

LENKA VOLAUFOVÁ, JAKUB LANGHAMMER

SPECIFICKÉ ZNEČIŠTĚNÍ POVRCHOVÝCH VOD A SEDIMENTŮ V POVODÍ KLABAVY

L. Volaufová, J. Langhammer: Specific pollution of surface water and sediments in the Klabava River catchment. – *Geografie–Sborník ČGS*, 111, 2, pp. 152–167 (2006). – The article presents results of a research into surface water and sediments specific pollution in the Klabava River catchment. Our analysis is based on available data on water and floated material chemism gathered by Povodí Vltavy (Vltava Catchment Administration) and on own data obtained from analyses of samples collected in the network of purpose-established profiles. Standard methods, i.e. comparison to background levels of geogenous environment according to Turekian and Wedepohl and classification into quality classes according to Igeo, were used.

KEY WORDS: water duality – specific pollution – sediment – kadmium – floods.

Prezentovaný výzkum byl realizován za finanční podpory grantu GAUK 211/2001 B GEO „Kontaminace vodních toků specifickým znečištěním v povodí Berounky“ a Výzkumného záměru MSM 0021620831: „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“. Poděkování autorů patří kolegům, podílejícím se na terénních odběrech a rozbořech odebraných vzorků, zejména pracovníkům laboratoří Ústavu životního prostředí PřF UK a laboratoří geologických ústavů PřF UK, kde byly realizovány analýzy chemismu vzorků vod a sedimentů.

1. Úvod

Zátěži vod a sedimentů specifickými látkami je v současné době věnována zvýšená pozornost. Díky krátkým časovým řadám měření a omezenému rozsahu odběrných profilů jsou však informace o prostorovém rozložení a dynamice zátěže vodního prostředí těžkými kovy a specifickými organickými látkami stále neúplné. Identifikaci příčinných zdrojů zátěže navíc ztěžuje absence údajů o emisích znečišťujících látek do vodního prostředí (Langhammer 2005, Mohaupt et al. 1998, Thyssen 2000). V oblasti povodí Labe, kde se setkáváme s řadou ohnisek starých i současných zátěží, je proto tato problematika mimořádně aktuální.

Příspěvek představuje výsledky výzkumného projektu, který byl zaměřen na analýzu současného stavu a vývoje zátěže povrchových vod, plavenin a sedimentů v povodí Berounky. (Langhammer, Matoušková 2004) Výzkum byl zaměřen konkrétně na povodí Klabavy, která představuje jeden z hlavních přítoků Berounky, výrazně ovlivňující kvalitu vody v jejím toku. Cílem výzkumu bylo vyhodnotit současný stav, dynamiku a prostorové rozložení zátěže, identifikovat hlavní zdroje příčinné zátěže vody a sedimentů a určit kritické prvky v procesu kontaminace.

Pro komplexní hodnocení zátěže vodního prostředí specifickým znečištěním byla hodnocena současně vodní složka i sediment. Sledování sedimentů se

stále více prosazuje ve vyhodnocování jakosti vod především proto, že je potřeba nahlížet na vodní ekosystém komplexně jako na nedělitelný celek. Znečištění vody vypovídá o aktuálním stavu znečištění toku, zatížení sedimentů naopak umožňuje zachytit dlouhodobý stav jeho znečištění. Se systematickým monitoringem sedimentů se oproti sledování základních hydrochemických a hydrobiologických ukazatelů jakosti vody začalo v Česku až v 90. letech 20. století, proto dostupné časové řady jsou velmi krátké, navíc počet sledovaných profilů je oproti síti monitoringu kvality vody stále omezený.

Analýza v povodí Klabavy proto byla vedle vyhodnocení současného stavu a vývoje zátěže vodního prostředí specifickým znečištěním zaměřena na doplnění informací o prostorovém rozložení znečištění, prostřednictvím vlastní sítě odběrů, což umožnilo identifikovat hlavní zdroje znečištění a jejich vliv na kontaminaci vody a sedimentů.

2. Materiál a metody

2. 1 Použitá metodika a datové podklady

Analýza vychází z dostupných dat o chemismu vody a plavenin ze sledování podniku Povodí Vltavy a z vlastních dat získaných rozboru vzorků odebraných na síti účelově zřízených profilů. Pro laboratorní analýzy i pro následné vyhodnocení byly důsledně používány standardní metody, dané platnými normami a metodami hodnocení, běžně aplikovanými v praxi.

2. 1. 1 Datové podklady

Vyhodnocení kvality povrchových vod a sedimentů je založeno na dvou hlavních datových zdrojích. Prvním představují databáze ČHMÚ a povodí Vltavy zachycující vývoj zátěže toků, druhým zdrojem dat byly vlastní odběry a následné analýzy odebraných vzorků vody a sedimentu ze sítě referenčních odběrných profilů, zřízených pro účely projektu v rámci povodí.

Dostupná data pro různé skupiny ukazatelů pokrývají rozdílné časové úseky. Nejdelší jsou řady sledování základních chemických ukazatelů, kde jsou k dispozici údaje od konce 60. let, pro těžké kovy jsou k dispozici údaje od po-

Tab. 1 – Charakteristika stávajících profilů Povodí Vltavy pro odběr vody a sedimentu v povodí Klabavy

Profil	Číslo profilu	Tok	Říční. km	ČHP	Q_r (m ³ /s)	Q_{d355} (m ³ /s)
Strašice nad	3513	Klabava	36,2	1-11-01-010	0,553	0,067
Strašice pod	3501	Klabava	32,5	1-11-01-012	0,66	0,08
Kamenný Újezd	3502	Klabava	22,3	1-11-01-020		
Rokycany nad	3503	Klabava	20,5	1-11-01-022	1,3	0,16
Rokycany pod	3504	Klabava	17,2	1-11-01-032	1,85	0,21
VD Klabava	3505	Klabava	14,0	1-11-01-036	1,98	0,23
lom Ejovice	3507	Klabava	11,4	1-11-01-036		
Chrást	1091	Klabava	2,8	1-11-01-038	2,16	0,27
Rokycany	3510	Holoubkovský p.	1,0	1-11-01-029	0,42	0,048

Zdroj: Povodí Vltavy s.p.

Zkratky: ČHP – číslo hydrologického pořadí, Q_r – průměrný roční průtok, Q_{d355} – 355 denní průtok.

čátku 90. let, pro specifické organické látky až od konce 90. let 20. století. Výběr hodnocených ukazatelů znečištění ve všech skupinách ukazatelů byl proveden s ohledem na vyhodnocení v rámci celého povodí Berounky (Langhammer, Matoušková 2004).

Statistické vyhodnocení míry znečištění povrchových vod základních hydrochemických parametrů bylo provedeno na základě databáze Podniku Povodí Vltavy, závod Berounka, charakterizující hlavní tok a jeho významné přítoky z období 1965–2000. Pro vyhodnocení zatížení vody těžkými kovy byla k dispozici databáze z období 1990–2000. Pro detailní vyhodnocení zátěže sedimentů těžkými kovy byla k dispozici databáze z období 1997–2000 (v letech 1997–2002 bylo stanovení prováděno ve frakci 25 μm , v roce 2003 ve frakci 20 μm).

Do státní sítě sledování kvality vody ČHMÚ je zařazen výústní profil – Chrást. Podnik povodí Vltavy dále provádí monitoring na dalších 8 profilech na Klabavě a Holoubkovském potoce. V letech 1997–1999 se znečištění sedimentů sledovalo na šesti profilech na Klabavě (Strašice nad, Strašice pod, Kamenný Újezd, Rokycany nad, Rokycany pod a Chrást) a Holoubkovském potoce. Od roku 2002 je znečištění sedimentů sledováno pouze na profilu Rokycany pod, což výrazně limituje informační hodnotu údajů o distribuci znečištění v rámci povodí (tab. 1).

Vlastní odběry povrchových vod a sedimentů byly provedeny ve dvou termínech – v listopadu 2002 a v květnu 2003. Vzorčky sedimentů byly zpracovávány v laboratoři geologických ústavů Přf UK, přičemž se při zpracování postupovalo podle ČSN EN 133 46, za standardních podmínek udávaných výrobcem atomového absorpčního spektrofotometru Varian. Analýzy byly prováděny ve frakci o velikosti částic < 63 μm .

Jako kartografické podklady použité pro GIS analýzu a vizualizaci byly použity vrstvy digitální Základní vodohospodářské mapy (VÚV TGM), databáze CORINE landcover (MŽP ČR) a vrstvy DMÚ-25 (VTOPÚ).

2. 1. 2 Hodnocení kvality povrchových vod

Při hodnocení jakosti povrchových vod byly použity standardní legislativní nástroje, především norma ČSN 757221 Jakost povrchových vod. Získané i naměřené údaje byly na základě standardní metodiky zaříděny do jedné z pěti tříd jakosti povrchových vod.

V rámci jednotlivých modelových povodí bylo provedeno rovněž hodnocení dlouhodobého vývoje a zkoumáno závislostní hodnocení koncentrace dané látky na průtoku a ročním období.

2. 1. 3 Hodnocení zatížení sedimentů

Základem pro správné vyhodnocení kontaminace říčních sedimentů je znalost přírodních tzv. pozadových koncentrací těžkých kovů. Turekian a Wedepohl se zabývali rozšířením prvků v základních jednotkách zemské kůry a stanovili pozadové hodnoty těžkých kovů v prostředí. Stanovili globálně platné průměrné hodnoty pro jílovité materiály, tzv. standard jílovité horniny (Turekian, Wedepohl 1965).

Pozadové hodnoty je nutno brát pouze jako základní ukazatel, který však nezahrnuje rozmanitost jednotlivých geografických regionů. V rámci jednotlivých výzkumných projektů dochází ke zpřesnění pozadových hodnot pro daný typ povodí, např. stanovené pozadové hodnoty těžkých kovů pro povodí Labe (MKOL 1996).

Těžké kovy v sedimentech byly hodnoceny jednak porovnáním s požadovými hodnotami v sedimentech, které uvádí Turekian a Wedepohl (1965) a Prange et al. (1998), jednak pomocí indexu geoakumulace.

Standardní metodou pro vyhodnocení zátěže sedimentů v zemích EU je zařídění do tříd jakosti sedimentů podle výpočtu geoakumulačního indexu Igeo, který udává stupeň zatížení sedimentu těžkými kovy. Výpočet indexu je prováděn pomocí vzorce:

$$I_{geo} = \ln_2 (c_p \cdot (1,5 \cdot B_n)^{-1})$$

kde: c_p ... koncentrace těžkého kovu v sedimentu

B_n ... požadová hodnota jílového materiálu.

Požadové hodnoty pro výpočet geoakumulačního indexu byly použity podle Turekiana a Wedepohla (tab. 2; dále Turekian, Wedepohl 1965).

Koncentrace organických látek byly vyhodnoceny dvěma metodami. Prvním představuje porovnání koncentrací s mezemi detekce a současně posouzení vývoje v horizontu časovém a prostorovém. U druhé metody je snaha znečištění klasifikovat a názorně představit problémové ukazatele. Žádná universálně používaná klasifikace pro vyhodnocení kontaminací sedimentu organickými látkami však neexistuje. Pro vyhodnocení byla proto použita klasifikace využívaná v Projektu Labe. V protikladu k indexu Igeo lze v tomto případě hovořit o hodnocení vztaženému k účinku (MKOL 1996).

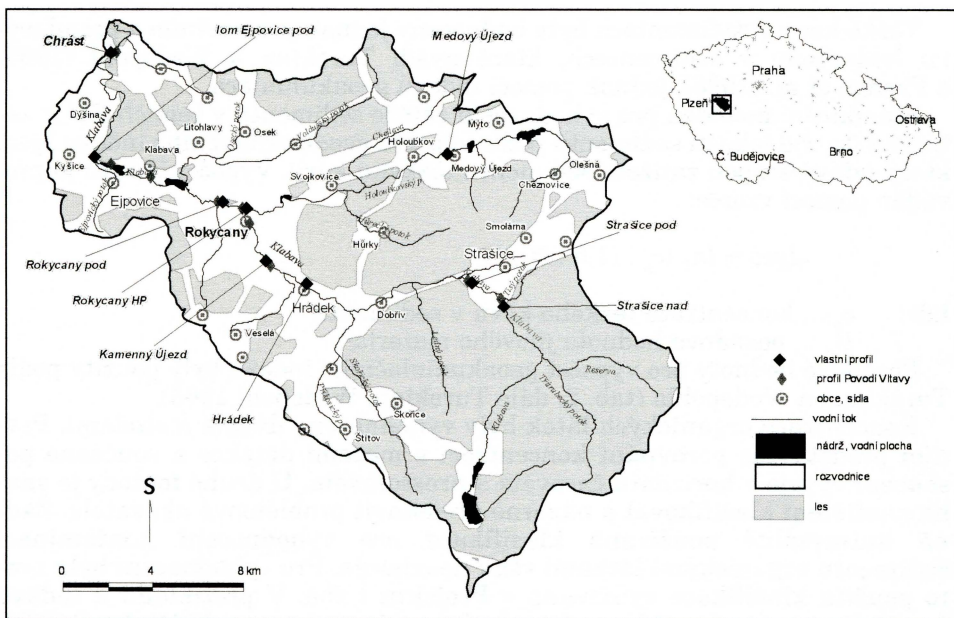
2. 2 Charakteristika zájmového povodí

Povodí Klabavy, prvního pravostranného přítoku Berounky pod Plzní, má různorodý charakter přírodních poměrů i využití území. Celková plocha povodí je 358,79 km², délka hlavního toku činí 49 km, dlouhodobý průměrný průtok u ústí dosahuje 2,10 m³/s (Volaufová 2004). Klabava vytéká jako Padrský potok z Padrských rybníků na území vojenského výcvikového prostoru (VVP) Jince v nadmořské výšce 630 m a do Berounky ústí u Chrástu u Plzně na ř. km 121,7, v nadmořské výšce 285 m.

Horní část povodí leží v lesnaté oblasti Brd, která je díky existenci vojenského výcvikového prostoru Jince minimálně osídlena. Oblast středního a dolního toku naproti tomu charakterizují rozsáhlá sídelní a průmyslová uskupení s intenzivní průmyslovou výrobou – Chrást u Plzně, Hrádek u Rokycan,

Tab. 2 – Klasifikace zatížení sedimentu těžkými kovy a arsenem podle Igeo

(µg/g)	Třída Igeo:	0	1	2	3	4	5	6
	Požadová hodnota	Nezatížený	Nezatížený až mírně zatížený	Mírně zatížený	Mírně až silně zatížený	Silně zatížený	Silně až nadměrně zatížený	Nadměrně zatížený
As	13	<19,5	<39	<78	<156	<312	<624	>624
Cd	0,3	<0,45	<0,9	<1,8	<3,6	<7,0	<14,4	>28,8
Cr	90	<135	<270	<540	<1 080	<2 160	<4 320	>4 320
Cu	45	<67,5	<135	<270	<540	<1 080	<2 160	>2 160
Ni	68	<102	<204	<408	<816	<1 632	<3 264	>3 264
Pb	20	<30	<60	<120	<240	<480	<960	>960
Zn	95	<142	<285	<570	<1 140	<2 280	<4 560	>4 560
Hg	0,4	<0,6	<1,2	<2,4	<4,8	<9,6	<19,2	>19,2



Obr. 1 – Povodí Klabavy s vyznačenou sítí odběrných profilů

Tab. 3 – Procentuální zastoupení základních tříd krajinného krytí

Třída „land cover“	Plocha (km ²)	Podíl (%)
Uměle přetvořené povrchy	23,3	6,24
Zemědělsky využívané plochy	128,5	34,35
Les a polopřírodní vegetace	219,8	58,76
Mokřady	0,5	0,13
Voda	1,9	0,52

Zdroj: MŽP (2001): CORINE Landcover

Kamenný Újezd a Rokycany (obr. 1). Hlavní ohniska potenciálního znečištění představují závody VOSS Sokolov Rokycany, Kovo-hutě Rokycany a Železářny Hrádek. Podíl zemědělsky využívaných ploch je díky přírodním podmínkám i vysoké intenzitě osídlení a průmyslu v dolní části povodí relativně nízký – pouze 34 % celkové rozlohy povodí (tab. 3).

2. 3 Zdroje znečištění vod a sedimentů

2. 3. 1 Zdroje bodového znečištění

V povodí Klabavy je Vodní bilanci (bývalou Státní vodohospodářskou bilanci) evidováno na 30 zdrojů bodového znečištění. Při podrobné analýze prostorového rozložení zátěže z bodových zdrojů znečištění zjistíme, že vypouštění odpadních vod je v povodí rozloženo velmi nerovnoměrně a je z velké části koncentrováno do oblasti středního a dolního toku mezi Hrádek a Rokycany.

Vodní bilanci jsou sledovány ukazatele BSK₅, CHSK_{Cr}, NL, N-NH₄ a P_{celk}. Z databáze vyplývá, že jednoznačně největším producentem znečištění v povodí Klabavy je VOSS Sokolov Rokycany ČOV, která podle Vodní Bilance v roce 2002 vypustila 42,818 t/rok BSK₅, 133,468 t/rok CHSK_{Cr}, 45,951 t/rok NL, 18,798 t/rok N-NH₄ a 2,506 t/rok P_{celk}. Příčinou je značná koncentrace obyvatelstva, průmyslové výroby, služeb a jiných aktivit v městě Rokycany, če-

muž neodpovídá kapacita čistírny. V letech 2000–2003 proběhla na ČOV Rokycany rekonstrukce s cílem výrazně snížit zatížení vypouštěné do vodního toku.

2. 3. 2 Plošné a difúzní zdroje znečištění v povodí

Plošné a rozptýlené zdroje znečištění v povodí Klabavy představují především zemědělsky využívané plochy, velkochovy drůbeže a prasat, rozptýlené drobné osídlení, skládky a doprava. Bilanční zátěž v organickými látkami a nutrienty z plošných zdrojů znečištění v povodí Klabavy díky nízkému rozsahu zemědělských ploch nepředstavuje závažný problém (Langhammer, Matoušková 2000). Významné jsou pouze v lokálním měřítku, přičemž jde zpravidla o drobné neevidované bodové zdroje emisí, zejména velkokapacitní chovy hospodářských zvířat a obce, nenapojené na ČOV.

Vzhledem k tomu, že dominantní polutanty u plošných a difúzních zdrojů emisí představují nutrienty a organické látky, z hlediska kontaminace specifickým znečištěním nepředstavují zejména plošné zdroje významný zdroj ohrožení.

Významný zdroj ohrožení naopak představují difúzní zdroje, zejména staré zátěže i současné aktivní skládky a úložiště odpadu. Prokazuje to evidence starých zátěží provedená v rámci Plzeňského kraje (Kodetová, Brzáková 2005). Šetření prokázalo výskyt desítek starých i aktivních objektů, představujících potenciální zdroj kontaminace povrchových i podzemních vod. Zátěže jsou soustředěné zejména do zázemí průmyslových objektů v oblasti Rokycan a Hrádku, přičemž některé z nich spadají do kategorie rizikových.

3. Výsledky

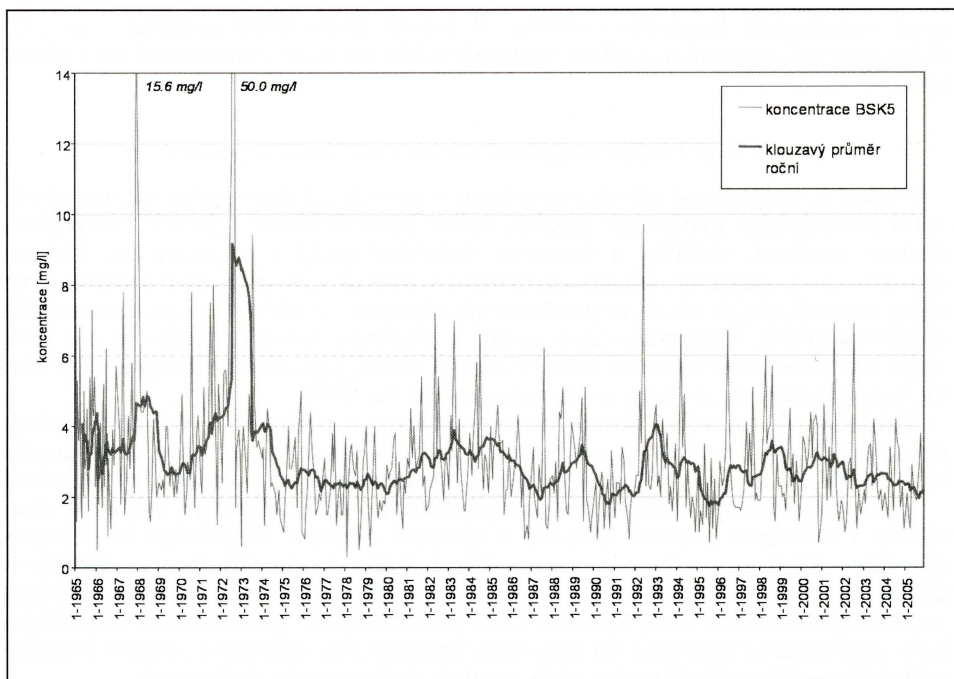
3. 1 Vyhodnocení jakosti povrchových vod v povodí Klabavy

3. 1. 1 Dlouhodobý vývoj jakosti vod v povodí

Z vyhodnocení dlouhodobého vývoje jakosti vody ve výústním profilu povodí Klabavy vyplývá, že maximální (u O_2 , minimální) koncentrace se u většiny ukazatelů vyskytují v 60.–70. letech 20. století. V 80. letech se situace ustálila a koncentrace kolísaly okolo dlouhodobého průměru jen s občasnými výkyvy k hodnotám výrazně překračujícím dlouhodobý průměr. Znamenné snížení koncentrací nastává zhruba v polovině 90. let, odkdy jsou naměřené hodnoty i klouzavé 12měsíční průměry výhradně pod hranicí dlouhodobého průměru (obr. 2).

Koncentrace $N-NO_3$ dosahují maxim až v 80. letech a na počátku 90. let, ke snížení dochází opět ve druhé polovině 90. let. V 70. letech je klasifikována kvalita II. třídou jakosti, v 80. letech III. třídou jakosti a na přelomu 80.–90. let dokonce IV. třída jakosti. Nárůst koncentrací v 80. letech souvisí především s hojným užíváním dusíkatých hnojiv v zemědělství. Spotřeba průmyslových hnojiv rostla v tomto období v celém Česku. V devadesátých letech dochází k výraznému snížení množství aplikovaných hnojiv a tím k zásadnímu zlepšení znečištění dusičnanovým dusíkem.

Vývoj koncentrací fosforu v Klabavě se sleduje až od roku 1985. Z dostupné databáze můžeme vysledovat, že stejně jako u ostatních ukazatelů, dochází ke zlepšení jakosti vody v polovině 90. let.



Obr. 2 – Dlouhodobý vývoj koncentrací BSK₅ na profilu Chrást v období 1965–2005. Zdroj dat: CHMÚ.

Přestože vyhodnocení dlouhodobého vývoje jakosti na profilu Chrást ukazuje, že stav znečištění se v období let 1992–2005 zlepšil, podrobná analýza většiny ukazatelů a jejich zařazení do jakostních tříd na jednotlivých profilech ukazuje na méně příznivý vývoj. Za nejproblematičtější ukazatele je nutno označit množství celkového fosforu, ukazatele kyslíkového režimu (BSK₅, CHSK_{C_r}) a ukazatel anorganického znečištění (N-NH₄).

Jediným ukazatelem, u kterého byla v období let 1992–2005 zjištěna V. třída jakosti, je ukazatel množství celkového fosforu. To však nelze považovat za uspokojivé, neboť IV. třída jakosti byla zjištěna hned u několika ukazatelů. U Klabavy u ukazatelů BSK₅ a N-NH₄, u Holoubkovského potoka u BSK₅, CHSK_{M_n} a NL 105.

Za relativně bezproblémové lze označit ukazatele RL 105 a N-NO₃, u kterých se objevuje maximálně II. třída jakosti (na počátku 90. let u N-NO₃ výjimečně III. třída na dolním toku a na Holoubkovském potoce). Malý podíl dusičnanového dusíku na znečištění je především dán tím, že povodí Klabavy je relativně méně intenzivně zemědělsky využíváné.

Hydrobiologické ukazatele klasifikují většinu toku jako tok beta-mesosaprobni, z hlediska zařazení do tříd jako tok s jakostí II.–III. třídy.

V květnu 2003 a v lednu 2004 byly pro zmapování stavu znečištění povrchových vod v povodí provedeny vlastní odběry a rozborů ukazatelů kvality povrchových vod. Z vyhodnocení dat získaných vlastními odběry a rozborů vody je u většiny ukazatelů možné vysledovat vývoj koncentrací v podélném profilu. Výše hodnoty ukazatele většinou roste se vzdáleností od pramene. U některých ukazatelů přichází pokles koncentrací na profilech před ústím. Vzhledem k tomu, že se jedná jen o dvě nárazová měření, je potřeba k výsledkům

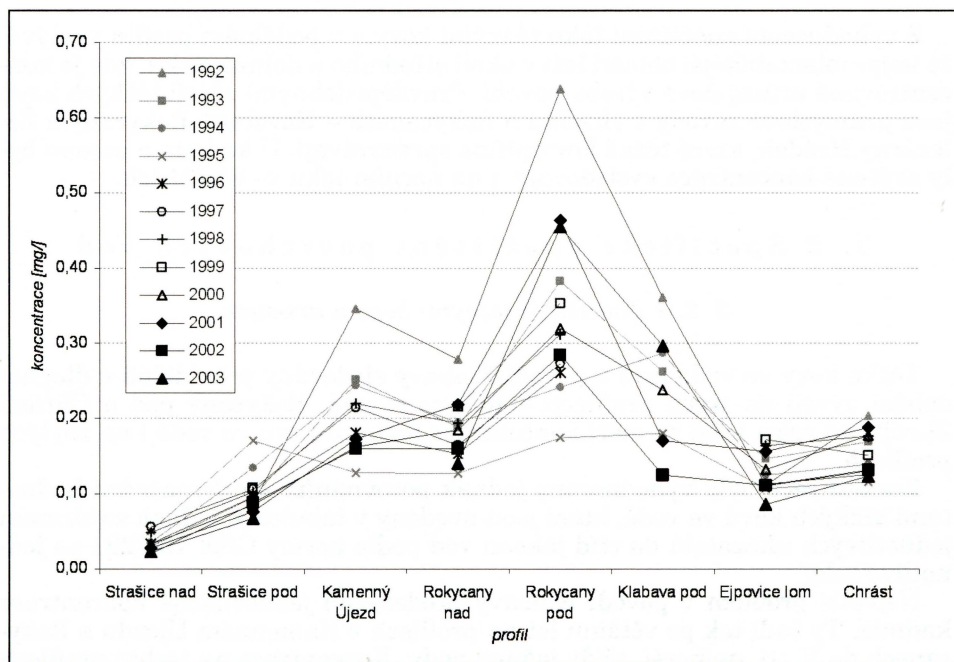
přístupovat jen jako k orientačním a nelze je využít k zařazení do jakostních tříd.

3. 1. 2 Změny jakosti vody v podélném profilu

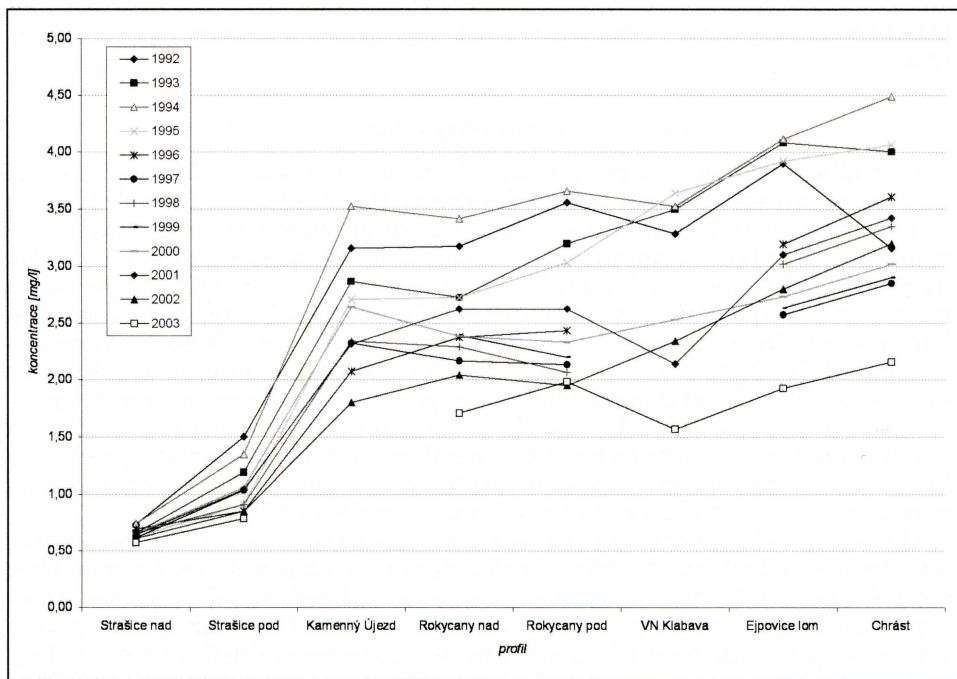
U většiny hydrochemických ukazatelů se v podélném profilu objevují nejvyšší koncentrace v oblasti profilů Kamenný Újezd a Rokycany pod. Příčinou je blízkost výstí komunálních bodových zdrojů znečištění a průmyslových podniků v Hrádku a Rokycanech. Absolutní maxima jsou nejčastěji zjištěna na profilu Rokycany pod. Na profilu mezi těmito nejzatíženějšími odběrovými místy – na profilu Rokycany nad – dochází u některých ukazatelů ke snížení koncentrací. Jedná se například o ukazatele monitorující bodové zdroje znečištění – BSK_5 , N-NH_4 a P_{celk} (obr. 3). Tento pokles není znatelný u těžkých kovů, kde profily v Rokycanech dominují svými koncentracemi nejvýrazněji.

V Chrástu, případně v Ejpovicích, dochází u většiny ukazatelů ke zlepšení stavu znečištění. Na tom se pozitivně podílí především samočisticí procesy toku, ředění koncentrací rostoucím průtokem, absence výrazných bodových zdrojů, u některých ukazatelů i přítomnost vodních nádrží apod.

U některých hydrochemických ukazatelů dochází ke zvyšování koncentrací s rostoucím průtokem. Typickým příkladem jsou ukazatele rozpuštěné látky sušené a konduktivita, z čehož vyplývá, že se vzdáleností od pramene se zvyšuje množství rozpuštěných látek (aniontů a kationtů) v toku. Stejný vývoj v podélném profilu mají i koncentrace dusičnanového dusíku (obr. 4). To je způsobeno jednak procesem nitrifikace a jednak nepřítomností zemědělských kontaminací na horním toku. Obecně řečeno jsou však koncentrace N-NO_3 nízké v celém podélném profilu.



Obr. 3 – Vývoj průměrných ročních koncentrací celkového fosforu v letech 1992–2003 v podélném profilu. Zdroj dat: Povodí Vltavy s.p.



Obr. 4 – Vývoj průměrných ročních koncentrací N-NO₃ v letech 1992–2003 v podélném profilu. Zdroj dat: Povodí Vltavy s. p.

Z vyhodnocení znečištění toku těžkými kovy a v podélném profilu vyplývá, že nejproblematictější oblasti leží v okolí středního a dolního toku, kde je koncentrovaná průmyslová výroba povodí. Pravděpodobnými zdroji těžkých kovů jsou průmyslové závody v Hrádku a Rokycanech – Kovohutě Rokycany a Železářny Hrádek, které těžké kovy přímo zpracovávají. U kadmia a arsenu byly zvýšené koncentrace vysledovány i na horním toku ve Strašicích.

3. 2 Specifické znečištění povrchových vod

3. 2. 1 Znečištění těžkými kovy a arsenem

Těžké kovy ve vodě jsou v povodí Klabavy sledovány pravidelně v dlouhodobém vývoji na třech profilech – Rokycany nad, Rokycany pod a Chrást. Zhruba od roku 1996 se měří koncentrace těžkých kovů ve vodě i na zbylých profilech.

Koncentrace byly vyhodnoceny jednak porovnáním s referenčními hodnotami těžkých kovů ve vodě, které jsou uvedeny v tabulce 4, jednak zařazením jednotlivých ukazatelů do tříd jakosti vod podle normy ČSN 75 7221 za jednotlivé roky.

Největší problém v povodí Klabavy představují jednoznačně koncentrace kadmia. Ty řadí tok po většinu let na profilech v Kamenném Újezdu a Rokycanech do V., tj. nejhorší, třídy jakosti vody. Koncentrace na těchto profilech jednoznačně dominují oproti ostatním profilům. Naměřené hodnoty převyšují referenční hodnoty koncentrací těžkých kovů ve vodách (viz tab. 4) i několi-

Tab. 4 – Referenční koncentrace těžkých kovů ve vodě

Kov	Olovo	Měď	Kadmium	Chrom	Kobalt	Nikl	Mangan	Zinek
Koncentrace (µg/l)	0,20	1,80	0,07	0,50	0,05	0,30	5,00	0,50

Zdroj: Rath (1990)

Tab. 5 – Zařazení koncentrací kadmia do tříd jakosti vod dle ČSN 757221

Profil	Strašice nad	Strašice pod	Kamenný Újezd	Rokycany nad	Rokycany pod	Ejpvovice	Chrást
1992			IV	IV	III		III
1993			V	V	IV	III	III
1994			II	V	V	III	III
1995				V	V		IV
1996				V	V	IV	III
1997		IV	V	V	IV	III	III
1998		IV	V	V	V	IV	III
1999		IV	V	IV	III		III
2000	IV	III	V	V	IV		IV
2001	III	II	IV	V	V		II
2002	II	II	IV	IV	V		II
2003	II	II		II	II		II

Zdroj dat: Povodí Vltavy s.p.

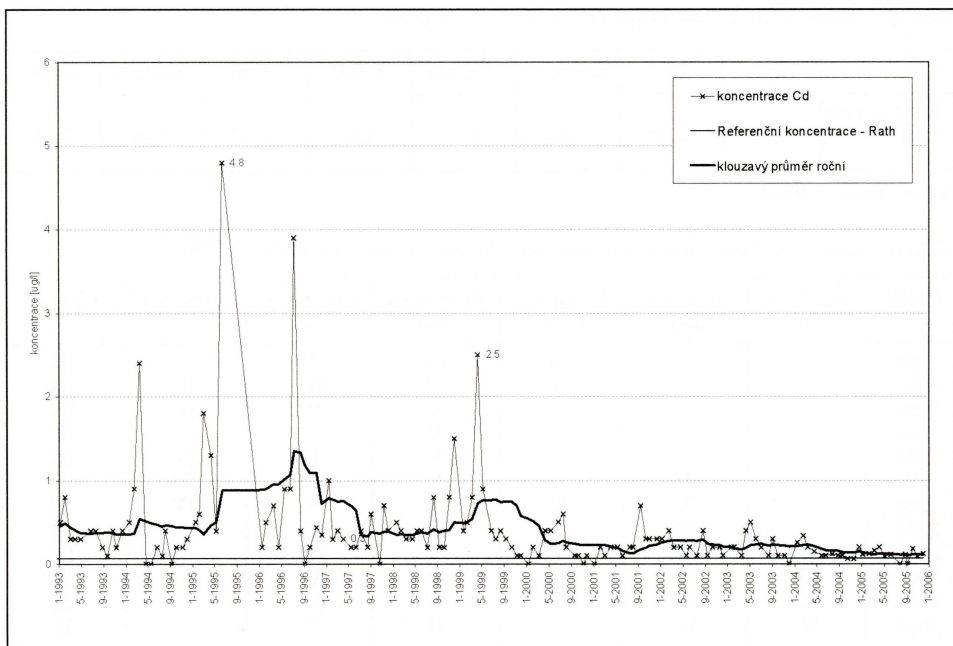
kaselnásobně. Například v lednu roku 1995 byly naměřeny havarijní koncentrace na rokycanských profilech – v Rokycanech nad 21 µg/l a v Rokycanech pod 19 µg/l. Vysoké koncentrace byly zjištěny i na profilech ve Strašicích a pod lomem Ejpvovice. Zařazení kadmia do tříd jakosti vod je v tabulce 5. Ve výústním profilu jsou sice naměřené koncentrace nižší, i zde však stále výrazně převyšují referenční koncentrace (obr. 5).

S výjimkou profilů v Rokycanech lze na všech profilech vysledovat zlepšení stavu znečištění zátěží kadmiiem. Příčinou může být jednak útlum průmyslové výroby v povodí a stagnace činnosti ve VVP Jince nebo změna podmínek podporujících vyplavování kadmia z horninového podloží. Díky nedostupnosti údajů o vypouštění znečištění v tomto ukazateli se však jedná o nepřímé zjištění.

Analogické vývojové trendy lze vysledovat u koncentrací zinku, mědi a niklu. U těchto prvků byla v první polovině 90. let zaznamenána V. a IV. třída jakosti, ale v současné době se stav ustálil na II. třídě jakosti. Maximální koncentrace se u všech jmenovaných prvků objevovaly na profilech v Rokycanech. Na rozdíl od kadmia u nich nebyly na horním toku zaznamenány výrazné zvýšené kontaminace. Koncentrace odpovídají na profilech ve Strašicích maximálně II. třídě jakosti.

U olova lze vysledovat po celou dobu hodnoceného vývoje koncentrace II. a III. třídy. Jedinou výjimkou je rok 2001, kdy se na profilech v Rokycanech zhoršilo znečištění olovem na úroveň IV. třídy jakosti. Maximální koncentrace v podélném profilu je opět možné vysledovat od Kamenného Újezdu po Rokycany pod. Na zbylých profilech kolísají koncentrace na úrovni I. a II. třídy jakosti.

Jediný prvek, který neodpovídá rozložením maximálních koncentrací do oblasti středního toku, je arsen. U toho byly nejvyšší koncentrace zjištěny ve



Obr. 5 – Vývoj znečištění toku Klabavy kadmíem ve výústním profilu Chrást. Data ČHMÚ.

Strašicích. Na celém toku byly zjištěny koncentrace odpovídající II. třídě jakosti, jen na obou strašických profilech se objevují koncentrace III. třídy.

U rtuti jsou sledovány koncentrace v dlouhodobějším vývoji jen na závěrových profilech Klabavy i Holoubkovského potoka. Do roku 1998 byla mezi detekce hodnota 0,1 µg/l. Na obou tocích byla hodnota překračována jen výjimečně.

Jako bezproblémové lze označit koncentrace chrómu, který na všech profilech po většinu let odpovídá koncentracemi I. třídě jakosti a jen výjimečně II. třídě jakosti.

3. 2. 2 Znečištění specifickými organickými látkami

Po zohlednění úplnosti datových řad a pravděpodobnosti výše zatížení organickými látkami byly pro vyhodnocení zvoleny profily: Rokycany nad, Rokycany pod a závěrový profil Chrást. Pro charakterizování znečištění vody specifickými organickými látkami byly zvoleny jako zastupující ukazatele – chloroform (trichlormethan), chlorbenzen, AOX, DCBenzeny (vyjádřené jako součet koncentrací 1,2-dichlorbenzenu a 1,4-dichlorbenzenu), Suma PCB (vyjádřené jako součet koncentrací vybraných kongenerů PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153 a PCB 180) a Suma PAU.

Z vyhodnocení koncentrací organických látek ve vodě v dvouletí 2002/2003 vyplynulo, že v současnosti se ve vodě u většiny vyhodnocených ukazatelů neobjevují žádné kritické koncentrace. Většina údajů se pohybuje pod mezí detekce a lze je považovat za uspokojivé. Naproti tomu byly zjištěny varovné koncentrace na všech třech profilech u sumárního ukazatele absorbovatelných organicky vázaných halogenů (AOX).

Pro vyhodnocení změn zátěže specifickými organickými látkami představují zásadní překážku krátké časové řady sledování, neumožňující posoudit

význam současných hodnot vzhledem k historickému vývoji. I přes relativně příznivé hodnoty ve většině ukazatelů je třeba zátěž specifickými organickými látkami, zejména díky jejich vysoké schopnosti akumulace v sedimentu a biomase, považovat za potenciální riziko.

3. 3 Specifické znečištění sedimentů v povodí Klabavy

Vyhodnocení zátěže sedimentů těžkými kovy se soustředilo na lokalizaci míst s kritickou úrovní zátěže a identifikaci ukazatelů, které jsou pro zátěž ekosystému nejproblematictější. Výsledky rozborů, provedených po povodni v srpnu 2002 navíc umožnily posoudit vliv povodně na zátěž sedimentů v povodí.

Nejvíce kontaminovanou částí povodí Klabavy z hlediska specifického zatížení sedimentů je podle výsledků analýz dat povodí Vltavy i podle vlastních rozborů oblast mezi Hrádkem a Rokycany. Příčinou znečištění jsou zde nejpravděpodobněji emise ze seskupení průmyslových podniků, které používají ve své činnosti sloučeniny těžkých kovů – Kovohutě Rokycany a Železářny Hrádek. Přítomnost těžkých kovů v sedimentu je však zároveň způsobena i vyplavováním těžkých kovů z horninového podloží. To naznačuje nález částečně kontaminovaného sedimentu v oblasti Strašic, kde není přítomný žádný antropogenní zdroj zátěže. Z nižších koncentrací zjištěných v sedimentu v Chrástu lze předpokládat vysokou kontaminaci sedimentu těžkými kovy v oblasti lomu Ejpvovice a VD Klabava.

Vyhodnocení dat o specifickém znečištění sedimentů z databáze povodí Vltavy potvrzuje, že ve spektru hodnocených ukazatelů je největším problémem zatížení kadmíem. Koncentrace kadmia v oblastech středního toku Klabavy až několikasetnásobně (!) převyšují požadové koncentrace. Další prvky, výrazně zastoupené v sedimentu jsou měď a olovo. Znečištění rtuť a organickými látkami nevykazuje jednoznačný trend vývoje a zátěž v těchto ukazatelích je proto s ohledem na jejich toxicitu nutně dále pozorně sledovat.

Stejně jako u dat z Povodí Vltavy bylo vlastními rozborů potvrzeno nejvyšší znečištění sedimentu u kadmia, následně mědi a zinku, a to především v oblasti sídelních uskupení a průmyslových podniků zpracovávajících těžké kovy – mezi Hrádkem a Rokycany. S výjimkou kadmia na profilu Kamenný Újezd (tab. 6) však nebyla zjištěna žádná varovná kontaminace sedimentu těžkými kovy.

Maximální koncentrace byly zaznamenány na profilu Kamenný Újezd, následovaného profilem Rokycany pod. U kadmia byla zjištěna na profilu Ka-

Tab. 6 – Kontaminace sedimentu kadmíem v povodí Klabavy. Zařídění dle indexu geoakumulace.

Kadmium (mg/kg)	Strašice nad	Strašice pod	Kamenný Újezd	Rokycany nad	Rokycany pod	Chrást	HP Rokycany
2.4.1997	pod mezi	III	V	VI	IV	IV	pod mezi
20.10.1997	III	IV	VI	VI	V	IV	III
16.4.1998	III	IV	V	V	V	IV	II
7.4.1999	I	II	III	VI	V	IV	I
10.5.2000	II	III	VI	VI	IV		
6.6.2001	III	III	VI	VI	V		
7.5.2002					VI		
12.6.2003					II		

Zdroj: Data Povodí Vltavy

menný Újezd IV. třída, na profilu Rokycany pod třída III.; v případě zinku (Kamenný Újezd) a mědi (Rokycany pod) nejhůře třída III. Na dalších profilech nebyla zjištěna jakost sedimentu horší než II. třída. Na Holoubkovském potoce byla vysledována jen 0. a I. třída jakosti, což potvrzuje předpoklad, že Holoubkovský potok do Klabavy žádné výrazné znečištění těžkými kovy nepřináší.

Data z vlastních rozborů z podzimu 2002 jsou až na výjimky nižší než data získaná jarními odběry v roce 2003. V roce 2002 nebyla nikde zjištěna horší než II. třída jakosti a některé hodnoty se pohybují dokonce pod vztažnými hodnotami Turekiana a Wedepohla či Prangeho.

Pravděpodobnou příčinou výrazně nízkých hodnot kontaminace je skutečnost, že odběr proběhl v období bezprostředně po povodni v srpnu 2002, díky které byl kontaminovaný sediment z území odnesen, či roznesen po okolí. Tuto možnou souvislost potvrzují i výsledky Projektu Labe III. (Blažková a kol. 2002, Rudiš 2004), které prokázaly, že se u většiny ukazatelů vlivem katastrofální povodně v srpnu 2002 hodnoty znečištění sedimentu značně snížily.

4. Diskuse

Z vyhodnocení dlouhodobého vývoje jakosti vod vyplývá, že kvalita vody hodnocená chemickými a hydrobiologickými ukazateli se zlepšila především po roce 1995. Pokles úrovně zátěže je třeba vidět ve výstavbě, modernizaci a zprovoznění čistíren odpadních vod u komunálních zdrojů, stejně však i v poklesu vypouštěných zátěží spojených s útlumem průmyslové výroby v povodí.

Současný stav však stále nelze považovat za uspokojivý. Snížená kvalita vody se vyskytuje výhradně u profilů na středním toku – jedná se o profily v oblasti sídelních a průmyslových seskupení od Hrádku po Rokycany – profily Kamenný Újezd, Rokycany nad a Rokycany pod. Maximum zátěže je pozorováno zpravidla na profilu Rokycany pod. S výjimkou ukazatele P_{celk.} se u žádného z vybraných ukazatelů ve třech vyhodnocených dvouletích po roce 1990 nevyskytuje nejhůře – V. třída jakosti. Silně znečištěná voda – IV. třída jakosti se však objevuje u několika ukazatelů – BSK₅, TOC, P_{celk.}, CHSK_{Mn}. Z vyhodnocení bodových zdrojů znečištění vyplývá, že největším producentem znečištění v povodí Klabavy je jednoznačně ČOV VOSS Sokolov Rokycany. Vzhledem k tomu, že kapacita čistírny dlouhodobě neodpovídala koncentraci obyvatelstva, průmyslové výroby a dalších aktivit v oblasti Rokycan byla v letech 2001–03 realizována její intenzifikace. Po rekonstrukci ČOV je možné sledovat mírné snížení koncentrací vybraných ukazatelů ve výústním profilu Klabava – Chrást (obrázek 2).

Ve vyhodnocení ukazatelů, odrážejících zátěž z plošných zdrojů znečištění, se výrazně projevila struktura využití území povodí. Povodí Klabavy je specifické tím, že zemědělská půda zabírá jen necelou 1/3 plochy povodí a že jeho horní tok protéká lesnatým územím VVP Jince. První zemědělské zátěže tak přijímá až na 15. km svého toku. To se projevuje především v nízké zatíženosti toku ukazateli N-NO₃ a NL 105 °C.

V sídelní a průmyslové oblasti mezi profily Kamenný Újezd – Rokycany pod bylo zjištěno výrazné znečištění těžkými kovy. Největším problémem jsou jednoznačně koncentrace kadmia, následované zinkem. Koncentrace kadmia řadí tok po většinu let na obou profilech v Rokycanech do V. (případně IV.) jakostní třídy. Překvapivě se především u kadmia a arsenu objevily zvýšené

kontaminace i na profilu Strašice nad, který leží bezprostředně pod výtokem Klabavy z brdských lesů na hranici území VVP Jince.

Z vyhodnocení dat o znečištění sedimentu navíc vyplývá, že stav zatížení sedimentu těžkými kovy se během sledovaného vývoje nijak výrazně nemění. Stejně jako u analýzy jakosti vody je u sedimentu největším problémem mezi těžkými kovy znečištění kadmíem (následované zinkem a mědí). Mezi postiženými lokalitami dominují profily v oblasti sídelních uskupení a průmyslových podniků zpracovávajících těžké kovy – mezi Hrádkem a Rokycany. Především z dat Povodí Vltavy s.p. je zřejmé, že znečištění sedimentu těžkými kovy je v této oblasti kritické, neboť dosahuje nejvyšších tříd jakosti sedimentu vyhodnocených podle indexu geoakumulace.

V oblasti rokycanských profilů byly zjištěny i maximální koncentrace specifických organických látek, hodnocené ukazateli Suma PCB – Delor a Suma PCB.

Vlastní odběry sedimentu byly provedeny v listopadu 2002 a květnu 2003. To znamená, že oba odběry byly provedeny až po mimořádné povodni v srpnu 2002. Je pravděpodobné, že kontaminovaný sediment byl při povodni odnesen. Právě tomu lze pravděpodobně přisoudit fakt, že s výjimkou kadmia na profilu Kamenný Újezd (IV.) nebyla vlastními odběry zjištěna žádná výrazná kontaminace sedimentu těžkými kovy. Tuto teorii potvrzují i velmi nízké koncentrace zjištěné podnikem Povodí Vltavy v ve shodném profilu při měření po povodni v roce 2003.

To, že byly jen v některých ukazatelích naměřeny vyšší hodnoty nasvědčuje teorii, že byl kontaminovaný sediment odnesen. V lokalitách, kde byly při měření v roce 2003 zjištěny zvýšené koncentrace, byl sediment pravděpodobně kontaminován po povodni. Kontaminaci sedimentu následkem povodně 2002 potvrzuje mj. i analýza provedená SUDOP Plzeň (2003) v rámci revitalizace Boreckého rybníka, lokalizovaného na Holoubkovském potoce. Opakovaná analýza dnových sedimentů zde ukázala nárůst koncentrací kadmia, manganu a niklu, která je spojována s transportem kontaminovaného sedimentu vysokými vodními stavy při povodni.

Při porovnání výsledků vlastních rozborů s daty pořizovanými podnikem Povodí Vltavy s.p. je nutno brát v úvahu, že při pořizování vlastních dat byla pro rozbor využita frakce 63 μm , naproti tomu Povodí Vltavy určuje množství těžkých kovů z frakce 25 μm . Rozdíly v hodnotách však nejsou příliš výrazné. Hodnoty, zjištěné vlastními stanovením v květnu 2003, jsou na úrovni koncentrací, zjištěných v červnu 2003 podnikem Povodí Vltavy na profilu Rokycany pod. Toto srovnání ukazuje, že rozdílná použitá frakce sedimentu při rozboru nemusí výsledky zásadně ovlivňovat.

5. Závěr

Prezentovaná studie přináší analýzu časové a prostorové dynamiky specifického znečištění vody a sedimentu v povodí Klabavy na základě dat z monitoringu podniku Povodí Vltavy s.p. a dat získaných vlastními odběry a rozborů. Výzkum dále pomohl identifikovat hlavní bodové zdroje znečištění v povodí i vyhodnotit vliv povodně v srpnu 2002 na změnu úrovně kontaminace sedimentů těžkými kovy.

Z výsledků můžeme jednoznačně jako oblast hlavní emisní zátěže vodního prostředí určit část toku mezi Hrádkem a Rokycany. Pravděpodobnými původci znečištění těžkými kovy jsou průmyslové podniky Železárně Hrádek

a Kovohutě Rokycany, které těžké kovy zpracovávají. Varovné jsou zde především koncentrace kadmia ve vodě, které v této oblasti překračují referenční hodnoty i několikrát, silnou zátěž potvrzují i analýzy sedimentu. Znečištění specifickými organickými látkami, s výjimkou ukazatele AOX, nedosahuje kritických hodnot.

Výsledky vlastních odběrů, realizovaných na síti sedmi profilů v letech 2002 a 2003 dokumentují vliv povodně v srpnu 2002 na zátěž sedimentů. Kontaminované sedimenty byly povodní v srpnu 2002 vyplaveny a přemístěny, proto hodnoty, zjištěné rozbory na profilech bezprostředně po povodni, jsou výrazně nižší než v předchozím období. Díky pokračující zátěži se však koncentrace těžkých kovů v následném období opět zvyšují.

Kontaminace vody a sedimentu specifickým znečištěním v povodí Klabavy ukazuje na postupně se zlepšící situaci, zejména díky výstavbě a modernizaci čistíren odpadních vod. Část poklesu znečištění je však spojeno s poklesem průmyslové výroby a v případě jejího znovuoživení představuje přetrvávající zdroj potenciálního ohrožení. Nejvýznamnější problém z hlediska ochrany vod představuje extrémní zátěž vodního prostředí silně toxickým kadmíem. Kontaminované sedimenty sice byly vysokými průtoky při povodni v srpnu 2002 vyplaveny, pokračující znečišťování však působí na opětovný nárůst zátěže.

Literatura:

- BARTÁČEK, J. (2005): Zpráva o hodnocení jakosti povrchových vod v oblasti povodí Berounky za období 2003-04. Povodí Vltavy, Praha, 29 s.
- BLAŽKOVÁ, Š. a kol. (2002): Přehled výsledků Projektu Labe III., VÚV T.G. M., Praha.
- ČHMÚ (2006): Databáze jakosti povrchových vod. ČHMÚ, Praha, <http://hydro.chmi.cz/ojv2/>.
- ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod.
- ČSN EN 13346 Charakterizace kalů – Stanovení stopových prvků a fosforu – metody extrakce.
- JURČA, V., DAMAŠKA, J., DAMAŠKOVÁ, H. et al. (1997): Látkový transport z plošných zdrojů v České republice. VÚMOP, Praha, 56 s.
- KODETOVÁ, J., BRZÁKOVÁ, R. (2005): Studie starých ekologických zátěží Plzeňského kraje. Vodní zdroje, Praha, 10 s.
- KOMÍNKOVÁ, D. (2001): Pollution of aquatic ecosystems by heavy metals – the Kocába and the Točnický Stream, The Thems. PrF UK, Praha.
- LANGHAMMER, J. (2005): Strukturální změny kvality vody v povodí Labe v kontextu evropské environmentální legislativy. SVH, Bratislava, Slovensko, 717 s.
- LANGHAMMER, J., et al. (2004): Kontaminace vodních toků specifickým znečištěním v povodí Berounky, PrF UK, Praha, 191 s.
- LANGHAMMER, J., MATOUŠKOVÁ, M. (2001): Výzkum kvality vodní složky přírodního prostředí v povodí Berounky. PrF UK, Praha, 158 s.
- LANGHAMMER, J., MATOUŠKOVÁ, M. (2004): Kontaminace povrchových vod a sedimentů specifickým znečištěním v povodí Berounky. SHMÚ, Bratislava, 117 s.
- MKOL (1996): Výsledky výzkumu v letech 1990-1995: Labe jako pacient – anamnéza, diagnóza, terapie, Praha.
- MOHAUPT, V., SIEBER, U., ROOVAART VAN DE J., VERSTAPPEN, G. G. C., LANGENFELD, F., BRAUN, M. (1998): Diffuse Sources of Heavy Metals in the German Rhine Catchment, 3rd International IAWQ-Conference on Diffuse Pollution, Edinburgh.
- MŽP (2001): CORINE landcover. MŽP ČR, Praha.
- PRANGE, A, KRÜGER, F, JANTZEN, F, TREJTNER, K, MIEHLICH, G (1998): Geogene Hintergrundwerte als Bewertungsgrundlage der Schwermetallbelastungen im gesamten Elbeverlauf In: W. Geller et. al. (Ed.) Gewässerschutz und Gewässernutzung im Einzugsgebiet der Elbe. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig, s. 82-86.
- RATH, M. (1990): Těžké kovy ve sladkovodních ekosystémech s důrazem na sediment. Kandidátská disertační práce, PrF UK, Praha.
- RUDIŠ, M. (2004): Dynamika polutantů hlavním korytě a v údolní nově českého Labe. Zpráva za rok 2003, projekt Labe, VÚV T.G.M., Praha, 58 s.

- SALOMONS, W. (1993): Sediment pollution in the EEC – Commission of the European communities, Luxembourg.
- SUDOP Plzeň (2003): Rokycany, aktualizace PD pro odbahnění Boreckého rybníka. SU-DOP Plzeň, Rokycany, 7 s.
- THYSSEN, N. (2000): Rivers in the European Union: Water Quality, Status and Trends. In: M. J. R. Cals, H. J. Nijland (eds): River Restoration in Europe. Wageningen, s. 63-71.
- TUREKIAN, K. K., WEDEPOHL, K. H. (1965): Rozšíření prvků v základních jednotkách zemské kůry. Academia, Praha.
- VOLAUFOVÁ, L. (2004): Jakost povrchových vod a specifické znečištění sedimentů v povodí Klabavy. Magisterská práce, PřF UK, Praha.

S u m m a r y

SPECIFIC POLLUTION OF SURFACE WATER AND SEDIMENTS IN THE KLABAVA RIVER CATCHMENT

This study presents analysis of time and space dynamism of specific pollution of water and sediments in the Klabava River catchment based on the data gathered by Povodí Vltavy and on own samples and analyses. The research also helped to identify principal point pollution sources in the catchment and to evaluate the impact of floods in August 2002 on the level of contamination of sediments by heavy metals.

The results clearly identify the stream reach between Hrádek and Rokycany as the area of the main emission load. Pollution by heavy metals is probably due to industrial enterprises Železárný Hrádek (ironworks) and Kovohutě Rokycany (nonferrous metallurgy), both processing heavy metals. Dangerous are mainly concentrations of cadmium in water, which in this area exceed reference levels even several hundred times. A heavy load is proved also by analyses of sediments. Pollution by specific organic substances, with the exception of AOX index, does not reach critical levels.

Results of own samples collected in a network of seven profiles in the years 2002 and 2003 document the impact of floods of August 2002 on sediments load. Contaminated sediments were washed up by the flood in August 2002 and transferred, therefore the levels established in the profiles immediately after the flood were significantly lower than in the previous period. Because of continuing load however, concentrations of heavy metals were then growing again.

Water and sediments contamination by specific pollution in the Klabava River catchment proves a progressively improving situation, mainly thank to construction and modernization of wastewater treatment plants. Lower pollution is partly due to a decrease of industrial production which, in case of its stimulation, it would be a source of potential hazard. The most important problem concerning water protection is the extreme load of water environment by strongly toxic cadmium. Although contaminated sediments were washed away by high flows during floods in August 2002, continuing pollution causes a new increase of the load.

- Fig. 1 – The Klabava River catchment with traced network of sample profiles. Key downward: profile, Vltava catchment profile, towns and settlements, water reservoir and expanse, watershed line, forest.
- Fig. 2 – Long-term development of BSK5 concentrations in the Chrást profile in the years 1965–2005. Axis x – time, axis y - BSK5 concentration (mg/l). Data source: ČHMÚ.
- Fig. 3 – Development of average annual concentrations of total phosphorus in the years 1992–2003 in the lengthwise profile. Data source Povodí Vltavy s.p.
- Fig. 4 – Development of average annual concentrations of N-NO₃ in the years 1992–2003 in the lengthwise profile. Data source: Povodí Vltavy s. p.
- Fig. 5 – Development of the Klabava River pollution by cadmium in the mouthing profile Chrást. Axis x – time, axis y – concentrations (mg/l). Data ČHMÚ.

(Pracoviště autorů: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2, e-mail langhamr@natur.cuni.cz.)

Do redakce došlo 19. 1. 2006