

Kvalita vody a zhodnocení antropogenního znečištění sedimentů fluviálních jezer Labe

LUCIE BERANOVÁ, DAGMAR CHALUPOVÁ

Klíčová slova: kvalita vody – subaquatické sedimenty – řeka Labe – fluviální jezera – těžké kovy – průmyslová kontaminace

SOUHRN

Tato práce je zaměřena na zhodnocení kvality vody a antropogenního znečištění sedimentů ve starých ramenech Kozelská tůň a Vrt' středního toku Labe. Stará říční ramena jsou významnými ekosystémy, ve kterých se může ukládat velké množství znečištěného materiálu. Tato kontaminace může pocházet z průmyslových zdrojů znečištění především z 2. pol. 20. století. Fluviální jezera také dokladují změny trasy koryta řeky a přispívají ke zvýšení stability říčního ekosystému. Výzkum Kozelské tůně byl zvolen především kvůli poloze tohoto jezera, které se nachází v blízkosti areálu Spolana Neratovice, a. s., která v minulosti představovala jeden z největších zdrojů labského znečištění. Tento výzkum zahrnoval měsíční analýzy chemických a fyzikálních parametrů vody v období od prosince 2016 do listopadu 2017. Další část výzkumu zahrnovala stanovení koncentrace kovů a arsenu v sedimentech ve frakci 20 µm. K výluhu sedimentů byl použit rozklad lučavkou královskou. Hodnocení kvality povrchové vody v jezerech prokázalo zvýšené koncentrace N-NO₃. Obsah N-NH₄ ve vodě byl v Kozelské tůni i v jezeře Vrt' nejvyšší ze všech porovnávaných fluviálních jezer Polabí. Z hlediska kontaminace sedimentů byly nejvyšší koncentrace stanovených prvků zjištěny především v Kozelské tůni, což by mohlo potvrdit hypotézu o šíření průmyslové kontaminace z blízkých zdrojů znečištění (Spolana, a. s., v Neratovicích) při povodni pravděpodobně i proti proudu řeky, jak bylo zaznamenáno např. za povodně v roce 2002, kdy došlo ke zpětnému vzduť řeky Labe. Naopak sedimenty jezera Vrt' byly kontaminovány méně. Z hlediska kontaminace sedimentů byla nejvyšší míra znečištění zaznamenána v případech stříbra a kadmia. Jak výzkum prokázal, kontaminované sedimenty fluviálních jezer představují v řadě lokalit v Polabí staré antropogenní zátěže, které mohou být během povodní remobilizovány, a kontaminovaný materiál tak může představovat sekundární zdroj znečištění.

ÚVOD

Stará říční ramena tvoří velmi významné ekosystémy. Nejen že mohou být domovem vzácných a chráněných druhů, ale zvyšují retenční potenciál krajiny, takže hrají velmi důležitou roli v protipovodňové ochraně. Kromě jejich ekologického významu představují zdroj informací o historickém znečištění, které se v povodí Labe od 2. poloviny 20. století s rozvojem průmyslu významně zvýšilo. Od roku 1900 bylo Labe intenzivně regulováno a také vystavováno zhoršující se kvalitě životního prostředí kvůli nadužívání hnojiv, nedostatečnému čištění odpadních vod apod. Řeka je dlouhodobě vystavena znečišťování ze zemědělství, jelikož protéká intenzivně zemědělsky využívanou oblastí s pěstováním obilí, zeleniny a dalších plodin a průmyslovou výrobou včetně komunálního

znečištění z výroby a sídel soustředěných v tomto regionu (Pardubice, Kolín, Neratovice). I přesto se ve starých říčních ramenech zachovaly fungující nivní ekosystémy [1].

V posledních letech se kvalitou vody a sedimentů v jezerech v této oblasti zabývali vědečtí pracovníci Univerzity Karlovy [1–3], kteří se zaměřili mimo jiné i na výzkum kvality vody ve fluviálním jezeře Vrt'. Zmíněné studie zahrnovaly vybrané oblasti labské nivy a mnoho fluviálních jezer zůstalo stále nezmapováno. Jedním z nich je Kozelská tůň. Toto jezero bylo pro tuto studii vybráno kvůli poloze u Spolany Neratovice, a. s., která v minulosti představovala jeden z největších zdrojů znečištění Labe.

Práce se zaměřila na pravidelné odečty vodních stavů a měsíční analýzy chemických a fyzikálních parametrů kvality vody. V rámci průzkumných prací se prováděly zrnitostní analýzy a stanovení koncentrací kovů a arsenu v sedimentech.

STUDOVANÉ LOKALITY

Kozelská tůň

Kozelská tůň se nachází na pravém břehu řeky Labe mezi 851,9 a 851,1 říčním km blízko obce Mlékojedy, která leží v okrese Neratovice. Toto fluviální jezero je spojeno s řekou úzkými kanály na 851,9 a 850,1 říčním km. Podloží lokality tvoří hlinito-písčité sedimenty.

Ve druhé polovině 20. století bylo zamrzlé jezero vápněno a také proběhlo vybagrování sedimentů ze dna jezera. Severovýchod jezera je obklopen ornou půdou a pastvami. V jihovýchodní části se nachází les, na severu od jezera se nachází chatová kolonie, která může představovat lokální zdroj znečištění z jejich domácností, pěstování plodin a vypouštění vody z bazénů.

Obrázek 1 znázorňuje vývoj jezera. Jak je vidět na mapě z III. vojenského mapování, v roce 1852 byl meandr ještě stále součástí řeky. Meandr byl pravděpodobně odstaven na začátku 20. století. Pravá část *obr. 1* zobrazuje současný stav jezera, kdy je zřejmé, že tok byl napřímen a meandr je s řekou spojen pouze úzkými kanály.



Obr. 1. III. vojenské mapování (vlevo [4]) a současné ortofoto Kozelské tůně (vpravo [5]) 1 : 25 000

Fig. 1. The III. Military survey (left [4]) and current aerial photograph (right [5]) of lake Kozelská, 1 : 25 000

Vrť

Jezero Vrť se nachází na levém břehu řeky Labe mezi 881,7 a 881,2 říčním km v obci Semice, která je situována v okrese Nymburk. Jezero je spojeno s Labem jen úzkým kanálem na 881,2 říčním km pod jezerem ve směru toku Labe. Podloží lokality tvoří pleistocenní fluvialní sedimenty a písčitémi šterky [6]. Ve druhé polovině 20. století bylo jezero vápněno [3]. Obrázek 2 zobrazuje propojení meandru s řekou v roce 1852. Jezero bylo odstaveno od Labe pravděpodobně ve 40. letech 20. století. V 50. letech bylo kompletně odstaveno bez povrchové komunikace s řekou. K opětovnému spojení došlo až v 90. letech 20. století. Aktuální stav je zobrazen v pravé části obr. 2, kdy je jezero s řekou propojeno kanálem.



Obr. 2. III. vojenské mapování (vlevo [4] 1 : 25 000) a aktuální ortofoto jezera Vrť (vpravo [5] 1 : 10 000)

Fig. 2. The III. Military survey (left [4] 1 : 25 000) and current aerial photograph (right [5] 1 : 10 000) of Vrť lake

METODY

Fyzikálně-chemické parametry povrchové vody

Měření fyzikálně-chemických parametrů povrchové vody v Kozelské tůni proběhlo ve dvou různých částech jezera (obr. 3). Výsledná hodnota jednotlivých měsíčních koncentrací byla spočítána jako průměr z těchto dvou hodnot. V jezeře Vrť probíhalo vzorkování povrchové vody z jednoho odběrového místa. Měření proběhlo 9x za rok. V terénu byla multiparametrickou sondou HQ40D Hach-Lange měřena teplota vody, rozpuštěný kyslík ve vodě, pH a vodivost. Přesnost sondy při měření koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě je $\pm 1\%$, u měření konduktivity 0,5 % a u teploty 0,3 %.

Povrchová voda byla odebrána z hloubky 10 cm pod hladinou, ze vzdálenosti cca 1 m od břehu. Další stanovované parametry jako chemická spotřeba kyslíku (CHSK_{Mn}), biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5), N-NH_4 , N-NO_2 , N-NO_3 , P-PO_4 , Cl, alkalita, Ca, Fe, Mn a tvrdost vody byly měřeny v laboratoři Ústavu pro životní prostředí na Univerzitě Karlově. Vzorky povrchové vody byly odebrány mezi 10 h a 14 h a dopraveny v chladicím boxu do laboratoře do 16 h stejného dne. Tabulka 1 znázorňuje seznam použitých laboratorních metod.

Tabulka 1. Použité laboratorní metody při analýze povrchové vody
Table 1. Laboratory methods of water quality determination

Parametr	Laboratorní metoda
konduktivita	ČSN EN 27888 (757344)
pH	ČSN ISO 10523 (757365)
alkalita	ČSN EN ISO 9963-1 (757371)
tvrdost	ČSN EN ISO 11885 (757387)
CHSK_{Mn}	ČSN EN ISO 8467 (757519)
BSK_5	ČSN EN 1899-2 (757517)
PO_4^{3-}	ČSN EN ISO 15681-2
Cl	ČSN EN ISO 11885 (757387)
Fe	ČSN EN ISO 11885 (757387)
Mn	ČSN EN ISO 11885 (757387)
Ca	ČSN EN ISO 11885 (757387)
N-NH_4	ČSN EN ISO 11732 (757454)
N-NO_3	ČSN EN ISO 13395 (757456)
N-NO_2	ČSN EN ISO 13395 (757456)



Obr. 3. Odběrová místa povrchové vody z Kozelské tůně (vlevo) a z jezera Vrť (vpravo) [5]
Fig. 3. Sampling sites of surface water in Vrť lake (V) and Kozelská lake (K1, K2) [5]

Analýza sedimentů

Jádra dnových sedimentů byla odebrána píšťovým odběrákem Eijkelkamp ze člnu z místa cca 3 m od břehu a byla rozdělena do vrstev po 10 cm, které pak byly analyzovány odděleně. Jednotlivé vzorky byly uchovány ve vzduchotěsných sáčcích v chladicím boxu. Délka odebraných jader sedimentů činila 59 cm. V každém jezeře byl proveden jeden odběr (obr. 4). Z Kozelské tůně byl sediment odebrán téměř u konce východní části ramene, jelikož v ostatních



Obr. 4. Odběrová místa sedimentů v Kozelské tůni (vlevo) a v jezeře Vrť (vpravo) [5]

Fig. 4. Sampling sites of sediments in Vrť lake (V) and Kozelská lake (K) [5]

místech jezera nebyly pro odběr vhodné zrnitostní podmínky (příliš hrubý materiál). Z jezera Vrť byl odběr sedimentů úspěšně proveden zhruba uprostřed délky jezera.

V sedimentech byly stanoveny koncentrace Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn a Ti vždy z reprezentativního vzorku ze zhomogenizované 10 cm silné vrstvy. Homogenizace byla provedena v třecí misce za mokra, po rozdužení byla odebrána část vzorku na oddělení frakce 20 μm . Tato zrnitostní frakce byla zvolena z důvodu srovnatelnosti s dalšími výzkumy labských sedimentů. Produkt síťování byl následně usušen při laboratorní teplotě na vzduchu na Petriho miskách. Pro chemickou analýzu bylo takto získáno cca 5 gramů vzorku.

Koncentrace kovů a arsenu v sedimentech byly stanoveny ve výluhu lučavkou královskou. Navážka vzorku 0,5 g byla zalita 10 ml lučavky královské (2,5 ml HNO_3 + 7,5 ml HCl) do tlakových nádobek Savilex, které přes noc stály uzavřené při laboratorní teplotě. Poté byly zahřívány 6 hodin při teplotě 105 $^\circ\text{C}$, po vychladnutí byl roztok převeden do objemu 50 ml. K měření pomocí emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP OES) bylo použito ředění 10 \times a 100 \times .

Obsah rtuti byl stanoven atomovým absorpčním spektrometrem AMA-254 z pevných vzorků. Výsledky hodnocení míry kontaminace sedimentů jsou popsány v kapitole 4.2.

VÝSLEDKY A DISKUSE

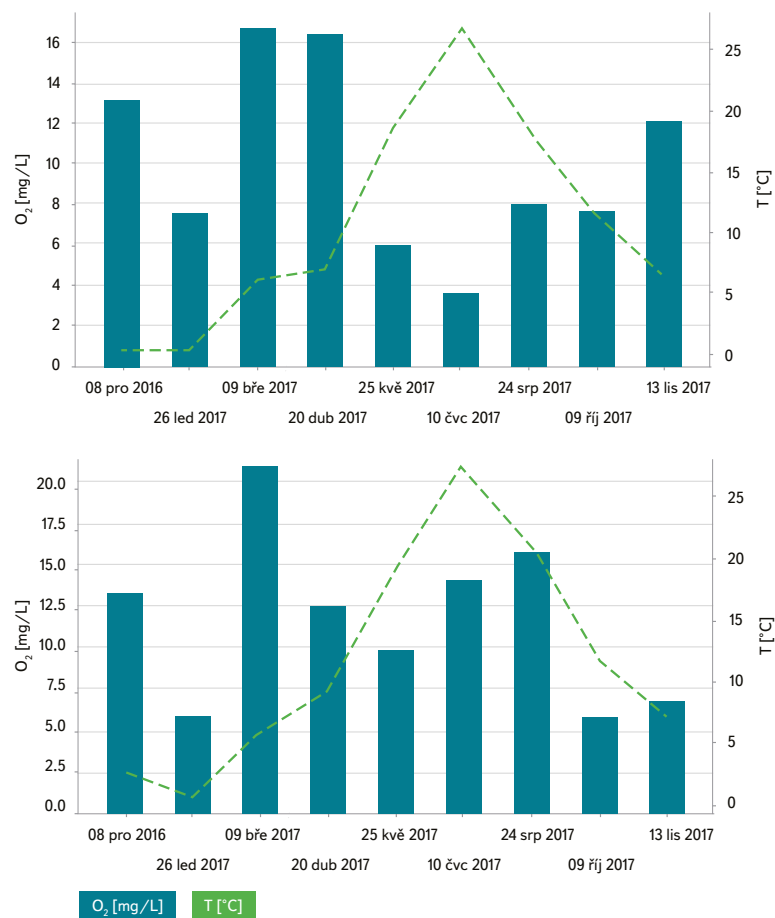
Kvalita povrchové vody

Hodnoty pH povrchové vody v jezeře Vrť i Kozelské tůni představovaly neutrální nebo slabě alkalické prostředí (tabulka 2). Mírné zvýšení pH bylo zjištěno na konci zimy a na začátku jara, což bylo pravděpodobně způsobeno zvýšenou činností fytoplanktonu, při které byl z vody odčerpáván CO_2 .

Zejména v jezeře Vrť byly naměřeny vysoké hodnoty konduktivity během zimních a jarních měsíců, což mohlo korespondovat s vyššími koncentracemi Ca, Cl (obr. 6) a N-NO_3 . Ke zvýšení konduktivity mohly přispět splachy látek z polí a posypu silnic během tání sněhu nebo vápnění jezer. Vyšší koncentrace chloridů a fosforečnanového fosforu můžou také indikovat znečištění odpadními vodami [7]. Hodnoty konduktivity v Kozelské tůni byly nejpodobnější hodnotám naměřeným v jezeře Obříství (tabulka 3).

V Kozelské tůni byl v létě pozorován vyšší obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě (obr. 5), což mohlo být výsledkem vysoké populace fytoplanktonu v jezeře. V jezeře Vrť byl zaznamenán nižší obsah kyslíku od dubna do září 2017, což pravděpodobně korespondovalo s vyššími teplotami vody, kdy je rozpustnost kyslíku nižší a zvyšuje se intenzita rozkladných procesů, kdy je kyslík spotřebováván. Nižší koncentrace kyslíku byly také zaznamenány v období „clear water“ po úpadku fytoplanktonu, který byl doprovázen vysokými koncentracemi fosforečnanového fosforu ve vodě [6]. Podobný trend koncentrací kyslíku naměřených v jezeře Vrť byl pozorován také v jezeře Němčice (tabulka 3).

Kozelská tůň i jezero Vrť vykazovaly vysoké koncentrace N-NH_4 . V obou jezerech byl v březnu, dubnu a srpnu vyčerpán P-PO_4 (obr. 6) kvůli vysoké produktivitě fytoplanktonu. Naopak vysoké koncentrace P-PO_4 byly zaznamenány během období „clear water“, kdy nízký obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě umožnil uvolnění P ze sedimentů po redukcí železa v molekule FePO_4 [8]. Vyšší obsah P byl také naměřen v zimě a na konci vegetačního období, k čemuž mohlo přispět smývání hnojiv z přilehlých polí nebo jiné antropogenní znečištění či dotace z obohacené podzemní vody.



Obr. 5. Koncentrace rozpuštěného O_2 ve vodě v jezeře Vrť (nahore) a v Kozelské tůni (dole)
Fig. 5. Concentrations of O_2 dissolved in water in Vrť lake (above) and Kozelská lake (down)

V obou jezerech byly naměřeny vysoké hodnoty CHSK_{Mn} během vegetačního období při zvýšení biochemických a rozkladných procesů za vyšší teploty.

V rámci klasifikace ČSN 757 221 [9] byla povrchová voda zařazena do kategorie „silně znečištěná“ (IV. třída) v případě parametru BSK_5 v Kozelské tůni (tabulka 1). Do kategorie „znečištěné vody“ (III. třída) byla kvalita povrchové vody zařazena v případě parametrů BSK_5 v jezeře Vrť, CHSK_{Mn} v obou jezerech a u N-NH_4 v jezeře Vrť (tabulka 2).

Kvalita sedimentů

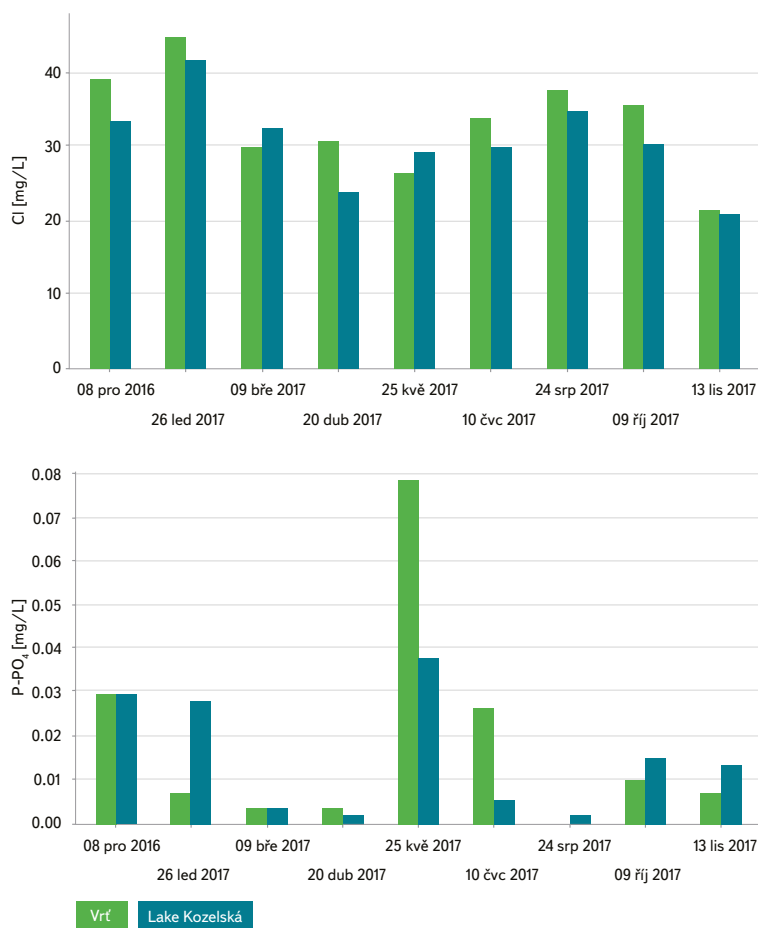
Nižší koncentrace téměř všech měřených prvků byly zaznamenány ve vzorcích z jezera Vrť, která byla od 50. do 90. let oddělena od Labe, a proto zde nedocházelo v takové míře k sedimentaci kontaminovaného materiálu. V tomto úseku Labe se rovněž nenachází významný zdroj znečištění, jako je tomu např. v oblasti Neratovic nebo Pardubic (Synthesia, a. s.). Vyšší obsahy stanovených látek v Kozelské tůni pravděpodobně souvisely s její polohou

Tabulka 2. Naměřené hodnoty parametrů povrchové vody (určení charakteristické hodnoty, k jejímuž nepřekročení dojde s 90% pravděpodobností a následně zařazení do tříd kvality vody bylo provedeno podle ČSN 75 7221 – Jakost vod)

Table 2. Concentrations of measured parameters in water (characteristic value was calculated with 90% probability; classification to quality classes was made according to the Czech National Standard – Classification of Surface Water Quality (757221))

Parametr	Lokalita		Lokalita		Lokalita	
	jezero Vrt'	Kozelská tůň	jezero Vrt'	Kozelská tůň	jezero Vrt'	Kozelská tůň
	teplota [°C]		pH (terén)		pH (lab.)	
průměr	10,63	11,67	7,27	7,46	7,81	8,06
max.	26,80	27,35	9,11	9,12	8,75	8,78
min.	0,40	0,69	6,59	6,77	7,31	7,41
směr. odch.	8,98	9,00	0,83	0,82	0,54	0,60
char. hod.	21,27	22,50	8,17	8,44	8,43	8,72
třída kvality	–	–	–	–	–	–
	konduktivita (terén) [mS/m]		konduktivita (lab.) [mS/m]		BSK₅ [mg/l]	
průměr	54,57	49,68	52,76	47,30	2,77	5,59
max.	64,50	54,55	64,50	54,55	7,25	12,30
min.	45,30	43,10	39,80	38,85	0,00	1,85
směr. odch.	7,16	4,33	8,45	5,58	3,15	3,61
char. hod.	62,20	54,45	61,97	53,5	6,87	9,81
třída kvality	II	II	II	II	III	IV
	CHSK_{Mn} [mg/l]		N-NH₄ [mg/l]		N-NO₂ [mg/l]	
průměr	9,36	7,27	0,45	0,36	0,007	0,007
max.	12	10,16	1,16	0,62	0,012	0,014
min.	6,08	3,96	0,08	0,17	0,003	0,003
směr. odch.	1,89	1,78	0,37	0,17	0,003	0,004
char. hod.	10,37	9,07	0,85	0,56	0,010	0,012
třída kvality	III	III	III	II	–	–

Parametr	Lokalita		Lokalita		Lokalita	
	jezero Vrt'	Kozelská tůň	jezero Vrt'	Kozelská tůň	jezero Vrt'	Kozelská tůň
	N-NO₃ [mg/l]		P-PO₄ [mg/l]		Cl [mg/l]	
průměr	2,24	2,27	0,018	0,015	33,07	30,58
max.	4,47	5,05	0,078	0,037	44,67	41,48
min.	1,04	0,73	0,000	0,002	21,16	20,81
směr. odch.	1,38	1,42	0,025	0,014	7,07	6,02
char. hod.	3,82	3,80	0,045	0,032	40,35	36,45
třída kvality	II	II	-	-	I	I
	Ca [mg/l]		tvrdost [mmol/l]		Fe [mg/l]	
průměr	81,54	70,23	2,60	2,23	0,02	0,01
max.	106,21	84,17	5,70	2,58	0,02	0,03
min.	64,13	53,84	1,49	1,78	0,01	0,00
směr. odch.	14,91	10,21	1,24	0,30	0,00	0,01
char. hod.	97,38	79,83	3,76	2,53	0,02	0,02
třída kvality	I	I	-	-	I	I
	Mn [mg/l]		alkalita [mmol/l]		O₂ [mg/l]	
průměr	0,02	0,02	3,28	2,96	10,13	11,68
max.	0,06	0,04	4,10	3,50	16,71	20,98
min.	0,01	0,01	2,26	2,48	3,58	5,74
směr. odch.	0,02	0,01	0,60	0,37	4,67	5,11
char. hod.	0,04	0,03	3,87	3,41	15,44	16,98
třída kvality	I	I	-	-	I	I



Obr. 6. Koncentrace Cl (nahore) a P-PO₄ (dole) v jezeře Vrť a Kozelské tůni
Fig. 6. Concentrations of Cl (above) and P-PO₄ (down) in Vrť lake and Kozelská lake

v blízkosti Spolany Neratovice, a. s., a jejímu celkovému umístění v nivě a spojení s Labem, kdy za povodní dochází k zalití celé oblasti. V roce 2002 bylo rovněž zaznamenáno vzdutí proti proudu Labe z rozvodněné Vltavy, jejíž soutok neleží daleko [13]. Při takových hydrologických situacích dochází k resuspenci jemné frakce sedimentů, která může obsahovat značné množství škodlivin, a tak se mohla kontaminace rozšířit do širší oblasti nivy.

Tabulka 4 znázorňuje průměrné koncentrace měřených prvků v jádrech sedimentů zkoumaných jezer ve srovnání s výsledky starších výzkumů provedených v dalších ramenech ve Středním Polabí. Barevné rozlišení odpovídá zařazení do kategorie míry znečištění sedimentů pomocí Geoakumulačního indexu, jak definuje [14] za použití pozadových koncentrací stanovených [15].

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5 \cdot B_n} \quad (1)$$

C_n = koncentrace naměřená ve vzorku

B_n = pozadová koncentrace měřeného prvku

Tabulka 3. Srovnání fyzikálně-chemických parametrů povrchové vody s dalšími fluvialními jezery Středního Polabí [1, 3, 10–12] (v mg/l, v případě konduktivity v ms/m; uvedený rok odpovídá době, kdy probíhalo měření v dané lokalitě)

Table 3. Comparison of chemical and physical parameters of surface water with the other oxbow lakes of the middle course of the Elbe River [1, 3, 10–12] (in mg/l, in the case of conductivity in ms/m; year corresponds to the time of measurement in each locality)

Parametr	Kozelská Tůň	jezero Vrť	Němčice	Lžovice
	2016–17	2016–17	2006–07	2016–07
O ₂	11,68	10,13	8,27	9,86
BSK	5,59	2,77	4,50	3,70
CHSK	7,27	9,36	10,11	5,61
N-NO ₃	2,27	2,24	2,10	2,10
N-NH ₄	0,36	0,45	0,18	0,08
P-PO ₄	0,015	0,018	0,540	0,080
konduktivita	49,68	52,76	81,30	46,30
	Obříství	Doleháj	Labiště p. O.	Libiš
	2006–07	2000–01	2000–01	2003–04
O ₂	11,46	11,47	5,48	7,30
BSK	6,30	9,23	17,73	5,80
CHSK	7,98	25,57	20,12	18,10
N-NO ₃	3,10	2,60	0,87	1,50
N-NH ₄	0,11	1,20	0,59	0,40
P-PO ₄	0,070	0,020	0,410	0,110
konduktivita	69,40	49,50	39,50	129,00

Třídy kontaminace včetně limitních hodnot Geoakumulačního indexu uvádí tabulka 5.

Lze konstatovat, že podle použité klasifikace vykazovaly sedimenty ve srovnávaných labských starých ramenech vysokou zátěž stříbrem a kadmíem. Vyšší kontaminace sedimentů byla zjištěna především v lokalitách u významných průmyslových zdrojů znečištění a s intenzivnější komunikací s řekou, což by odpovídalo vyšším obsahům kovů v Kozelské tůni, která se nachází blízko Spolany Neratovice, a. s., a je spojena kanály s Labem a při povodních zde dochází k zalití širší nivy včetně zkoumané lokality.

ZÁVĚR

Kontaminace z bodového znečištění se od roku 1990 významně snížila, ale plošné zdroje znečištění, např. z orné půdy, představují stále problém [16]. Díky tomu vykazují stará ramena často vyšší koncentrace N-NO₃. V Kozelské tůni i v jezeře Vrť byly ve vodě naměřeny rovněž nejvyšší koncentrace N-NH₄ ve srovnání s některými porovnávanými starými rameny Středního Polabí.

Z hlediska zatížení sedimentů lze konstatovat, že většina starých labských ramen vykazovala vyšší zatížení sedimentů stříbrem a kadmíem. V některých jezerech, např. v Kozelské tůni, byl také naměřen vysoký obsah rtuti a olova. V Kozelské tůni byly kromě těchto prvků naměřeny vyšší koncentrace i arsenu a zinku. Podobná míra kontaminace byla zaznamenána i v dalších lokalitách s výjimkou starých ramen Němčice či Doleháj, což by bylo možné vysvětlit

Tabulka 4. Průměrné koncentrace měřených prvků v sedimentárních jádrech z vybraných starých ramen Středního Polabí [1, 10, 11] s barevným rozlišením míry kontaminace podle indexu geoakumulace na základě pozadových hodnot Turekiana a Wedepohla (1961) (uvedený rok odpovídá době, kdy byl proveden odběr sedimentu a jeho analýza)
 Table 4. Mean concentrations of measured elements in sediment cores of selected oxbow lakes of the middle course of the Elbe River [1, 10, 11]; colors correspond to the rate of contamination according to Geoaccumulation Index calculated from background values of Turekian and Wedepohl (1961); year corresponds to the time of sampling and its analyses

Průměrné koncentrace [mg/kg]

Lokalita	Délka jádra [cm]	Ag	Al	As	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Ti	Zn	Hg
jezero Vrt' 2017	59	8	26 517	37	2,4	47	32 816	35	67	452	221	0,4
Kozelská tůň 2017	57	12	24 588	86	6,2	125	47 805	42	166	546	808	3,6
Němčice 2007	67	2,3	-	20	0,8	61	944	31	76	-	478	0,4
Lžovice A 2007	151	11	-	20	4,6	209	890	38	89	-	563	4,0
Lžovice B 2007	103	8,5	-	20	2,2	97	900	33	84	-	557	2,7
Poděbrady 2007	204	2,5	-	37	1,8	85	912	34	96	-	483	1,8
Václavka 2007	67	0,4	-	20	0,2	58	912	30	50	-	310	1,2
Obříství A 2007	163	5,8	-	25	3,1	121	928	43	124	-	594	1,4
Obříství B 2007	187	1,6	-	22	1,6	79	936	29	79	-	629	3,4
Labiště 2002	50	11	-	-	2,9	86	17 860	46	112	-	653	1,3
Doleháj A 2002	30	11	-	-	1,0	37	11 523	36	100	-	206	0,4
Doleháj B 2002	15	2	-	-	0,5	36	20 340	42	96	-	204	0,5
Doleháj C 2002	30	3,3	-	-	1,3	42	23 060	41	108	-	239	0,2
pozadové hodnoty		0,1	80 000	13	0,3	45	47 200	68	20	4 600	95	0,4

Tabulka 5. Třídy kontaminace sedimentů podle I_{geo} [14]
 Table 5. I_{geo} classes of sediment pollution [14]

Hodnota I _{geo}	Třída I _{geo}	Znečištění sedimentů
≤ 0	0	nekontaminovaný
≤ 1	1	nekontaminovaný nebo středně kontaminovaný
≤ 2	2	středně kontaminovaný
≤ 3	3	středně kontaminovaný až silně kontaminovaný
≤ 4	4	silně kontaminovaný
≤ 5	5	silně kontaminovaný až velmi silně kontaminovaný
≥ 5	6	velmi silně kontaminovaný

jejich výrazně omezenou komunikací s řekou, která zamezila ukládání kontaminované suspenze, nebo se jezera nacházela nad průmyslovými zdroji znečištění, jako tomu bylo v případě starého ramene Němčice [1].

Znečištění v Kozelské tůni mohlo být způsobeno transportem kontaminovaného materiálu při povodních z oblasti u Spolany Neratovice, a. s., i přes to, že jezero leží cca 2 km proti proudu od této chemické továrny. Tato hypotéza

je založena na faktech z povodní, kdy byla celá oblast zaplavená. „V průběhu druhé fáze srpnové povodně Vltava způsobila ve značné délce zpětné vzduť hladiny a po určitou dobu dokonce zpětné proudění v trati Labe směrem k Brandýsu nad Labem. Chemický podnik Spolana Neratovice na břehu Labe byl zaplaven právě zpětným vzduťm Vltavy“ [13].

Dalším významným faktorem byla významnost a vzdálenost od průmyslového zdroje znečištění. Takto lze vysvětlit např. nižší míru kontaminace v jezeře u Poděbrad, neboť ačkoliv toto staré rameno komunikuje intenzivně s řekou, kolínský průmysl pravděpodobně nedosahoval takového významu, jak tomu bylo např. v případě Synthesie, a. s., v Pardubicích, nebo Spolany, a. s., v Neratovicích. Kontaminace sedimentů starých ramen pochází ze starého antropogenního znečištění, které může být remobilizováno během povodní. Za takových situací mohou tyto staré zátěže představovat i sekundární zdroj znečištění. Za určitých hydrologických podmínek nebo při průmyslových haváriích se může změnit pH nebo redoxní potenciál, kdy se stabilní formy toxických prvků mohou stát opět rozpustnými a kontaminovat tak vodní prostředí. Tyto formy jsou snadněji využívány živými organismy a mohou se tak dostat do potravního řetězce. Při povodni mohou tyto toxické látky kontaminovat i přilehlé zemědělské oblasti. Jak je tedy evidentní, rizikovost kontaminovaných sedimentů je velmi značná, a proto je třeba se tímto výzkumem především v hustě obydlené a zemědělsky využívané oblasti labské nivy detailně zabývat.

Původní příspěvek byl publikován ve sborníku Rybníky 2018, ISBN 978-80-01-06452-8.

Literatura

- [1] CHALUPOVÁ, D. *Chemismus vody a sedimentů fluvialních jezer Labe*. Praha: PfF UK, 2011. Disertační práce.
- [2] JANSKÝ, B. *Nové trendy geografického výzkumu jezer v Česku*. Geografie – Sborník ČGS, 2005, s. 129–140.
- [3] HAVLÍKOVÁ, P. *Srovnávací studie fluvialních jezer středního Polabí horní Lužnice a horní Svatky*. 2011. Praha: PfF UK, 2011. Disertační práce. [online]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzy/detail/84568>.
- [4] Laboratoř geoinformatiky [online]. Historické mapování Čech, Moravy a Slezska online zpřístupněné laboratoří geoinformatiky Univerzity J. E. Purkyně. Dostupné z: <http://oldmaps.geolab.cz/>
- [5] [Mapy.cz](http://mapy.cz/) [online]. [Mapy.cz](http://mapy.cz/) [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>
- [6] LELLÁK, J. *Hydrobiologie*. Praha: Karolinum, 1991, 257 str.
- [7] PITTEK, P. *Hydrochemie*. Praha: VŠCHT, 2015, 792 str.
- [8] WETZEL, R. *Limnology*. 2nd ed. Fort Worth: Saunders, 1983. ISBN 0-03-057913-9.
- [9] ČSN 75 7221 Jakost vod. Klasifikace jakosti povrchových vod. Praha: Vydavatelství norem, 1990. Dostupné z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [10] CHALUPOVÁ, D. *Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů ve starém labském rameni Doleháj u Kolína*.
- [11] KLOUČEK, O. *Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v Labišti pod Opočínkem*. Diplomová práce. 2003. Praha: PfF UK, 86 str.
- [12] TUREK, M. *Komplexní limnologická studie odstaveného starého ramene Libišská tůň v PR Černínovsko*. Diplomová práce. Praha: PfF UK, 2004, 82 str.
- [13] HLADNÝ, J. a kol. *Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002*. Praha: MŽP, 2005, 68 str.
- [14] MÜLLER, G. *Schwermetalle in den sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971 Umschau* 24. 1979, s. 778–783.
- [15] TUREKIAN, K. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Bull. Geol. Soc. Am.* 72, 1961. p. 175–192.
- [16] LANGHAMMER, J. Water quality changes in the Elbe River Basin, Czech Republic, in the context of the post-socialist economic transition. *GeoJournal*, Springer. 2009. DOI: 10.1007/s10708-009-9292-7.

Autoři

Mgr. Lucie Beranová

✉ lucie.beranova@natur.cuni.cz

RNDr. Dagmar Chalupová, Ph.D.

✉ dagmar.chalupova@natur.cuni.cz

Univerzita Karlova v Praze, Katedra Fyzické geografie a geoekologie

Příspěvek prošel lektorským řízením.

WATER QUALITY AND THE ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC POLLUTION OF THE ELBE RIVER OXBOW LAKE SEDIMENTS

BERANOVA, L.; CHALUPOVA, D.

Charles University in Prague, Department of Physical Geography and Geoecology

Keywords: water quality — lake sediments — Elbe River — oxbow lakes — heavy metals — industrial contamination

In this article, water quality and the assessment of anthropogenic pollution in sediments of the middle course of the Elbe River oxbow lakes Kozelská and Vrt' were studied. It is widely accepted that the oxbow lakes are extremely significant ecosystems. However, a large amount of contaminated material may deposit in these lakes. The research of lake Kozelská was chosen especially to its proximity to the chemical factory Spolana in Neratovice, which used to be the biggest source of pollution of the Elbe River. The research included regular observations of hydrological regime and monthly analyses of chemical and physical parameters of water in the period from December 2016 to November 2017. The next part of this research included grain analysis and determination of metal and arsenic concentrations in sediment fraction of 20 µm using Aqua Regia leaching. Concerning water quality assessment, lake Kozelská and Vrt' contained the highest concentration of N-NH₄ among the compared oxbow lakes in the middle course of the Elbe River. From the point of view of sediment contamination, the highest concentrations of measured elements were determined mainly in lake Kozelská, which confirmed the hypothesis of the spread of industrial contamination from nearby sources of pollution (Spolana, a.s., in Neratovice) probably also upstream during floods, as indicated by the hydrological analysis of the flood in 2002. On the contrary, the sediments of lake Vrt' lake were less contaminated probably due to absence of major source of pollution.