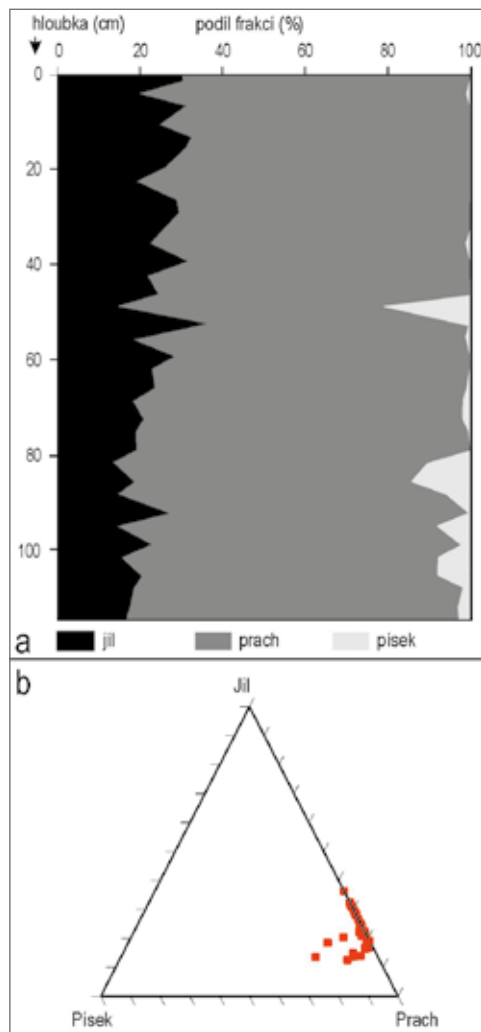
a hlukem během vrtání a pravděpodobně jde o sedimenty říčního koryta z doby před vznikem slepého ramene.

Granulometrický rozbor jsme provedli u jádra POD1 v intervalu 2 cm. Výsledky byly přepočítány na procentuální zastoupení jednotlivých frakcí. Hloubková distribuce ukazuje na drobnější, ale pravidelné variace v zrnitosti (obr. 3a). V sedimentech převažuje prachová frakce v rozmezí od 63,6 do 81,9%. Podíl jílové složky se pohybuje v rozmezí od 12,6 do 36,4%, do nadloží jeví pozvolný nárůst a lze pozorovat nahoru zjemňující trend.



Obr. 2: Dynamický vývoj lokality, odvozený ze satelitních snímků a dokumentovaný mezi lety 1993 až 2016.

Fig. 2: Dynamic development of the oxbow lake, based on the satellite images collected between the years 1993 and 2016.



Obr. 3a: Výsledky z granulometrické analýzy přepočtené na podíly jednotlivých zrnitostních frakcí v jádře POD1; 3b – ternární diagram podílů jílu, prachu a písku (dle Shepard 1954).  
 Fig.3a: Results of particle size fractionation for core POD1; 3b – Ternary plot diagram for sand, silt and clay content (according to Shepard 1954).

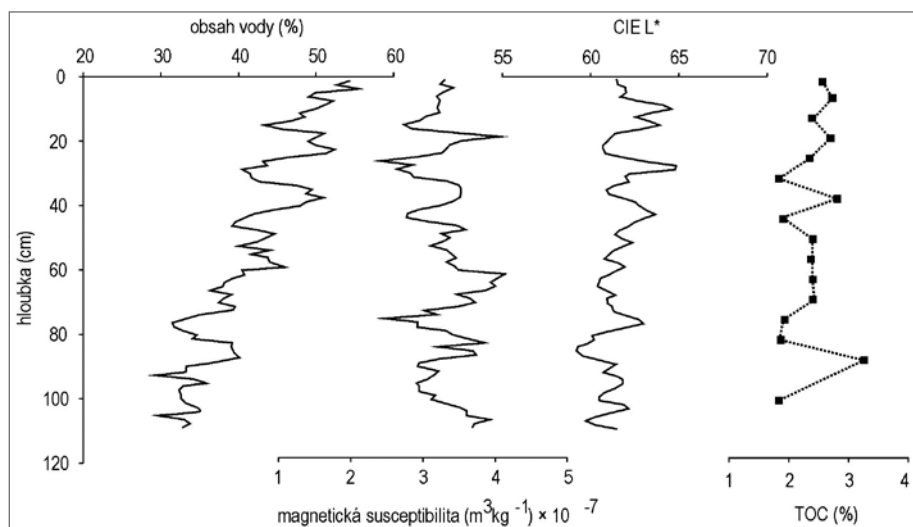
Podíly písčité frakce jsou minimální, variabilnější podíly jsou zejména v bazálních částech jádra s lokálními maximy v hloubkách 35, 65 a 80 cm. Ve svrchních 35 cm se písčité frakce nevyskytuje. Výsledky, vyjádřené v ternárním diagramu (dle Shepard 1954) za použití modulu TRI-PLOT v MS Excel, ukazují převahu jílovitého prachu, občas s příměsí písku (obr. 3b).

Pomocí spektrální odraznosti byly zaznamenány detailní rozdíly v barvě sedimentu. Typické hodnoty měrné světlosti (CIEL\* parametr) se pohybují v rozmezí

60–65 a poukazují na drobné změny v typu usazovaného materiálu (obr. 4). Vyšší hodnoty dokumentují přítomnost většího množství světlejších minerálů jako je křemen a živce, zatímco nižší hodnoty indikují vyšší obsahy jílovitých minerálů a organické hmoty. Parametry CIEa\* a CIEb\* vykazují stejné trendy jako CIEL\*, přičemž mezi oběma složkami je dobrá korelace. Vzorčky, které jeví posun k červeným barvám, zároveň vykazují posun ke žlutým odstínům a naopak. To odpovídá měnícímu se obsahu žluto-červeně zbarvených minerálů, převážně oxidů a hydroxidů železa (Deaton - Balsam 1991; Bábek et al. 2011).

Hodnoty magnetické susceptibilitě (obr. 4) jsou poměrně nízké a pohybují se v intervalu od  $2,4 \times 10^{-7}$  do  $4,1 \times 10^{-7}$  v jádře POD1 a od  $2,1 \times 10^{-7}$  do  $3,8 \times 10^{-7}$  v jádře POD2, nejsou zde tedy rozdíly mezi oběma jádry v absolutních hodnotách. Hloubkové variace v MS jeví určitou pravidelnost, přičemž hlavní minima byla nalezena v hloubkách 75, 42 a 26 cm a maxima v hloubkách 82, 61 a 18 cm pod povrchem (POD1). Podobné hodnoty byly zjištěny v jádře POD2, obě křivky MS jsou tedy vzájemně dobře korelovatelné, zejména v hlavních minimech a maximech. Korelace mezi MS a zrnitostí je slabá až chybějící. Naopak dobrá negativní korelace byla nalezena mezi MS a CIEL\*, což je patrné i z hloubkových křivek. Vzorčky s vyšší MS mají tendenci mít nižší hodnoty celkového jasu a naopak. To znamená, že světlejší vzorky obsahují více diamagnetických minerálů, zejména křemene a živců.

Obsah TOC je poměrně nízký. Naměřené hodnoty se pohybují v intervalu od 1,84 % do 2,73 %. Nejvyšší hodnota byla naměřena v hloubce 87 cm a nejnižší vzápětí v hloubce 80 cm. Celkově jsou hloubkové variace TOC bez velkých výkyvů, zejména ve střední části jádra (40–80 cm) jsou obsahy téměř konstantní. Mírné rozkolísání lze pozorovat ve svrchní části jádra.



Obr. 4: Příklad petrofyzikálních proxy parametrů v jádře POD1: obsah vody, magnetická susceptibilita, CIEL\* (měrná světlost) a koncentrace TOC.

Fig. 4: Example of physical stratigraphy proxies (core POD1): water content, magnetic susceptibility, CIEL\*(brightness) values and TOC concentrations.

## Diskuze

Výsledky ukazují, že studované území se vyznačuje velkou dynamikou. V období od roku 2010 do 2016 došlo ke zmenšení vodní plochy někdejšího meandru o 57%. Hudson et al. (2008) uvádí, že až 67% vodní plochy slepých ramen (v průměru) v současné nivě bylo do jednoho roku od jejich vzniku transformováno na mokřadní prostředí, jak lze také pozorovat na okrajích studované lokality. Velká část zazemněné plochy připadá na aluviální zátku. Vzhledem k velkému úhlu odškrvení vůči hlavnímu toku došlo pravděpodobně k její rychlé agradaci a následnému odpojení meandru (Constantine 2010). Vytvoření této zátky ovšem zabránilo kompletnímu zanesení vodní plochy bývalého meandru, tak jak bylo pozorováno u bývalého meandru cca. 1,2 km proti proudu řeky a 850 m sz. od centra obce Stará Bělá. Tento meandr byl podle satelitních snímků zanesen během jediné události, kterou byla povodeň v roce 2010.

Další procesy vedly k zúžení a změlnění studované jezera, což patří mezi typické fáze inerciálního vývoje mrtvých ramen (Toonen et al. 2012). Zmenšování akomodacího prostoru vede k rychlejší agradaci. Doba, kdy dojde k celkovému zazemnění závisí na počáteční hloubce a rychlosti akumulace organické hmoty a přínosu sedimentů. Pohybuje se v rozmezí desítek až stovek, vzácněji i tisíců let (Toonen et al. 2012; Mířijovský et al. 2015), přičemž rychlost zaplnění mrtvých ramen v současné nivě, což je případ studované lokality, je obvykle mnohem rychlejší (Hudson et al. 2008).

Lokální rychlosti sedimentace ve slepém rameni lze zatím určit jen na základě mocnosti odebraných jader, pokud uvažujeme, že hrubozrnné sedimenty indikované v podloží patří do aktivní fáze meandru do roku 2010. Minimální průměrná rychlost sedimentace tedy činí 18 cm/r (POD1), respektive 13,5 cm/r (POD2). Vysoká rychlost sedimentace byla zjištěna také ve slepých ramenech z Litovelského Pomoraví (Kielar – Bábek 2013; Sedláček et al. 2016), což svědčí o rychlejší sedimentaci v neregulovaných úsecích řek. Sedimenty nesené v říčním korytě nejsou odnášeny tak rychle, jako u narušených toků a také se zde vyskytuje více přirozených sedimentačních pastí, které v regulovaných úsecích chybějí. Pravděpodobný je výskyt nízko-úhlových foresetů za aluviální zátkou, tvořených jemnozrnným pískem a zastižených vrtem POD2. Mocnost tělesa se snižuje směrem k distální části. Podobné prostorové distribuce těles byly pozorovány i ve slepých ramenech z povodí řeky Moravy (Bábek et al. 2008, 2011; Sedláček et al. 2016).

Variabilita sedimentačních podmínek, indikovaná petrofyzikálními proxy, je zde vyšší, než je obvyklé ve starších slepých ramenech. Ta jsou často situována dále od hlavního toku a převažuje v nich klidná sedimentace ze suspenze (Falkowska – Falkowski 2015; Sedláček et al. 2016), zatímco studovaná lokalita je patrně spojena s hlavním tokem během vyšších průtoků a za povodňových stavů. Za středních průtoků je možná komunikace skrz deprese v aluviální zátce. Další přínos sedimentů lze uvažovat zpětnými proudy z dolního konce meandru skrz přívodní kanál v době jeho existence. Právě změny petrofyzikálních parametrů, hlavně magnetické susceptibilita a CIEL\*, mohou ukazovat na fluktuace v přínosu sedimentů. Jejich místy pravidelné výchylky mohou být podmíněny sezonními vlivy, jako je zvýšení průtoků při jarním tání a s tím související vyšší přínos klastického materiálu. Část sedimentu je patrně autochtonního původu, vznikající zejména v letních měsících, kdy je vyšší primární produktivita. Nízké hodnoty TOC mohou indikovat nízký stupeň eutrofizace, což je dáno nízkým stářím jezera (od roku 2010 dle satelitních snímků) a vysokým stupněm komunikace s tokem řeky Odry. Část organické hmoty je patrně degradována na CO<sub>2</sub> (Sedláček et al. 2013) a ve výsledku se projevuje nižšími hodnotami TOC.

## Závěr

Předběžné výsledky ukázaly, že studované slepé rameno představuje dynamické prostředí s vysokou rychlostí sedimentace. To je dáno především jeho umístěním v současné nivě v neregulovaném úseku toku řeky Odry. Vzhledem ke krátkému časovému horizontu zkoumaných sedimentů lze za pomoci nástrojů vysokorozlišující stratigrafie rozlišit až sezonní změny, především v přínosu sedimentů. Lze tak přispět k pochopení současných fluviálních pochodů v povodí Odry. Dalším studiem lze získat představu o pokračujícím zazemňování a hodnocení sedimentů z hlediska možné kontaminace.

## Poděkování

*Tento výzkum byl finančně podpořen grantem Univerzity Palackého v Olomouci IGA\_PrF 2016\_023 (Studium sedimentačních prostředí v povodí řek Moravy a Odry) a grantem Ostravské univerzity SGS05/PřF/2017-2018 (Poznání vývoje a současného stavu krajiny Západních Karpat a východo-sudetských pohoří s ohledem na činnost člověka a současných přírodních hazardů). Dále bychom chtěli poděkovat Evě Břízové, jejíž komentáře vedly ke zkvalitnění tohoto příspěvku.*

## Literatura

- Bábek, O. – Hilschnerová, K. – Nehyba, S. – Zeman, J. – Faměra, M. – Franců, J. – Holoubek, I. – Machát, J. – Klánová, J. (2008): Contamination history of suspended river sediments accumulated in oxbow lakes over the last 25 years. – *Journal of Soils and Sediments*, 8, 165–176.
- Bábek, O. – Faměra, M. – Hilschnerová, K. – Kalvoda, J. – Dobrovolný, P. – Sedláček, J. – Machát, J. – Holoubek, I. (2011): Geochemical traces of flood layers in the fluvial sedimentary archive: Implications for contamination history analyses, *Catena*, 87, 281–290.
- Constantine, J. A. – Dunne, T. – Piégay, H. – Kondolf, G. M. (2010): Controls on the alluviation of oxbow lakes by bed-material load along the Sacramento River, California. – *Sedimentology*, 57, 389–407.
- Citterio, A. – Piegay, H. (2009): Overbank sedimentation rates in former channel lakes: characterization and control factors. – *Sedimentology*, 56, 461–482.
- Deaton, B. C. – Balsam, W. L. (1991): Visible spectroscopy – a rapid method for determining hematite and goethite concentration in geological materials. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 61, 628–633.
- Falkowska, E. – Falkowski, T. (2015): Trace metals distribution pattern in floodplain sediments of a lowland river in relation to contemporary valley bottom morphodynamics. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, 876–887.
- Hudson, P. – Middelkoop, H. – Stouthamer, E. (2008): Flood management along Lower Mississippi and Rhine Rivers (The Netherlands) and the continuum of geomorphic adjustment. – *Geomorphology*, 101, 209–236.
- Hradecký, J. – Dušek, R. – Velešík, M. – Chudaničová, M. – Škarpich, V. – Jarošek, R. – Lipina, J. (2016): Poodří–Landscape of Ponds and a Preserved Meander Belt of the Odra River. – In: Pánek, T. – Hradecký, J. (eds): *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*. 333–346, Springer.
- Kielar, O. – Bábek, O. (2013): Rychlosti sedimentace recentních fluvialních sedimentů v mrtvých ramenech Moravy mezi Postřelmovem a Olomoucí. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2013*, 37–40.
- Miřijovský, J. – Michalková Šulc, M. – Petyniak, O. – Máčka, Z. – Trizna, M. (2015): Spatiotemporal evolution of a unique preserved meandering system in Central Europe – The Morava River near Litovel. – *Catena*, 127, 300–311.
- Poesen, J. – Hooke, J. (1997): Erosion, flooding, channel management in Mediterranean environments of southern Europe. – *Progress in Physical Geography*, 21, 157–199.
- Sedláček, J. – Bábek, O. – Grygar, T. (2013): Trends and evolution of contamination in a well-dated water reservoir sedimentary archive: the Brno Dam, Moravia, Czech Republic. – *Environmental Earth Sciences*, 69, 2581–2593.
- Sedláček, J. – Bábek, O. – Kielar, O. (2016): Sediment accumulation rates and high-resolution stratigraphy of recent fluvial suspension deposits in various fluvial settings, Morava River catchment area, Czech Republic. – *Geomorphology*, 254, 73–87.
- Shepard, F. P. (1954): Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(3), 151–158.
- Toonen, W. H. J. – Kleinans, M. G. – Cohen, K. M. (2012): Sedimentary architecture of abandoned channel fills. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 37, 459–472.