

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí



Kontaminace rizikovými prvky na Kutnohorsku a možnosti
jejího využití v paleoenvironmentálním výzkumu

Autoreferát dizertační práce

Jan Horák

Školitel: prof. RNDr. Michal Hejcman, PhD. et PhD.

Praha 2016

Doktorská dizertační práce „Kontaminace rizikovými prvky na Kutnohorsku a možnosti jejího využití v paleoenvironmentálním výzkumu“ byla vypracována v rámci doktorského studia na Katedře ekologie Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze.

Uchazeč: Mgr. et Mgr. Jan Horák

Obor: Ekologie

Školitel: prof. RNDr. Michal Hejcman, PhD. et PhD.

Oponenti:

prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr., Katedra geologie PŘF UPOL

doc. PhDr. Jaromír Beneš, Ph.D., Laboratoř archeobotaniky a paleoekologie, PŘF JČU

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D, Katedra geoenvironmentálních věd FŽP ČZU

Obhajoba dizertační práce proběhne 23. května 2016 na Fakultě životního prostředí ČZU, Kamýcká 129, Praha 6 - Suchdol

S dizertační prací je možné se seznámit na Oddělení pro vědu a výzkum FŽP ČZU v Praze, Kamýcká 129, Praha 6 - Suchdol

Abstract

The dissertation focuses on topic of using risk elements contamination as a stratigraphic marker in palaeoenvironmental research. The contamination is not studied only as itself, but is viewed as a way to analyse and interpret the sedimentary record of historical events. The contamination carries the information about its original place, its original activity, about development of the landscape.

The Kutná Hora region (central Bohemia; 49°57'0.170"N, 15°15'59.877"E) is a region of important historic mining and smelting activity. The mining started in 13th century and lasted until half of 16th century. Then only sporadic attempts of renewal were made. Spatially limited mining was renewed in second half of the 20th century. Therefore, it is highly probable to find here the contaminants in the role of stratigraphic markers. In the research were used mainly As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, V and Zn as these are the most analysed in contamination studies performed in the region.

The aims of the dissertation were to answer these questions:

To characterize the contamination

- Are some risk elements typical for the contamination originating from the mining and smelting?
- If so, is their environmental (spatial, sedimentary) manifestation diversified?
- Is possible diversity spatially related to particular landscape features or areas?
- Is possible diversity connected to particular activities?

To use the answers in analysis of particular sites

- Is it possible to use the risk elements contamination as stratigraphic marker in fluvial sediments?
- How is the interpretation of particular site influenced by the whole context of regional contamination?

The core of the research is the metaanalysis of contamination data coming from region (the data obtained by our research and also from other studies). The results have brought not only basic characteristics of contamination, mainly concentrations. The crucial result was the structure of studied elemental complex. Only As, Cd, Cu, Pb and Zn are connected to contamination originating in mining and smelting. Other elements – their concentrations and spatial distributions – are uninfluenced by mining and smelting activities. More, the information about connection of As and Cd to mining and Cu, Pb and Zn to smelting was revealed. Both groups recorded with different spatial distributions. Also comparison of results by different approaches has shown that some statistical

processing (clr-transformation) of such dataset was much better for interpretation than analyses of only concentrations values.

We studied also the area of confluence of two rivers – Klejnárka (main river draining contaminated region), which is tributary to Labe (Elbe) river. The contamination is still recognizable here, but the diversity between contamination elements is not. The confluence of rivers strongly dilutes the contaminated material. The concentrations decrease. Also here clr-transformation of data enabled to analyse structures of contaminants spatial distribution unrecognizable by concentrations values.

We performed also two vertical profiles analyses. It was shown, that it is highly risky to interpret data of such origin without the complex information about regional contamination context. It was revealed by contextual interpretation of data from one of the profiles, that there is a mixing of geochemical data coming from different statistical populations. The contamination works there as only one of the factors influencing sedimentary record. The site is therefore suitable for statistical testing of two populations mixing, outliers' detection and the like.

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Kutnohorsko	3
3.1.1. Výzkumy na Kutnohorsku	3
4. Výzkumy	5
4.1. Svatoanenský rybník	5
4.2. Mladý Hlízov	8
4.3. Metaanalýza	9
4.3.1. Cíle výzkumu	9
4.3.2. Diskuse	10
4.3.3. Závěr	14
4.4. Soutok Klejnárky a Labe	15
4.4.1. Cíle výzkumu	15
4.4.2. Diskuse	15
4.4.3. Závěr	18
5. Interpretace a diskuse v rámci celkového kontextu Kutnohorska	19
6. Závěr	21
6.1. Cíle práce	21
6.2. Významné poznatky	22
7. Literatura	24
8. Přílohy - obrázky a tabulky	28
9. Přílohy - publikace	34
Mgr. et Mgr. Jan Horák - CV	38

1. Úvod

Environmentální výzkum dnes tvoří významnou část světového vědeckého zaměření. Důvodem na té nejobecnější úrovni je jak snaha o obecné poznání stavu a fungování světa, tak i o poznání postavení člověka v něm. V neposlední řadě jsou důvodem i důsledky lidských činností nejen pro prostředí samotné, ale i jejich zpětné působení na člověka, ať již jednotlivce, či celé společnosti.

Paleoenvironmentální výzkum, tedy obecně ten samý výzkum, jehož pohled je pouze zaměřen do minulosti, by se na první pohled mohl jevit pouze jako zbytná obdoba výzkumu environmentálního. Opak je však pravdou: důsledky minulých lidských činností se mnohdy projevují i dnes (kupříkladu kontaminanty druhotně uvolňované ze starých důlních hald), pro některá témata je pohled do minulosti nezbytný. Důvody jsou mnohé: například nutnost získání referenčních hodnot sledovaného jevu, nebo pro získání představy dlouhodobých trendů (například hojně studovaná problematika globálních změn klimatu). O významu minulosti pro dnešek může svědčit například debata o zavedení pojmu „antropocén“ vedoucí nakonec až k založení specializovaného časopisu *The Anthropocene* (Crutzen 2002).

Tato práce se tedy v rámci široké nabídky paleoenvironmentálního výzkumu zabývá jen jedním užším tématem. V následujícím úvodu již bude podrobně rozebráno konkrétní zaměření této práce: možnosti využití kontaminace sedimentů a půd rizikovými prvky v paleoenvironmentálním výzkumu. Zaměřuje se na využití konkrétních kontaminantů – rizikových prvků – coby stratigrafických aj. markerů. Tedy nestuduje přímo kontaminaci jako takovou, například konkrétní hodnoty koncentrací jednotlivých kontaminantů, či jejich prostorové rozšíření, ač tyto informace z povahy věci jsou nedílnou součástí studií. Zabývá se především informací, kterou kontaminace může nést – například o jejím zdroji, o utváření a vývoji krajiny podle jejího rozšíření a vazby na konkrétní krajinné prvky, o charakteru aluviální sedimentace v konkrétním místě apod.

2. Cíle práce

Charakterizovat kontaminaci v regionu a odpovědět na tyto otázky:

- Jsou některé rizikové prvky pro zdejší kontaminaci charakteristické?
- Pokud jsou, projevují se stejně, nebo různě?
- Je případná různorodost prostorově vázaná? Je vázaná na konkrétní krajinné prvky?
- Je případná různorodost vázaná na nějaké konkrétní aktivity?

Využít zjištěné poznatky v konkrétních situacích:

- Je možné využít kontaminaci rizikovými prvky jako stratigrafický marker ve fluvialních sedimentech?
- Jak interpretaci konkrétních situací ovlivňuje celkový kontext kontaminace v regionu?

3. Kutnohorsko

Region Kutnohorska je oblastí s významnou historickou těžební a hutní aktivitou. Je zde tedy vysoká pravděpodobnost úspěšného využití kontaminantů s těmito aktivitami spojených coby sedimentárních markerů – dobře identifikovatelných a dobře interpretovatelných. Rizikové prvky, kterými jsme se ve studiích z Kutnohorska zabývali, jsou primárně tyto: As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, V, Zn. Jde o kovy, které jsou vyjmenované ve vyhlášce Ministerstva životního prostředí č. 13/1994. Z toho důvodu byly tyto kovy nejčastěji na Kutnohorsku zkoumány a existuje pro ně velké množství srovnávacích analýz.

3.1.1. Výzkumy na Kutnohorsku

Výzkumy na Kutnohorsku se orientují několika základními směry: i) geologicko-mineralogicko-montanistický; ii) kontaminační; iii) archeologický a historický. Souborné dílo ke kutnohorské těžbě celkově i k jejím jednotlivým stránkám a aspektům prozatím vyšlo pouze jediné, a to práce Martina Bartoše (2004). Vedle dále zmíněných zdrojů jde o primární pramen studia obsahující obsáhlý seznam literatury k tématu.

Výzkumy prvního směru probíhaly na Kutnohorsku primárně v souvislosti s těžebními a průzkumnými pracemi. Souborné dílo ke geologii ani k montanistické stránce zdejšího revíru nevyšlo. Většinou jde pouze o odborné zprávy, jen málokdy vydané, dostupné buďto v archivu Geofondu, případně v archivech státního podniku Geindustria, Diamo apod. Souhrny literatury k tématu jsou uvedeny v pracích Petra Pauliše (1999a, 1999b, 2000b). Nejvýrazněji je v tomto směru výzkumů zastoupena mineralogie, která na rozdíl od geologických poznatků byla mnohem více publikována. Základní souhrnnou mineralogickou prací je publikace Petra Pauliše (1998).

Kontaminační studie na Kutnohorsku byly prováděny především po roce 1989. Z výraznějších prací před tímto rokem zmiňme studie věnované kontaminaci vod a rostlin (Zýka 1974, 1977). Práce po roce 1989 byly prováděny především z důvodů vykonávání státní správy v oblasti ochrany životního prostředí, pro potřeby městské správy Kutné Hory apod. Tyto zprávy nebyly publikované, jsou dostupné v archivu Geofondu (Hauptman 1995; Hušpauer 2004; Kozubek a Pácal 2003; Malec 1999, 2003; Malec a Pauliš 1995; Malec et al. 1999; Malec a Rezek 2000, 2001; Sářka a Malec 2002). Všechny tyto práce se zaměřily většinou na analýzu obsahu kontaminantů v půdním a sedimentárním prostředí.

V některých případech byly odebírány i vzorky korytových sedimentů, především z potoka Beránky pod vyústěním dědičné štoly 14 pomocníků. Byly sledovány obsahy různých kovů, z nichž převládají As, Cd, Cu, Pb a Zn. V některých případech byly měřeny i Be, Co, Cr, Hg, Mo, Ni, V, v několika málo případech ještě Fe a Sn. Více k těmto studiím v následujících kapitolách. V posledních letech jsou kutnohorskému prostředí věnovány i další studie zaměřené na kontaminaci pocházející ze struskovišť a hald (Ash et al. 2014; Kocourková-Víšková et al. 2015), případně na vztah kontaminantů a rostlin (Hejzman et al. 2014; Králová et al. 2010; Müllerová et al. 2014; Vondráčková et al. 2013).

Z archeologických výzkumů se zmiňme o výzkumu sídliště ze 13. století situovaného do prostoru nivy Vrchlice a Klejnárky mezi Malínem a Novými Dvory (Charvátová et al. 1985). Sídliště sestávalo z několika sídlištních a výrobních objektů, chronologicky prošlo dvěma fázemi s celkovou datací cca mezi lety 1200 až 1300. Jde tedy o sídliště z doby, o níž máme první prokazatelné doklady o těžbě v Kutné Hoře. Sídlištní objekty ve formě jam a polozemnic byly zahloubeny jak do podložních jílovitých sedimentů a na ně nasedajících nivních sedimentů, zároveň samy byly později povodňovými sedimenty překryty. V některých objektech byly zjištěny stopy po metalurgii Ag, nalezené předměty a struska byly analyzovány, jako hlavní a vedlejší složky byly určeny Ag, Cu, Fe, Pb a Zn, jako stopové složky pak: As, Ba, Sb, Sn, Sr a Zr. Otázkou zůstává, proč bylo sídliště a výrobní areál umístěny v tomto místě a z které části kutnohorského revíru místní metalurgové nejspíš získávali surovinu. Se zajímavou reinterpetací těchto nálezů přišel Nováček (2004): součástí výroby byla nejen metalurgie a zpracování Ag, ale i výroba a využití „falešného stříbra“ – tedy Zn, z něž vyráběly liturgické předměty. S autory původní studie se shoduje v tom, že místní výrobci byli velmi zkušenými s hlubokými technologickými znalostmi. Z kontaminačních studií zmiňme studii Veselého a Gürtlerové (1996).

4. Výzkumy

Část Výzkumy se skládá ze čtyř částí – prezentace jednotlivých výzkumů: výzkum pod hrází Svatoanenského rybníka u Nových Dvorů, výzkum vertikálního profilu nivou Klejnárky u Mladého Hlízova, metaanalýza několika studií shrnující celkový charakter kontaminace v regionu a výzkum prostorového rozšíření kontaminace v prostoru soutoku Klejnárky a Labe. Informace o publikacích včetně webových odkazů a abstraktů viz Přílohy.

4.1. Svatoanenský rybník

Cíle výzkumu:

Cílem výzkumu bylo pokusit se interpretovat sedimentární záznam rizikových prvků v kontextu historicky datovaného krajinného prvku. Jde o hráz Svatoanenského rybníka u Nových Dvorů, jejíž vznik je historicky datován.

Diskuse:

Koncentrace prvků v sedimentu obecně sledují zastoupení zrnitostních frakcí (především pozitivní korelace s jemnou prachovou a jílovou frakcí). Pokud by byl tento vztah výrazně narušen, mohli bychom jej interpretovat jako důsledek antropogenního nabožení. Vzorky, které se jasněmu vztahu se zrnitostními frakcemi vymykaly, pocházely především z hloubek 75, 80 a 125 cm.

Profil byl na základě koncentrací prvků a jejich trendu rozdělen do několika fází:

- i) vzorky z hloubek 150 až 130 cm – tvoří samostatnou skupinu na diagramu PCA
 - o sledovaly především obsah zrnitostních frakcí, nebyl zde pozorován antropogenní vliv, z hlediska těžby by tak mohlo jít o sedimentaci před 13. stoletím
- ii) hloubka 125 cm – výrazná odchylka
 - o prvky Be, Co, Cr, Cu, Mo, Pb, V a Zn zde zaznamenaly výraznou změnu
 - o z hlediska těžby a předchozí skupiny by tento nárůst mohl být interpretován jako počátek těžby ve 13. století
- iii) hloubky 120 až 95 cm – seskupení vzorků na diagramu PCA
 - o nejde o tak výrazný opačný trend oproti jílové frakci
 - o tato skupina byla interpretována jako částečně ovlivněná lidským impaktem
- iv) hloubky 90 a 85 cm – stejná skupina jako hloubky 150 až 130 cm

- na základě analogie s fází i) můžeme tuto fázi interpretovat jako sedimentaci a období s žádným, nebo minimálním lidským impaktem, z hlediska historického vývoje těžby spojené s obdobím po husitských válkách, kdy došlo k výraznému útlumu těžby
- v) hloubky 80 a 75 cm – opětovný nárůst koncentrací
 - interpretováno jako záznam obnovy těžby v druhé půli 15. století
 - vzorek z hloubky 75 cm byl patrně odebrán částečně s materiálem aluvia
 - některé prvky zaznamenaly mezi těmito hloubkami opětovný pokles – mohl by být interpretován jako záznam poklesu intenzity těžby v první půli 16. století?
 - zvýšení koncentrací může být důsledkem kontaminace v souvislosti se stavbou hráze
- vi) hloubka +/- 77 cm – ukončení fluvialní sedimentace, následuje těleso hráze
 - časově spadá do první půle 16. století

Některé prvky (Cd, Hg, Mo) zaznamenaly jen jednu ze dvou výrazných odchylek. Je otázkou, zda z hlediska těžby by toto mohlo být interpretováno jako důsledek použití jiných technologií, změny v těžbě v rámci pásme apod. a tím vedoucí ke změně geochemického záznamu.

Trendy některých prvků nedovedeme jednoznačně interpretovat (As, Cd a Ni). Nesledují patrný trend prvků Be, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, V a Zn. Přítomnost tohoto trendu vnímáme jako doklad toho, že zdejší vertikální profil zaznamenává činnost nějakého agens, že hodnoty nejsou jen výsledkem náhodných procesů. Onen agens pak můžeme interpretovat jako těžbu. Jak interpretovat trendy As, Cd a Ni? Jsou náhodné? Nebo jsou náchylné k vertikální mobilitě? Nebo jde o záznam těžby, pouze není zaznamenán „hladce“ a tudíž se nám špatně interpretuje? Podobně je na tom výrazně vysoká hodnota Mo v hloubce 150 cm.

Datování Svatoanenského rybníka:

Stratigrafické rozhraní, reprezentující záznam vzniku rybníka, bylo identifikováno v hloubce zhruba 77 cm. Ta spadá do hloubky, v níž byl zaznamenán nárůst koncentrací (a u některých prvků opětovný pokles mezi 80 a 75 cm). Z hlediska historie těžby by tento záznam mohl být reprezentantem obnovení těžby po husitských válkách, případně ještě i opětovného poklesu v první půli 16. století. Historické datování vzniku rybníka (mezi lety 1501 a 1552) by těmito interpretacím odpovídalo. Základním faktorem v této otázce je spojení křivek trendu koncentrací s historickými událostmi a jevy (počátek, útlum, konec těžby, změny v hutnických technologiích apod.) a jejich intenzitou.

Otázkou je interpretace datací ^{14}C a OSL. Datum 2070+-30 BP pro ^{14}C datování vzhledem ke kontextu (příliš vysoko v rámci nivních sedimentů) vede spíše k interpretaci datování resedimentovaného staršího materiálu. Mladší z OSL dat pak spadá do novověku do doby, kdy rybník již dvě století existoval a je tak nesmyslné. Jediné datum, s nímž se nepojí výrazná pochybnost je datum 580+-10 let. Datum z hloubky 130 cm tak spadá do období husitských válek, což narušuje výše uvedenou interpretaci.

Nová interpretace by pak mohla vypadat takto:

- i) 150 až 130 cm období před husitskými válkami
 - o nejintenzivnější těžba se zde neprojevuje
- ii) 125 cm – období v závěru, nebo po husitských válkách
 - o výrazný záznam by mohl být interpretován jako obnova těžby v druhé půli 15. století
- iii) 120 až 95 cm – postupný pokles těžby
- iv) 90 a 85 cm – minimální těžba
- v) 80 a 75 cm – zvýšení záznamu – původ neznámý
 - o může jít rovněž o kontaminaci při stavbě hráze

Závěr:

Výsledky ze sondy pod hrází Svatoanenského rybníka ukázaly, že v komplexu sledovaných prvků je možné identifikovat ty, které sledují podobný vývoj, který by mohl být interpretován jako záznam těžby a hutnické aktivity (Be, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, V a Zn). Možnost využití tohoto záznamu k nepřímému datování je ale nižší. Při nepřítomnosti jiných metod datování (či nejednoznačném datování) jsou výsledky silně závislé na různých parametrech. Tento výzkum byl již publikován (Horák a Hejzman 2013). Ostatní výzkumy na Kutnohorsku umožňují zasadit jej do nového kontextu.

4.2. Mladý Hlízov

Mladý Hlízov je výzkum vertikálního profilu v nivních sedimentech Klejnárky poblíž osady Mladý Hlízov.

Cíle výzkumu:

Cílem tohoto výzkumu bylo získat orientační údaje o chování jednotlivých prvků ve vertikálním profilu pro srovnání s daty ze Svatoanenského rybníka, který byl prozatím jediným podrobněji zkoumaným vertikálním profilem na Kutnohorsku. Dalším cílem bylo využití měření magnetické susceptibility a její případné shody s trendem vertikálního vývoje koncentrace rizikových prvků.

Závěr

Analýza vzorků z vertikálního profilu u Mladého Hlízova nepřinesla výsledky podobné těm ze Svatoanenského rybníka. Nebylo zjištěno žádné podobné seskupení prvků se stejným trendem vývoje koncentrací jako u Svatoanenského rybníka. Překvapila nezávislost koncentrací prvků na pH a Cox. Prvky zaznamenávající shodu (například tvar křivky Zn s pH) jsou spíše výjimkou. Rovněž zajímavým, nicméně patrně lokálním jevem je korelace mezi As, písčitou frakcí a magnetickou susceptibilitou. Ve srovnání s jinými studiemi nebyl ani zjištěn nárůst magnetické susceptibility v přípovrchové vrstvě aluvia.

4.3. Metaanalýza

Tento výzkum vyšel z předchozích aktivit, při jejichž interpretaci se ukázalo, že je naprosto nutné podchytit místní kontext kontaminace, dokázat odpovědět na otázky ohledně běžných hodnot kontaminantů, přirozeného pozadí apod. Jak se ukázalo, přehledná data tohoto směru nebyla nikde publikována. Přestože výzkumné aktivity na Kutnohorsku trvají celá desetiletí, většina kontaminačních studií byla provedena v posledních 20 letech. Obecně poznatky shrnuli jen Pauliš (2000a) a Malec (1999, 2003).

4.3.1. Cíle výzkumu

Jako cíle byly stanoveny tyto body:

- i) představit stav poznání kontaminace v regionu a shrnout dostupná data, neboť dosavadní stav neodpovídá významu těchto dat a tohoto regionu
- ii) získat odpovědi na tyto otázky:
 - Je možné rozlišit více charakterů kontaminace, faktorů skrytých za komplexností dat?
 - Jsou případné faktory diferencovány v prostoru horizontálně či vertikálně (ve smyslu stratigrafie) – je tak možné je použít jako marker?
 - Jsou koncentrace jednotlivých prvků rozlišené prostorově?
 - Můžeme tyto případné faktory prostorově vázat na nějaké krajinné prvky (například haldy, rybníky apod.), či na různé typy prostředí (například fluviální sedimenty, svahoviny apod.)?
 - Vyskytuje se kontrastní opoziční charakter koncentrací V (zjištěný pod hrází Svatoanenského rybníka) i v ostatních datech v regionu?
 - Mohl by tak být využit jako marker v celém regionu?

Typy prostředí:

Rozlišili jsme celkem osm typů prostředí (viz statistické charakteristiky souborů dat v tabulkách 1a, 1b). Typ 1 označuje Kaňk – vrchol a svahy – tedy prostředí s dochovanými pozůstatky těžby – kromě vlastních dolů jsou zde v hojné míře dochované odvaly a místy i strusky. Typ 2 označuje vzorky, u nichž je jednoznačně zmíněno, že pocházejí ze struskových hald, ať již geomorfologicky dochovaných, nebo rozvezených. Typ 3 je reprezentován vzorky pocházejícími z odtokových kanálů, odvádějících vodu přímo z dolů, nebo takových, do nichž je tato voda vyvedena, jde především o Šífovku a Beránku. Typ 4 je tvořen 30m bufferem kolem typu 3. Typ 5 označuje planiny – roviny údolních niv Vrchlice a Klejnárky. Typ 6 označuje vzorky prostorově vázané na tok Staré Klejnárky. Typ 7 je

reprezentován vzorky z Labe (některé pocházejí z korytových sedimentů). Typ 10 je tvořen vzorky, které pocházejí z prostoru soutoku Klejnárky a Labe.

Skupiny prvků G1, G2, G3

Vzhledem k nedokonalosti matice vstupních dat (chybějící hodnoty) jsme vytvořili tři základní skupiny (označené jako G1, G2, G3). Základní skupina (G1) obsahovala všechny vstupní vzorky (478). Tato skupina proto obsahovala spoustu chybějících dat, respektive, prázdných buněk. Druhá skupina (G2) byla omezena pouze na vzorky, v nichž byly analyzovány všechny hlavní prvky a v její matici se tak nenacházela žádná chybějící data, tj. každá buňka obsahovala hodnotu. Počet vzorků v této skupině byl 218. Třetí skupina (G3) byla tvořena pouze pěti prvky (As, Cd, Cu, Pb a Zn). Tyto prvky byly vybrány na základě analýz předchozí skupiny G2, jejichž výsledky ukázaly, že tyto prvky reprezentují kontaminaci spojenou s těžbou a hutněním. Omezením počtu proměnných bylo dosaženo zvýšení počtu vzorků zahrnutých do skupiny (254). Rovněž tato skupina neobsahovala žádná chybějící data.

4.3.2. Diskuse

- a) Rozčlenění komplexu prvků, jejich koncentrace a clr-transformované hodnoty, prostorová distribuce

Celý komplex hlavních prvků můžeme rozčlenit do těchto interpretačních částí: i) prvky nesouvisející s kutnohorským těžebním revírem (Be, Co, Cr, Hg a V); ii) prvky s revírem související (Cu, Pb a Zn); iii) prvky rovněž s revírem související (As, Cd). Interpolace koncentrací As, Cd, Cu, Pb a Zn viz obrázek 1.

Prvky s kutnohorským rudním revírem nesouvisející (Be, Co, Cr, Hg a V). Jejich koncentrace jsou v rámci revíru distribuovány rovnoměrně, bez výrazných změn, které by bylo možno připsat buď geologickým faktorům, nebo antropogenním faktorům. Respektive, drobné změny je možno nalézt. Obecně jde o slabý severojižní gradient s nepatrným nárůstem hodnot ve směru k jihu a pak jemné změny v prostoru jižní části zájmového území jižně od Vrchlice. Nicméně tyto rozdíly jsou zanedbatelné oproti tomu, ostatním prvkům. Naopak, velmi výrazně se tyto prvky projevují v oblasti Labe a Svatoanenského rybníka. Je možné tedy tyto prvky považovat za reprezentanty odlišných geologických poměrů, souvisejících s oblastmi výše proti proudu Labe a s Kačinským hřbetem (lokalita Svatoanenský rybník), které jsou tvořeny především mezozoickými sedimentárními horninami. Vysoké obsahy Hg pak mohou být důsledkem antropogenní kontaminace nesouvisející s těžebním provozem v Kutné Hoře. Tezi o kontaminaci podporuje fakt, že v prostoru soutoku dosahuje Hg

vysokých koncentrací jen v 1 vzorkovaném místě. Bohužel u této skupiny prvků je omezující absence údajů ze vzorků odebíraných výše na Labi (viditelné na mapách ostatních prvků). Koncentrace Cr a Hg mohou být srovnány s hodnotami pro katastry okresu Kutná Hora (Sáňka a Malec 2002). Průměrná hodnota z jejich údajů pro katastry okresu je pro Cr je $4,36 \text{ mg kg}^{-1}$, přičemž sami hodnotí hodnoty Cr z prostoru zájmového území u Kutné Hory jako srovnatelné s přirozeným pozadím. Průměrná hodnota katastrálních průměrů pro Hg je pak $0,09 \text{ mg kg}^{-1}$. Průměr hodnot v zájmovém území je pak $0,12 \text{ mg kg}^{-1}$.

Prvky s těžbou související (Cu, Pb a Zn) dosahovaly nejvyšších hodnot v jižní části zájmového území. Jejich tamní prostorové rozšíření úzce souvisí s haldami strusek. Dále se projevovaly i západně od Kaňku, kde již byly plošně rozsáhlejší. I zde patrně souvisí s haldami strusek, konkrétně v osadě Grunta, která je celá postavena na zplanýrovaných haldách. Toto úzké prostorové omezení nás nutí k interpretaci, že tyto prvky, coby kontaminanty, jsou svázány především se struskami a s hutnickým procesem. Takřka vůbec nejsou výrazné v prostoru Kaňku, kde se především těžilo. Přitom tyto prvky jsou v rudách hojně zastoupené: Cu byla po husitských válkách hlavním produktem dolů významnějším než dřívější Ag (Houdková 1960; Kořan 1950, 87-92), Pb je zase součástí jednoho z nejdůležitějších zdejších minerálů galenitu. I přesto se tyto prvky vysokými koncentracemi v ploše kaňkovských dolů nevyznačují. Jistou souvislost přímo s doly naznačují vyšší koncentrace Pb a především Zn v typu prostředí 3 – tedy kanálech odvádějících vodu z dolů. Toto zmiňují i Kozubek a Pácal (2003): nejvyšší hodnoty Zn zaznamenali v potoce Beránka. V případě těchto prvků je třeba rovněž zmínit, že v jižní části zájmového území se nachází průmyslová výroba (ocelárna a slévárna ČKD). Mohl by zvýšený výskyt těchto kovů souviset se zdejší výrobou? Tyto tři prvky patří mezi polutanty spojenými s takovým typem výroby. Nicméně zde nenacházíme výraznější projevy dalších kontaminantů, namátkou As, Cd, Cr, Hg. Proti možnosti průmyslového původu svědčí i prostorové rozšíření, související především se struskami. Vzorky z této oblasti jsou jedny z mála, u nichž je původ ze struskových hald, případně z rozvezeného haldového materiálu, výslovně uveden ve zdrojových studiích. V případě prvků Cu, Pb a Zn by se tedy mělo mluvit především jako o prvcích souvisejících s hutnickou činností.

Prvky s těžbou související (As a Cd) dosáhly maximálních koncentrací na Kaňku a v oblasti kolem dolního toku Vrchlice (As dosáhl úplných maxim ve vyústění štoly 14 pomocníků do Beránky u Malína). Tato prostorová vazba nás vede k interpretaci těchto prvků svázaných více s horninovým prostředím a vlastní těžbou. Ačkoliv, relativní význam Cd ve struskách je vidět na interpolacích skupiny G3. V distribuci Cd je tedy ještě jiný činitel a Cd je spíše ovlivňováno kombinací faktorů

stojících na jedné straně za As a na druhé straně za skupinou Cu+Pb+Zn, z nichž má nejbliže především k Zn (viz jeho projevy v oblasti Hlízova východně od Kaňku, které v případech Cu a Pb nevidíme).

Vztah As a Cd jde částečně proti výsledkům Malce et al. (1999), kteří našli vazbu As+Pb a Cd+Zn. Zatímco vazbu As+Pb v metaanalýze nepozorujeme, vazba Cd+Zn je v datech patrná. Provedli jsme i korelace mezi těmito pěti prvky (As, Cd, Cu, Pb a Zn) v rámci typu prostředí 2 (strusky). Pouze dvě korelace byly průkazné na hladině 0,05: As vůči Cd (korelační koeficient 0,71) a Cd vůči Pb (k. k. - 0,64). Ostatní korelace byly neprůkazné s koeficienty menšími než 0,5. V tomto případě je ale třeba zdůraznit, že je diskutabilní používat korelace u kompozitních dat (Reimann et al. 2008). Kozubek a Pácal (2003) zmiňují výtok důlních vod do Beránky, v němž byl zjištěn vysoký obsah As, Cd, Fe, Zn a sulfátů. Bohužel, konkrétní hodnoty byly uvedeny pouze pro As.

Podobnou interpretaci vícerozměrných dat můžeme nalézt v různých studiích (například Bindler et al. 2011; Facchinelli et al. 2001). Profil analyzovaný v labských sedimentech Veselým a Gürtlerovou (1996): Be, Co, Cr, Ni a Rb coby spíše přírodního původu a Ag a Pb antropogenní ovlivněné kutnohorskou těžbou.

b) Prostorová distribuce kontaminantů

Nejvýznamnějším činitelem v transportu sedimentů jsou v zájmovém území vodní toky. Bohužel, v tomto směru jsou dosavadní data vypovídající jen málo. Vyjádřit se můžeme k Hořanskému potoce. Oblast tohoto potoka je překvapivě kontaminací nedotčená, ač se jedná o potok, který odvodňuje severní svahy Kaňkovských vrchů – tedy významná centra Kaňk a Grunta. I přes relativně dostatečný počet vzorkovaných míst v jeho okolí zde prvky nedosahují výraznějších hodnot. Zcela nedostatečná je situace v případě dolní Vrchlice a Klejnárky v úseku až po Starý Kolín. Vzorkovaných míst je tu velmi málo a postihnout význam této části zájmového území nemohou. Lépe je na tom okolí potoka Šífovka, ač i zde je množství analyzovaných prvků a míst nevyvážené. Vzorkovány a analyzovány zde byly především As, Cd a Zn. Pouze As a Cd zde registrují vyšší hodnoty, naopak hodnoty Zn jsou velmi nízké. Nízké jsou i hodnoty Cu a Pb s výhradou, že jejich vzorkování zde není tak husté.

O to zajímavější je oblast zvýšených hodnot u soutoku Klejnárky s Labem, respektive jeho bočním korytem, Černou strouhou, u Starého Kolína. Vyšších hodnot zde dosahují všechny kontaminační prvky (As, Cd, Cu, Pb a Zn), ač u některých (Cu, Pb, Zn) je toto zvýšení patrné jen v rámci skupin G2 a G3. Je otázkou, zda je zdejší zvýšení dosaženo transportem z Kutné Hory, či zda se může jednat o

lokální zdroj (ve Starém Kolíně se nacházely pracoviště uhlířů, případná hutnická výroba zde rovněž není vyloučena). Nápadný je pokles hodnot po soutoku Klejnárky s Černou strouhou. Je pravděpodobné, že kontaminované vody z oblasti Kutné Hory se zde ředí vodami z Černé strouhy a kontaminace se dál projevuje mnohem slaběji.

Jiné výzkumy ukazují, že kontaminace se může projevovat kilometry i desítky kilometrů po proudu řeky (například Ciszewski 2001, 2004; zvýšené koncentrace Ag a Pb v sedimentech u Kolína interpretují jako kutnohorskou kontaminaci i Veselý a Gürtlerová 1996), zde koncentrace i clr-transformované hodnoty po soutoku s Černou strouhou výrazně klesají.

c) Typy prostředí

Výsledky analýz vztažených k typům prostředí přinesly tyto výsledky:

- Část prvků velmi dobře rozlišuje mezi různými geologickými vstupy (Be, Co, Cr a V). Prostorově se k těmto prvkům přidává i Hg, nicméně je otázkou, do jaké míry je tento stav dán nikoliv geologií, ale kombinací lokálního znečištění s malým počtem vzorkovaných míst v oblasti soutoku. Nicméně, tyto prvky by mohly dobře rozlišovat původ sedimentů především v oblasti Staré Klejnárky. To má vztah k vývoji krajiny – k otázkám, zda tudy opravdu původně tekla Klejnárka samotná, případně, kde se do ní vlévala Vrchlice.
- Prvky Cu, Pb a Zn velmi dobře rozlišují materiál pocházející ze struskových hald. Je možné je díky tomu využít i pro vyhledávání rozvezených struskovišť tam, kde se již neprojevují výrazným způsobem – uchováním makroskopicky patrných kousků strusky v terénu.
- Cd rovněž velmi dobře rozlišuje struskové haldy, jeho přínos v tomto směru výrazně stoupá po využití clr-transformace dat. Dobře rovněž rozlišuje strusky v oblasti Hlízova, které jinak výrazněji reflektuje pouze Zn.
- Clr-transformace hodnot Cd rovněž vedla k překvapivému výsledku, že Cd je mnohem méně vázáno na vlastní Kaňk, než jak ukazují samotné koncentrace. Vracíme se tím tak k výsledkům PCA, z nichž vyplynulo, že Cd s As nijak pevně spojeno není. Skrze výraznější výskyt v oblasti Hlízova má blízko k Zn.
- Obecně nejvíce se odlišujícími typy prostředí jsou strusky a odvodňovací kanály. Hodnoty ze strusek obecně odpovídaly nově publikovaným hodnotám ze struskových hald v oblasti údolí Vrchlice (Ash et al. 2014). Vymyká se pouze As, který zde dosahoval cca 10x nižších hodnot než je v zájmovém území obvyklé.
- Nebyly zjištěny výrazné rozdíly mezi Kaňkem a planinami (typy prostředí 1 a 5).

Výsledky ukázaly, že kontaminace rizikovými prvky je využitelná jako stratigrafický marker nejen při práci se samotnými koncentracemi, ale že k zajímavým výsledkům přispívá i hodnocení prostorového rozšíření a využití mnohorozměrových analýz. Rovněž se ukázalo, že As příliš nerozlišuje jednotlivá prostředí a jako stratigrafický marker rozlišující typy prostředí se příliš nehodí.

4.3.3. Závěr

Soubor analyzovaných prvků může být rozčleněn do čtyř částí, z nichž každá má jiný původ a jiný prostorový výskyt:

- Be, Co, Cr, Hg a V - prvky nesouvisející s těžbou, projevují se spíše na okrajích zájmového území
- Cu, Pb, Zn – prvky související spíše s hutnickými aktivitami, s prostorovou vazbou především na jihozápadní část zájmového území
- As související hlavně s těžbou, vyjma přímého napojení na prostředí dolů nereflektuje žádné typy prostředí
- Cd – na základě koncentrací s vazbou na Kaňk a okolí, po clr-transformaci výrazná změna – vazba pouze na struskové haldy; nesouvisí však s prvky Cu, Pb, částečně souvisí se Zn

Nebyl zjištěn opoziční vztah V k ostatním prvkům

4.4. Soutok Klejnárky a Labe

Tento výzkum se zaměřil pouze na oblast soutoku Klejnárky a Labe, respektive jeho bočního koryta Černé strouhy u Starého Kolína.

4.4.1. Cíle výzkumu

Cílem výzkumu bylo zjistit, zda je kontaminace přicházející s vodami Klejnárky identifikovatelná i po soutoku, a pokud ano, zda jak je tato kontaminace v oblasti soutoku prostorově distribuována, případně, zda se její prostorové distribuce liší s hloubkou v aluviu.

Dalším cílem bylo odebrání a analyzování vzorků z pozitivně kontaminovaných sedimentů v Kutné Hoře a vzorků přirozeného pozadí, tj. takových, u nichž je pravděpodobnost kontaminace v souvislosti s těžbou nulová, nebo alespoň minimální. Tyto vzorky byly odebrány v různých částech povodí Klejnárky a Vrchlice. Účelem byla možnost provést srovnání kontaminovaného prostředí s přirozeným pozadím a využít možnosti nepracovat pouze se samotnými koncentracemi a transformovanými daty, ale i s mírou nabohacení (enrichment faktor).

4.4.2. Diskuse

Horizontální diverzita – hodnoty přirozeného pozadí – kontaminovaného území – soutoku:

Jak ukázala srovnání hodnot pomocí boxplotů, míra kontaminace oproti prostoru Kaňku či Kutné Hory zde není o moc nižší. Situace v sondách H a M je zcela srovnatelná. Velká část vzorků z prostoru Kaňku a Kutné Hory dokonce dosahuje nižších hodnot a zároveň, tamních vyšších hodnot dosahují především odlehlé a extrémní hodnoty. Stejný obrázek vysvítá z pohledu na tabulku 2, v níž jsou zvýrazněny ty případy, v nichž dochází k poklesu průměru nebo mediánu mezi prostorem Kutné Hory a Kaňku na jedné straně a prostorem soutoku na druhé. Jak je patrné, ne vždy tak tomu je. Pokud ano, převládá tento pokles u průměrů. Jak je ale vidět z boxplotů, počet odlehlých a extrémních hodnot je značný a tím i jejich vliv na průměr. Pokud sledujeme medián, který má vyšší výpovědní schopnost pro geochemická data ne-normálního rozdělení (sledujeme koncentrace), nejen že sledujeme pokles v menším počtu případů, ale naopak je mnohde zaznamenáno zvýšení.

Pokud budeme považovat kutnohorskou těžbu a hutnění za hlavní zdroj kontaminace (alespoň nad soutokem Klejnárky s Labem bychom měli), pak je nepravděpodobné, že by zde bylo prostředí více kontaminované. Prostor soutoku není akumuláční a není tak důvodné se domnívat, že by se zde kontaminanty hromadily. Důvodem sledovaného jevu zvýšených mediánů bude spíše nedokonalost vzorkování v prostoru Kutné Hory a Kaňku, kde se pravděpodobně nacházejí sedimenty s nižšími koncentracemi. To klade vyšší nároky na budoucí výzkum v podobě pečlivé dokumentace spojené s propojením lokálních dat s celkovým kontextem. I přes tuto kritiku je evidentní, že sedimenty se do prostoru soutoku dostávají kontaminované v úrovni běžné v Kutné Hoře. Výrazný pokles v koncentracích je zaznamenán až po soutoku (sondy M a L).

Prostorová diverzita – oblast soutoku:

Jak je vidět na interpolacích (obrázky 2 a 3), zvýšené hodnoty koncentrací jsou sice patrné, nicméně vliv soutoku sledovaný v koncentracích je zřetelný. Po využití clr-transformace dat je evidentní, že projev kontaminace se po soutoku vyskytuje stále výrazně. Na mapách je vidět i proměna v prostorové distribuci kontaminantů v čase. V nejhlubších vrstvách se kontaminace silně projevuje takřka všude (uchráněn je pouze prostor mezi sondami 15, 19, 20 a 25) a objevuje se v nejvyšších hodnotách i kolem sondy 21. Směrem k povrchu se intenzita míry kontaminace zmenšuje a omezuje se i plošně na bližší okolí toku i plošný zásah za soutokem. Ve středních hloubkách kolem 40 a 50 cm se míra zásahu v prostoru za soutokem dostává na minimum. Nejvýrazněji je tento pokles zaznamenán v hodnotách As a Cu. Dále směrem k povrchu se (kromě As) míra projevu kontaminace opět zintenzivňuje a okolí sondy 24 dosahuje opět vysokých hodnot, prostorový rozsah je však omezen.

Je otázkou, jak tyto změny vysvětlovat. Výrazný vliv kontaminace v hloubkách 80 až 60 cm by mohl být důsledkem aktivit v Kutné Hoře, následný pokles pak důsledkem poklesu míry těchto aktivit. Opětovný vzestup v přípovrchových vrstvách může být důsledkem nikoliv těžby samotné, ale spíše je důsledkem sekundárního uvolňování kontaminantů související s novověkými aktivitami: urbanizace, intenzivní zemědělská a stavební činnost, terénní úpravy apod., které narušily staré kontaminované sedimenty, struskové haldy apod. Této interpretaci by odpovídalo i to, že As, který je spojen spíše s těžbou a přímým narušením hornin v dolech, tento návrat vyšších hodnot nezaznamenal, zatímco Cu, Pb a Zn ano. Tyto prvky jsou na základě metaanalýzy spojeny právě se struskami a s urbanizovanou oblastí Kutné Hory.

Zúžení prostorového zásahu kontaminace podél toku směrem k povrchu je možné pokládat za důsledek úprav říčních koryt v 19. a 20. století, spojených s napřímením toků a jejich následným zahloubením. Kontaminované vody tak vystupují mimo břehy méně často, než v minulosti. Zahloubení toků vede rovněž k větší erozní činnosti, čímž se uvolňují kontaminanty ze starších sedimentů, což je další sekundární zdroj stojící patrně za zvýšenými hodnotami v povrchových vrstvách. O podobných jevech v souvislosti s úpravou koryt toků viz například Ciszewski (2001, 2004). Co se týče gradientu kontaminace ve vztahu k vzdálenosti od toku, v prostoru soutoku jsme našli pouze klesající gradient. Jak ale ukázala Hürkamp et al. (2009b), mohou se objevit i opačné gradienty.

Je zároveň vidět, jak významné informace přidává do dat clr-transformace. Bez jejího využití by hlavním poznatkem byl výrazný pokles koncentrací po soutoku Klejnárky s Černou strouhou. Jeho nejpravděpodobnější interpretace by nejspíš zněla, že zde dochází k výraznému ředění kontaminovaných sedimentů a vody a jejich projev dále je tak jen minimální. K tomu samozřejmě dochází (obdobně dokládá například Hudson-Edwards et al. 1996).

Provedli jsme rovněž mnohorozměrové analýzy v rámci jednotlivých skupin sond H, M a L. Kontaminační prvky se od ostatních odlišovaly ve všech třech skupinách. I tyto analýzy tedy ukázaly, že kontaminace je v souboru geochemických vlastností identifikovatelná.

Vertikální diverzita:

Situace z pohledu koncentrací je velmi unifikovaná, k rozrůznění ve vertikálním směru takřka nedochází. Jinak vypadá situace clr-transformovaných dat. Stabilní trendy zůstávají především u sond H (vysoké hodnoty) a u skupiny sond č. 15, 16, 18, 19,20 a 25 (nízké hodnoty). Ostatní sondy procházejí změnami, v některých případech dost významnými. Jde například sondy 21 a 17 a pak obecně o sondy umístěné podél toku.

Nicméně, výrazné změny, které bývají interpretovány například jako počátek kontaminace, jsme v oblasti soutoku nenalezli. Pokud byl někde zaznamenán výraznější nárůst, v jiných sondách se neopakoval (například Cu v sondách 12 a 13 v hloubkách 80 a 70 cm). Veselý a Gürtlerová (1996) takový záznam našli v labských sedimentech u Kolína v hloubce 130 cm. Vertikální profily jsou publikovány velmi často. Nováková et al. (2013) prezentovala nárůst Pb a magnetické susceptibility směrem k povrchu, interpretovaný jako důsledek znečištění posledních dekád. Podobná situace byla zveřejněna i v dalších studiích (Ciszewski 2003; Hürkamp et al. 2009a; Lecce a Pawlowsky 2001).

Ciszewski et al. (2012) publikoval vertikálně rozrůzněné profily, přičemž jako důvod rozdílů uvádějí především rozdílná prostředí, v nichž se profily nacházely (koryto, niva, rybník). Kontaminace je v případě výrazných vertikálních odchylek často spojena se stejnými prvky, jako na Kutnohorsku – Cu, Pb a Zn (Hindel et al. 1996; Matschullat et al. 1997). Na Kutnohorsku je prozatím analyzováno málo vertikálních profilů, u dvou zkoumaných u Svatoanenského rybníka a u Mladého Hlízova byly zaznamenány vertikální rozdíly, nicméně celkový počet vzorků je pro širší závěry přeci jen malý.

4.4.3. Závěr

V prostoru soutoku byly zjištěny zajímavé okolnosti v kontextu kutnohorského regionu. Oproti přirozenému pozadí se v prostoru Kutné Hory a Kaňku zvyšují koncentrace prvků o 1 až 2 řády, toto navýšení připadá na vrub odlehlým hodnotám. Nízké hodnoty vzorků z kontaminovaného území odpovídají hodnotám přirozeného pozadí (maximální hodnoty přirozeného pozadí dosahují zhruba úrovně mediánu hodnot kontaminovaného prostoru).

K Labi se kontaminace dostává v hodnotách srovnatelných s prostředím samotné Kutné Hory. Přestože dochází po soutoku k jejímu naředění, je poznatelná v sedimentech i dále po proudu. K jejímu rozeznání je však třeba použít více metod, ze samotných koncentrací (i míry nabohacení) rozeznatelná není.

5. Interpretace a diskuse v rámci celkového kontextu Kutnohorska

Provedení metaanalýzy umožňuje nejen vyjádřit se k celkovému charakteru kontaminace v regionu, ale zhodnotit z tohoto celkového pohledu i situace zachycené v jednotlivých lokalitách. Celkově je kontaminace charakterizována pěti prvky (As, Cd, Cu, Pb, Zn). Tři z nich (Cu, Pb, Zn) se projevují shodně: vazba především na struskové haldy a místa, kde se struskový materiál vyskytoval a naopak žádné výrazné projevy v místech především těžby. Tyto prvky spolu souvisejí i na obecně geochemické úrovni – mnohdy se shodně projevují, sledují podobné trendy například z hlediska mobility apod. Cd parně rovněž souvisí s haldovým, především struskovým materiálem, nicméně geograficky je rozšířeno odlišně od předchozích prvků. As je pak osamocený výskytem především vázaným na primární zdroje (důlní odvaly, vyústění štol) a částečně je blízký prostorovým projevům Cd. Ostatní prvky (Be, Co, Cr, Hg, V) kutnohorskou těžbu nereflektují, výrazně se však projevují v oblasti Labe a Svatoanenského rybníka a předpokládáme, že jsou reprezentanty odlišných geologických poměrů (patrné především na boxplotech, nikoliv na interpolačních mapách).

Srovnáme-li tyto charakteristiky s poznatky z jednotlivých lokalit, vidíme, že v detailním (a vertikálním) pohledu je situace odlišná. Profil u Svatoanenského rybníka byl interpretován především na základě stejného vertikálního trendu u většiny prvků, od nichž se odlišovaly především dva: As a Cd. Původní interpretace proto smíchala do předpokládaného záznamu těžby jak těžební kontaminační prvky (Cu, Pb a Zn), tak i prvky, které těžbu vůbec nereflektují (Be, Co, Cr, V). Nově tedy můžeme uvažovat o těchto hypotézách: i) profil ve Svatoanenském rybníku těžbu vůbec nezaznamenává. Původně interpretovaný vertikální trend včetně výrazných maxim koncentrací není odrazem těžby, ale je důsledkem jiných faktorů majících vliv na obsahy prvků: pH, obsah organického materiálu apod.; ii) profil těžbu reflektuje, ale záznam se míchá se vstupy z „geochemicky odlišného prostředí“. Pro první hypotézu svědčí i absolutní hodnoty koncentrací, které odpovídají minimálním hodnotám dat z regionu. K hodnotám se vztahuje i informace z boxplotů: histogramy kontaminačních prvků v typech prostředí 6 (Stará Klejnárka, kam spadá i Svatoanenský rybník) a 10 (Labe) naznačují, že jde o kombinaci dvou různých prostředí, z hlediska statistiky základních souborů (v případě As a Cd pouze v prostředí 6). Vzhledem k nízkým hodnotám od Svatoanenského rybníka zdejší data reprezentují základní soubor nižších hodnot a tím pádem geochemii nesouvisející s kutnohorským regionem. Tato interpretace by tak svědčila v neprospěch oné původní. Fakt, že typ prostředí 6 (Stará Klejnárka) obsahuje i data vyšších koncentrací (tj. kontaminačních), by pak svědčil pro to, že Stará Klejnárka je původním korytem Klejnárky. Nicméně její původní tok neprotékal Svatoanenským rybníkem, ale odkláněl se k východu až níže po proudu, patrně až poté, co se spojil s Beránkou. Zdejší

situace má potenciál řešit prostřednictvím kontaminace vývoj zdejší krajiny, nicméně je evidentní, že jeden profil není dostačující.

Srovnání kontextu s Mladým Hlízovem je významné především v tom, že není nijak srovnatelné ani s kontextem všech dat, ani s profilem Svatoanenského rybníka. Nepřekvapí tolik, že například As, Cd a ostatní prvky nesledují stejný trend. Co je překvapující, že stejný trend nesledují ani Cu, Pb a Zn – prvky, které se mnohdy chovají stejně či podobně a jejich souvislost vyplývá i z metaanalýzy. Tyto prvky se zde chovají dosti odlišně. Na rozdíl od Svatoanenského rybníka zde není třeba pochybovat, že by zde sedimentoval materiál neovlivněný kutnohorskou kontaminací a především těmi jejími vstupy spojenými právě s Cu, Pb a Zn (Vrchlice protéká právě oblastmi, pro které je tato kontaminace charakteristická). Nemůžeme zde ani předpokládat mix kontaminačních a nekontaminačních vstupů. Ať již je tato situace způsobena mixem různých vstupů (v rámci kontaminovaných prostředí), nebo postdepozičními procesy, je patrné, že jednotlivý profil vůbec nemusí nést informaci kompatibilní s obecnou kontaminací regionu.

V rozporu s tímto zjištěním je naopak oblast soutoku, v níž byl potvrzen výskyt a odlišení kontaminačních prvků od ostatních. Navíc tak bylo učiněno i na datech získaných jinou metodou a mírně jiného charakteru, než jakou byla získána data pro metaanalýzu.

Jednotlivé výzkumy zpětně ovlivňují i interpretaci samotného kontextu celku: vnitřní diverzita kontaminace je z velké části daná pouhou geografickou diverzitou a nikoliv pouze geochemickými vlastnostmi materiálu. V případě analýz na povrchu terénu by bylo možno využít prvkovou charakteristiku jednotlivých typů prostředí například pro zjištění, zda v lokalitě není přítomen struskový materiál (ač třeba makroskopicky nepostizitelný) charakteristický Cu, Pb a Zn. Nebo zda nejde o lokalitu postizovanou „vylepšováním“ půdních podmínek vyvážením kalů z koryt Beránky, Šífovky apod. (o čemž informují Malec a Pauliš 2003), pro něž je typický vysoký obsah As. Jak ale ukázaly vertikální profily, nelze takovou situaci – jednoznačně interpretovatelnou – očekávat automaticky.

6. Závěr

6.1. Cíle práce

Charakterizovat kontaminaci v regionu a odpovědět na tyto otázky:

- Jsou některé rizikové prvky pro zdejší kontaminaci charakteristické?

Ano. Kutnohorskou těžbu reprezentují z hlediska kontaminace As, Cd, Cu, Pb a Zn. Jiné rizikové prvky naopak těžbu nereflktují vůbec, jejich koncentrace jsou v rámci území rovnoměrné. V některých částech zkoumaného území (Labe a východní okraj území u Staré Klejnárky) se mohou projevit výrazněji, v takových případech jde o vstup geochemicky odlišného prostředí.

- Pokud jsou, projevují se stejně, nebo různě?

Projevují se různě, jak horizontálně (různé charakteristiky pro různá prostředí), tak vertikálně (ve vertikálních profilech je ale různorodost daná především obecně geochemickými a postdepozíčními procesy.

- Je případná různorodost prostorově vázaná? Je vázaná na konkrétní krajinné prvky?

Ano, různorodost je i prostorově vázaná. Důvodem jsou různá prostředí, v nichž se kontaminanty vyskytují. Jde především o zdrojová prostředí, jako vyústění štol, různé typy odvalů a hald včetně jejich konkrétního umístění. Vazba na krajinné prvky již není tak výrazná, neboť mezi ně patří i antropogenně neovlivněné prvky, v nichž dochází k přirozené homogenizaci kontaminačních vstupů (nivy). K homogenizaci ale dochází i lidskou činností (například rozvážením hald).

- Je případná různorodost vázaná na nějaké konkrétní aktivity?

Ano. Především v typech prostředí, které můžeme označit jako vstupní (tedy související přímo se vstupem kontaminantu do prostředí Kutnohorska), se může výrazně projevovat konkrétní aktivita. Nejmarkantnější je to u struskových hald, jejichž složení je dáno především hutnickým procesem.

Využít zjištěné poznatky v konkrétních situacích:

- Je možné využít kontaminaci rizikovými prvky jako stratigrafický marker ve fluvialních sedimentech?

Ano. Nicméně, je třeba se vypořádat s dvěma problematickými aspekty: i) postdepoziční procesy a procesy tvorby nivních sedimentů mohou významně měnit vertikální záznam; ii) je třeba pracovat s širokým kontextem – ukazuje se, že jeden profil je nedostatečný počet. Význam těchto problematických aspektů stoupá s požadovanou časovou či prostorovou přesností rekonstruovaných procesů.

- Jak interpretaci konkrétních situací ovlivňuje celkový kontext kontaminace v regionu

Velmi výrazně. Ukazuje se, že bez celkového kontextu není vhodné interpretovat prostorově, či časově úzce ohraničená data.

6.2. Významné poznatky

Některé poznatky významně překračují horizont zkoumaných lokalit, mají význam jak obecný, tak pro metodické plánování případných budoucích výzkumů:

- antropogenní vliv – těžební kontaminace – se projevil hlavně vznikem odlehlých a extrémních hodnot, které jsou navíc prostorově spíše úzce vymezené – plošně převládající míra kontaminace na Kutnohorsku není výrazně zvýšená oproti vysokým hodnotám získaným z oblastí přirozeného pozadí
- soutok Klejnárky s Labem kontaminaci naředit, nicméně ta je detekovatelná i nadále – ne však prostřednictvím koncentrací, ale využitím mnohorozměrových analýz

v prostoru Staré Klejnárky se nejspíš projevuje kombinace odlišného geochemického prostředí a kutnohorské kontaminace

Problematikou prolínání různých prostředí a jejich geochemického záznamu se dostáváme k lokalitě Svatoanenský rybník. Její význam je především metodický. Ukazuje, že výpověď bez kontextu má vždy omezenou platnost. Kontextem se v tomto případě myslí nejen související data z okolí, ale i množství

dat z vlastní lokality (problematika datací, které k osvětlení situace výrazně nepřispěly). Hodnota výzkumu u Svatoanenského rybníka tkví především ve srovnání tamních dat s kontextem metaanalýzy. Ukazuje se, že pokud tato lokalita byla ovlivněna kontaminací, pak jen částečně. To je překvapivý závěr, uvážíme-li umístění lokality v prostoru vůči tokům Klejnárky a Vrchlice. Z geochemického hlediska zde dochází k prolínání dvou prostředí – kutnohorského regionu s regionem reprezentovaným prvky jako Be, Co, Cr a V.

7. Literatura

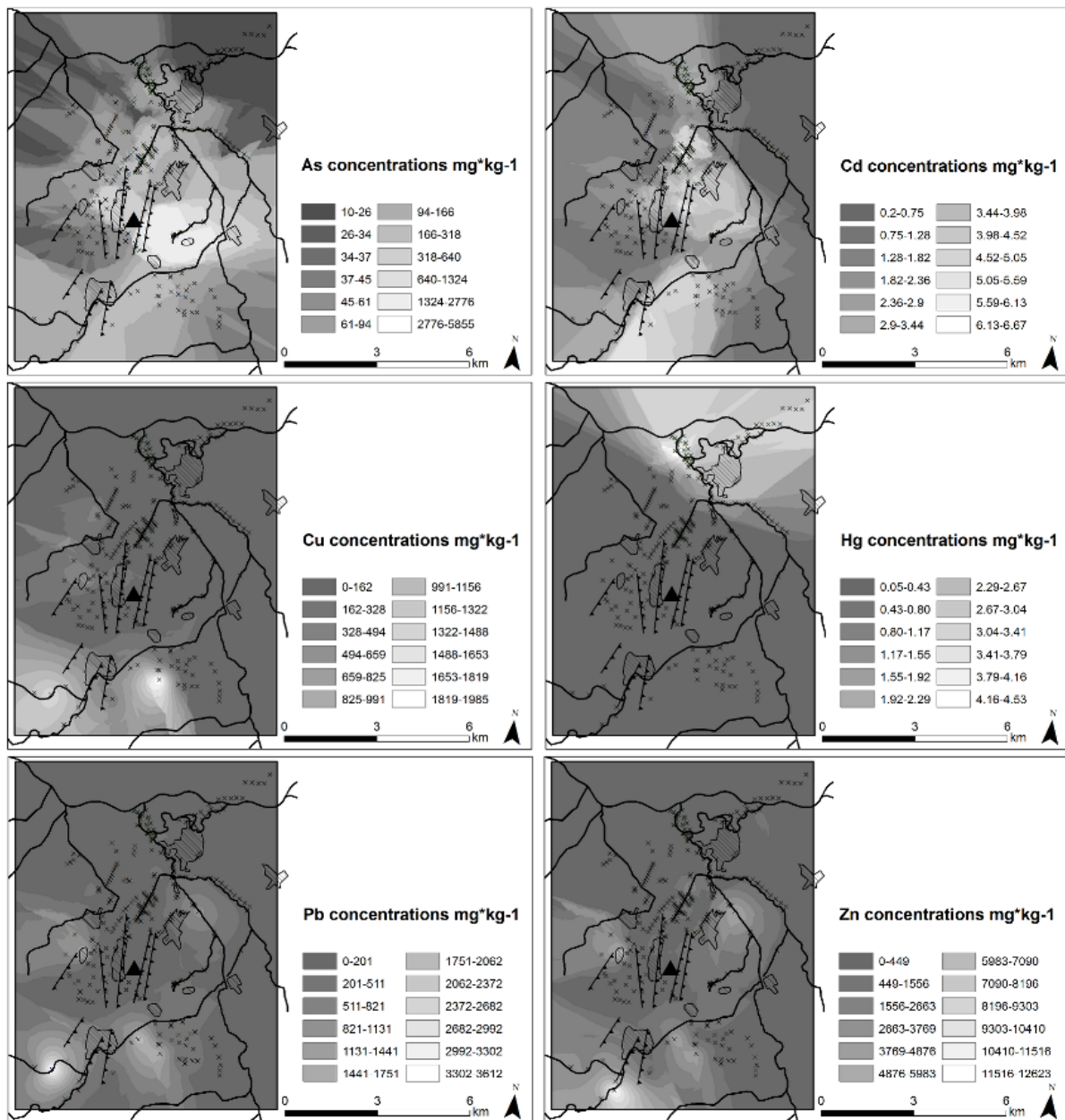
- Ash, C. – Borůvka, L. – Tejnecký, V. – Nikodem, A. – Šebek, O. – Drábek, O. 2014: Potentially toxic element distribution in soils from the Ag-smelting slag of Kutná Hora (Czech Republic): Descriptive and prediction analyses. *Journal of Geochemical Exploration* 144. 328-336.
- Bartoš, M. 2004: Středověké dobývání v Kutné Hoře. Der mittelalterlicher Bergbau in Kuttenberg. In: Nováček, K. (ed.): *Těžba a zpracování drahých kovů: sídelní a technologické aspekty. The mining and processing of precious metals: settlement and technological aspects. Mediaevalia archaeologica* 6. Praha – Brno – Plzeň. 157-201.
- Bindler, R. – Segerström, U. – Petterson-Jensen, I.-M. – Berg, A. – Hansson, S. – Holmström, H. – Olsson, K. – Renberg, I. 2011: Early medieval origins of iron mining and settlement in central Sweden: multiproxy analysis of sediment and peat records from the Norberg mining district. *Journal of Archaeological Science* 38. 291-300.
- Ciszewski, D. 2001: Flood-related changes in heavy metal concentrations within sediments of the Biała Przemsza River. *Geomorphology* 40. 205–218.
- Ciszewski, D. 2003: Heavy metals in vertical profiles of the middle Odra River overbank sediments: evidence for pollution changes. *Water, Air and Soil Pollution* 143. 81–98.
- Ciszewski, D. 2004: Pollution of Mała Panew River Sediments by Heavy Metals: Part I. Effect of Changes in River Bed Morphology. *Polish Journal of Environmental Studies* 13. 589-595.
- Ciszewski, D. – Kubsik, U. – Aleksander-Kwaterczak, U. 2012: Long-term dispersal of heavy metals in a catchment affected by historic lead and zinc mining. *Journal of Soils and Sediments* 12. 1445-1462.
- Crutzen, P. J. 2002: Geology of mankind. *Nature* 415. 23.
- Facchinelli, A. – Sacchi, E. – Mallen, L. 2001: Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution* 114. 313-324.
- Hauptman, I. 1995: Výsledky průzkumu obsahu rizikových prvků v lokalitách okresů Příbram, Kolín, Kutná Hora. Nепublikovaná studie dostupná v archivu Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (www.ukzuz.cz). Brno.
- Hejzman, M. – Müllerová, V. – Vondráčková, S. – Száková, J. – Tlustoš, P. 2014: Establishment of *Bryum argenteum* and concentrations of elements in its biomass on soils contaminated by As, Cd, Pb and Zn. *Plant, Soil and Environment* 60. 489-495.
- Hindel, R. – Schalich, J. – De Vos, W. – Ebbing, J. – Swennen, R. – Van Keer, I. 1996: Vertical distribution of elements in overbank sediment profiles from Belgium, Germany and The Netherlands. *Journal of Geochemical Exploration* 56. 105–122.

- Horák, J. – Hejcman, M. 2013: Use of trace elements from historical mining for alluvial sediment dating. *Soil and Water Research* 8. 77-86.
- Houdková, J. 1960: Obchod s kutnohorskou mědí v druhé polovině 15. století. Příspěvky k dějinám Kutné Hory I. 87-102.
- Hudson-Edwards, K. A. – Macklin, M. G. – Curtis, C. D. – Vaughan, D. J. 1996: Processes of formation and distribution of Pb-, Zn-, Cd- and Cu-bearing minerals in the Tyne Basin, Northeast England: implications for metal-contaminated river systems. *Environmental Science and Technology* 30, 72–80.
- Hürkamp, K. – Raab, T. – Völkl, J. 2009a: Lead Pollution of Floodplain Soils in a Historic Mining Area— Age, Distribution and Binding Forms. *Water, Air and Soil Pollution* 201. 331-345.
- Hürkamp, K. – Raab, T. – Völkl, J. 2009b: Two and three-dimensional quantification of lead contamination in alluvial soils of a historic mining area using field portable X-ray fluorescence (FPXRF) analysis. *Geomorphology* 110. 28-36.
- Hušpauer, M. 2004: Hlízov - Ověření obsahu vybraných těžkých kovů v půdách - lokality 1-3. Nепublikovaná studie uložená v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 110293
- Charvátová, K. – Valentová, J. – Charvát, P. 1985: Sídliště 13. století mezi Malínem a Novými Dvory, okres Kutná Hora. *Památky archeologické* 76. 101-167.
- Kocourková-Víšková, E. – Loun, J. – Šráček, O. – Houzar, S. – Filip, J. 2015: Secondary arsenic minerals and arsenic mobility in a historical waste rock pile at Kaňk near Kutná Hora, Czech Republic. *Mineralogy and Petrology* 109. 17-33.
- Kořan, J. 1950: Dějiny dolování v rudním okrsku kutnohorském. *Geotechnica* 11. Praha
- Kozubek, P. – Pácal, Z. 2003: Dořešení obsahu arzenu, kadmia a zinku v půdách a revize šlichových anomálií v prostoru mezi Kaňkem, Veletovem, Starým Kolínem, Hlízovem a Kaňkem. Nепublikovaná studie uložená v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 114122
- Králová, L. – Száková, J. – Kubík, S. – Tlustoš, P. – Balík, J. 2010: The variability of arsenic and other risk element uptake by individual plant species growing on contaminated soil. *Soil and Sediment Contamination* 19. 617-634.
- Malec, J. 1999: Komplexní zhodnocení starých hald po těžbě rud na Kutnohorsku. Nепublikovaná studie uložená v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 097359

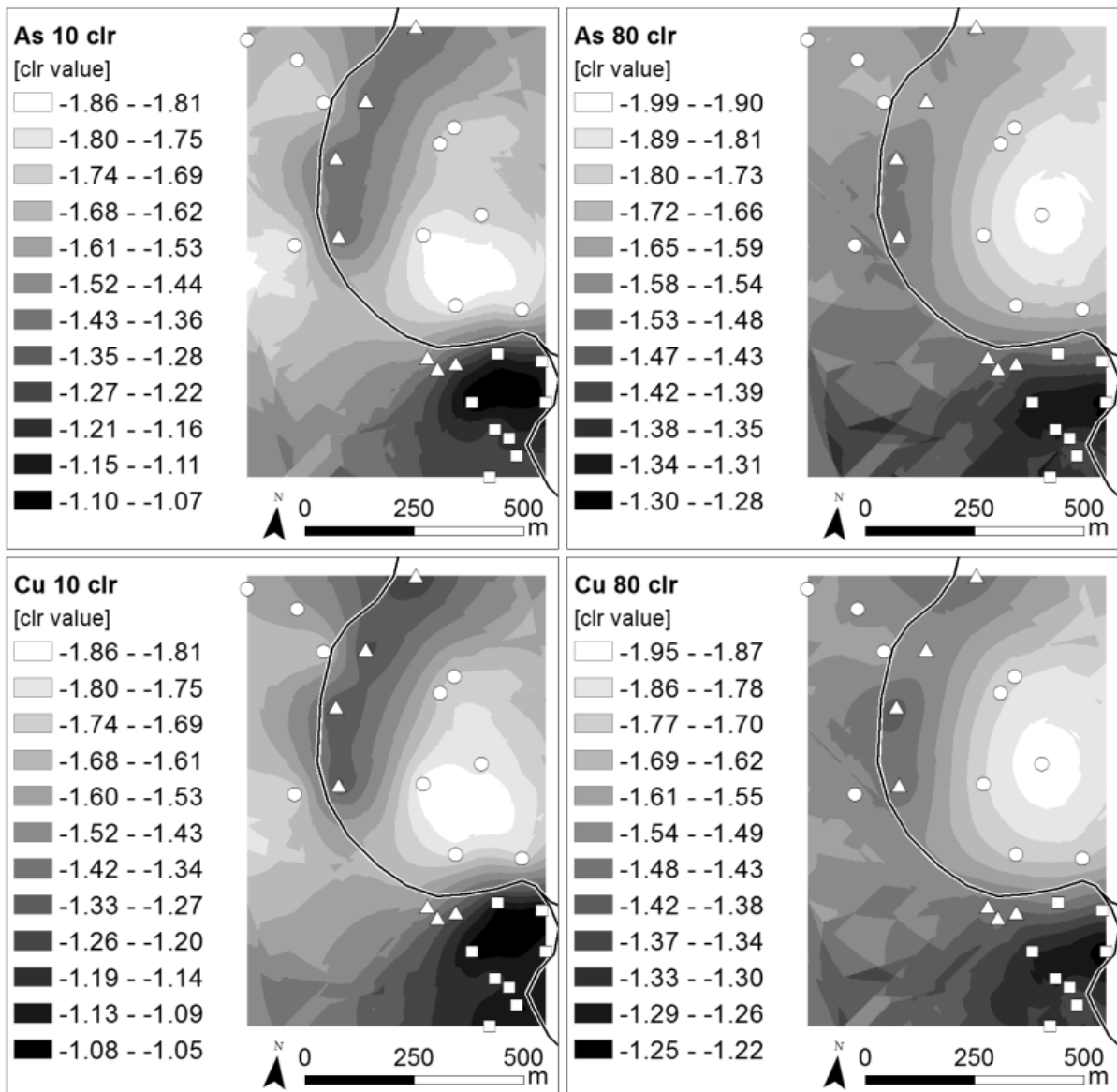
- Malec, J. 2003: Orientační zhodnocení kontaminace prostředí arsenem a těžkými kovy v okolí Kutné Hory. Nepublikovaná studie uložena v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 112196
- Malec, J. – Pauliš, P. 1995: Kontaminace zemědělských půd rizikovými prvky v kutnohorském rudním revíru. Kutná Hora. Nepublikovaná studie uložena v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 134685
- Malec, J. – Rezek, K. 2000: Posouzení dlouhodobého vlivu důlních vod a Fe-okrů s vysokým obsahem arsenu na vodoteče a přilehlé pozemky pod štolou „14 pomocníků“ v Kutné Hoře. Nepublikovaná studie uložena v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 098972
- Malec, J. – Rezek, K. 2001: Formy vystupování As a Cd v kontaminovaných půdách v okolí Kutné Hory a faktory přirozené dekontaminace. Kutná Hora. Nepublikovaná studie uložena v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 101543
- Malec, J. – Štefan, V. – Rezek, K. 1999: Vliv složení starých hutních strusek z území kutnohorského revíru na kontaminaci horninového prostředí rizikovými prvky. Nepublikovaná studie uložena v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 097360
- Matschullat, J. – Ellminger, F. – Agdemir, N. – Cramer, S. – Ließmann, W. – Niehoff, N. 1997: Overbank sediment profiles — evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany. *Applied Geochemistry* 12. 105–114.
- Müllerová, V. – Hejcman, M. – Hejcmanová, P. – Pavlů, V. 2014: Effect of fertilizer application on *Urtica dioica* and its element concentrations in a cut grassland. *Acta Oecologica* 59. 1-6.
- Nováček, K. 2004: Středověká výroba „falešného stříbra“ v Kutné Hoře? K interpretaci technologií v hutnické dílně mezi Malínem a Novými Dvory na Kutnohorsku. In: Nováček, K. (ed.): *Těžba a zpracování drahých kovů: sídelní a technologické aspekty. The mining and processing of precious metals: settlement and technological aspects. Mediaevalia archaeologica* 6. Praha – Brno – Plzeň. 211-221.
- 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. 460-473.
- Pauliš, P. 1998: Minerály kutnohorského rudního revíru. Kuttna. Kutná Hora.

- Pauliš, P. 1999a: Literatura s geologicko-mineralogickou tematikou. Kutnohorsko – vlastivědný sborník 1. 54-59.
- Pauliš, P. 1999b: Přehled montanistické literatury vztahující se k okresu Kutná Hora z let 1989-1998. Kutnohorsko – vlastivědný sborník 2. 59-60.
- Pauliš, P. 2000a: Intoxikace životního prostředí v kutnohorském rudním revíru. Intoxication of environment in Kutná Hora ore region. Kutnohorsko – vlastivědný sborník 3. 36-40.
- Pauliš, P. 2000b: Výběr z geologicko-mineralogické a historicko-montanistické literatury kutnohorského rudního revíru do roku 1988. Kutnohorsko – vlastivědný sborník 3. 48-60.
- Reimann, C. – Filzmoser, P. – Garrett, R. – Dutter, R. 2008: Statistical Data Analysis Explained. Applied Environmental Statistics with R. John Wiley and Sons.
- Sáňka, M. – Malec, J. 2002: Přehled dosavadních poznatků o kontaminaci prostředí arsenem a těžkými kovy v okolí Kutné Hory a jejich orientační zhodnocení. Nepublikovaná studie uložena v archivu Geofondu České geologické služby, Kostelní 26, Praha (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/lending-services/geofond-archive>) pod signaturou P 111632
- Veselý, J. – Gürtlerová, P. 1996: Mediaeval Pollution of Fluvial Sediment in the Labe (Elbe) River, Bohemia. Věstník Českého geologického ústavu 71, 51-56.
- Vondráčková, S. – Hejzman, M. – Tluštoš, P. – Száková, J. 2013: Effect of Quick Lime and Dolomite Application on Mobility of Elements (Cd, Zn, Pb, As, Fe and Mn) in Contaminated Soils. Polish Journal of Environmental Studies 22. 577-589.
- Zýka, V. 1974: Stopové prvky v popelu rostlin ze starých hald kutnohorských rudných dolů. Sborník geologických věd. Technologie, geochemie 12. 145-155.
- Zýka, V. 1977: Vliv hornické a hutnické činnosti na chemické složení přirozené vegetace a kulturních rostlin v Kutné Hoře. Sborník geologických věd. Technologie, geochemie 14. 83-110.

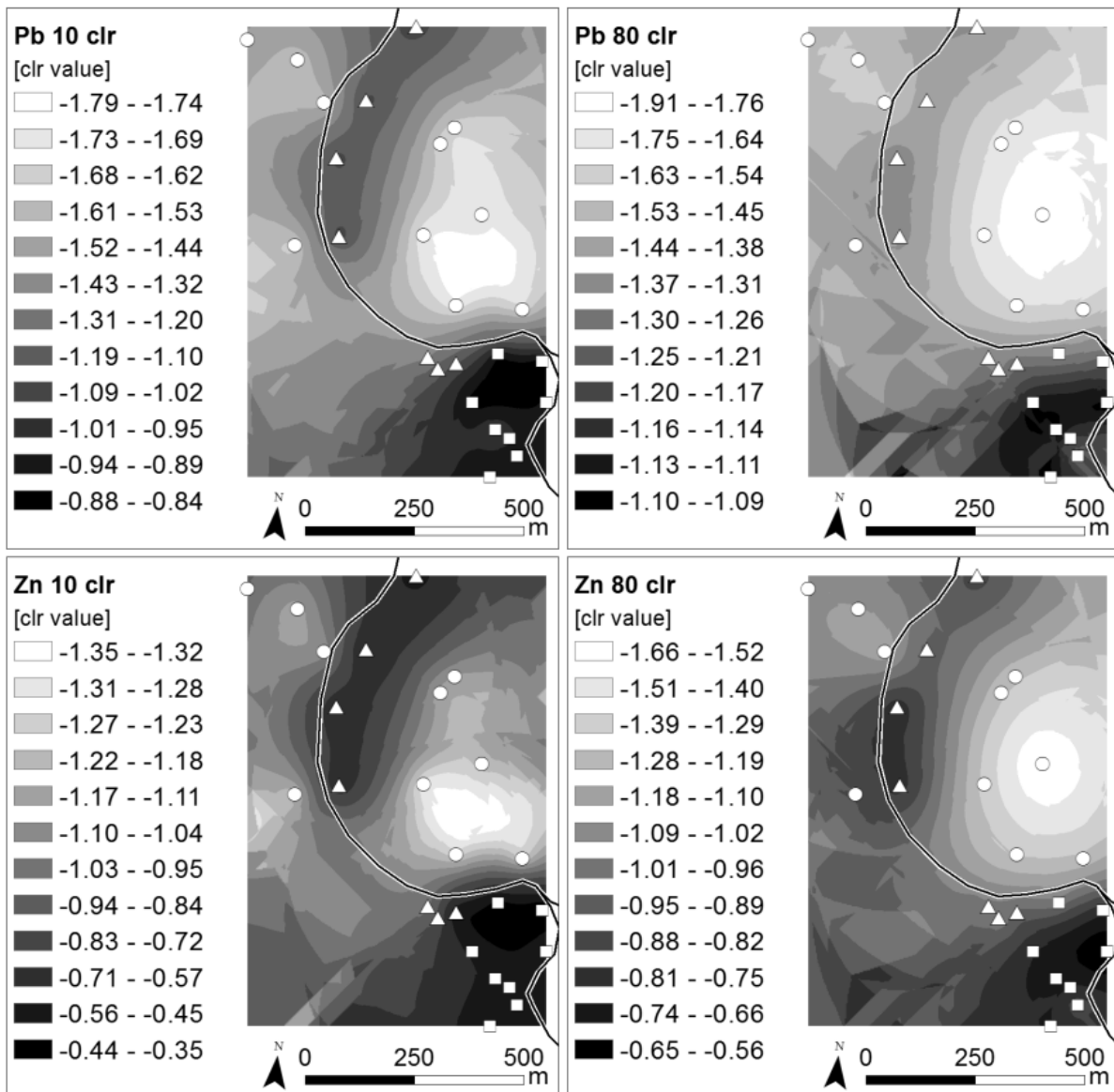
8. Přílohy - obrázky a tabulky



Obrázek 1. Interpolace koncentrací As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn.



Obrázek 2. Interpolace clr transformovaných hodnot As a Cu v prostoru soukotu Klejnárky (ze spodního okraje map) a Labe (z pravého okraje map). Transformace: hodnota koncentrace vydělená geometrickým průměrem všech hodnot všech proměnných 1403,091 a poté \log_{10} transformována.



Obrázek 3. Interpolace clr transformovaných hodnot As a Cu v prostoru soukotu Klejnárky (ze spodního okraje map) a Labe (z pravého okraje map). Transformace: hodnota koncentrace vydělená geometrickým průměrem všech hodnot všech proměnných 1403,091 a poté log₁₀ transformována.

Tabulka 1a. Základní charakteristiky souboru dat skupiny G1

charakteristiky	typ prostředí	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Pb	V	Zn
vzorky	vše	478	478	478	478	478	478	478	478	478	478
počet	vše	465	219	445	219	218	263	219	307	219	426
NA	vše	13	259	33	259	260	215	259	171	259	52
max	vše	7270	3,63	25	16,52	86,3	3470	70,96	3650	52,82	12900
medián	vše	71,43	0,59	1,6	5,92	8,63	40	0,23	75	14	173,5
MAD	vše	76,25	0,3	1,57	2,97	6,65	33,06	0,27	82,14	10,82	183,8
min	vše	2,19	0,1	0,02	2,1	2,6	2,89	0,04	2,5	4,4	1
vzorky	1	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
počet	1	55	37	50	37	37	46	37	47	37	47
NA	1	4	22	9	22	22	13	22	12	22	12
max	1	6890	0,67	8,5	8,6	9	470	0,8	445	15	840
medián	1	94	0,45	1,1	4,7	4,8	32	0,09	70	8,1	133
MAD	1	80,06	0,09	0,7	0,44	0,74	10,38	0,04	35,58	1,04	63,75
min	1	6,2	0,33	0,3	3,3	3,1	12	0,05	30	6	37
vzorky	2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
počet	2	15		15			10		10		10
NA	2		15		15	15	5	15	5	15	5
max	2	653		18,6			3470		3650		12900
medián	2	190		4,6			1050		1110		4765
MAD	2	198,7		2,67			380,3		968,9		1964
min	2	30		0,6			242		143		568
vzorky	3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
počet	3	20		8			5		3		8
NA	3		20	12	20	20	15	20	17	20	12
max	3	7270		25			171		949		5777
medián	3	296,5		4,87			121		169		2253
MAD	3	392,8		6,16			74,13		223,6		2675
min	3	7,84		0,17			3,31		18,2		87,9
vzorky	4	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
počet	4	24		20							20
NA	4		24	4	24	24	24	24	24	24	4
max	4	1170		15,5							2236
medián	4	265,5		4,43							830
MAD	4	250,9		4,4							619
min	4	46,4		0,31							80,8

Hodnoty prvků v [mg kg⁻¹]; vzorky – počet vzorků v souboru, počet – počet hodnot prvku v souboru, NA – počet chybějících dat, max – maximální hodnota, medián – mediánová hodnota, MAD – mediánová absolutní odchylka, min – minimální hodnota

Tabulka 1b. Základní charakteristiky souboru dat skupiny G1

charakteristiky	typ prostředí	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Pb	V	Zn
vzorky	5	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
počet	5	135	56	139	56	55	76	56	82	56	128
NA	5	9	88	5	88	89	68	88	62	88	16
max	5	540	0,69	20,7	6,6	10	751	0,34	980	15	3029
medián	5	81,3	0,48	1,49	4,4	4,7	37,75	0,08	109,5	8,3	209
MAD	5	57,38	0,07	1,13	1,19	1,04	20,02	0,03	91,11	2,82	189,2
min	5	7,1	0,23	0,24	2,1	2,6	7,9	0,04	12	4,7	26
vzorky	6	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
počet	6	73	26	70	26	26	26	26	38	26	70
NA	6		47	3	47	47	47	47	35	47	3
max	6	160	3,63	2,92	15,76	25,7	112,8	0,29	397,7	30,7	937
medián	6	26,1	1,36	0,26	6,57	9,4	37,3	0,06	18,7	13,05	69,8
MAD	6	31,86	1,14	0,35	2,07	3,56	22,98	0,02	9,93	11,27	102
min	6	2,19	0,49	0,02	4,7	5,8	19,7	0,04	10,8	4,4	1
vzorky	7	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
počet	7	43		43					27		43
NA	7		43		43	43	43	43	16	43	
max	7	156		2,4					89,4		457
medián	7	13,5		0,27					22		75,2
MAD	7	4,45		0,1					12,31		27,43
min	7	2,5		0,1					2,5		22,5
vzorky	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
počet	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
NA	10										
max	10	275,3	1,76	11,18	16,52	86,3	221,6	70,96	425	52,82	1122
medián	10	66,65	0,96	2,7	9,59	23,02	71,78	3,03	135	27,96	248,9
MAD	10	63,1	0,34	1,07	2,66	10,01	71,94	1,85	143,9	7,81	226,8
min	10	3,23	0,1	1,24	2,39	2,63	2,89	0,28	5,27	5,8	12,94

Hodnoty prvků v [mg kg⁻¹]; vzorky – počet vzorků v souboru, počet – počet hodnot prvku v souboru, NA – počet chybějících dat, max – maximální hodnota, medián – mediánová hodnota, MAD – mediánová absolutní odchylka, min – minimální hodnota

Tabulka 2. Charakteristiky kontaminačních prvků ve srovnání mezi oblastmi z hlediska kontaminace

oblast	prvek	počet vzorků	limit	minimum	medián	průměr	maximum
pozadí	As	158		10	33	41	159
kontaminace	As	306		13	149	582	24753
soutok	As	2081		4	73	83	357
kontaminace	As (ICP)*	476	4,5	2	74	235	29600
soutok	As (ICP)	100	4,5	4	67	73	276
kontaminace	Cd (ICP)*	455	0,4	0,02	2	3	84
soutok	Cd (ICP)	100	0,4	2	3	4	12
pozadí	Cu	148		12	34	35	68
kontaminace	Cu	293		18	57	265	3167
soutok	Cu	1998		11	89	92	298
kontaminace	Cu (ICP)*	273	30	3	43	254	7190
soutok	Cu (ICP)	100	30	3	72	70	222
kontaminace	Hg (ICP)*	219		0,04	0,2	2	71
soutok	Hg (ICP)	100		1	4	5	71
pozadí	Pb	158		13	35	38	79
kontaminace	Pb	293		12	82	429	4744
soutok	Pb	2084		7	137	140	528
kontaminace	Pb (ICP)*	317	50	3	81	245	6580
soutok	Pb (ICP)	100	50	6	135	149	425
pozadí	Zn	158		25	86	95	333
kontaminace	Zn	302		23	232	1426	19140
soutok	Zn	2092		14	332	378	2186
kontaminace	Zn (ICP)*	436	50	1	183	830	39400
soutok	Zn (ICP)	100	50	13	249	269	1122

Charakteristiky koncentrací podle metod XRF a ICP-OES (označeny). ICP-OES data označená hvězdičkou (*) pocházejí z dat využitých v metaanalýze. Limit označuje limit po extrakci v HNO₃ pro lehké půdy podle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 13/1994. Hodnoty prvků v [mg kg⁻¹]; pozadí označuje vzorky přirozeného pozadí, kontaminace označuje oblast Kutné Hory a Kaňku, soutok označuje oblast soutoku Klejnárky a Labe. **Tučně** označené hodnoty představují páry kontaminace-soutok, v nichž jsou hodnoty ze soutoku nižší.

9. Přílohy - publikace

Svatoanenský rybník

Tato studie byla publikována v časopisu Soil and Water Research v roce 2013.

Citace:

Horák, J. – Hejcman, M. 2013: Use of trace elements from historical mining for alluvial sediment dating. Soil and Water Research 8. 77-86.

Link: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/91846.pdf>

Use of trace elements from historical mining for alluvial sediment dating

Jan Horák^{1,2} Michal Hejcman^{1,2}

¹*Department of Ecology, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences, Kamýcká 129, CZ-165 21 Prague 6 - Suchbát, Czech Republic*

²*Institute of Prehistory and Early History, Faculty of Arts, Charles University, Celetná 20, CZ-116 36 Prague 1, Czech Republic*

Abstract

We examined whether it is possible to relate concentrations of trace elements in alluvial sediments with records concerning the intensity of mining, and use it as a means of dating. We conducted our research in the medieval mining district of the town of Kutná Hora in the Czech Republic. Samples were collected under the pond dam and analysed for clay, silt and sand content and for As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V and Zn concentrations. We observed two main peaks of element concentrations (Be, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, V and Zn), independent of grain fractions. The peaks were interpreted as the result of human activity. The concentration curves, stratigraphy and location of the dam/alluvium boundary were compared with historical records of mining production. This means of dam dating into the 16th century agreed with historical dating from written sources. Trace elements were also successfully used as stratigraphic markers. The comparison between concentration patterns of V and other well interpreted elements (Be, Co, Cr, Cu, Hg, Pb and Zn) enabled to recognize a material directly originating from the mines. The elements thus helped to interpret local sedimentation history.

Metaanalýza

Horák, J. – Hejcman, M. 2016: 800 years of mining and smelting in Kutná Hora region (the Czech Republic) – spatial and multivariate meta analysis of contamination studies. *Journal of Soils and Sediments* 16. 1584-1598.

Link: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11368-015-1328-7>

800 years of mining and smelting in Kutná Hora region (the Czech Republic) – spatial and multivariate meta-analysis of contamination studies

Jan Horák • Michal Hejcman

Department of Ecology, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences, Kamýcká 129, 165 21 Prague 6 - Suchbátka, the Czech Republic

Abstract

Purpose: Kutná Hora was a centre of medieval mining and remains an important contamination source in the present day. Surprisingly, very little attention has been paid to the associated contamination. Although some studies have been performed, the majority of information regarding contamination is only accessible in the archives and no overview has been published. The purpose of this study is to perform a meta-analysis of all accessible data and to shed light on this topic.

Materials and methods: The data mainly come from analyses of HNO₃ solutions of sediments. We used statistical analyses (exploratory data analysis, PCA). The results were visualised and evaluated in the GIS environment.

Results and discussion: The complex of heavy metals: As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, V, Zn can be divided into three main groups of different interpretation 1) uninfluenced by mining activities – Be, Co, Cr, Hg, V; 2) smelting processes – Cu, Pb, Zn; 3) mining – As and Cd. These groups also show different spatial distribution patterns, absolute concentration values and binding with different environmental types – landscape features.

Conclusions: The contamination of Kutná Hora can be characterised by elements grouping and also by spatial diversification. This could be used in future research as a bearer of proxy information. Surprisingly, it also seems that the spatial range of contamination of sediments could be shorter than is generally presumed.

Soutok Klejnárky a Labe

Tato studie byla přijata k publikaci v časopisu Soil and Water Research

Horák, J. – Hejcman, M. 2016: Contamination characteristics of the confluence of polluted and unpolluted rivers – range and spatial distribution of contaminants of a significant mining centre (Kutná Hora, Czech Republic). Soil and Water Research.

Link na web časopisu: <http://www.agriculturejournals.cz/web/swr.htm>

Contamination characteristics of the confluence of polluted and unpolluted rivers – range and spatial distribution of contaminants of a significant mining centre (Kutná Hora, Czech Republic)

Jan Horák¹, Michal Hejcman¹

¹*Department of Ecology, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences, Kamýcká 129, CZ-165 21 Prague 6 - Suchbát, Czech Republic*

Abstract

The study brings new insights into the topic of the contamination characteristics of the mining region of Kutná Hora (central Bohemia). The previous meta-analysis of the contamination studies showed that there could be a surprisingly low spatial range of contaminated river sediment downstream of Kutná Hora. The study should answer the question as to whether it is justifiable to interpret the presence of contaminants as a result of Kutná Hora mining.

There was found a rapid increase in concentrations between the background area and contaminated Kutná Hora. Increase of medians of As: 33 mg*kg⁻¹ and 148, Cu: 34 and 57, Pb: 35 and 82, Zn: 85 and 232; means increased ca 10 times. Then a decrease between the contaminated area and the confluence area was observed. But this decrease was influenced by a presence of extreme values in the contaminated area and therefore it was observed only in means. Medians of the elements concentrations did not decrease. The concentrations of the elements decreased after the confluence to lower values, but they stayed at the contaminated area levels. The background levels were observed only in the probes related to Labe alluvium. But also in these probes, the contamination was traced by multivariate analyses – by clear separation of As, Cu, Pb, Zn from other elements. The contamination was manifested in probes after the confluence mainly in the topsoil levels of alluvium, ca in 10 to 40 cm. The original starting point of this study, that the contamination is not firmly manifested in the areas after the confluence, based on meta-analysis of regional studies, is not valid.

Mgr. et Mgr. Jan Horák - CV

Narozen: 4. září 1981 v Hradci Králové

e-mail: jan_horak@email.cz

Vzdělání: 2011- Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, doktorské studium ekologie, téma disertace: Kontaminace rizikovými prvky na Kutnohorsku a možnosti jejího využití v paleoenvironmentálním výzkumu, školitel: prof. RNDr. Michal Hejcman, Ph.D. et Ph.D.

2010- Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, doktorské studium archeologie, téma disertace: Středověká společnost a krajina, jejich vzájemné vztahy a působení, školitel: prof. PhDr. Jan Klápště, CSc.

2007-2010 Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, obor Fyzická geografie a geokologie, studium zakončeno titulem Mgr.

2004-2007 Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, obor Archeologie pravěká a raně středověká, studium zakončeno titulem Mgr.

2001-2004 Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, obor Archeologie pravěká a raně středověká, studium zakončeno titulem Bc.

Podpořené projekty:

2015-2016 – GAUK č. 307415, projekt „Nový pohled na funkční strukturu plužin zaniklých osad a vztah lidských aktivit a přírodního prostředí prostřednictvím pedochemických metod“

2014 – interní grant IGA FŽP ČZU (20144237), projekt „Dlouhodobé charakteristiky vývoje kontaminace antropogenních i přirozených sedimentů v prostředí historických těžebních a hutních areálů“

2013 – interní grant IGA FŽP ČZU (20134223), projekt „Kontaminace sedimentů rizikovými prvky a její využití při analýze sedimentárního záznamu říčních niv“

2012 – interní grant IGA FŽP ČZU (20124251), projekt „Vliv středověké společnosti na vybrané prvky ekosystému – těžké kovy v sedimentech niv“

2011 – interní grant FF UK, projekt „Středověká společnost a krajina, jejich vzájemné vztahy a působení“

2009 – projekt GAUK č. 259087 „Mapování, datace a dokumentace historických krajinných struktur v krajině dolního Podoubraví, (krajinná památková zóna Žehušicko)“ v rámci studia fyzické geografie na PřF UK

Zaměstnání (tučně stále probíhající):

2014 Ústav pro archeologii UK FF (spolupráce na grantových projektech ústavu – především výzkum zaniklého středověkého osídlení, aplikace geochemických a pedologických metod)

2013- Katedra ekologie FŽP ČZU

2013 Ústav pro archeologii UK FF

2007-2011 Labrys o.p.s. – archeolog, environmentalista, zpracovávání strategií environmentálního vzorkování při archeologických výzkumech, zpracovávání zpráv o environmentálním pozadí archeologických lokalit, provádění záchranných výzkumů a autorství nálezových zpráv, zpracovávání archeologických rešerší a hodnocení území z hlediska archeologie pro potřeby stavebních projektů

2004-2006 Muzeum východních Čech v Hradci Králové – archeolog, provádění záchranných výzkumů

2001-2002 Státní ústav památkové péče – zpracovávání podkladů pro Státní archeologický seznam

Přednášky:

2015 – Environmentální archeologie (1 semestr, Ústav pro archeologii UK FF)

2013 – Environmentální archeologie (2 semestry, Ústav pro archeologii UK FF)

Vedení studentských prací:

2015 – Petr Herčík (ČZU) Možnosti výzkumu kontaminace sedimentů v oblastech s historickou těžební a hutní aktivitou

Konzultace studentských prací:

2015 – Martin Janovský (FFUK) Geochemické metody v archeologii středověku:

Testování v areálu zaniklé vsi Hol (Hl.m. Praha)

Další:

- 2015 – Konference environmentální archeologie, České Budějovice, 2 prezentace, 2 postery
- 2014 – konference Kvartér, Brno, poster
- 2014 – konference SAS – Stowarzyszenie Archeologii Środowiskowej, Łódź, příspěvek, poster
- 2014 – konference International Conference of Environmental pollution and remediation, Praha, příspěvek
- 2014 – Konference environmentální archeologie, Olomouc, poster
- 2013 – účast na konferenci Kvartér, poster
- 2013 – účast na konferenci Stříbrná Jihlava, Jihlava, příspěvek
- 2013 – účast na konferenci European Association of Archaeologists, Plzeň, poster
- 2013 – účast na konferenci Geoarchaeology of river valleys, Kielce, příspěvek
- 2013 – účast na Konferenci environmentální archeologie, České Budějovice, poster
- 2012 – účast na konferenci Kvartér, příspěvek
- 2012 – účast na Konferenci environmentální archeologie, Praha, příspěvek
- 2011 – účast na Konferenci environmentální archeologie, Brno, poster
- 2010 – účast na konferenci Kvartér, příspěvek
- 2010 – účast na geografické studentské konferenci New Wave, příspěvek
- 2008 – účast na Letní škole kvartérních studií pořádané Štátnym geologickým ústavem Dionýza Štúra v Bratislavě, Slovenskou geologickou spoločnosť a Přírodovědeckou fakultou Univerzity Komenského
- 2004-2007 spoluorganizátor konferencí Archeologie a veřejnost
- 2000 – účast v celostátním kole Středoškolské odborné činnosti s prací „Svaté Pole – cisterciácký klášter u Třebechovic pod Orebem (3. místo)
- 1998/99 – účast v zemském kole soutěže Certamen Latinum

Publikace v recenzním řízení:

Horák, J. – Klír, T.: Pedogenesis, pedochemistry and the functional structure of the field system of a deserted medieval village (Spindelbach, Czech Republic) – **under review** in Journal of Archaeological Science: Reports

Publikace IN PRINT:

Horák, J. – Hejcman, M.: Contamination characteristics of the confluence of polluted and unpolluted rivers – range and spatial distribution of contaminants of a significant mining centre (Kutná Hora, Czech Republic) – **accepted** in Soil and Water Research

Bibliografie evidovaná na WOS:

Horák, J. – Hejcman, M. 2013: Use of trace elements from historical mining for alluvial sediment dating. Soil and Water Research 8. 77-86.

Horák, J. – Hejcman, M. 2016: 800 years of mining and smelting in Kutná Hora region (the Czech Republic) – spatial and multivariate meta analysis of contamination studies. Journal of Soils and Sediments 16. 1584-1598.

Bibliografie celková:

Horák, J. 2014: Heavy metal contamination as a useful source in palaeoenvironmental research. In: Kittel, P. – Ludwisiak, K. – Twardy, J. – Nowak, I. (eds.): Naturalne i archeologiczno-historyczne uwarunkowania osadnictwa średniowiecznego. Łódź. 47.

Horák, J. 2013: Floodplain dynamics and heavy metal contamination. In: Kalicki, T. – Krupa, J. (eds.): Geoarchaeology of river valleys. 13-15 May 2013, Kielce – Suchedniów, Poland. Abstract book and field guide. Kielce. 53-54.

Horák, J. – Hejcman, M. 2013: Use of trace elements from historical mining for alluvial sediment dating. Soil and Water Research 8. 77-86.

Horák, J. 2012: Kutnohorská těžba, kontaminace a možnosti jejího využití při analýze nivního prostředí. In: Uhlířová, H. – Malíková, R. – Ivanov, M. (eds.): Sborník abstraktů 18. Konference Kvartér konané 23. 11. 2012, PŘF MU, Brno. 20-21.

Horák, J. 2012: Možnosti datace historické krajiny, Svatoanenský rybník na Kutnohorsku. In: Součková, K. – Hejcman, M. (eds.): Zemědělství pohledem environmentální archeologie. Sborník abstraktů 8. Konference environmentální archeologie konané ve dnech 1. – 3. 2. 2012, ČZU, Praha. 35.

- Horák, J. 2010: Mapování, datace a dokumentace historických krajinných struktur v krajině dolního Podoubraví (krajinná památková zóna Žehušicko). Rukopis nepublikované diplomové práce, uloženo na Katedře fyzické geografie a geoekologie PŘF UK v Praze.
- Horák, J. – Kvietok, M. – Kublek, P. – Holub, M. – Kuchařík, M. 2009: Birituální pohřebiště kultury zvoncovitých pohárů v Praze – Jinonicích. *Archaeologica Pragensia* 19, 5-30.
- Horák, J. 2008: Svaté pole. Cisterciácký klášter u Třebechovic pod Orebem. Hradec Králové.
- Horák, J. 2007: Archeologický výzkum dvorku č.p. 40 ve Filištínské ulici v Chrudimi, rukopis nepublikované diplomové práce, uloženo v Ústavu pro pravěk a ranou dobu dějinnou UK FF v Praze.
- Horák, J. 2006: Pascal Acot: Historie a změny klimatu (Praha 2005), *Archeologické rozhledy* LVIII. 849-850 (recenze).
- Horák, J. 2006: Klaus Humpert – Martin Schenk: Entdeckung der mittelalterlichen Stadtplanung. Das Ende vom Mythos der „gewachsenen Stadt“. (Stuttgart 2001). *Archeologické rozhledy* LVIII. 178-181 (recenze).
- Horák, J. – Novák, M. 2005: Záchranný archeologický výzkum na trase vodovodu Lochenice - Holohlavy, *Zpravodaj Muzea v Hradci Králové* 31. 141-157.
- Horák, J. 2004: Dějiny staveb 2001. Sborník vybraných referátů z konference Dějiny staveb 2001 (Plzeň 2002). Dějiny staveb 2002. Sborník vybraných referátů z konference v Nečtinách konané ve dnech 5. 4. – 7.-4. 2002 (Plzeň 2003), *Archeologické rozhledy* LVI, 476-478 (recenze).
- Horák, J. 2004: Středověké osídlení v povodí Dědiny, rukopis nepublikované bakalářské práce, uloženo v Ústavu pro pravěk a ranou dobu dějinnou UK FF v Praze.
- Horák, J. 2003: PhDr. Antonín Hejna. In: Sláva a pád hradu Vízmburka.
- Horák, J. 2002: Nálezy z hradu Vlčince u Police nad Metují, *Zpravodaj Muzea v Hradci Králové* 28. 220-226.