

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 08: Ochrana a tvorba životního prostředí

Kontaminace půd těžkými kovy po historické těžbě a zpracování stříbra

Natálie Krédlová, Jiří Němec
Kraj Vysočina

Chotěboř, 2024

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST
Obor č. 08: Ochrana a tvorba životního prostředí

Kontaminace půd těžkými kovy po historické těžbě a zpracování stříbra

Soil contamination with heavy metals after historical silver mining and processing

Autoři: Natálie Krédlová, Jiří Němec

Škola: Gymnázium Chotěboř, Jiráskova 637, 583 01 Chotěboř

Kraj: Kraj Vysočina

Vedoucí práce: Mgr. Eva Jirsová

Konzultant: RNDr. Karel Malý, Ph.D.

Chotěboř, 2024

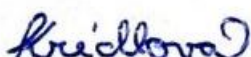
Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Chotěboři dne 3.3.2024



Natálie Krédlová

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.



V Chotěboři dne 3.3.2024

Jiří Němec

Poděkování

Velké díky patří řediteli Muzea Vysočiny Jihlava RNDr. Karlovi Malému, Ph.D., který byl naším odborným konzultantem. Velmi mu děkujeme za poskytnutí cenných informací, za pomoc a čas, který nám věnoval.

Chtěli bychom poděkovat Muzeu Vysočiny Jihlava, které nám poskytlo přístroje ke zpracování našich vzorků, a i samotný prostor pro práci.

Další velké díky patří naší paní profesorce Mgr. Evě Jirsové. Touto cestou jí chceme poděkovat za nabídku této práce, za konzultace, za poskytnuté informace a za čas, který s námi strávila.

Anotace

V naší práci SOČ jsme se zabývali zkoumáním kontaminace životního prostředí těžkými kovy v místech středověké těžby a zpracování polymetalických rud se stříbrem v oblasti kóty Buchberg u obce Utín. Měřili jsme obsah kovů a metaloidů Pb, As, Zn a Ag v půdách. Cílem práce bylo zjistit, zda a případně do jaké míry je okolí lokalit, kde před více než 700 lety probíhala těžba a zpracování rud barevných kovů, kontaminováno a jak tato kontaminace půd může ohrožovat další složky životního prostředí.

Klíčová slova

Buchberg, kontaminace životního prostředí, těžké kovy, půdy

Annotation

In our work, we have been investigating the contamination of the soils of the environment by mining metals at the sites of medieval mining and processing of polymetallic ores with silver after mining and processing of silver in the Buchberg area of the municipality of Utín. We measured mainly the content of life-threatening metals and metaloids such as Pb, As, Zn and Ag in soils. The aim of the work was to determine whether and, if so, to what extent the surroundings of the sites, where the mining and processing of ores of coloured metals took place more than 700 years ago, are contaminated and how this contamination of soils may affect other environmental components.

Keywords

Buchberg, environmental contamination, heavy metals, soils

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Buchberg.....	10
2.1	Zpracování stříbra.....	11
2.2	Archeologický výzkum lokality	12
3	Metodika.....	13
3.1	Práce v terénu	13
3.2	Práce v laboratoři.....	14
4	Výsledky.....	17
4.2	Půdní sondy.....	23
5	Vyhodnocení.....	27
5.1	Plošná půdní metalometrie.....	27
5.2	Půdní sondy.....	29
6	Závěr.....	30
7	Poznámkový aparát	31
8	Seznam obrázků, tabulek a grafů	32
9	Zdroje	33
9.1	Internetové zdroje.....	33
9.2	Odborná rada	33
10	Přílohy.....	34
10.1	Tabule Buchberg (autor Jiří Němec)	34
10.2	Odběr vzorků (autor Karel Malý).....	34
10.3	Pohled na oblast pink (autor Jiří Němec).....	35
10.4	Odkrývání půdního horizontu (Jiří Němec)	35
10.5	Uskladňování vzorku půdy (autor Natálie Krédlová).....	36
10.6	Pohled na oblast z dronu (autor Libor Jaroš – MěÚ Přibyslav)	36
		36
10.7	Pohled na oblast z dronu (autor Libor Jaroš – MěÚ Přibyslav)	37
10.8	Pohled na oblast z dronu (autor Libor Jaroš – MěÚ Přibyslav)	37
10.9	Odběr půdní sondy (autor Karel Malý).....	38

10.10	Měření vzorku v půdní sondě (autor Jiří Němec)	38
10.11	Zapisování lokace odebraného vzorku (Natalie Krédlová)	39
10.12	Odebrané vzorky po vyschnutí, příprava na sušení v sušičce (autor Jiří Němec)	39
10.13	Vzorky v sušičce (autor Natalie Krédlová)	40
10.14	Prosévání vysušeného vzorku (autor Natalie Krédlová)	40
10.15	Příprava vzorku na vážení (autor Jiří Němec)	41
10.16	Filtrační aparatura (autor Natalie Krédlová)	41
10.17	Vážení vzorku (autor Jiří Němec)	42
10.18	Míšení vzorku s HCl (autor Natalie Krédlová)	42
10.19	„Vaření“ vzorků (autor Jiří Němec)	43
10.20	Filtrace vzorků (autor Natalie Krédlová)	43
10.21	Slévání vzorků do plastových lahvíček – vzorky pro analýzu (autor Jiří Němec)	44

1 Úvod

Na Příbyslavsku na kopci Buchberg mezi místními částmi Utín a Hesov se rudy stříbra těžily od 13. století, těžba skončila až v 16. století. Oblast, kde se těžilo má 14 hektarů, což je na české poměry mnoho. Kromě stříbra se zde těžily i rudy olova, zinku a mědi a dnes zde můžeme nalézt několik desítek nálevkovitých depresí (jam). Jedná se o bývalé šachty, či pinky (propadlá podzemní důlní díla), jejichž hloubka může být až několik desítek metrů.

Naše práce se zabývá výzkumem oblasti Buchberg, která se nachází u obce Utín, jenž leží asi 10 kilometrů od města Havlíčkův Brod. Oblast se rozkládá na volně přístupných loukách a polích, část leží také na březích řeky Sázavy, která protéká místním údolím. S výzkumem zdejší oblasti jsme začali v říjnu 2022. Konkrétně jsme se zabývali kontaminací půd na předem vytyčených lokalitách. Vedoucí naší práce byla paní profesorka Mgr. Eva Jirsová a odborným konzultantem pan RNDr. Karel Malý, Ph.D., který je ředitelem a geologem Muzea Vysočiny Jihlava.

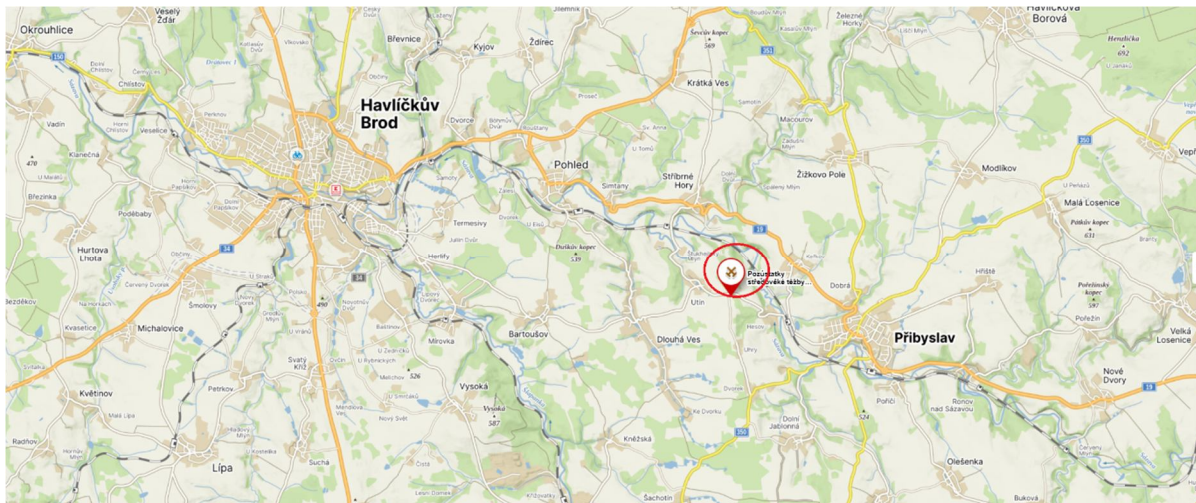
Tyto výzkumy jsme prováděli s cílem zjistit obsah vybraných kovů a metaloidů (především olova, zinku, mědi, arsenu) v odebraných vzorcích půdy. Hlavní myšlenkou práce bylo na základě zjištěných dat a informací určit, zda tyto obsažené prvky ovlivňují prostředí, jsou-li půdy škodlivé, či dokonce nebezpečné lidskému zdraví. Snažili jsme se poukázat na fakt, že ačkoliv se dnes řeší především problémy spojené s minulým režimem, je zde spousta rizikových lokalit spojených s daleko starší lidskou činností.

Těžba může mít vliv na krajinu i mnoho let po jejím ukončení. Ať už její pozůstatky (jámy, pinky), které změnily ráz krajiny, tak i látky obsažené v půdě, na které rostou zemědělsky využívané plodiny.

Samotnou práci jsme začali psát také z důvodu toho, že se po celou dobu studia na gymnáziu o životní prostředí velice zajímáme. Naše škola má již několikrát obhájený titul Ekoškola, a provozuje tedy funkční ekotým, jehož jsme oba členy. Z toho důvodu jsme sami chtěli touto prací pomoci přírodě a zapojit se do aktivit spojených s její ochranou.

2 Buchberg

Oblast Buchberg se nachází u obce Utín, která leží asi 10 kilometrů od Havlíčkova Brodu. Souřadnice památky po těžbě jsou 49°35'1.912"N, 15°42'5.672"E. Místo těžby se také nazývá návrší Poperek, jenž se tyčí nad řekou Sázavou.



Obrázek 1: Lokalita těžby¹

O povrchovém získávání stříbra na Vysočině máme doklady již z 12. století. Hlavní rozvoj těžby stříbra zde nastal ale až ve století následujícím. V Jihlavě započala těžba mezi lety 1234–1240, na Havlíčkobrodsku kolem roku 1250. Podle listiny z roku 1257 zde tehdy vznikly hornické obvody, jejichž centry se staly Brod (dnes Havlíčkův Brod), Přibyslav, Šlapanov a Bělá (dnes Česká Bělá). Tato ložiska byla intenzivně těžena ve 13. století a již ve 14. století byla postupně vytěžena a opouštěna. Avšak kdy přesně těžba na Poperku začala, není známo. Podle charakteru lokality – tedy malé vzdálenosti mezi šachtami a jejich hloubky – odhadujeme, že zde probíhala již v prvních fázích dolování v této oblasti. První písemnou zprávu o těžbě na Poperku máme z roku 1285, kdy je zde uváděno třináct důlních polí. Rovněž doba, kdy zde těžba ustala, není přesně známá. Předpokládá se, že se tak stalo někdy na konci 14., či na počátku 15. století.² Poslední zmínky o těžbě pochází z 16. století, kdy se otevřelo několik nových hornických děl. Dle záznamů z kutnohorské mincovny bylo z Poperku odvezeno 400 hřiven stříbra (jedna hřivna je přibližně 250 gramů). Celkem se tedy během 16. století vytěžilo asi 100 kilogramů stříbra.³

Dnes můžeme na Poperku vidět několik desítek jam, které vznikly propadem podzemních prostor. Tyto jámy mají trychtýřovitý tvar a mohou být i několik metrů hluboké.

¹ *Mapy.cz: Buchberg* [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?l=0&source=base&id=2264956&x=15.6648463&y=49.5894139&z=13>

² *Hrady.cz: Kutiště Poperek* [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <https://www.hrady.cz/technicka-pamatka-kutiste-poperk>

³ *Stribrnehory.cz* [online]. [cit. 2023-09-01]. Dostupné z: <https://stribrnehory.cz/historie-tezby-str-237-bra/d-1002>



Obrázek 2: Pohled na pinky (autor Karel Malý)

Buchberg se rozkládal na ploše o rozloze minimálně 12 hektarů, což z něj dělá jedno z nejrozsáhlejších středověkých důlních areálů ve střední Evropě. Písemnými prameny z 2. pol. 13. stol. je zde mj. doložena kaple (sv. Barbory) a hospoda („hospicium“). Zaniklý Buchberg byl poměrně podrobně zkoumán zatím jen prostřednictvím povrchových nálezů. Na jednom ze dvou příslušejících centrálních hutnišť v meandrech Sázavy byl terén v r. 2001 zkoumán sondou – celé historické nadloží o výšce 0,7 až 0,9 m zde bylo tvořeno struskovým souvrstvím s haldovitou profilací. V ploché nivě meandru struska místy vystupuje až do travního drnu.⁴ Bývalá štola se táhla ve směru SZ-JV v délce přibližně 1 kilometru. V blízkosti hlavní štoly byly vedeny také štoly dědičné, které sloužily k odvádění podzemní vody.⁵

2.1 Zpracování stříbra

Stříbro se po vytěžení zpracovávalo ve vícefázovém procesu úpravy. Nejprve se ruda ručně vytrídila a roztloukla. Třídily se především olovnaté rudy (galenit), které měly vysoký obsah stříbra (asi do 1 %), a nízkoolovnaté rudy jako rudy zinku (sfalerit), železa (pyrit, pyrhotin, arzenopyrit), mědi (chalkopyrit, tetraedrit) a dalších kovů, kterých bylo nejvíce. Dále se někdy těžily také makroskopické sulfidy stříbra (tetraedrit, argentit, aj.), které byly ceněny nejvíce (obsahy stříbra i v desítkách procent).

⁴ ROUS, Pavel. *Stříbrnorudné hornictví na Havlíčkovobrodsku od 13. do 17. století*.

⁵ *Idnes.cz* [online]. [cit. 2023-09-01]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/historie-stredovek-tezba-ruda-buchberg-pribyslav-vysocina-archeolog-virtualni-realita-aplikace.A200629_556448_jihlava-zpravy_mv

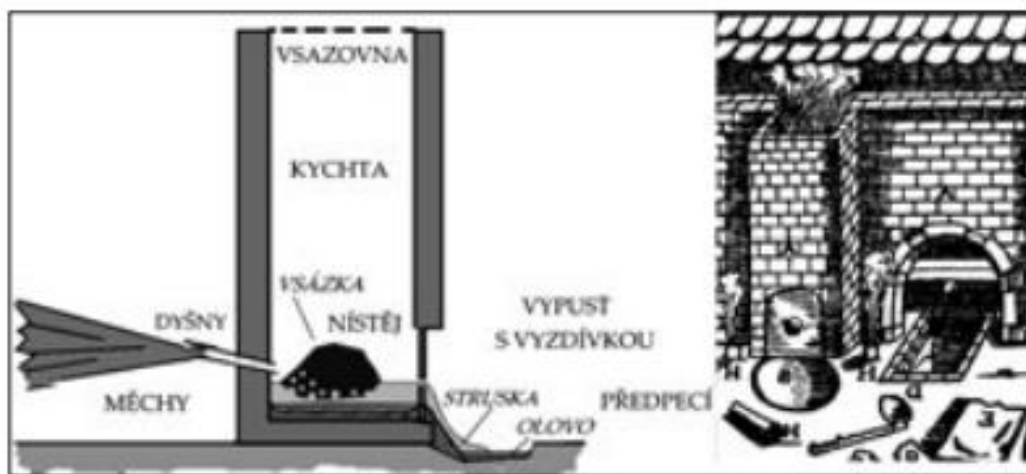
Pokud ruční zpracování nestačilo, přesunula se ruda do rudních mlýnů, které fungovaly pravděpodobně podobným způsobem jako mlýny obilné. Rozemletá rudnina se dále zpracovávala v prádlech: těžší ruda, gravitačně separována od jalového materiálu, byla podobně jako při rýžování zlata zpracována v nádržích či na splavech.

Závěrečným procesem bylo pražení a tavení směsi, čímž vznikla tavenina surového olova s příměsí drahého kovu. Ta se poté nechávala roztavit a zoxidovat (tzv. shánění), při čemž se oxidy olova oddělily od surového hutního stříbra. To se poté prodávalo do mincoven, kdy nejbližší byla po polovině 13. století mincovna v nedalekém Brodě.

2.2 Archeologický výzkum lokality

Jako archeologická lokalita byl Buchberg objeven teprve v 80. letech 20. století pracovníky havlíčkobrodského muzea a také díky činnosti amatérských badatelů.

V letech 2014-2015 a 2018 zde bylo prováděno geomagnetické měření v rozsahu přes 10 hektarů. Během měření bylo lokalizováno 85 podpovrchových anomálií, které představují především bývalá důlní díla. Dále po prozkoumání metalurgického areálu zde bylo objeveno 20 kamenných pecí, a to ve dvou řadách, které na sobě nesly známky sklovité nataveniny. Oblast pecí se vyznačovala také extrémní koncentrací strusek několika typů, které ležely v bezprostřední blízkosti pecí. Dle výzkumu Masarykovy univerzity z roku 2018 se zde především vyskytovaly kovářské výhně, jejichž konstrukce byla složena z kamene a strusek. Vyloučena však není ani existence hutí na železnou rudu.⁶



Obrázek 3: Hutnická pec na zpracování stříbra⁷

⁶ Vzdělávací cedule s výsledky výzkumu Petra Hrubého a Jana Maříka

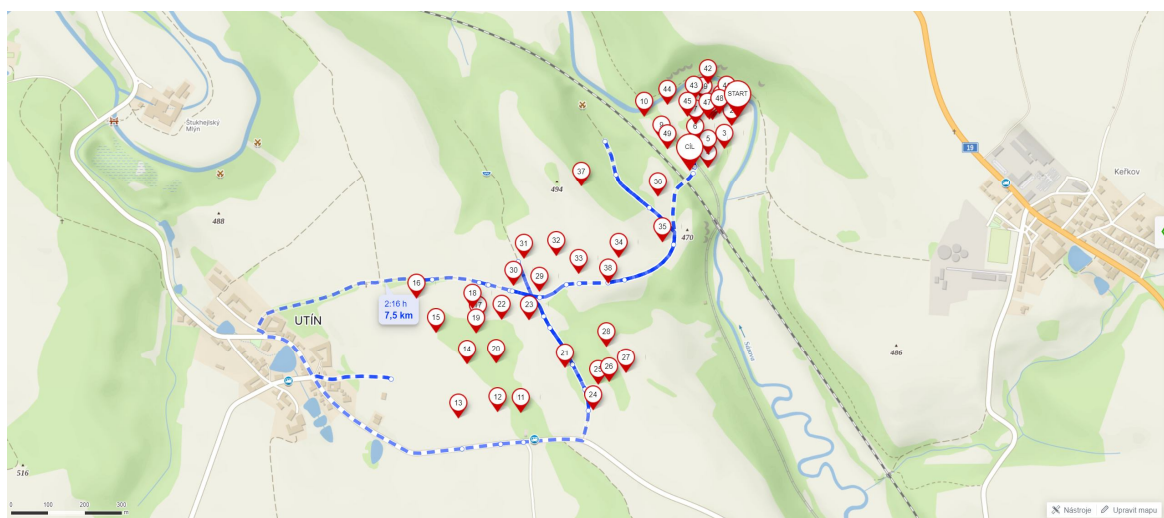
⁷ *Separátní hutnění galenitových, stříbrem bohatých rud těžených na Českomoravské vrchovině* [online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: https://actarumnaturalium.cz/wp-content/uploads/2017/07/archiv_2012-12_01.pdf (Karel Malý, Milan Holub)

3 Metodika

Lokalitu Buchberk-Poperek jsme navštívili celkem pětkrát, a to v různých ročních obdobích během let 2022 a 2023, ať už za doprovodu našeho konzultanta RNDr. Karla Malého, Ph.D., nebo samostatně. V terénu jsme odebírali vzorky půdy, značili si místa odběrů do mapy a prováděli hloubkové odběry půdního profilu.

3.1 Práce v terénu

Celkem jsme si v mapě vytyčili 50 odběrových míst. Jeden vzorek měl přibližnou hmotnost čtvrt kilogramu. Při odběru půdních vzorků jsme nejprve odkryli drn, a poté odebrali půdu lopatkou z hloubky mezi 10 až 20 centimetry (což odpovídá spodní části A horizontu). Vzorek jsme nasypali do plastového sáčku a označili ho.



Obrázek 4: Mapa sebraných vzorků (autor Natálie Krédlová)

Kromě svrchní vrstvy půd jsme prováděli také odběr půdního profilu za pomoci geologické tyče (půdní sondy). Tu jsme zaráželi do maximální hloubky 90 centimetrů, jednotlivé vzorky profilu jsme poté brali po 10 centimetrech. K zarážení tyče jsme používali palici a zároveň jsme během zarážení s tyčí neustále pootáčeli, abychom ji poté dokázali vytáhnout.

Pozici odběrových míst jsme dokumentovali fotograficky a zaměřili turistickou GPS v systému WGS-42 (udávaná přesnost je 7 m ve volném terénu). Vyhodnocení analýz bylo provedeno v programech Excel a Surfer.



Obrázek 5: Geologická tyč (autor Jiří Němec)

3.2 Práce v laboratoři

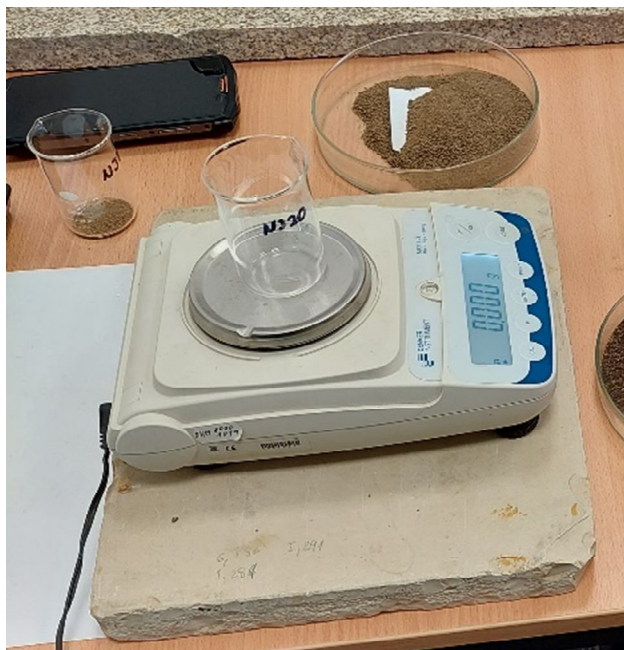
Práce probíhaly v laboratořích Muzea Vysočiny Jihlava.

Půdní vzorky jsme nejprve nechali dlouhodobě proschnout v otevřeném sáčku, část vyschlé půdy jsme nasypali do skleněné misky a s popiskem vložili do sušičky. Sušička byla nastavena na 90 °C a vzorky jsme sušili přibližně 40 minut podle jejich vlhkosti.



Obrázek 6: Sušička (autor Natálie Krédlová)

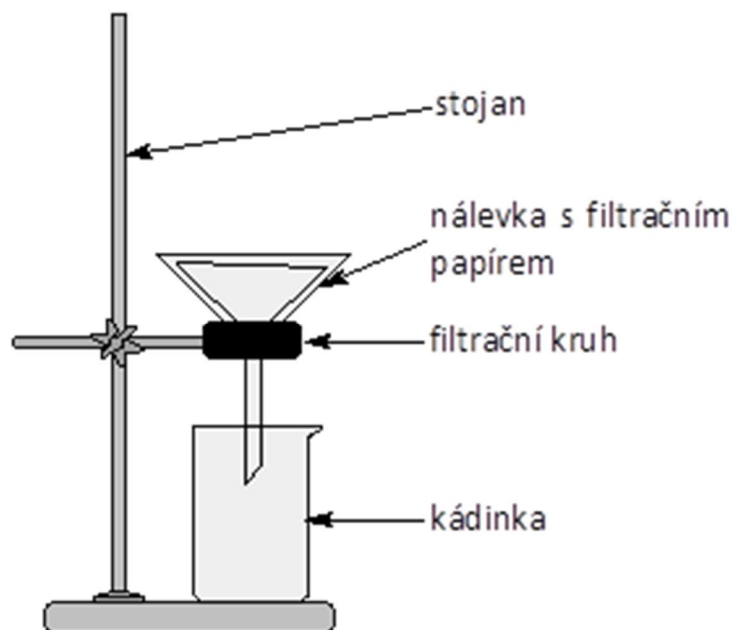
Zcela vysušené vzorky jsme nechali vychladnout a následně je přeseli přes plastové síto s oky 2 mm, čímž jsme dostali tzv. jemnozeme. Z těchto částí jsme navážili na váze (s přesností vážení 0,00X g) přibližně 2 gramový vzorek. Navážený vzorek jsme nasypali do označených kádinek.



Obrázek 7: Váha (autor Jiří Němec)

Do vzorků jsme přidali po 5 mililitrech kyseliny dusičné (p.a.) a navlhčili destilovanou vodou. Kádinku s tímto roztokem jsme položili na předem rozehřátou varnou desku a přivedli

k varu. Výluh byl následně filtrován a doplněn na 50 ml. Stanovení obsahu vybraných kovů a metaloidů provedl v laboratoři Ústavu geologických věd PřF MU Brno metodou AAS (atomová absorpční spektrometrie) analytik P. Kadlec.

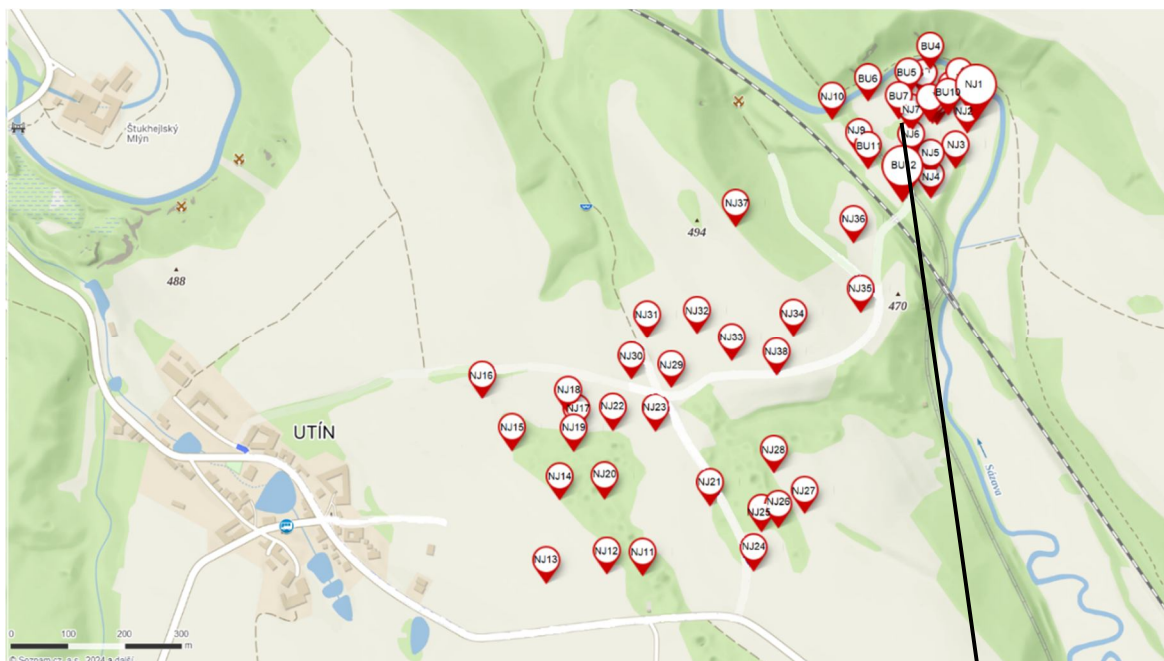


Obrázek 8: Filtreační aparatura⁸

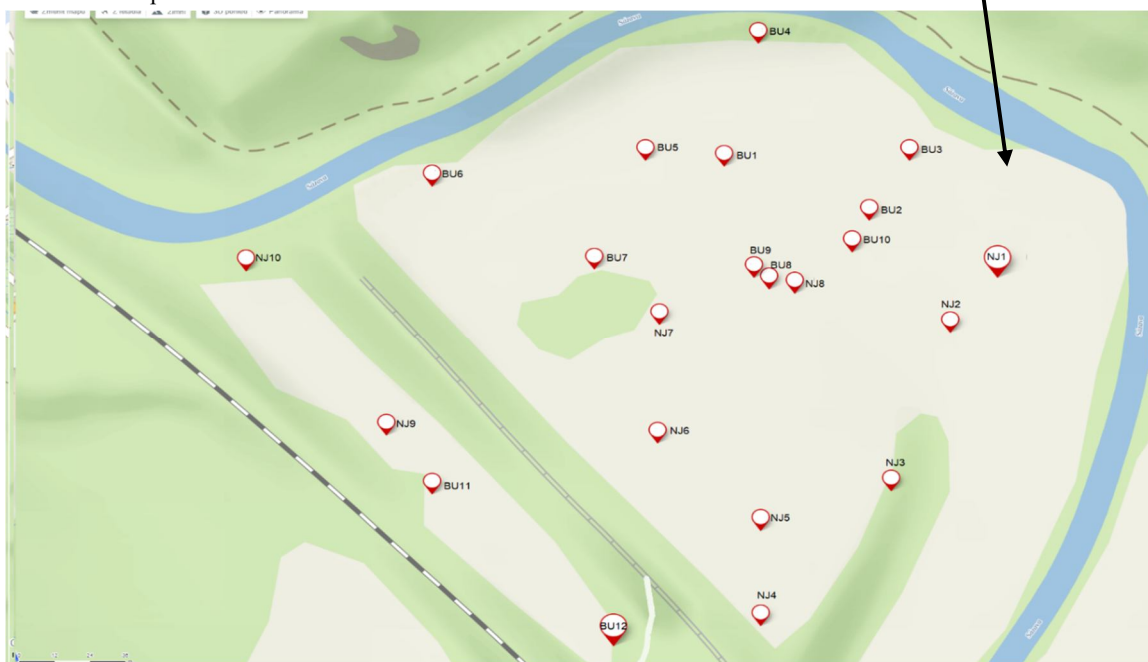
⁸ *Chemie.gjn.cz* [online]. [cit. 2023-09-01]. Dostupné z: https://chemie.gjn.cz/okruhy/3_2_1_Oddelovani_heterogennich_smesi.html

4 Výsledky

Mapa odebraných vzorků je na obrázcích 9 a 10:



Obrázek 9: Mapa vzorků I.⁹



Obrázek 10: Mapa vzorků II.¹⁰

⁹ *Mapy.cz* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6756000&y=49.7195000&z=11>

¹⁰ *Mapy.cz* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6756000&y=49.7195000&z=11>

Zjištěné obsahy vybraných prvků v půdách shrnuje tabulka 1a a 1b, výsledky jsou zpracovány v tabulce 2.

Tab. 1. Charakteristika odběrových míst a zjištěné obsahy kovů v půdách (obsahy v ppm – parts per milion – jedna miliontina celku).

č. vzorku	popis	kde	souřadnice	Cu	Zn	Pb	As
NJ 14	hloubka 10cm, hnědá hlína bez kamenů	polní cesta	49.5863333N, 15.6983778E	44	114	52	32
NJ 15	hloubka 20cm, hnědá hlína s drobnými kameny	louka u cesty	49.5871139N, 15.6972111E	91	217	118	76
NJ 16	hloubka 20cm, hnědá hlína bez kamenů	pole	49.5879444N, 15.6964806E	88	114	85	39
NJ 17	hloubka 10cm, hnědá hlína bez kamenů	lesní cesta	49.5874167N, 15.6987944E	85	118	95	41
NJ 18	hloubka 15cm, hnědá hlína s drobnými kameny	hranice lesa a	49.5877028N, 15.6985917E	92	165	109	88
NJ 19	hloubka 10cm, hnědá hlína bez kamenů	oplocenka	49.5871028N, 15.6987194E	88	114	118	64
NJ 20	hloubka 15cm, hnědá hlína s kousky dřeva	jámami	49.5863500N, 15.6994750E	89	143	111	57
NJ 21	hloubka 20cm, hnědá hlína bez kamenů	pole	49.5862389N, 15.7020667E	17	138	251	81
NJ 22	hloubka 20cm, hnědá hlína bez kamenů	hranice lesa a	49.5874325N, 15.6996889E	88	124	138	92
NJ 23	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	pole	49.5874250N, 15.7007278E	92	216	209	173
NJ 24	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	pole	49.5852056N, 15.7031333E	97	222	306	204
NJ 25	hloubka 15cm, hnědá hlína s drobnými kameny	kraj pole	49.5858333N, 15.7033222E	99	215	341	213
NJ 26	hloubka 20cm, hnědá hlína bez kamenů	paseka vedle	49.5858953N, 15.7037333E	19	155	238	167
NJ 27	hloubka 20cm, světle hnědá hlína s občasnými	louka	49.5861203N, 15.7043767E	Nezměřeno	202	69	Nezměřeno
NJ 28	hloubka 15cm, hnědá hlína s kameny a kůrou	hranice	49.5867650N, 15.7036322E	15	130	260	95
NJ 29	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	pole	49.5881153N, 15.7011189E	20	186	147	80
NJ 30	hloubka 20cm, světle hnědá hlína bez kamenů	pole	49.5882558N, 15.7001419E	Nezměřeno	229	95	Nezměřeno
NJ 31	hloubka 15cm, světle hnědá hlína s velkými	pole	49.5889100N, 15.7005222E	18	147	78	44
NJ 32	hloubka 15cm, světle hnědá hlína s kameny	pole	49.5889850N, 15.7017467E	Nezměřeno	265	320	Nezměřeno
NJ 33	hloubka 15cm, světle hnědá hlína s málo	pole	49.5885444N, 15.7025944E	21	117	107	20
NJ 34	hloubka 10cm, hnědá hlína bez kamenů	pole	49.5889414N, 15.7041056E	84	65	90	47
NJ 35	hloubka 25cm, hnědá hlína bez kamenů	louka	49.5893186N, 15.7057533E	17	108	49	17
NJ 36	hloubka 25cm, hnědá hlína bez kamenů	louka nad tratí	49.5904222N, 15.7055833E	11	98	71	40
NJ 37	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	hranice lesa nad údolím řeky	49.5906806N, 15.7026889E	Nezměřeno	138	51	Nezměřeno
NJ 38	hloubka 25cm, hnědá zoraná hlína bez kamenů	oraniště	49.5883161N, 15.7036981E	86	82	107	54

č. vzorku	popis	kde	souřadnice	Cu	Zn	Pb	As
BU1	hnědá hlína, běžně strusky do 5 cm a kameny do 7 cm. Hloubka 10-15 cm	louka, struskoviště	N49.59275 E15.70730	263	3 248	3 483	1 882
BU2	hnědá hlína, bez kamenů, jemně zrnitá, hloubka	louka	N49.59256 E15.70798	26	201	95	37
BU3	hnědá hlína, bez kamenů, hloubka pod 10 cm	louka	N49.59277 E15.70817	23	146	68	29
BU4	hnědá hlína, bez kamenů, těsně u řeky, hloubka	louka	N49.59318 E15.70746	22	153	102	49
BU5	hnědá hlína, ojediněle drobné kamínky, těsně nad starým korytem řeky	louka	N49.59277 E15.70693	19	168	71	35
BU6	hnědá hlína, ojediněle drobné kamínky	louka	N49.59268 E15.70593	29	193	137	65
BU7	hnědá hlína, ojediněle drobné kamínky do 2 cm	louka	N49.59239 E15.70669	29	119	279	52
BU8	pisčítá, hnědá hlína, strusk ydo 5 cm, přepálený materiál vzhledu cihel, nízká tráva. V hraně	louka	N49.59232 E15.70751	223	210	1 320	119
BU9	hnědá hlína, strusky do 7 cm, úlomk ryul do 10 cm, na hraně svahu	louka	N49.59236 E15.70744	96	236	323	66
BU10	hnědá hlína, úlomky rula rulové oblázky do 2 cm	louka	N49.59245 E15.70790	30	375	541	354
BU11	hnědá hlína, kamen do 5 cm, s uhlíky. Hloubka	louka	N49.59160 E15.70593	16	85	66	26
BU12	tmavěji hnědá hlína	louka	N49.59107 E15.70678	13	84	77	33
NJ 1	hloubka 20cm, hnědá hlína bez kamenů	louka	49.5923611N, 15.7085833E	19	116	55	25
NJ 2	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	louka	49.5921667N, 15.7083611E	20	116	52	14
NJ 3	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	louka vedle	49.5916111N, 15.7080833E	12	84	63	11
NJ 4	hloubka 10-15cm, hnědá hlína s kameny	louka vedle	49.5911389N, 15.7074722E	12	94	54	12
NJ 5	hloubka 20cm, hnědá hlína bez kamenů	louka	49.5914722N, 15.7074722E	7	52	33	10
NJ 6	hloubka 10cm, hnědá hlína bez kamenů	louka	49.5917778N, 15.7069861E	13	80	223	15
NJ 7	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	louka u	49.5921944N, 15.7069944E	18	77	192	29
NJ 8	hloubka 15-20cm, rezatá hlína, sem tam struska do 1 cm	louka	49.5923056N, 15.7076306E	56	85	149	15
NJ 9	hloubka 20cm, hnědá hlína s kameny	louka pod tratí	49.5918056N, 15.7057139E	17	122	83	27
NJ 10	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	louka pod tratí	49.5923833N, 15.7050556E	29	239	146	67
NJ 11	hloubka 10cm, světle hnědá hlína s drobnými	hustý les	49.5851389N, 15.7004167E	85	60	52	50
NJ 12	hloubka 15cm, hnědá hlína bez kamenů	travnaté pole	49.5851583N, 15.6995389E	91	209	122	215
NJ 13	hloubka 15cm, hnědá hlína občas větší kámen	travnaté pole	49.5850083N, 15.6980556E	87	95	101	38

V buňkách, kde je uvedeno „Nezměřeno“, došlo ke ztrátě dat.

Tab. 2. Statistické vyhodnocení výsledků stanovení obsahů kovů v půdách (obsahy v ppm).

	Cu	Zn	Pb	As
n	46	50	50	46
max	263	3 248	3 483	1 882
min	7	52	33	10
prům	55	209	230	109
med	29	134	107	48

Izolinie

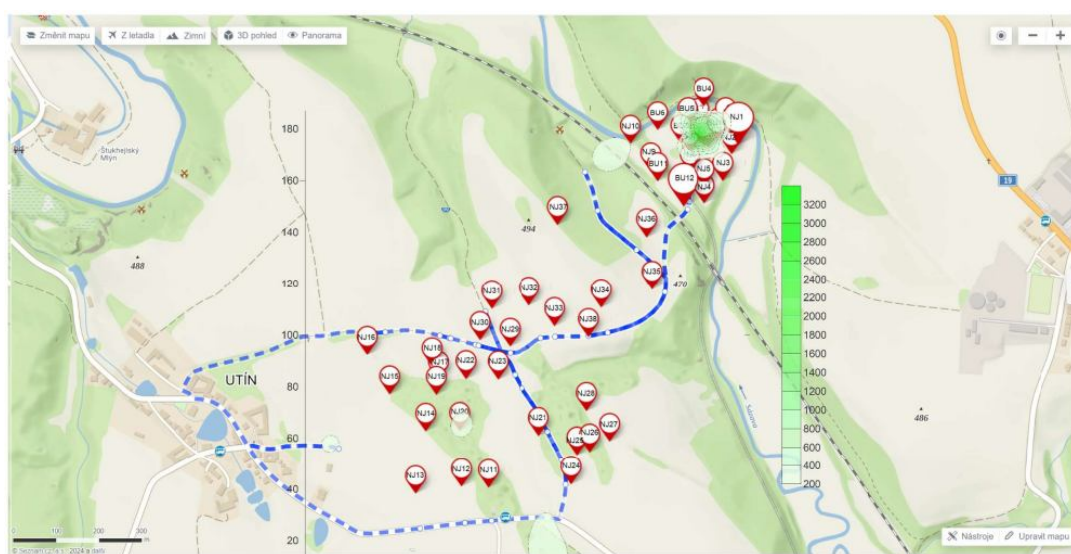
Grafické vyhodnocení výsledků v přehledné podobě shrnují obrázky č. 11-18 - izoliniové mapy obsahů kovů v půdách. Izolinie nám slouží především jako zobrazení nejvíce postižených oblastí.

Měď:



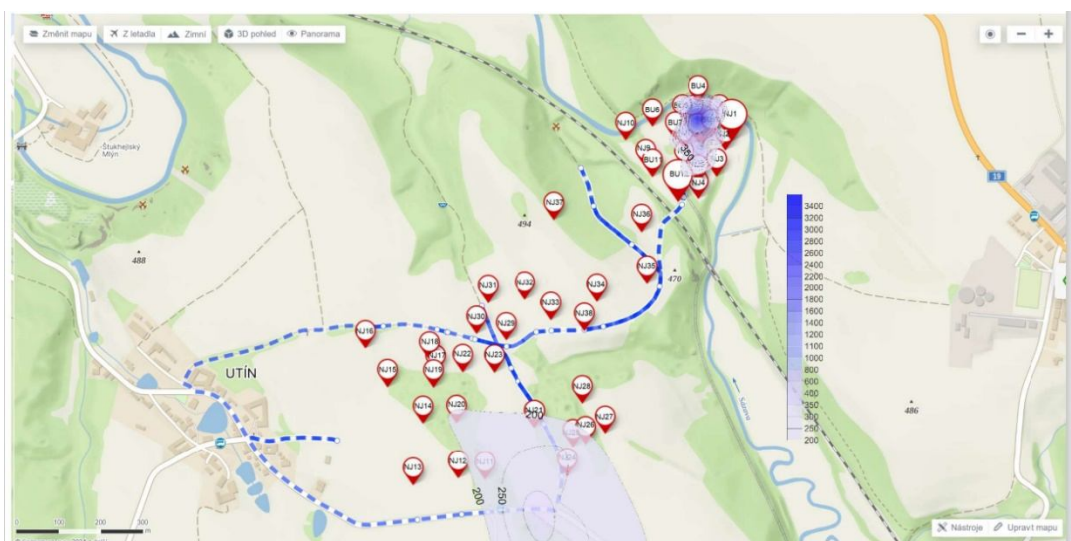
Obrázek 11-12: Izolinie mědi

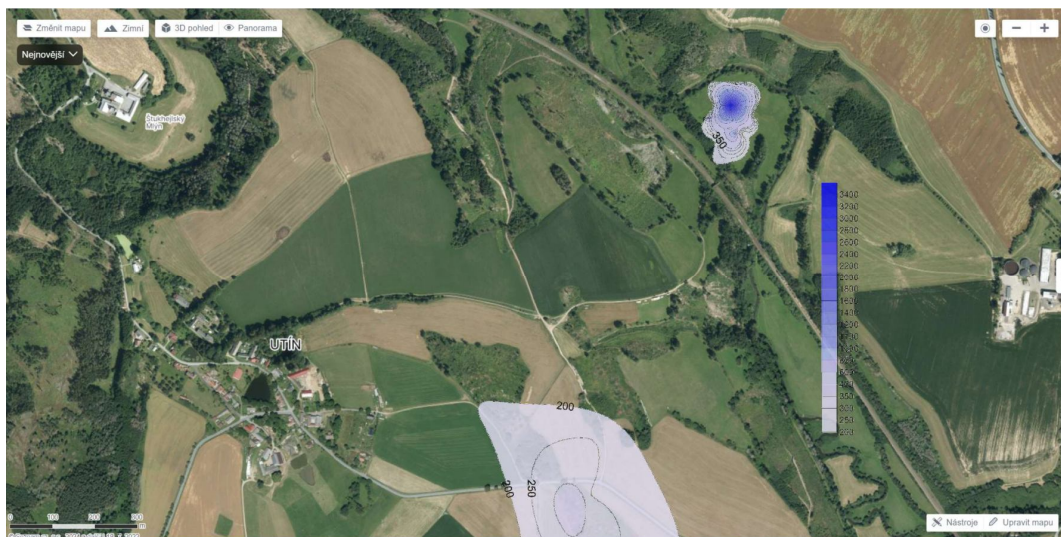
Zinek:



Obrázek 13-14: Izolinie zinku

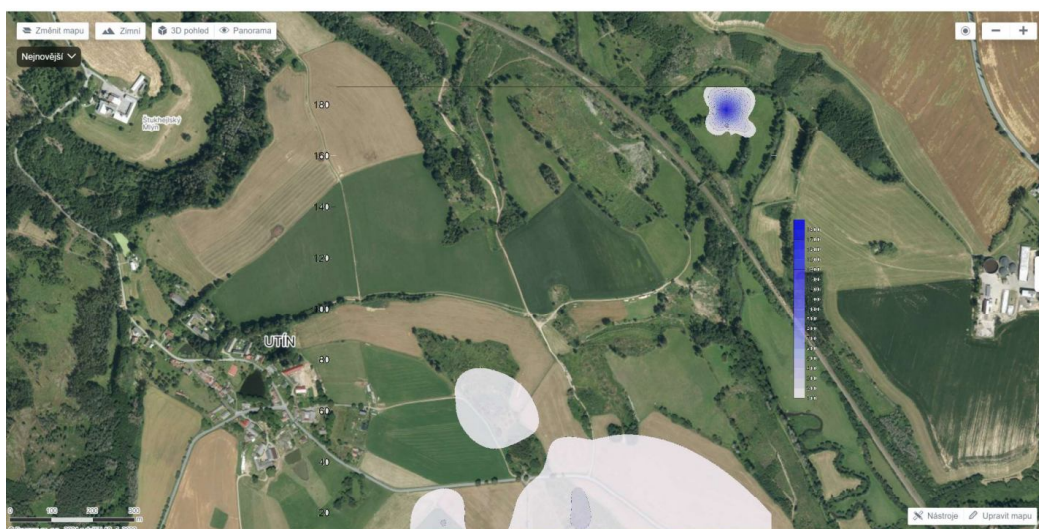
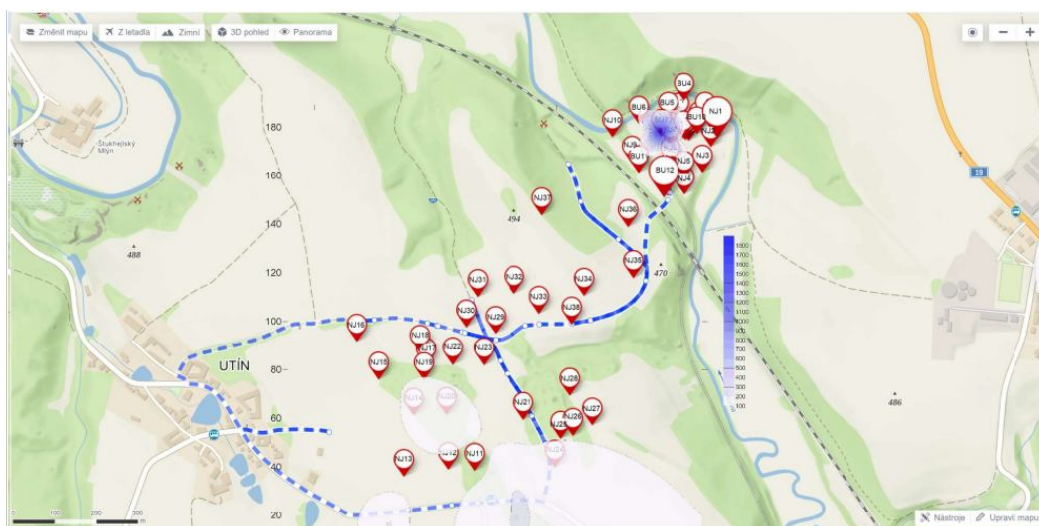
Olovo:





Obrázek 15-16: Izolnie olova

Arsen:



Obrázek 17-18: Izolnie arsenu

4.1.1 Obsahy kovů v půdách podle typu prostředí

Též jsme vyhodnocovali rozdíly v množství těžkých kovů v závislosti na typu prostředí – louka, pole, les (viz tab. 3 a–c).

Tab. 3a Obsah kovů v půdách, které jsou využívány jako louka (obsahy v ppm).

	Cu	Zn	Pb	As
n	25	26	26	25
max	263	3 248	3 483	1 882
min	7	52	33	10
prům	44	266	305	124
med	20	120	89	33

Tab. 3b Obsah kovů v půdách, které jsou využívány jako pole (obsahy v ppm).

	Cu	Zn	Pb	As
n	11	13	13	11
max	99	265	341	213
min	17	65	52	20
prům	55	168	178	100
med	44	155	147	80

Tab. 3c Obsah kovů v půdách, které jsou využívány jako les (obsahy v ppm).

	Cu	Zn	Pb	As
n	5	6	6	5
max	92	165	138	92
min	85	60	51	41
prům	88	120	94	67
med	88	121	102	64

4.1.2 Obsahy kovů v půdách podle typu středověké činnosti

V rámci testování naší hypotézy jsme zvlášť vyhodnocovali znečištění kovy v oblastech historické těžby a hutnění. Zároveň jsme oddělili vzorky, které byli mimo tyto dvě oblasti (viz tab. 4 a–c).

Tab. 4a. Obsah kovů v půdách v lokalitách, kde probíhalo hutnění a úprava rud (obsahy v ppm).

	Cu	Zn	Pb	As
n	22	22	22	22
max	263	3 248	3 483	1 882
min	7	52	33	10
prům	45	286	346	135
med	21	120	98	31

Tab. 4b. Obsah kovů v půdách v lokalitách, kde probíhala těžba rud (obsahy v ppm).

	Cu	Zn	Pb	As
n	16	19	19	16
max	99	265	341	213
min	15	114	52	32
prům	65	169	165	97
med	88	155	118	81

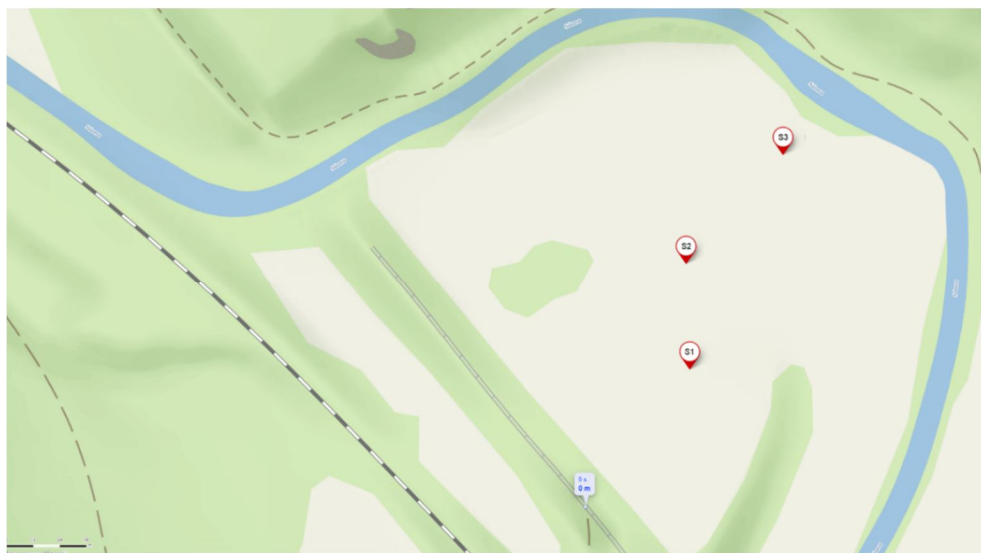
Tab. 4c. Obsah kovů v půdách v lokalitách, kde neprobíhalo hutnění a úprava rud ani těžba rud (obsahy v ppm).

	Cu	Zn	Pb	As
n	6	7	7	6
max	87	138	107	54
min	11	65	49	17
prům	51	100	82	36
med	53	98	90	39

4.2 Půdní sondy

Na třech místech v nejzasaženější lokalitě jsme odebrali půdní sondy, ze kterých jsme opět vyhodnocovali obsah těžkých kovů (Zn, As, Ag, Pb). Odběry vzorků probíhaly na odebraném půdním profilu po 10 cm. Výsledky shrnují tabulky 5 a-c, graficky jsou znázorněny na obr. 15-17.

Mapa odběrných míst:



Obrázek 19: Mapa míst odběrů půdní sondou¹¹

¹¹ *Mapy.cz* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6756000&y=49.7195000&z=11>

S1 (49°35'30.694"N, 15°42'27.319"E) – tab. 5a, graf 5a

S2 (49°35'32.234"N, 15°42'27.242"E) – tab. 5b, graf 5b

S3 (49°35'33.829"N, 15°42'29.424"E) – tab. 5c, graf 5c

Tab. 5a. Obsahy kovů v sondě 1.

č. měření	hloubka (cm)	Zn	As	Ag	Pb
1	10	165	0	0	172
2	20	171	0	0	119
3	30	131	64	0	53
4	40	0	0	0	0
5	50	0	0	0	0
6	80	0	0	0	0
7	90	0	0	0	64

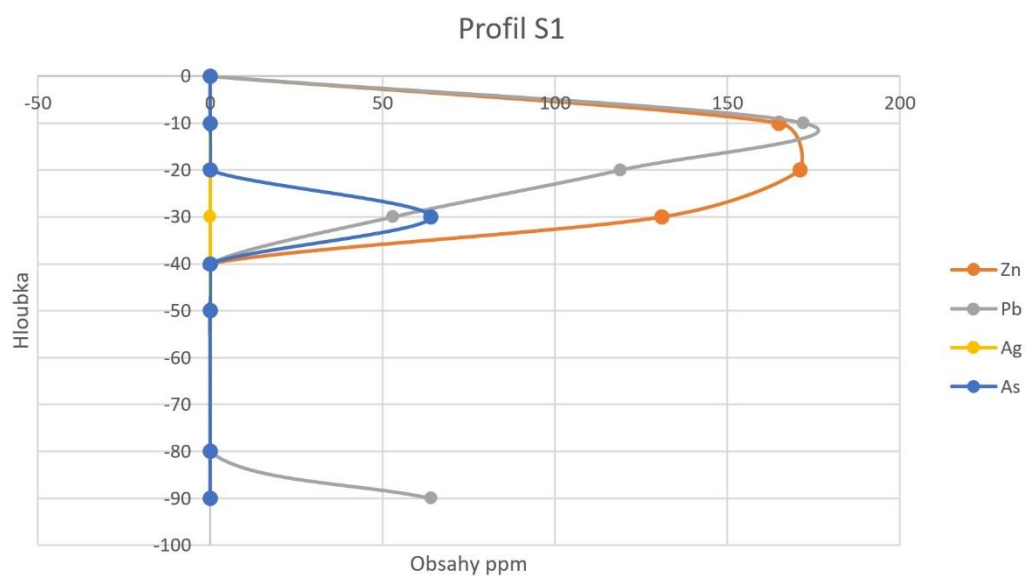
Tab. 5b. Obsahy kovů v sondě 2.

č. měření	hloubka (cm)	Zn	As	Ag	Pb
8	10	663	0	35	1 536
9	20	608	0	46	1 157
10	30	376	0	0	538
11	40	218	0	0	386
12	50	142	0	0	213
13	60	0	0	0	100
14	80	144	0	0	110
15	90	177	0	0	45

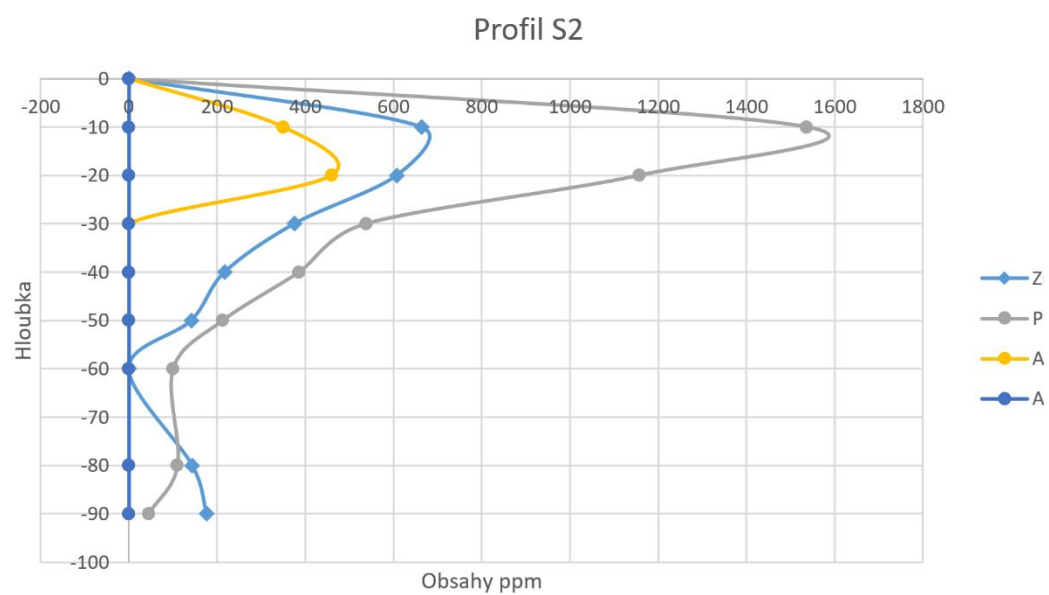
Tab. 5c. Obsahy kovů v sondě 3.

č. měření	hloubka (cm)	Zn	As	Ag	Pb
1	10	2 389	814	28	1 660
2	20	1 642	252	17	492
3	30	1 203	277	0	203
4	40	1 065	0	0	174
5	50	1 023	0	0	205
6	60	1 124	137	0	199
7	70	1 103	157	150	235

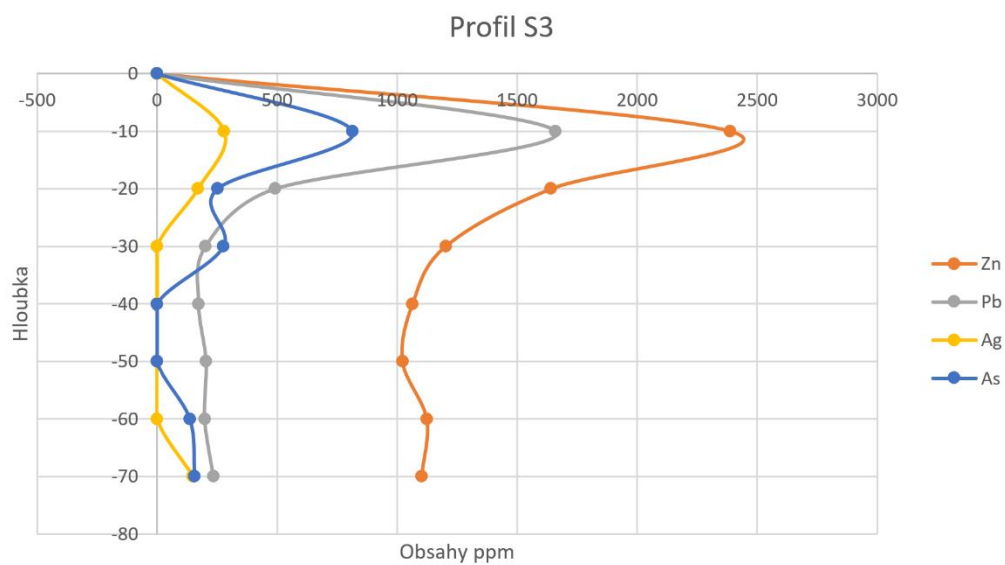
Graf 5a. Obrazné zobrazení obsahů kovů v sondě 1.



Graf 5b. Obrazné zobrazení obsahů kovů v sondě 2.



Graf 5c. Obrazné zobrazení obsahů kovů v sondě 3.



Poznámka – v grafech S2 a S3 je hodnota stříbra oproti tabulkám vynásobena 10, aby byla linie v grafu zřetelnější.

5 Vyhodnocení

5.1 Plošná půdní metalometrie

Ze získaných dat jsme zjistili, že obsahy v nejvíce zasažených vzorcích (oblast hutí) mnohonásobně převyšovaly povolené normy pro obsah těžkých kovů v půdě dle vyhlášky č. 153/2016 Sb. ministerstva životního prostředí (Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy):

Preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků v zemědělské půdě zjištěné extrakcí lučavkou královskou (mg.kg⁻¹ sušiny)

Kategorie půd	Preventivní hodnota ¹⁾										
	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg ²⁾	Ni	Pb	V	Zn
Běžné půdy ³⁾	20	2.0	0.5	30	90	60	0,3	50	60	130	120
Lehké půdy ⁴⁾	15	1.5	0.4	20	55	45	0,3	45	55	120	105

Vysvětlivky k tabulce:

1) Hodnoty se netýkají půd geogenně anomálních, na které mají být použity sedimenty podle právních předpisů o používání sedimentů na zemědělské půdě.

2) Celkový obsah.

3) Běžné půdy: písčito-hlinité, hlinité, jílovitohlinité a jílovité půdy, které zaujímají převážnou část zemědělsky využívaných půd. Jedná se o půdy s normální variabilitou prvků, s normálním půdním vývojem v různých geomorfologických podmínkách včetně půd na karbonátových horninách.

4) Lehké půdy: půdy vzniklé na velmi lehkých a chudých matečních horninách jako jsou pisky a štěrkopisky. Při vymezení těchto půd se vychází ze zastoupení jemných částic (do 0,01 mm), které tvoří maximálně 20 %. Tyto půdy se vyznačují velmi nízkou absorpční kapacitou.

Obrázek 20: Tabulka obsahů dle MŽP¹²

Měď – nejvyšší naměřená hodnota u mědi byla přibližně 4x větší než v normách, průměrný obsah však spadl do povoleného limitu (55 ppm).

Zinek – maximální hodnota zjištěná u zinku byla v tisících, a tedy přibližně na 27x normové hodnoty, průměr byl však přibližně na jejím dvojnásobku.

Olovo – právě olovo překročilo normy v nejhorším vzorku až téměř 60x, průměr se pohyboval přibližně na čtyřnásobku normové hodnoty.

Arsen – znečištění arsenem je podobně jako u olova velmi kritické, jeho nejvyšší hodnota byla až 94x normové hodnoty, a i průměr byl jejím pětinásobkem.

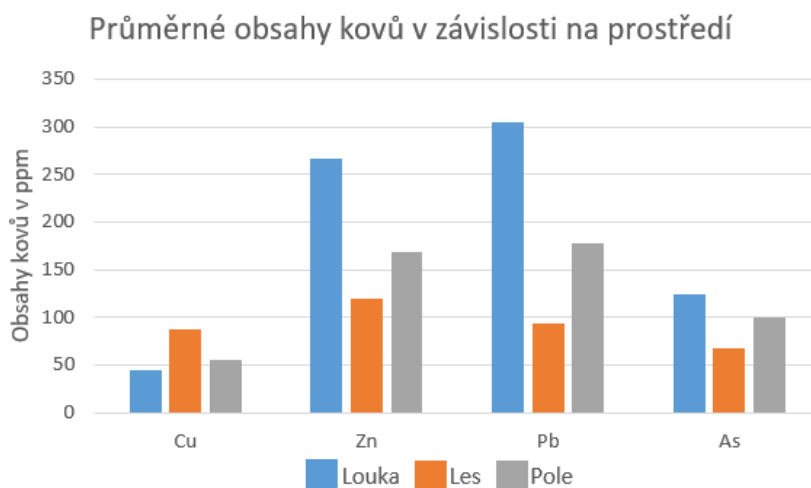
Kromě průměrů jednotlivých kovů přesahuje povolenou hodnotu i medián u všech kovů, kromě mědi.

¹² Mzp.cz [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/334D37465BA483E2C125800A0029EF9C/%24file/V%20153_2016.pdf

5.1.1 Vyhodnocení podle typu prostředí

Z porovnání odebraných vzorků v závislosti na prostředí jsme zjistili, že nejvíce zasaženým biotopem je louka, následuje pole a nakonec les (viz graf 6a). To odpovídá přístupnosti pro člověka (morfologii terénu) a zároveň tomu, jak je dané prostředí využíváno (orání pole).

Graf 6a. Zobrazení průměrných obsahů Cu, Zn, Pb a As v jednotlivých prostředích.



Kovy obsažené v půdách přirozeně migrují a stávají se součástí dalších složek životního prostředí: povrchových i podzemních vod, biomasy. Pokud je kontaminovaná půda využívána zemědělsky (pole, louky), dostávají se těžké kovy do potravního řetězce, na jehož konci je i člověk.

Z pozorovaných kovů má na tělo negativní vliv především olovo a arsen, které mohou být karcinogenní a způsobovat vážné zdravotní problémy. U olova se jedná o problémy s krvetvorbou, nervovou soustavou, imunitním systémem, trávením či reprodukcí. Arsen může způsobovat rakovinu plic a kůže, a zvýšit pravděpodobnost vzniku nádoru v játrech, ledvinách či močovém měchýři.^{13,14} U mědi a zinku zdravotní rizika nejsou natolik vážná, ačkoliv při vysokém obsahu mohou nastat bolesti břicha či střevní potíže.

5.1.2 Vyhodnocení podle typu středověké činnosti

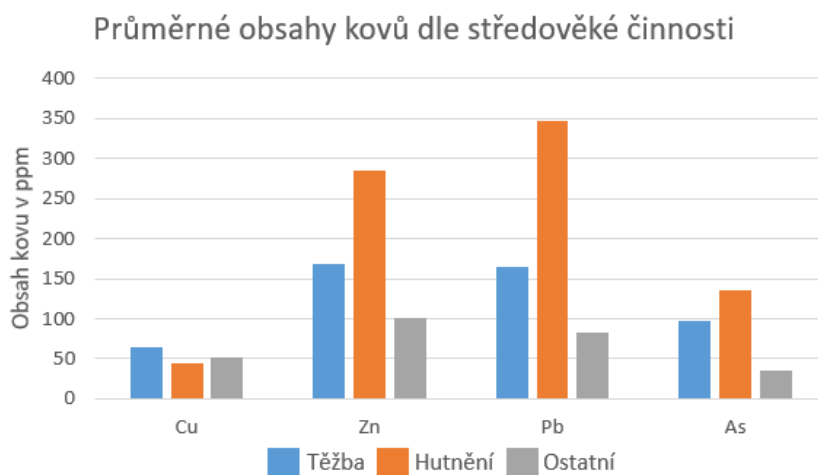
Jak je z tabulek zřejmé celkové obsahy všech kovů byly drtivě převyšující v oblastech hutnění a úpravy rud oproti těžební oblasti (viz graf 6b). Důvodem je podle našeho názoru skutečnost, že intenzita práce s rudou a vyhutněnými kovy je v místě bývalých hutí mnohem vyšší, než v místě těžby: ruda zde byla drcena či mleta, přeplavována ve vodě kvůli nabohacení, pražena, hutněna a pravděpodobně byl na stejném místě vyhutněný kov i dále čištěn. Při všech těchto činnostech docházelo samozřejmě ke ztrátám – tedy k úniku rudy a kovů do

¹³ *Arnika.org* [online]. [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/olovo>

¹⁴ *Arsen a jeho sloučeniny* [online]. [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/latky-v-irz/arsen-a-jeho-slouceniny-jako-as>

bezprostředního okolí. Trvalou součástí životního prostředí se pak stane i odpad z tavby a úpravy rud – odhozená, propraná žilovina a zejména strusky. Těch jsme v lokalitě zaznamenali velké množství. Strusky běžně obsahují vysoké podíly Pb, Zn, As, Sb, Cu apod. (viz např. Janíčková, 2013).¹⁵

Graf 6b. Zobrazení průměrných obsahů Cu, Zn, Pb a As podle prováděné středověké činnosti.



5.2 Půdní sondy

Z půdních sond jsme zjistili, že těžké kovy můžeme nalézt v určitých místech až v hloubce téměř jednoho metru. Opět bylo nejvíce kontaminováno místo zpracování rudy. Například olovo bylo v sondách S2 a S3 vysoce nad normami i v hloubce okolo 80-90 cm. Nejvyšší kontaminaci jsme ale podle očekávání zjistili ve svrchních částech půdního profilu. Je možné, že do větších hloubek se sledované kovy dostaly přirozenou migrací: zejména vyluhováním půdními roztoky v povrchových vrstvách a opětovným vysrážením ve větších hloubkách. Tato varianta by představovala i výrazné riziko pro kontaminaci podzemních vod. Je ale také možné, že v námi vzorkovaných místech došlo v minulosti k výrazným antropogenním zásahům, úpravám morfologie povrchu a půdní profil tedy není přirozený.

¹⁵ JANÍČKOVÁ, K. *Mineralogie a chemismus strusek po tavbě stříbrných rud z vybraných lokalit v havlíčkobrodském rudním revíru*. Olomouc, 2013. Diplomová práce. Univerzita Palackého.

6 Závěr

Závěrem můžeme tedy shrnout, že středověká hornická činnost, úprava hutnění polymetallických rud vede k výrazné kontaminaci půd (a dalších složek životního prostředí) olovem, zinkem, arsenem a mědí. Kontaminace je nejvýraznější v místech hutnění a zpracování rud, je relativně plošně omezená, ale velmi výrazná. V místech těžby je kontaminace půd také patrná, je plošně rozsáhlejší, ale méně intenzivní.

Považujeme za velmi rizikové, pokud jsou půdy na takto kontaminovaných plochách využívány zemědělsky. Na rozdíl od kontaminací, ke kterým dochází v dnešní době, nejsou tyto mnoho set let staré ekologické zátěže nijak sledovány nebo evidovány. Bylo by velmi vhodné je proto v krajině vyhledávat a v případě, že kontaminace půd na nich bude problematická, zvolit vhodný režim jejich využití. To představuje zejména omezení přímého zemědělského využití tak, aby se rizikové kovy nemohly stávat součástí potravních řetězců (krmiva pro hospodářská zvířata, potraviny).

7 Poznámkový aparát

- 1 *Mapy.cz: Buchberg* [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?l=0&source=base&id=2264956&x=15.6648463&y=49.5894139&z=13>
- 2 *Hrady.cz: Kutistě Poperek* [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <https://www.hrady.cz/technicka-pamatka-kutiste-poperk>
- 3 *Stribrnehory.cz* [online]. [cit. 2023-09-01]. Dostupné z: <https://stibrnehory.cz/historie-tezby-str-237-bra/d-1002>
- 4 ROUS, Pavel. *Stříbrnorudné hornictví na Havlíčkovobrodsku od 13. do 17. století*.
- 5 *Idnes.cz* [online]. [cit. 2023-09-01]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/historie-stredovek-tezba-ruda-buchberg-pribyslav-vysocina-archeolog-virtualni-realita-aplikace.A200629_556448_jihlava-zpravy_mv
- 6 Vzdělávací cedule s výsledky výzkumu Petra Hrubého a Jana Maříka
- 7 *Separátní hutnění galenitových, stříbrem bohatých rud těžených na Českomoravské vrchovině* [online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: https://actarerumnaturalium.cz/wp-content/uploads/2017/07/archiv_2012-12__01.pdf (Karel Malý, Milan Holub)
- 8 *Chemie.gjn.cz* [online]. [cit. 2023-09-01]. Dostupné z: https://chemie.gjn.cz/okruhy/3_2_1_Oddelovani_heterogennich_smesi.html
- 9 *Mapy.cz* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6756000&y=49.7195000&z=11>
- 10 *Mapy.cz* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6756000&y=49.7195000&z=11>
- 11 *Mapy.cz* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6756000&y=49.7195000&z=11>
- 12 *Mzp.cz* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/334D37465BA483E2C125800A0029EF9C/%24file/V%20153_2016.pdf
- 13 *Arnika.org* [online]. [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/database-latek/olovo>
- 14 *Arsen a jeho sloučeniny* [online]. [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/latky-v-irz/arsen-a-jeho-slouceniny-jako-as>
- 15 JANÍČKOVÁ, K. *Mineralogie a chemismus strusek po tavbě stříbrných rud z vybraných lokalit v havlíčkovobrodském rudním revíru*. Olomouc, 2013. Diplomová práce. Univerzita Palackého.

8 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1: Lokalita těžby.....	10
Obrázek 2: Pohled na pinky (autor Karel Malý).....	11
Obrázek 3: Hutnická pec na zpracování stříbra	12
Obrázek 4: Mapa sebraných vzorků (autor Natálie Krédlová)	13
Obrázek 5: Geologická tyč (autor Jiří Němec)	14
Obrázek 6: Sušička (autor Natálie Krédlová)	15
Obrázek 7: Váha (autor Jiří Němec)	15
Obrázek 8: Filtrační aparatura	16
Obrázek 9: Mapa vzorků I.	17
Obrázek 10: Mapa vzorků II.	18
Obrázek 11-12: Izolinie mědi	19
Obrázek 13-14: Izolinie zinku	20
Obrázek 15: Izolinie olova	20
Obrázek 16: Izolinie olova	21
Obrázek 17-18: Izolinie arsenu	21
Obrázek 19: Mapa míst odběrů půdní sondou	23
Obrázek 20: Tabulka obsahů dle MŽP	27
 Tab. 1. Charakteristika odběrových míst a zjištěné obsahy kovů v půdách (obsahy v ppm).	18
Tab. 2. Statistické vyhodnocení výsledků stanovení obsahů kovů v půdách (obsahy v ppm).	19
Tab. 3a Obsah kovů v půdách, které jsou využívány jako louka (obsahy v ppm).	22
Tab. 3b Obsah kovů v půdách, které jsou využívány jako pole (obsahy v ppm).	22
Tab. 3c Obsah kovů v půdách, které jsou využívány jako les (obsahy v ppm).	22
Tab. 4a. Obsah kovů v půdách v lokalitách, kde probíhalo hutnění a úprava rud. (obsahy v ppm).	22
Tab. 4b. Obsah kovů v půdách v lokalitách, kde probíhala těžba rud (obsahy v ppm).	23
Tab. 4c. Obsah kovů v půdách v lokalitách, kde neprobíhalo hutnění a úprava rud ani těžba rud (obsahy v ppm).	23
Tab. 5a. Obsahy kovů v sondě 1.	24
Tab. 5b. Obsahy kovů v sondě 2.	24
Tab. 5c. Obsahy kovů v sondě 3.	24
 Graf 5a. Obrazné zobrazení obsahů kovů v sondě 1	25
Graf 5b. Obrazné zobrazení obsahů kovů v sondě 2	25
Graf 5c. Obrazné zobrazení obsahů kovů v sondě 3	26
Graf 6a. zobrazení průměrných obsahů Cu, Zn, Pb a As v jednotlivých prostředích.	28
Graf 6b. zobrazení průměrných obsahů Cu, Zn, Pb a As podle prováděné středověké činnosti.	29

9 Zdroje

9.1 Internetové zdroje

Hrady.cz [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.hrady.cz/technicka-pamatka-kutiste-poperk>

Stříbrné Hory – Pekelská štola [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: https://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/stribhory_pekel/pekelska.htm

Utín – Poperek [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: https://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/Utín_poperek/poperek.htm

ROUS, Pavel. Stříbrnorudné hornictví na Havlíčkobrodsku od 13. do 17. století [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: http://www.starahut.com/AT/at15/at_15_09.pdf

Stribrnehory.cz [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://stibrnehory.cz/historie-tezby-str-237-bra/d-1002>

Idnes.cz [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/historie-stredovek-tezba-ruda-buchberg-pribyslav-vysocina-archeolog-virtualni-realita-aplikace.A200629_556448_jihlava-zpravy_mv

Těžké kovy v půdě [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_tk.htm

VYHLÁŠKA O STANOVENÍ PODROBNOSTÍ OCHRANY KVALITY ZEMĚDĚLSKÉ PŮDY [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/334D37465BA483E2C125800A0029EF9C/%24file/V%20153_2016.pdf

9.2 Odborná rada

Ústní sdělení: RNDr. Karel Malý, Ph.D., ředitel Muzea Vysočiny Jihlava, hlavní geolog

Ústní sdělení: Mgr. Eva Jirsová, kabinet biologie, Gymnázium Chotěboř

10 Přílohy

10.1 Tabule Buchberg (autor Jiří Němec)



10.2 Odběr vzorků (autor Karel Malý)



10.3 Pohled na oblast pink (autor Jiří Němec)



10.4 Odkrývání půdního horizontu (autor Jiří Němec)



10.5 Uskladňování vzorku půdy (autor Natálie Krédlová)



10.6 Pohled na oblast z dronu (autor Libor Jaroš – MěÚ Příbyslav)



10.7 Pohled na oblast z dronu (autor Libor Jaroš – MěÚ Příbyslav)



10.8 Pohled na oblast z dronu (autor Libor Jaroš – MěÚ Příbyslav)



10.9 Odběr půdní sondy (autor Karel Malý)



10.10 Měření vzorku v půdní sondě (autor Jiří Němec)



10.11 Zapisování lokace odebraného vzorku (Natálie Krédlová)



10.12 Odebrané vzorky po vyschnutí, příprava na sušení v sušičce (autor Jiří Němec)



10.13 Vzorky v sušičce (autor Natálie Krédlová)



10.14 Prosévání vysušeného vzorku (autor Natálie Krédlová)



10.15 Příprava vzorku na vážení (autor Jiří Němec)



10.16 Filtrační aparatura (autor Natálie Krédlová)



10.17 Vážení vzorku (autor Jiří Němec)



10.18 Míšení vzorku s HCl (autor Natálie Krédlová)



10.19 „Vaření“ vzorků (autor Jiří Němec)



10.20 Filtrace vzorků (autor Natálie Krédlová)



10.21 Slévání vzorků do plastových lahviček – vzorky pro analýzu (autor Jiří Němec)

