

ČASOPIS

STUDIA OECOLOGICA

Ročník XI

Číslo 1/2017

Redakční rada:

prof. Ing. Pavel Janoš, CSc. – šéfredaktor

Mgr. Diana Holcová, Ph.D. - výkonný redaktor

doc. RNDr. Jiří Anděl, CSc.

Ing. Jitka Elznicová, Ph.D.

prof. RNDr. Agáta Fargašová, DrSc.

prof. Mgr. Ing. Jan Frouz, CSc.

doc. RNDr. Jaromír Hajer, CSc.

Mgr. Michal Holec, Ph.D.

prof. RNDr. Olga Kontrišová, Ph.D.

doc. RNDr. Karel Kubát, CSc.

prof. Ing. Emanuel Kula, CSc.

Dr. Habil István Lakatos, Ph.D.

prof. dr. hab. Marek Lorenc

Ing. Martin Neruda, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Němec, CSc.

Ing. Jan Popelka, Ph.D.

doc. RNDr. Ing. Josef Rajchard, Ph.D.

doc. Mgr. Pavel Raška, Ph.D.

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.

doc. Ing. Josef Seják, CSc.

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.

doc. Ing. Josef Trögl, Ph.D.

Technický redaktor:

Mgr. Ing. Petr Novák

Recenzenti:

prof. RNDr. Zuzana Jureková, CSc., FEŠRR Slovenské poľnohospodárskej univerzity v Nitře

prof. RNDr. Jaroslav Kontriš, CSc., LF Technické univerzity ve Zvolenu

RNDr. PhDr. Danuše Kvasničková, CSc., Praha

Mgr. Michaela Liegertová, Ph.D., PřF Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

Müllerová Hana, Ing., JUDr., Ph.D., Ústav státu a práva Akademie věd ČR, v.v.i. v Praze

doc. RNDr. Tomáš Navrátil, Ph.D., Geologický ústav v Praze

RNDr. Michal Němec, Ph.D., PřF Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

Mgr. Jan Sedláček, Ph.D., Př. F. Univerzity Palackého v Olomouci

Mgr. Martin Šlachta, Ph.D., ZF Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích

doc. RNDr. PaedDr. Milada Švecová, CSc., PřF Univerzity Karlovy v Praze

Vydává: FŽP UJEP v Ústí nad Labem

Tisk: Centrum digitálních služeb MINO

Toto číslo bylo dáno do tisku v prosinci 2017

ISSN 1802-212X

MK ČR E 17061

HISTORICKÉ ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ NIVNÍCH SEDIMENTŮ HORNÍHO TOKU ŘEKY OHŘE A JEJÍCH PŘÍTOKŮ RTUTÍ

HISTORICAL SOURCES OF MERCURY POLLUTION IN FLOODPLAIN SEDIMENTS OF THE OHŘE RIVER AND ITS TRIBUTARIES

Lucie MAJEROVÁ¹, Tomáš MATYS GRYGAR^{1,2},
Jitka ELZNICOVÁ¹, Zdeňka VÁVROVÁ³

1) Univerzita J. E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, Králova výšina 7, Ústí nad Labem, 400 96,
Česká republika, majerova@seznam.cz, Jitka.Elznicova@ujep.cz

2) Ústav anorganické chemie AV ČR, v.v.i., 250 68 Řež, grygar@iic.cas.cz

3) UNICRE, Unipetrol výzkumně vzdělávací centrum, a.s., Revoluční 1521/84, 400 01 Ústí nad Labem,
zdenka.vavrova@vuanch.cz

Abstrakt

Znečištění rtutí bylo sledováno na horním a částečně středním toku Ohře a jejích přítocích. Tam, kde to bylo účelné, byly zjišťovány i jiné rizikové prvky, zejména měď, olovo a uran. Analýzy potvrdily vliv bývalé chemické továrny v Marktredwitzu v Německu (povodí řeky Reslavy). Výstavba přehrady Skalka v roce 1964 potlačila další masivní export rtuti z povodí řeky Reslavy dále do toku Ohře. Ve spádovém povodí řeky Lubinky byl potvrzen vliv historické těžby cinabaritu (rumělka, HgS). Analýzy hloubkových profilů sedimentů v dalších přítocích horní řeky Ohře potvrdily méně významné zdroje rtuti, a to v povodí řeky Svatavy (neznámé zdroje) a v povodí řeky Bystřice (patrně historická amalgamace stříbrné rudy v Jáchymově). Fluviální znečištění rtutí bylo doprovázeno dalšími rizikovými prvky, zejména mědí a olovem. Též bylo zjištěno, že neurčitý historický zdroj ve městě Chebu kontaminoval řeku Ohře mědí.

Abstract

Contamination by mercury was monitored in the upper and middle reaches of the Ohře River and its tributaries. Where it was expedient, other risk elements, in particular copper, lead and uranium, were evaluated. The analyses confirmed the influence of the former chemical factory in Marktredwitz, Germany (the Reslava River catchment). Construction of the Skalka Dam in 1964 suppressed further massive mercury export from the catchment area of the Reslava River to the Ohře River. The effect of historical mining of cinnabar (HgS) was confirmed in the catchment area of the Lubinka River. The analyses of the sediment depth profiles in other tributaries of the upper reach of the Ohře River confirmed less significant sources of mercury in the catchment of the Svatava River (unknown sources) and in the Bystřice River basin (perhaps the historical amalgamation of silver ore in the city of Jáchymov). Fluvial pollution by mercury was accompanied by other risk elements, especially copper and lead. It was also revealed that an unidentified historical source in Cheb contaminated the floodplain of the Ohře River by copper.

Klíčová slova: *nivní sedimenty; znečištění rtutí; zdroje znečištění; místní faktor nabohacení*

Key words: *floodplain sediment; mercury pollution; pollution sources; local enrichment factor*

1. Úvod

Cílem této práce je zjištění zdrojů znečištění řeky Ohře rtutí. Práce se okrajově věnuje i jiným rizikovým prvkům, typickým pro studovanou oblast, jednak těch, které byly těženy a zpracovávány současně se rtutí (hlavně měď a olovo), tak i těch, jejichž koncentrace v sedimentech jsou ve studované oblasti přirozeně zvýšené (uran). V Krušných horách a Slavkovském lese probíhala intenzivně od 12. do 20. století těžba nerostných surovin, v jejímž důsledku docházelo ke kontaminaci životního prostředí, zejména vodních toků a jejich niv, kde díky dlouhodobému ukládání materiálu můžeme najít sedimentární archívy. Období dobývání rud v těchto oblastech započalo nálezy stříbrných žil v Krušných horách a jeho trvání ukončila až ve 20. letech těžba uranu (Lelková, 2016).

K hodnocení kontaminace byly použity hloubkové profily povodňových sedimentů, které jsou důležitým zdrojem informací k rekonstrukci ukládání rizikových prvků v současném a dřívějším sedimentárním prostředí. Kontaminace byla sledována ve 22 profilech v oblasti horního a středního toku řeky Ohře a v oblastech významných přítoků. Analýza sedimentárních záznamů historického znečištění neprobíhá podle standardizovaných postupů, ale vyžaduje znalost říčních procesů a využití poznatků z řady dalších oborů (Matys Grygar et al., 2012, 2013, 2014, 2016, 2017; Bábek et al., 2015). Pokud se analýzy nivních sedimentů podaří, přináší cenné výsledky o minulosti, jinak nezjistitelné.

Kontaminace rizikovými prvky je nejčastěji hodnocena pomocí celkových koncentrací ve srovnání s hodnotami uváděnými normami nebo předpisy, pokud pro daný prvek a materiál existují. Tento způsob však nezohledňuje přirozené kolísání obsahu prvků v půdách a sedimentech. Pouhá koncentrace rizikového prvku ve vzorku není relevantním vyjádřením případné kontaminace, protože i jejich přirozené obsahy jsou značně proměnlivé. Proto upřednostňujeme vyjádření koncentrací ve formě tzv. faktoru nabohacení (*local enrichment factor*, LEF; Matys Grygar et al., 2014, 2016; Matys Grygar a Popelka, 2016), což je poměr relativní koncentrace těžkého kovu [M] ku koncentraci těžkého kovu v přirozeném (geogenním) pozadí $[M]_{BG}$.

Použitím LEF eliminujeme chyby vzniklé skutečností, že se daný prvek běžně vyskytuje ve vzorkovaném sedimentu v takovém množství, které lze mylně považovat za znečištění, ačkoliv se třeba jedná o přirozený výskyt. Variabilita obsahu rizikového prvku v lokalitě je dána geologií zkoumané oblasti, hydraulickými podmínkami sedimentace v daném říčním systému (tj. velikostí částic sedimentu) a dalšími procesy (Bábek et al., 2015; Matys Grygar a Popelka, 2016). Výpočet LEF zahrnuje i vliv proměnné zrnitosti sedimentů, jelikož přirozené formy rizikových prvků jsou v případě některých prvků (např. Cu, Pb a Zn) nejvíc zastoupeny v nejjemnější (jílové) zrnitostní frakci a méně v nejhrubších frakcích (částice velikosti písku, šterku atd.).

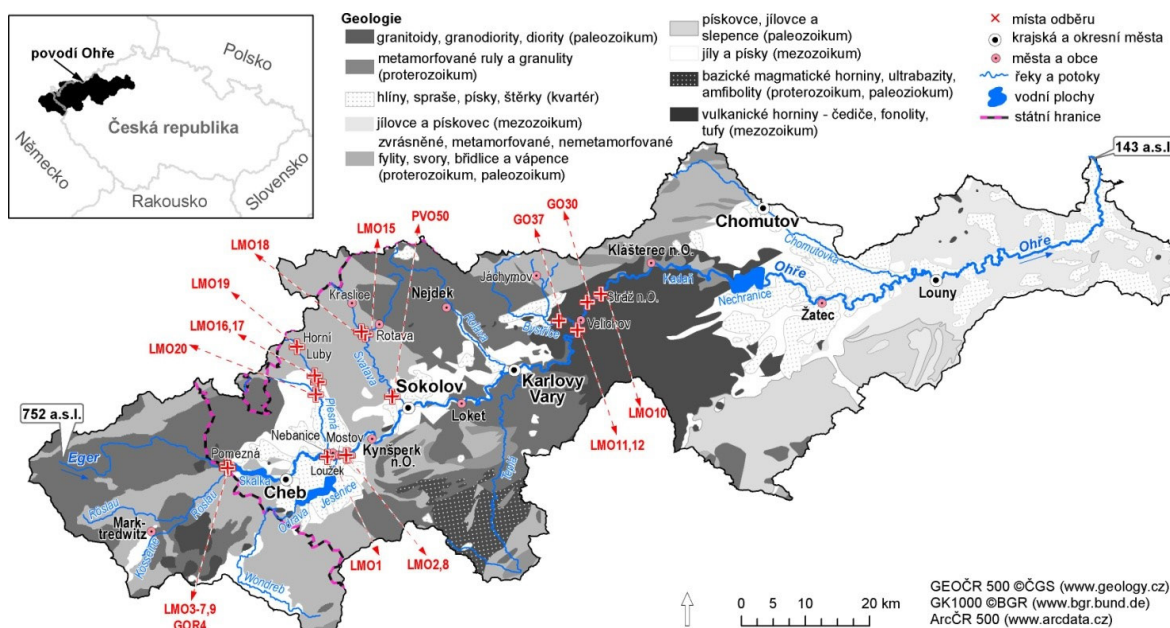
V případě prvků, jejichž koncentrace není obecně nejvyšší v nejjemnějších frakcích velikosti, protože je jich většina ve formě těžkých minerálů a/nebo větších částic, jako je to často např. u Hg a U, je nutné užít jako první přiblížení pro $[M]_{BG}$ prostou koncentraci v neznečištěných vzorcích. Jako přirozený obsah rtuti ve svrchní zemské kůře (UCC) je uváděna koncentrace 0,05 ppm (Rudnick a Gao, 2003). Znečištění v koncentracích kolem 0,2 ppm ve svrchních vrstvách moderních půd lze přičíst spalování uhlí a dalším vysokoteplotním technologiím, které bylo nejvýznamnějším zdrojem znečištění ovzduší rtutí ve 20. století (Navrátil et al., 2014). Přibližné koncentrace pozadí Hg 0,06–0,09 ppm uvádí Miller (2011) a podobné rozpětí 0,022–0,095 ppm v minerálním horizontu některých českých lesních půd uvádí Navrátil et al. (2014). Sedimenty s koncentrací rtuti menší než 0,1 ppm lze proto považovat za neznečištěné.

Cílem práce bylo zjistit, které zdroje byly zodpovědné za znečištění říčního systému Ohře rtutí. Toto znečištění je známo ze sedimentů přehrad Skalka (Titl et al., 2011) a Nechranice (Šťastný et al., 2000), ale i nivy řeky Ohře (Matys Grygar et al., 2016, 2017). Možných zdrojů bylo v povodí Ohře víc, takže bylo nutné prozkoumat jak přítoky Ohře, tak shrnout informace o historických těžebních a průmyslových aktivitách na horní Ohři.

2. Metodika

2.1 Studovaná oblast

Řeka Ohře (německy Eger) je druhým největším levostranným přítokem řeky Labe. Délka toku Ohře je 316 km, z toho v České republice 256 km. Plocha povodí je 6255 km², z toho v České republice je 5614 km². Pramení v Bavorsku na severozápadním úpatí hory Schneeberg v přírodní rezervaci Schneeberg (Smrčiny) ve výšce 752 m n. m., poblíž města Weißenstadt. Na řece Ohři byly v šedesátých letech postaveny tři vodní nádrže, a to vodní nádrž Skalka nad městem Cheb v letech 1962–1964 s celkovou plochou 378 ha, Kadaňský stupeň pod Kláštercem nad Ohří vybudovaný v letech 1966–1971 s celkovou plochou 67,2 ha a přehradní nádrž Nechranice v letech 1961–1968 s celkovou plochou 1338 ha. Horní a střední část toku Ohře protéká údolím mezi Krušnými horami na levé straně a Slavkovským lesem a Doupovskými horami na pravé straně. Dolní tok protéká otevřenou krajinou. K velkým přítokům Ohře patří zleva Slatinný potok, Plesná, Libocký potok, Svatava, Chodský potok, Rolava, Dalovický potok, Bystřice, Pekelský potok, Klášterecký potok, Pruněfovský potok, Hutná a Chomutovka a zprava Reslava, Odrava, Lobežský potok, Teplá, Liboc, Blšanka a Smolnický potok. Geologie povodí je poměrně složitá (Obr. 1). Granity jsou zdrojem hlavní geologické anomálie na hranicích mezi horním a středním povodím Ohře (Matys Grygar et al., 2016). Celosvětové průměry ukazují, že granity jsou obohaceny o uran, konkrétně granity u Karlových Varů a Nejdku obsahují 5–20 ppm uranu (Blecha a Štemprok, 2012), zatímco průměrná koncentrace ve svrchní zemské kůře je jen 2,5 ppm (Rudnick a Gao, 2003). Obvykle jsou granity také obohaceny o olovo v koncentracích až několikanásobku průměrné koncentrace ve svrchní zemské kůře. Za antropogenní znečištění sedimentů v této oblasti bychom mohli považovat v případě olova koncentrace vyšší než 50 ppm a v případě uranu koncentrace vyšší než 20 ppm (Matys Grygar et al., 2017). V nivních sedimentech je znečištění nejlépe patrné na hloubkových profilech koncentrací.



Obr. 1 Geologická mapa studované oblasti s vyznačenými hloubkovými profily

2.2 Odběry a úprava vzorků

Místa odběru vzorků byla vyhledávána v záplavovém území řek na základě srovnání mapových podkladů, tj. historických map z druhého vojenského mapování (první polovina 19. století), císařských otisků stabilního katastru (1841–1842) a současných ortofotomap (2011, 2013, 2015). Lopatkou byly zhruba po 2 cm odebírány vzorky ze sondy vyhloubené asi do 30 cm. Pro odběr vzorků z větších hloubek (do 100 až 180 cm) byl používán ruční vrták (Eijkelkamp, Nizozemí). Vzorky byly značeny jako LMOx, GOx a PVOx, kde x je číslo daného odběru (sondy i vrtu). Po vysušení vzorků v laboratoři bylo provedeno ruční tření nebo strojové mletí v achátové misce (Matys Grygar et al., 2012, 2013; Nováková et al., 2013; Majerová et al., 2013).

2.3 Laboratorní analýzy

Analýzy celkového obsahu rtuti byly provedeny pomocí atomového spektrometru AMA254 v akreditované laboratoři Státního zdravotního ústavu v Ústí nad Labem nebo v laboratoři Geologického ústavu AV ČR, v.v.i., v Praze.

Ostatní geochemické analýzy byly provedeny podle postupů uváděných již dříve (Matys Grygar et al., 2012, 2013; Nováková et al., 2013). Prvkové analýzy byly prováděny na rtg fluorescenčním spektrometru s energiově disperzním (Si) detektorem (EDXRF), a to vzorky LMO1–LMO12 na přístroji MiniPal4 a ostatní na velmi podobném Epsilon 3x (oba vyráběné firmou PANalytical, Almelo, Nizozemí). EDXRF analýzami byla zjišťována intenzita analytického signálu jednotlivých prvků v c.p.s. (counts *per second*, signál detektoru na dané fluorescenční čáře). Ke kalibraci EDXRF byly využity hlavně analýzy certifikovaných referenčních materiálů a v menší míře pak hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) provedená v Laboratořích geologických ústavů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Metodika práce byla stejná jako v předchozích studiích, kde byla popsána podrobněji (Matys Grygar et al., 2014, 2016, 2017).

2.4 Zpracování dat

Hloubkové profily obsahů rizikových prvků byly hodnoceny pomocí metodiky vyvinuté dříve Matysem Grygarem a spolupracovníky (Matys Grygar et al., 2012, 2013; Nováková et al., 2013; Matys Grygar a Popelka, 2016).

Nivní sedimenty mají obvykle svrchní antropogenně kontaminovanou vrstvu. Pod ní je obvykle vrstva s relativně stabilní koncentrací těžkých kovů z preindustriálního období, tzv. geogenní pozadí. Pro vyhodnocení případné kontaminace je potřeba rozlišit koncentraci těžkých kovů v geogenním pozadí, od koncentrace těžkých kovů ve svrchní vrstvě. Zároveň je nutné z hodnocení vyloučit vrstvu ovlivněnou kolísající hladinou spodní vody, kde probíhají reduktomorfní procesy (např. glejení), za střídavého rozpouštění a vzniku oxidů železa a manganu, které na sebe váží většinu rizikových prvků, a tím ovlivňují jejich pohyb a koncentrace v sedimentárních profilech.

K hodnocení kontaminace byla použita metoda výpočtu faktoru nabohacení (LEF). Faktory nabohacení pro oblast povodí horní Ohře a povodí Reslavy jsou vypočteny na základě LEF uváděného výše.

$$\text{LEF} = [\text{M}]/[\text{M}]_{\text{BG}} \quad (1)$$

kde $[\text{M}]$ je aktuální koncentrace zájmového prvku v posuzovaném vzorku a $[\text{M}]_{\text{BG}}$ je koncentrace, kterou bychom v tomto vzorku očekávali, kdyby nebyl znečištěn nebo jinak ovlivněn (Covelli a Fontolan, 1997; Vijver et al., 2008; Bábek et al., 2015; Matys Grygar a Popelka, 2016). $[\text{M}]_{\text{BG}}$ v rovnici (1) je funkcí závislosti $[\text{M}]$ na vybraném prediktoru (prediktorech), např. na koncentraci prvku, jehož koncentrace není ovlivněna lidskou činností ani post-depoziční migrací, a který má podobnou závislost koncentrace na průměrné zrnitosti sedimentu, jako přírodní koncentrace zkoumaného prvku. Nejčastějšími prediktory obsahu rizikových prvků v sedimentech jsou Ti, Al, Rb či Fe (Matys Grygar a Popelka, 2016). Funkci $[\text{M}]_{\text{BG}}$ v dalším textu označujeme jako normalizační funkci. $[\text{M}]_{\text{BG}}$ se zjišťuje empiricky ze souboru neznečištěných vzorků (např. povodňových sedimentů starších než průmyslová kontaminace) dle metodiky publikované dříve (Covelli a Fontolan, 1997; Vijver et al., 2008; Grosbois et al., 2012; Matys Grygar et al., 2012, 2013, 2014, 2016; Nováková et al., 2013; Faměra et al., 2013). Pro hloubkové profily v nivách řeky Reslavy a horního toku Ohře byly použity normalizační funkce publikované v předchozí studii (Matys Grygar et al., 2016).

Pro ostatní hloubkové profily ve sledovaných povodích jednotlivých přítoků řeky Ohře nebylo zjišťováno geogenní pozadí, ale byla použita metoda dvojité normalizace (*double normalization*, Bouché et al., 2011, Chen et al., 2014; Dhivert et al., 2015, Matys Grygar a Popelka, 2016). Při této metodě je skutečná koncentrace každého cílového prvku M normalizována referenčním prvkem M_{REF} (Ti, Al, Fe, Si, Rb nebo Zr) a poté se dělí stejným poměrem pro průměrnou koncentraci ve svrchní zemské kůře (UCC). Důvodem tohoto zjednodušení byla pestrá geologická stavba oblasti a tedy obtížnost zjistit pro každou lokalitu místní pozadí.

$$\text{EF} = ([\text{M}]/[\text{M}_{\text{REF}}]) / ([\text{M}]/[\text{M}_{\text{REF}}])_{\text{UCC}} \quad (2)$$

Takovýto globální faktor nabohacení se označuje EF. Faktory nabohacení mědi, zinku, olova a uranu s použitím dvojité normalizace jsou uvedeny v Tabulce 1. Jako normalizační prvek jsme zvolili Ti, protože koncentrace Rb je místně ovlivněna přítomností granitických hornin, Al, Si a Zr jsou řízeny především velikostí částic sedimentu a obsah Fe v nivních sedimentech může kolísat v důsledku glejení (Matys Grygar a Popelka, 2016). EF představuje tedy nejlepší dostupnou náhradu LEF, ačkoliv jak bylo řečeno výše, LEF respektuje geologii povodí, topografii, klima a transportní mechanismy specifické pro každý studovaný fluvialní systém. Je důležité si uvědomit, že prahová hodnota LEF, nad níž je koncentrace prvku považována za zvýšenou není závislá na kvalitě a relevanci zvolené sady koncentrací UCC (Matys Grygar a Popelka, 2016). Obě tyto hodnoty však mají jinak stejný význam a lze je přímo srovnávat číselně.

Tabulka 1. Faktor nabohacení s použitím dvojité normalizace, kde jako M_{REF} je použit Ti ($(Ti)_{UCC} = 0,38368$). Koncentrace sledovaných kovů a normalizačních prvků je v ppm

$[M]_{UCC}$ (ppm)	$EF = ([M]/[M_{REF}]) / ([M]/[M_{REF}])_{UCC}$
$[Cu]_{UCC} = 28$	$EF Cu = ([Cu]/[Ti]) / 72,98$
$[Zn]_{UCC} = 67$	$EF Zn = ([Zn]/[Ti]) / 174,63$
$[Pb]_{UCC} = 17$	$EF Pb = ([Pb]/[Ti]) / 44,31$
$[U]_{UCC} = 2,7$	$EF U = ([U]/[Ti]) / 7,04$

Vzhledem k tomu, že nebyl nalezen vhodný prediktor pro normalizaci rtuti, faktor nabohacení rtuti (EF_{Hg}) byl vypočten na základě poměru skutečné koncentrace rtuti ve vzorcích (v jednotkách ppm) ku přirozenému obsahu rtuti ve svrchní zemské kůře 0,05 ppm (Rudnick a Gao, 2003).

$$EF_{Hg} = Hg / 0,05 \quad (3)$$

2.5 Dřívější práce

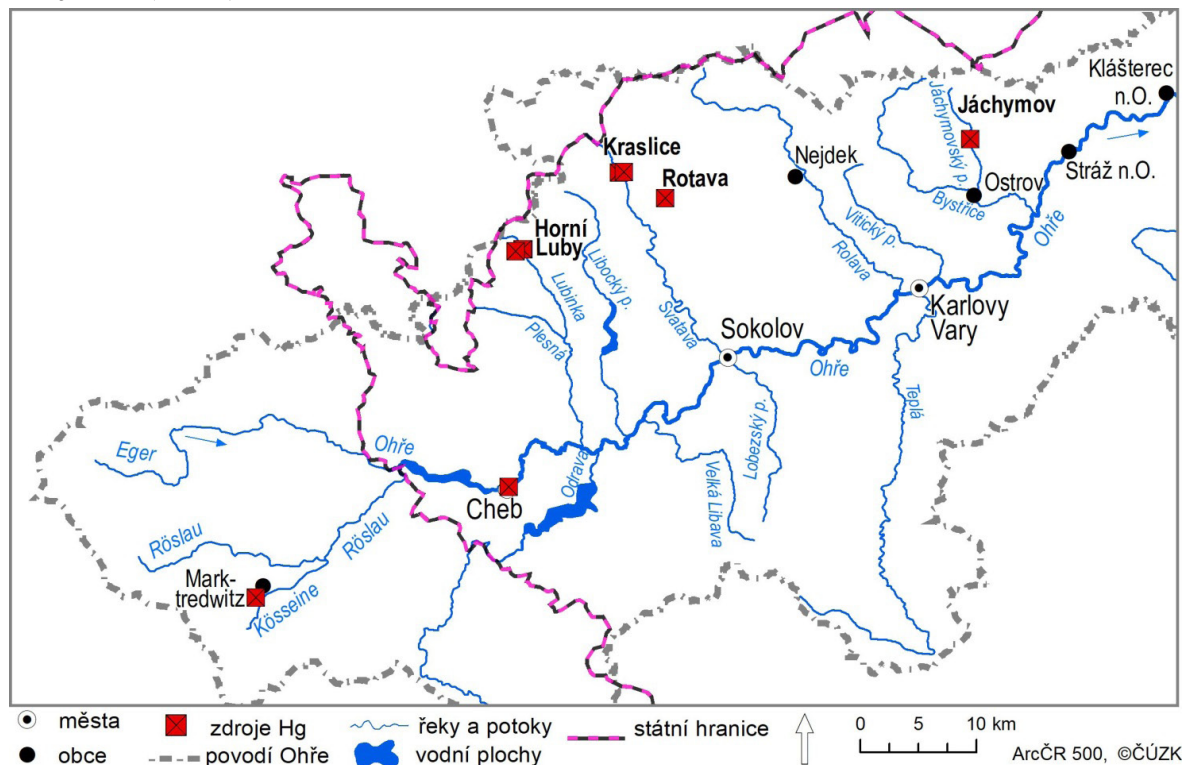
V předchozích studiích (Matys Grygar et al., 2012, 2013, 2016; Nováková et al., 2013, Majerová et al., 2013) na jiných říčních nivách byla vhodná odběrová místa vybírána především v distální nivě, kde se ukládají povodňové sedimenty. Tento postup se v případě řeky Ohře ukázal jako ne vždy použitelný, protože řeka Ohře ukládá sediment především bočně, tj. v bočně se pohybujícím nebo opouštěném korytě. Avšak přítoky Ohře na svých středních a dolních tocích nivy, kde se ukládají povodňové sedimenty, mívají. Vyhledávání míst odběru se proto provádělo na základě srovnání mapových podkladů, tj. historických map z druhého vojenského mapování (první polovina 19. století), otisků stabilního katastru (1841–1842), historických a současných ortofotomap a přesného modelu terénu DMR5G, pocházejícího z laserového skenování z roku 2010–2011 (Matys Grygar et al., 2016, 2017; Lelková, 2016). Pro výběr vhodného odběrového místa se v případě řeky Ohře ukázala nutná znalost potenciálních zdrojů znečištění, a proto jsme věnovali pozornost studiu psaných a elektronických informačních zdrojů.

Potenciální zdroje znečištění rtutí byly vybírány na základě studia dostupných informací, a to databáze České geologické služby, která eviduje úložná místa těžebního odpadu, databáze Ministerstva životního prostředí, tzv. Systém evidence kontaminovaných míst (SEKM), která je spravována agenturou CENIA, Studie státního podniku Povodí Ohře a.s., různé publikace, internetové články a informační brožury.

Při vyhledávání zdrojů znečištění jsme vycházeli ze znalosti přirozených zdrojů rtuti, jako jsou zvětrávání přírodních ložisek, sopečné výbuchy, lesní požáry, ale zejména ze znalosti antropogenních zdrojů rtuti, kterými jsou v průmyslově rozvinutých zemích spalování fosilních paliv a odpadů, cementárny, těžba a zpracování rud s obsahem rtuti, používání hnojiv a fungicidů s obsahem rtuti, skládky odpadů či průmyslové odpadní vody.

3. Zdroje rtuti v povodí Ohře

V povodí řeky Ohře byly identifikovány dva významné zdroje rtuti a další méně významné a možné zdroje rtuti (Obr. 2).



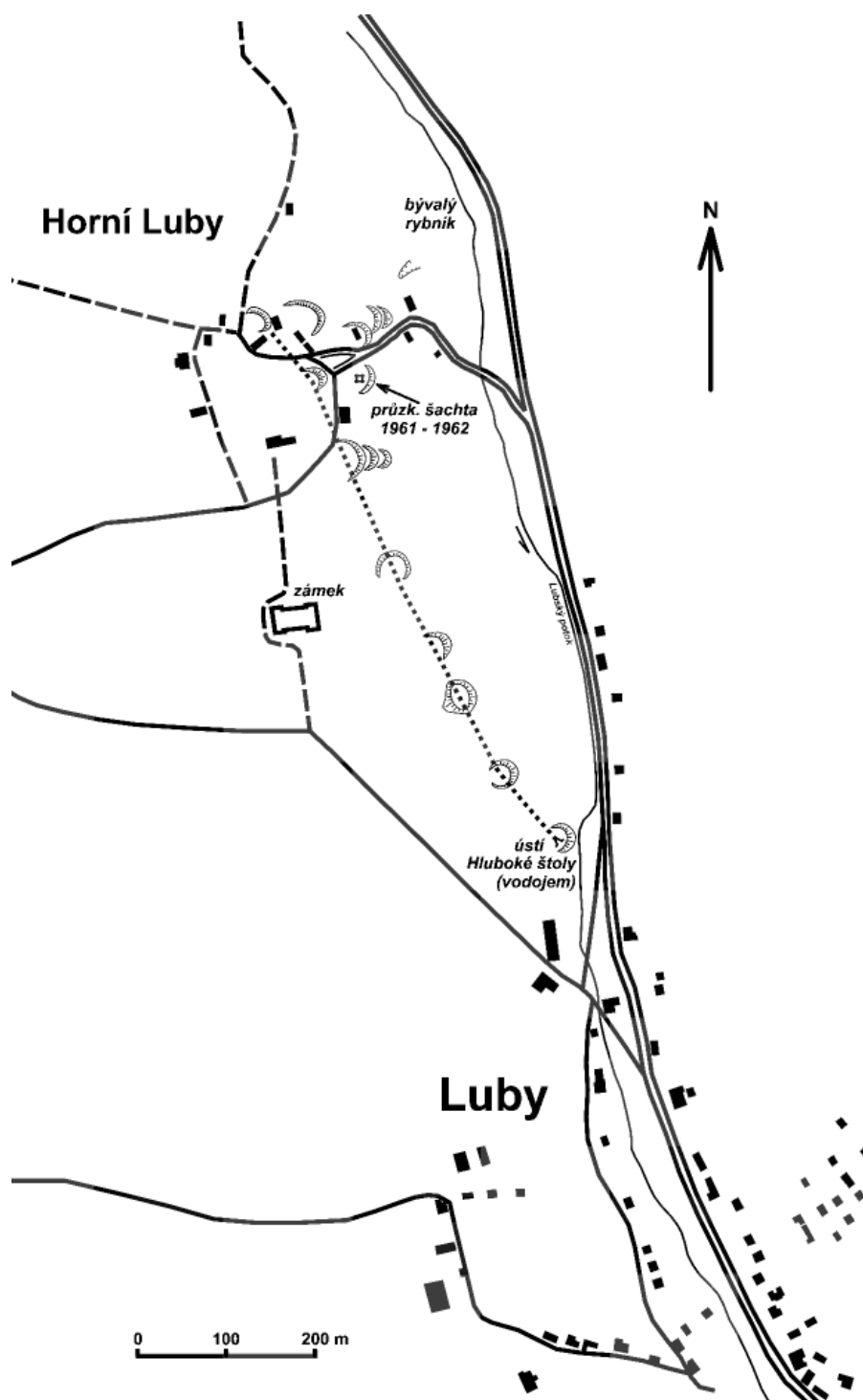
Obr. 2 Zdroje znečištění rtutí v povodí řeky Ohře

3.1 Chemická továrna v Marktredwitzu

Největším zdrojem rtuti v povodí řeky Ohře byla chemická továrna v Marktredwitzu (Chemische Fabrik W.C. Fikentscher) na výrobu organických i anorganických sloučenin rtuti, provozovaná v letech 1788 až 1985 (Defregger, 1995). Zpočátku se zde vyráběly chemikálie pro sklářský průmysl a probíhaly zde i alchymistické pokusy na výrobu zlata. Ve 20. století se přistoupilo k výrobě přípravků s obsahem rtuti, zejména různých pesticidů. Od roku 1907 se zde vyráběl tzv. Fusariol sloužící jako fungicid.

V roce 1985 propukl jeden z největších skandálů v oblasti životního prostředí v Německu a Evropě. Po skoro dvou stoletích výroby přípravků s obsahem rtuti bylo životní prostředí nejen v okolí chemické továrny ale i říční systémy pod továrnou natolik znečištěné, že bylo zrušeno povolení výroby a nařízeno továrnu uzavřít. Průzkumem bylo zjištěno, že podloží obsahuje až dva gramy rtuti na kilogram půdy. Též bylo třeba zlikvidovat kontaminovaný kal z koryta říčky Kössein (přítok Reslavy). Dodnes obsahují ryby z říčky nadměrné množství rtuti.

Prvotním zdrojem rtuti byly úkapy rtuti během výroby, následná kontaminace podloží a vyústění dešťové kanalizace do říčky Kössein. Druhotným zdrojem rtuti byla revitalizace říčky Kössein a řeky Reslavy a přirozená eroze jejich břehů. Vodní nádrž Skalka dostavěná v roce 1964 zabránila ukládání rtuti dále po proudu od soutoku Reslavy s Ohří, ale stalo se tak na úkor zvýšení koncentrace rtuti v sedimentech v nádrži (Titl et al., 2011). Dodnes obsahují ryby v nádrži Skalka nadměrné množství rtuti a jejich konzumace se nedoporučuje.



Obr. 3 Haldy dolů Zvěstování panny Marie a Tří králů v Horních Lubech, haldy světlíků dědičné štoly, průběh dědičné štoly a ústí průzkumné šachty z let 1961 - 1962; překresleno podle Chrta a Strnada (1961), doplněno (Velebil, 2009)

3.2 Těžba cinabaritu v Horních Lubech u Chebu

Dalším možným významným zdrojem rtuti bylo dolování cinabaritu v Horních Lubech u Chebu ležící v povodí říčky Lubinky, která je přítokem říčky Plesné. Počátek těžby je datován různými autory na základě nepodložených údajů do 12. až 14. století. V letech 1520 až 1570 byl cinabarit dobýván nejintenzivněji. V tomto období se jednalo o evropsky významné ložisko, které konkurovalo dobově nejvýznamnějším idrijským rtuťovým dolům ve Slovinsku a dolům v Almadénu ve Španělsku. Těžba probíhala až do roku 1812, poté ještě probíhaly pokusy o její obnovení (Velebil, 2009). Dodnes jsou pozůstatky těžby cinabaritu patrné na povrchu haldami, zčásti ještě existujícími a zčásti rozvezenými

v nedávných dobách (Obr. 3). Nejméně jedna halda byla zrušena v roce 1994 při výstavbě golfového hřiště (Velebil, 2009). V současné době Česká geologická služba registruje tři úložná místa odvalů, a to pod zámeckými loukami a zámeckým hospodářským stavením, pod školou a u zasypané těžební jámy pod Lubskou Lípou.

3.3 Výroba stříbra v Jáchymově

Dalším předpokládaným zdrojem rtuti byla výroba stříbra studenou amalgamací rtuti v Jáchymově v letech 1776–1813 a 1820–1849, ke které se přistoupilo v důsledku vysoké spotřeby dřeva a velké ztráty stříbra při klasickém způsobu získávání stříbra tavením. Amalgamací bylo dosaženo vyšší výtěžnosti stříbra a nižších provozních nákladů (Majer, 2000; Suldovský a Horák, 2009). Pro bližší určení místa, kde docházelo k amalgamací, bylo na základě historických dokumentů zjištěno, že se od roku 1800 hutní pece několikrát přestavovaly. Roku 1853 pak byla přestavěna celá huť pod městem Jáchymovem u soutoku obou potoků, které tvoří Bystřici (Hrabák, 1902). Těžební revír Jáchymov odvodňuje Jáchymovský potok, který je přítokem říčky Bystřice, levostranného přítoku řeky Ohře.

3.4 Další možné zdroje rtuti

Výroba svítiplynu vysokoteplotní karbonizací černého uhlí v letech 1876–1942 v Kraslické plynárně je dalším možným zdrojem rtuti. Dnešní společnost RWE Energie, a.s. se nachází u Kamenného potoka, který je přítokem řeky Svatavy, levostranného přítoku řeky Ohře. Primárními zdroji kontaminace horninového prostředí a podzemní vody by mohly být nedostatečně likvidované původní technologie výroby svítiplynu. Jedná se hlavně o podzemní jímky na dehet, které nebyly při likvidaci výroby svítiplynu dostatečně vyčištěny a byly zasypany nejruznějším materiálem - stavební sutí a zeminami. Vlivem netěsnosti jímek pak dochází k šíření kontaminace do nesaturované a saturované zóny horninového prostředí a k potenciálnímu ohrožení recipientů. Nezanedbatelným problémem v nesaturované zóně jsou staré odpady překryté vrstvou různých navážek. Podzemní dehtový zásobník se průzkumnými pracemi nepodařilo lokalizovat, jeho nejpravděpodobnější umístění je v prostoru vymezeném regulační stanicí, skladem olova a sklady při severní hranici areálu. V roce 2002 byly zahájeny práce na odtěžení obsahu jímek a kontaminované zeminy na břehu Kamenného potoka. (SEKM, cit. 2017-03-15)

Na řece Svatavě leží těž areál AMATI - Denak, s.r.o., kde byly rozvíjeny průmyslové činnosti již v 18. století. Po 2. světové válce se zde začaly vyrábět hudební nástroje, doplňkovou výrobou je zpracování barevných kovů a galvanické pokovování. (SEKM, cit. 2017-03-15)

Městská skládka Rotava leží na břehu drobného nepojmenovaného potoka, který ústí do Novoveského potoka, přítoku říčky Svatava. Na bývalé, značně rozsáhlé skládce tuhého komunálního odpadu je část odpadů trvale ve styku s povrchovou vodou, případně s oscilující hladinou podzemní vody. Na skládce se nachází značné množství neodborně skládkovaných zářivek, které mohou do svého okolí uvolňovat rtuť. Nadlimitní obsah rtuti byl potvrzen v rámci hydrogeologického průzkumu prováděného v roce 1997. (SEKM, cit. 2017-03-15)

V neposlední řadě je možným zdrojem rtuti chebská plynárna, kde probíhala výroba svítiplynu karbonizací černého uhlí v letech 1864–1968. Dnešní RWE Energie, a.s. Cheb se však nachází 210 metrů od břehu řeky Ohře v lokalitě pod nádrží Skalka. Primárními zdroji kontaminace horninového prostředí a podzemní vody by mohly být stejně jako v Kraslické plynárně nedostatečně likvidované původní technologie výroby svítiplynu, a to podzemní jímky na dehet, které nebyly při likvidaci výroby svítiplynu dostatečně vyčištěny, ale jen zasypany. Vlivem netěsnosti jímek pak dochází k šíření kontaminace do nesaturované a saturované zóny horninového prostředí a potenciálnímu ohrožení recipientů. (SEKM, cit. 2017-03-15)

4. Výsledky

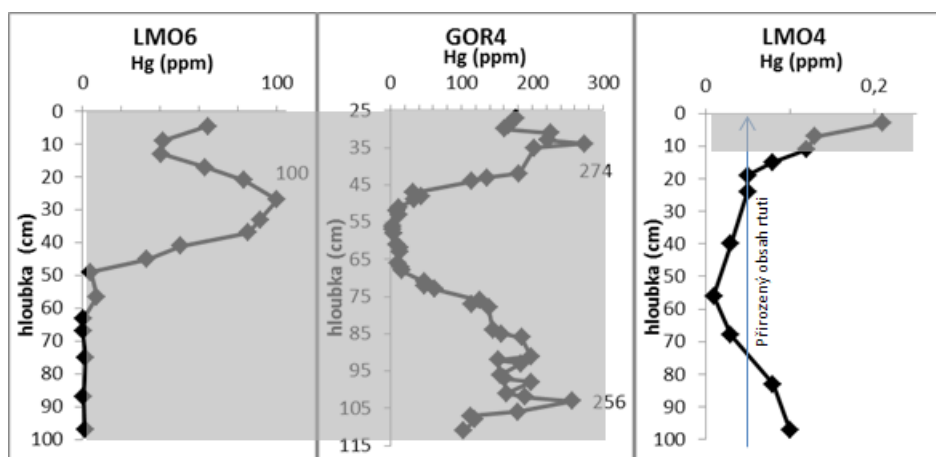
4.1 Zdroj v Markredwitzu

4.1.1 Znečištění rtuť

Největším zdrojem rtuť v nivě řeky Ohře je bezesporu bývalá chemická továrna v Markredwitzu. V hloubkovém profilu LMO6 v nivě řeky Reslavy, těsně před jejím soutokem s Ohří, byly zjištěny vysoké koncentrace rtuť, především v hloubce 27 cm, a to 100 ppm. Vysoká koncentrace rtuť je až do hloubky 45 cm, pak již koncentrace rtuť klesá.

V těže nivě řeky Reslavy však byly zjištěny v hloubkovém profilu GOR4 až trojnásobně vyšší koncentrace rtuť. Koncentrace kolem 100 ppm byla zjištěna již v horních 20 cm, poté rapidně stoupá. V hloubce 20–30 cm kolísá mezi 160 a 180 ppm. V hloubce 35 cm dosahuje svého maxima 274 ppm. Do 45 cm koncentrace rtuť postupně klesá na 115 ppm, poté následuje prudký pokles koncentrace rtuť až na 3 ppm v hloubce 60 cm. Následně opět pozvolně stoupá až do 75 cm, kde koncentrace rtuť dosahuje hodnoty 63 ppm, dalšího maxima dosahuje v hloubce 103 cm, a to 256 ppm. Hloubkový profil GOR4 byl odebrán v části nivy, která je položena níže než část, ve které byl odebrán hloubkový profil LMO6. Níže položená niva je zaplavována při nižších průtocích, tudíž v ní dochází k většímu usazování znečištěných sedimentů méně zředěných čistším materiálem z břehové eroze.

Naproti tomu v hloubkovém profilu LMO4, který se nachází nad soutokem řeky Ohře s řekou Reslavou (tj. proti proudu od soutoku), bylo nalezeno maximálně 0,2 ppm rtuť ve svrchní vrstvě, což odpovídá běžným koncentracím v půdách zasažených atmosférickým spadem rtuť (Obr. 4).

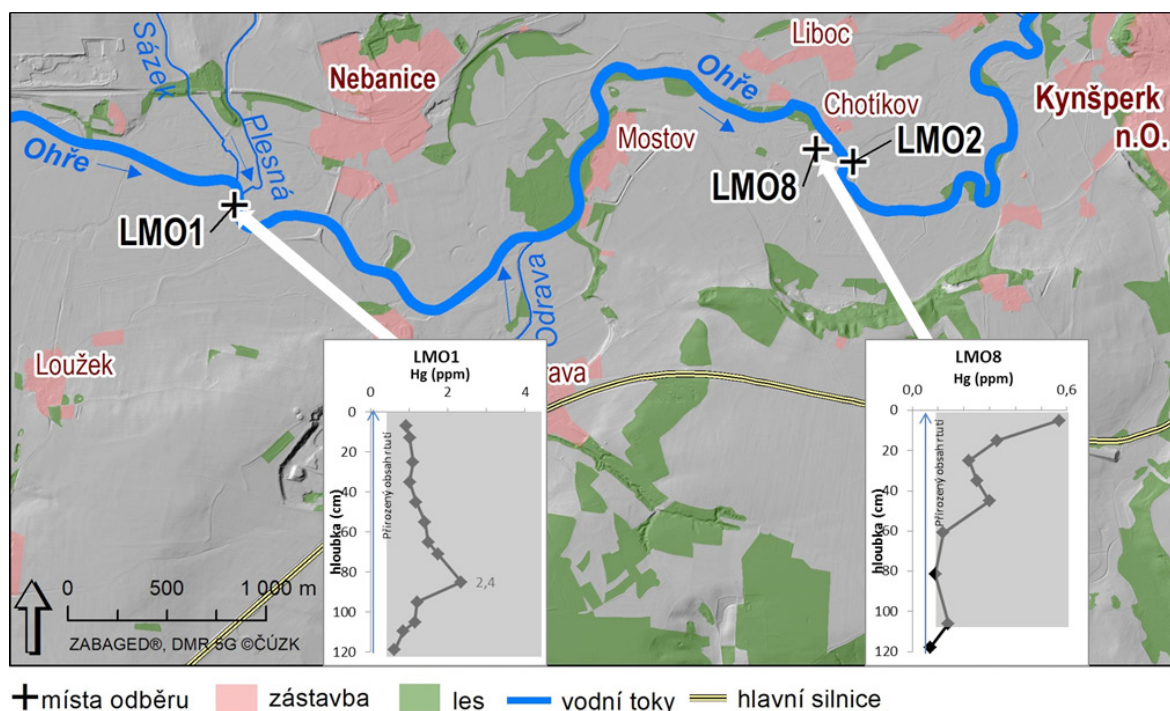


Obr. 4 Porovnání hloubkových profilů rtuť LMO6 a GOR4 v nivě řeky Reslavy a LMO4 v Ohři nad soutokem s Reslavou - závislost koncentrace rtuť na hloubce.

↑ - značí přirozený obsah rtuť ve svrchní zemské kůře. Šedě je vyznačena kontaminace rtuť

Pod nádrží Skalka v místě soutoku s říčkou Plesná, jejímž přítokem je říčka Lubinka, byl proveden hloubkový profil LMO1, a to v historickém korytě Ohře, dnes prakticky zazemněném. Koncentrace rtuť postupně roste až na 2,4 ppm v hloubce 85 cm. Zde je patrný vliv nádrže Skalka, která od roku 1964 brání dalšímu masivnímu transportu rtuť z povodí řeky Reslavy, koncentrace rtuť směrem k povrchu klesají.

Hloubkový profil LMO8 nacházející se dále po proudu v nivě řeky Ohře pod nádrží Skalka vykazuje též znečištění rtuť, i když v menší míře než v případě LMO1. Profil byl v zaplavované oblasti v blízkosti koryta, takže předpokládáme, že maximální koncentrace rtuť 0,57 ppm v horních 5 cm pochází z fluvialního přínosu a ne např. z atmosférické depozice. Až do 45 cm pak koncentrace rtuť kolísá v rozmezí 0,22 až 0,30 ppm (Obr. 5).



Obr. 5 Porovnání hloubkových profilů rtuti LMO1 a LMO8 - závislost koncentrace rtuti na hloubce
 ↑ - značí přirozený obsah rtuti ve svrchní zemské kůře. Šedě je vyznačena kontaminace rtuti

4.1.2 Znečištění doprovázející rtuť

Hloubkové profily horního toku Ohře vykazují zvýšený obsah zinku s výjimkou hloubkových profilů LMO3 a LMO4, které se nacházejí nad soutokem s řekou Reslavou a nebyly ovlivněny znečištěním rtuť z bývalé továrny v Marktredwitzu. V případě hloubkového profilu LMO1 nacházejícího se pod nádrží Skalka je pravděpodobně patrný vliv její výstavby. Faktor nabohacení zinku postupně roste od hloubky 50 cm z hodnoty 2,5 až na 3,9 v hloubce 75 cm, poté zase klesá na hodnotu 2,5 v hloubce 110 cm, což pravděpodobně odpovídá znečištění pocházejícímu z chemické továrny v Marktredwitzu. U hloubkových profilů nacházejících se v nivě řeky Reslavy se pohybuje faktor nabohacení zinku kolem 3 až 4. U LMO6 je faktor nabohacení zinku kolem hodnoty 3 až do hloubky 35 cm, poté prudce klesá.

Stejný trend se ukazuje v případě znečištění olovem. Faktor jeho nabohacení u LMO1 dosahuje nejvyšší hodnoty 1,8 v 75 cm. U hloubkového profilu LMO6 nacházejícího se v nivě řeky Reslavy je faktor nabohacení olova kolem hodnoty 2 až do hloubky 35 cm.

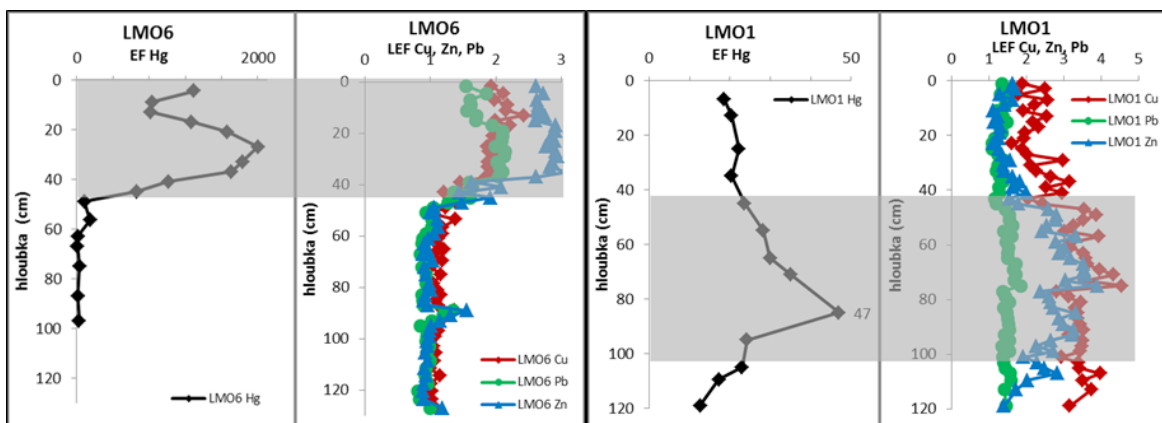
V případě faktoru nabohacení mědi však ukazuje hloubkový profil LMO1 na možné ovlivnění dalšími zdroji znečištění. Maximální faktor nabohacení dosahuje opět v hloubce 75 cm, a to 4,5. V případě LMO6 v nivě Reslavy se však pohybuje faktor nabohacení pouze kolem hodnoty 2 (Obr. 6). Podobně relativně nabohacené jsou sedimenty v LMO1 zinkem.

4.2 Horní Luby

Výsledky analýz potvrdily vliv historické těžby cinabaritu v povodí říčky Lubinky pramenící ve Smrčinách a protékající obcí Luby a Nový Kostel. V katastru Horní Luby se výrazně projevila historická těžba cinabaritu a jeho zpracování v mlýně Neue Mühle (Obr. 7). V hloubkovém profilu LMO19, který byl odebrán v nivě na levém břehu Lubinky asi 100 metrů pod bývalým mlýnem Neue Mühle a haldami, které se dodnes nachází na pravém břehu Lubinky, byl potvrzen zvýšený obsah rtuti. Od povrchu do 10 cm hloubky kolísá koncentrace rtuti mezi cca 30–45 ppm, do 20 cm hloubky se vyskytuje v nižší koncentraci, tj. mezi 23–30 ppm. Ve 40 cm hloubky je koncentrace rtuti 112 ppm, v hloubce 80 cm dokonce 154 ppm (Obr. 7).

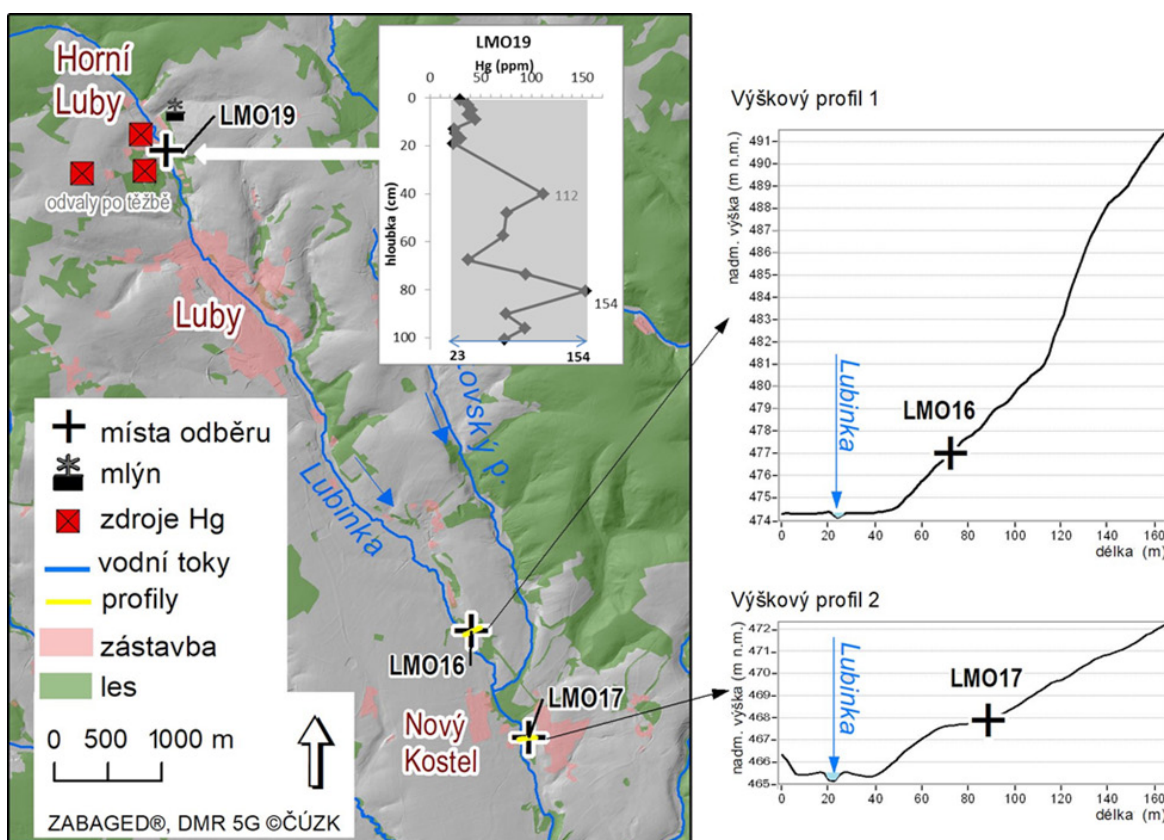
Historická těžba rtuti pravděpodobně ovlivnila i vzdálený hloubkový profil LMO17 na stejné řece u obce Nový Kostel, kde koncentrace rtuti kolísá až do hloubky 40 cm v rozmezí 0,26 ppm

až 0,31 ppm. Maximální hodnota 0,57 ppm byla naměřena v hloubce 31 cm. Naproti tomu u hloubkového profilu LMO16, který je blíže k LMO19, se znečištění rtuť neprojeví. Maximální naměřená koncentrace 0,13 ppm rtuť v hloubce 45 cm je těsně nad limitem, který považujeme za hranici znečištění (Obr. 8). Na výškovém profilu údolí z digitálního modelu terénu je vidět, že profil LMO16 se nachází ve strmém svahu, kde se sedimenty nemohly usazovat. Naopak profil LMO17 leží v relativně níže položeném místě na plochem povrchu, připomínajícím terasu, kde k uložení sedimentů docházet mohlo (Obr. 7).

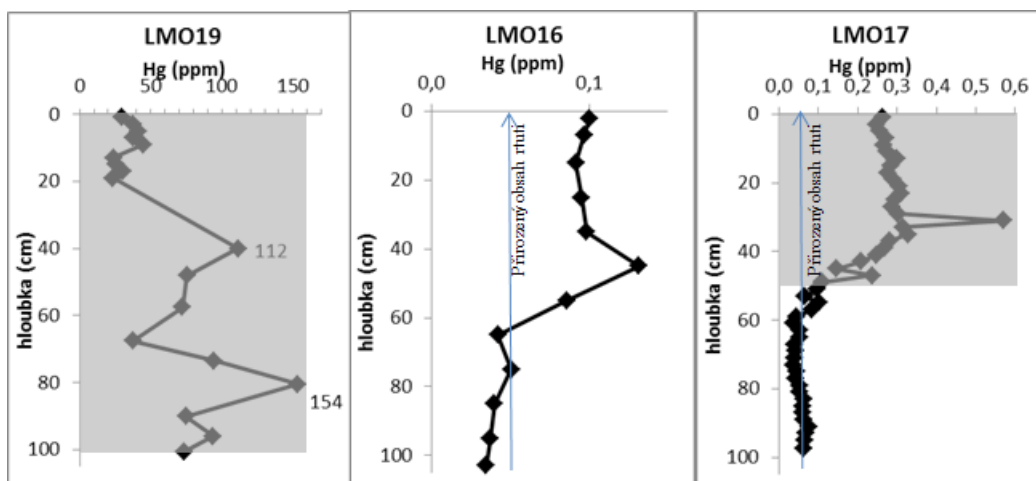


Obr. 6 Hloubkové profily LMO1 (Ohře pod nádrží Skalka) a LMO6 (Reslava, tj. nad nádrží Skalka)

Porovnání závislosti faktorů nabohacení rtuť na hloubce, a závislosti lokálních faktorů nabohacení mědi, zinku a olova na hloubce. Šedě je vyznačena nejkontaminovanější vrstva



Obr. 7 Hloubkový profil LMO19 ovlivněný těžbou cinabaritu
Závislost koncentrace rtuť na hloubce. Šedě je vyznačena kontaminace rtuť



Obr. 8 Hloubkové profily LMO16, LMO17, LMO19 - závislost koncentrace rtuti na hloubce

↑ - značí přirozený obsah rtuti ve svrchní zemské kůře.
Šedě je vyznačena vrstva kontaminovaná rtutí

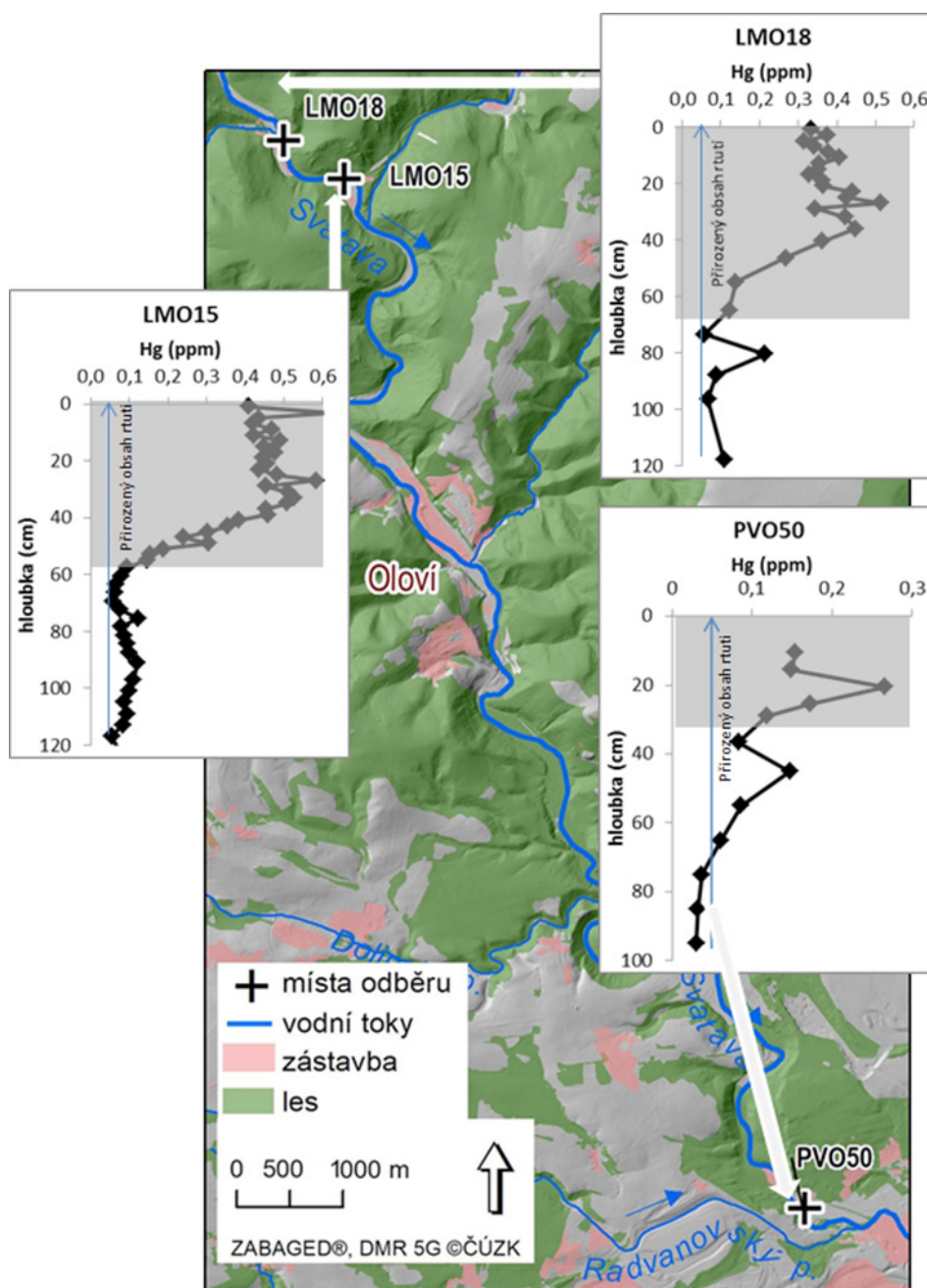
4.3 Kraslice a Rotava

4.3.1 Znečištění rtutí

Bývalá tlaková plynárna v Kraslicích, která je dodnes evidována v SEKM jako historická zátěž, pravděpodobně ovlivnila kvalitu sedimentů v nivě řeky Svatavy. V hloubkovém profilu LMO15, který zároveň leží v rozlivové zóně říčky Rotavy, byla zjištěna koncentrace v horních 27 cm až 0,5 ppm rtuti. Maximální koncentrace 0,63 ppm byla zjištěna těsně pod povrchem, v hloubce 4 cm, ve 27 cm pak byla zjištěna koncentrace 0,58 ppm rtuti. Až do 50 cm hloubky klesá koncentrace rtuti na 0,30 ppm, hlouběji na 0,18 ppm až 0,05 ppm.

Obdobné znečištění se projevilo i u hloubkového profilu LMO18 necelý kilometr proti proudu řeky Svatavy nad hloubkovým profilem LMO15, tedy v místě, které již není v rozlivové zóně říčky Rotavy. V hloubkovém profilu LMO18 byla zjištěna maximální koncentrace rtuti 0,51 ppm v hloubce 27 cm. Do hloubky 43 cm kolísají naměřené hodnoty mezi 0,3 ppm a 0,5 ppm. Znečištění rtutí je tedy obdobné u hloubkových profilů LMO15 a LMO18 (Obr. 9).

Profil PVO50, který je v nivě na dolním toku řeky Svatavy (před soutokem s Ohří), je znečištěn rtutí již mnohem méně než v LMO15 a LMO18. Maximální koncentrace rtuti 0,26 ppm byla zjištěna v hloubce 20 cm. Do zhruba 40 cm byly naměřeny hodnoty kolem 0,15 ppm rtuti (Obr. 9). Fakt, že sedimenty LMO15 a LMO18 představují historické sedimenty z doby těžby kovů v povodí Svatavy, plyne z analýzy doprovodných rizikových prvků (viz níže).

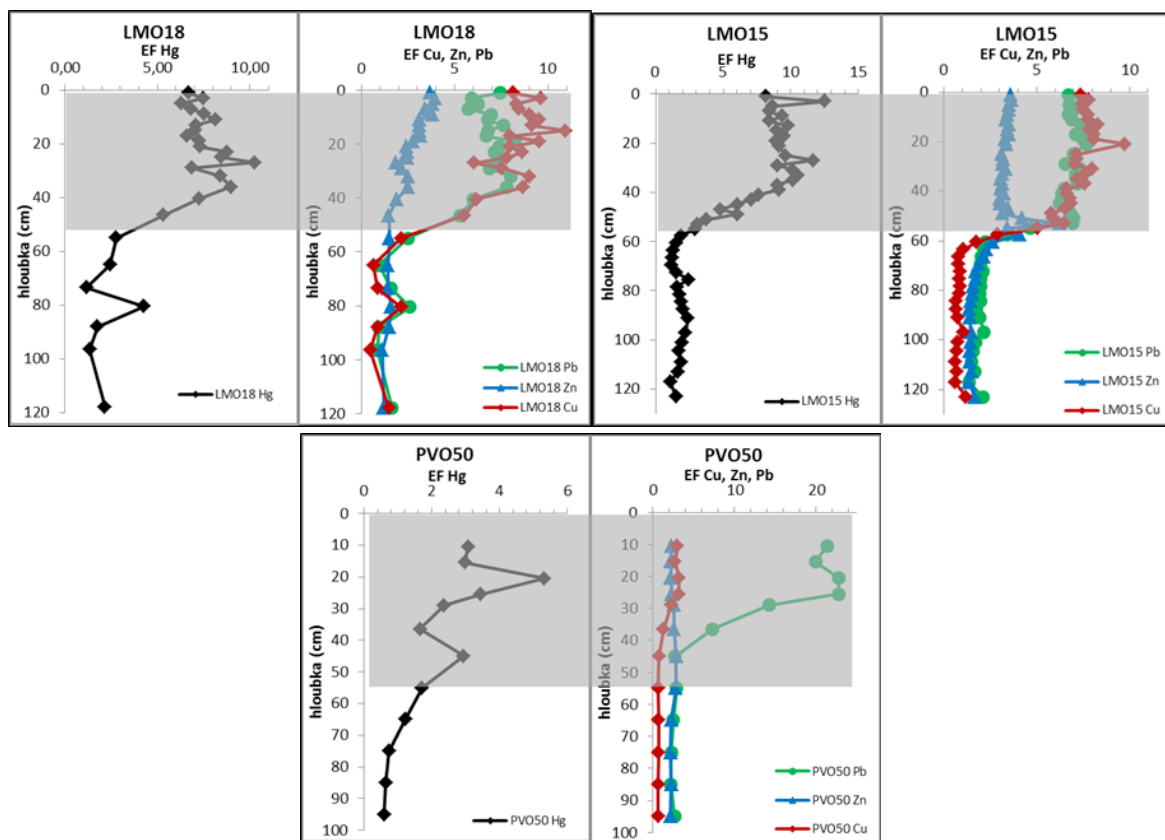


Obr. 9 Hloubkové profily LMO15, LMO18 a PVO50 – závislost koncentrace rtuti na hloubce

↑ - značí přirozený obsah rtuti ve svrchní zemské kůře. Šedě je vyznačena vrstva kontaminovaná rtutí

4.3.2 Znečištění doprovázející rtuť

Znečištění rtutí je stejně jako v případě hloubkových profilů znečištěných z bývalé továrny v Marktredwitzu doprovázeno i dalšími kovy, zejména mědí a olovem, jak je patrné z porovnání faktorů nabožení rtuti, mědi, olova a zinku u hloubkových profilů LMO15, LMO18 a PVO50. Obsah rtuti v profilu LMO18 je až jedenáctinásobně vyšší a v LMO15 až dvanáctinásobně vyšší než je přirozený obsah rtuti ve svrchní zemské kůře uváděné jako 0,05 ppm dle Rudnicka a Gaa (2003). V sledovaných profilech LMO15 a LMO18 dosahuje faktor nabožení mědi hodnoty 11, faktor nabožení olova hodnoty 8 a faktor nabožení zinku hodnoty 4. Hloubkový profil PVO50 vykazuje obdobný trend znečištění mědí, olovem a zinkem jako LMO15 a LMO18 (Obr. 10). V povodí Svatavy totiž od 16. století probíhala těžba a výroba mědi (Kraslice) a olova (Oloví) (Matys Grygar et al., 2016, 2017). Zvýšené koncentrace rtuti se ale vyskytují prakticky ve stejných hloubkách, jako tyto „historické“ rizikové prvky. Mohly by tedy pocházet ze stejného období.

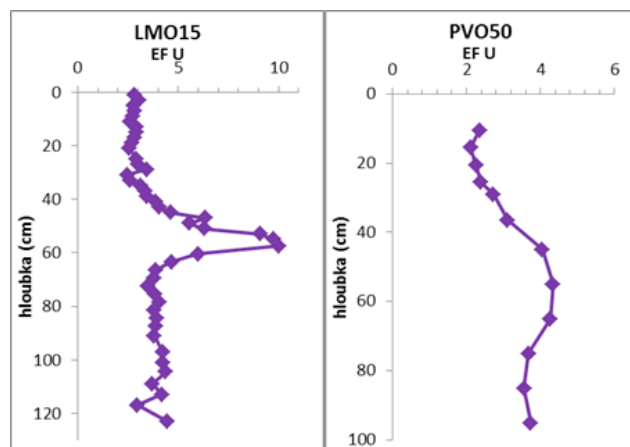


Obr. 10 Hloubkové profily LMO15, LMO18 a PVO50

Porovnání závislosti faktorů nabohacení rtuti, mědi, zinku a olova na hloubce. Šedě je vyznačena nejkontaminovanější vrstva. Hloubkové profily ukazují na podobné období znečišťování všemi uvedenými prvky

4.3.3 Uran

Dalším rizikovým prvkem, který byl zjištěn v hloubkových profilech povodí řeky Svatavy, je uran. V tomto případě se však patrně jedná o přirozený výskyt uranu z granitického podloží v povodí Svatavy. Výrazně zvýšené obsahy v profilu LMO15 v hloubce 40 cm až 60 cm (Obr. 11) jsou v písčité vrstvě v této hloubce, ve které se patrně nahromadily těžké minerály s obsahem uranu; právě v těchto se většina U v sedimentech obvykle vyskytuje.



Obr. 11 Hloubkové profily LMO15 a PVO50

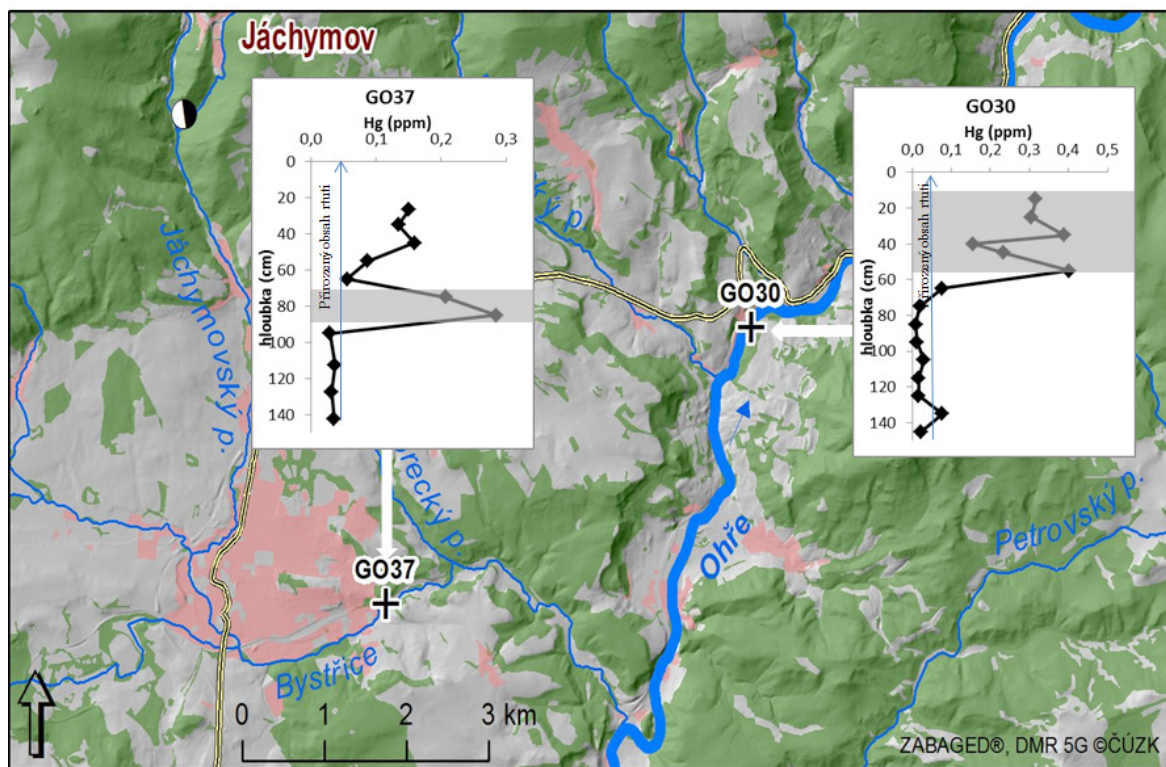
Závislost faktorů nabohacení uranu na hloubce

4.4 Jáchymov

V hloubkovém profilu GO37 z nivy říčky Bystřice se projevilo znečištění rtuť v menší míře než u profilů ovlivněných chemickou továrnou v Marktredwitzu a těžbou cinabaritu, ale o znečištění, které přesahuje běžné koncentrace v půdách zasažených atmosférickým spadem rtuť, se určitě jedná. Lze tedy připustit, že může jít o vliv historické amalgamace stříbra, protože rtuť se v jáchymovském revíru nikdy netěžila. Hloubkový profil GO37 je nejvíc znečištěn v hloubce 75 cm až 95 cm, kde byla naměřena hodnota 0,28 ppm rtuť (Obr. 12). Vzhledem k tomu, že ve stejné hloubce byla naměřena i zvýšená koncentrace olova používaného při výrobě stříbra, pak tato hloubka odpovídá znečištění z období před průmyslovou revolucí (Obr. 13).

Hloubkový profil GO30 se nachází v nivě řeky Ohře pod soutokem s Bystřicí. Maximální koncentrace rtuť 0,4 ppm byla naměřena v hloubce 40 cm a 60 cm. Tato koncentrace přesahuje maximální koncentraci v hloubkovém profilu GO37 v nivě Bystřice (Obr. 12). Lze tedy soudit, že zdrojem rtuť v GO30 byl spíš přínos z horního toku Ohře (viz výše) než jáchymovský rudní revír.

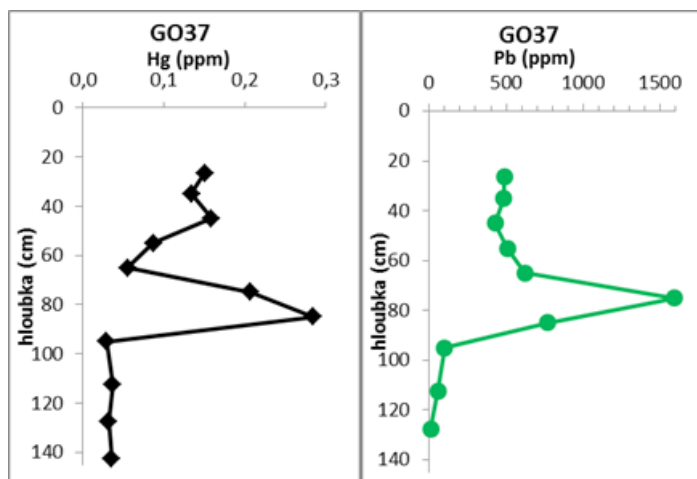
Hloubkový profil LMO10 ve Stráži nad Ohří známky znečištění rtuťi nevykazuje. Koncentrace rtuťi je až do hloubky 70 cm maximálně 0,086 ppm. V nivě na středním toku Ohře, kde je řeka ostře zařiznutá do skalního podloží, je ale velmi omezené ukládání jemnozrnných sedimentů (Matys Grygar et al., 2017), takže záznam znečištění z horního toku Ohře tam nelze ani předpokládat.



† místa odběru zástavba les vodní toky hlavní silnice

Obr. 12 Hloubkové profily GO30 a GO37 - závislost koncentrace rtuťi na hloubce

↑ - značí přirozený obsah rtuťi ve svrchní zemské kůře. Šedě je vyznačena vrstva kontaminovaná rtuťi



Obr. 13 Hloubkový profil GO30

Závislost rtuti a olova na hloubce

5. Diskuze

Studiem hloubkových profilů řeky Ohře a jejích významných přítoků byly potvrzeny největší zdroje znečištění povodí řeky Ohře rtutí. Nejvýznamnějším zdrojem rtuti je prokazatelně chemická továrna v Marktredwitzu. Hloubkové profily v povodí řeky Reslavy těsně před soutokem s řekou Ohří vykazují 2000–5000 krát vyšší obsah rtuti oproti běžnému výskytu rtuti ve svrchní zemské kůře. Podle míry kontaminace korytových sedimentů znečišťování Ohře pod Chebem vrcholilo někdy v 19. století (Matys Grygar et al., 2017). Výstavba přehrady Skalka v roce 1964 zabránila dalšímu masivnímu transportu rtuti řekou, ačkoliv znečištění rtutí je i v sedimentech dále po proudu pod nádrží Skalka stále měřitelné (Obr. 4 a 5). Sedimenty přehrady Skalka patří ke třem nejvíce rtutí znečištěným místům v ČR (spolu s okolními Spolany Neratovic a provozu Spolchemie v Ústí nad Labem. Koncentrace Hg na dně Skalky kolísají mezi 0,1 a 15 ppm s průměrem 2,5 ppm (Titl et al., 2011). Ryby z nádrže Skalka mají nejvyšší známé obsahy Hg v rámci sledování v ČR (Kenšová et al., 2012). Ve dnových sedimentech Nechranické přehrady bylo nalezeno „jen“ 0,5–1,3 ppm Hg (Šťastný et al., 2000). Pro srovnání dnové sedimenty přehrady Orlík na Vltavě obsahují 0,2–0,4 ppm Hg (Dvořák et al., 2017).

Jiným, méně dokumentovaným, dřívějším významným zdrojem rtuti povodí řeky Ohře byla historická těžba cinabaritu v Horních Lubech u Chebu. Hloubkový profil nacházející se v blízkosti původní těžby vykazuje známky obdobného znečištění jako hloubkové profily v povodí řeky Reslavy. Obsah rtuti v nivě Lubinky v oblasti těžby je až 3000 krát vyšší oproti běžnému výskytu rtuti ve svrchní zemské kůře. Ovšem dále po proudu hloubkové profily na řece Lubince již tak významné znečištění rtutí nevykazují; zjevně byl a je export rtuti z oblasti těžby velmi omezený. Rtuť z povodí řeky Lubinky a Plesné ovlivnila povodí řeky Ohře pravděpodobně v mnohem menší míře než rtuť z chemické továrny v Marktredwitzu (Obr. 7 a 8).

Zvýšený obsah rtuti byl potvrzen i v případě hloubkových profilů v povodí řeky Svatavy, kde se nachází méně specifické možné zdroje rtuti, a to bývalá tlaková plynárna v Kraslicích či AMATI – Denak, s.r.o., méně pravděpodobným zdrojem rtuti je též bývalá Městská skládka Rotava (Obr. 9). Dále po proudu řeky Svatavy je znečištění rtutí sice stále těsně nad úrovní přirozeného výskytu rtuti ve svrchní zemské kůře, avšak po naředění sedimentem transportovaným řekou Ohří se tyto zdroje rtuti jeví jako zanedbatelné, zvláště v porovnání se značným množstvím rtuti, kterou vyprodukovala bývalá chemická továrna v Marktredwitzu. Porovnáním hloubkových profilů rtuti a kovů z rud, které byly v historii těžené a zpracovávány v povodí Svatavy (měď v Kraslicích, olovo v Oloví, Obr. 10), se ale zdá, že zjištěné zvýšené koncentrace rtuti nepocházejí z moderních, ale spíše historických aktivit.

Historická amalgamace stříbra v Jáchymově je v hloubkových profilech méně zřetelná, avšak měřitelná. Znečištění v hloubce 75–95 cm profilu GO37 odpovídá době těžby a zpracování stříbra v Jáchymově (Obr. 12 a 13).

Nejenom znečištění z chemické továrny v Marktredwitzu, ale i historické zdroje znečištění v Chebu pravděpodobně kontaminovaly nivu řeky Ohře mědí a zinkem: jejich faktory nabohacení jsou vyšší v oblasti pod nádrží Skalka a pod Chebem (LMO1, Obr. 6) než v oblasti nad soutokem Reslavy s Ohří (LMO6, Obr. 6). Pravděpodobnými zdroji kontaminace mědi pod nádrží Skalka byly zřejmě bývalé továrny, jako Továrna Premiér, Firma Hermann Ernst, Strojárna a slévárna M. Fisher, letecká továrna nebo ES-KA Cheb.

Dále bylo zjištěno, že nivní sedimenty v povodí řeky Svatavy od soutoku s řekou Rotavou mají přirozeně vysokou koncentraci uranu (Obr. 11), což je jednoznačně způsobeno obsahem uranu ve sledované oblasti, která je tvořena granitem.

Zdroje rtuti se projeví i na dolním toku Ohře. Na Lounsku mají bočně uložené sedimenty Ohře z 19. a 20. století až 1,8 ppm rtuti (Matys Grygar et al., 2016). Sedimenty z koryta Ohře z 19. a počátku 20. století ještě dále po proudu v Pístech (Budyně nad Ohří) obsahují až 1,5 ppm rtuti (Fikarová et al., 2017). Nejenže tyto hodnoty přesahují značně nabohacení z atmosférického spadu, ale znečištění rtutí bylo zjištěno v hloubkách mnoha dm, což vylučuje jiný než říční přínos. Vzhledem k vlivu jednotlivých zdrojů rtuti na horním toku lze přisoudit znečištění rtutí na dolním toku Ohře továrně v Marktredwitzu.

6. Závěry

Největším zdrojem znečištění řeky Ohře rtutí byla po dobu 200 let nepopíratelně bývalá chemická továrna v Marktredwitzu a následně pak revitalizace a eroze břehů řek Kössein a Reslavy. Jako méně významný, dříve v minulosti působící zdroj rtuti, se jeví historická těžba cinabaritu v Horních Lubech u Chebu. Téměř zanedbatelnými zdroji rtuti jsou pak nespecifické zdroje v povodí řeky Svatavy, možná v souvislosti s historickými těžbami mědi a olova, a výroba stříbra studenou amalgamací rtuti v Jáchymově. Nádrž Skalka dostavená v roce 1964 zabránila dalšímu masivnímu transportu rtuti z povodí řeky Reslavy říčním systémem Ohře. Přesto se vliv továrny v Marktredwitzu projevil i zvýšenými koncentracemi rtuti v sedimentech Ohře na jejím dolním toku řeky.

Poděkování

Práce byly financovány Grantovou agenturou ČR (projekt č. 15-00340S) a institucionálními zdroji v Akademii věd ČR a Fakultě životního prostředí UJEP. Autoři děkují P. Vormovi, Z. Hájkové a M. Maříkové (IIC) za některé odběry (PVO) a laboratorní zpracování vzorků na XRF analýzu.

Seznam literatury

BÁBEK O., MATYS GRYGAR T., FAMĚRA M., HRON K., NOVÁKOVÁ T., SEDLÁČEK J. (2015) Geochemical background in polluted river sediments: how to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour? *Catena* 135, 240–253.

Blecha V., Štemprok M. (2012) Petrophysical and geochemical characteristics of late Variscan rhyolites in the Karlovy Vary massif (Czech Republic) - implications for gravity and magnetic interpretation at shallow depths. *J Geosci* 57:65–85

BOUCHEZ J., GAILLARDET J., FRANCE-LANORD C., MAURICE L., DUTRA-MAIA P. (2011) Grain size control of river suspended sediment geochemistry: clues from Amazon River depth profiles. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 12, Q03008.

COVELLI S., FONTOLAN G. (1997) Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Environmental Geology*, 30(1-2), 34-45.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA [online] Inventarizace úložných míst těžebních odpadů. Vydáno 15.1.2013. Aktualizováno 23.10.2015 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/gisviewer/?mapProjectId=17>.

DEFREGGER, F. (1995) Remediation of the Marktrechwitz Chemical Factory - First Experiences of a Large-Scale Washing and Distillation Plant for Mercury Contaminated Sites in Bavaria. Contaminated Soil '95 [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995, s. 903, ISBN 978-94-010-4188-1. Dostupné z: DOI: 10.1007/978-94-011-0421-0_15.

DHIVERT E., GROSBOIS C., RODRIGUES S., DESMET M. (2015) Influence of fluvial environments on sediment archiving processes and temporal pollutant dynamics (Upper Loire River, France). *Sci. Total Environ.* 505 (1), 121–136.

Dvořák T., Száková J., Vondráčková S., Košnář Z., Holečková, Z., Najmanová J., Tlustoš P. (2017) Content of Inorganic and Organic Pollutants and Their Mobility in Bottom Sediment from the Orlický Water Reservoir (Vltava River, Czech Republic), *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*.

FAMĚRA M., BÁBEK O., MATYS GRYGAR T., NOVÁKOVÁ T. (2013) Distribution of heavy-metal contamination in regulated river-channel deposits: a magnetic susceptibility and grain-size approach; River Morava, Czech Republic. *Water Air and Soil Pollution*, 224(5), 1525.

FIKAROVÁ J., KRŽIŽENECKÁ S., ELZNICOVÁ J., FAMĚRA N., LELKOVÁ T., MATKOVIC J., MATYS GRYGAR T. (2017) Spatial distribution of organic pollutants (PAHs and polar pesticides) in the floodplain of the Ohře (Eger) River, Czech Republic. *Journal of Soils and Sediments* (online). [cit. 2017-8-30]. Dostupné z: DOI 10.1007/s11368-017-1807-0.

GROSBOIS C., MEYBECK M., LESTEL L., LEFEVRE I., MOATAR F. (2012) Severe and contrasted polymetallic contamination patterns (1900-2009) in the Loire River sediments (France). *Science of the Total Environment* 435, 290-305.

HRABÁK J. (1902) *Hornictví a hutnictví v království Českém: jeho vznik a vývoj až po nynější stav*. Kommissie knihkupectví Františka Řivnáče v Praze.

CHEN J.-B., GAILLARDET J., BOUCHEZ J., LOUVAT P., WANG Y.-N. (2014) Anthropophile elements in river sediments: overview from the Seine River, France. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 15, 4526–4546.

KENŠOVÁ R., KRUŽÍKOVÁ K., SVOBODOVÁ Z. (2012) Mercury Speciation and Safety of Fish from Important Fishing Locations in the Czech Republic. *Czech J. Food Sci.* 30, 276–284.

LELKOVÁ T. (2016) *Zhodnocení historického znečištění horního toku řeky Ohře*. Diplomová práce, Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.

MAJER J. (2000) Výroba stříbra amalgamací v Jáchymově (1786-1848). *Dějiny věd a techniky* 33(2):65–84 ISSN 0300-4414.

MAJEROVÁ, L., MATYS GRYGAR, T., ELZNICOVÁ, J., STRNAD, L. (2013) The differentiation between point and diffuse industrial pollution of the floodplain of the Ploučnice River, Czech Republic. *Water, Air, & Soil Pollution*, DOI: 10.1007/s11270-013-1688-9.

MAJEROVÁ L., MATYS GRYGAR T., ELZNICOVÁ J. (2013) Znečištění nivních sedimentů řeky Ploučnice v oblasti Mimoně a České Lípy rizikovými prvky. *Studia Oecologica*, Ústí nad Labem. roč. VII, č. 2, s. 76 - 90.

MATYS GRYGAR T., SEDLÁČEK J., BÁBEK O., NOVÁKOVÁ T., STRNAD L., MIHALJEVIČ M. (2012) Regional Contamination of Moravia (South-Eastern Czech Republic): Temporal Shift of Pb and Zn Loading in Fluvial Sediments. *Water Air and Soil Pollution*, 223(2), 739-753.

MATYS GRYGAR T., NOVÁKOVÁ T., BÁBEK O., ELZNICOVÁ J., VADINOVÁ N. (2013) Robust assessment of moderate heavy metal contamination levels in floodplain sediments: A case study on the Jizera River, Czech Republic. *Science of the Total Environment*, 452–453, 233–245.

- MATYS GRYGAR T., ELZNICOVÁ J., BÁBEK O., HOŠEK M., ENGEL T., KISS T. (2014) Obtaining isochrones from pollution signals in a fluvial sediment record: a case study in a uranium polluted floodplain of the Ploučnice River, Czech Republic. *Appl. Geochem.* 48, 1–15.
- Matys Grygar T., Elznicová J., Tůmová Š., Faměra M., Balogh M., Kiss T. (2016) Floodplain architecture of an actively meandering river (the Ploučnice River, the Czech Republic) as revealed by the distribution of pollution and electrical resistivity tomography. *Geomorphology* 254, 41–56.
- MATYS GRYGAR T., ELZNICOVÁ J., KISS T., SMITH H.G. (2016) Using sedimentary archives to reconstruct pollution history and sediment provenance: The Ohře River, Czech Republic. *Catena* 144 (2016) 109–129.
- MATYS GRYGAR T., POPELKA J. (2016) Revisiting geochemical methods of distinguishing natural concentrations and pollution by risk elements in fluvial sediments. *Journal of Geochemical Exploration* 170 (2016), 39–57.
- Matys Grygar T., Elznicová J., Lelková T., Kiss T., Balogh M., Strnad L., Navrátil T. (2017) Sedimentary archive of contamination in the confined channel of the Ohře River, Czech Republic. *Soils Sediments*, (online). [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: DOI: 10.1007/s11368-017-1664-x.
- MILLER Z. (2011) Výskyt rtuti v nivních půdách horního toku řeky Ohře (Occurrence of mercury in fluvial soils of the upper reach of the Ohře River), Diplomová práce, Zemědělská fakulta Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (online) Systém evidence kontaminovaných míst. Vydáno 2009. Aktualizováno 2010 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.sekm.cz/>.
- NAVRÁTIL T., SHANLEY J., ROHOVEC J., HOJDOVÁ M., PENÍŽEK V., BUCHTOVÁ J. (2014) Distribution and Pools of Mercury in Czech Forest Soils. *Water, Air, & Soil Pollution* 225: 1829.
- NOVÁKOVÁ T., MATYS GRYGAR T., BÁBEK O., FAMĚRA M., MIHALJEVIČ M., STRNAD L. (2013) Distinguishing regional and local sources of pollution by trace metals and magnetic particles in fluvial sediments of the Morava River, Czech Republic. *Journal of Soils and Sediments*, 13(2), 460-473.
- RUDNICK, R., GAO, S. (2003) Composition of the continental crust. In: Rudnick, R.L., Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *The Crust Treatise on Geochemistry* 3. Elsevier–Pergamon, Oxford, pp. 1–64.
- Suldovský J., Horák V. (2009) *Kronika horního města Jáchymova v kontextu dějin Zemí koruny České*. Studio 071, Ústí nad Labem, ISBN 978–80–254-4701-7.
- ŠŤASTNÝ M., ŠREIN V., SPANILÁ T., SÝKOROVÁ I., BENDL J. (2000) Composition of sediments in water reservoirs of the Ohře River and their contamination. *Acta Universitatis Carolinae-Geologica* 44(2-4), 149-155.
- TITL, F., DOUCHA, J., TOPINKOVÁ, B., ORGOŇ, A. (2011) Rtuť na přítoku do nádrže Skalka - vyhodnocení a návrhy opatření. Zpráva pro AQUATEST a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5, Česká republika (online). [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://www.poh.cz/dotacni_tituly/170_studie.pdf.
- Velebil D. (2009) Dolování cinabaritu v Horních Lubech u Chebu, Česká republika (Cinnabar mining in Horní Luby (Ober Schönbach) near Cheb (Eger), Czech Republic). *Bull mineral-petrolog Odd. Nár. Muzea (Praha)* 17/2:39–61. ISSN: 1211–0329.
- VIJVER M.G., SPIJKER J., VINK J.P.M., POSTHUMA L. (2008) Determining metal origins and availability in fluvial deposits by analysis of geochemical baselines and solid-solution partitioning measurements and modelling. *Environmental Pollution*, 156(3), 832-839.