

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE



**Těžké kovy v říčních sedimentech Opavy
a jejích přítocích**

Bakalářská práce

Alice Voráčová

Environmentální geologie (B1201)

prezenční studium

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

Olomouc 2021

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Alice Voráčová

Název práce: Těžké kovy v říčních sedimentech Opavy a jejích přítocích

Typ práce: Bakalářská

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

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

Rok obhajoby práce: 2021

Klíčová slova: řeka Opava, řeka Moravice, těžké kovy, antropogenní znečištění, magnetická susceptibilita, XRF analýza

Počet stran: 36

Jazyk: Čeština

Abstrakt:

Tato práce se zabývá studiem znečištěním sedimentů povodí přítoků řeky Opavy na území Jeseníků. Konkrétně se jedná o oblasti kolem měst Bruntál a Rýmařov, kde byl zkoumán historický vývoj antropogenní činnosti na částech řek Opavy, Moravice a Černého potoka. Pro porovnání s literaturou bylo odebráno 175 vzorků na 11 lokalitách, z toho bylo 159 vzorků získáno žlabovým vrtákem a 16 vzorků bylo odebráno povrchově, lopatkou. Poté byly vzorky zpracovány několika analýzami (magnetická susceptibilita a rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF)). Výsledné hodnoty výše uvedených analýz určily míru kontaminace. Zjištěné znečištění prvků Pb, Zn a Fe je na několika lokalitách násobně vyšší než obvyklá koncentrace ve svrchní zemské kůře. Pro lepší přehlednost jsou výsledky zobrazeny v podobě grafů.

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Alice Voráčová

Title: Heavy metals in river sediments of the Opava 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: 2021

Keywords: Opava river, Moravice river, heavy metals, antropogenic pollution, magnetic susceptibility, XRF analysis, laser granulometry

Number of pages: 36

Language: Czech

Abstract:

This thesis deals with the study of sediment pollution in the tributaries of the Opava river in the Jeseníky Mountains. Specifically, these are the areas around the towns of Bruntál and Rýmařov, where the historical development of anthropogenic activity on parts of the rivers Opava, Moravice and Černý potok was examined. For comparison with the literature, 175 samples were taken at 11 localities, of which 159 samples were obtained with a trough drill and 16 samples were taken by surface, with a spatula. The samples were then processed by several analyzes (magnetic susceptibility, X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and laser granulometry). The resulting values of the above analyzes determined the degree of contamination. The detected contamination of the elements Pb, Zn and Fe is in several localities many times higher than the usual concentration in the upper earth's skin. The results are displayed by graphs for better clarity.

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

V Olomouci 29. 7. 2021

.....

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	Devon.....	10
2.2.3	Karbon	11
2.2.4	Mladší kenozoikum	11
2.2.5	Kvartér	11
2.3	Hydrologie	12
2.4	Historie těžby a průmyslu	15
3	METODY	16
3.1	Odběr vzorků v terénu	16
3.2	Laboratorní zpracování vzorků.....	17
3.2.1	Příprava vzorků.....	17
3.2.2	Magnetická susceptibilita	17
3.2.3	Měření XRF	19
4	VÝSLEDKY	20
4.1	Stanovení koncentrace olova	20
4.2	Stanovení koncentrace zinku	24
4.3	Stanovení koncentrace železa	28
5	DISKUZE	31
6	ZÁVĚŘ	32
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	33

1 ÚVOD

Oblast Jeseníků na Rýmařovsku a Bruntálsku je spjata s těžbou nerostných surovin. Probíhala zde především těžba kovů, již od 13. století, kdy zde, podobně jako v sousední zlatohorské oblasti docházelo ke kolonizaci. Ovšem až v 16. století zde započala opravdová hornická činnost, hloubení šachet a ražení štol, které byly závislé na historii bruntálského panství (www1).

Zkoumaná oblast je ojedinělá i z geologického hlediska. Dává nám možnost zkoumat minulost naší Země od dob vzdálených několik set miliónů let do současnosti. Neustále se objevují nové poznatky a pojetí o geologických dějinách v dobách dávné minulosti (Stárková a Rappich 2020; Valečka 2020; Pongrácová a Pokorný 2021), a to i přesto, že se u nás geologické vědy rozvíjí již dlouhou dobu.

Na přelomu 19. a 20. století v oblasti bohatá hutní činnost zanikla, a to z důvodu vyčerpání ložisek rud. 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.

Oblast Jeseníků je vzhledem k historii dolování a zpracování rud možným historickým zdrojem znečištění řeky Odry rizikovými prvky (především Zn, Pb, a Cu), které se do Odry mohou dostávat prostřednictvím řeky Opavy a jejích přítoků. V oblasti Ostravské aglomerace pod soutokem Odry a Opavy, koncentrace rizikových prvků prudce roste a zůstává vysoká i dále po proudu na území Polska (Faměra et al. 2021). Vliv průmyslu v této oblasti je zřejmý, ovšem význam řeky Opavy pro přínos znečištění je potřeba ověřit.

Cílem této práce je pomocí geochemických metod popsat a zhodnotit míru přínosu rizikových prvků (Zn, Pb a Cu) do povodí Opavy prostřednictvím Moravice a Hvozdnice. Zároveň pomocí magnetické susceptibility popsat a zhodnotit přítomnost železa jako pozůstatku po těžbě železných rud.

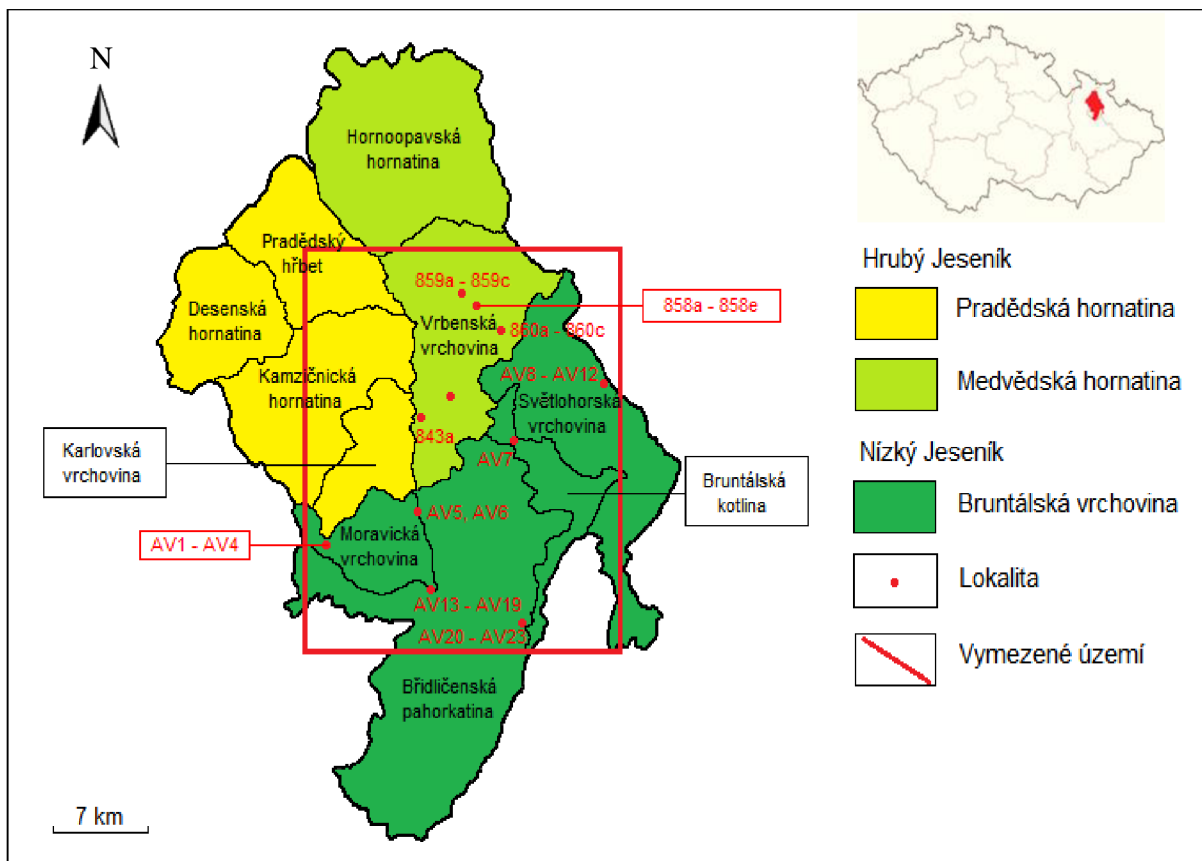
2 GEOGRAFICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

2.1 Geografie a pozice v rámci ČR

Zkoumané území se nachází na severovýchodě České republiky, v západní části Moravskoslezského kraje, oblast 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, složen z osmi podcelků. Jde o oblast s členitým reliéfem od rovin až po hornatiny. V Medvědké hornatině tvoří reliéf zaoblené hřbety, příkré svahy, hluboko zařezaná údolí a četné skalní výchozy (www2). Od pradědské hornatiny je oddělena sedlem Vidly na jihu a na severu ji odděluje sedlo Rejvíz od Zlatohorské vrchoviny (Balatka a Kalvoda 2006).

Převážná část zkoumaného území leží v Bruntálské vrchovině o rozloze 630 km², s nejvyšším vrcholem Pastviny 790 m n. m. (Demek a Mackovčín 2006). Reliéf zde vytváří široké zaoblené hřbety, plošiny na rozvodích a široce rozevřená údolí (www2). Jedním z okrsků bruntálské vrchoviny je Moravická vrchovina, kde leží i zájmová oblast obce Janovice u Rýmařova (Obr. 1.). V největší části Bruntálské vrchoviny, v Břidličenské pahorkatině, leží zájmové lokality v okolí obce Dolní Moravice (AV20 – AV23) a obce Velká Štáhle (AV13 – AV19) (Obr. 1). Vrt AV7 byl odebrán u obce Valchov, která leží v Bruntálské kotlině. Lokalita u řeky Opavy se nachází v Světlohorské vrchovině u obce Skrbovice (www3).



Obr. 1.: Geomorfologické členění zkoumané oblasti s vyznačenými místy odběru vrtů AV
(vytvořeno pomocí QGIS).

Oblast Rýmařova i s přilehlými obcemi, zabírá rozlohu 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 Malá Morávka, Janovice, Horní Město, Stará Ves, Stříbrné hory, Rešov, Ruda, Dolní Moravice, které mají bohatou hornickou historii.

Do zkoumané oblasti zasahuje CHKO Jeseníky, jehož hranice prochází lokalitou Janovice. Chráněná krajinná oblast byla vyhlášena roku 1969 a má rozlohu 740 km². Předmětem ochrany jsou horské lesy a rašeliniště. Území pokrývají převážně lesy, druhotné smrčiny nebo bučiny s mozaikovitě zachovalými zbytky původních lesů (www4). Do zkoumaného území zasahuje i přírodní park Sovinecko, který má na západě společné hranice s chráněnou krajinnou oblastí Jeseníky. Přírodní park Sovinecko se snaží zachovat přírodní krajinu a současně lesní porosty, které jsou podobné původním (Vencálek et al. 1998).

2.2 Geologie

Zkoumaná oblast se nachází na rozhraní dvou geologických jednotek (Obr. 2.). Západní jednotkou je přeměněný komplex hornin silesika starohorního a prvohorního stáří, jako jsou ortoruly, kvarcity a krystalické vápence. Jedná se o horniny staré až 1,4 miliardy let. Východní jednotka desenská skupina je tvořena komplexem slabě metamorfovaných moravského paleozoika s různými typy rul, svorů, erlanů a amfibolitů.

Až do konce devonu se zkoumaná oblast nacházela na dně moře, v oblasti poblíž rovníku. Usazovaly se především písky, jíly a kaly. V devonu byl reliéf Rýmařovska modelován variskou orogenezí, na konci druhohor i orogenezí alpínskou.

Vznik rozmanité škály vulkanických a smíšených hornin je vázán na procesy, které byly vulkanického a deformačního charakteru. Četný byl i výskyt železných rud, barevných kovů a stříbra (www5).

2.2.1 Proterozoikum

Proterozoické horniny jsou zastoupeny horninami silesika, které jsou v této oblasti reprezentovány světlými kvarcity, granitoidy, svory, amfibolity, různých typů rul a ojediněle i mramorů (Mísař et al. 1983).

Základ jesenického bloku vznikl díky tektonické kolizi mezi variským blokem a brunovistulíkem. Horniny původem z této kolize, tvoří podloží a jde o granitoidní horniny, jako je třeba granitoid nebo tonalit. Tento horninový komplex se ve východní oblasti vyskytuje zřejmě až 6 km pod povrchem, na západě leží blíže k povrchu (Dědáček et al. 1997).

2.2.2 Devon

V devonu vznikl vulkanosedimentární komplex hornin, označovaný jako vrbenská skupina. Během variského (hercynského) vrásnění byl tento komplex zvrásněn i se svým podložím. Vznikly fylity, kvarcity, droby, metabazalty, různé typy zelených břidlic a vápenců (Mísař et al., 1983). Díky těmto procesům a deformacím vznikla také ložiska železných rud a zlatonosné křemenné žíly. V některých horninách se zachovaly zkameněliny mlžů, trilobitů, korálů, mechovek a dalších organismů (www5).

2.2.3 Karbon

Devonská sedimentace pokračovala i během karbonu za vzniku hornin označovaných jako kulm Nízkého Jeseníku. Karbonské sedimenty dosahovaly původně mnohem větších mocností, ale během variské orogeneze došlo k zarovnání hornatého území na nadmořskou výšku 800–900 m n. m. (www5). Postupným překládáním sedimentačního prostoru od západu k východu, se starší jednotky vyskytují na západě a mladší na východě.

Z velké části představují karbonské horniny prachovce, jílové břidlice a droby andělskohorského souvrství, které je nejzápadnější geologickou jednotkou (Zapletal 1987). Andělskohorské vrstvy břidlic a drob se nachází v Moravické vrchovině, ve střední části Rýmařovska. Dále také v Rešovské hornatině, jihozápadně od Moravické vrchoviny, která je charakteristická výrazným zlomovým svahem (Demek a Mackovčín 2006).

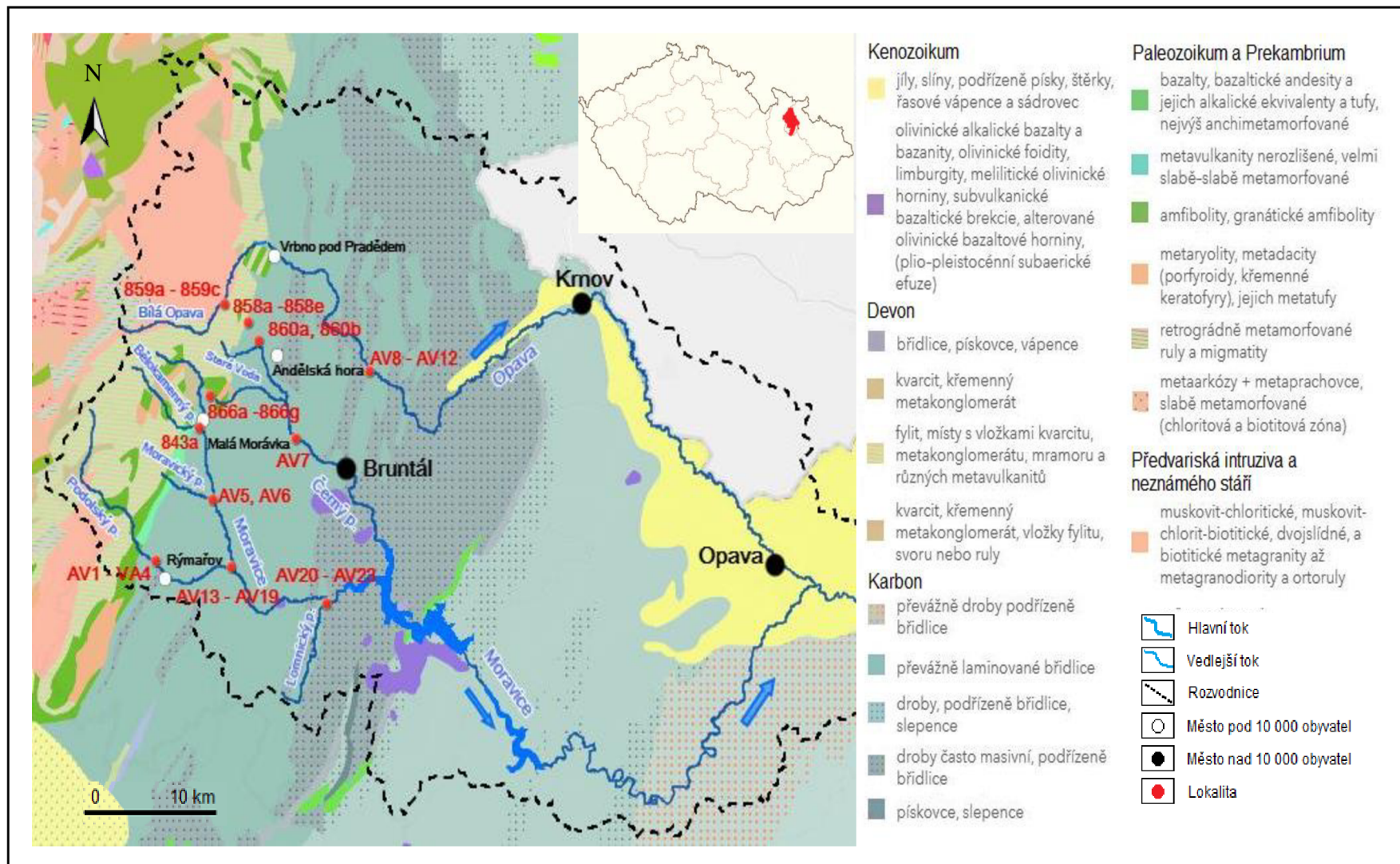
2.2.4 Mladší kenozoikum

Na začátku třetihor se na modelaci reliéfu zájmového území podílely pohyby spojené s alpínským vrásněním, což způsobilo výrazně členitý reliéf (hluboce zařezané údolí, příkré okraje svahů). Vznikaly také zlomy, a to pohybem jednotlivých bloků. Jedním významných zlomů je klepáčovský zlom, který prochází okolím Loučné nad Desnou, Vernířovic, přes Skřitek, Žďárský potok, Starou Ves, Rýmařovsko a pokračuje směrem na JV. Na této i podobných 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).

2.2.5 Kvartér

Krajinu Jeseníků naposledy výrazně přeměnily procesy spojené s kvartérním zaledněním, které skončilo před 10–12 tisíci lety. Z tohoto období také pochází široké údolní nivy a nánosy usazenin v údolí větších řek (Moravice a Opava), i pokryvy spraší.

S koncem působení ledovců je spojen i vznik rašelinišť ve Skalách, na Skřitku a jiných lokalitách. V současnosti, vlivem poklesu karpatské soustavy, Jeseníky mírně stoupají o 0,5 až 1 mm za rok (www5).



Obr. 2.: Geologická mapa zkoumaného území (vytvořeno pomocí ArcGIS).

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. Parametry řeky Moravice (Tab. 1). Pramení ve Velkém Kotli (50°3'16,7" s. š., 17°14'22,03" v. d.) na východním svahu hlavního hřebene Hrubého Jeseníku v nadmořské výšce 1134 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 (www6).

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 km². Objem vodní nádrže je 218,7 mil. m³ s maximální hloubkou 90 m (www7).

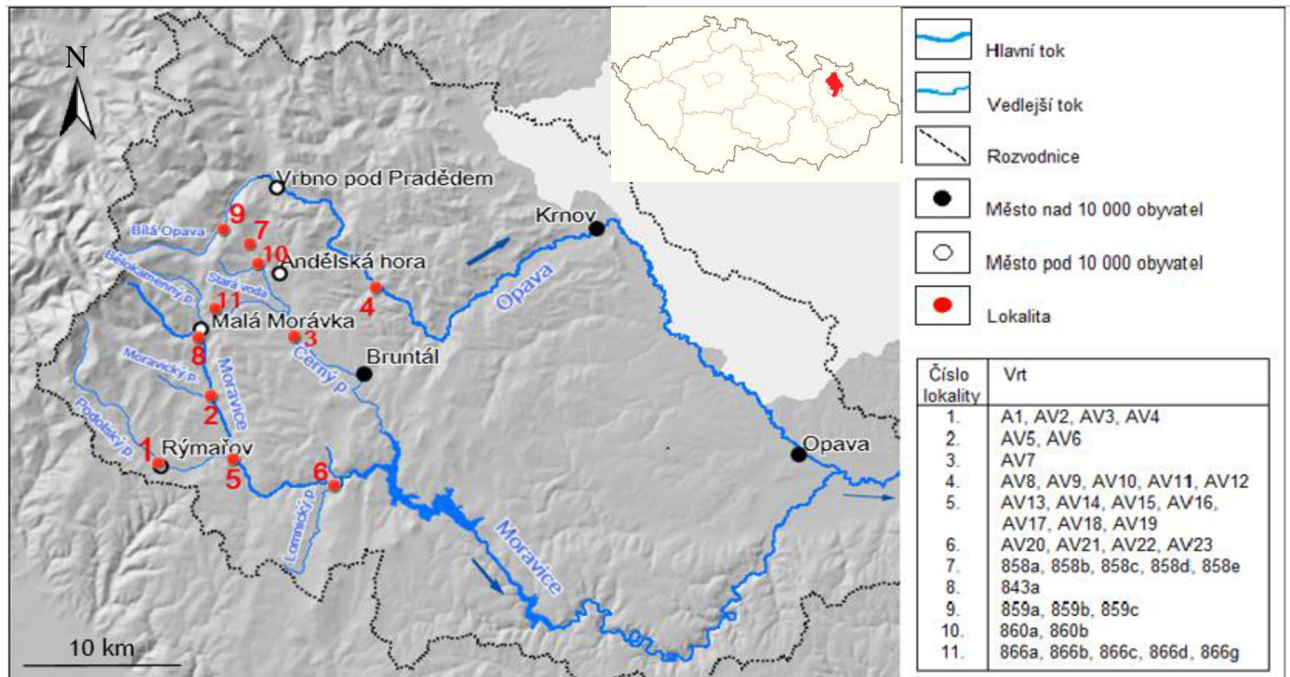
Hráz vodního díla Kružberk má výšku 34,5 m a délku 280 m. Délka celé přehrady je 9 km a šířka 0,5 km, přičemž celková rozloha činí 2,8 km². Objem této nádrže je 35,5 mil. m³ a maximální hloubkou 31 m (www7).

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 (www7). 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 ³ s ⁻¹)	Délka (km)	Plocha povodí (km ²)
Odra	547	840	118 861
Opava	4,33	111	2089
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
Bílá Opava	0,45	13,2	27,54
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. (www8).



Obr. 3.: Hydrologická mapa zkoumaného území s vyznačenými lokalitami odběru vzorků

(vytvořeno v programu ArcGis).

2.4 Historie těžby a průmyslu

Záznamy o dolování na okolní krajině jsou úzce spjaty s vývojem bruntálského panství a z osídlení této oblasti, které až do konce 12. století prakticky neexistovalo (www9). Nejstarší stopy lidské činnosti, jenž 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 et al. 1998; www10).

První 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 následujících století. Další způsobem bylo získávání zlata z mocných sedimentů a náplavů označovan jako „weiche zechce“ případně „weiches Bergwerk“. Tento způsob těžby je doložen i pro pásmo povrchových dobývek u Suché Rudné (www9).

Na území města Rýmařova byla na přelomu 13. – 14. století v provozu huť k získávání zlata. 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 současně datovány i nálezy stříbrných rud u Horního Města (Večeřa et al. 2012).

Od 16. století se začalo s hloubením šachet a ražením štol (www9). 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).

Těžba stříbra na Rýmařovsku byla od 12. stol. důležitá i pro olomoucké mincovny. V roce 1348 zde probíhala těžba především stříbra, olova a železné rudy (hematit a magnetit). Z drahých kamenů se jednalo o zlatonosný křemen, a stříbrnosný galenit a sfalerit (Karel 2011). Těžba probíhala mezi Rýmařovem, Rudou u Rýmařova a Horním městem.

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 10 cm částech. Povrchové vzorky sedimentů nebo vzorky z koryt potoků byly odebrány pouze lopatkou (vzorky z lokality číselovaných podle významných lokalit České geologické služby, tj. lokalita 858 Zlatý potok u pramene Kyselky, 843 Malá Morávka, 859 Bílá Opava a 860 Suchá Rudná). Na těchto lokalitách byly odebrány říční sedimenty, lesní půdy nebo vzorky rud (lokalita 866 Nová Rudná). Vzorky byly pro transport do laboratoře uschovány v sáčkích se zipem. Celkem bylo odebráno 175 vzorků na 11 lokalitách, z toho bylo 159 vzorků získáno žlabovým vrtákem (z 23 vrtných jader) a 16 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 K (Kappa v jednotkách SI) 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 (magnetická susceptibilita). 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, kam se vkládá vzorek v plastových sáčcích. Na základě odlišné magnetické susceptibility způsobené podle reakce elektronů na vnější magnetické pole, lze látky rozdělit do tří skupin. Na diamagnetické, paramagnetické a ferromagnetické viz. Tab. 2. (Dunlop a Özdemir 1997).

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 magnetické susceptibilita K (kappa) v jednotkách SI, která byla následně přepočítána na hmotnostně specifickou χ (chi) podle vzorce:

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

kde K je objemová magnetická susceptibilita a χ je hmotnostně specifická magnetická susceptibilita. Uvedený přepočet byl nutný z důvodu rozdílného množství vzorků, na kterých bylo měření prováděno.



Obr. 5.: Střídavý můstek. Foto pořízeno Alicí Voráčovou 8. 7. 2021 na Katedře geologie UP.



Obr. 6.: Vzorky připravené pro měření magnetické susceptibilita. Foto pořízeno Alicí Voráčovou 28. 8. 2020 na Katedře geologie UP.

3.2.3 Měření 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 Mylarovy 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 záření RTG. Postup lze využít pouze u práškových vzorků, jejichž prvky mají atomové číslo vyšší, než 11 (Klouda 2003).

Metodou XRF byl změřen obsah 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. Mají tedy přirozený obsah daného prvku kůře. Z těchto vzorků byla pomocí lineární regrese určena spojnice trendů a pozad'ová funkce (Obr. 1, 2, 3), která slouží pro výpočet hodnoty lokálního faktoru nabohacení (LEF). Toto číslo vyjadřuje, kolikrát je koncentrace sledovaného prvku vyšší nebo nižší než teoretická pozad'ová koncentrace sledovaného prvku při stejné koncentraci prvku normalizačního.

4 VÝSLEDKY

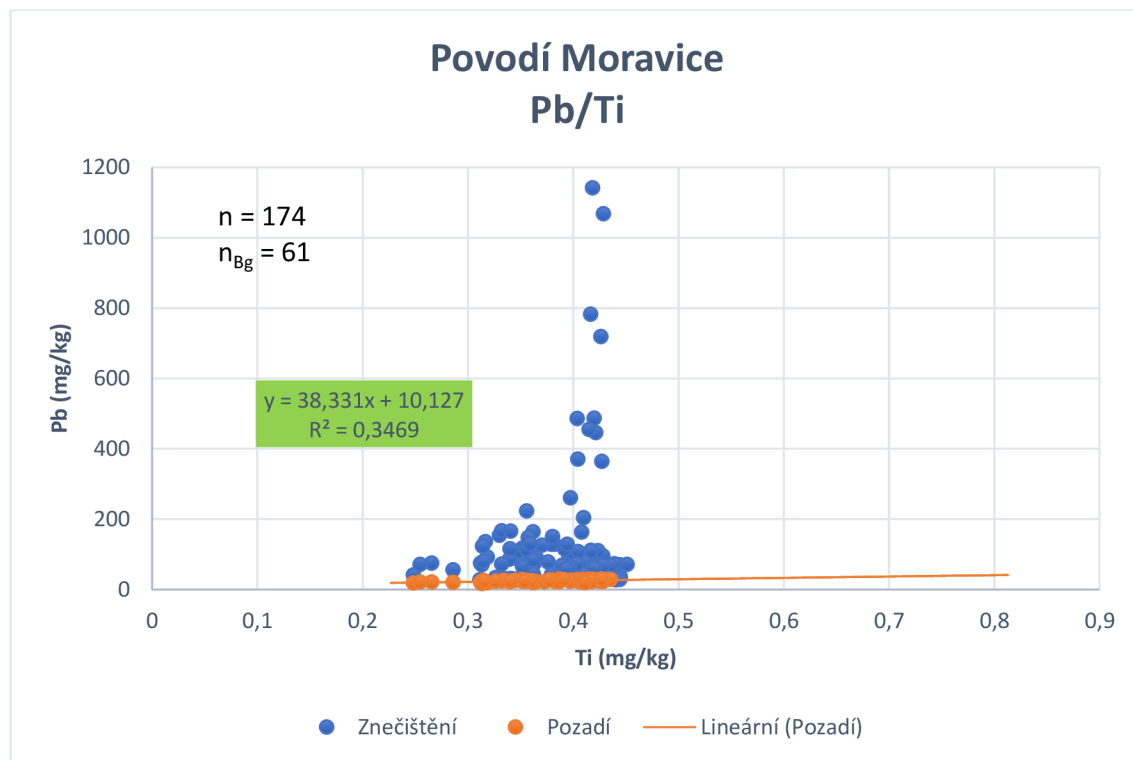
4.1 Stanovení koncentrace olova

Na obr. 7. jsou znázorněny koncentrace olova v povodí řeky Moravice. Pozadřová koncentrace olova má hodnotu 30 mg.kg^{-1} , a to kvůli většímu obsahu olova v horninách na daném území. Průměrná koncentrace Pb ve svrchní zemské kůře (UCC) je 17 mg.kg^{-1} (Rudnick a Gao 2003). Pozadřová funkce je $y = 38,331x + 10,127$. Hodnoty LEF nabývají až 38násobek pozadřové hodnoty (AV3, lokalita Janovice, hloubka 40 až 50 cm a koncentrace je 1070 mg.kg^{-1}).

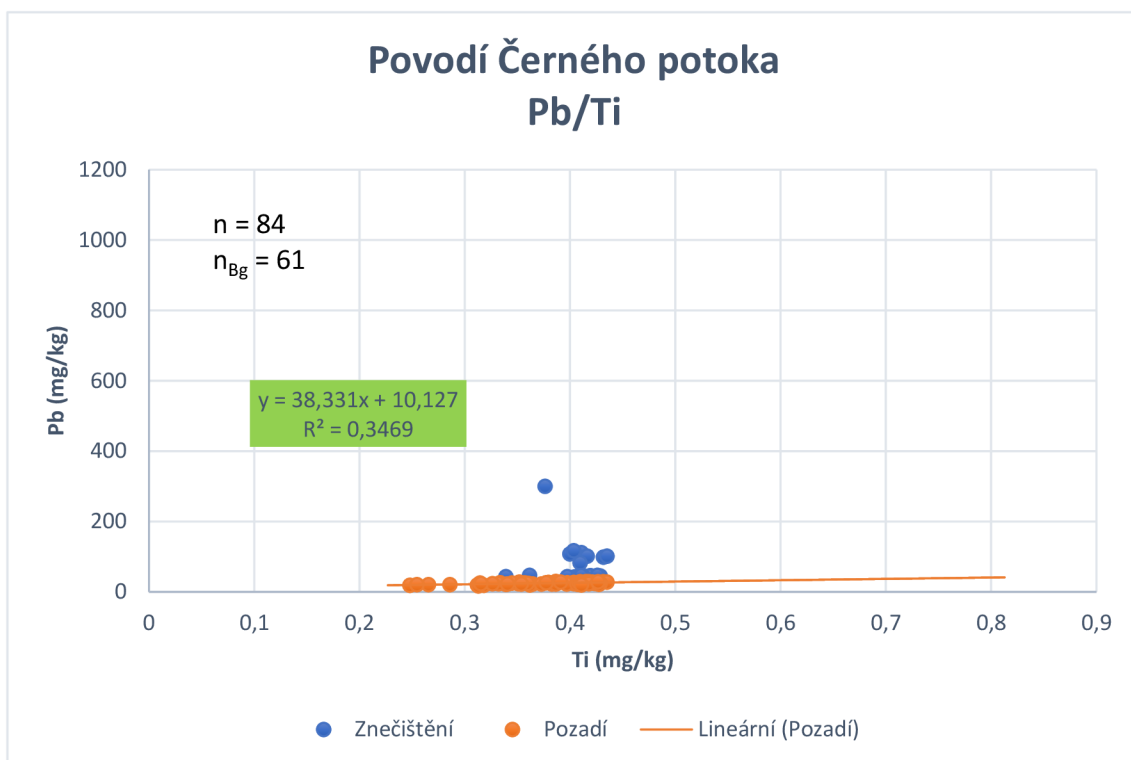
V povodí Černého potoka se koncentrace Pb pohybují v rozmezí od 40 mg.kg^{-1} do 299 mg.kg^{-1} , přičemž extrémní hodnoty byla zjištěna na lokalitě Suchá Rudná 299 mg.kg^{-1} (Obr. 8.). Hodnoty LEF nabývají až 10násobek pozadřové hodnoty.

Na Obr. 9. je zřetelně zvýšený obsah Pb v půdě v povodí řeky Opavy. Hodnoty koncentrace Pb se pohybují od 20 mg.kg^{-1} do 63 mg.kg^{-1} . Nejvyšší hodnota koncentrace Pb byla naměřena v hloubce 150–160 cm ve vzorku AV9 na lokalitě Opava. Koncentrace daného vzorku je cca $63,61 \text{ mg.kg}^{-1}$, což je necelý 3násobek pozadřové hodnoty.

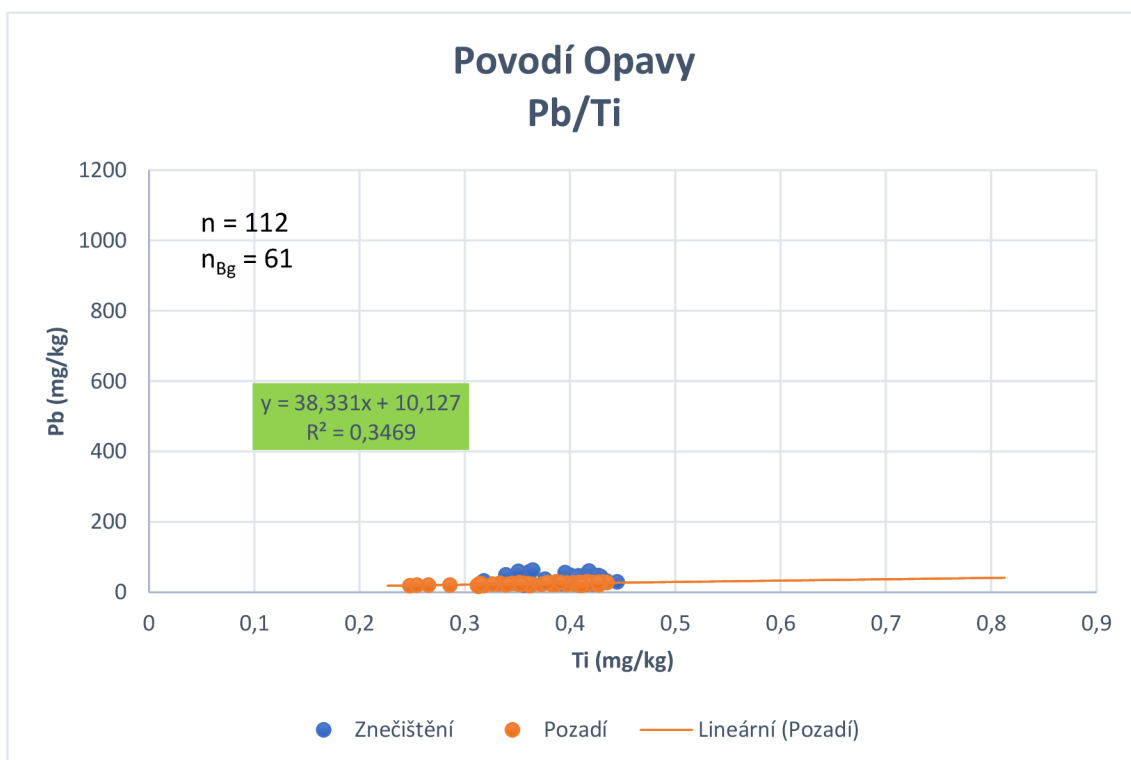
Obr. 10. zobrazuje znečištění olova v celém zájmovém území.



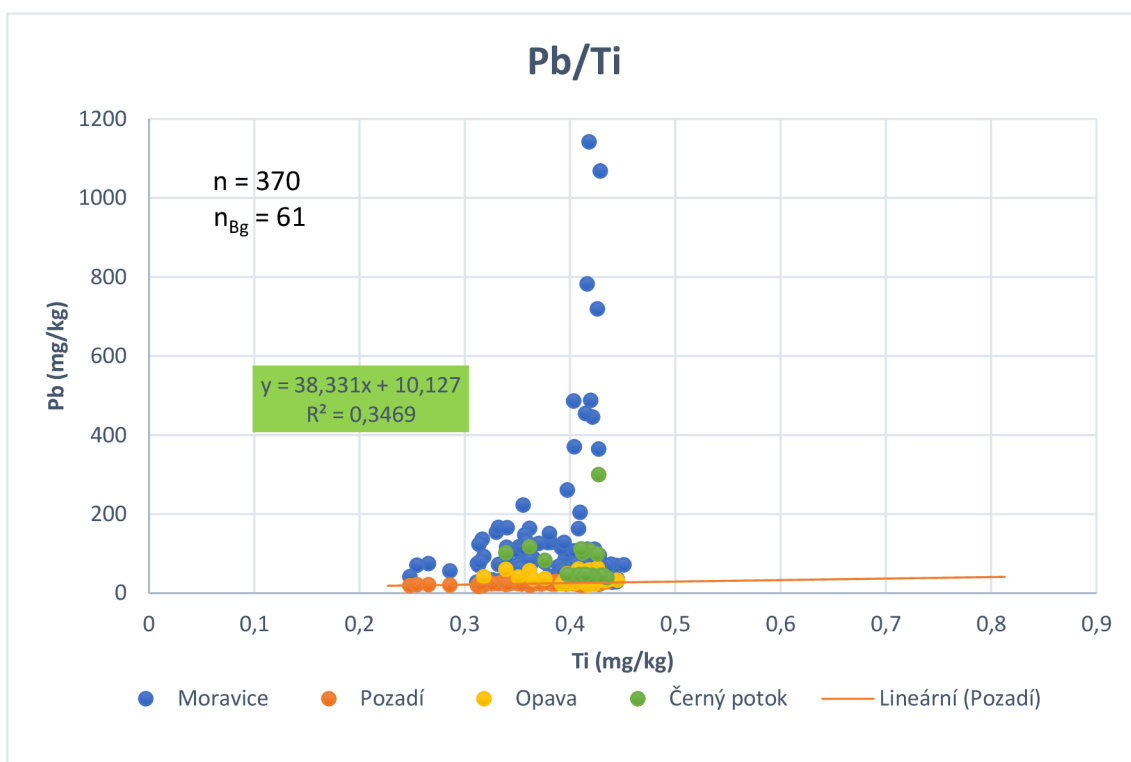
Obr. 7.: Koncentrace olova v povodí řeky Moravice.



Obr. 8.: Obsah olova v povodí Černého potoka.



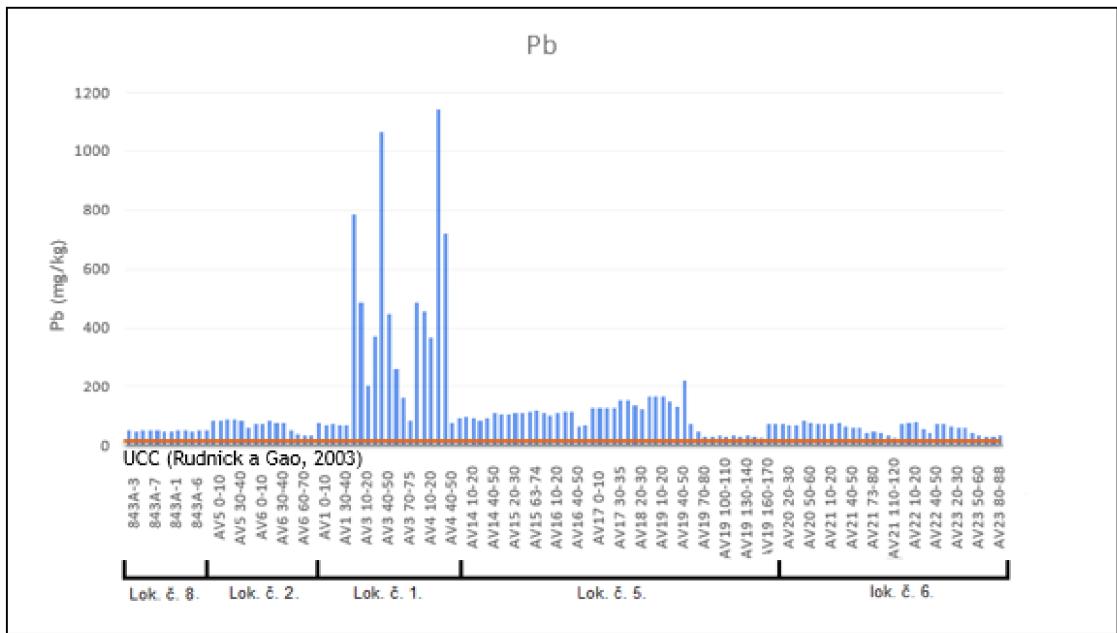
Obr. 9.: Obsah olova v povodí řeky Opavy.



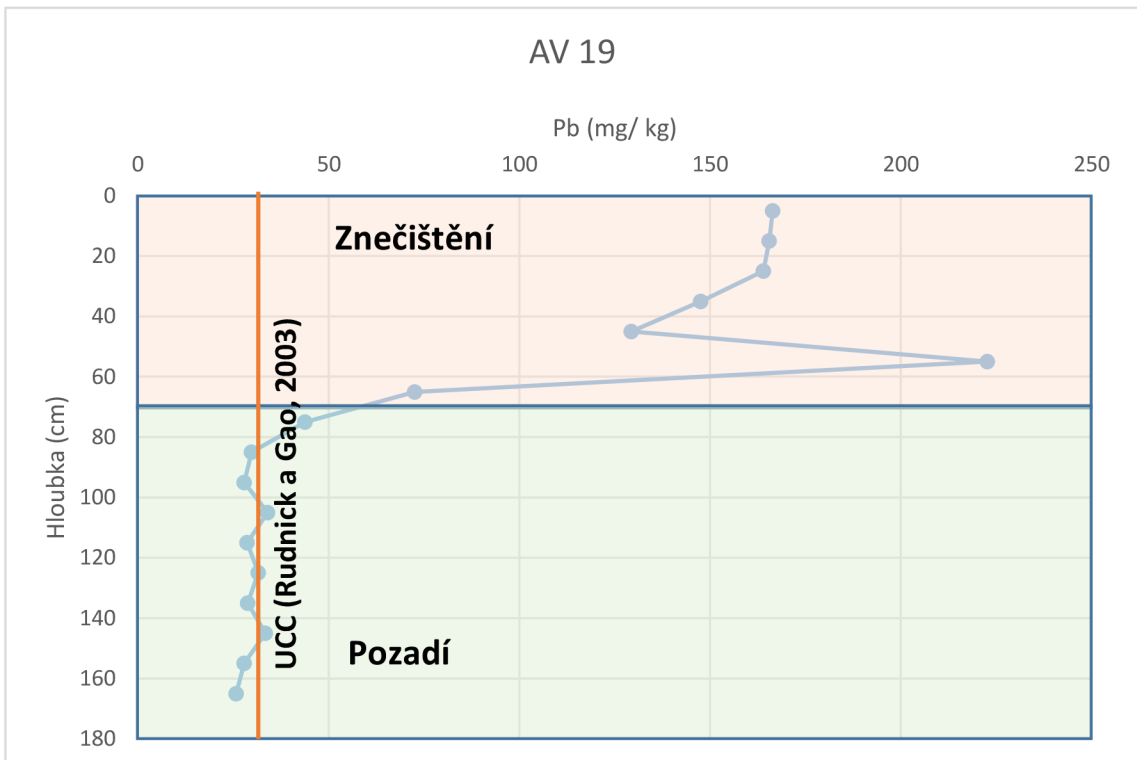
Obr. 10.: Obsah olova v celém zájmovém území.

Obr. 11. vyjadřuje znečištění olova podél povodí řeky Moravice. Výsledky jsou porovnány s obsahem olova v UCC. Z obru je patrné, že kontaminace je mírně zvýšená ve všech lokalitách. Největší znečištění pozorujeme v lokalitě č. 1 (Janovice) a lokalitě č.5. (Rýmařov).

Jako příklad zjevného znečištění sedimentu olovem je vertikální profil vrtu AV19 (Obr. 12.). Ze sloupcového profilu je patrná kontaminace olova od povrchu do hloubky 70 cm. Koncentrace olova se pohybuje od cca 25 mg.kg⁻¹ do 222 mg.kg⁻¹. Naměřené hodnoty překročily 5násobek hodnoty UCC.



Obr. 11.: Znečištění olova podél toku řeky Moravice.



Obr. 12.: Vertikální profil vrtu AV19 z povodí řeky Moravice.

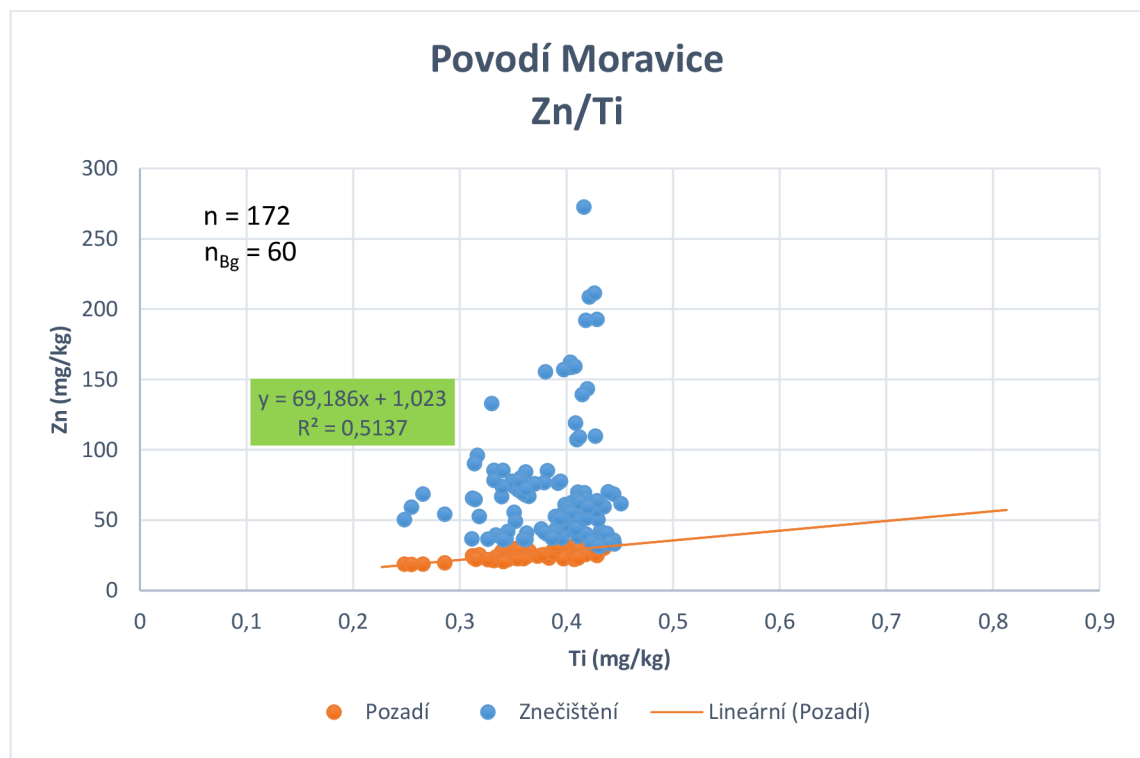
4.2 Stanovení koncentrace zinku

Obr. 13 představuje obsah zinku v povodí řeky Moravice. Pozad'ová koncentrace byla stanovena na 70 mg.kg^{-1} podle průměrné koncentrace Zn v UCC (Rudnick a Gao 2003). Pozad'ová funkce je $y = 69,186x + 1,023$. LEF v tomto případě nabývá až 7násobek pozad'ové hodnoty ve vrtu AV3 na lokalitě Janovice, v hloubce 0 až 10 cm a koncentrace ve vzorku je $272,69 \text{ mg.kg}^{-1}$.

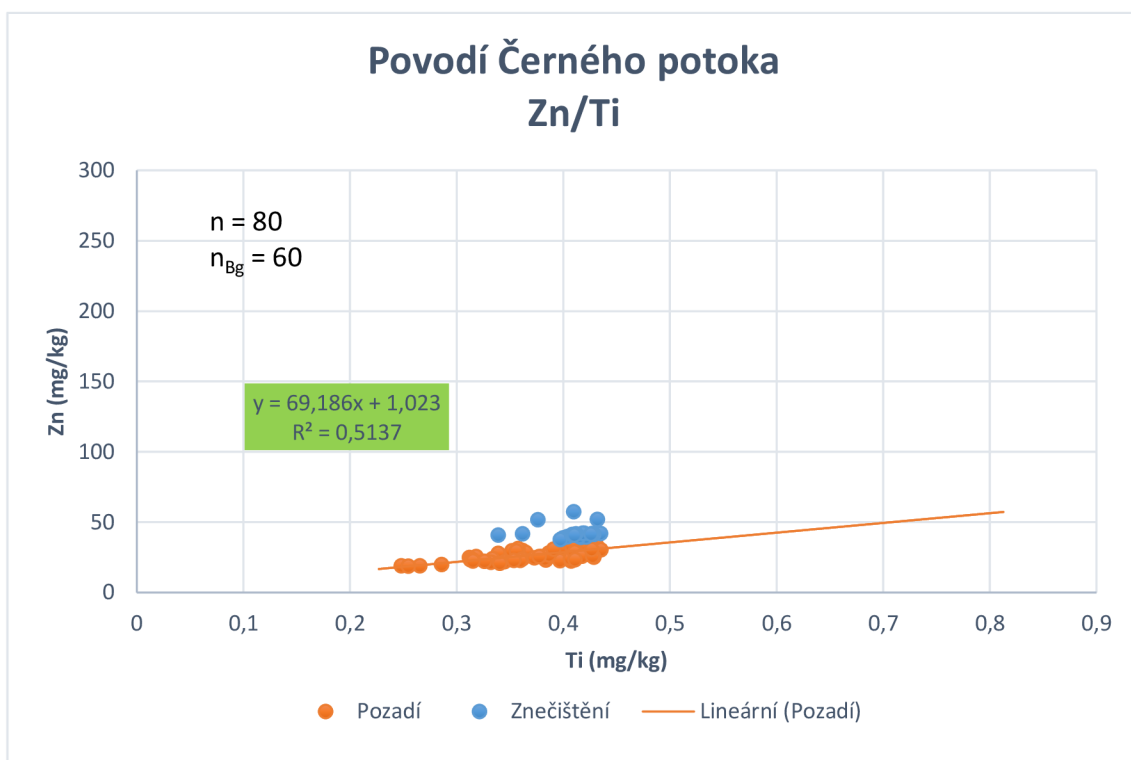
Hodnoty zinku v povodí Černého potoka představuje Obr. 14. Naměřené hodnoty se pohybují od 37 mg.kg^{-1} do 57 mg.kg^{-1} . Největší naměřená hodnota je $57,45 \text{ mg.kg}^{-1}$ (860a, Suchá Rudná), které nabývá skoro 2násobek pozad'ové hodnoty.

Koncentrace zinku v povodí řeky Opavy je znázorněna na Obr. 15. Koncentrace vzorku se pohybuje od 23 mg.kg^{-1} do 55 mg.kg^{-1} . Hodnoty LEF nabývají necelý 3násobek pozad'ové hodnoty s koncentrací $55,98 \text{ mg.kg}^{-1}$ (AV9, Opava nárazový břeh).

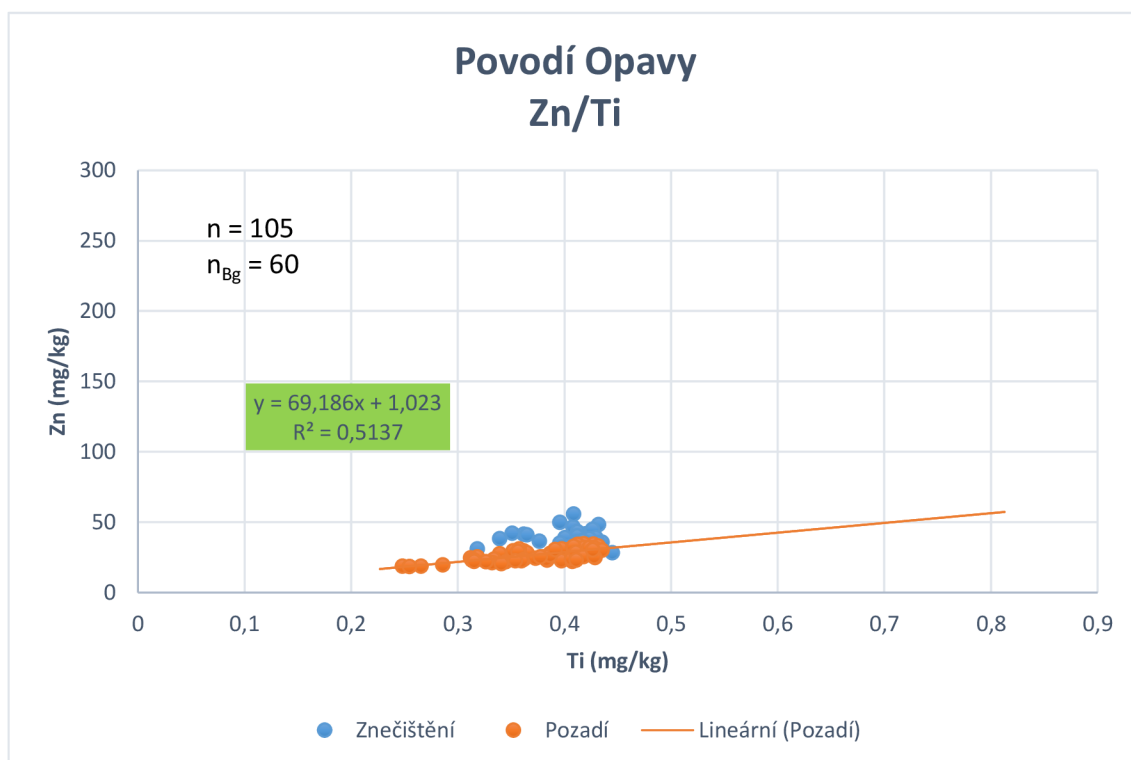
Obsah zinku v sedimentech z celého zkoumaného území je vyjádřen Obr. 16.



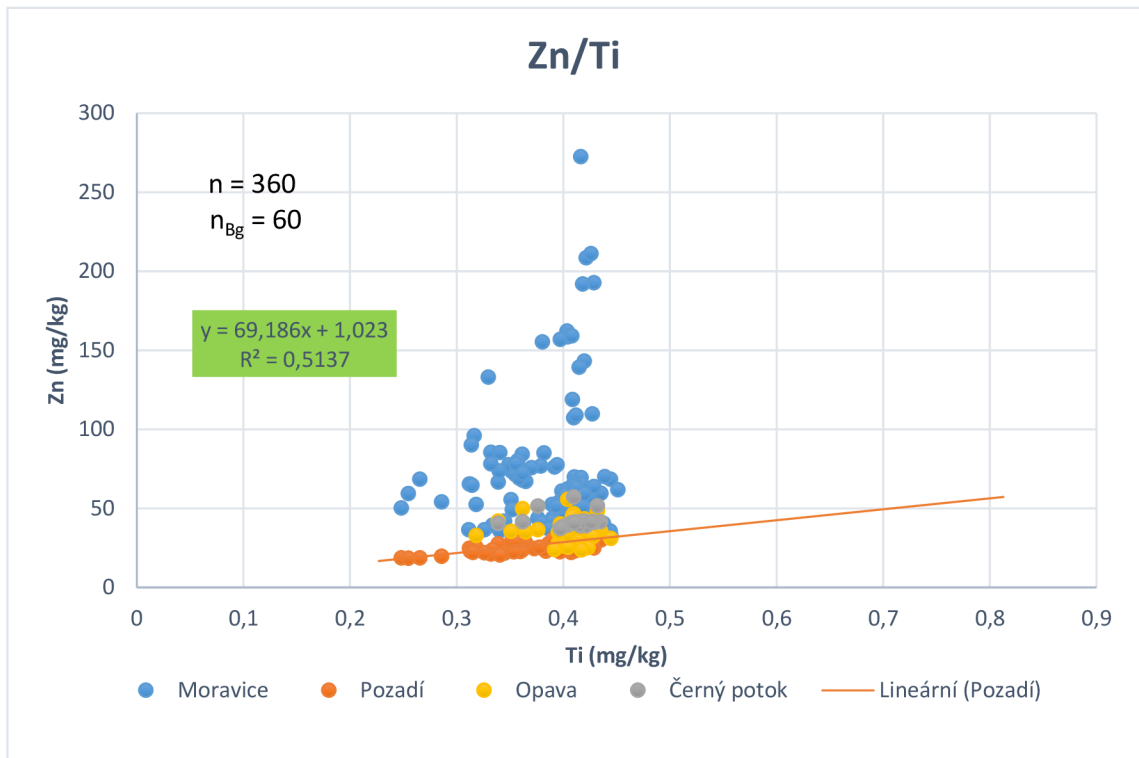
Obr. 13.: Obsah zinku v povodí řeky Moravice.



Obr. 14: Obsah zinku v povodí Černého potoka.



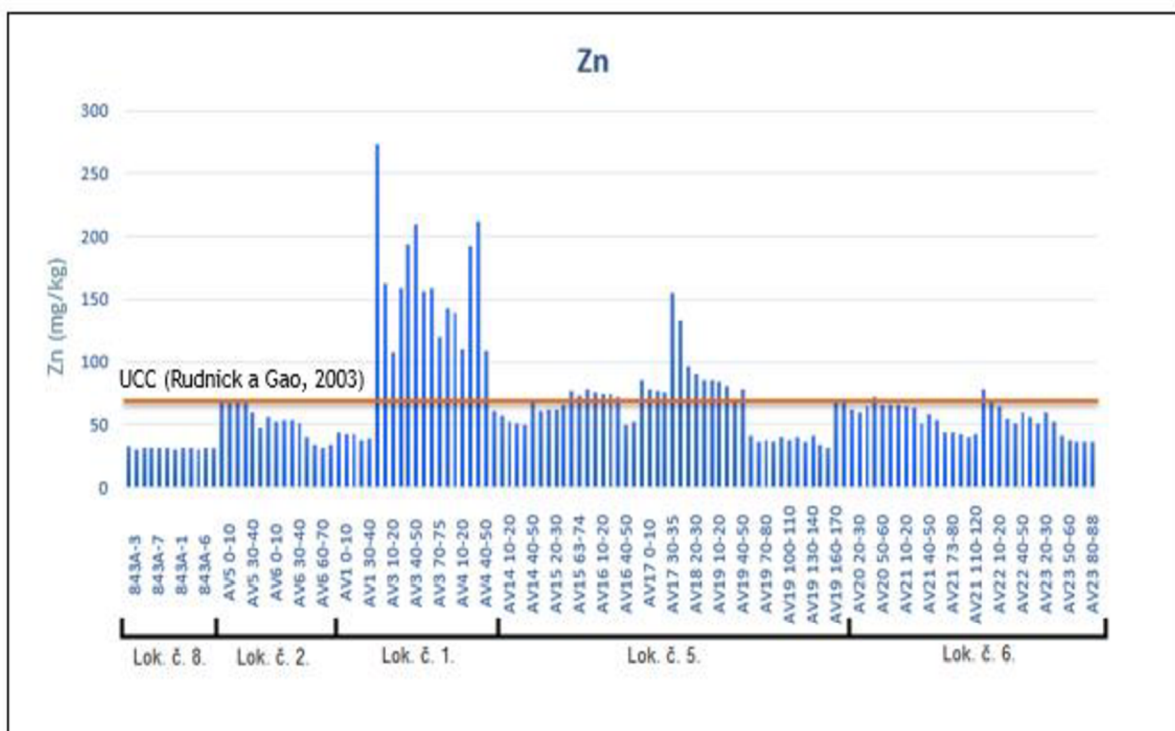
Obr. 15: Obsah zinku v povodí řeky Opavy.



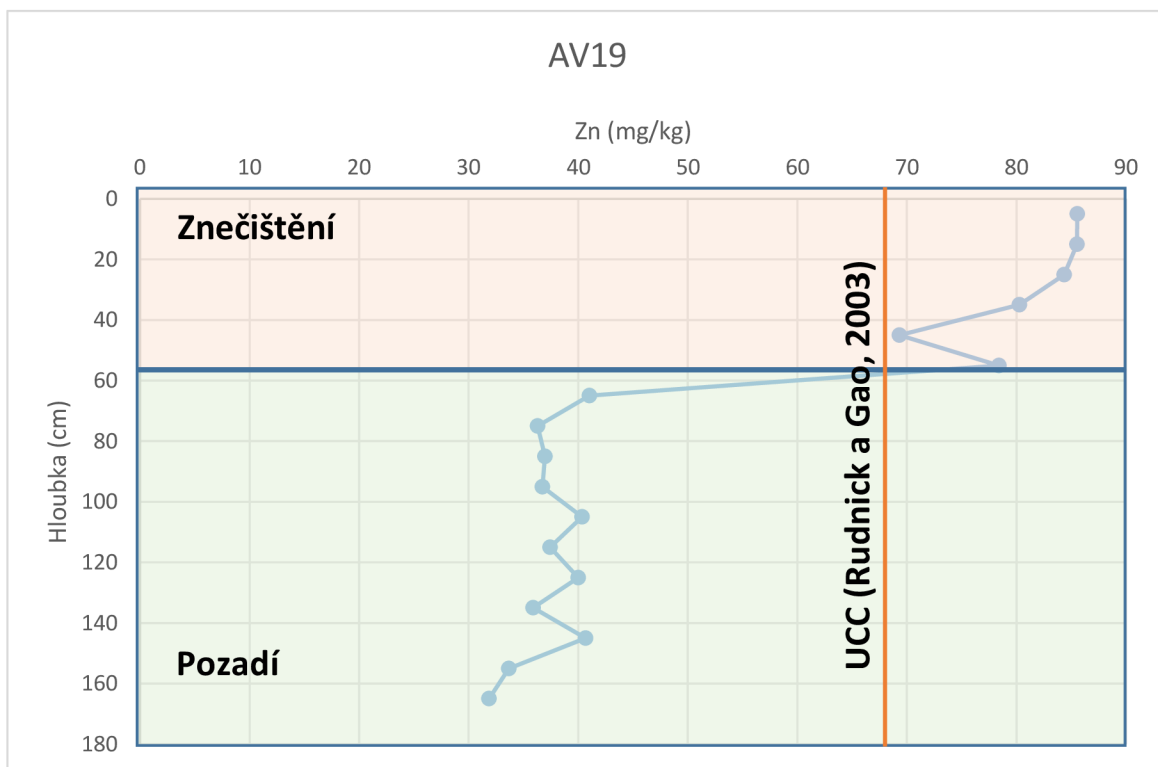
Obr. 16.: Obsah zinku v celém zájmovém území.

Znečištění Zn podél toku řeky Moravice znázorňuje sloupcový Obr. 17. Výsledky jsou porovnány s obsahem zinku v UCC (Rudnick a Gao 2003). Z obru je patrné znečištění v lokalitě č. 1 (Janovice) a lokalitě č.5. (Rýmařov).

Jako příklad zjevného znečištění sedimentu Zn je vertikální profil vrtu AV19 na Obr. 18. Ze sloupcového profilu je zřejmá kontaminace Zn od povrchu až do hloubky 60 cm. Znečištění daného profilu se pohybuje od cca 31 mg.kg⁻¹ do 85 mg.kg⁻¹. Naměřené hodnoty překročily 2násobek hodnoty UCC.



Obr. 17: Znečištění zinku podél toku řeky Moravice.



Obr. 18: Vertikální profil vrtu AV19 z povodí řeky Moravice.

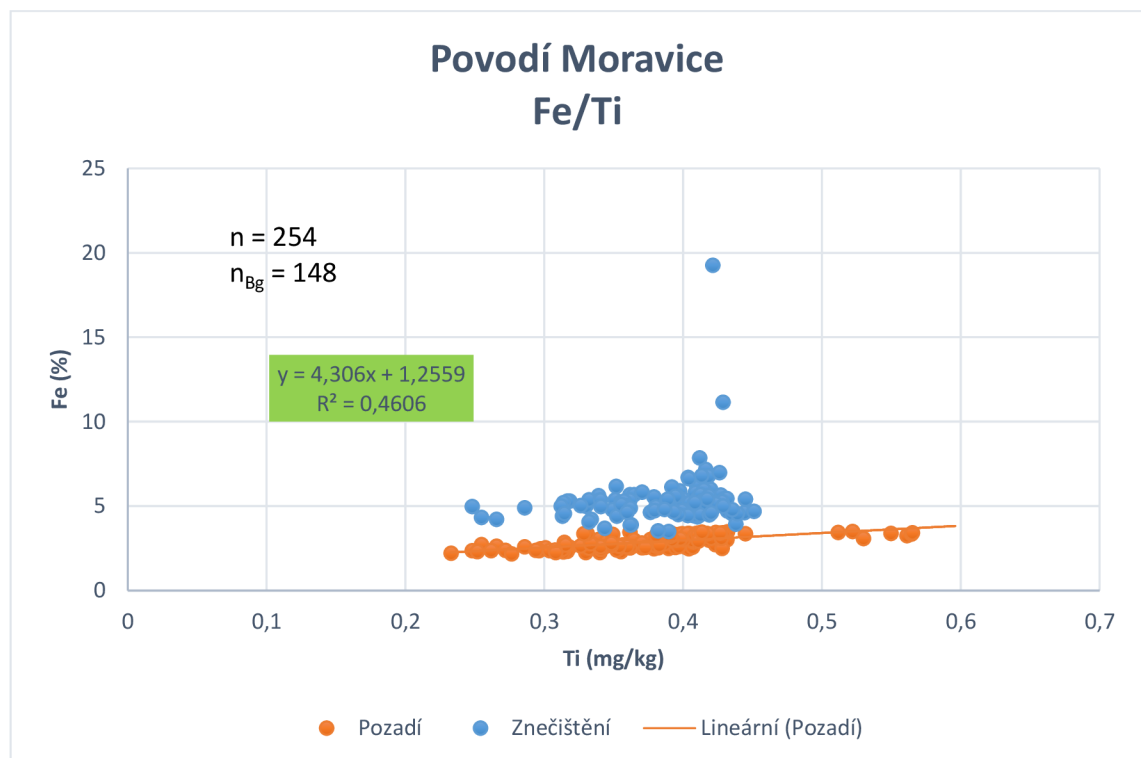
4.3 Stanovení koncentrace železa

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

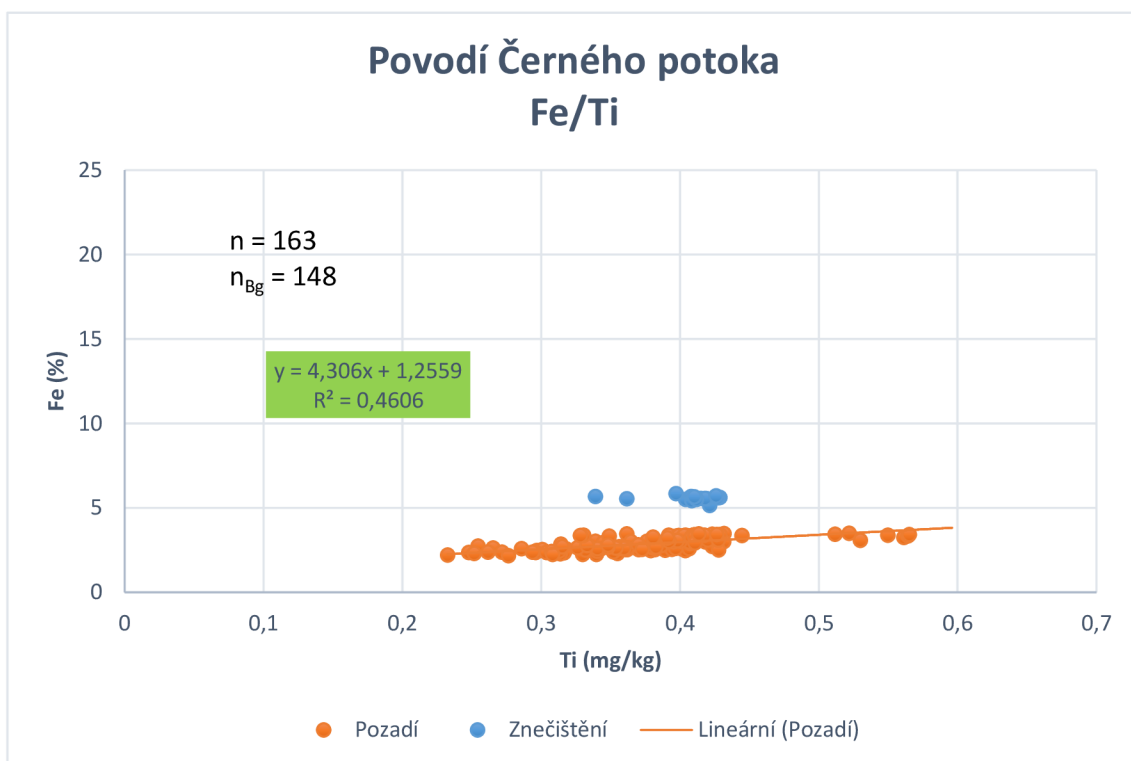
Obsah železa v půdě na povodí Černého potoka je znázorněn na Obr. 20. Zde se naměřené hodnoty Fe pohybují v rozmezí od 2 % do 5,8 %. Největší hodnota, která nabývá 2násobku pozad'ové hodnoty, je 5,86 % na lokalitě Zlatý potok (858a).

V povodí řeky Opavy je obsah Fe v půdě znázorněn na Obr. 21. Naměřené hodnoty Fe se pohybují od 3 % do 5,7 %. Hodnota LEF nabývá necelý 2násobek pozad'ové hodnoty (AV9, Opava, v hloubce 170–180 cm).

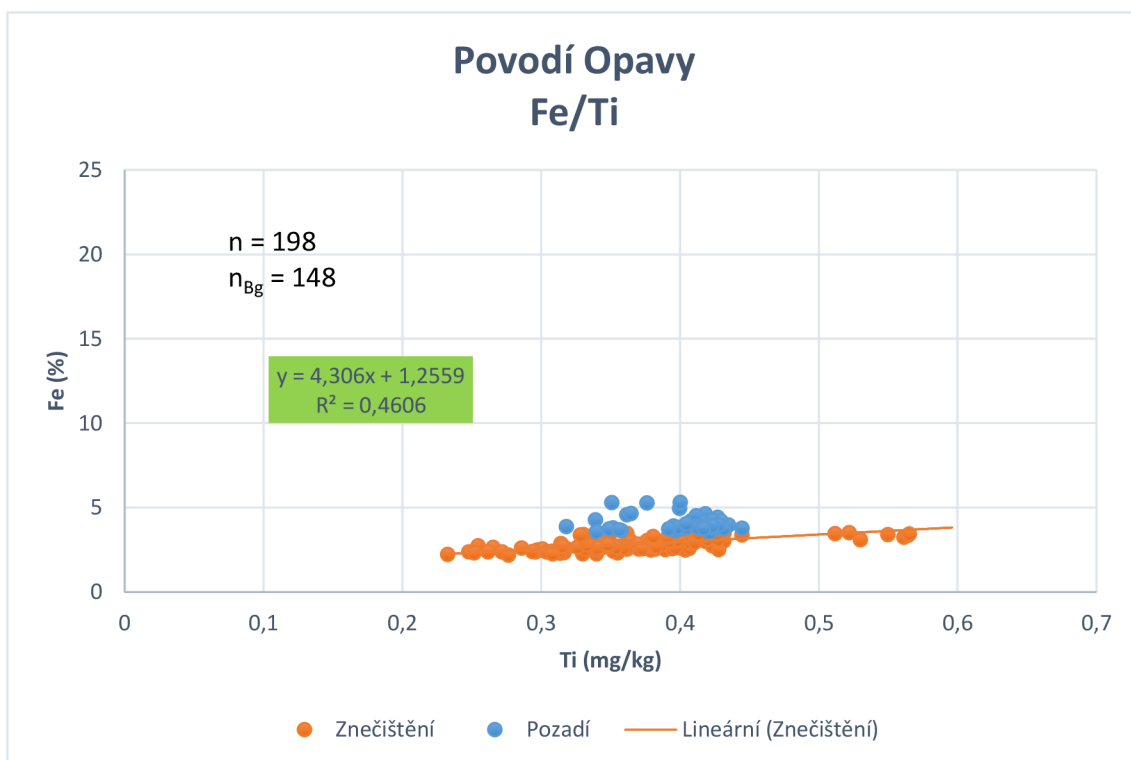
Obsah železa v půdě na celém zkoumaném území je vyjádřen na Obr. 22.



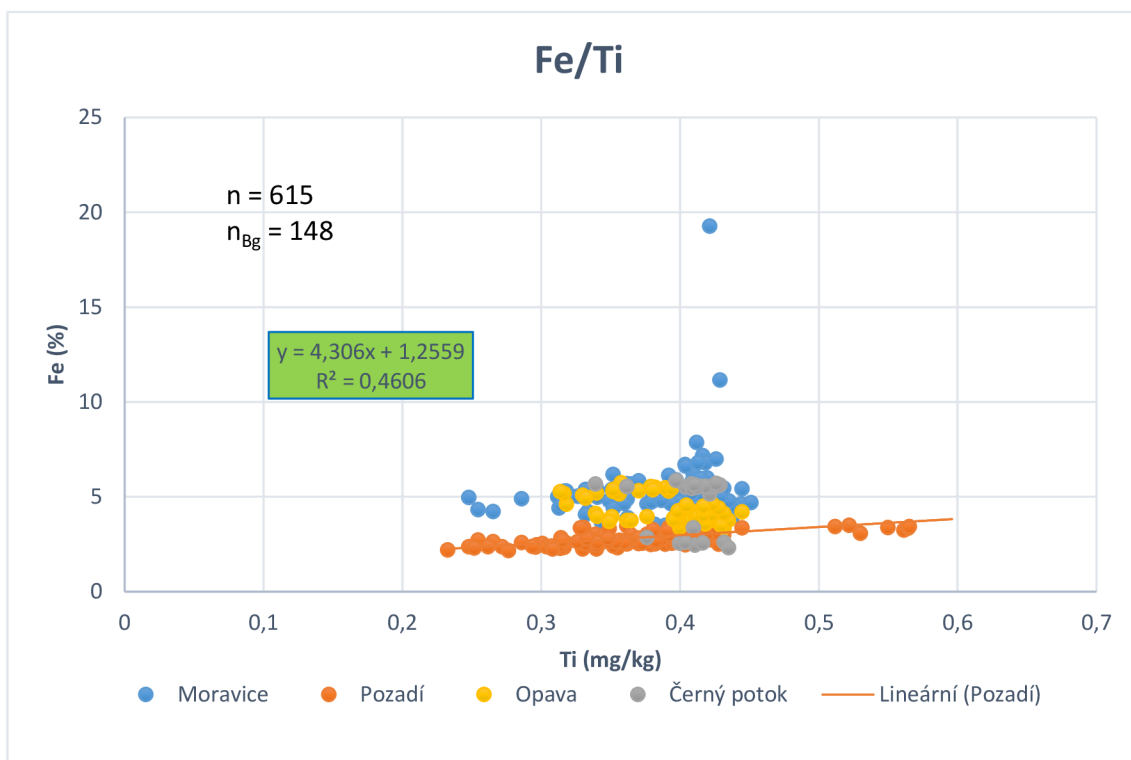
Obr. 19.: Obsah železa v povodí řeky Moravice.



Obr. 20.: Obsah železa v povodí Černého potoka.



Obr. 21.: Obsah železa v povodí řeky Opavy.



Obr. 22.: Obsah Fe na celém zkoumaném pozadí.

5 DISKUZE

Ke stanovení těžkých kovů v sedimentech řeky Opavy a jejích přítocích v oblasti Rýmařova a Bruntálu byla využita metoda RTG fluorescenční spektroskopie. Tato metoda vykazuje vyšší prvkové složení vzorků sedimentu olova, zinku a železa.

Těžké kovy pravděpodobně pochází z hydrotermálně sedimentárních železorných ložisek a žilných ložisek sulfidických rud ve vrbenské skupině a šternbersko-hornobenešovském pruhu. Jde o lokality Zlaté hory, Nová Ves, Ruda, Malá Morávka u Rýmařova a Horní Benešov u Bruntálu (Zimák, 2005).

Vysoké hodnoty těchto prvků nabývají u zdroje znečištění, naopak pokles hodnot roste se vzdáleností od zdroje, což je běžný jev popisovaný v literatuře (Miller, 2013). Toto tvrzení přirozeně neplatí absolutně, závisí na sklonu koryta a mísení znečištěného a čistého sedimentu. Může ovšem docházet i k nárůstu znečištění mimo zdroj, jako je tomu v případě Litavky. Zde byla nejvyšší koncentrace Pb naměřena ve vzdálenějších lokalitách od zdroje. Naopak na lokalitách nejbliže zdroji byly pouze středně znečištěné sedimenty (Faměra et al., 2018b).

Rozložení rizikových prvků v říčních sedimentech je často nerovnoměrné. Miller (2013) tento jev přisuzuje hydraulickému třídění unášeného materiálu. Především na zrnitosti a hustotě sedimentárního materiálu. Mezi další ovlivňující faktory se řadí například odstranění nebo uložení materiálu v korytě či nivě, geochemické procesy zahrnující oxidaci, srážení anebo sorpci.

Struktura těžkých kovů uložené především v nivách podél toku řek závisí na hloubce uložení sedimentu a vzdálenosti od koryta. Tento fenomén společně s nestejným rozložením lze opět ukázat na příkladu řeky Litavky (Faměra et al., 2018b).

6 ZÁVĚŘ

Na základě zpracovaných a vyhodnocených vzorků sedimentů z 23 vrtných jader a z 16 povrchových vzorků byla popsána kontaminace těžkých prvků v sedimentech řeky Opavy a jejích přítocích. Vzorky byly měřeny metodami RTG fluorescenční spektroskopie a magnetické susceptibility. Pomocí těchto metod byla zjištěna vyšší kontaminace především v povodí řeky Moravice. Největší hodnota olova nabývá až 38násobek požadované hodnoty UCC ve vrtu AV3 na lokalitě Janovice. Naměřená hodnota se nachází v hloubce 40 až 50 cm a má koncentraci 1070 mg.kg^{-1} . U zinku hodnota nabývá 7násobek požadované hodnoty UCC ve vrtu AV3 na lokalitě Janovice, v hloubce 0 až 10 cm a koncentrace ve vzorku je $272,69 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Největší naměřenou hodnotou obsahu železa je 19 %, opět ve vrtu AV3 na lokalitě Janovice, v hloubce 50 až 60 cm a hodnota je 6krát vyšší než UCC.

Vyšší obsah těžkých prvků pochází z lokálních ložisek hydrotermálně sedimentárních železorudných a žilných ložisek sulfidických rud. Kontaminace však klesá postupným vzdalováním od zdroje, což je spojené s mísením sedimentu okolními přítoky. Díky těmto faktorům je sediment v řece Moravici, která se vlévá do řeky Opavy, bez kontaminace a neovlivňuje tak velké znečištění řeky Odry v oblasti Bohumína.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- Balatka B., Kalvoda J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. – Kartografie Praha, Praha.
- 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. (1965): Geomorfologie českých zemí. - Československá akademie věd, Praha.
- 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.
- Dunlop D. J., Özdemir, Ö. (1997): Rock Magnetism. – Cambridge University Press, London.
- Faměra M., Matys Grygar T., Ciszewski D., Czajka A., Miguel Álvarez Vázquez M.Á, Hron K., Fačevicová K., Hýlová V., Tůmová Š., Světlík I., Zimová K., Dvořáková K., Szypuła B., Hošek M., (2021): Anthropogenic records in a fluvial depositional system: The Odra River along The Czech-Polish border. – Anthropocen, 34, 100286.
- 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.
- Hauk A. (2012): Za slávou horního města Hankštejna. - Repronis pro obec Horní Město, Horní Město.
- 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.
- Klouda P. (2003): Moderní analytické metody. - 2., upr. a dopl. vydání, Ostrava.
- 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.
- Pongráčová J., Pokorný R. (2021): Doklady herbivorních aktivit bezobratlých živočichů na lokalitě Kundratice – Jezuitská rokle v Českém středohoří – Geoscience Research Reports, 54, 1, 3–11.
- Rudnick R. L., Gao S. (2003): Composition of the Continental Crust. - Elsevier, pp. 1-64. 3, Oxford.
- Stárková M., Rapprich V. (2020): evidence of carboniferous volcanic activity in deposits of the petrovice member in czech part of the intra-sudetic basin near debrné. – Geoscience Research Reports, 53, 2, 97–102.

- Valečka J. (2020): Transgressive nearshore limestone of the korycany member (cenomanian) in the central part of the bohemian cretaceous basin and the discussion on the origin of the basin. – Geoscience Research Reports, 53, 2, 149–159.
- Večeřa J., Večeřová V., Fojt B. (2012): Montánní zajímavosti Jesenicka. - Česká geologická společnost, Praha.
- Vencálek J. (1998): Okres Bruntál. - Bruntál: okresní úřad, Bruntál.
- Zapletal J. (1983): Možnosti litostratigrafické korelace kulmu v severní části nízkého Jeseníku. - acta univ. Palackého Olomouc, Olomouc.
- Zimák J. (2005): Ložiska nerostných surovin. - Katedra geologie PřF UP, Olomouc.

Internetové zdroje:

www1: Doly a revíry. Zdař bůh.

Dostupné z: <https://www.zdarbuh.cz/dejiny-hornictvi/historie/historie-dolovani-v-andelskohorskem-rudnim-reviru-1/> (cit. 27. 6. 2020)

www2: Podolský potok. Povodí Odry.

Dostupné z: https://www.pod.cz/projekty/flora_a_fauna/vhpkr/datrekykr/podolsky_potok.html (cit. 14. 12. 2020)

www3: ArcGis.

Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/geomorfologickejednotky/mapserver?f=jsapi> (cit. 4.4.2021)

www4: Geologie. Správa CHKO Jeseníky.

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

www5: Geologie území. Rýmařovsko.

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

www6: Přírodní poměry. Rýmařovsko.

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

www7: Atlas vodních toků. Moravice.

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

www8: 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)

WWW9: Hloubení šachet. Rýmařov.

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

www10: Geologická encyklopedie. ČGS.

Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?sejp> (cit. 18. 2. 2021)