

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



**Rizikové prvky v říčních sedimentech
Černého potoka a horního toku
Moravice a v jejích přítocích**

Bakalářská práce

Alice Voráčová

Environmentální geologie (B1201)

prezenční studium

Vedoucí práce: Mgr. Martin Faměra, Ph.D.

Olomouc 2022

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Alice Voráčová

Název práce: Rizikové prvky v říčních sedimentech Černého potoka a horního toku Moravice a v jejích přítocích

Typ práce: Bakalářská

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

Vedoucí práce: Mgr. Martin Faměra, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2022

Klíčová slova: řeka Moravice, rizikové prvky, antropogenní znečištění, hmotnostně specifická magnetická susceptibilita, analýza rentgenovou fluorescenční spektrometrií, laserová granulometrie

Počet stran: 39

Jazyk: čeština

Abstrakt:

Tato práce se zabývá znečištěním nivních sedimentů Černého potoka a horního toku řeky Moravice na území Jeseníků rizikovými prvky (Pb a Zn). Dále je předmětem studia magnetické znečištění a přítomnost Fe jako pozůstatku po historické těžbě rud. Zájmové lokality se nacházejí v oblasti kolem měst Bruntál a Rýmařov, kde byl zkoumán historický vývoj antropogenní činnosti a jeho vliv na říční systém. Celkově bylo odebráno 132 vzorků na 8 lokalitách, z toho bylo 125 vzorků získáno žlabovým vrtákem a 7 vzorků bylo odebráno z povrchu pomocí lopatky. Pro zhodnocení znečištění nivních sedimentů byla použita hmotnostně specifická magnetická susceptibilita, rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF) a laserová granulometrie. Zjištěné koncentrace rizikových prvků překračují na řadě lokalit hodnoty obvyklé ve svrchní zemské kůře. U koncentrace olova dosahuje hodnot 1142,12 mg.kg⁻¹ na lokalitě Janovice a 299,91 mg.kg⁻¹ na lokalitě Suchá Rudná. Koncentrace zinku dosahuje hodnot 272,69 mg.kg⁻¹ na lokalitě Janovice a 57,44 mg.kg⁻¹ na lokalitách Suchá Rudná. Obsah železa dosahuje hodnot na lokalitě Janovice 19 % a na lokalitě Suchá rudná 5,8 %.

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Alice Voráčková

Title: Risk elements in river sediments of the Černý potok and the upper course of the Moravice River and its tributaries

Type of thesis: bachelor's

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of geology

Supervisor: Mgr. Martin Faměra, Ph.D.

The year of presentation: 2022

Keywords: the Moravice River, risk elements, anthropogenic pollution, mass-specific magnetic susceptibility, X-ray fluorescence spectrometry analysis, laser granulometry

Number of pages: 39

Language: Czech

Abstract:

This work is focused on the research of alluvial sediments pollution of the Černý potok and the upper course of the Moravice River in the Jeseníky Mountains by risk elements (Pb and Zn). Furthermore, magnetic pollution and the presence of Fe as a remnant of historical ore mining are also the subjects of this study. Research localities are situated in the area around towns of Bruntál and Rýmařov, where the historical development of anthropogenic activity and its influence on the river system were investigated. A total of 132 samples were collected at 8 localities, of which 125 samples were obtained by a manual groove corer and 7 samples were extracted from the surface using a spatula. Mass-specific magnetic susceptibility, X-ray fluorescence spectrometry and laser granulometry were used to evaluate alluvial sediment contamination. The detected concentrations of risk elements at many localities exceed the usual values in the Upper Earth's crust. The concentrations of lead reach 1142.12 mg.kg⁻¹ at the locality of Janovice and 299.91 mg.kg⁻¹ at the locality of Suchá Rudná. The maximal zinc concentration reaches 272.69 mg.kg⁻¹ at the Janovice locality and 57.44 mg.kg⁻¹ at the Suchá Rudná locality. The iron content reaches 19% at the Janovice locality and 5.8% at the Suchá Rudná locality.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod odborným dohledem vedoucího práce, za použití uvedené literatury.

V Olomouci 3. 1. 2022

.....

Alice Voráčová

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří Mgr. Martinu Faměrovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval, poskytnutí veškerých informací ke studovanému tématu a metodám a užitečné rady a pomoc v terénu.

OBSAH

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | ÚVOD..... | 7 |
| 2. | GEOGRAFICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ..... | 8 |
| 2.1. | Geografie a pozice v rámci ČR..... | 8 |
| 2.2. | Geologie..... | 10 |
| 2.2.1. | Proterozoikum | 10 |
| 2.2.2. | Paleozoikum | 10 |
| 2.2.3. | Mladší kenozoikum | 12 |
| 2.2.4. | Kvartér | 12 |
| 2.3. | Hydrologie | 14 |
| 2.4. | Historie těžby a průmyslu | 16 |
| 3. | METODY | 18 |
| 3.1 | Odběr vzorků v terénu | 18 |
| 3.2 | Laboratorní zpracování vzorků..... | 19 |
| 3.2.1 | Příprava vzorků..... | 19 |
| 3.2.2 | Magnetická susceptibilita | 19 |
| 3.2.3 | Měření velikosti částic metodou laserové granulometrie | 21 |
| 3.2.4 | Měření chemismu vzorků pomocí metody XRF | 22 |
| 4. | VÝSLEDKY | 23 |
| 4.1 | Koncentrace olova v zájmovém území..... | 23 |
| 4.2 | Koncentrace zinku v zájmovém území..... | 27 |
| 4.3 | Koncentrace železa a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita | 30 |
| 5. | DISKUZE | 33 |
| 6. | ZÁVĚŘ | 35 |
| 7. | POUŽITÁ LITERATURA..... | 36 |

1. ÚVOD

Již od 13. století probíhala v oblasti Jeseníků na Rýmařovsku a Bruntálsku, podobně jako v sousední zlatohorské oblasti, intenzivní kolonizace, která byla spjata s těžbou nerostných surovin, zejména kovů. Ale teprve až v 16. století zde započala opravdová hornická činnost, hloubení šachet a ražba štol.

Na přelomu 19. a 20. století v oblasti bohatá hutní činnost z důvodu vyčerpání ložisek rud zanikla. Po těžbě nezbyly, až na výjimky v podobě starých sejpů či pinek z předchozího rýžování v říčních údolích, žádné stopy. V oblasti Rýmařovska vytváří řeka Moravice s Podolským potokem téměř přirozené koryto, které se dále pojí na řeku Opavu a společně s řekou Odrou odvádí vodu do Baltského moře.

Zkoumaná oblast litologicky spadá do andělskohorského a hornobenešovského souvrství a desenské skupiny. Území je tvořeno horninami proterozoika, paleozoika, kvartéru a kenozoika.

Oblast Jeseníků je vzhledem k historii dolování a zpracování rud možným historickým zdrojem znečištění Černého potoka rizikovými prvky (především Zn a Pb). Vliv průmyslu v této oblasti je zřejmý, ovšem je potřeba popsat a ověřit míru znečištění na zkoumaném území.

Cílem této práce je pomocí geochemických metod popsat a zhodnotit míru znečištění říčních sedimentů rizikovými prvky (Zn, Pb) v nivě Černého potoka, na horním toku řeky Moravice, včetně jejích přítoků, a zároveň pomocí hmotnostně specifické magnetické susceptibility popsat a zhodnotit přítomnost železa jako pozůstatku po těžbě železných rud.

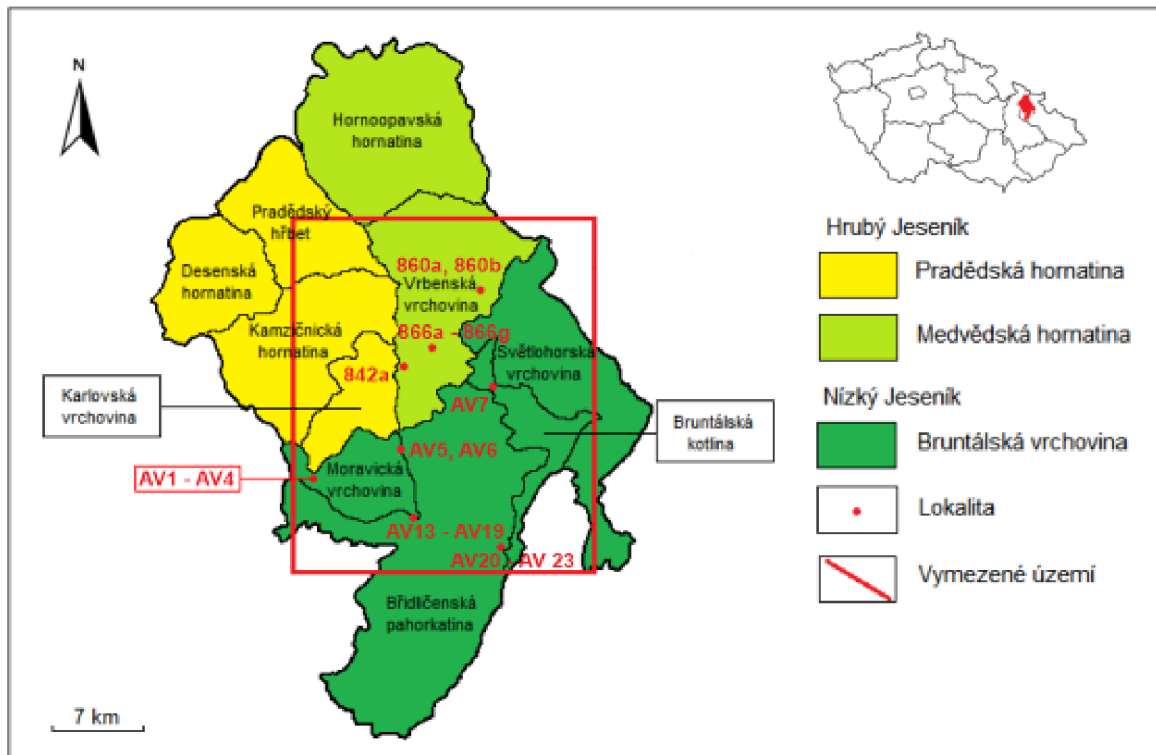
2. GEOGRAFICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

2.1. Geografie a pozice v rámci ČR

Zkoumané území se nachází na severovýchodě České republiky, v západní části Moravskoslezského kraje, v oblasti mezi městy Rýmařov a Bruntál. Geomorfologicky leží v krkonoško-jesenické subprovincii, v jesenické oblasti (Obr. 1). Jesenická oblast se dále člení na celky Nízkého (Slunečná, 802 m n. m.) a Hrubého Jeseníku (Praděd, 1491 m n. m.). Hrubý Jeseník se dále člení na Medvědkou, Pradědskou a Keprnickou hornatinu. Zájmová oblast zasahuje do Vrbenské vrchoviny (Medvědká hornatina) v okolí obce Malá Morávka, s nejvyšším bodem Medvědí vrch (1216 m n. m.).

Na jižní hranici Medvědké hornatiny navazuje Nízký Jeseník. Morfologicky toto území není příliš členité. Podle Zapletala (1966) se jedná o parovinný, zmlazený reliéf s kužely Uhlířského vrchu a Venušiny sopky. Od pradědské hornatiny je oddělena sedlem Vidly na jihu, na severu ji od Zlatohorské vrchoviny odděluje sedlo Rejvíz (Balatka a Kalvoda 2006).

Převážná část zkoumaného území leží v Bruntálské vrchovině, která je součástí Nízkého Jeseníku. Toto území má rozlohu 630 km², s nejvyšším vrcholem Pastviny (790 m n. m.; Demek et al. 2006). Jedním z okrsků bruntálské vrchoviny je Moravická vrchovina, kde leží i zájmová oblast v katastru Janovic u Rýmařova (Obr. 1). Největší část zájmového území spadá do Bruntálské vrchoviny (Obr. 1), Břidličenské pahorkatiny, se zájmovými lokalitami v okolí obce Velká Štáhle (AV13 – AV19) a Dolní Moravice (AV20 – AV23). Vrt AV7 byl odebrán u obce Valchov, která leží v Bruntálské kotlině.



Obr. 1: Geomorfologické členění zkoumané oblasti s vyznačenými místy odběru vrtů AV (vytvořeno pomocí programu QGIS z internetového zdroje: <https://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/GeomorfologickeJednotky/MapServer?f=jsapi>).

Oblast Rýmařova i s přílehlými obcemi se rozkládá na ploše 330 km² a žije zde přes 15 000 obyvatel. Samotné město Rýmařov má rozlohu 60 km² a přes 9 000 obyvatel (ČSÚ 2020). V okolí Rýmařova se nacházejí obce Horní Benešov, Horní Město, Stará Ves, Nová Ves, Karlovice, Suchá Rudná, Janovice, Stříbrné Hory a Ruda s hornickou historií (Zapletal 1966).

Do zkoumané oblasti zasahuje CHKO Jeseníky, jehož hranice prochází katastrem obce Janovice. Chráněná krajinná oblast byla vyhlášena roku 1969 o rozloze 740 km². Předmětem ochrany jsou horské lesy a rašeliniště. Území pokrývají převážně druhotné smrčiny nebo bučiny s mozaikovitě zachovalými zbytky původních lesů (www1). Do zkoumaného území zasahuje i přírodní park Sovinecko, který na západě sousedí s chráněnou krajinnou oblastí Jeseníky. Přírodní park Sovinecko se snaží zachovat přírodní krajinu a současně lesní porosty, které jsou podobné původním (Vencálek 1998).

2.2. Geologie

Zkoumaná oblast se nachází na území dvou regionálně geologických jednotek, desenské skupiny a jesenického kulmu. Oblast je členěna do tří souvrství: andělskohorského, hornobenešovského a vrbenské skupiny (www2). Východní jednotka, desenská skupina, je tvořena komplexem slabě metamorfovaných hornin moravského paleozoika s různými typy rul, svorů, erlanů a amfibolitů. Zatímco andělskohorské a hornobenešovské souvrství jsou tvořena spodnokarbonskými jílovými břidlicemi, prachovci a drobami (Obr. 2). Až do konce devonu se zkoumaná oblast nacházela na dně moře, v oblasti poblíž rovníku.

2.2.1. Proterozoikum

Proterozoického stáří jsou ve studované oblasti horniny silezika, reprezentované svory, amfibolity, různými typy rul a ojediněle i mramory. Základ vznikl tektonickou kolizí variského bloku s brunovistulíkem. Podloží je budováno žulovými porfyry, křemennými porfyryty, granity, granodiority, křemennými diority nebo tonality. Tento horninový komplex dosahuje ve východní oblasti hloubky zřejmě až 6 km, na západě sahá blíže k povrchu (Dědáček et al. 1997).

2.2.2. Paleozoikum

Z paleozoických hornin, které dělíme do tří litostratigrafických jednotek, se vyskytují až horniny spodnokarbonské. Nejzápadnější jednotkou je vulkanosedimentární komplex hornin označovaný jako vrbenská skupina, která byla během variské (hercynské) orogeneze spolu se svým podložím zvrásněna. Vznikly křemenoživcové fylity a skaliny (acidní metatuf), porfyroidy, břidlice s vložkami fylitu a zelených břidlic (Mísař et al. 1983).

V dané oblasti došlo i k akumulaci sulfidických rud – jde o ložiska Nová ves u Rýmařova a Horní Benešov u Bruntálu (rudy Pb, Zn, Ag). Jsou zde přítomny i akumulace hydrotermálně sedimentárních Fe-rud typu Lahn-Dill na lokalitách Ruda a Malá Morávka u Rýmařova. V oblasti silezika došlo také ke vzniku metamorfogenních akumulací Au (Suchá Rudná u Vrba pod Pradědem) v průběhu variské regionální metamorfózy. Na ložisku Nová Ves u Rýmařova také proběhla metamorfogenně hydrotermální žilná Pb-Zn (Ag) mineralizace (Zimák 2005).

Rudonosné procesy vytvářeli reakcí vylitého svrchnoplášťového magmatu na mořské dno s mořskou vodou oxidické a silikátové Fe rudy. Dané rudy tvoří hematit, magnetit, thuringit, chamosit a vzácně i siderit. Tyto rudní mineralizace jsou vyvinuta v křemen-karbonátových žilách v devonských křemencích, zelených břidlicích a fylitech. Ke zrudnění přispěla i výše zmíněná metamorfóza, která stoupá směrem k západu (Bernard et al. 1986).

Druhou jednotkou jsou andělskohorské vrstvy (Zapletal 1966), komplex flyšově zvrstvených siltových břidlic s vložkami jemnozrnných drob a politických břidlic, s ojediněle se objevujícími parabřidlicemi. Podle Zapletala (1987) sem patří i prachovce a jílové břidlice.

Třetí jednotkou je na východě vystupující mohutné hornobenešovské souvrství (Zapletal 1966) s masivními středně až hrubě zrnitými drobami, méně s drobnými slepenci. Objevuje se i rytmicky zvrstvený flyš. V tomto komplexu převažuje pelitická složka nad siltovci. V menším množství se zde vyskytují také kvarcity, sericitické břidlice, granitoidní horniny, méně často i svory, ruly, pískovce, písčité vápence apod.

Stejně jako ve vrbenské skupině i zde se vyskytují akumulace hydrotermálně sedimentárních Fe-rud typu Lahn-Dill v Horním Benešově a Leskovci nad Moravicí (Zimák 2005).

Mezi andělskohorským a hornobenešovským souvrstvím se nachází přechodný komplex hornin, ve kterém postupně přibývají drobky. Zprvu tvoří pouze vložky a čočky, postupně začínají v hornobenešovském souvrství převládat. V hlubších patrech tohoto komplexu se hojně nachází mechanoglyfy a bioglyfy (výplně vlečných rýh, skokové stopy apod.). Stále převažují siltové břidlice nad pelity. Méně časté jsou také mezometamorfity až katametamorfity (Zapletal 1966).

2.2.3. Mladší kenozoikum

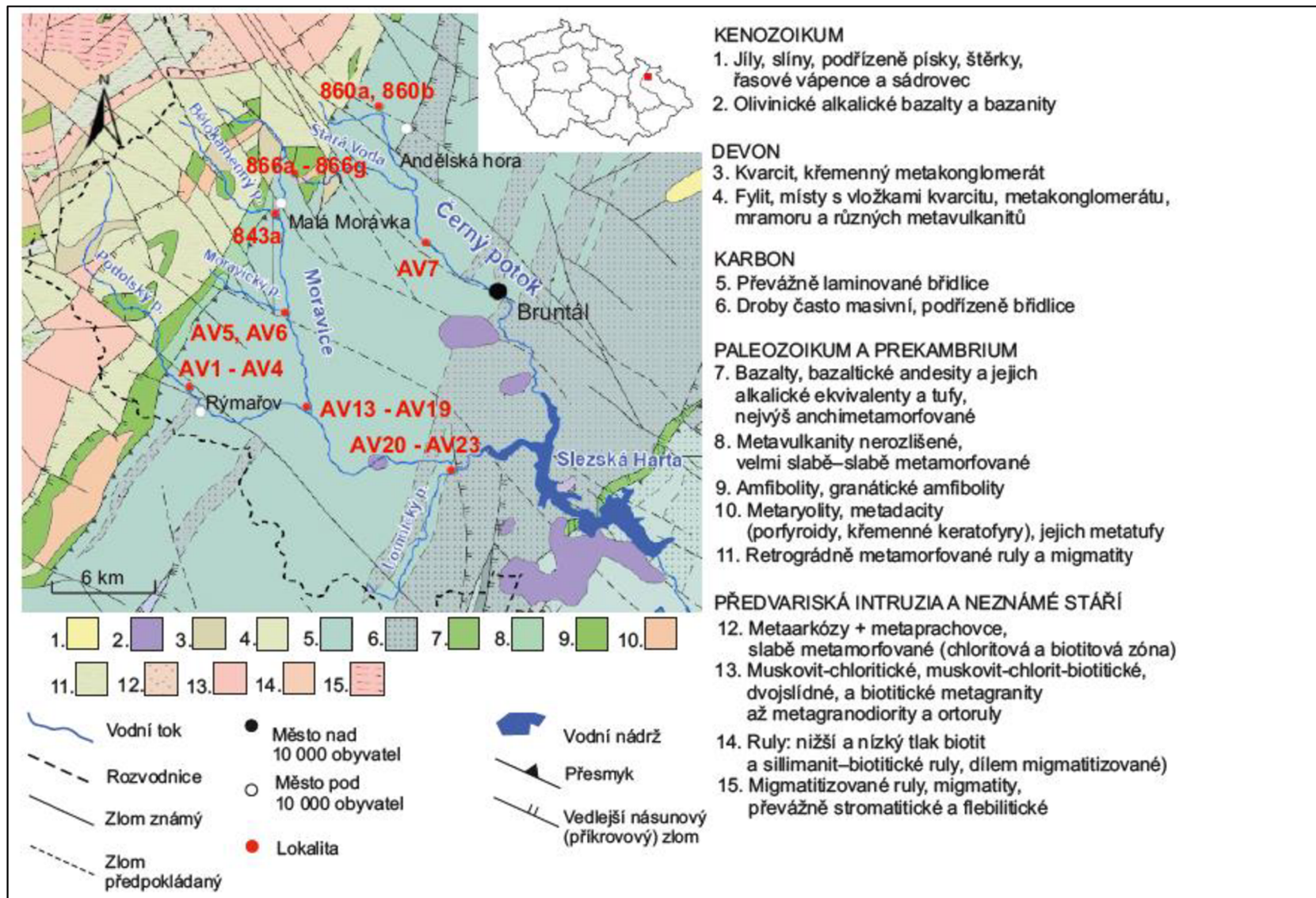
Na začátku třetihor došlo vlivem tektonických pohybů jednotlivých bloků ke vzniku zlomů. Z nichž jedním z významných je zlom klepáčovský. Prochází od Loučné nad Desnou a Vernířovic, přes Skřítek, Žďárský potok, Starou Ves, Rýmařovsko a pokračuje směrem na JV. Na takových to tektonických liniích docházelo k sopečné činnosti, a to až do období čtvrtohor. U Bruntálu bylo v této době pět činných sopek – Uhlířský vrch, Venušina sopka, Velký Rudný, Malý Rudný a Červená hora (Čermák et al. 2015).

Podle Bartha (1966) jsou Uhlířský vrch a Venušina sopka pliocenního až pleistocenního stáří. Projevovala se na nich vulkanická činnost strombolského typu a termální nebo subterminální efúze. Na základě mikroskopických a chemických analýz (Barth 1966) se řadí horniny Venušiny sopky mezi olivinický čedič a nefelinický bazalt. U Uhlířského vrchu se jedná o složení mezi nefelinickým bazaltem a olivinickým nefelinitem. Dnes jsou pyroklastické uloženiny odkryty několika lomy jižně od vrcholu. Na vrcholu Venušiny sopky jsou patrné denudační zbytky struskového kužele, které zde byly odkryty v několika jamách.

2.2.4. Kvartér

Kvartérní horniny jsou zastoupeny zbytky štěrkových teras v předpolí lávového proudu Uhlířského vrchu a v podloží lávového proudu Venušiny sopky. K dalším významným sedimentům patří eluviální a aluviální jíly a kamenito-hlinité sutě (Zapletal 1966). Kvartérního stáří jsou také široké údolní nivy a nánosy usazenin v údolí větších řek (Moravice a Opava).

S koncem působení horského ledovce je spojen i vznik rašelinišť ve Skalách, na Skřítku a jiných lokalitách. Ve Velké kotlině jsou to kamenná moře a izolovaná skaliska v hřebenových částech Jeseníků, mrazové klíny, polygonové půdy, ale také sprašové hlíny, které byly v minulosti v Rýmařově využívány pro výrobu cihlářského zboží (www3).



Obr. 2: Geologické členění zkoumané oblasti s vyznačenými místy odběru vrtů AV (vytvořeno pomocí programu ArcGIS z internetového zdroje: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=ca92017c6e5f438b89b884fc2a24ecdc#> a upraveno pomocí CorelDRAW 2020.)

2.3. Hydrologie

Hlavní hřeben Hrubého Jeseníku tvoří hranici dvou úmoří – Baltského (Opava, Odra) a Černého moře (Morava). Jedná se o chráněnou oblast přirozené akumulace vod Jeseníky, přičemž roku 1970 byla řeka Moravice vyhlášena vodárenským tokem.

Řeka Moravice pramení ve Velkém Kotli ($50^{\circ}3'16,7''$ s. š., $17^{\circ}14'22,03''$ v. d.) na východním svahu hřebene Hrubého Jeseníku, v nadmořské výšce 1134 m n. m. Na řece Moravici jsou vybudována dvě vodárenská díla, přehrady Slezská Harta a Kružberk. Primární funkcí je protipovodňová ochrana, a dále i výroba elektrické energie, průmyslové využití, chov ryb nebo rekreace (www4).

Hráz Slezské Harty je 65 m vysoká a 540 m dlouhá. Přehrada má celkovou délku 13 km, maximální šířku 1,7 km, a celkovou rozlohou $10,72 \text{ km}^2$. Objem vodní nádrže je $218,7 \text{ mil. m}^3$ s maximální hloubkou 90 m (www5).

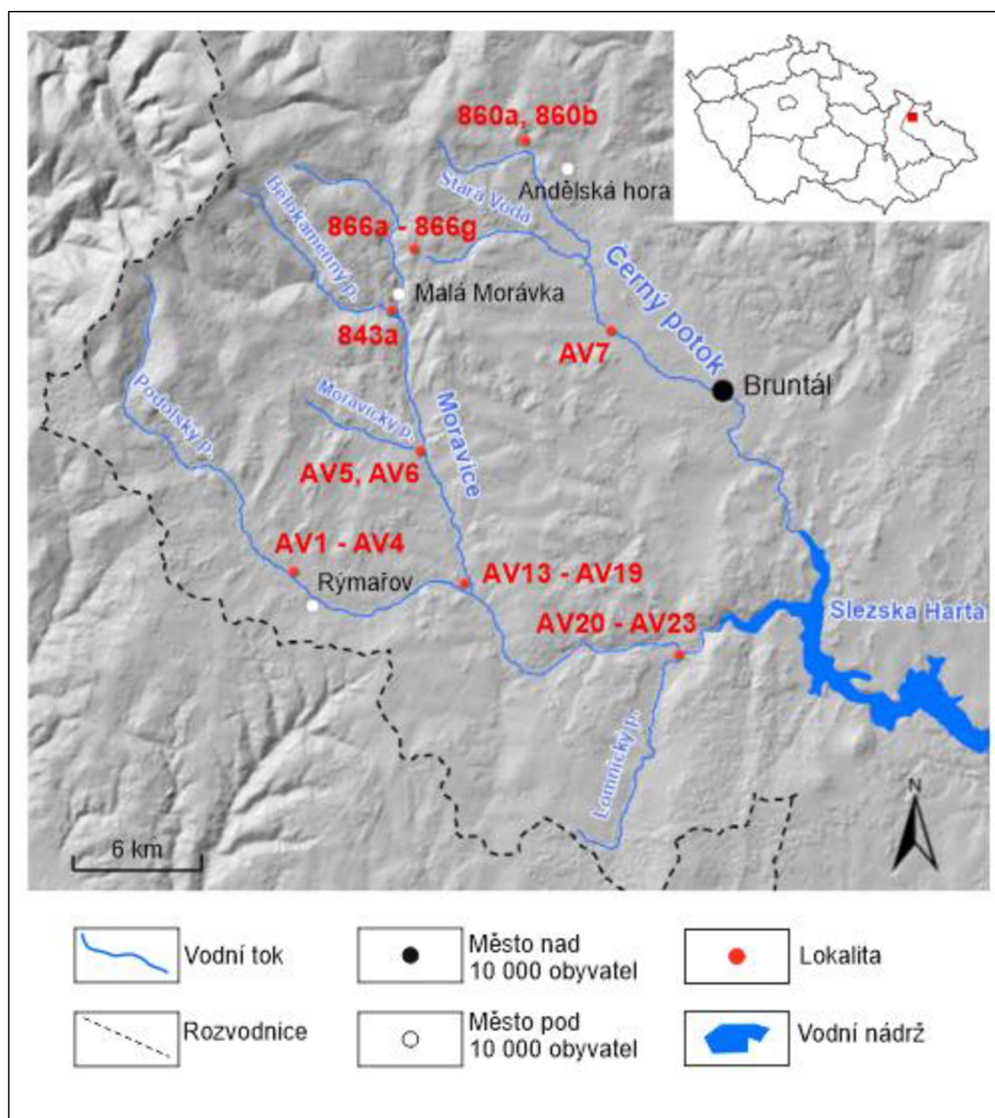
Hráz vodního díla Kružberk má výšku 34,5 m a délku 280 m. Délka celé přehrady je 9 km a šířka 0,5 km, přičemž celková rozloha činí $2,8 \text{ km}^2$. Objem této nádrže je $35,5 \text{ mil. m}^3$ a maximální hloubkou 31 m (www5).

Moravice je čtvrtým největším tokem v povodí Odry (Tab. 1). Do Moravice ústí několik menších vodních toků, které mají délku větší než 10 km. K pravostranným přítokům patří potok Moravický, Podolský a Lomnický. Mezi levostranné přítoky náleží Bělokamenný a Černý potok (www5). Dalšími významnými toky v oblasti odběrných lokalit je Bílá Opava (levostranný přítok Opavy) a Stará voda (levostranný přítok Černého potoka).

Tab. 1.: Přehled vodních toků na zkoumaném území.

| Vodní tok | Průměrný průtok (m^3s^{-1}) | Délka (km) | Plocha povodí (km^2) |
|---------------------------------|---|------------|---------------------------------|
| Moravice | 7,67 | 99,1 | 901 |
| Bělokamenný p. | 0,37 | 8,8 | 17,94 |
| Moravický p. | / | / | / |
| Podolský p. | 1,2 | 20,5 | 81,1 |
| Lomnický p. | / | / | / |
| Černý p. | 0,9 | 25 | 109,5 |
| Stará voda | / | / | / |
| Pozn.: / - data nejsou dostupná | | | |

Důležitým přítokem Moravice je Podolský potok (Tab. 1; Obr. 3; pramenící v Jelení studánce 50°1'45,75" s. š., 17°11'42,13" v. d.) na jižních svazích Jeleního hřbetu ve výšce 1345 m n. m. Podolský potok ústí do řeky Moravice z pravé strany u Velké Štáhle v nadmořské výšce 540 m n. m. (www6).



Obr. 3: Hydrologická mapa zkoumaného území s vyznačenými lokalitami odběrů vrtů AV (vytvořeno v programu ArcGis z internetového zdroje: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=ca92017c6e5f438b89b884fc2a24ecdc#> a upraveno pomocí programu CorelDRAW 2020).

2.4. Historie těžby a průmyslu

Nejstarší stopy lidské činnosti, které měnily zdejší krajinu, pochází z doby před dvěma tisíci lety, kdy z Pomoraví přišli na Jesenicko za zlatem Keltové. Keltové rýžovali zlato v nivě řeky Moravice nad Malou Štáhlí a vytvářeli tak první hromady odpadu horninového materiálu zbylé po rýžování, označované jako sejpy nebo odvaly (Vencálek 1998).

Důležitým obdobím v rozvoji oblasti je vláda Oty Sličného (1061 až 1087), kdy došlo k rozvoji mincovnictví. Pro tyto mincovny se jako zdroj stříbra předpokládá těžba ložisek na Zábřežsku, Hrubém i Nízkém Jeseníku a také v Oderských vrších (Novák 1987).

Novější záznamy o dolování v okolní krajině jsou úzce spjaty s vývojem brutálského panství a s osídlením této oblasti, které až do konce 12. století prakticky neexistovalo. Současně zde došlo k zemědělské revoluci a centralizaci moci. O právních nárocích na opuštěné doly a rýžoviště poukazují listiny z let 1224 a 1236 v severní části Jeseníků. V jižní části Jeseníků ražba mincí a těžba stříbra v té době zanikla (Novák 1987).

Další nedokonalé rýžování v táhlých údolích s četnými potoky a říčkami probíhalo ve zkoumané oblasti od začátku 13. století. Do současné doby se v terénu zachovaly tisíce zřetelných sejpů po prvotní těžbě, avšak některé mohou spadat i do století následujících. Další způsobem bylo získávání zlata ze sedimentů a náplavů označovan jako „weiche zechce“ případně „weiches Bergwerk“. Tento způsob těžby je doložen i pro pásmo povrchových dobývek u Suché Rudné (www7). Pro mincovnu v Opavě a Olomouci se těžilo stříbro v obnovených dolech u Horního Benešova, Horního Města a Nové Vsi (Novák 1987).

Po roce 1300 vzniká krize v těžbě stříbra na území Jeseníků díky centralizaci ražby mincí a vzrůstu těžby v Kutné Hoře. Na území města Rýmařova byla na přelomu 13. a 14. století v provozu huť k získávání zlata. V roce 1348 zde probíhala těžba především stříbra, olova a železné rudy – hematit a magnetit. Z drahých kamenů se jednalo o zlatonosný křemen, a stříbronosný galenita sfalerit (Karel 2011). Avšak lidé nacházeli zlato i při prokopávání naváté sprašové hlíny v terase dna Podolského potoka. Příkladem je podloží osady v dnešní Bezručově ulici v Rýmařově. Zde byly vyhloubeny metr široké rýhy a zlatonosný materiál byl promýván v dřevěném žlabu na okraji sídliště. Do tohoto období jsou datovány i nálezy stříbrných rud u Horního Města (Večeřa et al. 2012). Kvůli husitským válkám se těžilo stříbro pouze v některých dolech, které byly později uzavřeny v důsledku česko-uherských válek (Novák 1987).

Od 16. století se začalo s hloubením šachet, ražením štol a starých dobývek v revíru Horního Města a také na Kutné hoře (Stará Ves). Na těžbu bylo potřeba mnoho dřeva, jak pro dobývání ohněm, tak i pro výztuže štol a šachet. Dobývání ohněm znamenalo rudu barevných kovů rozehřívat pálením dřeva a následně ji rozdrolit polévanou vodou. Následně byla ruda zpracována pomocí hornických nástrojů, různých kladiv, perlíků a klínů (Hauk 2012). I když štoly umožňovaly dobývání ve větších hloubkách, v roce 1553 byly opuštěny, a to kvůli rozporům mezi těžaři, šlechtou a králem. Další zprávy poukazují pouze na kutací práce, a počátky ražby štol u České Vsi, Horního Benešova a Karlovic.

Podle Nováka (1987) je za úpadek hornictví na Moravě označován počátek 17. až polovina 19. století. Jedním ze znaků úpadku byla ražba štol pouze pod záminkou udržení hornických svobod. Státní podnikání nemělo odborné vedení a na dolech vznikaly obrovské finanční ztráty. Také v 19. století byly práce poznamenány neodborností. Byly sledovány skoro sterilní křemenné žíly. Výjimkou byl nález zlata na Vysoké a Suché Rudné, galenitu u Budišova nad Budišovskou a Jerlochovic. Další příčinou úpadku byl nedostatek finančních prostředků (Novák 1987).

Po skončení druhé světové války došlo ke změnám ve vývoji těžebního průmyslu. Jedním z faktorů bylo soustředění sovětského vlivu na Československo. Rostoucí surovinová i energetická náročnost průmyslu, vedly k využití chudých a také nekvalitních domácích zdrojů. Proto byly vynakládány finanční prostředky na průzkum nerostných surovin na našem území (Smolová 2008).

Průzkumy byly prováděny u Rudy, Tvrdkova, Horního Města, Rýmařova a Dolní Moravice po Malou Morávku. Byl zaměřen především na rudy obsahující olovo, zinek a stříbro. Díky těmto průzkumům byla stanovena poloha starých důlních děl a následně byla některá znovu zpřístupněna. Mezi tyto díla patří například štola sv. Antonína Paduánského v Horním Městě (Skácel 2009).

Byly také vytvářeny nové šachty, jámy a štoly. V Horním Městě byla vyhloubena šachta Jaromír, štola Josef a Nová jáma. Zbylý materiál se průběžně odvážel pro chod obce a její okolí, proto nedocházelo ke zvětšování již existujícího odvalu (Grygárek 2009). V roce 1965 převzaly od Geologického průzkumu n. p. Brno celé ložisko Rudné doly Jeseníky. V roce 1968 bylo dosaženo nejvyšší těžby 60 330 tun Zn-Pb-Ag. Těžba probíhala až do roku 1970, kdy byla z ekonomických důvodů předběžně ukončena. Za toto období bylo vytěženo 216 617 tun Zn-Pb-An rud. Následovalo zajištění dolů a likvidační práce. Důlní prostory byly zatopeny nebo byly zasypány kamenivem. Některé důlní prostory byly proti vstupu cizích osob zabezpečeny pomocí betonu (Grygárek, Michalčík 2007).

3. METODY

3.1 Odběr vzorků v terénu

Odběr vzorků probíhal ve čtyřdenní kampani mezi 12. a 15. červencem 2020. Pro odběr vzorků sedimentů byl použit žlábkový vrták o průměru 3,5 cm (Obr. 4). Délka vrtných jader se pohybovala od 30 cm (vrt AV18) do 195 cm (AV9). Po vytažení bylo jádro rozděleno po 10cm částech. Povrchové vzorky říčních sedimentů, lesních půd nebo vzorky z koryt potoků byly odebrány pouze lopatkou (vzorky z lokality číslovaných podle významných lokalit České geologické služby, tj. lokalita 843 Malá Morávka a 860 Suchá Rudná). Vzorky byly pro transport do laboratoře uschovány v sáčcích se zipem. Celkem bylo odebráno 133 vzorků na 8 lokalitách, z toho bylo 125 vzorků získáno žlábkovým vrtákem (z 18 vrtných jader) a 7 vzorků bylo odebráno lopatkou.



Obr. 4: Nivní sediment odebraný žlábkovým vrtákem. Foto pořízeno Alicí Voráčovou 14. 7. 2020 v Rýmařově.

3.2 Laboratorní zpracování vzorků

3.2.1 Příprava vzorků

Před všemi analýzami byly všechny vzorky vysušeny při teplotě 20–25 °C (tzv. pokojová teplota).

3.2.2 Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita χ (chí) je bezrozměrná veličina, která popisuje chování látky ve vnějším magnetickém poli. Principem je vložení magneticky izotropní látky do vnějšího magnetického pole. V daných látkách dojde ke změně pohybu elektronů v orbitalech. Poté látka produkuje magnetizaci M , která je ovlivněna především intenzitou vnějšího magnetického pole H a konstantou závislosti K . Tento princip lze vyjádřit vztahem:

$$K = M/H$$

K měření magnetické susceptibility byl použit střídavý laboratorní můstek (typ KLY-4S Kappabridge) s nástavcem a kyvetou (Obr. 5), kam se vkládá vzorek v plastových sáčcích. Na základě odlišné magnetické susceptibility, která je způsobena reakcí elektronů na vnější magnetické pole, lze látky rozdělit do tří skupin. Na diamagnetické, paramagnetické a ferromagnetické (viz. Tab. 2).

Tab. 2: Rozdělení látek podle magnetické susceptibility ve vnějším magnetickém poli (Chadima 2003).

| Druh látky | Hodnoty K | Magnetické pole | Minerály |
|-----------------|-----------------|-----------------|---|
| Diamagnetická | nízké a záporné | Zeslabuje | křemen, kalcit, dolomit, aragonit, ortoklas, halit |
| Paramagnetická | nízké a kladné | Stejně | biotit, chlorit, siderit, olivín, pyroxen, amfibol |
| Ferromagnetická | vysoké a kladné | Zesiluje | ryzí kovy (Fe, Ni, Co a jejich slitiny) hematit, magnetit |

U každého vzorku byla změřena objemová magnetická susceptibilita K (kappa; bezrozměrné) v jednotkách SI, která byla následně přepočítána na hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitu (χ ; m^3kg^{-1}) podle vzorce:

$$\chi (m^3kg^{-1}) = K * 10 / \text{hmotnost vzorku } v (g) / 1000$$

kde K je objemová magnetická susceptibilita a χ je hmotnostně specifická magnetická susceptibilita. Uvedený přepočet byl nutný z důvodu rozdílného objemu jednotlivých vzorků.



Obr. 5: Střídavý laboratorní můstek – typ KLY-4S Kappabridge s nástavcem a kyvetou. Foto pořízeno Alicí Voráčovou 8. 7. 2021 na Katedře geologie UP.

3.2.3 Měření velikosti částic metodou laserové granulometrie

Pro měření velikosti částic vzorků byla použita metoda laserové granulometrie, jelikož jílové a prachové částice jsou pro běžné sítování příliš malé. Byl použit analyzátor FRITSCH ANALYSETTE 22 MicroTec plus s rozsahem měření zrn od 0,008 mm do 2 mm. Pro měření velikosti částic byly vybrány vzorky sedimentu na základě hodnot χ tak, aby byla pokryta jejich variabilita. Celkem byla velikost zrn stanovena u 40 vzorků.

Velkou výhodou metody je možnost opakování měření, spolehlivost, rychlost a přesnost. Princip laserové difrakce spočívá ve využití rozptýleného laserového paprsku a částic proudícími v suspenzi. Velkou roli hraje velikost částic a jejich optické vlastnosti, díky kterým dochází k rozptýlení laserového světla v určitém prostorovém úhlu. Dále Fourierova čočka koncentruje rozptýlené světlo do ohniskové roviny detektorového pole a změří se distribuce intenzity světla vlivem jeho rozptylu. Na základě získané distribuce světla se vypočítá zrnitostní distribuce měřeného materiálu. Fyzikální princip laserové difrakce je znám již od začátku 20. století, ale k jejímu rozvoji došlo až s laserovým zařízením a dostupností moderní výpočetní techniky (Hrnčířová et al. 2013). Rozsah zrnitostí je obvykle variabilní v závislosti na typu přístroje.

3.2.4 Měření chemismu vzorků pomocí metody XRF

K měření prvkového složení vzorků sedimentu byla použita metoda RTG fluorescenční spektroskopie, známá také z angl. XRF spectroscopy (přesněji energiově disperzní spektroskopie EDS). Použito bylo zařízení Epsilon 3X (PANalytical, Holandsko) v Ústavu anorganické chemie v Řeži.

Pro ED XRF analýzu byla poměrná část každého vzorku homogenizována na planetovém mlýnku s achátovou miskou. Takto připravené vzorky byly nasypány do plastových kyvet se dnem z mylarové fólie a analyzovány.

Přístroj Epsilon 3X je složen z RTG lampy, detektoru a disperzního prvku. Klíčová je RTG lampa, která vytváří prvotní záření RTG a vyvolává sekundární RTG záření. Laboratorní XRF obvykle pracuje ve vakuu a umožňuje přesné složení homogenních práškových vzorků. Princip metody je založen na pozorování sekundárního RTG záření. Metoda dokáže analyzovat prvky s protonovým číslem vyšším než 11, tj. prvky od sodíku dále (Kněsl et al. 2009).

Metodou XRF byl změřen obsah nejběžnějších rizikových prvků (Pb, Zn) a Fe v sedimentech. Koncentrace prvků byly normalizovány titanem. Pro stanovení litogenního pozadí, tj. pozad'ových koncentrací rizikových prvků a Ti, byly vybrány vzorky, které nejsou kontaminované a neproběhly u nich postdepoziční změny. Obsah těchto prvků se dá označit za přirozený v dané oblasti. Pro koncentrace vzorků litogenního pozadí byla pomocí lineární regrese určena spojnice trendů a pozad'ová funkce, která slouží pro výpočet hodnoty lokálního faktoru nabohacení (LEF). LEF je číslo, které vyjadřuje, kolikrát je koncentrace sledovaného prvku vyšší nebo nižší než teoretická pozad'ová koncentrace sledovaného prvku při stejné koncentraci prvku normalizačního (Říha et al. 2013).

4. VÝSLEDKY

4.1 Koncentrace olova v zájmovém území

V povodí řeky Moravice se koncentrace Pb pohybují od 31,90 mg.kg⁻¹ až do 1142,12 mg.kg⁻¹ ve vrtu AV4 (Obr. 6A). Požadovaná koncentrace Pb byla stanovena kvůli většímu obsahu olova v horninách na daném území na hodnotu 30 mg.kg⁻¹, přičemž průměrná koncentrace Pb ve svrchní zemské kůře (UCC) je 17 mg.kg⁻¹ (Rudnick a Gao 2003). Požadovaná funkce rovnice regresivní přímky je $y = 38,331x + 10,127$. Ve vrtu AV4 dosahuje nejvyšší koncentrace 1142,12 mg.kg⁻¹ na lokalitě Janovice, v hloubce 30 až 40 cm. Hodnoty kontaminace sedimentu rizikovými prvky se vyjadřují pomocí faktoru nabohacení zohledňujícího místní podmínky (LEF, local enrichment factor, Bábek et al. 2015). Hodnoty LEF olova nabývají až 38násobek požadované hodnoty.

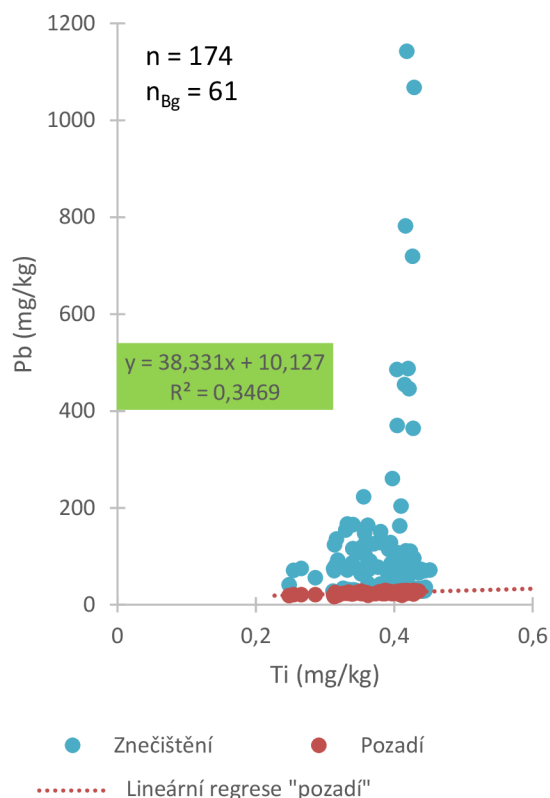
Rozložení koncentrací Pb podél toku řeky Moravice znázorňuje Obr. 7, kde jsou hodnoty převážně nad hodnotou koncentrací v UCC. K prudkému nárůstu koncentrací Pb z 56,96 mg.kg⁻¹ až na 1142,12 mg.kg⁻¹ dochází na lokalitě Janovice. K dalšímu většímu nárůstu Pb z 25,34 mg.kg⁻¹ až na 222,72 mg.kg⁻¹ dochází na lokalitě Rýmařov.

V povodí Černého potoka se naměřené hodnoty koncentrací Pb (Obr. 6B) pohybují od 40 mg.kg⁻¹ do 299 mg.kg⁻¹ (vzorek 860a, Suchá Rudná), přičemž extrémní hodnoty byly 299,91 mg.kg⁻¹. Hodnoty LEF olova nabývají 10násobek požadované hodnoty. Hodnoty koncentrací olova pro celé zájmové území jsou znázorněny na Obr. 6C.

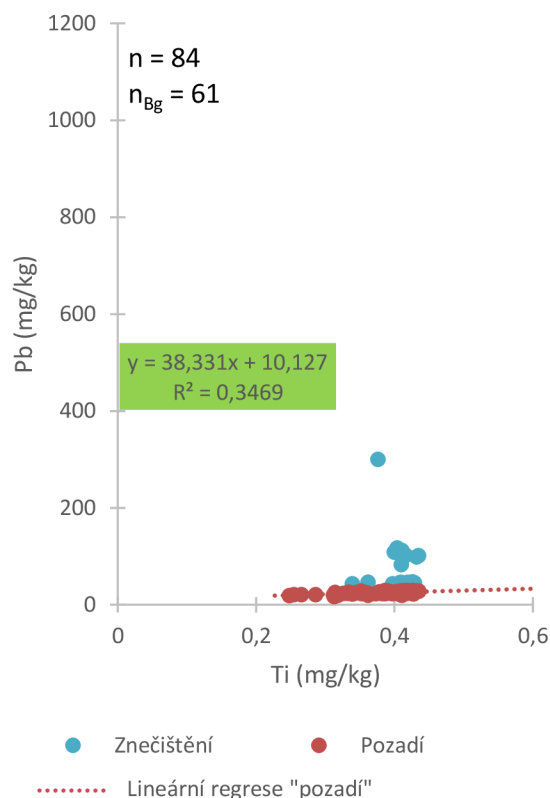
Názorným příkladem vertikální distribuce koncentrací Pb je vrt AV19 (Obr. 8B). Ve svrchních 40 cm jsou hodnoty od 166,46 mg.kg⁻¹ a následně klesají na 129,37 mg.kg⁻¹. Dále se hodnoty zvyšují až na 222,72 mg.kg⁻¹. Poté hodnoty klesají až na 72,60 mg.kg⁻¹ v hloubce 60 cm. Mezi 60 a 170 cm se hodnoty pohybují okolo 30 mg.kg⁻¹. Naměřené hodnoty překročily 5násobek hodnoty v UCC.

Z poměru Al/Si (Obr. 8A) je patrné, že ve vzorcích převažuje jíla a prach. Zrnitost je podrobněji zobrazena v grafu zrnitosti (Obr. 8F). Sediment je ve svrchních 85 cm hrubozrný a podíl jílové složky se zvyšuje směrem s rostoucí hloubkou, zatímco podíl prachové složky se pohybuje okolo 10 %. Sediment je hrubozrný, přičemž podíl jílové složky postupně roste na 75 %. Naopak podíl prachové složky klesá na 5 %. Stejně tak i podíl písku, který klesá až na 25 %.

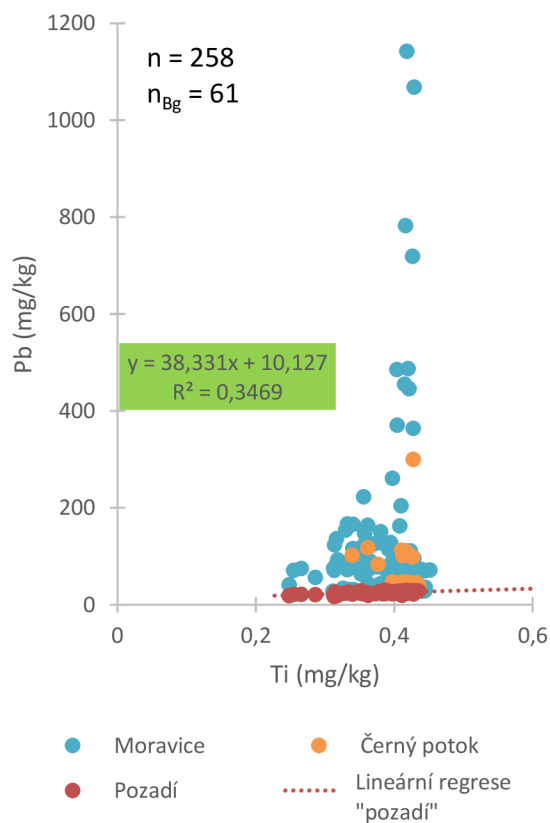
A



B



C

**Obr. 6:**

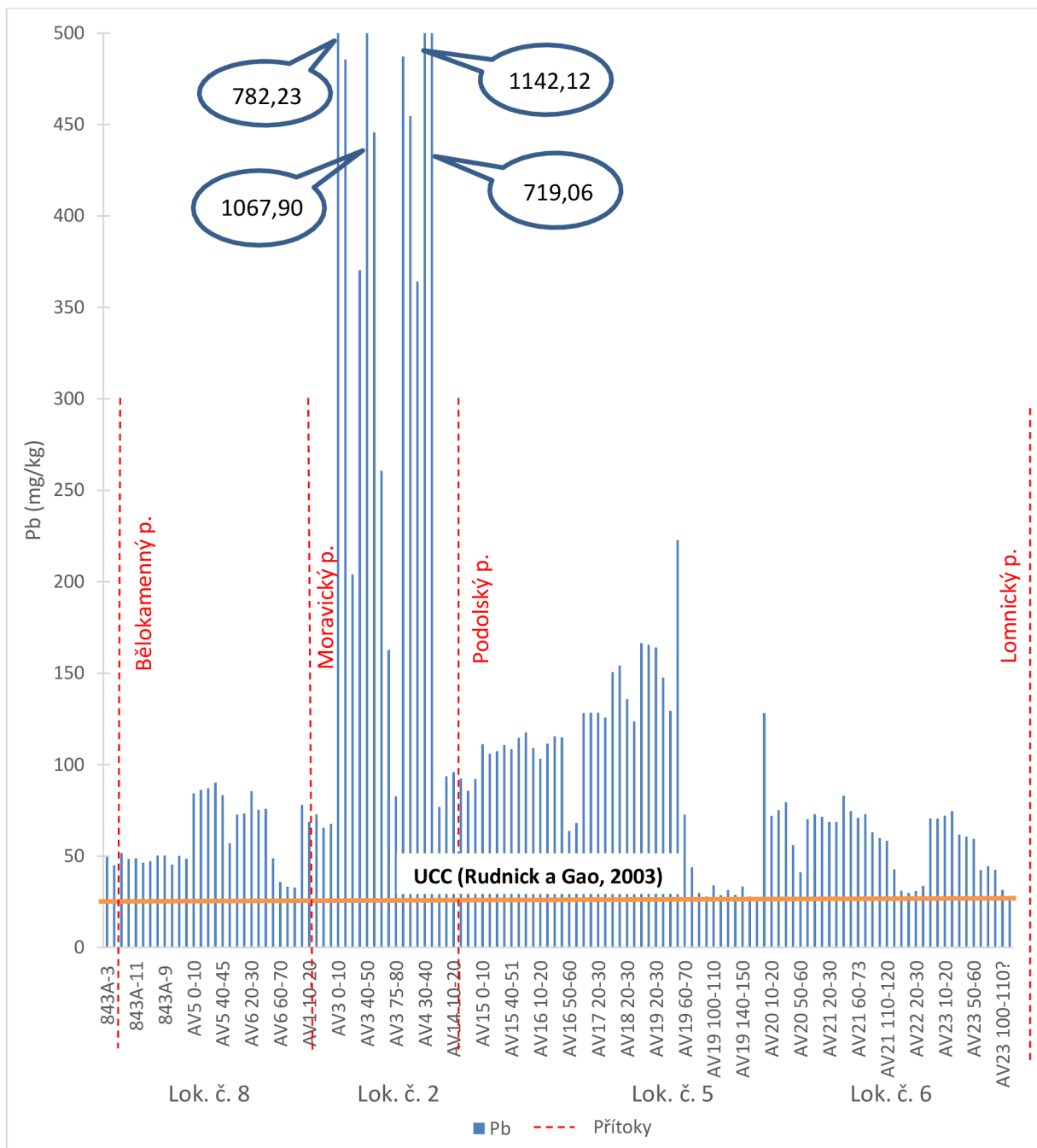
A: Koncentrace olova v povodí řeky Moravice. Vzorky s pozad'ovou koncentrací železa jsou označeny červenými body a vzorky se zvýšenou koncentrací jsou označeny modrými body.

B: Koncentrace olova v povodí Černého potoka. Vzorky s pozad'ovou koncentrací železa jsou označeny červenými body a vzorky se zvýšenou koncentrací olova jsou označeny modrými body.

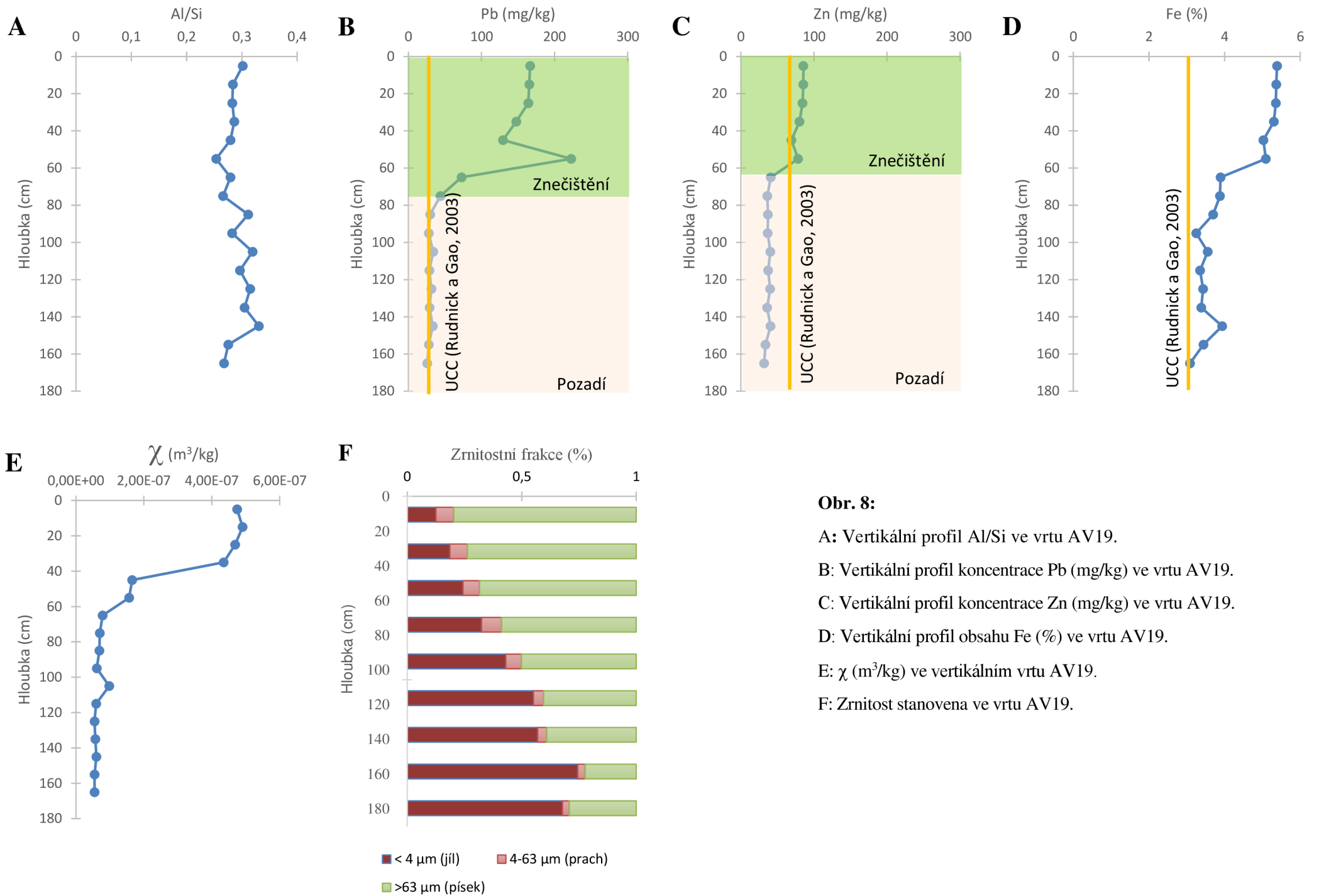
C: Koncentrace olova na celém zkoumaném území. Vzorky s pozad'ovou koncentrací olova ze všech potoků jsou označeny červenými body. Vzorky se zvýšenou koncentrací v povodí řeky Moravice jsou označeny modrými body a vzorky se zvýšenou koncentrací v povodí Černého potoka jsou označeny oranžovými body.

n ... počet koncentrovaných vzorků

n_{Bg} ... počet vzorků pozadí



Obr. 7: Graf rozložení koncentrací olova v sedimentech podél toku řeky Moravice. Oranžovou linií vyznačuje průměrnou koncentraci Pb v UCC podle Rudnick a Gao (2003, což je $17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Nápadné jsou koncentrace ve vrtech AV3 a AV4 na lokalitě Janovice a Suchá Rudná.



Obr. 8:

A: Vertikální profil Al/Si ve vrtu AV19.

B: Vertikální profil koncentrace Pb (mg/kg) ve vrtu AV19.

C: Vertikální profil koncentrace Zn (mg/kg) ve vrtu AV19.

D: Vertikální profil obsahu Fe (%) ve vrtu AV19.

E: χ (m³/kg) ve vertikálním vrtu AV19.

F: Zrnitost stanovena ve vrtu AV19.

4.2 Koncentrace zinku v zájmovém území

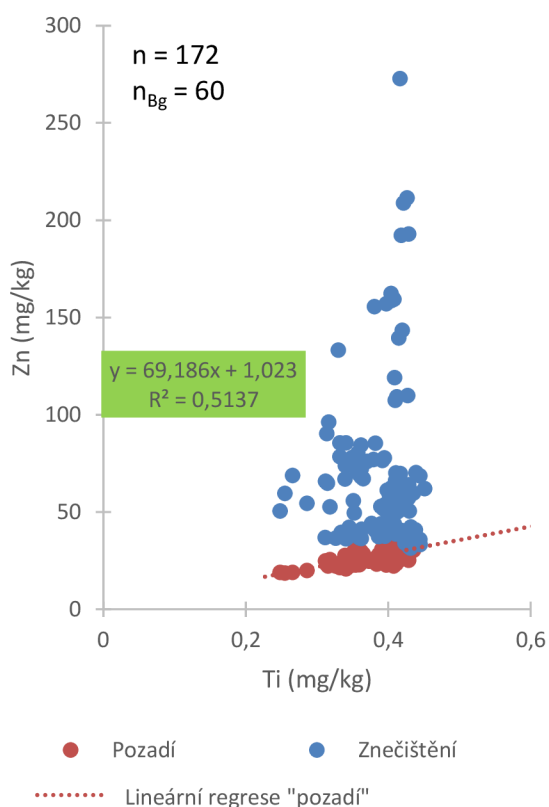
V povodí řeky Moravice se koncentrace Zn pohybují od $31,35 \text{ mg.kg}^{-1}$ do $272,69 \text{ mg.kg}^{-1}$ ve vrtu AV3 (Obr. 9A). Pozad'ová koncentrace Zn byla stanovena na 70 mg.kg^{-1} podle průměrné koncentrace Zn v UCC (Rudnick a Gao 2003). Pozad'ová funkce je rovnice regresní přímky $y = 69,186 + 1,023x$. Ve vrtu AV3 (0-10 cm) dosahuje koncentrace $272,69 \text{ mg.kg}^{-1}$. LEF zinku nabývá až 7násobku pozad'ové hodnoty.

Koncentrace Zn jsou podél toku Moravice nižší, než je průměrná koncentrace Zn v UCC. K prudkému nárůstu koncentrací Zn z $37,94 \text{ mg.kg}^{-1}$ až na $272,69 \text{ mg.kg}^{-1}$ dochází na lokalitě Janovice (Obr. 10). K dalšímu nárůstu koncentrací Zn z $31,86 \text{ mg.kg}^{-1}$ až na $155,45 \text{ mg.kg}^{-1}$ dochází na lokalitě Rýmařov.

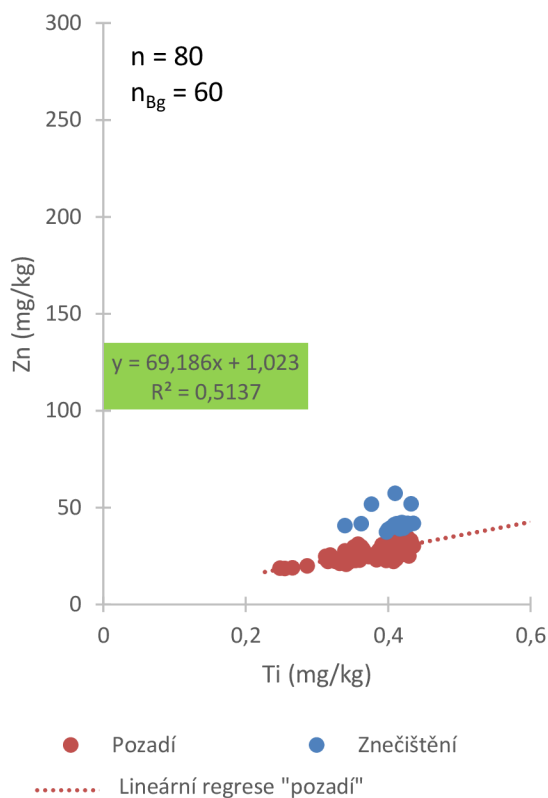
V povodí Černého potoka se naměřené hodnoty pohybují od $37,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ do $57,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ (860a, Suchá Rudná). Nejvyšší naměřená hodnota je $57,44 \text{ mg.kg}^{-1}$, která nabývá skoro 2násobek pozad'ové hodnoty. Hodnoty koncentrací zinku pro celé zájmové území jsou znázorněny na Obr. 9C.

Typickým příkladem vertikální distribuce koncentrací Zn je vrt AV19 (Obr. 8C). Ve svrchních 60 cm jsou hodnoty koncentrace $85,56 \text{ mg.kg}^{-1}$ a následně klesají na přibližně 60 mg.kg^{-1} . Od 60 cm až do 150 cm se hodnoty pohybují v rozmezí mezi $40\text{--}35 \text{ mg.kg}^{-1}$, v hloubce 150 cm a níže hodnoty klesají k $31,86 \text{ mg.kg}^{-1}$. Z vertikálního profilu je zřejmá kontaminace Zn ve svrchních 60 cm. Znečištění daného profilu se pohybuje od cca $69,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ do 85 mg.kg^{-1} . Naměřené hodnoty překročily hodnoty UCC maximálně o 15 mg.kg^{-1} .

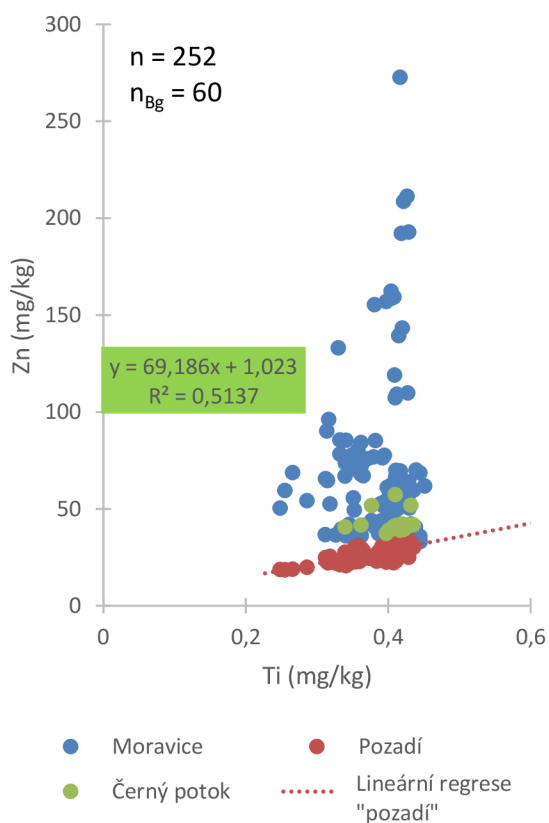
A



B



C

**Obr. 9:**

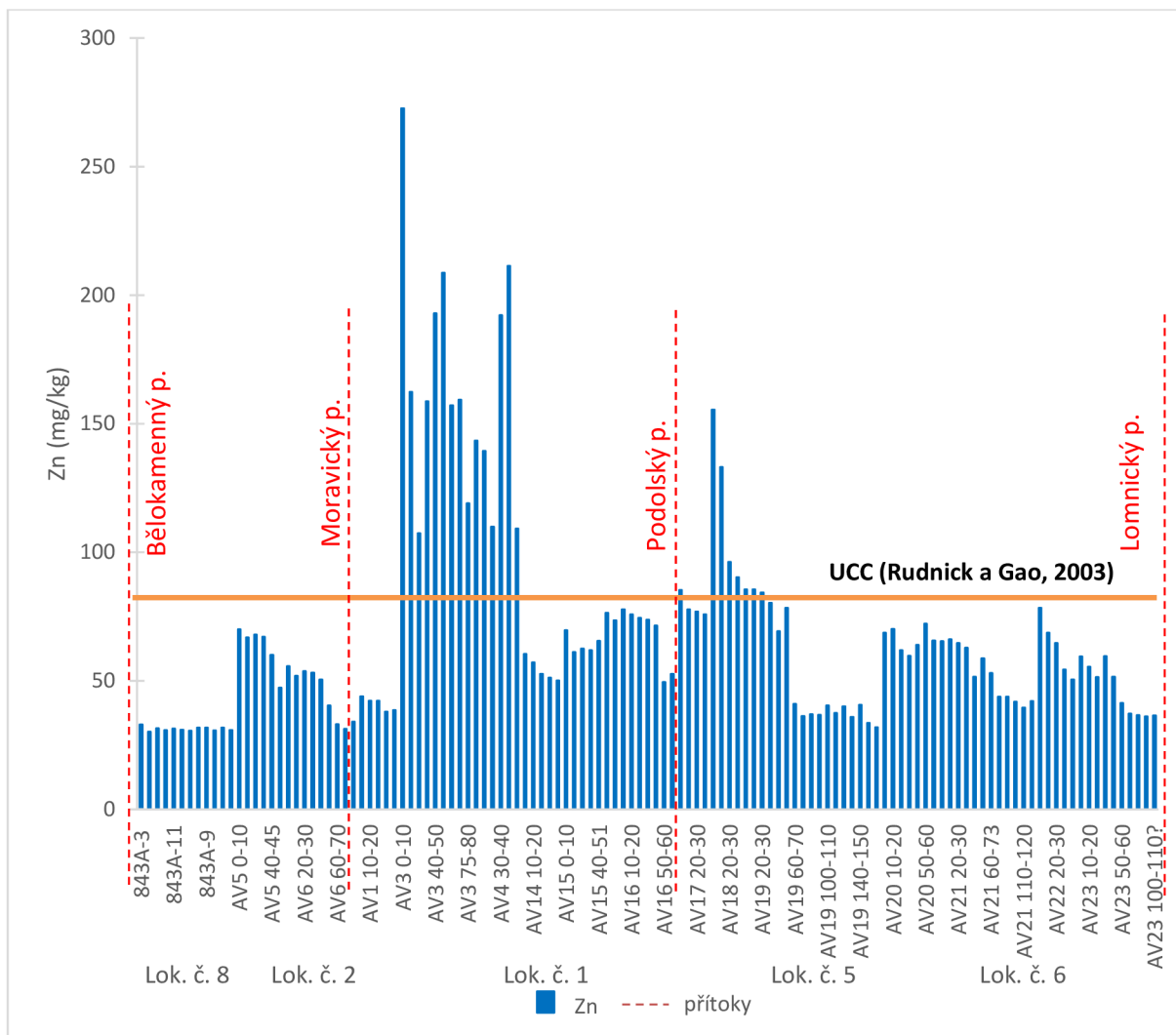
A: Koncentrace zinku v povodí řeky Moravice. Vzorky s pozad'ovou koncentrací zinku jsou označeny červenými body a vzorky se zvýšenou koncentrací jsou označeny modrými body.

B: Koncentrace zinku v povodí Černého potoka. Vzorky s pozad'ovou koncentrací zinku jsou označeny červenými body a vzorky se zvýšenou koncentrací jsou označeny modrými body.

C: Koncentrace zinku na celém zkoumaném území. Vzorky s pozad'ovou koncentrací zinku ze všech potoků jsou označeny červenými body. Vzorky se zvýšenou koncentrací v povodí řeky Moravice jsou označeny modrými body a vzorky se zvýšenou koncentrací v povodí Černého potoka jsou označeny zelenými body.

n ... počet koncentrovaných vzorků

n_{Bg} ... počet vzorků pozadí



Obr. 10: Rozložení koncentrací zinku podél toku řeky Moravice. Oranžovou linií vyznačuje průměrnou koncentraci Zn v UCC podle Rudnick a Gao (2003, což je $70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Nápadné jsou koncentrace ve vrtech AV3 a AV4 na lokalitě Janovice a AV18 Suchá Rudná.

4.3 Koncentrace železa a hmotnostně specifická magnetická susceptibilita

Obsah železa v povodí řeky Moravice znázorňuje Obr. 11A. Hodnotu pozad'ové funkce jsme stanovili podle koncentrace Fe v UCC (3 % ; Rudnick a Gao 2003). Pozad'ová funkce je $y = 4,306x + 1,255$. Hodnota LEF železa dosahuje až 6násobku pozad'ové hodnoty. Nejvyšší hodnota Fe je 19 % (AV3 na lokalitě Janovice, v hloubce 50 až 60 cm).

V povodí Černého potoka (Obr. 11B) se naměřené hodnoty Fe pohybují v rozmezí od 2 % do 5,8 % (860a, Suchá Rudná), což je 2násobek pozad'ové hodnoty. Obsah železa v říčních sedimentech na celém zájmovém území je vyjádřen na Obr. 11C.

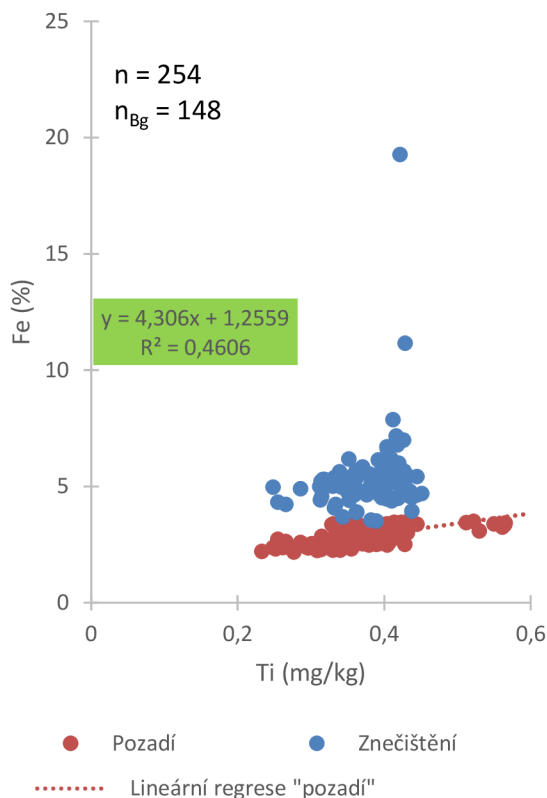
Hodnoty obsahů Fe společně s magnetickou susceptibilitou (χ) podél toku řeky Moravice jsou znázorněny na Obr. 12. Hodnoty koncentrací Fe se pohybují nad hodnotou koncentrací v UCC. K prudkému nárůstu obsahu Fe z 3 % až na 19 % dochází na lokalitě Janovice. Dále po proudu se hodnoty Fe pohybují kolem 5 %.

Také magnetická susceptibilita nabývá vysokých hodnot, a to ve stejné lokalitě jako Fe. a to z $3,73 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ na $3,61 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. K dalšímu většímu nárůstu χ z $5,93 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ až na $1,23 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ dochází na lokalitě Rýmařov (Obr. 11).

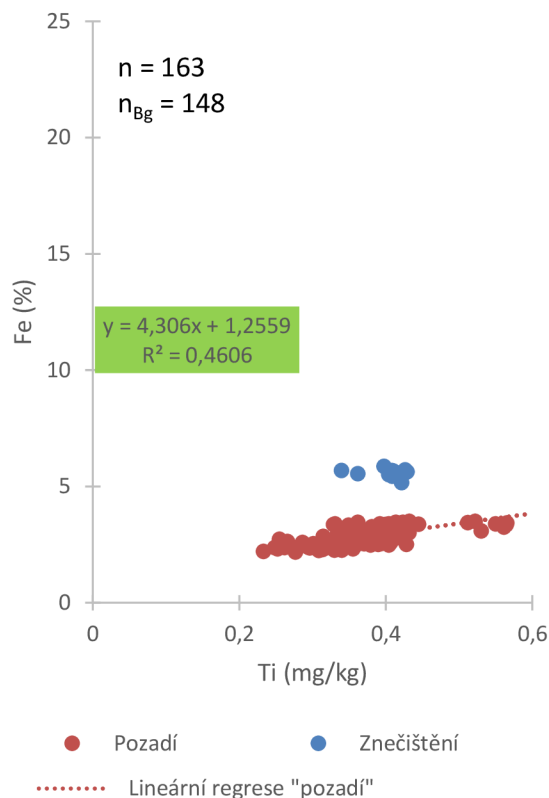
Jako příklad zvýšeného obsahu Fe je vertikální profil vrtu AV19 (Obr. 8D). V hloubce 0-60 cm hodnoty obsahu železa klesají od 5 % na 4 % a poté se hodnoty pohybují v rozmezí 3-4 %. Maximální naměřené hodnoty překročily 3násobek hodnoty UCC.

Příkladem zvýšeného χ je vertikální profil vrtu AV19 (Obr. 8E). V hloubce 0-40 cm hodnoty klesají od $4,75 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ do $1,66 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ a poté hodnoty dále klesají do hloubky 60 cm a hodnot $7,83 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Od 60 cm dolů se hodnoty pohybují v podobných hodnotách.

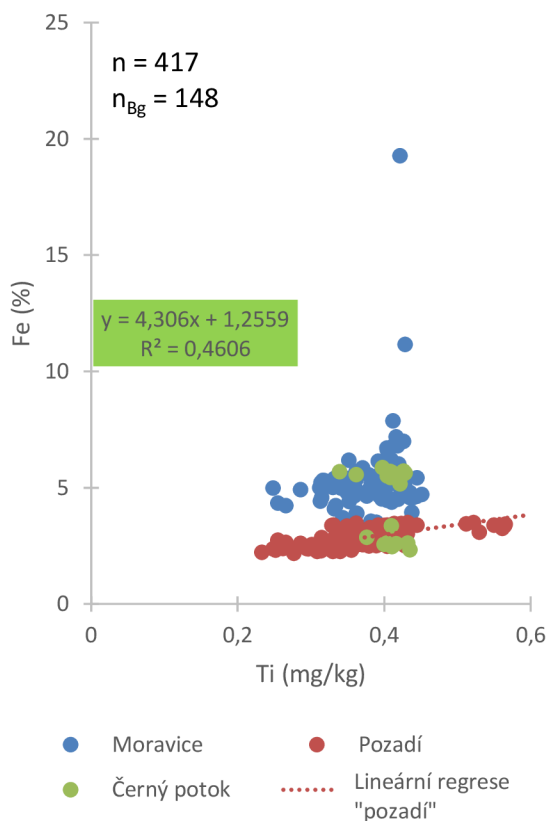
A



B



C

**Obr. 11:**

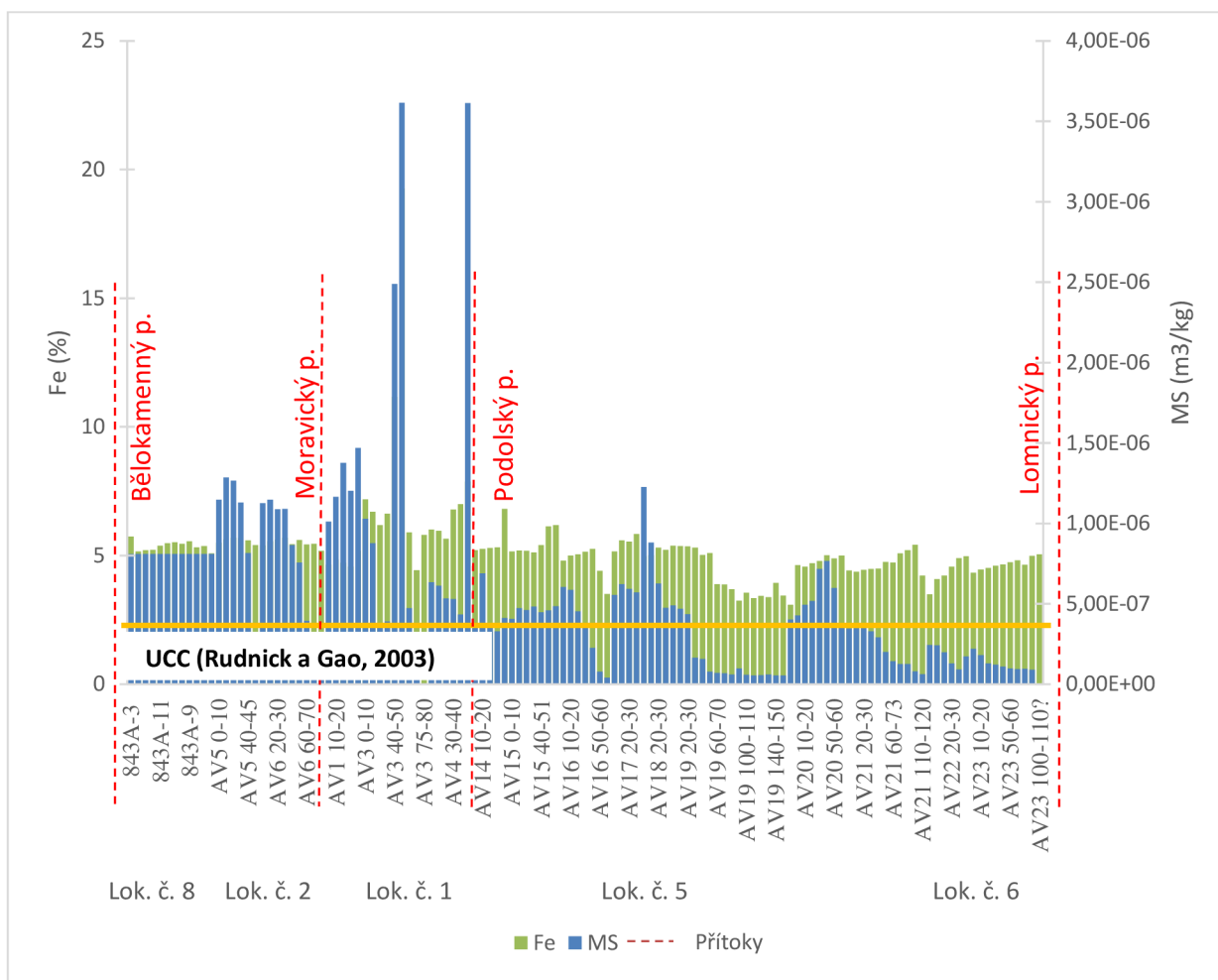
A: Obsah železa v povodí řeky Moravice. Vzorky s pozadřovou koncentrací železa jsou označeny červenými body a vzorky se zvýšenou koncentrací jsou označeny modřými body.

B: Obsah železa v povodí Černého potoka. Vzorky s pozadřovou koncentrací železa jsou označeny červenými body a vzorky se zvýšenou koncentrací jsou označeny modřými body.

C: Obsah Fe na celém zkoumaném území. Vzorky s pozadřovou koncentrací železa ze všech potoků jsou označeny červenými body. Vzorky se zvýšenou koncentrací v povodí řeky Moravice jsou označeny modřými body a vzorky se zvýšenou koncentrací v povodí Černého potoka jsou označeny zelenými body.

n ... počet koncentrovaných vzorků

n_{Bg} ... počet vzorků pozadí



Obr. 12: Rozložení obsahu Fe a χ podél toku řeky Moravice. Oranžovou linií vyznačuje průměrnou koncentraci Fe v UCC podle Rudnick a Gao (2003, což je 3%). Nápadné jsou koncentrace ve vrtech AV3 a AV4 na lokalitě Janovice.

5. DISKUZE

Rizikové prvky (Pb, Zn) spolu s železem přítomným v říčních sedimentech Moravice a Černého potoka pochází pravděpodobně z hydrotermálně sedimentárních železorných ložisek a žilných ložisek sulfidických rud ve vrbenké skupině a šternbersko-hornobenešovském pruhu. Jde o lokality Nová Ves, Ruda, Malá Morávka u Rýmařova a Horní Benešov u Bruntálu (Zimák 2005).

Vysoké hodnoty koncentrace Pb a Zn se vyskytují u bývalých dobývek a oblastech zpracování rud. Naopak hodnoty koncentrací Zn a Pb klesají s rostoucí vzdáleností od zdroje znečištění, což je běžný jev popisovaný v literatuře (např. Miller 2013). Toto tvrzení přirozeně neplatí absolutně, závisí na sklonu koryta a mísení znečištěného a čistého sedimentu. Jev, kdy dochází k „ředění“ znečištěného sedimentu materiálem neznečištěným se uplatňují zejména u větších říčních systémů s širokou říční nivou a velkým objemem uloženého sedimentu. U řek studovaných v této bakalářské práci (horní toky řek) jsou říční nivy poměrně úzké a lze předpokládat, že se znečištěný materiál uložil poblíž místa těžby nebo místa zpracování.

K opačnému jevu, tj. k nárůstu koncentrací rizikového prvku v sedimentu s rostoucí vzdáleností od zdroje, nedochází ovšem až tak zřídka. Z českého země může být příkladem řeka Litavka. Kde dochází k nárůstu znečištění mimo zdroj. Byla zde naměřena nejvyšší koncentrace Pb ve vzdálenějších lokalitách od zdroje. Naopak na lokalitách nejbližší zdrojů byly na Litavce pouze středně znečištěné sedimenty (Faměra et al. 2018b).

Rozložení rizikových prvků v říčních sedimentech je často nerovnoměrné (Miller 2013) zejména v důsledku hydraulického třídění unášeného materiálu, tj. závisí na zrnitosti a hustotě unášeného materiálu. Další faktory, které mohou ovlivňovat koncentraci prvků Pb a Zn je například odstranění nebo uložení materiálu v korytě či nivě, geochemické procesy zahrnující oxidaci, srážení anebo sorpci.

Struktura rozložení rizikových prvků uložených především v nivách podél toku řek, závisí na hloubce uložení sedimentu a vzdálenosti od koryta řek. Tento fenomén společně s nestejnoměrným rozložením sedimentu lze opět ukázat na příkladu řeky Litavky. Na Litavce je místy celkem široká niva a malá mocnost sedimentu, kde se projevuje vysoká koncentrace rizikových prvků.

Jako příklad kontaminace sedimentů v důsledku historické těžby můžeme uvést studii říčních teras ve Velké Británii (Macklin et al. 1992). Důvodem tohoto výzkumu byl počátek průmyslové revoluce a pak i těžba nerostných surovin, následkem čehož byla

devastace krajiny, říčních toků a ekosystémů. Jako ukázka kontaminace je řeka Swale, která byla vícenásobně znečištěna při těžbě rud olova v 18. a 19. století (Brewer 2005, Hudson-Edwards et al. 2008).

Také několik environmentálních katastrof přispělo k výzkumu negativního dopadu těžby nerostů na říční systém. Například proražení odkalovací nádrže v jihozápadní Bolívii (1996). Tím došlo ke znečištění řek Pilcomayo i Paraná, která se nachází v sousedních státech Paraguay a Argentině. Řeky byly kontaminovány materiálem s vysokým obsahem Ag, Cd, Cu, Pb, Sb, Zn a As (Macklin et al. 1992).

Narušení odkališť, které nejsou tak známé nalezneme i na českém území. Jedním z nich je proražení odkaliště na řece Litavce v 30. a 50. letech 20. století (Faměra et al. 2018b). Další byl v 60. letech na povodí Ohře a v 80. letech na Ploučnici. Ovšem důsledky těchto katastrof nebyly prakticky dokumentovány, z důvodu jejich radioaktivního původu (Fikarová et al. 2018, Hošek et al. 2018).

6. ZÁVĚŘ

V předložené bakalářské práci jsem se zabývala výzkumem rizikových prvků v říčních sedimentech Černého potoka, horního toku řeky Moravice a jejích přítocích. Předmětem studia bylo odebrání, zpracování a vyhodnocení 125 vzorků sedimentů z vrtných jader a 7 povrchových vzorků v zájmovém území mezi městy Rýmařov a Bruntál. V dnešní době se na zkoumaných lokalitách nachází například pinky, staré dobývky, štoly nebo šachty (Malá Morávka), ale v některých případech stopy po lokální těžbě dočista vymizely. Pro výzkum jsem použila metody RTG fluorescenční spektroskopie, magnetické susceptibility a laserové granulometrie.

Cílem bakalářské práce bylo kvantifikovat přítomnost rizikových prvků Pb, Zn a obsah Fe a jejich množství v půdě na dané oblasti.

Koncentrace olova dosahují hodnot až 38 násobku průměrné koncentrace stanovené pro UCC. Hodnoty koncentrací se pohybují mezi $31,90 \text{ mg.kg}^{-1}$ až $1142,12 \text{ mg.kg}^{-1}$. Nápadné jsou vysoké hodnoty koncentrací Pb na lokalitě Janovice v hloubce 30 až 40 cm s maximem $1142,12 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Koncentrace zinku dosahují hodnot až 7 násobku průměrné koncentrace stanovené pro UCC. Hodnoty koncentrací se pohybují mezi $31,35 \text{ mg.kg}^{-1}$ až $272,61 \text{ mg.kg}^{-1}$. Nápadné jsou vysoké hodnoty koncentrace Zn na lokalitě Janovice v hloubce 40 až 50 cm s maximem $272,61 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Obsah železa dosahuje hodnot až 6 násobku průměrné koncentrace stanovené pro UCC. Hodnoty koncentrací se pohybují mezi 2 % až 19 %. Nápadné jsou vysoké hodnoty na lokalitě Janovice v hloubce 50 až 60 cm s maximem 19 %.

Vyšší koncentrace rizikových prvků v říčních sedimentech Černého potoka, horního toku řeky Moravice a jejích přítocích je pozůstatkem lokální těžby, hydrotermálně sedimentárních železorných a žilných ložisek sulfidických rud. Nízké kontaminace rizikových prvků náhle rostou na lokalitě Janovice, přičemž dále po proudu postupně klesají až na hodnoty přirozené. Vyzníváním kontaminace po proudu je způsobeno postupným mísením znečištěného sedimentu okolními přítoky, proto je dolní tok Moravice a řeky Opavy bez kontaminace (Matys Grygar, osobní komunikace), což ale nebylo předmětem výzkumu pro tuto bakalářskou práci.

7. POUŽITÁ LITERATURA

- Bábek O., Matys Grygar T., Faměra M., Hron K., Nováková T., Sedláček J. (2015): Geochemical background in polluted river sediments: How to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour? *Catena* 135, 240-253.
- Balatka B., Kalvoda J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha.
- Barth V. (1966): Zpráva o výzkumu neovulkanity v okolí Bruntálu v Nížkém Jeseníku. *Zpr. Geol. Výzk.* 1964, 169–170, Praha.
- Bernard J. H., Pouba Z., Čadek J., Čadková Z., Havelka J., Hettler J., Chrt J., Klomínský J., Koutek J., Legierski J., Lomozová V., Morávek P., Mrázek P., Mrňa F., Petrold Z., Petránek J., Pokorný J., Reichmann F., Rus V., Sattran V., Skácel J., Šmejkal V., Šorf F., Tenčík I., Vaněček M. (1986): Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu. Academia. Praha
- Brewer P.A., Dennis, I.A., Macklin M.G. (2005): The use of geomorphological mapping and modelling for identifying land affected by metal contamination on river floodplains. DEFRA Research and Development Report SP, vol. 0525. 58 pp.
- Čermák F., Karel J., Marek M. (2015): O geologii a dolování na Rýmařovsku. Rýmařovsko o.p.s., Rýmařov.
- Dědáček K., Gnojek I., Chlupáčová M. (1997): Regionální magnetické anomálie a jejich zdroje v hlubší stavbě Moravy a Slezska. *Geol. Výzk. Mor. Slez.* v roce 1996, Brno.
- Demek J., Mackovčín P., Balatka B., Buček A., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D. (2006): Zeměpisný lexikon ČR – Hory a nížiny. AOPK ČR, 320, Brno.
- Faměra M., Kotková K., Tůmova Š., Elznicová J., Matys Grygar T. (2018b): Pollution distribution in floodplain structure visualised by electrical resistivity imaging in the floodplain of the litavka river, the Czech republic. *Catena*, 207, 165, 157-172.
- Fikarová J., Kříženecká S., Elznicová J., Faměra M., Lelková T., Matkovič J., Matys Grygar T. (2018): Spatial distribution of organic pollutants (PAHs and polar pesticides) in the floodplain of the Ohře (Eger) River, Czech Republic. *J Soils Sediments* 18, 259–275.
- Grygárek J. (2009): Za hornictvím hornoměstského rudného revíru. Vyd. 1. Ostrava: Klub přátel Hornického muzea v Ostravě. 96 s.

- Grygárek J., Michalčík P. (2007): Novodobý geologický průzkum, příprava a těžba Pb-Zn rud na lokalitě Horní Město u Rýmařova a její předčasné ukončení. Vyd. 1. Ostrava: VŠB – Technická univerzita v Ostravě. 63 s.
- Hauk A. (2012): Za slávou horního města Hankštejna. Repronis pro obec Horní Město, Horní Město.
- Hošek M., Matys Grygar T., Elznicová J., Faměra M., Popelka J., Matkovič J., Kiss T. (2018): Geochemical mapping in polluted floodplains using in situ X-ray fluorescence analysis, geophysical imaging, and statistics: surprising complexity of floodplain pollution hotspot. *Catena* 171, 632-644.
- Hrnčířová M., Pospíšil J., Špiláček M. (2013): Size analysis of solid particles using laser diffraction and sieve analysis. *Engineering Mechanics*, 20, 3/4, 309-318.
- Hudson-Edwards K.A., Macklin M.G., Brewer P.A., Dennis I.A. (2008): Management of Metal Mining-Contaminated River Systems in England and Wales. Environment Agency Research and Development Report, SC030136/4.
- Chadima M. (2003): Magnetická anizotropie deformovaných sedimentů. MS, rešeršní práce, Přírodovědecká fakulta MU, Brno.
- Karel J. (2011): Starobylé hory Hankštejnské a Kamenohorské. In: Čermák M. (eds.): *Vlastivědné revue*, pp. 4-27. Olomouc: Memoria, Olomouc.
- Knésl I., Lukeš P., Dempířová L., Kříbek B. (2009): Rychlé stanovení stopových prvků přesnou rentgen-fluorescenční spektrometrií v geologickém výzkumu, při prospekci a v některých environmentálních aplikacích. *Zprávy o geologických výzkumech*, 2008, 161-164.
- Macklin M.G., Rumsby BT., Heap T. (1992): Flood alluviation and entrenchment – Holocene valley floor development and transformation in the British uplands. *Geological Society of America Bulletin*, 104(6), 631-643.
- Mísař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): *Geologie ČSSR 1. Český masív*. SPN, Praha
- Miller J.R. (2013): Forensic assessment of metal contaminated rivers in the 21st century using geochemical. *Can. Minerals* 3, 192-246.
- Novák J. (1987): Přehled dřívějšího dolování drahých kovů v Jeseníkách a jeho ložiskové základy. *Geol. průzkum* 29, 11: 332–333, Praha.

- Rudnick R. L., Gao S. (2003): Composition of the Continental Crust. Elsevier, pp. 1-64. 3, Oxford.
- Říha J., Brejchová D., Menšík P., Koscelník P., Chvojka O. (2013): Možnosti využití nedestruktivních analýz na bázi RTG záření v archeologii. *AntropoWebzin*, 3(9), 111-119.
- Skácel J. (2009): 60 let od zahájení průzkumu v Horním Benešově a Horním Městě. In: *Hornická činnost a její následky v hornobenešovském a hornoměstském revíru [Sborník abstrakt a CD-ROM]*. Praha: Česká geologická služba.
- Smolová I. (2008): *Těžba nerostných surovin na území ČR a její geografické aspekty*. Vyd. 1. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 195 s.
- Večeřa J., Večeřová V., Fojt B. (2012): *Montánní zajímavosti Jesenicka*. Česká geologická společnost, Praha.
- Vencálek J. (1998): *Okres Bruntál*. Bruntál: okresní úřad, Bruntál.
- Zapletal L. (1966): Zpráva o geologickém mapování okolí Bruntálu v Nížkém Jeseníku. *Zpr. Geol. Výzk.* 1964, 167–169, Praha.
- Zapletal, J. (1987): Parakonglomeráty andělohorského souvrství jihozápadní části Nížkého Jeseníku. *Sbor. prací přír. fak. Univ. Palackého v Olomouci*, 89, Geogr.-geol., 26. Olomouc.
- Zimák J. (2005): *Ložiska nerostných surovin*. Katedra geologie PřF UP, Olomouc.

Internetové zdroje:

WWW1 – Geologie. Správa CHKO Jeseníky.

Dostupné z: <https://jeseniky.ochranaprirody.cz/> (cit. 13. 2. 2020)

WWW2 – Geovědní mapy 1:50 000.

<https://mapy.geology.cz/> (cit. 14. 12. 2020)

WWW3 – Geologie území. Rýmařovsko.

Dostupné z: <https://www.rymarovsko.cz/o-regionu/prirodni-pomery/geologie-uzemi.html?showall=1> (cit. 28. 1. 2020)

WWW4 – Přírodní poměry. Rýmařovsko.

Dostupné z: <https://www.rymarovsko.cz/o-regionu/prirodni-pomery/vodstvo.html>
(cit. 5. 6. 2020)

WWW5 – Atlas vodních toků. Moravice.

Dostupné z: https://www.pod.cz/atlas_toku/moravice.html
(cit. 28. 7. 2020)

WWW6 – Mapy.

Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.2446513&y=49.9776461&z=12&l=0&source=osm&id=1017300898> (cit. 4. 8. 2020)

WWW7 – Hloubení šachet. Rýmařov.

Dostupné z: <http://dn.betgorebysson.club/afu.php?zoneid=3601325&var=3703401> (cit. 16. 6. 2020)