

# RYCHLOSTI SEDIMENTACE RECENTNÍCH FLUVIÁLNÍCH SEDIMENTŮ V MRTVÝCH RAMENECH MORAVY MEZI POSTŘELMOVEM A OLOMOUCÍ

Sedimentation rates of recent fluvial sediments in oxbow lakes of the Morava river between Postřelmov and Olomouc

Ondřej Kieľar<sup>1</sup>, Ondřej Bábek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: 175631@mail.muni.cz

<sup>2</sup> Katedra geologie, Univerzita Palackého v Olomouci, 17. listopadu 12, 77146 Olomouc

(24-22 Olomouc, 14-43 Mohelnice)

**Key words:** Morava River, stratigraphy, oxbow lakes, sedimentation rate, <sup>137</sup>Cs dating

## Abstract

This study is focused on the recent fluvial sediments in oxbow lakes of the Morava river in central Moravia. A series of shallow drill cores shows a distinct vertical stratification of the sediments due to colour and grain size. The recent sedimentation rates were measured by using the dating by <sup>137</sup>Cs. The northern part of the area shows sedimentation rates up to 2 cm per year while in the southern part, the sedimentation rates are between 2.5 a 5.5 cm per year. High rates could be up to 7.5 cm per year, which is comparable with other studies from the Morava river catchment.

## Úvod

Mezi roky 2009 a 2011 byly v nivě horního toku Moravy mezi Postřelmovem a Olomoucí odebrány recentní sedimenty ze slepých a poloslepých mrtvých ramen z 6 lokalit (Habermanův mlýn, HA, 49° 55' 40,448" N, 16° 54' 56,848" E; Lesnice, LE, 49° 53' 5,212" N, 16° 55' 27,887" E; Zvole, 49° 50' 25,601" N, 16° 55' 37,47" E; Doubravice-Moravičany, MOR 49° 44' 56,486" N, 16° 58' 51,824" E; Litovelské luhy, LIT, 49° 41' 49,145" N, 17° 7' 13,906" E; Kurfürstovo rameno, CH, 49° 39' 38,584" N, 17° 12' 46,293" E) (WGS 84). Lokality vznikly buď při regulaci toku (Zatloukal 1957, Krejčí 2009) nebo v přirozeném meandrujícím systému řeky Moravy (Bábek et al. 2012). Mrtvá ramena řek fungují jako sedimentační pasti (Perry et al. 2007) a vytvářejí vhodné sedimentární archivy. Jejich studium přináší poznatky o změně životního prostředí v čase a prostoru, jak bylo studováno v nivě Moravy jižně od Olomouce (Bábek et al. 2008, Kadlec et al. 2008, Grygar et al. 2009). Území spadá do teplé klimatické oblasti s roční průměrnou teplotou 7 až 9 °C a s úhrnem srážek 500 až 600 mm za rok. Průměrný průtok řeky Moravy se pohybuje nad Litovlí do 20 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> a pod Litovlí 20 až 25 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Nejvýznamnějšími přítoky jsou Desná, Moravská Sázava a Třebůvka. Článek přináší část výsledků z širšího výzkumu o antropogenním vlivu na recentní fluviální sedimenty v horní nivě řeky Moravy, konkrétně jsou zde zhodnoceny výsledky výzkumu rychlostí sedimentací, litologie a stratigrafie.

## Metodika

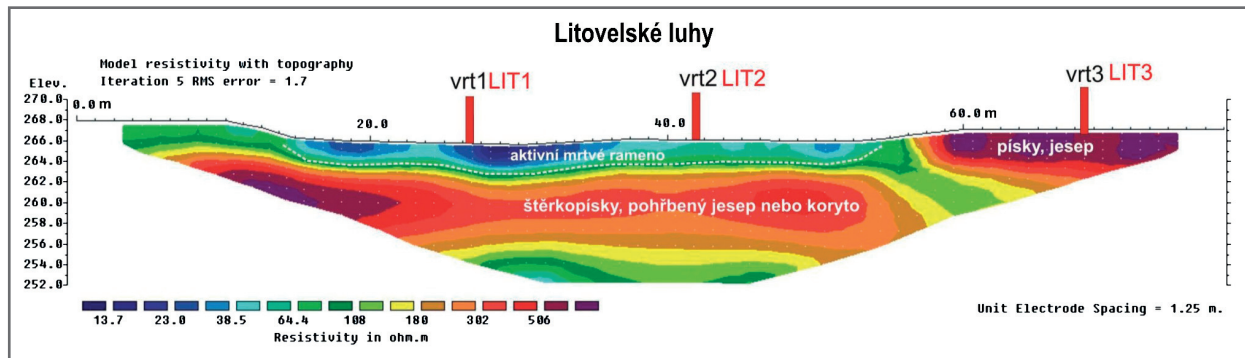
Bylo odebráno 20 jader, do hloubky 50 až 170 cm pod povrchem, ručním píšťovým vzorkovačem Eijkkamp Multisampler o vnitřním průměru 40 mm (Holandsko). Při odběru docházelo k mírnému stlačení jader, proto uvedené hodnoty hloubky odebraných vzorků jsou v této

práci korigovány na kompakci (lineární model). Jádra byla v laboratoři nafotografována, krájena po 0,5 cm a vzorky byly sušeny při 50 °C po dobu cca 24 hodin. Byl proveden makroskopický popis facií včetně odhadu zrnitosti. Vybrané vzorky byly analyzovány laserovým granulometrem Cilas 1060 (Quantachrome VB) s horní hranicí detekce 450 μm. Metodou multielektrodového odporového profilování (systém ARES, GF Instruments, s. r. o., ČR) byly změřeny tři 2D profily na 2 lokalitách. Na kapamůstku KLY-4 (AGICO, s. r. o., ČR) byla měřena hmotnostně-specifická magnetická susceptibilita (MS) s vertikálním intervalem 0,5 cm. K měření kolorimetrie byl využit ruční spektrální fotometr SP-62 (X-Rite, USA) snímající viditelné spektrum (400 až 700 nm) s rozlišením 10 nm. K relativnímu datování byla měřena hmotnostní aktivita (a<sub>m</sub>) <sup>137</sup>Cs na laboratorním gamaspektrometru GR 320 (Georadis, s. r. o., ČR). Hodnoty a<sub>m</sub> byly měřeny s vertikálním intervalem 4 až 6 cm s dobou měření 30 minut.

## Výsledky a diskuze

### Litologie a stratigrafie

Zkoumané sedimenty lze klasifikovat jako jílovito-písčité sily (frakce siltu: 81 % až 90 %; jílová frakce: 8 % až 15 %; písková frakce: 1 % až 12 %). Nejčastější zjištěnou frakcí byl hrubý silt až velmi jemný písek. Frakce siltu a velmi jemného písku jsou přibližně stejně zastoupeny. V menší míře jsou zastoupeny hrubší frakce jemného písku, středně hrubého písku a hrubého písku, transportované při větších průtocích například při jarním tání nebo při povodních. Významná je přítomnost organických horizontů od lamin až po několikacentimetrové vrstvičky obsahující organický materiál v různém stadiu rozložení. Hrubší frakce obsahují často zbytky antropogenního materiálu (cihly, struska z metalurgie).



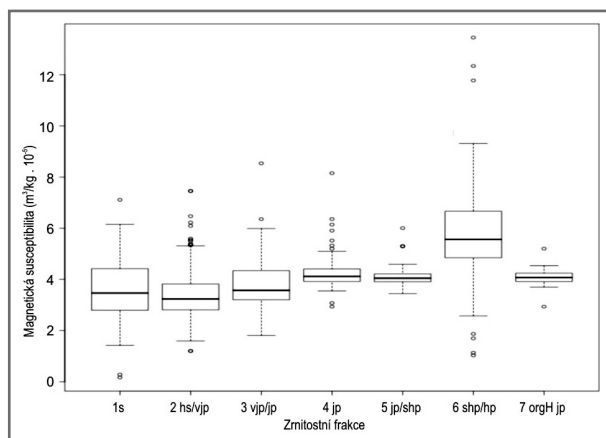
Obr. 1: Geofyzikální profil elektrické rezistivity na lokalitě Litovelské luhy.  
 Fig. 1: Geophysical profile of electric resistivity at the Litovelské luhy locality.

**Měření elektrické rezistivity**

Jedná se o vhodnou nedestructivní metodu pro studium především přirozených mrtvých ramen. Hodnoty měrného odporu, které jsou závislé na zrnitosti klastických sedimentů, velmi dobře korelují s litologií odebraných sond LIT1, LIT2 a LIT3 na lokalitě Litovelské Luhy (vrt 1, 2 a 3, viz obrázek 1). V sondě LIT1 byl zastížen sediment především prachové frakce s vrstvičkami organické sedimentace, které vyplňují staré koryto s typickými hodnotami měrného odporu mezi 10 a 30 Ω·m. Sonda LIT2 prezentuje častější změnu litologie mezi prachovými a pískovými vrstvičkami s méně výraznou organickou sedimentací. LIT3 spadá do oblasti s vysokým měrným odporem (380 až 600 Ω·m) a litologicky se jedná o jemný až středně hrubý písek. V profilu (obr. 1) je patrné opuštěné koryto zanesené jílovito-prachovitým sedimentem, zřetelný pískový jesep a ve spodní části profilu se nachází starší šterkopískové těleso.

**Magnetická susceptibilita**

Naměřené hodnoty MS jsou relativně nízké a nevykazují velké rozdíly. MS se pohybuje mezi  $1 \times 10^{-7}$  až



Obr. 2: Distribuce magnetické susceptibilita: s – silt; hs/vjp – hrubý silt/velmi jemný písek; vjp/jp – velmi jemný písek/jemný písek; jp – jemný písek; jp/shp – jemný písek/středně hrubý písek; shp/hp – středně hrubý písek/hrubý písek; orgH jp – organický horizont s jemným pískem.

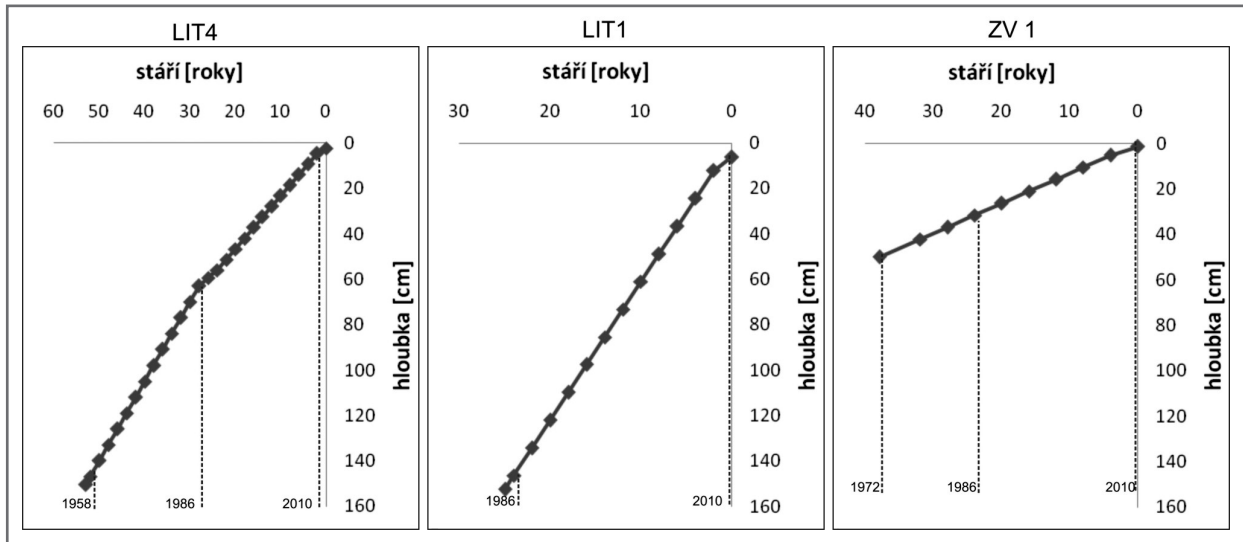
Fig. 2: Distribution of magnetic susceptibility: s – silt; hs/vjp – coarse silt/very fine sand; vjp/jp – very fine sand/fine sand; jp – fine sand; jp/shp – fine sand/medium sand; shp/hp – medium sand/coarse sand; orgH jp – organic horizon with fine sand.

$1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ . Je vidět, že MS souvisí částečně s litologií (obr. 2), ale nedá se vyvodit všeobecný závěr, který se v literatuře často objevuje (Lisá et al. 2012), že jemnozrnnější frakce sedimentu mají vyšší MS (e. g. Lisá et al. 2008). Modální složení sedimentu může mít větší vliv než zrnitost (např. Ghilardi et al. 2007). Jílovo-prachová frakce měla povětšinou konstantní vývoj MS. Ve špatně vytříděných sedimentech s obsahem hrubších klastů dochází k rozkolísání hodnot MS. Rozkolísání je pravděpodobně způsobeno různým složením hrubých klastů; např. klasty diamagnetického křemene snižují MS v sondě CH1 směrem k hrubším písčitém frakcím v podloží. Opačný případ je patrný u sondy LIT4, ve které písčivé vrstvičky vykazují vyšší MS než prachové. Nejvyšších hodnot MS dosahuje frakce středně hrubého písku až hrubého písku (obr. 2). Tato frakce vykazuje i největší rozsah hodnot. To opět ukazuje na důležitost složení při interpretaci MS.

Nejvyšší MS byla naměřena v sondě HA1 na lokalitě Habermanův mlýn, kde jemnozrnný písčito-prachovitý sediment obsahoval významné množství klastů strusky. Zvýšená MS byla naměřena u MORIV u Moravičan, kde se jednalo o homogenní prachový sediment s výrazně vysokou 13% jílovou složkou. Tento horizont má zvýšené koncentrace těžkých kovů o desítky procent oproti podloží a nadloží, což by mohl být jeden z vlivů na zvýšenou MS (Kielar 2011).

**Kolorimetrie**

Z měření kolorimetrie vyplývá, že se sedimenty dají rozdělit do dvou skupin. První skupina, která má homogennější barevnostní škálu, zahrnuje například sondy CH1, CH2, MORI a MORIV. Jedná se o skupinu, pro kterou je typické posunutí faktoru CIEa\* směrem ke žluté při stejných hodnotách faktoru CIEa\* jako u druhé skupiny (CIEa\* 1,2–4,0; CIEb\* 11–18). Sondy CH1, CH2, MORI a MORIV byly odebrány na lokalitách, které jsou stále propojené s hlavním tokem. V těchto místech patrně dochází k rychlejší oxidaci organické hmoty a tvoření žlutooranžových oxohydroxidů Fe (goethit). Druhá skupina sedimentů má širší interval naměřených barev od tmavšího spektra až ke spektru světlejšímu u parametru CIEa\* mezi zelenou a červenou a u parametru CIEb\* se viditelně posouvají směrem k modré oproti první skupině (CIEa\* 0,3–5,0; CIEb\* 3–15). Jde o sedimenty z míst, kde převládá nebo po část vývoje převládala organická sedimentace v uza-



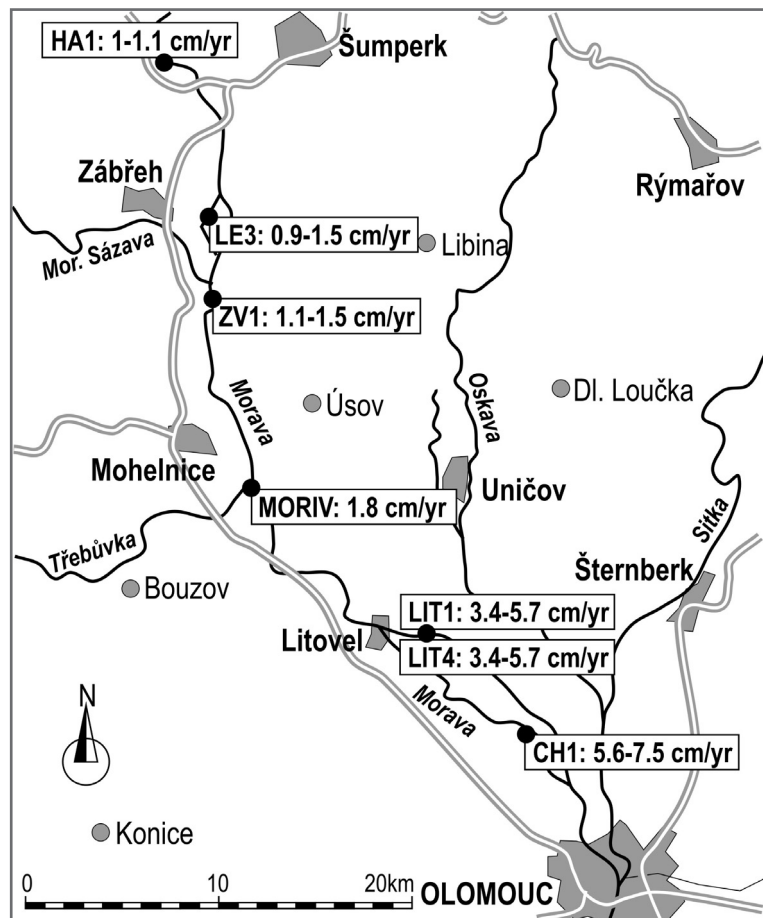
Obr. 3: Věkový model pro vrtná jádra LIT4, LIT1 a ZV1 odvozený z cesiového datování. Rok 1986 poukazuje na pík způsobený spadem z černobylské havárie.  
 Fig. 3: Age Model for LIT4, LIT1 and ZV1 cores derived from cesium dating. 1986 refers to peak values due to atmospheric fallout from the Chernobyl accident.

vřeném meandru bez přínosu čerstvé vody, jak je tomu na lokalitách Litovelské luhy, Zvole, Lesnice a Kurfürstovo rameno zadní část. Světlejší sediment je většinou prezentován hrubšími pískovými vrstvičkami sedimentovanými při vyšších vodních stavech, anebo se jedná o postdepozičně oxidované vrstvičky.

Kurfürstovo rameno. Podobná rychlost byla stanovena v mrtvém rameni Čerták u Uherského Hradiště (Bábek et al. 2008), kde rychlost sedimentace byla až 7,7 cm/rok během 1986 až 2007. Rychlost sedimentace 7 až 8 cm/rok z Kurfürstova ramena reprezentuje rané stadium zaplňo-

**Datování <sup>137</sup>Cs a rychlost sedimentace**

Izotop <sup>137</sup>Cs se dostal do přírodního prostředí během pokusů s atomovými zbraněmi v 50. a 60. letech 20. století a dále při katastrofách v jaderných elektrárnách např. v dubnu 1986 v Černobylu. Hmotnostní aktivita <sup>137</sup>Cs byla změřena u 13 sedimentárních jader z 6 lokalit. Maxima hmotnostních aktivit, které odpovídají katastrofě v Černobylu, mají rozsah od 74,2 Bq/kg u CH4 až po 318 Bq/kg u ZV1. Nejvyšší hmotnostní aktivity byly změřeny u lokality Zvole v sondě ZV1 v hloubce 31 cm (318 Bq/kg) a u lokality Lesnice v sondách LE3 v hloubce 36 cm (226,36 Bq/kg) a LE6 v hloubce 55 cm (212,6 Bq/kg). Izotop <sup>137</sup>Cs je geochemicky poměrně mobilní, zejména ve zvodních s vysokou permeabilitou (písky), a proto změřená maxima mohou být ovlivněna postdepoziční migrací, která hmotnostní aktivitu mohla snížit nebo zvýšit (Ciszewski et al. 2008). V Mohelnické brázdě se rychlosti sedimentace pohybují v rozmezí 1 až 1,5 cm/rok (obr. 4). Zde byla pravděpodobně rychlost negativně ovlivněna regulací toku, která proběhla na většině délky toku Moravy. Dolní hranice rychlosti sedimentace v Hornomoravském úvalu leží kolem 2 cm/rok a maximální zjištěná hodnota je 7 až 8 cm/rok ze sondy CH1 na lokalitě



Obr. 4: Distribuce rychlosti sedimentace (1986–2010).  
 Fig. 4: Distribution of sedimentation rates (1986–2010).

vání opuštěného meandru při ústí řeky s velkým přínosem sedimentu. Báze sedimentu z Kurfürstova ramena je stanovena na rok 1993, kdy došlo k vyčizení sedimentu (Krejčí 2009). Rychlosti sedimentace z lokality Litovelské luhy reprezentují distální část mrtvého ramene; u LIT1 a LIT2 se jedná o rané stadium, kdy je rychlost sedimentace rychlejší a pohybuje se mezi 3,5 a 6 cm/rok pro období 1986 až 2010. LIT4 a LIT5 v období mezi 1986 a 2010 reprezentují stav v pozdější fázi zaplňování s hodnotami pohybujícími se mezi 1,9 a 2,3 cm/rok. K vypočítání přibližného stáří báze LIT4 byla použita průměrná rychlost sedimentace LIT4 mezi roky 1986 a 2010, která je 2,33 cm/rok, dále průměr rychlostí sedimentace sond LIT1 a LIT2, který je 4,6 cm/rok. Obrázek 3 představuje model rychlosti sedimentace u LIT4, LIT1 a ZV1.

Průměrná rychlost sedimentace má proto hodnotu 3,5 cm/rok. Pomocí této průměrné hodnoty bylo stáří báze stanoveno na rok 1959. Obrázek 4 prezentuje distribuci rychlostí sedimentace na celém studovaném území.

### Závěry

Sedimenty mrtvých ramen představují kombinace sedimentace jednak organického detritu a peliticko-aleuritické frakce střídající se s vrstvičkami hrubších frakcí, které byly transportovány a sedimentovány při větších prů-

tocích. Během střídání sedimentačních podmínek dochází k občasnému opadnutí vody a zastavení sedimentace. Při delším opadnutí se mění fyzikální a chemické vlastnosti sedimentů a proto jsou interpretace výsledků obtížnější než u sedimentů trvale zaplavených jezer a přehrad s nepřerušovaným vývojem sedimentace (cf. Sedláček 2009). Práce ukázala vhodnost metody elektrické rezistivity při studiu mrtvých ramen. Měření hmotnostní aktivity <sup>137</sup>Cs přineslo nové poznatky o rychlosti sedimentace vztahující se především na období mezi roky 1986 a 2010. Průměrná rychlost sedimentace v přírodním prostředí Litovelského Pomoraví se pohybuje mezi 3,5 a 5,5 cm/rok během prvotního zaplňování mrtvých ramen. V pozdější pomalejší fázi zaplňování se hodnoty pohybují mezi 1,9 a 2,3 cm·rok<sup>-1</sup>. V Mohelnické brázdě, kde je většina toku Moravy upravena (Kilianová 2000) a tím i zabráněno přirozenému rozlévání Moravy, se rychlost sedimentace pohybuje mezi 1 až 2 cm/rok.

### Poděkování

*Toto studium bylo financováno z projektu GAČR P210/12/0573 „Pozdně kvartérní seismogenní zlomová aktivita a související vývoj sedimentačních pánví ve východní části Českého masivu“.*

### Literatura

- Bábek, O. – Hilscherová, K. – Nehyba, S. – Zeman, J. – Famera, 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 Soil Sediments*, 8, 3, 165–176.
- Bábek, O. – Bartošová, L. – Homola, R. – Lepařová, H. (2012): Geofyzikální obraz holocenního vývoje meandrujícího systému řeky Moravy v hornomoravském úvalu. – Konference 18. kvartér 2009, Sborník abstraktů 2012, Brno.
- Ciszewski, D. – Czajka, A. – Blazej, S. (2008): Rapid migration of heavy metals and <sup>137</sup>Cs in alluvial sediments, Upper Odra River valley, Poland. – *Environmental Geology*, 55, 1577–1586.
- Grygar, T. – Světlík, I. – Lisá, L. – Koptíková, L. – Bajer, A. – Wray, D. S. – Ettlér, V. – Mihaljevič, M. – Nováková T. – Koubová, M. – Novák, J. – Mačka, Z. – Smetana, M. (2009): Geochemical tools for the stratigraphic correlation of floodplain deposits of the Morava river in Strážnické Pomoraví, Czech Republic from the last millennium. – *Elsevier*, 80, 106–121.
- Ghilardi, M. – Kunech, S. – Styllas, M. – Fouache, E. (2007): Reconstruction of Mid-Holocene sedimentary environments in the central part of the Thessaloniki Plain (Greece), based on microfacial identification, magnetic susceptibility and braun-size analyse. – *Geomorphology*, 97, 617–630.
- Kadlec, J. – Grygar, T. – Světlík, I. – Ettlér, V. – Mihaljevič, M. – Diehl, J. F. – Beske-Diehl, S. – Vitásková-Svobodová, H. (2009): Morava river floodplain development during the last millennium, Strážnické Pomoraví, Czech republic. – *Holocene*, 19, 3, 499–509.
- Kielar, O. (2011): Stratigrafie a kontaminace recentních sedimentů ve vybraných sedimentačních pastech podél toku řeky Moravy. – MS, diplomová práce PFF MU, Brno.
- Kilianová, H. (2000): Řeka Morava na mapách III. vojenského mapování z let 1876–1880: příspěvek k fluvialní dynamice. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1999*, 27–30.
- Krejčí, M. (2009): Plán péče o přírodní památku Kurfürstovo rameno na období 2010–2020. – MS, Biologická práce a hodnocení pro Agenturu ochrany krajiny a přírody ČR a Správu CHKO Litovelské Pomoraví, Litovel.
- Lisá, L. – Lisý, P. – Chadima, M. – Čejchan, P. – Bajer, A. – Cílek, V. – Suková, L. – Schnabl, P. (2012): Microfacies description linked to the magnetic and non-magnetic proxy as promising environmental tool: Case study from alluvial deposits of the Nile river. – *Quaternary International*, 266, 25–33.
- Perry, Ch. – Taylor, K. (2007): *Environmental sedimentology*. – Blackwell Publishing, 441 pp. Oxford.
- Sedláček, J. – Bábek, O. (2009): Předběžné zhodnocení rychlosti sedimentace ve vybraných přehradních nádržích v povodí Moravy. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 16, 31–34.
- Zatloukal, Z. (1957): *Technická zpráva úprava toku Moravičany*. – MS, Interní zpráva povodí Moravy, Olomouc.