

MARTIN TUREK

LIBIŠSKÁ TŮŇ V PŘÍRODNÍ REZERVACI ČERNÍNOVSKO: SOUČASNÝ STAV A ANтропоГЕНNÍ NARUŠENÍ EKOSYSTÉMU FLUVIÁLNÍHO JEZERA Z KOMPLEXNĚ LIMNOLOGICKÉHO POHLEDU

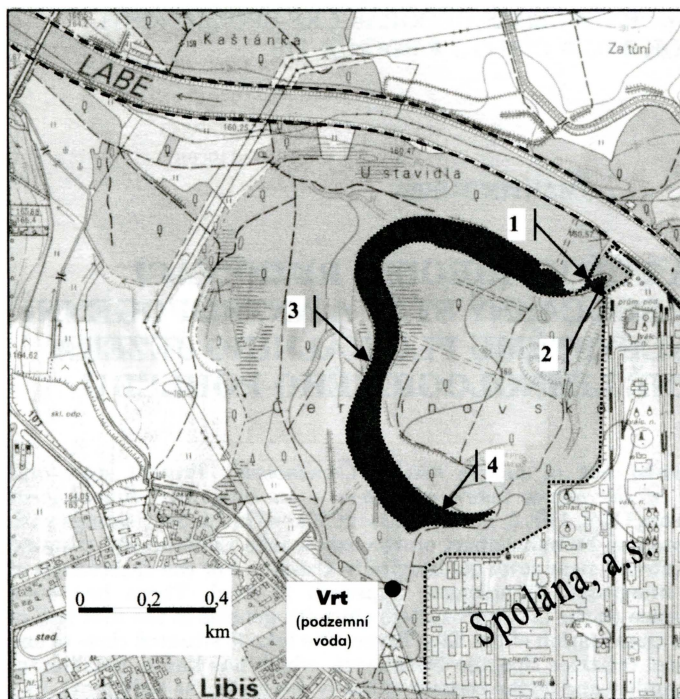
M. Turek: *Lake Libišská tůň in nature reserve Černínovsko: Present state and anthropogenic disturbance of the oxbow lake's ecosystem – an integrated limnological approach.* – Geografie–Sborník ČGS, 110, 3, pp. 243–254 (2005). – This paper deals with the history, the present state and human impact on the oxbow lake Libišská tůň situated in the nature reserve Černínovsko near town Neratovice in Czechia. For the assessment of the lake's ecosystem an integrated limnological approach is used. There has been a considerable human influence on the lake's ecosystem since its genesis in the first half of the 19th century during the canalization of the Elbe River. The lake is situated close to one of the biggest Czech chemical factories Spolana Neratovice, which has had a detrimental impact on the lake's water quality and on the content of heavy metals in the sediments. The fish stock there has a significant impact on the species composition of plankton. A morphometric survey was carried out on the lake and the annual hydrological regime of the lake in view of the river and groundwater has been evaluated.

KEY WORDS: oxbow lake – Libišská tůň – Černínovsko – limnological study – heavy metals – Spolana Neratovice – Elbe River canalization.

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

Úvod a cíle

Antropogenním zásahem do původně meandrujícího koryta Labe vzniklo v první polovině 19. století fluviální jezero Libišská tůň. Jeho výzkum se stal součástí projektu GA ČR „Atlas jezer České republiky“, kde tematicky zapadá do strategie výzkumu fluviálních jezer v Česku (Janský 2005). Libišská tůň se stala čtvrtou studovanou lokalitou (Turek 2004) v oblasti středního Polabí a navázala na práce Šnajdra (2002), Kloučka (2002) a Chalupové (2003). Jezero Libišská tůň se nachází na levém břehu řeky Labe (10 km nad soutokem s Vltavou), 2 km severně od Neratovic, mezi obcí Libiš a korytem Labe. Jezero má typický půdorys ve tvaru podkovy o ploše 9,9 ha. Severní část odstaveného meandru je od současného koryta Labe vzdálena asi 150 m, jižní část asi 800 m. Do Libišské tůně neústí žádný povrchový tok a povrchová komunikace s Labem je vzhledem k značně zazemněnému přivodnímu kanálu a betonové hrázi s dnes již nepohyblivým stavidlem u Labe omezena jen na vysoké vodní stavy v řece. Celý meandr je součástí přírodní rezervace Černínovsko, tvořené na většině jejího území zachovalým refugiem lužního lesa.



Obr. 1 – Poloha jezera Libišská tůň, vrtu (hladina a jakost podzemní vody) a odběrových míst pro rozbory sedimentu (1–4). Podkladová mapa ZMČR (1996).

ské tůně se jeví právě geografický integrující pohled na jezero jako velmi potřebný a vhodný. Lze totiž předpokládat, že vlivem člověka byly podstatně zasaženy všechny hlavní složky jezerního ekosystému.

Hodnocení současného stavu jezera a jeho antropogenní ovlivnění je v článku rozděleno do několika tematických oblastí – hlavních limnologických přístupů.

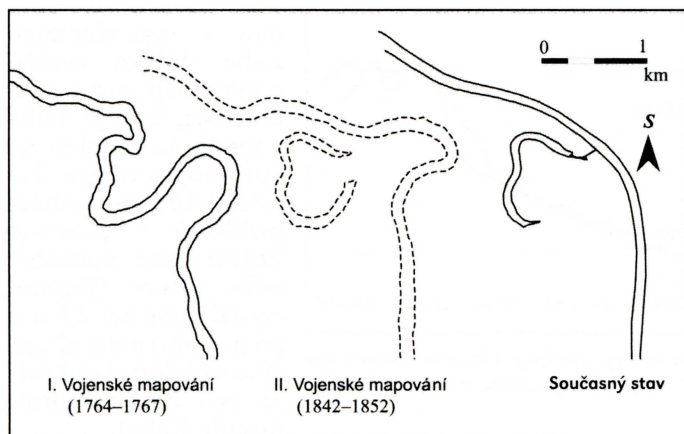
Vznik jezera a morfologický vývoj

Koryta středních a dolních částí toků bývají zpravidla tvořena zákruty, meandry a vedlejšími rameny. Ty pak ve vývoji fluvialního systému dávají vzniknout poříčním jezerům. Tento vývoj nastává přirozeně procesy fluvialní eroze a akumulace. Libišská tůň je však příkladem odstaveného meandru (dále jen „meandr“) – tedy původně aktivní části říčního toku, která byla během umělého napřimování koryta Labe oddělena antropogenním zásahem. V odstaveném meandru tak byly vlivem člověka pozastaveny veškeré procesy vázané na hydrologickou dynamiku toku.

K odstavení meandru došlo během první etapy regulace Labe na Mělnicku, probíhající od počátku 19. stol. až do období okolo roku 1830. Na mapě Stabílního katastru z r. 1842 má Libišská tůň (‘Alte Elbe’) tvar téměř uzavřeného „C“ (vzdálenost mezi oběma konci byla pouhých 80 m) a jezero dosahovalo délky okolo 2 850 m (dnes 1 440 m). Na mapě pocházející z období II. Vojenského mapování (1842–1852; obr. 2) je jižní konec jezera již zkrácen (asi o 300 m) a do počátku 20. století pak ještě opakovaně došlo k zasypaní jižní

Příbřežní zónu Libišské tůně lemuje množství padlých kmenů. Oba konce jezera se nacházejí v bezprostřední blízkosti areálu Spolany Neratovice a. s. (obr. 1). Lokalita byla sledována jeden rok, od května 2003 do dubna 2004.

Cílem článku je popsat a zhodnotit současný stav jezera a jeho antropogenní ovlivnění. Plné integrace chemického, fyzikálního, geologického a biologického přístupu v limnologii je možno dosáhnout až na úrovni ekosystému (Lewis a kol. 1995). Vzhledem k zajímavé a exponované poloze ekosystému Libiš-



Obr. 2 – Vznik a vývoj Libišské tůně

části meandru (asi 700 m, dnes tam z části zasahuje areál neratovické Spolany, a.s.)

V průběhu vývoje jezera až do současnosti došlo k výraznému zazemnění severního konce meandru. A to zejména v důsledku rozsáhlého porostu rákosin, olší a vrb a také vlivem kumulace sedimentů při rozlivu 100 až 150 m vzdáleného toku Labe. Vli-

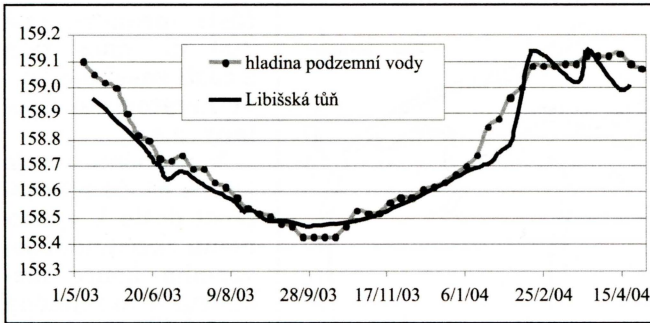
vem zazemňování severní části ramena došlo ke vzniku menší “oddělené tůně”, jež je od Libišské tůně po většinu roku oddělena (obr. 4).

Batymetrická mapa (obr. 6) byla sestavena na základě půdorysných měření totální geodetickou stanicí a batymetrických měření echolotem (podle Janský, Šobr a kol. 2003). I přes stáří jezera je z ní dobře patrný průběh proudnice v době, kdy byla Libišská tůň meandrem hlavního koryta Labe. Příčný profil jezera je na většině míst meandru zřetelně asymetrický. Nejhlubší místa jezera se tak nacházejí u bývalých výsepních břehů, zejména u středního (maximální hloubka 2,6 m) a severního zákrutu. Naopak místa nejmělkčí jsou lokalizována u břehů původně jesepních a na obou koncích jezera, zvláště v oblasti severního konce. Tam dochází k intenzivnějšímu zazemňování vlivem přítomnosti rozsáhlejších porostů makrofyt a menší vzdálenosti od Labe, způsobující ukládání sedimentů během povodňových stavů. Odlišná morfologie dna obou konců jezera souvisí s jeho vývojem, kdy jižní konec byl několikrát zavážen, zatímco severní konec byl od vzniku jezera geomorfologicky utvářen pouze přírodními vlivy.

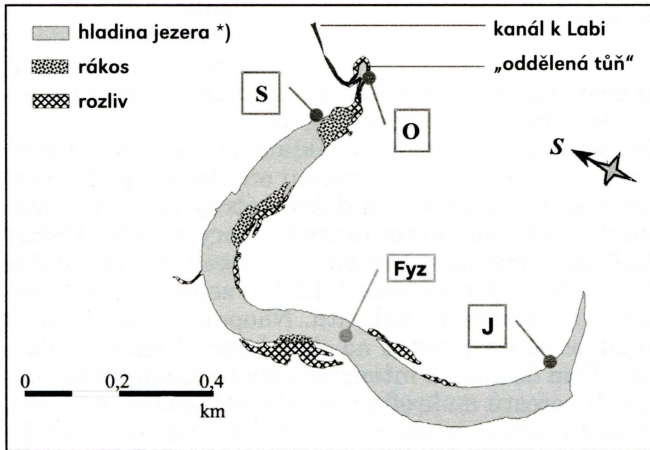
Libišskou tůň lze rozlohou 9,87 ha řadit mezi relativně velká jezera fluvialního původu v rámci Česka. Svou rozlohou leží na dolní hranici (0,1 km²) stanovené pro zařazení do Světové databáze jezer (Lehner, Doll 2004). Malá průměrná hloubka je pro tento genetický typ jezer charakteristická. V tomto případě činí pouze 1,0 m, s čímž souvisí i relativně malý objem jezera 100 854 m³. 44 % celkového objemu se nachází ve vrstvě vody mezi hladinou a hloubkou 0,5 m. 75 % objemu jezera leží nad hloubnicí 1,0 m. Největší plochu (32 % rozlohy jezera) zabírá hloubkový stupeň 1,0–1,5 m. Původ jezera je zjevný i z výrazně protáhlého tvaru – délka odstaveného meandru (1 440 m) je patnáctinásobkem jeho maximální šířky (94 m), přičemž průměrná šířka dosahuje pouze 68 m.

Hydrologický režim jezera

Libišská tůň je již více než 160 let oddělena od toku Labe, kterého bývala součástí. Stala se tak autonomním prvkem, jehož hydrologický režim však nadále zůstává výrazně závislý na dynamice řeky. Před výstavbou jezů Lobkovic a Obříství bývaly odstavený meandr i přilehlý lužní les zaplavovány vo-



Obr. 3 – Vývoj nadmořské výšky hladiny Libišské tůně (osa x v metrech) a podzemní vody. Zdroj stavů podzemní vody: ČHMÚ.



Obr. 4 – Libišská tůň za nejvyššího pozorovaného vodního stavu 159,14 m n. m. *) při výšce hladiny 158,75 m n. m. Odběrová místa pro chemickou analýzu vody a hydrobiologické rozborů (S, J, O), místo fyzikálních měření (Fyz).

hladiny Libišské tůně a podzemní vody ukazuje obrázek 3. Stavů hladiny podzemní vody, poskytnuté ČHMÚ v Praze, byly sledovány ve vrtu nacházejícím se asi 200 m jižně od jezera, při hranici lužního lesa (viz obr. 1). Hladina jezera byla v průběhu sledovaného období výše oproti hladině podzemní vody pouze za extrémních vodních stavů v jezeře (nejnižším i nejvyšším). Přičemž vyšší nadmořská výška hladiny oproti podzemní vodě za nejnižších vodních stavů v roce, je způsobena zřejmě výrazně kratší vzdáleností jezera od Labe (oproti vrtu). Téměř shodný průběh obou křivek dokumentuje zjevnou závislost vodního stavu v Libišské tůňi na hladině podzemní vody po většinu roku. Zřetelná oscilace vodního stavu Libišské tůňi na konci sledovaného období, vzhledem k setrvalému stavu hladiny podzemní vody, poukazuje na převládající přímý (povrchový) vliv řeky na výšku hladiny v jezeře za vysokých vodních stavů v Labi.

Za nejvyšší pozorované výšky hladiny Libišské tůňi (159,14 m n.m.) bylo zaznamenáno rozlití jezera do přilehajících tůňi a ramen nižších řádů (obr. 4).

„Oddělená tůň“, spojující jezero a kanál (dnes již výrazně zazemněný) k Labi (viz obr. 4), je s meandrem propojena souvislou hladinou pouze při vodním

stavu z rozvodněného Labe daleko častěji a výrazněji, než v současnosti, kdy je Labe v tomto úseku plně regulovaným tokem. Libišská tůň se nachází přibližně v polovině vzdutí Labe, způsobeného jezem Obříství (vzdáleným asi 2,5 km po proudu) a dosahujícího až k jezu Lobkoviče (asi 3,5 km proti proudu Labe).

Maximální amplituda vodního stavu v jezeře během sledovaného období činila 66 cm. Vzhledem k tomu, že do jezera neústí žádný vodní tok, je jeho vodní stav ovlivněn pouze výškou hladiny podzemní vody a řekou Labe – její povrchovou komunikací s jezerem, ale zejména však významnou determinací hladiny podzemní vody v labské říční nivě. Povrchový srážkový ron má vzhledem k morfologii příbřežní zóny zanedbatelný vliv. Srovnání vývoje

stavu vyšším než 159,02 m n. m. Toto propojení bylo ve sledovaném období znamenáno od 17. února do 31. března. Obě nádrže tak byly propojeny pouze v jednom souvislém období v roce.

Chemické a fyzikální vlastnosti vody v jezeře

Teplota vody v jezeře, vzhledem k jeho velké ploše a malé průměrné hloubce, se relativně rychle během roku mění v závislosti na okolní teplotě vzduchu a intenzitě slunečního záření. Rozdíly mezi teplotou vody při hladině a u dna, naměřené během roku, byly minimální (0 až 0,9 °C). Vlivem driftového proudění je promícháván celý objem mělkého jezera a nedochází proto k sezónní teplotní stratifikaci, ve smyslu vytvoření epi-, meta- a hypolimnion, běžné u hlubších jezer.

Průhlednost vody dosahovala během roku od 70 do 95 cm, což jsou hodnoty pro mezotrofní a hypertrofní nádrže tohoto typu obvyklé. Významnější vegetační zákal, jenž by výrazněji snížil průhlednost vody, nebyl na lokalitě ve sledovaném období pozorován. Největší průhlednost, 95 cm, vykazovala Libišská tůň překvapivě v červnu, kdy byl ve vodě zjištěn relativně nízký obsah chlorofylu a, poukazující na nižší výskyt fytoplanktonu, než je typické pro toto roční období. Nejnižší průhlednost byla naměřena v listopadu, a to zejména kvůli zvýšenému obsahu zvířeného detritu (pozorovaného ve vzorcích při hydrobiologické analýze). Ve všech měřeních během roku měla voda v jezeře stejné, dle Forel-Uleovy stupnice hnědožluté, zbarvení. To bylo způsobeno kromě rozpuštěných látek i barvou suspendovaného detritu a zbarvením planktonu.

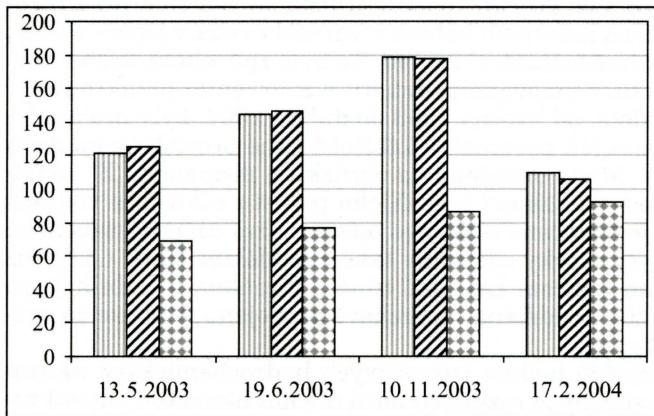
Během sledovaného období, od května 2003 do dubna 2004, byly pro analýzu základních hydrochemických parametrů Libišské tůně provedeny na dvou místech čtyři odběry vody. Místo označené na obrázku 4 písmenem „S“ se nachází v severní části jezera v blízkosti rozsáhlého porostu rákosin a vodních makrofyt. Písmenem „J“ je označeno odběrové místo v jižní části odstaveného meandru. Pro srovnání byly vzorky odebrány také z „oddělené tůně“ („O“), jež leží mezi severovýchodním koncem Libišské tůně a kanálem k Labi a je po většinu roku od Libišské tůně oddělena (povrchově propojena je pouze za vyšších vodních stavů, viz obr. 4).

Jak je patrné z průměrných hodnot jednotlivých hydrochemických ukazatelů (tab. 1), lze hovořit o značných rozdílech mezi dílčími ukazateli jakosti vody. Zatímco naměřené hodnoty obsahu rozpuštěného kyslíku, amoniakálního a dusičnanového dusíku, vápníku či železa odpovídají charakteristickým hodnotám (velmi) čistých vod, BSK₅, konduktivita a zejména hodnota CHSK_{Mn} i koncentrace manganu nabývají hodnot typických pro vody silně až velmi silně znečištěné.

Hodnoty elektrolytické konduktivity v Libišské tůni (obr. 5), z hlediska přírodních vod vysoké (průměrně 139 mS.m⁻¹), svědčí o zvýšeném obsahu iontově rozpuštěných látek (elektrolytů). Z analyzovaných ukazatelů (uvedených v tab. 1) se jedná zejména o zvýšený obsah chloridových aniontů a vápenatých kationtů. Konduktivita je v Libišské tůni ve významné negativní korelaci s vodním stavem v jezeře. Nejvyšších hodnot tak elektrolytická konduktivita nabývala v polovině listopadu, v období nejnižších vodních stavů. Tehdy byla na severním odběrovém místě naměřena maximální hodnota 179 mS.m⁻¹. V naměřených vertikálních profilech byl zřejmý plynulý nárůst hodnot konduktivity od hladiny směrem ke dnu jezera, odpovídající vertikálnímu gradientu vodivosti v mělkých jezerech a tůních, kde je v důsledku relativně velké plochy dna a malého objemu nádrže celý vodní sloupec výrazně ovlivněn procesy v sedimentech (Pithart a kol. 2000).

Tab. 1 – Chemismus vody v Libišké tůni – průměrné hodnoty (odběrová místa „S, J“)

Parametr	Aritmetický průměr	Směrodatná odch.	MAX	MIN
pH	7,83	0,61	8,63	6,75
Konduktivita (mS.m ⁻¹)	138,95	26,66	179,00	105,70
Rozpuštěný kyslík (mg.l ⁻¹)	8,18	3,67	16,38	4,75
Nasycení kyslíkem (%)	71,42	18,16	112,98	55,90
BSK ₅ (mg.l ⁻¹)	9,38	3,94	16,79	5,14
CHSK _{Mn} (mg.l ⁻¹)	18,52	7,41	31,36	12,00
KNK _{4,5} (mmol.l ⁻¹)	5,93	1,11	7,40	4,40
Tvrdost vody (mmol.l ⁻¹)	3,76	0,59	4,75	3,00
Vápník (mg.l ⁻¹)	123,75	20,55	160,32	100,20
Chloridy (mg.l ⁻¹)	260,06	45,36	336,92	214,78
Železo (mg.l ⁻¹)	0,06	0,04	0,10	0,00
Mangan (mg.l ⁻¹)	1,19	0,90	2,58	0,17
Hliník (mg.l ⁻¹)	0,02	0,02	0,04	0,00
Amoniakální dusík (mg.l ⁻¹)	0,24	0,12	0,50	0,12
Dusitanový dusík (mg.l ⁻¹)	0,05	0,03	0,11	0,02
Dusičnanový dusík (mg.l ⁻¹)	1,21	0,86	2,67	0,34
Rozpuštěný anorg.dusík (mg.l ⁻¹)	1,50	0,93	3,07	0,68
Fosforečnanový fosfor (mg.l ⁻¹)	0,11	0,06	0,20	0,03



Obr. 5 – Vývoj konduktivity v Libišké tůni (odběrová místa S – první sloupec, J – druhý sloupec) a její oddělené části, která s jezerem periodicky komunikuje (O – třetí sloupec)

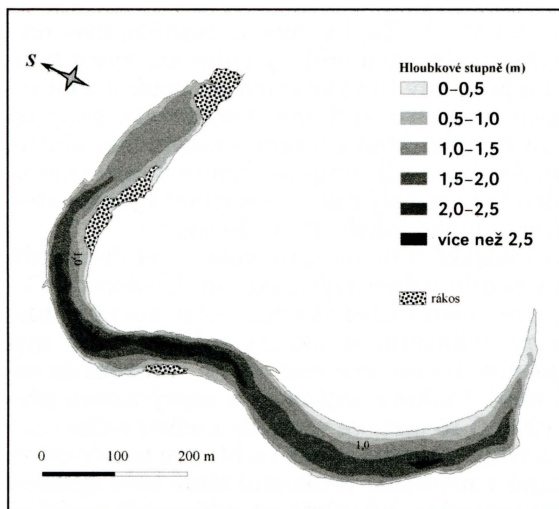
líku pohybovala okolo 0,5 mg.l⁻¹ a nasycenost vody tak byla pouze 5%.

Ukazatele obsahu organických látek (BSK₅ a CHSK_{Mn}) vykazují během roku shodný průběh, přičemž nejvyšších hodnot dosahují v létě, kdy v jezeře dochází k obměnám ve společenstvu planktonních organizmů, a především na podzim. Vysoký obsah biologicky rozložitelných organických látek, způsobený listovým opadem z břehových porostů, zvýšeným úhynem planktonních organizmů, rákosin či submerzních makrofyt (hlavně v případě oddělené tůně) vedl v listopadových měřeních ke zvýšeným hodnotám BSK₅, v meandru přes 15 mg.l⁻¹, v oddělené tůni přes 25 mg.l⁻¹. CHSK_{Mn} tu dosahovala hodnot přes 35 mg.l⁻¹ a v meandru, kde byla koncentrace chemicky rozložitelných organických látek nižší, přes 30 mg.l⁻¹.

Roční vývoj koncentrace chloridů v Libišké tůni je, stejně jako elektrolytická konduktivita, v negativní korelaci s vodním stavem v odstaveném me-

V „oddělené tůni“ je průměrná roční hodnota konduktivity oproti meandru téměř poloviční.

Nasycenost vody kyslíkem se v Libišké tůni během roku pohybovala okolo 60 až 80 %. Vyšší saturaci rozpuštěným kyslíkem limitoval hlavně zvýšený obsah organických látek ve vodě (viz dále). V oddělené tůni (odběrové místo O) se při červnových a listopadových odběrech koncentrace kys-



Obr. 6 – Batymetrická mapa jezera Libišská tůň

V roce 1994 (Holub 2000) však byla koncentrace chloridů v podzemní vodě až desetinasobná oproti současnému stavu.

Hodnoty obsahu anorganického dusíku, jako významného ukazatele obsahu živin ve vodě, jsou v obou odběrových místech Libišské tůně (S a J) velmi podobné. Zcela zjevný byl rozdíl mezi meandrem a oddělenou tůňí, kde byl obsah anorganicky vázaného dusíku až šestkrát vyšší (červnový odběr 6,9 mg.l⁻¹). V jezeře se hodnoty anorganického dusíku pohybovaly okolo 1 mg.l⁻¹. Vyšší hodnoty v únoru byly způsobeny absencí rostlinné biomasy, vážící anorganický dusík. Celoročně výrazně dominoval dusík ve formě dusičnanů, jejichž koncentrace v jezeře byla oproti Labi (dle hodnot ČHMÚ) průměrně třetinová. Nestabilní dusitany se podílely maximálně 5 %.

Fosforečnanového fosforu se po celé sledované období nacházelo v oddělené tůňi zřetelně více než v meandru samotném. Tomu odpovídají i výsledky chemické analýzy sedimentu, kde byly výrazně nejvyšší koncentrace fosforu naměřeny právě v oddělené tůňi. V přírodě jsou rezervoárem tohoto prvku právě dnové sedimenty obsahující jak organicky, tak anorganicky vázaný fosfor (Pitter 1981). V redukčních podmínkách anaerobního prostředí při dně oddělené tůně docházelo pravděpodobně k desorbaci fosforečnanů ze dna.

Celkový obsah nutrientů v Libišské tůňi je celoročně relativně nízký, přestože v mělkých jezerech dochází vlivem interakce vody a sedimentů k dlouhodobému udržování vyšší koncentrace živin ve vodě (Kagalou a kol. 2001).

Hydrobiologické poměry

Během sledovaného období byl na lokalitě proveden i hydrobiologický průzkum. Odebrané vzorky (8x za rok, z odběrových míst vyznačených na obrázku 4) byly podrobeny základnímu rozboru fyto- a zooplanktonu. Ve vzorcích zooplanktonu byla také sledována jeho velikostní struktura během roku, zejména ve vztahu k predačnímu tlaku planktonožravých ryb, vysazovaných do jezera.

Kvalitativní i kvantitativní zastoupení jednotlivých taxonů fytoplanktonu bylo v rámci odběrových míst meandru (S, J na obrázku 4) podobné, význam-

andru. Maximální obsahy chloridů tak byly v jezeře naměřeny v listopadu (okolo 330 mg.l⁻¹, což je desetinasobek průměrné koncentrace v Labi), v oddělené tůňi v únoru – vlivem dočasného propojení „oddělené tůně“ s meandrem. V „oddělené tůňi“ byl ve zbytku roku naměřen obsah chloridů dvakrát až třikrát vyšší než v „oddělené tůňi“.

Zvýšené koncentrace chloridů i jiných anorganických iontů v jezeře mají zřejmě původ v nedaleké Spolaně a. s., kde sloučeniny chlóru, sírany apod. představují hlavní produkční komodity nebo se ve výrobním procesu používají.

ně se však odlišovalo od „oddělené tůně“ (O). Ta, i v době dočasného dvouměsíčního propojení s meandrem, vykazovala zcela odlišný sukcesní vývoj fytoplanktonu během roku. Zejména na jaře, kdy tu významně převládali zástupci skupiny Cryptophyceae, zatímco meandru zřetelně dominovala skupina Chlorophyceae. Pouze v září se ve fytoplanktonu jezera vyskytovaly sinice, slabě zastoupené jediným druhem *Anabaena flos-aquae*. Koncentrace chlorofylu a ve vodě odstaveného meandru byla po celý rok, ve srovnání s jezery stejného genetického typu, až na výjimky nízká (okolo 20 až 30 $\mu\text{g.l}^{-1}$).

Výsledky rozboru zooplanktonu Libišské tůně ukázaly velmi zřetelné rozdíly v sezónním sukcesním vývoji a v podílu jednotlivých skupin (Cladocera, Copepoda a Rotatoria), resp. druhů, a to nejen z hlediska časového, ale i z pohledu odběrových míst. Pro hodnocení velikostní struktury zooplanktonu byli všichni pozorovaní jedinci digitálně nasnímáni, změřeni a poté zařazeni do velikostních tříd (intervalů po 0,15 mm). Celkově nejčastěji a nejvýrazněji převládala nejmenší velikostní třída (0 až 0,15 mm) ve vzorcích z odběrového místa J. Tam dosahoval podíl zmíněné třídy v červnu, únoru a březnu téměř 80 %. Absolutní převaha (93 %) organizmů v nejmenší velikostní třídě byla zjištěna v zářijovém vzorku ze severní části meandru, kde třídě vévodil rod *Polyarthra* převážně díky absenci přirozených predátorů ze skupiny Copepoda.

Zatímco u vzorků z odběrového místa S a J přesahoval počet jedinců v třídě „0 až 0,15 mm“ hranici 50 % u pěti, resp. čtyř odběrů z celkových osmi během roku, ve vzorcích z oddělené tůně (odběrové místo O) dosáhla zmíněná velikostní třída více než 50% podílu pouze v jednom odběru ze sedmi (pouze v březnovém vzorku, kde při velmi nízké druhové diverzitě dominoval druh *Keratella cochlearis*). Narozdíl od meandru tu po většinu roku tvořili významný podíl relativně velcí filtrátoři ze skupiny Cladocera.

Výsledky hodnocení velikostní struktury poukazují na zvýšený predační tlak rybí obsádky na zooplankton (Brooks, Dodson 1965) v Libišské tůni. Přestože je v oddělené tůni četnost větších (delších) jedinců zooplanktonu zjevně vyšší než v odstaveném meandru, je predační tlak na větší druhy zooplanktonu zřetelný i zde. V „oddělené tůni“ zřejmě rybí cenóza chybí (vzhledem k výrazné anoxii v létě a na podzim), v některých vzorcích však byly pozorovány např. larvy rodu *Chaoborus*, lovící některé větší druhy zooplanktonu.

Rozbor sedimentů Libišské tůně

Cílem rozboru sedimentů bylo především zjištění obsahu těžkých kovů a některých dalších prvků. Těžké kovy patří mezi prioritní sledované polutanty ve všech složkách životního prostředí – tedy i v říční krajině a vodních ekosystémech. Jejich podstatnou vlastností je jejich vysoká schopnost adsorbace na plaveniny unášené tokem. Relativně nedaleko od zdroje, zejména v místech zpomalení rychlosti proudění (např. vlivem jezů na Labi) či při poklesu vodních stavů, dochází k ukládání těžkých kovů do sedimentů toku, resp. jezer v jeho inundační zóně (Libišská tůň). V sedimentech se tak těžké kovy dlouhodobě kumulují, zejména v jejich jemnozrnnějších frakcích. Při změně externích podmínek, kdy dochází buď mechanickými vlivy k resuspendaci sedimentu nebo chemickými procesy k uvolňování těžkých kovů ze sedimentu (zejména při změně oxidačně-redukčních podmínek na rozhraní sediment – voda a při poklesu pH), stávají se sedimenty případným zdrojem kontaminace vody.

Na studované lokalitě byly ve spolupráci s Povodím Labe, s. p. odebrány vzorky sedimentu pro zrnitostní analýzu a určení obsahu těžkých kovů. Sedi-

Tab. 2 – Geoakumulační indexy vybraných prvků obsažených v sedimentu Libišské tůně

Vzorek	Ag	As	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
1 spodní *)	1,1	-1,7			-1,2	-0,4	-0,5	-1,3	1,6	-1,3	-1,4	1,7	2,9
1 vrchní *)	1,1	-1,5			-1,0	0,0	1,0	-1,1	2,7	-0,6	-1,1	2,0	2,3
2 spodní *)	-0,1	-1,6	0,8		-1,2	-1,1	-2,2	-1,5	-2,6	-1,8	-1,6	0,0	-0,1
2 vrchní *)	0,1	-1,4	0,8		-1,1	-0,8	-1,6	-1,6	-0,6	-1,8	-1,4	0,6	0,5
3 spodní *)	0,2	-0,9	1,2		-0,9	-0,6	-1,4	-1,1	-2,6	-1,9	-1,0	0,6	0,4
3 vrchní *)	-0,2	-1,5	-0,2		-1,4	-1,0	-2,0	-1,5	-2,6	-1,9	-1,6	0,5	0,0
4 spodní *)	1,4	-1,1	2,5		-0,5	-0,8	-1,8	-1,0	-0,3	-1,8	-1,1	0,7	0,6
4 vrchní *)	0,2	-1,4	1,2		-1,4	-1,1	-1,8	-1,9	-1,6	-2,4	-1,5	0,6	0,1

Vysvětlivky: *) – koncentrace stříbra v sedimentu se nachází pod hranicí stanovitelnosti, přičemž hodnota I_{geo} vypočítaná z hodnoty hranice stanovitelnosti ($1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) se řadí do 3. třídy I_{geo} . Proto není u stříbra hodnota I_{geo} uváděna.

Třída I_{geo} 0 1 2 3

ment byl odebrán ze čtyř míst, jež jsou vyznačena v mapě (obr. 1). Místa 1 a 2 se nacházejí v „oddělené tůni“, která je s meandrem během roku dočasně propojena, a přes kterou přitéká za vysokých vodních stavů voda z Labe do Libišské tůně. Místa 1 a 2 jsou nejbližší korytu Labe a areálu Spolany a. s. Místo 3 leží v prostřední části odstaveného meandru při jeho západním břehu. Místo 4 se nachází na jižním konci jezera, v největší vzdálenosti od koryta Labe.

Mocnost odebraného sedimentu činila na všech čtyřech odběrových místech 55 až 65 cm. Sloupec sedimentu byl rozdělen na třetiny, přičemž k následným analýzám byly z každého odběru použity pouze třetiny vrchní a spodní (dále jen označení např. 1 vrchní a 1 spodní). Koncentrace těžkých kovů (a některých dalších prvků) byly stanoveny ve velikostních frakcích vzorků pod $0,02 \text{ mm}$.

K hodnocení relativního zatížení sedimentů těžkými kovy bylo použito geoakumulačního indexu I_{geo} podle Müllera (1979). Ten vychází z koncentrací prvků v přirozeném geogenním pozadí a počítá se podle vztahu:

$$I_{geo} = \log_2 [B_n(1,5C_n)^{-1}]$$

kde C_n je změřená koncentrace příslušného prvku v sedimentu, B_n je jeho koncentrace v přirozeném pozadí v jílovitých sedimentů, koeficient $1,5$ zahrnuje přirozené variace prostředí. Podle geoakumulačního indexu se pak klasifikuje zatížení sedmi třídami I_{geo} , od sedimentu nekontaminovaného po sediment velmi silně kontaminovaný. Jako koncentrace vybraných prvků v přirozeném pozadí jílovitého sedimentu jsou použity hodnoty definované Turekianem a Wedepohlem (1961).

Ze dvanácti hodnocených těžkých kovů (jejich obsahů v sedimentu) jich na všech čtyřech odběrových místech podle hodnocení geoakumulačního indexu (I_{geo}) šest patřilo do třídy 0 (nekontaminovaný sediment). Největší znečištění sedimentu způsobuje kadmium. A to jak z hlediska prostorového – přítomnost na všech odběrových místech, tak i z pohledu koncentrace kovu v sedimentu. Vrchní vrstva z místa 1 dosahuje 4. třídy I_{geo} , jedná se tedy o silnou kontaminaci. Také spodní vrstvy z odběrových míst 1 a 4 jsou kontaminovány středně až silně – 3. třída I_{geo} (tab. 2).

Středně kontaminovaný arzenem byl sediment v celém vertikálním profilu odběrového místa 1 a ve spodním horizontu místa 4. Kontaminace sedimentu rtuťí byla prokázána pouze v místě 1, zejm. ve vrchní vrstvě (střední až silná). Koncentrace kadmia a rtuťi ve vrchní vrstvě odběrového místa 1 dosáhla devítinásobku limitu stanoveného MŽP (MP MŽP č. 8/1996). Výraznější zatížení olovem a hlavně zinkem vykazuje opět celý hloubkový profil sedimentu v místě 1 (3. třída I_{geo} střední až silná kontaminace). Mírné zatížení mědi bylo prokázáno pouze ve vrchní vrstvě z odběrového místa 1.

Nejzatíženějším odběrovým místem je tak evidentně místo 1 při oddělené tůni, a to jak počtem obsažených těžkých kovů tak i jejich koncentrací. S výjimkou zinku je tu více kontaminována vrchní vrstva. Naopak v dělených vzorcích sedimentu z meandru (místo 3 a 4) a z odběrového místa č. 2 u oddělené tůně byly prokázány vyšší (popř. stejné) hodnoty I_{geo} ve spodní vrstvě u všech hodnocených těžkých kovů. Vzhledem k tomu, že se odběrové místo 1 nachází v ústí propojovacího kanálu od Labe do oddělené tůně, kde je vrstva sedimentu relativně mocná, lze předpokládat, že znečištění horní vrstvy je relativně čerstvé a pochází z Labe či z areálu Spolany a. s., kolem něhož kanál v bezprostřední blízkosti protéká.

Závěr

Současný stav fluviálního jezera Libišská tůň byl hodnocen z pohledu hlavních tematických přístupů limnologie, jež se vzájemně prolínají a ovlivňují. Významně se projevují externí disturbance na jezerní ekosystém Libišské tůně, jenž by měl být přirozeně ovlivňován především interními vlivy (Dent a kol 2002). Silný antropogenní vliv lze pozorovat zejména u chemického znečištění vody a sedimentů jezera, způsobeného polohou jezera v blízkosti chemičky. Také vysazování ryb do Libišské tůně má zásadní dopad na druhovou skladbu společenstva planktonu.

Literatura:

- BROOKS, J. L., DODSON, S. J. (1965): Predation, body size and composition of plankton. *Science*, 150, s. 28-35.
- DENT, C. L. a kol (2002): Multiple states in rivers and lakes. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 357, s. 635-645
- HOLUB, V. (2000): Přírodní rezervace Černínovsko a její ohrožení. *Ochrana přírody*, 55, č. 10, AOPK, Praha. s. 306-308.
- CHALUPOVÁ, D. (2003) Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů ve starém labském rameni u Doleháj u Kolína. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 102 s.
- JANSKÝ, B. (2005) Nové trendy geografického výzkumu jezer v Česku. *Geografie—Sborník ČGS*, 110, č. 3, ČGS, Praha, s. 129-140.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. et al. (2003): Jezera České republiky – současný stav geografického výzkumu. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK. 199 s.
- KAGALOU a kol. (2001): Water chemistry and biology in a shallow lake. *Lake Pamvotis – Greece. Present state and perspectives. Global Nest: the Int. J.*, 3, č. 2, s. 85-94
- KLOUČEK, O. (2002) Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v Labišti pod Opočinkem. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 93 s.
- LEHNER, B., DOLL, P. (2004): Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296, s. 1-22.
- LEWIS, M. W. a kol. (1995): Challenges for Limnology in the United States and Canada: An Assessment of the Discipline in the 1990's *American Society of Limnology and Oceanography Bulletin*, 4, č. 2, s. 1-28.
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971. *Umschau* 24, s. 778-783.

- PITHART, D., PECHAR, L., HRBÁČEK, J. (2000): Fenomén tůň, úvod do morfologie, hydrologie a limnologie. In: Pithart, D. (ed.): Ekologie aluviálních tůň a říčních ramen. Botanický ústav AVČR, Praha, s. 9-12.
- PITTEK, P. (1981): Hydrochemie. VSTL, Praha. 568 s.
- ŠNAJDR, M. (2002) Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v mrtvém labském rameni u Obříství. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 86 s.
- TUREK, M. (2004): Komplexní limnologická studie odstaveného labského ramene Libišská tůň v PR Černínovsko. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzická 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.
- Základní mapa ČR 1 : 10 000. Mapový list 12-22-13(18). Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha 1996.

Summary

LAKE LIBIŠSKÁ TŮŇ IN NATURE RESERVE ČERNÍNOVSKO: PRESENT STATE AND ANTHROPOGENIC DISTURBANCE OF THE OXBOW LAKE'S ECOSYSTEM – AN INTEGRATED LIMNOLOGICAL APPROACH

The fluvial lake Libišska tun situated in the nature reserve Černínovsko sets an example of geomorphological conservation of the former Elbe River meander's part and surrounding refugium of floodplain forest.

Since the lake's genesis (during the Elbe River canalization) in the first half of the 19th century the length of the lake has been significantly shortened many times. The northern part of the lake is heavily silted and this process is still carrying on. This is largely due to the expanse of reeds, which continues to spread. Due to siltation the small pool was divided from the northern part of the lake and is only connected during the high water stages (esp. in the spring). For most of the year however, the pool is divided from the lake and often shows very different values of water quality parameters; heavy metal contamination of sediments and species composition of plankton compared to the lake.

Among the external influences on the lake's ecosystem the anthropogenic impact is very significant. Foremost the chemical production which has taken place during the past 100 years in the Spolana Neratovice factory (situated close to lake Libišska tun) has disrupted the natural state of the lake.

It is highly probable that the higher concentrations of chlorides and other inorganic ions in the lake's water (high values of electrolytic conductivity) originated in the chemical factory Spolana, where the chlorine and sulphur compounds have constituted main production commodities and have been used in production processes. In 1994 (Holub 2000) however, the concentration of chlorides in the groundwater was ten times higher than nowadays. The values of the lake's water quality parameters are very similar to ground water but in comparison with the Elbe River's water the values of some parameters very different. This is one of the reasons, why the lake Libišska tun in particular is not suitable for partial or full reconnection to the Elbe River by reason of revitalisation of silted lake. E. g. higher concentrations of nutrients in rivers water could cause an increase of phytoplankton organisms.

The natural phytoplankton coenoses in the lake Libišska tun is disturbed significantly by the fish stock, which is year-round stocked all. Strong predatory pressure of the planktivorous fishes has eliminated bigger species (particularly taxon Cladocera) from the zooplankton coenosis. Most of the zooplankton organisms are under 0.15 mm in length all year. In the divided pool (as discussed earlier) the size structure of the zooplankton has been significantly more balanced. Excessive usage of the lake shore by anglers has had the negative impact on the lake's shore structure, which has been threaded down and the terrain around the shore has been altered.

The heavy metal contamination of the sediments of Libišska tun has been evaluated by index of geoaccumulation – I_{geo} (Müller, 1979). Cadmium showed the highest values of I_{geo} and it's contamination was presented at all (4) sampling sites. Generally, the area close to the divided pool, canal to the Elbe River and the chemical factory Spolana was the most highly polluted by heavy metals (highest concentration and amount of varying metals). The concentration of cadmium and mercury were found to exceed the limit assigned by the Ministry of Environment of the Czech Republic nine times. Further, this area was also

significantly contaminated by lead and zinc. It is highly probable that the source of the sediment contamination by mercury has been amalgam electrolysis in the Spolana Neratovice and zinc contamination has resulted from the staple rayon production in the Spolana Neratovice.

- Fig. 1 – Location of the fluvial lake Libisska tun, Elbe River, hydrologic borehole "Vrt" (groundwater level and quality) and sampling sites for sediment analyse (1–4).
- Fig. 2 – Genesis and development of the lake Libisska tun. I. Military mapping (1764–1767), II. Military mapping (1842–1852), recent state
- Fig. 3 – Development of the lake water level (dark line) and groundwater level (light line) altitude. Source of groundwater stages: Czech Hydrometeorological Institute.
- Fig. 4 – Debouchment of the lake Libisska tun (hatching raster) during the highest lake's water stage in the year (159,14 m above sea level). *) lake's area (158,75 m above sea level). "S, J, O" – sampling sites for hydrobiology and water quality analyses. "Fyz" – point of physical measurements of the lake water. (dot raster – reed).
- Fig. 5 – El. conductivity development of lake's water (sampling sites "S, J") and divided pool (sampling site "O")
- Fig. 6 – Bathymetric map of the lake Libišská tůň

(Pracoviště autora: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: m.turek@email.cz.)

Do redakce došlo 8. 9. 2005