

PŘEDBĚŽNÉ ZHODNOCENÍ RYCHLOSTI SEDIMENTACE VE VYBRANÝCH PŘEHRADNÍCH NÁDRŽÍCH V POVODÍ MORAVY

Preliminary assesment of sedimentation rate in selected dams on Morava River catchment area

Jan Sedláček, Ondřej Bábek

Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: 106801@mail.muni.cz

(24–32 Brno, 34–12 Pohořelice, 34–21 Hustopeče)

Key words: reservoir sediments, ¹³⁷Cs dating, magnetic susceptibility

Abstract

Artificial lakes and reservoirs serve as traps for suspended sediment. In this paper we study sediments in Brno dam and Nové Mlýny reservoirs. We determine the sedimentation rate and depth of dam sediments. ¹³⁷Cs dating were used for determination of chronology. Magnetic susceptibility and X-ray densitometry were used to establish a stratigraphic framework in the cores. ¹³⁷Cs dating revealed a distinct Chernobyl peak at 44–48 cm depth inferring an average sedimentation rate of 2.3 cm per year in the Nové Mlýny reservoir. In the Brno reservoir, the Chernobyl peak was located in 62–65 cm depth indicating an average sedimentation rate of 3.04 cm per year.

Úvod

Přehradní nádrže a rezervoáry představují ideální pasti pro suspendovaný říční materiál. Rychlost sedimentace je ovlivněna především množstvím přinášeného materiálu, vliv má mnoho faktorů, především velikost příslušného povodí, typ hornin ve sběrné oblasti, hustota odvodňování, sklon svahů a míra antropogenních zásahů. Přínos sedimentů je ovlivněn také množstvím a sezónní distribucí srážek, rozmištěním a typem vegetačního pokryvu (Bell 1998). Přehradní sedimenty poskytují kontinuální záznam sedimentace od doby napuštění, jejich mocnost s časem narůstá a dochází tak k postupnému zanášení nádrže. Studium těchto sedimentů lze sledovat časové posloupnosti procesů a událostí zaznamenaných v sedimentu, mezi něž patří historie kontaminace, cyklické změny a výkyvy klimatu. V této práci byly studovány dvě nádrže z povodí Moravy a to Brněnská přehrada a Nové Mlýny.

Parametry studovaných nádrží

Brněnská přehrada, nádrž údolního typu napájená řekou Svratkou (56,187 km), byla napuštěna v roce 1940. Celkový objem činí 21 mil. km³ při zatopené ploše 259 ha. Nádrž má víceúčelové využití, slouží pro akumulaci vody k trvalému zajištění minimálního průtoku, k omezení povodňových průtoků, výrobě elektrické energie, odběru vody pro technické účely a také k rekreaci a vodním sportům (Vlček et al. 1984).

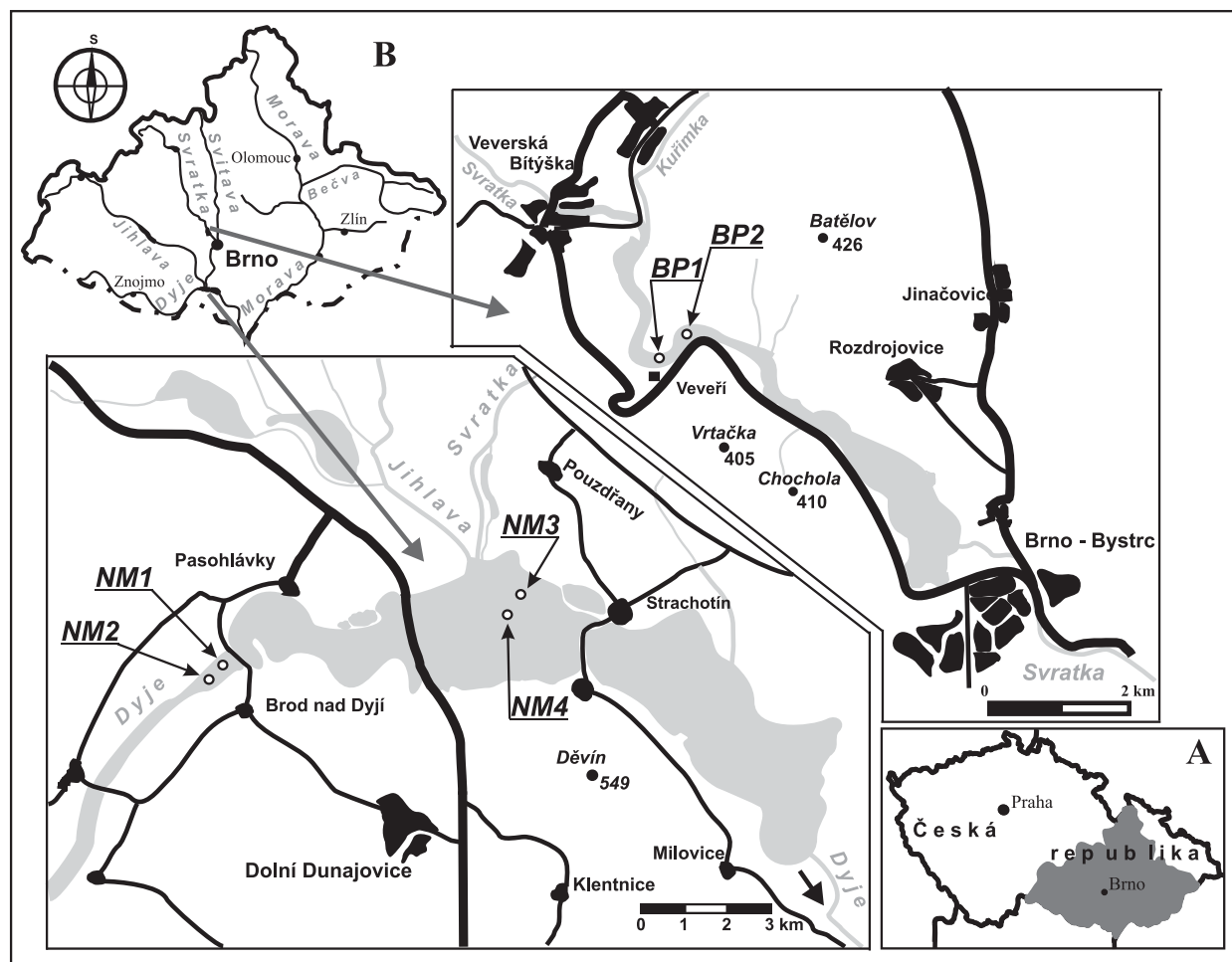
Vodní dílo Nové Mlýny sestává ze tří nádrží, které jsou při celkovém objemu 130,3 mil. km³ a zatopené ploše 3276 ha největším vodním dílem v celém povodí řeky Moravy. Dílo je napájeno hlavně řekami Dyjí, Svratkou a Jihlavou. Celá soustava byla budována postupně. Jako první byla do provozu uvedena horní nádrž (1978), po ní střední nádrž (1981) a jako poslední byla roku 1989 vybudována dolní nádrž o největším objemu (portál povodí Moravy).

Metody

Rychlost sedimentace byla studována ze šesti vrtných jader odebraných ze dna nádrží. Dvě jadra o celkové délce 3 m byla odebrána v únoru 2008 z Brněnské přehrady, která byla označena jako BP1 (49°15'29,5"N, 16°27'41"E) a BP2 (49°27'41"N, 16°28'2"E). Čtyři jadra o maximální délce 0,8 m (v závislosti na provedení odběru) byla odebrána v prosinci 2008 ze soustavy nádrží Nové Mlýny – NM1 (48°53'2,32"N, 16°31'46,3"E) a NM2 (48°52'54,2"N, 16°31'25,4"E) z horní a NM3 (48°54'23,5"N, 16°37'13"E) a NM4 (48°54'19"N, 16°36'58"E) ze střední nádrže. Přesná lokalizace míst jednotlivých vrtů je vyznačena na obr. 1. K odběru byl použit pístový odběrák (Eijkkamp, Nizozemsko) v průsvitné vzorkovací tubě o vnitřním průměru 40 mm. Při vzorkování tímto typem odběraku vzniká podtlak, kterým se zabrání kompakci odebíraného jádra. Ještě vcelku byly vzorky podrobeny RTG densitometrii, která vychází z RTG snímků jader. Výstupem je snímek, v němž se hustotní rozdíly (vrstvy) projeví jako kontrastní rozdíly. Světlé vrstvy představují klastický materiál, tmavé zase sedimenty jílové a organické povahy. Lze tak pozorovat složení sedimentů a sedimentárních struktur s ročním rozlišením (Ojala 2005). Poté byly vzorky ještě v plastickém stavu vytlačeny z tuby, říznuty napůl, popsány, děleny napříč po 1 cm a vysušeny.

Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita poskytuje cenné údaje zvláště tam, kde stratigrafické změny nejsou viditelné (Thompson et al. 1975). Měření proběhlo na katedře geologie UP v Olomouci na kappa můstku KLY-4S s citlivostí 3.10⁻⁸ SI (výrobce Agico, s.r.o. Brno). Výhodou metody je přesnost a rychlost, jedno měření probíhalo po dobu cca 30 sekund. Měřeny byly všechny vzorky ve vertikálním



Obr. 1: Geografická pozice studovaných nádrží, A – pozice povodí Moravy v rámci ČR, B – pozice nádrží; místa odběru vyznačena číslem vzorku.

Fig. 1: Geographic setting of reservoirs under study, A – location of Morava river catchment area, B – position of reservoirs.

intervalu po 1 cm; u každého vzorku bylo provedeno pouze jedno měření.

Datování pomocí ¹³⁷Cs

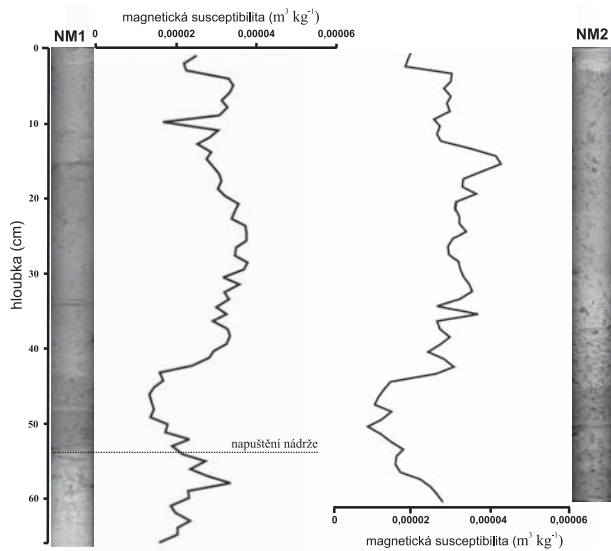
Jde o rychlou a nedestruktivní metodu, jejíž použitelnost byla ověřena výzkumy z mnoha jezer v s. a sz. Evropě (Callaway et al. 1996). Rozptýl umělého radioizotopu ¹³⁷Cs začal jaderným testem v listopadu 1954 v tehdejší SSSR. Radioaktivní látky byly poté rozptýleny do atmosféry a transportovány na velké vzdálenosti. Významný nárůst testování nastává v rozmezí let 1961–1963, kdy mělo nejvyšší intenzitu. Po této době došlo k zákazu jaderných testů a koncentrace radionuklidů v přírodním prostředí rapidně klesá a kolem roku 1983 je většinou pod limitem detekce (Appleby 2001, Kalff 2003). Velké množství ¹³⁷Cs bylo do atmosféry vypuštěno 26. dubna 1986 v důsledku havárie ve čtvrtém bloku černobylské jaderné elektrárny (Ukrajina). Enormní spád trval až do 5. května a zasáhl místa vzdálená tisíce kilometrů od Černobylu (ApSimon et al. 1986). Distribuce radioaktivního spadu byla velmi nerovnoměrná a ovlivněná vzdušnými proudy a srážkami. Radioaktivní látky se do nádrží dostaly přímým vstupem z atmosféry nebo splachem z povodí. Následně byly začleněny do sedimentárního záznamu. Poločas rozpadu

radioizotopu ¹³⁷Cs, které se silně váže na jílové minerály, činí 30,2 let, takže je ve vzorcích snadno detekovatelné (Appleby 2001, Kalff 2003, Ilus – Saxen 2005). Datovány byly dvě jádra, jedno z brněnské přehrády (BP2) a jedno z horní nádrže Nových Mlýnů (NM1). Pro měření byly brány vzorky ve vertikálním intervalu 4 cm. Samotné měření bylo realizováno laboratorním gammaspektrometrem PCAP (Nucleus, USA) se scintilačním detektorem NaI(Tl) a detekčním limitem 4 Bq kg⁻¹. V případě vrtu BP2 provedla měření firma Georadis, u jádra NM1 bylo realizováno stejným přístrojem na katedře geologie PŘF MU. Doba jednoho měření činila 30 min.

Výsledky

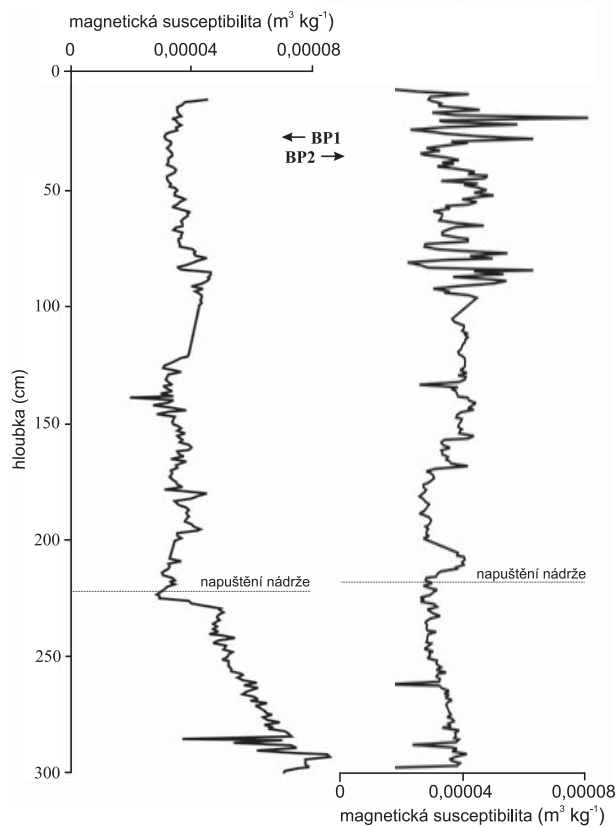
Magnetická susceptibilita

Naměřené hodnoty magnetické susceptibilita z Nových Mlýnů jsou poměrně nízké. Výsledky se pohybují v intervalu 0,9 až 6 × 10⁻⁵ m³·kg⁻¹. Křivky hodnot magnetické susceptibilita (MS) u vzorků z horní nádrže jsou vzájemně dobře korelovatelné, což je patrné z obr. 2. Obě vykazují snížení hodnot magnetické susceptibilita v hloubce okolo 50–60 cm. Křivka vzorku NM3 má obecně vyšší hodnoty, které se pohybují okolo 5 × 10⁻⁵ m³·kg⁻¹ ale je bez výrazných výkyvů, které ale vyazuje křivka NM4, kdy nejprve MS



Obr. 2: Hodnoty magnetické susceptibilitivity ve studovaných jádrech.

Fig. 2: Magnetic susceptibility values.



Obr. 3: Hodnoty magnetické susceptibilitivity vzorků NM1 a NM2 a jejich RTG snímky.

Fig. 3: Magnetic susceptibility values of samples NM1 and NM2 and their X-ray images.

klusá k výraznému minimu v hloubce 23–24 cm a vzápětí vykazují maximální hodnoty v 30–31 cm. Poté opět hodnoty celkově klesají.

Susceptibilita jádra BP1 z Brněnské přehrady je ve svrchní části jádra bez výrazných výkyvů, změna nastává v hloubce 2,26 m, kdy se skokově zvyšuje. Druhý vzorek BP2

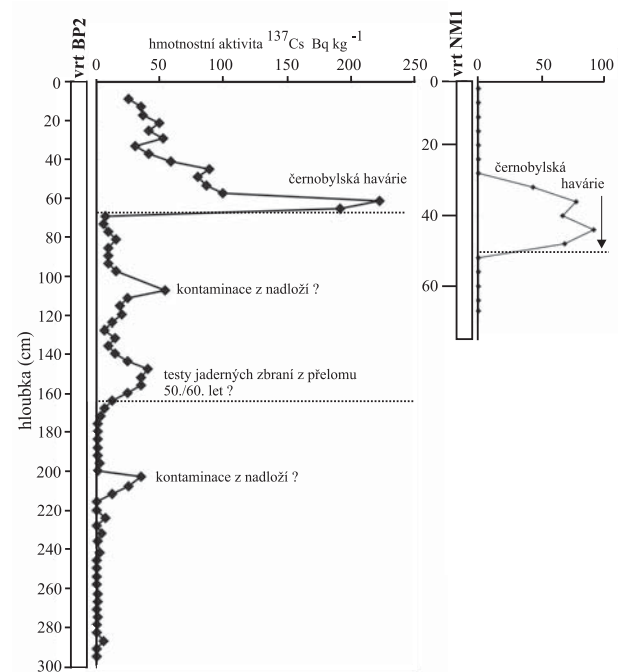
vykazují ve svrchní části profilu poměrně výrazné výkyvy. Ke zvýšení hodnot dochází v hloubce 2 až 2,2 m. Výsledné křivky MS obou jader jsou znázorněny v obr. 3.

Datování pomocí radioizotopu ¹³⁷Cs

V případě vzorku NM2 byl zaznamenán zřetelný nárůst hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs z hodnoty pod detekčním limitem na 67 Bq·kg⁻¹ v hloubce 44 až 48 cm, maximální hodnota byla zjištěna v hloubce 40–44 cm (90,2 Bq·kg⁻¹). Směrem do nadloží rychle vyznívá a už v hloubce 24–28 cm nebylo ve vzorcích zachyceno žádné ¹³⁷Cs. Vrt BP2 z Brněnské přehrady vykazuje několik píků. První maximum je v hloubce 167 až 128 s maximálními hodnotami v rozmezí 144–147 cm (40 Bq·kg⁻¹). Druhý pík začíná ostrým vzrůstem množství ¹³⁷Cs v hloubce 62 až 65 cm, s maximem v hloubce 58 až 61 cm (222 Bq·kg⁻¹). Poté jeho koncentrace rychle klesá. Celkové křivky u obou jader jsou znázorněny na obr. 4.

Diskuze a závěry

Brněnská přehrada – Z RTG snímků jader vyplývá změna typu sedimentace v hloubce 2,1 m (BP1), respektive 2,2 m (BP2), pod touto hloubkou patrně spočívají svahové nebo fluviální sedimenty usazené před napuštěním přehrady v roce 1940. Na některých místech jsou dokonce viditelné drobné klasty. Nad tímto rozhraním nastupují přehradní sedimenty s patrnou laminací, kdy se střídají tmavší vrstvy organického a jílového materiálu se světlejšími vrstvami siltové povahy. Se změnou typu sedimentace koreluje magnetická susceptibilita jádra BP1 v hloubce, kde začíná přehradní sedimentace, kdy dochází k prudkému snížení hodnot. Také vrt BP2 jeví změnu MS v místě začátku přehradní sedimentace, která se ale kryje se zvýšením hodnot. Výrazné výkyvy ve svrchní části vzorku BP2 pravděpodobně odpovídají jednotlivým vrstvám a ročním



Obr. 4: Výsledky datování pomocí radioizotopu ¹³⁷Cs.

Fig. 4: Results of ¹³⁷Cs dating.

výkyvům a budou dále studovány. Na změny MS v obou vrtech mohou mít vliv lokální podmínky. Datování pomocí radioizotopu ^{137}Cs vykazuje dvě zřetelná maxima, první patrně odpovídá testům z přelomu 50. a 60. let minulého století a druhé, mnohem výraznější, spadá z černobylské havárie. Pod oběma píky jsou zvýšené koncentrace, které mohou odpovídat kontaminaci z nadloží. Díky známé hloubce černobylského eventů dostáváme interpolací průměrnou rychlost sedimentace v této části přehrady 3,3 cm/r do roku 1986 a 3,04 cm/r od tohoto data.

Nové Mlýny – Nejvýraznější rozhraní napuštění nádrže je patrné na RTG snímku u jádra NM1 v hloubce 55 cm. Všechny snímky nevykazují laminaci, struktury u vzorku NM3 dokonce jeví velké přepracování bioturbací, čemuž by napovídaly i hodnoty MS bez výraznějších výkyvů. Ale u tohoto vzorku nebyla zachycena báze přehradních sedimentů. Zato jádro NM4 vykazuje jejich poměrně malou mocnost (asi jen 35 cm), s výrazným organickým horizontem v hloubce 22–25 cm, který by mohl značit

klidnou sedimentaci. Tomuto horizontu odpovídá výrazné snížení hodnot magnetické susceptibility. Rozdíly v mocnosti přehradních sedimentů mezi oběma jádry ve střední nádrži mohou být dány odlišnou distribucí sedimentů podvodními proudy a vzhledem k malé hloubce nádrže také možným přepracováním během velkých bouří. Z výsledku datování ^{137}Cs na jádru NM1 vyplývá průměrná rychlost sedimentace 2,3 cm/r. Křivky magnetické susceptibility v horní nádrži jsou dobře korelovatelné a vyznačují jednoznačné časové trendy.

Výše uvedené metody jsou v kombinaci s dalšími dobrým nástrojem k určení rychlosti a historie přehradní sedimentace. Pro určení mocnosti přehradních sedimentů v celé pánvi bude potřeba odebrat jádra z různých míst přehrady, protože mocnosti sedimentů jsou ovlivněny pozicí vrtu vůči toku a v rámci nádrže. Rychlost sedimentace v různých částech pánve proto bude rozdílná. Rozhodující vliv na přínos sedimentů a tedy i na rychlost sedimentace mají především velké povodně, a proto bude stratigrafie sedimentů dále studována.

Poděkování

Studium bylo podporováno výzkumným záměrem MSM 0021622412.

Literatura

- Appleby, P.G. (2001): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. – In: Last, W.M., Smol, J. (Eds.): Tracking environmental change using lake sediments, 171–203, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- ApSimon, H. M. – MacDonald, H. F. – Wilson, J. (1986): An initial assessment of the Chernobyl-4 reactor accident release source. – J. Soc. Radiol. Prot., 6, 106–119.
- Bell, F. G. (1998): Environmental geology: principles and practice. 1–594. Wiley. London.
- Callaway, J. C. – DeLaune, R. D. – Patrick, W. (1996): Chernobyl ^{137}Cs used to determine sediment accretion rates at selected northern European coastal wetlands. – Limnol. Oceanogr., 41, 444–450.
- Ilus, E. – Saxen, R. (2005): Accumulation of Chernobyl derived ^{137}Cs in bottom sediments of some finnish lakes. – J. Env. Rad., 82, 199–221.
- Kalff, J. (2003): Limnology. 1–592, Prentice-Hall. New Jersey.
- Ojala, K. E. (2005): Application of X-ray radiography and densitometry in varve analysis. – In: Francus, P. (Ed.): Image analysis, sediments and paleoenvironment, 187–202, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Thompson, R. – Battarbee, R. W. – O'Sullivan, P. – Oldfield, F. (1975): Magnetic susceptibility of lake sediments. – Limnol. Oceanogr., 20, 687–697.
- Vlček, V. ed. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže. 1–316, Academia. Praha.
- Portál povodí Moravy–<http://www.pmo.cz/vd/NM>