

DAGMAR CHALUPOVÁ, BOHUMÍR JANSKÝ

## FLUVIÁLNÍ JEZERA STŘEDNÍHO POLABÍ – POROVNÁNÍ KVALITY VODY A OBSAHU TĚŽKÝCH KOVŮ V SEDIMENTECH

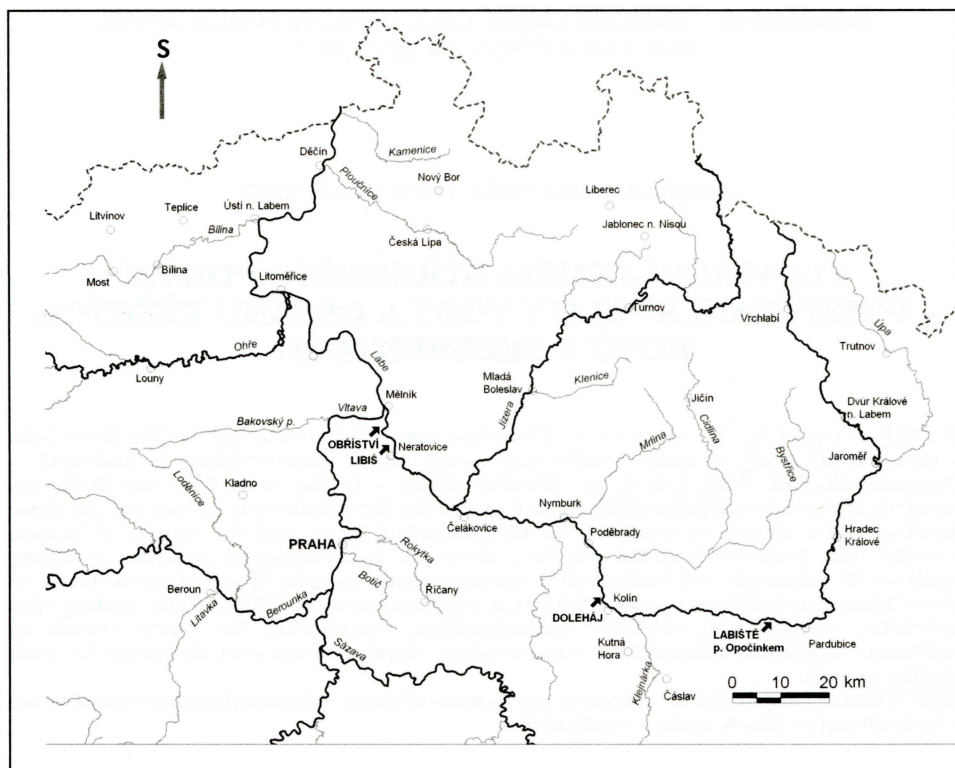
D. Chalupová, B. Janský: *The oxbow lakes of the central part of the River Labe – comparative study of water quality and heavy metals concentrations in sediment.* – Geografie–Sborník ČGS, 110, 3, pp. 229–242 (2005). – In the years 2000 and 2002, the research of three fluvial lakes of the central part of the River Labe was carried out. All three localities were chosen to evaluate the environmental state and the impact of human activity. The research included physical, chemical, hydrobiological analyses of water, analyses of sediments and bathymetric measurements. In spite of the identical origin of these lakes, major differences were found e.g. oxygen saturation, BOD<sub>5</sub>, water loading with nutrients, calcium and chlorides concentrations. Considering the heavy metals in sediments significant differences in concentration – depth relation were determined at each locality as well.

KEY WORDS – oxbow lakes – physical parameters of water – chemical parameters of water – hydrobiology – heavy metals – sediment.

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264) a výzkumnému záměru MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

### 1. Úvod

Výzkum jezer patří již po dobu téměř sta let k jednomu ze základních badatelských směrů na geografických pracovištích Univerzity Karlovy (Janský, Šobr a kol. 2003). Po podrobných pracích prováděných na šumavských jezerech, tatranských plesech aj., se na počátku 60. let pozornost zaměřila též na stará labská ramena. První studie zkoumající tyto doposud málo probádané složky přírody byly hydrobiologického zaměření (Hrbáček, Novotná 1965). Komplexním výzkumem starých labských meandrů, který zahrnoval kromě zjištění morfometrických charakteristik jezer, sledování hydrologických režimů, posouzení kvality vody, jak z hlediska fyzikálního, chemického, ale i hydrobiologického, tak i odběr a podrobné studium sedimentů, se ve svých pracích zabývali Klouček (2002), Šnajdr (2002), Chalupová (2003) a Turek (2004). Jednotlivé lokality byly vybírány v úsecích středního Labe na místech, kde byla očekávala značná zátěž životního prostředí vlivem antropogenní činnosti tj. pod významnými průmyslovými uzly (hradecko-pardubická aglomerace, Kolín, Mělník, Neratovice) a v intenzivně využívané zemědělské krajině (viz obr. 1). Na tento výzkum, který byl zahájen v roce 2000, autoři navázali a pokusili se zde shrnout a zhodnotit získaná data zejména z hlediska fyzikálních, chemických, hydrobiologických parametrů vody a zatížení sedimentů těžkými kovy. Vzhledem k použití stejné metodiky, časově shodnému odebírání a ana-



Obr. 1 – Lokalizace zkoumaných fluviálních jezer ve středním Polabí

lýzám vzorků bylo možné získané výsledky porovnat a posoudit míru antropogenního ovlivnění jednotlivých lokalit.

## 2. Výběr lokalit a jejich geneze

První ze studovaných fluviálních jezer – Labiště pod Opočínkem (Klouček 2002) – se nachází zhruba 11 kilometrů západně od Pardubic. Stejně jako v obou dalších případech vzniklo při regulaci řeky a leží jí nejbližší. Oddělení je datováno do roku 1913 (Parcelní protokol obcí Opočíněk a Živanice). V současné době jezero komunikuje s tokem jen za vyšších vodních stavů propustkem. V roce 1982 byla lokalita zařazena mezi maloplošná zvláště chráněná území, rameno je využíváno ke sportovnímu rybolovu pod správou MO ČRS Přelouč. Původ znečištění lokality je možno hledat v intenzivní zemědělské činnosti v bezprostřední blízkosti jezera (Agri Lánsko, dříve JZD Svítkov) a zejména v průmyslových podnicích hradecko-pardubické aglomerace (Syntesia Semtín, Foma Hradec Králové, odkaliště Opatovické elektrárny, Paramo; Klouček 2002).

Slepé rameno Doleháň leží na levém břehu Labe přibližně 3 km severozápadně od Kolína (Chalupová 2003). K napřímení toku řeky zde došlo již v letech 1854–1855. Jezero leží dnes již ve značné vzdálenosti od současného koryta řeky, povrchová komunikace je uskutečňována pouze několik set metrů dlouhým přírodním kanálem o velmi nízké vydatnosti. Slepé rameno je stejně jako výše uvedené Labiště pod Opočínkem využíváno k sportovním rybář-

ským účelům (Rybářský svaz Nová Ves). Kvalita vody a sedimentů v jezeře je jistě ovlivněna splachy z blízkých polí (Salima Velim, dříve JZD Velim) a též průmyslovými podniky Kolínska (Lučební závody Kolín, Koramo, Draslavka; Kronus 1998).

Posledním ze srovnávaných starých labských ramen je jezero Obríství (Šnajdr 2002) ležící asi 5 km jižně od Mělníka, 6–7 km nad soutokem s Vltavou. Vzniklo stejně jako Labišť pod Opočínkem při regulačních pracích v roce 1913. V současné době je poměrně aktivně spojeno s Labem, kdy je oddělení jeho spodní části tvořeno pouze betonovou propustí, odkud za běžných vodních stavů vytéká voda zpět do Labe. Stejně jako v předešlých případech je rybářsky využívanou vodní nádrží. Do jezera ústí potok Černavka, v jehož povodí se nachází cukrovar. Další kontaminace může pocházet z Kaučuku Kralupy nad Vltavou, mělnické tepelné elektrárny a zejména ze Spolany Neratovice. Vliv mají jistě i jako v předešlých dvou případech intenzivně využívané zemědělské plochy nedaleko jezera.

### 3. Metodika

#### 3.1. Fyzikální parametry vody

Zjišťování teploty bylo prováděno rtuťovým teploměrem s desetinným tříděním, tento parametr byl sledován jak v povrchové vrstvě vody tak i v celém vodním sloupci v místě maximální hloubky jezera s odečítáním po 0,5 m hloubky. Pro měření konduktivity a pH bylo použito digitálních přístrojů s nastavitelnou teplotou. Průhlednost vody byla zjišťována, stejně jako barva vody, pomocí Secchiho desky při zastíněné hladině. V případě určení barvy vody byla deska spuštěna do poloviční hloubky hranice průhlednosti, kdy byl odstín vodního sloupce nad deskou porovnán s Ule-Forelovou stupnicí.

#### 3.2. Chemické parametry vody

Vzorky vody byly odebírány v maximální vzdálenosti od břehu do PET lahví, v případě stanovení rozpuštěného kyslíku a BSK<sub>5</sub> do speciálních kyslíkových skleněných lahví se zábrusem, do kterých byly ještě na místě přidány srážecí roztoky. Pro stanovení základních chemických složek byly použity titrační a kolorimetrické metody (viz Hofmann a kol. 1965, Horáková a kol. 1986). Chemické analýzy byly prováděny v laboratoři na Ústavu životního prostředí Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

#### 3.3. Hydrobiologická analýza vody

Vzorky byly získány pomocí planktonní sítě s velikostí ok 100 μm, dále se postupovalo podle metodiky Hrbáčka a kol. (1985). Celkový fosfor byl zjištěn podle ČSN EN 1189. Fosfor byl stanoven spektrofotometricky molybdenanem amonným. Pro chlorofyl *a* byla rovněž použita spektrofotometrická metodika podle normy ČSN ISO 10260. Hodnocena byla i velikostní struktura zooplanktonu. Vzorky zvířat byly snímkovány při 15násobném zvětšení tak, aby každá fotografie obsahovala více jak 40 jedinců. Za shodných podmínek bylo vyfotografováno i okulárové měřítko. Snímky byly pak černobíle vytisknuty a následně okulárovým měřítkem změřena velikost studovaných organismů (McCauley 1984 in Aigle 1996). Analýzy byly provedeny v laboratoři katedry parazitologie a hydrobiologie na Přírodovědecké fakultě UK v Praze.

### 3.4. Rozbory sedimentů

Na získání vzorku byla použita novodurová trubice o průměru přibližně 5 cm, sloupec materiálu byl dále podle mocnosti rozdělen na dvě až tři části, které byly pro zjištění závislosti koncentrace těžkého kovu na hloubce (stáří sedimentu) analyzovány zvlášť. Zrnitostní rozbory byly provedeny metodou kombinace hustoměrné (aerometrické) zkoušky a síťového rozboru (Zavoral a kol. 1987) v Laboratořích geologických ústavů na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. Na stanovení obsahu těžkých kovů byla použita zrnitostní frakce 20  $\mu\text{m}$ . Koncentrace stříbra, kadmia, mědi, chromu, železa, manganu, niklu, olova a zinku v nesilikátové frakci byly provedeny metodou FAAS z výluhů směsí kyseliny dusičné a chlorovodíkové (Weiss a kol. 1983 in Hlásenský 1994). Loužení bylo za účelem stanovení těžkých kovů v lehce eluovatelné frakci provedeno kyselinou octovou, pro extrakci kovů vázaných na oxidy železa a manganu hydrazinchloridem. Zjištěné hodnoty těchto dvou typů analýz byly velmi nízké, často až na hranici detekce, proto je zde neuvádíme. Koncentrace rtuti byly stanoveny přímo z pevných vzorků příslušné zrnitostní frakce na přístroji AMA-254. Chemické analýzy sedimentů byly provedeny v laboratořích podniku Poyodí Labe, s. p. v Hradci Králové a ve stopové laboratoři G. B. Marshalla v Ústavu životního prostředí PŘF UK v Praze.

## 4. Výsledky analytických prací

### 4.1. Fyzikální parametry vody

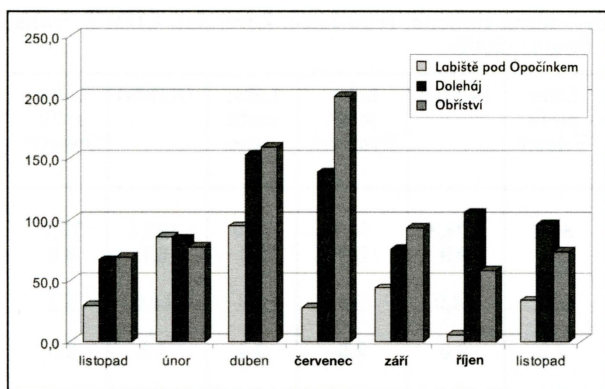
Na všech lokalitách byla během čtyřech ročních období (jaro, léto, podzim, zima) hydrologického roku 2000/2001 provedena měření fyzikálních parametrů vody. Teplota, konduktivita a pH byly zjišťovány i při odběrech vody pro chemickou analýzu. Získaná data byla též porovnávána s údaji z nejbližších lab-  
ských profilů nad a pod zkoumaným slepým ramenem.

Při měření teploty byl potvrzen předpoklad značné rozkolísanosti hodnot z důvodu velmi malé hloubky jezer. Během sledovaného období nebyla ze stejných příčin v žádném slepém rameni zaznamenána teplotní stratifikace.

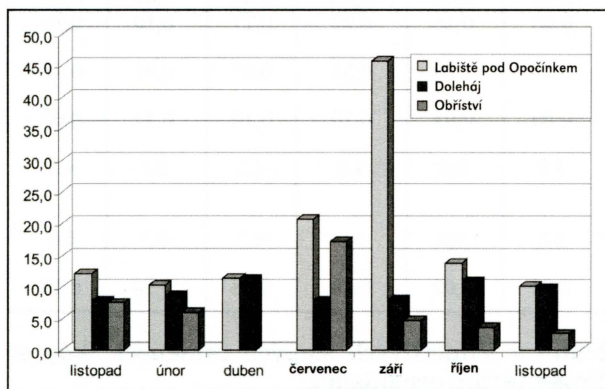
Jak je patrné z tabulky 1, průměrná konduktivita v jezeře Obríství (Šnajdr 2002) dosahovala téměř dvojnásobných hodnot, než tomu bylo na lokalitách Labiště pod Opočínkem a Doleháj. Příčinou této situace může být výše zmíněný přítok Černavka, v jehož povodí v minulosti fungoval cukrovar. V porovnání s údaji z profilů na Labi je patrné, že zatížení anorganickými i organickými

Tab. 1 – Fyzikální parametry vody – slepá ramena, řeka Labe. Zdroj dat: ČHMÚ Praha, Chalupová (2003), Klouček (2002), Šnajdr (2002)

Parametr	Labe: profil Valy	Labiště pod Opočínkem	Labe: profil Veletov	Doleháj	Labe: profil Nymburk	Labe: profil Jiřice	Obríství	Labe: profil Obríství
Teplota (°C)	11,3	8,8	12,0	10,7	11,7		9,0	
Konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	491	395	473	494	525	501	854	523
Průhlednost (cm)		62	37	63				
Barva		žlutohnědá		hnědožlutá			žlutohnědá	
pH	7,61	8,36	7,75	8,95	7,77	7,6	8,47	7,8



Obr. 2 – Nasycení kyslíkem (v %). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.



Obr. 3 – BSK<sub>5</sub> (v mg/l). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.

ionizovatelnými látkami rostlo se vzdáleností od pramene, a to v důsledku přirozeného i antropogenního obohacení vody.

Na všech lokalitách byly zjištěny nízké hodnoty průhlednosti vody odpovídající mezotrofnímu až eutrofnímu charakteru jezer (Lellák, Kubíček 1992). Pokles během vegetačního období souvisel s rozvojem oživení v jezerech, tento fakt byl potvrzen i hodnotami chlorofylu *a*.

Podle Ule-Forelovy stupnice byla stanovena barva vody, která odpovídala typu zkoumaných jezer. Jedním ze základních parametrů vody je též pH. Mírně alkalickými hodnotami se zkoumané lokality nelišily od většiny stojatých povrchových vod (Horne, Goldmann 1994). V porovnání s řekou bylo ve všech případech zaznamenáno vyšší pH, což jistě souvisí s vyšším oživením tůň a intenzivnějšími biologickými pochody (Lellák, Kubíček 1992).

#### 4.2. Chemické parametry vody

Tabulka 2 shrnuje kvalitu vody v jednotlivých slepých ramenech a na nejbližších labských profilech. V hydrologickém roce 2000/2001 byly odběry vody provedeny celkem sedmkrát.

Jisté rozdíly jsme zaznamenali v chodu jednotlivých parametrů během celého sledovaného období. Rostoucí nasycení vody kyslíkem v lokalitách Obříství a Doleháň během vegetačního období bylo pravděpodobně způsobeno zvýšenou aktivitou fotosyntetizujících řas a sinic (Horne, Goldmann 1994). Na podzim se kyslík naopak spotřebovával při rozkladných procesech. Poněkud odlišná situace nastala v slepém rameni Labiště pod Opočinkem, kde vysoký obsah biologicky rozložitelných organických látek mohl způsobit nízké nasycení vody tímto plynem i během letního období (Horne, Goldmann 1994; obr. 2). U všech jezer bylo zaznamenáno značné znečištění organickými látkami (obr. 3). Vyšších hodnot BSK<sub>5</sub> a CHSK<sub>Mn</sub> bylo často dosaženo v dubnu, kdy dochází k prvnímu odumírání velkého množství fytoplanktonu po jarním maximu nebo na podzim, kdy se tato situace opakuje po vegetačním období. Rozdíly v časovém vývoji těchto ukazatelů by bylo možné vysvětlit odlišným

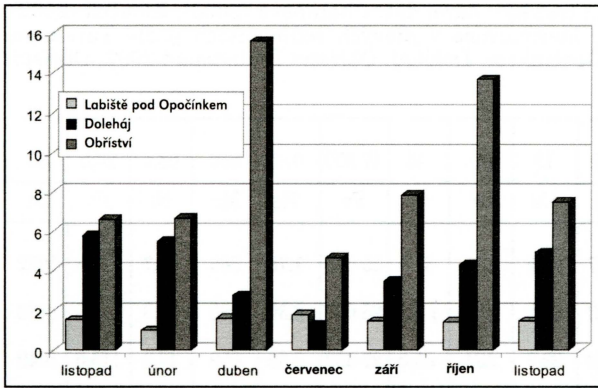
Tab. 2 – Chemické parametry vody – slepá ramena, řeka Labe. Zdroj dat: ČHMÚ Praha, Chalupová (2003), Klouček (2002), Šnajdr (2002)

Parametr	Labe: profil Valy	Labiště pod Opočínkem	Labe: profil Veletov	Doleháj	Labe: profil Nymburk	Labe: profil Jiřice	Obríství	Labe: profil Obríství
Nasycení kyslíkem (%)	76,4	45,5	80,2	104,3	74,7	76,0	105,4	77,7
BSK <sub>5</sub> (mg/l)	3,1	17,7	3,1	9,9	3,5	2,4	6,7	3,0
CHSK <sub>Mn</sub> (mg/l)	5,4	20,1	4,9	24,9	5,3	6,8	14,0	5,1
KNK <sub>4,5</sub> (mmol/l)	2,1	4,1	2,2	2,0	2,5	2,4	4,2	2,3
Tvrdost vody (mmol/l)	2,1	2,3	2,3	2,4	2,6		5,3	
Vápník (mg/l)	71	78	79	62	88	74	150	79
Chloridy (mg/l)	29	17	29	36	32	28	73	30
Železo (mg/l)	0,45	0,09	0,42	0,05	0,33	0,38	0,04	0,38
Mangan (mg/l)	0,06	0,23	0,28	0,16	0,22	0,17	0,10	0,16
Amoniakální dusík (mg/l)	0,61	0,59	0,46	1,20	0,51	0,37	0,51	0,48
Dusitanový dusík (mg/l)	0,09	0,01	0,09	0,01	0,10	0,10	0,11	0,09
Dusičnanový dusík (mg/l)	4,8	0,9	4,9	2,6	4,6	4,3	8,5	4,7
Rozpuštěný anorganický dusík (mg/l)	5,5	1,5	5,4	3,9	5,2	4,7	9,1	5,3
Fosforečnanový fosfor (mg/l)	0,16	0,41	0,20	0,02	0,18	0,18	0,13	0,16

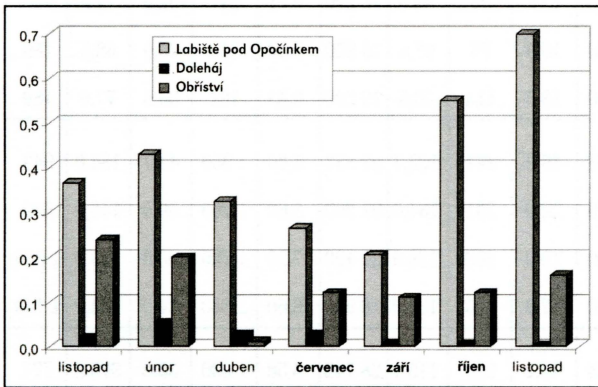
zastoupením planktonních druhů v jednotlivých slepých ramenech, kdy se uplatňují různé ekologické nároky těchto organismů.

Jednotlivé lokality se lišily také z hlediska zatížení slepých ramen nutrieny. Výrazně vyšší koncentrace dusičnanového dusíku byly naměřeny v Obríství (Šnajdr 2002). Naproti tomu nejvyšší průměrná hodnota amoniakální formy tohoto prvku byla zaznamenána v jezeře Doleháj (tab. 2). Opuštěný meandr Labiště pod Opočínkem se naopak vyznačoval mnohonásobně vyššími obsahy fosforečnanového fosforu (Klouček 2002). Tyto výsledky jsou pravděpodobně důsledkem rozdílné antropogenní kontaminace vody na jednotlivých lokalitách (charakter použitého hnojiva na blízkých polích, možnost znečištění splaškovou vodou apod.).

Pro slepá ramena Doleháj a Obríství byl charakteristický pokles koncentrace rozpuštěného anorganického dusíku a fosforečnanového fosforu (v Doleháji až na hranici měřitelnosti, která se již do konce sledovaného období nezvýšila!) během vegetačního období, kdy jsou tyto živiny využity biomasou. Zajímavá situace nastala v jezeře Labiště pod Opočínkem, kde se obsah anorganického dusíku pohyboval po celé sledované období na téměř stejné úrovni (obr. 4). Fosforečnanový fosfor zde dosahoval maximálních hodnot na podzim, kdy jsou pravděpodobně zdrojem, kromě odumřelé organické hmoty, i sedimenty, ze kterých se může tento prvek za redukčních podmínek uvolnit (obr. 5). Z hlediska zastoupení jednotlivých forem dusíku bylo na všech lokalitách pozorováno zvýšení podílu amoniakální formy v létě. Důvodem je pravděpodobně nedostatečně rychlá oxidace na dusičnanový dusík, který biomasa v příjmu preferuje, a intenzivní metabolické rozkladné pro-



Obr. 4 – Rozpuštěný anorganický dusík (v mg/l). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.



Obr. 5 – Fosforečnanový fosfor (v mg/l). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.

cesy probíhající po vegetačním období.

Při porovnání doplňkových ukazatelů vody byl zjištěn výrazně vyšší obsah vápníku a tím i tvrdost vody v jezeře Obríství (tab. 2). Zdrojem je pravděpodobně potok Černavka, neboť v jeho povodí fungoval cukrovar. Podobně byly zjištěny nápadně vyšší koncentrace chloridů v Doleháji, které je možné vzhledem ke zvýšeným koncentracím amoniakální formy dusíku přisoudit fekálnímu znečištění.

Kvalitu vody ve studovaných opuštěných meandrech jsme též porovnali s daty z ČHMÚ z nejbližších labských profilů. Na všech sledovaných lokalitách bylo zjištěno mnohonásobně vyšší zatížení organickými látkami. Zdroje tohoto znečištění jsou pravděpodobně spojeny s činností člověka (lokality jsou rybářsky využívány, v blízkosti leží zemědělsky využívaná

půda), ale mnohé alifatické a aromatické uhlovodíky mohou vznikat v eutrofizovaných vodách biologickými pochody v planktonních a benthických společenstvech, často jsou též produkovány metabolickými pochody bakterií, plísní i rostlin (Pitter 1999). U nutrietů pak byly zaznamenány značné rozdíly. Nižší koncentrace dusičnanů vykazovala voda v tůni Dolehája a Labiště pod Opocínkem, naopak vyšších hodnot než v řece bylo dosaženo v rameni Obríství. Zde byly však naměřeny mnohonásobně vyšší koncentrace fosforečnanového fosforu, který ve zbývajících jezerech nedosahoval hodnot řeky. Tyto rozdílné výsledky souvisejí jistě s odlišným charakterem řeky a stojaté vody, ale jsou způsobeny i rozdílnými antropogenními aktivitami v zájmovém území (např. typ použitého hnojiva, průmysl, staré zátěže).

### 4.3. Hydrobiologická analýza

Z hydrobiologických rozborů provedených třikrát za vegetační období 2001 vyplynula jistá odlišnost v druhovém i početním složení fytoplanktonu a zooplanktonu. Ve slepém rameni Labiště pod Opocínkem dominovala v letních měsících třída *Chlorophyceae*, v meandru Dolehája byla v tuto dobu nejvíce za-

Tab. 3 – Těžké kovy v sedimentech (mg/kg). Zdroj dat: Chalupová (2003), Klouček (2002), Šnajdr (2002). Fonové (přírozené) koncentrace v jílových sedimentech podle Turekiana a Wedepohla (1961). Labiště pod Opočínkem, Doleháj, Obříství I – listopad 2001; Obříství II – září 2002.

	Fonové koncentrace	0,07	0,3	19	90	45	47 200	0,40	850	68,0	20,0	95
	Těžký kov	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Labiště pod Opočínkem	Průměrná hodnota	15,6	3,97	20,5	255	87,0	25 520	1,78	569	44,7	114,3	1022
	Horní vrstva	28,4	5,00	20,5	316	117,0	25 020	2,30	485	45,0	110,0	1483
	Střední vrstva	14,3	4,20	22,7	252	85,0	27 353	2,39	679	47,0	115,0	1049
	Spodní vrstva	4,0	2,70	18,2	198	59,0	24 187	0,64	543	42,0	118,0	533
Doleháj	Průměrná hodnota	13,0	2,25	17,5	94	34,0	16 200	0,41	247	32,5	71,8	168
	Horní vrstva	13,5	3,50	16,5	75	27,5	13 200	0,39	310	30,5	66,5	156
	Spodní vrstva	12,5	1,00	18,5	114	40,5	19 200	0,43	184	34,5	77,0	180
Obříství I	Průměrná hodnota		4,33	19,3	241	132,7	22 833	5,80	1 950	44,7	184,0	943
	Horní vrstva		4,70	22,0	231	134,0	27 200	3,60	1 250	50,0	145,0	650
	Střední vrstva		4,00	19,0	266	125,0	22 400	7,20	1 720	50,0	173,0	1 030
	Spodní vrstva		4,30	17,0	225	139,0	18 900	6,60	2 880	34,0	234,0	1 150
Obříství II	Průměrná hodnota	8,4	6,44	15,2	210	115,1	28 742	3,58	1 030	35,5	375,8	777
	Horní vrstva	13,3	7,50	13,0	300	144,4	30 075	4,53	1 128	42,3	314,1	965
	Střední vrstva	6,6	7,50	16,8	205	120,7	29 858	5,17	1 080	34,0	492,5	958
	Spodní vrstva	5,3	4,33	15,9	125	80,3	26 292	1,05	884	30,1	320,8	409

stoupena třída *Cyanophyceae*, v Obříství největší počet jedinců náležel třídě *Bacillariophyceae*. Druhové složení fytoplanktonu tedy jasně odpovídalo eutrofnímu až hypertrofnímu charakteru jezer, který byl potvrzen i hodnotami celkového fosforu a chlorofylu *a*. Výskyt maximálního počtu jedinců odpovídal minimální průhlednosti vody. Z hlediska zooplanktonu byly nejpočetnějšími skupinami ve všech slepých ramenech *Rotatoria* a *Copepoda*. Na všech lokalitách byla provedena též velikostní analýza zooplanktonu. Zaznamenaná absence velkých jedinců odpovídala vysokému predančnímu tlaku planktonožravých ryb (Lellák, Kubíček 1992).

#### 4.4. Těžké kovy v sedimentech

V povodí Labe se nachází celá řada zdrojů produkujících tyto polutanty. Ve vodním prostředí nejsou eliminovány, vážou se na jemné suspendované částice ve vodě, které v místech s nižší rychlostí proudění sedimentují. Za určitých fyzikálně-chemických podmínek může dojít k opětovné mobilizaci kovů zpět



do vody. Tím se tedy říční sedimenty stávají nejen zásobárnou těchto polutantů, ale mohou být též zdrojem další kontaminace prostředí.

Odběr vzorků sedimentu byl na všech lokalitách proveden současně v listopadu 2001. Vzhledem k povodní v srpnu roku 2002, kdy došlo v oblasti Obrěství k vyběžení Labe, byl zde odebrán sediment ještě v září téhož roku. Vzorky byly nejprve podrobeny hustoměrné zkoušce a síťovému rozboru. Nejjemnější zrnitost měly sedimenty odebrané v jezeře Labišť pod Opočínkem, kde velikostní frakce <63  $\mu\text{m}$  tvořila přibližně 50 %, naopak převahu hrubozrnné frakce měly vzorky z Doleháje. Na všech lokalitách bylo více jemných částic zjištěno v hlubších vrstvách.

Jak naznačuje tabulka 3, nejnižší koncentrace všech stanovovaných těžkých kovů vykazovaly vzorky odebrané v slepém rameni Doleháje. Tato situace mohla být následkem brzkého oddělení meandru od Labe (o 50 let dříve než slepá ramena Labišť pod Opočínkem a Obrěství) a jeho poměrně velké vzdálenosti od koryta řeky, kdy jemné částice vázající těžké kovy sedimentovaly dříve, než voda do jezera přírodním kanálem přitekla. V úvahu je také třeba brát fakt, že kolínský průmyslový uzel nedosahuje takové významnosti, jako je tomu v obou zbývajících případech.

Nejvyšší koncentrace Ag, Co, Cr, Fe a Zn byly naměřeny v slepém rameni Labišť pod Opočínkem. Zdrojem těchto vyšších obsahů těžkých kovů mohou být průmyslové podniky hradecko-pardubické aglomerace např. Synthesia Semtín, Foma Hradec Králové, popř. odpadní vody z odkaliště Opatovické elektrárny. V případě kadmia, mědi, rtuti, manganu a olova byly zaznamenány nejvyšší koncentrace v slepém rameni Obrěství. Zde je pravděpodobně původem této kontaminace podnik Spolana Neratovice, dále Kaučuk Kralupy nad Vltavou, vliv mohla mít i mělnická tepelná elektrárna.

Závislost koncentrace těžkých kovů na hloubce je na jednotlivých lokalitách značně variabilní (viz tabulka 3). Stejný průběh byl zaznamenán jen u Cd a Pb. Svrchní část sedimentu ve slepém rameni Doleháje byla obohacena jen stříbrem a manganem, ostatní kovy vykazovaly vyšší koncentrace v hlubším, tedy starším horizontu. V Labišti pod Opočínkem byl naopak prokázán v horních vrstvách vyšší obsah většiny těžkých kovů (stříbra, kobaltu, chromu, mědi, železa, rtuti, niklu a zinku). Podobně tomu bylo i ve vzorcích, které byly odebrány ve slepém rameni Obrěství. Svrchní vrstva zde byla obohacena především kobaltem, chromem, železem a niklem.

Budeme-li předpokládat, že s rostoucí hloubkou roste i stáří sedimentu, můžeme konstatovat, že ke kontaminaci jednotlivých lokalit došlo tedy pravděpodobně v jinou dobu. Tento fakt by bylo možné vysvětlit odlišným rozvojem průmyslových podniků způsobujících tuto zátěž. Bohužel však nebyla provedena podrobná datace, která by napomohla k identifikaci zdrojů tohoto znečištění.

Jak je uvedeno výše, byly v září roku 2002 odebrány vzorky sedimentu opět v lokalitě Obrěství. Důvodem bylo zhodnocení vlivu povodně z tohoto měsíce, kdy hladina dosahovala o několik metrů vyšší úroveň jak v řece, tak i ve slepém rameni. Tehdy došlo k napojení starého meandru a úplného přelití betonové propusti při ústí do Labe. Získané vzorky obsahovaly v porovnání s výše uvedenými vyšší koncentrace kadmia, železa a olova. Naopak analýzy prokázaly nižší obsah kobaltu, chromu, mědi, rtuti, manganu, niklu a zinku (tab. 3).

Při posuzování vztahu koncentrace a hloubky jsme u všech měřených kovů s jedinou výjimkou, kterou byl kobalt, zjistili vyšší obsah ve svrchních vrstvách sedimentu. Možným vysvětlením by mohla být pomalá sedimentace velmi jemné frakce, na kterou se studované elementy ochotně vážou.

Tab. 4 – Hodnocení znečištění sedimentů

Hodnota $I_{geo}$	Třída $I_{geo}$	Znečištění sedimentu
<0	0	nekontaminovaný
0–1	1	nekontaminovaný až středně kontaminovaný
1–2	2	středně kontaminovaný
2–3	3	středně kontaminovaný až silně kontaminovaný
3–4	4	silně kontaminovaný
4–5	5	silně kontaminovaný až velmi silně kontaminovaný
>5	6	velmi silně kontaminovaný

Tab. 5 – Geoakumulační indexy

Hodnoty $I_{geo}$	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Labiště pod Opočínkem 2001	7,21	3,14	-0,48	0,92	0,37	-1,47	1,57	-1,16	-1,19	1,93	2,84
Doleháj 2001	6,95	2,32	-0,70	-0,52	-0,99	-2,13	-0,55	-2,37	-1,65	1,26	0,24
Obříství 2001		3,27	-0,56	0,83	0,97	-1,63	3,27	0,61	-1,19	2,62	2,73
Obříství 2002	6,32	3,84	-0,90	0,64	0,77	-1,30	2,58	-0,31	-1,52	3,65	2,45

Tab. 6 – Třídy znečištění sedimentů

Třídy $I_{geo}$	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Labiště pod Opočínkem 2001	6	4	0	1	1	0	2	0	0	2	3
Doleháj 2001	6	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1
Obříství 2001		4	0	1	1	0	4	1	0	3	3
Obříství 2002	6	4	0	1	1	0	3	0	0	4	3

Pro posouzení zatížení sedimentů těžkými kovy bylo použito geoakumulačního indexu  $I_{geo}$  (Müller 1979), který vychází z průměrných koncentrací prvků v přirozeném geologickém prostředí. Pro tento případ bylo vhodné použít obsahy těžkých kovů uváděné Turekianem a Wedepohlem (1961) pro průměrné jílové sedimenty (tab. 3). Hodnota  $I_{geo}$  se počítá podle vztahu:

$$I_{geo} = \log_2 (Cn / (1,5 \times Bn)),$$

kde  $Cn$  je změřená koncentrace studovaného kovu,  $Bn$  je jeho požadová (fornová) koncentrace v průměrném jílovém sedimentu a koeficient 1,5 zahrnuje přirozenou variabilitu prostředí. Podle vypočítaných hodnot  $I_{geo}$  je pak určen stupeň kontaminace (tab. 4).

Jak je patrné z tabulky 5 a 6, vykazovaly sedimenty ve slepých ramenech Doleháj a Labiště pod Opočínkem velmi silnou kontaminaci stříbrem. Silná kontaminace kadmiiem byla prokázána opět v případě Labiště a též Obříství, kde bylo zjištěno i silné znečištění v případě rtuti. Situace po povodni se v lokalitě Obříství zhoršila pouze v případě olova, naopak zatížení sedimentů rtutí zde pokleslo. Tyto výsledky poukazují na fakt, že pokud nedošlo k přepracování či vyluhování sedimentu, povodně na řece Labi pravděpodobně neznamenaly významnější zatížení prostředí těžkými kovy.

## 5. Závěr

Stará poriční ramena jsou velmi významnými ekologickými prvky krajiny. Patří k nesporným důkazům původního průběhu toku řeky, často si ponechala svůj přirozený ráz, a proto jsou útočištěm mnoha chráněných druhů. Ačkoliv mají stejnou genezi, ukázalo podrobné studium jisté odlišnosti v základních fyzikálních, chemických i biologických parametrech vody i v obsahu těžkých kovů v sedimentech. Rozdíly jsou spjaty s antropogenními aktivitami v blízkosti těchto přírodních objektů (pěstováním zemědělských plodin a s tím spojeným hnojením, chovem dobytka, místním průmyslem, přítomností čistíren odpadních vod). Kvalitu životního prostředí však častěji ovlivňují regionální producenti znečištění (významný průmysl, chemické závody, aj.), kteří mají vliv na celé povodí řeky.

Slepým meandrům by do budoucna měla být věnována větší pozornost, neboť představují jakési přírodní archivy, odkud můžeme získat cenné poznatky o starých říčních korytech, ale i mnohé další o vývoji kvality vody v ekosystému, informace o možných zdrojích znečištění a též výši rizik, které představují staré, často kontaminované sedimenty. Nabízí se též možné využití těchto fluviálních jezer v protipovodňové ochraně, například jako řízených poldrů.

### Literatura:

- AIGLE, M. (1996): Size distribution in zooplankton by means of an image analysis system. Diplomová práce. PŘF UK, Praha, 147 s.
- HLÁSENSKÝ, I. (1994): Těžké kovy v recentních sedimentech povrchových toků okresu Kladno. Diplomová práce. PŘF UK, Praha, 104 s.
- HRBÁČEK, J. a kol. (1985): Limnologické metody. SPN, Praha, 208 s.
- HRBÁČEK, J., NOVOTNÁ, M. (1965): Plankton of four backwaters related to their size and fishstock. Rozpravy ČSAV, 73, č. 13, ČSAV, Praha, s. 1-65.
- HOFMANN, P. a kol. (1965): Jednotné metody chemického rozboru vod. SNTL, Praha, 449 s.
- HORÁKOVÁ, M. a kol. (1986): Chemické a fyzikální metody analýzy vod. SNTL, Praha, 475 s.
- HORNE, A. J., GOLDMANN, CH. R. (1994): Limnology. International editions, Mc. Graw Hill, Inc., 576 s.
- CHALUPOVÁ, D. (2003): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů ve starém labském rameni Doleháj u Kolína. Diplomová práce. PŘF UK, Praha, 102 s.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky – současný stav geografického výzkumu. Monografie. PŘF UK, Praha, 216 s.
- KLOUCEK, O. (2002): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v Labišti pod Opočínkem. Diplomová práce. PŘF UK, Praha, 86 s.
- KRONUS, J. (1998) 150 let rozvoje kolínského průmyslu. Městský úřad v Kolíně, Kolín, 164 s.
- LELLÁK, J., KUBÍČEK, F. (1992): Hydrobiologie. Karolinum, Praha, 257 s.
- MC CAULEY, E. (1984): The Estimation of the Abundance and Biomass of Zooplankton in Samples. In: Manual for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Water. IBP Hand Book, Chapt. 7, s. 228-265.
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971. Umschau 24, s. 778-783.
- Parcelní protokol obce Opočíněk (rkp.). Katastrální úřad v Pardubicích, 47 s.
- Parcelní protokol obce Živanice (rkp.). Katastrální úřad v Pardubicích, 53 s.
- PITTER, P. (1999): Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 568 s.
- ŠNAJDR, M. (2002): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v mrtvém labském rameni u Obríství. Diplomová práce. PŘF UK, Praha, 86 s.
- TUREK, M. (2004): Komplexní limnologická studie odstaveného labského ramene Libišská tůň v PR Čeminovsko. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 105 s.
- TUREKIAN, K. K., WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am. 72, s. 175-192.

- WEISS, D. a kol. (1983): Metody chemické analýzy nerostných surovin. Svazek 1, Ústř. úst. geol., Praha.
- ZAVORAL, J. a kol. (1987): Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin. Svazek 1, Ústř. úst. geol., Praha, 186 s.

## Summary

### THE OXBOW LAKES OF THE CENTRAL PART OF THE RIVER LABE – COMPARATIVE STUDY OF WATER QUALITY AND HEAVY METALS CONCENTRATIONS IN SEDIMENT

This article deals with the results of an investigation of three oxbow lakes of the central part of the Labe River. The survey was carried out during the years 2000 and 2002 and it was focused on water quality (physical, chemical and hydrobiological analyses), quality of lake sediments (grain texture, content and distribution of heavy metals) as well as bathymetric measurements and hydrological conditions too. All selected oxbow lakes are situated in the vicinity of large towns with well-developed chemical industry and the lowlands along the Labe River are one of the most intensively farmed areas of the Czech Republic. These three localities were chosen to evaluate the state of the environment and the impact of human activity on it.

The first lake Labiště pod Opočínkem is situated a few kilometres to the west of Pardubice. Its separation from the river dates from before 1913. At present the lake communicates with the water stream at high river stages by means of a culvert.

The second lake DoleháJ is located near the town of Kolín, it is the oldest one and the stream of the Labe River had already been rectified during the years 1854 to 1855. At present, its communication is rather limited (very long inlet channel with low yield).

The last selected lake, called Obríství, is located near the town of Mělník, 6 or 7 kilometres before the junction with the River Vltava. It came into existence in the second decade of the 20<sup>th</sup> Century, as did Labiště. It has one tributary – Černavka stream – and it is connected with the river through a concrete penstock from which at normal water stages water flows out of the lake into the River Labe.

Owing to small depth of the lakes, the temperature fluctuated during the year quite a lot and there was not found any thermic stratification. The transparency of water correlated with the development of planktonous organisms as well as with the increase of concentrations of chlorophyll *a*. The mean conductivity in Obríství reached practically double values (854  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). This situation may have been caused by the above-mentioned Černavka tributary, in the basin of which a sugar mill had recently been operating.

Another parameter monitored was pH. Slightly alkaline water was registered in all the localities, which is in accordance with the character of the lakes.

The saturation of water with oxygen correlated with higher photosynthetic activity during the vegetation period (more than 100 %) and biomass decomposition in autumn in DoleháJ and Obríství. Rather different situation occurred in Labiště pod Opočínkem, where the high content of biologically degradable substances (mean  $\text{BOD}_5 = 17, 73 \text{ mg/l}$ ; mean  $\text{COD}_{\text{Mn}} = 20, 12 \text{ mg/l}$ ) may have caused the low saturation of water with this gas even during the summer season. However, higher amount of organic pollution was determined in DoleháJ too. Higher values of  $\text{BOD}_5$  and  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  were achieved in April, when the first mortification of large amounts of phytoplankton occurs after the maximum effect in the spring or in autumn, when this situation is repeated after vegetation periods.

From the point of view of the loading of the oxbow lakes with nutrients, certain differences were registered between the localities. Significantly higher concentrations of nitrate nitrogen were detected in Obríství (mean value = 8, 5  $\text{mg/l}$ ). On the other hand, the highest mean value of the ammoniacal form of this element was registered in DoleháJ (mean value = 1, 20  $\text{mg/l}$ ). The deserted oxbow Labiště pod Opočínkem was, in contrast, characterized by a content of phosphatic phosphorus that was several times higher (mean value = 0,41  $\text{mg/l}$ ). These results were probably caused by different types of water contamination resulting from human activity in the different localities (the character of fertilizers used in fields nearby, pollution with sewage, etc.). The oxbow lakes DoleháJ and Obríství were characterized by a drop in dissolved inorganic nitrogen and phosphatic phosphorus concentrations during the vegetation season, when these nutrients are exploited by biomass. An interesting situation occurred in Labiště pod Opočínkem, where

the inorganic nitrogen content remained practically on a constant level during the entire monitoring period. Phosphatic phosphorus achieved its peak values in autumn, when the sources are probably, excepting dead organic substances, also sediments from which this element can be released under reduction conditions.

Comparing complementary water indices, we detected a significantly higher calcium content (mean value = 150 mg/l) and, consequently, water hardness, in Obrřství. The source can probably be found in the Černavka stream, as in its water basin a sugar mill was being run. Likewise, markedly higher chloride concentrations were detected in Doleháj, which can be attributed, considering the increased concentrations of ammonia forms of nitrogen, to faecal pollution.

Water quality in the surveyed lakes was also compared with data provided by ČHMÚ from the nearest profiles of the River Labe. Diversified results definitely relate to the different character of the river and dead water, but are also caused by various human activities in the catchment area (e.g. the sort of fertiliser used, industry, former stress).

Considering hydrobiological analyses, there were found certain differences among the lakes. In Labiřtě pod Opočinkem the class *Chlorophyceae* dominated in the summer months, in Doleháj the class *Cyanophyceae* was the main presence, and in Obrřství the majority of individuals belonged to the class *Bacillariophyceae*. As for the species of phytoplankton, the composition clearly corresponded with the eutrophic or hypertrophic character of the lakes. Considering zooplankton, the most numerous groups in all the dead channels were *Rotatoria* and *Copepoda*. At all localities an analysis of zooplankton sizing was also performed. The registered absence of large specimens corresponded with the high predation stress of planktonophagous fish.

The grain texture and the content of Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn were determined in samples of sediment taken in November 2001 from each lake. The lowest concentrations of all measured elements were determined in Doleháj. This situation may have resulted from its early separation from the main stream of the River Labe (50 years earlier than the oxbow lakes Labiřtě pod Opočinkem and Obrřství) and its relatively long distance from the river stream. The fact that industry in the Kolín industrial area is not as important as in the two remaining zones should be taken into consideration too. The highest concentrations of Ag, Co, Cr, Fe and Zn were measured in Labiřtě pod Opočinkem. The source of these high contents of heavy metals may be industrial plants in the Hradec – Pardubice agglomeration, e.g. Synthesia Semtín, Foma Hradec Králové, or waste water from the Opatovice Power Plant sludge lagoon. Concerning cadmium, copper, mercury, manganese, and lead, the highest concentrations were registered in Obrřství. The probable source of this high concentration is the Spolana Neratovice plant, and furthermore Kaučuk Kralupy nad Vltavou; some impact could also come from the Mělník Power Plant.

Considering the dependence of the concentration of heavy metals on depth, we detected that the conditions in the individual localities differ from place to place. The same dependence was detected only for Cd and Pb. The upper layer of the sediment in Doleháj was rich only in silver and manganese; in Labiřtě pod Opočinkem a high content of most heavy metals was, on the other hand, found in the upper layers: silver, cobalt, chromium, copper, iron, mercury, nickel, and zinc. It was similar in samples taken in Obrřství. Here the upper layer was first of all rich in cobalt, chromium, iron, and nickel. Assuming that sediment age increases together with increasing depth, we can surmise that the localities were probably contaminated at different times. This fact could be explained by the diversified development of the industrial plants causing this load. Unfortunately, no detailed dating was done that could contribute to identification of the sources of this pollution.

In September 2002 sediment samples were taken again in the Obrřství locality. The reason was to assess the influence of the flooding in August, when the water level reached a level several metres higher, both in the river and in the oxbow lake, when it was connected with the river again. The samples obtained contained, compared with the above-mentioned ones, higher concentrations of cadmium, iron, and lead. On the contrary, the analyses proved lower contents of cobalt, chromium, copper, mercury, manganese, nickel, and zinc.

Considering the concentration – depth relation for all metals measured, excepting only cobalt, higher contents were detected in upper sediment layers.

For the assessment of loading sediments with heavy metals the geo-accumulative index Igeo was applied. The sediments in Doleháj and Labiřtě pod Opočinkem displayed very high contamination with silver; high contamination with cadmium was also proven in the case of Labiřtě, as well as Obrřství. Here high pollution with mercury was detected as well. The

situation after the flood in the Obříství locality worsened only concerning lead, but the loading of sediments with mercury dropped.

In spite of the identical principle of occurrence and existence of these fluvial lakes, detailed research demonstrated certain differences in water quality and pollution of sediments, this fact will result in future utilization of these lakes.

Fig. 1 – Localization of the selected fluvial lakes in the central part of the River Labe.

Fig. 2 – Oxygen saturation (in %). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

Fig. 3 – COD<sub>5</sub> (mg/l). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

Fig. 4 – Dissolved inorganic nitrogen (mg/l). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

Fig. 5 – Phosphate phosphorus (mg/l). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

*(Pracoviště autorů: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: dada.chalupova@volny.cz, jansky@natur.cuni.cz.)*