UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI PŘÍRODOVĚDECKÉ FAKULTA KATEDRA GEOLOGIE



# VZTAH MEZI VNITŘNÍ STAVBOU NIVY ŘEKY PLOUČNICE A JEJÍM ZNEČIŠTĚNÍM NA LOKALITĚ BOREČEK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

# ROSTISLAV ZAPLETAL

Obor: Environmentální geologie (B1201) Prezenční studium

Vedoucí práce: Mgr. Martin Faměra, Ph.D Konzultant: RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc.

OLOMOUC 2018

# Bibliografická identifikace

#### Jméno autora: Rostislav Zapletal

Název práce: Vztah mezi vnitřní stavbou nivy řeky Ploučnice a jejím znečištěním na lokalitě Boreček

Typ práce: Bakalářská

**Pracoviště:** Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geologie

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

Konzultant: RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc.

Rok obhajoby: 2018

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce se věnuje kontaminaci ve vnitřní stavbě nivy řeky Ploučnice. Vzhledem k historické těžbě a zpracování uranu v oblasti Stráže pod Ralskem v období 1969-1989 docházelo ke znečištění říčního systému řeky Ploučnice. Toto znečištění je zabudováno především v úseku, kde řeka téměř přirozeně meandruje v blízkosti osady Boreček. Jako zájmové prvky jsou zde brány U, Zn, Pb. Pomocí hloubkových profilů, terénní analýzy přenosným fluorescenčním spektrometrem (XRF) a ERT metody bylo umožněno popsat rozdíly ve znečištění v různých součástí říční nivy. Práce zjistila, že kombinace těchto metod je velice efektivní. Navíc se tyto metody vzájemně dobře doplňují a jsou vhodné pro další podobné práce tohoto typu.

Klíčová slova: elektrická odporová tomografie (ERT), kontaminace, uran, XRF,

Ploučnice

Počet stran: 41

Jazyk: čeština

#### **Bibliographical identification**

#### Author's first name and surname: Rostislav Zapletal

**Title:** Relation between internal structure of floodplain of the river Ploučnice and its pollutions at the location Boreček

Type of thesis: bachelor

**Institution:** Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: Mgr. Martin Faměra, Ph.D.

Consultant: RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc.

The year of presentation: 2018

**Abstract:** This bachelor thesis deals with contamination of the floodplain in the internal structure of the river Ploučnice. Due to the historical mining and processing of uranium in the area of Stráž pod Ralskem in the period 1969-1989, the river system of Ploučnice was polluted. This pollution is mainly built in a section where the river almost naturally meanders near the village of Borecek. The elements observed and studied include U, Zn, Pb. Through depth profiles and field analysis,using fluorescence spectrometer (XRF) and ERT method, it was possible to describe the differences in pollution in various floodplains of the river. The thesis found that the combination of these methods is very effective. In addition, these methods complement each other well and are suitable for other similar works of this type.

Keywords: electrical resistivity tomography (ERT), pollution, uranium, XRF,

the Ploučnice river

Number of pages: 41

Language: Czech

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a za použití citované literatury.

V Olomouci dne: 3. 1. 2018

podpis

Na tomto místě bych rád poděkoval hlavně svému vedoucímu Mgr. Martinu Faměrovi, Ph.D. za odborné vedení práce, ochotu, za cenné rady a za jeho pomoc v terénu. Dále bych rád poděkoval RNDr. Tomáši Matysu Grygarovi, CSc. za poskytnutí dat a pomoc v terénu. Také bych rád poděkoval Jiřímu Štojdlovi za poskytnutí digitálního modelu reliéfu.

# Obsah

1. Úvod	7
2. Geografická charakteristika studovaného území	8
2.1 Ploučnice	10
3. Geologie	11
3.1 Česká křídová pánev	11
3.2 Terciér	12
3.3 Kvartér	13
4. Historie těžby uranu	13
5. Fluviální uloženiny tekoucích vod	15
5.1. Fluviální sedimenty ukládané v říčním korytě	15
5.2. Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto	17
6. Těžké kovy	19
7. Metodika	20
7.1 Terénní etapa	20
7.1.1. Elektrická odporová tomografie (ERT)	20
7.1.2. Odběr vrtů z nivních sedimentů za pomocí žlábkového vrtáku	22
7.1.3. RTG fluorescenční spektrometr	22
8. Výsledky	23
8.1. ERT profily	23
8.2. Zrnitost a litologie	
8.2.1. Vrty z linie ERT profilu GPERT 15	
8.2.2. Vrty z linie ERT profilu GPERT 16	
8.2.3. Vrty z linie ERT profilu GPERT 17 a GPERT 18	
8.3. Kontaminace v nivní výplni	
8.3.1. Uran	
8.3.2. Zinek	
8.3.3. Olovo	
9. Diskuze a závěr	37
10. Použitá literatura	

# 1. Úvod

Studovaná oblast se nachází poblíž oblasti Stráže pod Ralskem, kde byla v letech 1969-1989 prováděna těžba a zpracování uranu, jež přispěla ke znečištění říčního systému Ploučnice.

Práce je rozdělena do tří částí. První část je rešeršní, která se zabývá geografickou charakteristikou studované oblasti, historií těžby uranu v Stráži pod Ralskem, fluviálními uloženinami tekoucích vod a obecnou charakteristikou těžkých kovů. Druhá část obsahuje terénní etapu, kde byly provedeny čtyři ERT profily, deset vrtných jader a terénní analýza přenosným RTG fluorescenčním spektrometrem (XRF). V poslední části byla vrtná jádra zpracována a sedimentologicky popsána. Dále byly provedeny analýzy a zpracování ERT profilů.

Cílem práce je zhodnotit získaná data a popsat rozdíly ve znečištění součástí říční nivy jako jsou agregační valy, povodňové plošiny, sedimenty jesepu a výplně koryt, a to jak na povrchu tak i pohřbené.

# 2. Geografická charakteristika studovaného území

Studovaná oblast se nachází v okrese Česká Lípa, v Libereckém kraji. Lokalita Boreček leží cca 3,5 km jižně od města Mimoň, mezi obcemi Boreček a Hradčany (obr. 1). V zájmové oblasti vytváří řeka Ploučnice přirozeně meandrující systém s rozlehlou nivou.



**Obr. 1** Lokalizace zájmového území – vyznačeno červeným kolečkem (ve výřezech černým puntíkem). (www.google.cz/maps a www.mapy.cz, upraveno)

Geomorfologicky náleží okres Česká Lípa ke třem geomorfologickým soustavám (subprovinciím): i) Česká tabule, ii) Krkonošsko-jesenická soustava a iii) Krušnohorská soustava (Demek a Mackovčin 2006). Lokalita Boreček se nachází v okrsku Českolipská kotlina, pro kterou je typický plochý reliéf říčních teras, údolních niv, strukturně denudačních plošin a ojedinělých neovulkanických suků. Lesní porosty jsou tvořeny borovými a smrkovými porosty s dubem a břízou. Místy převažují travní porosty, pole a zastavěné plochy. Podrobnější geomorfologické začlenění Českolipské kotliny je znázorněno na obr. 2.

Geomorfologické jednotky v okrese Česká Lípa					
PROVINCIE	SOUSTAVA	PODSOUSTAVA	CELEK	PODCELEK	OKRSEK
		Severočeská	Ralská pahorkatina	Dokeská pahorkatina	Polomené hory Jestřebská kotlina Provodínská pahork. Hradčanská pahork. Bezdězská kotlina
Česká vysočina	Česká tabule tabule vysočina			Zákupská pahorkatina	Cvikovská pahork. Českolipská kotlina Podještědská pahork. Strážská pahork. Kotelská vrchovina
			Jičínská pahork.	Turnovská pahork.	Českodobská pahork.
		Středočeská tab.	Jizerská tabule	Středojizerská tab.	Bělská tabule
	Krušnohorská soustava	Podkrušnohorská podsoustava	České středohoří	Verněřické středohoří	Benešovské středohoří Litoměřické středohoří
	Krkonošsko-	Krkonošská oblast	Lužické hory	Lužický hřbet	Jedlovský hřbet Hvozdský hřbet
	soustava			Kytlická hornatina	Kličská hornatina

**Obr. 2** Zařazení Českolipské kotliny v rámci geomorfologického členění České vysočiny (Demek a Mackovčin 2006, upraveno).

Rozlohou je okres Česká Lípa největším okresem v Libereckém kraji. Podíl zemědělské půdy činní 39,8%, podíl lesní půdy je okolo 47%. Lesní porosty jsou na severu převážně smrkové, kdežto na jihu převládají lesy borové. V oblasti se nachází 2 500 ha vodních ploch, včetně Máchova jezera, které slouží k rekreaci a chovu ryb. Hlavním tokem je řeka Ploučnice, protékající okresem od východu k západu. Nejvyšším bodem okresu je vrch Luž (793 m n. m.). V Zákupské pahorkatině, potažmo v celé České tabuli je nejvyšším bodem Ralsko (696 m n. m.). Významné místo v oblasti má

průmysl, který je zaměřen na produkci automobilových dílů a doplňků v České Lípě a Stráži pod Ralskem.

#### 2.1 Ploučnice

Ploučnice je pravostranným přítokem Labe s celkovou délkou toku 106,2 km a její plocha povodí zaujímá rozlohu 1,194 km<sup>2</sup> (Grygar et al. 2014). Pramení ve výšce 654 m n. m. na jihozápadním svahu Ještědu. Zajímavostí je, že řeka má nezvyklé sklonové poměry, podle kterých tok rozdělujeme na tři části. Horní, dolní a střední tok (obr. 3).



Obr. 3 Spádová křivka řeky Ploučnice (Kühn 1996, upraveno).

V horní části toku dosahuje sklon hodnoty až 33 ‰, ve střední části (od jihozápadního cípu Mimoně až po východní okraj České lípy) hodnota rapidně klesá až na 0,6 ‰ (studovaná oblast). Střední tok v oblasti Boreček a Hradčany je díky nízkému sklonu charakteristický několik set metrovou širokou údolní nivou (Kühn 1996, Majerová et al. 2013). V posledních desetiletích byla tato část velmi často zaplavována (1995, 1999, 2000, 2001, 2005, 2006, 2010, 2013), obvykle v délce několika hodin až jednoho dne. Výjimkou byl rok 2010, kdy záplavy trvaly 9 dní a na lokalitě Boreček

dosahoval průtok hodnoty 98 m<sup>3</sup>/s (průměrný průtok za normálního stavu vody je v Mimoni 2,30 m<sup>3</sup>/s). Srovnatelná situace nastala v letech 1897 a 1981 (Grygar et al. 2014, Majerová et al. 2013). V dolním toku opět narůstá sklon, jenž dosahuje hodnoty až 7 ‰.

#### 3. Geologie

Zájmová oblast se nachází v severní části České křídové pánve. Tvořena je převážně svrchnokřídovými sedimenty, terciérními vulkanity a různými kvartérními uloženinami (Kühn 1996).



Obr. 4 Geologická mapa zájmové oblasti (Majerová et al. 2013, upraveno).

# 3.1 Česká křídová pánev

Česká křídová pánev je největší dochovanou sedimentační pánví na území České republiky. Nachází se v severní části Českého masivu a její délka je 290 km (od okolí Drážďan až na severní Moravu) a o ploše asi 14 600 km<sup>2</sup> (Malkovský 1974). Nejprve docházelo k ukládání sladkovodních sedimentů, později od cenomanu do satonu to byly mořské písčité, jílovité a vápnité sedimenty.

Nejdůležitějším zlomem v zájmové oblasti České křídové pánve je středohorský zlom. Je povrchovým projevem litoměřického hlubinného zlomu a je tvořen soustavou zlomových pásem a dílčích zlomů, podle kterých poklesávají téměř vždy severněji

ležící kry. Jedná se o českolipské zlomové pole ležící na západě území (obr. 5), v jehož střední části postupuje význačný okřešický zlom a směrem k severovýchodu pásmo strážského zlomu (Kühn 1996).



**Obr. 5:** Geologická mapa stěžejních zlomů v zájmové oblasti České křídové pánve (Kühn 1996, upraveno).

#### 3.2 Terciér

Terciérní horniny jsou v zájmové oblasti zastoupeny výhradně neovulkanity (převážně bazaltoidy a ojediněle trachytoidy), sedimenty se zde nezachovaly. (obr. 6) V celé ploše území nalezneme projevy intenzivního vulkanismu, který souvisí s třetihorní tektonickou aktivitou (Kühn 1996). Výskyt intenzivního vulkanismu je podmíněn hlubinným dosahem litoměřického zlomu (Kopecký 1987).



Obr. 6 Geologická mapa terciérních hornin zájmového území (Kühn 1996, upraveno).

#### 3.3 Kvartér

V zájmové oblasti jsou kvartérní horniny zastoupeny fluviálními a proluviálními štěrky středního pleistocénu (mindelu) a deluviálními sedimenty. Holocénní sedimenty s obsahem organické hmoty vyplňují součastná údolí (Kühn 1996).

# 4. Historie těžby uranu

V 60. letech minulého století byla objevena ložiska v oblasti Hamr-Stráž. V roce 1963 se stala severočeská křídová oblast zájmovým územím pro těžbu a zpracování uranu, a to díky rozsáhlému leteckému geofyzikálnímu průzkumu, při kterém bylo zjištěno maximum magnetické anomálie. Strukturním vrtem HJ-J (Hamr na Jezeře-1) byly potvrzeny anomálie související se zrudněním. Následně byly navrtány několik dalších ověřovacích vrtů. (Slezák 2001). Na sklonku 60. let se v okolí Stráže pod Ralskem těžil uran dvěma dobývacími metodami: a) klasickou hlubinnou těžbou a b) chemickou těžbou - metodou chemického podzemního loužení in-situ (Ekert a Mužák 2010). Chemická těžba je metoda založená na principu loužení. Roztok kyseliny sírové je pří této metodě vtlačován do porézního prostředí vrtů, kde louží jednotlivé složky přítomného zrudnění. Kyselina sírová díky své agresivitě louží z horniny nejen uran ale i jiné prvky. Tento roztok se dále dostane až do chemické stanice, kde se potřebné složky oddělují a zbylý loužicí roztok je vháněn zpět do ložiska. Chemická těžba probíhala na ložiscích Stráž a zčásti i na ložisku Hamr až do roku 1996. V průběhu této doby se do horninového prostředí dostalo několik miliónů tun chemikálií (tab. 1). Chemickou cestou bylo získáno celkem cca 15 000 t uranu, hlubinnou těžbou přibližně 12 000 t uranu (Ekert a Mužák 2010, Slezák 2001).

Již v polovině 70. let 20. století bylo uváděno, že obě metody nemůžou fungovat současně v blízkém prostoru. Docházelo k jejich vzájemnému negativnímu ovlivňování, což vedlo k neustálé rostoucím zátěžím na životní prostředí, a na začátku 70. letech minulého století dokonce až k tektonické poruše a následnému zatopení dolu Hamr kyselými vodami. Tyto vody obsahovaly množství těžkých kovů, kyselin a radioizotopů (Kafka et al. 2003). Od počátku těžby docházelo v oblasti mezi Stráží pod Ralskem a Mimoní ke zvýšení hodnot <sup>226</sup>Ra, které pokračovaly až do roku 1989. (Hanslík et al. 2002). K výstavbě hydraulických bariér došlo až mezi lety 1977 do 1988 z důvodů zamezení úniku technologických roztoků. (Slezák 2001). V první fází těžby byla používaná odkaliště (až do roku 1989) posléze byla zprovozněna čistička. Podle neoficiálních zdrojů postihla Ploučnici v roce 1981 stoletá povodeň (Kühn 1996). Při ní patrně došlo k vyplavení odkaliště a následné distribuci kontaminantů dále do povodí. Chemická těžba uranu na ložisku Stráž pod Ralskem byla ukončena v roce 1996. Chemickou těžbou bylo ovlivněno cca 370 miliónů m<sup>3</sup> podzemních vod a do podzemí bylo vtlačeno více jak 4 milióny tun kyseliny sírové dalších chemikálií (Ekert a Mužák 2010).

$H_2SO_4$	4 100 000 t
HNO <sub>3</sub>	312 000 t
NH <sub>3</sub>	112 000 t
HF	26 000 t
HCL	1 500 t

**Tab. 1** Tabulka s objemy spotřebovaných chemikálií, které byly během těžby vtlačeny do podzemí (www.diamo.cz, upraveno).

#### 5. Fluviální uloženiny tekoucích vod

Fluviální sedimenty jsou uloženiny klastického materiálu, transportovaného a ukládaného vodními toky. Fluviální uloženiny jsou ukládány ve dvou prostředích: a) v korytě vodního toku a b) mimo říční koryto, na povrchu nivy. Důležitým faktorem jsou povodňové stavy, díky kterým vodní toky nejčastěji erodují, transportují a ukládají sedimenty a narůstá průtok i rychlost proudění vody (Růžičková et al. 2003).

Plochá část dna říčního údolí, která ohraničuje vodní tok a je během povodní zaplavována vodou, se označuje jako niva. V nivě se vytvářejí koryta za pomoci proudící vody toku. Ze sedimentologického hlediska jsou vodní toky rozdělovány do čtyř hlavních kategorií (obr. 7) : a) meandrující - ve středních a dolních úsecích s menším spádem, 4b) divočící - v horních úsecích řek s velkým spádem a častým překládáním koryt, c) přímé a d) anastomózní - větvící se toky (Perry a Taylor 2007).



Obr. 7 Základní typy vodních toků (Perry a Taylor 2007).

#### 5.1. Fluviální sedimenty ukládané v říčním korytě

Fluviální sedimenty ukládané v říčním korytě můžeme rozdělit na sedm skupin (Miall 1996).

 <u>Výplň říčního koryta</u> – hrubozrnné valounové až balvanové štěrky uložené v nejhlubší části koryta. Tvoří nesouvislé vrstvy o malé mocnosti a v nadloží těchto sedimentů se v říčním korytě ukládají štěrkové valy, které se mohou střídat s pískovými tělesy.

- <u>Štěrkové valy a tělesa</u> jsou charakteristické pro říční styl divočících toků s větším spádem a velkým objemem transportovaných sedimentů. Štěrk je transportován současně s pískem, kde valouny se vzájemně dotýkají a mezi nimi vznikají mezery, které bývají vyplněné pískem.
- <u>Písková tělesa</u> ukládají se na dně říčního koryta. Jsou většinou šikmo zvrstvená.
- 4) <u>Laminované písky</u> při vydatných povodních se mohou v říčním korytě usazovat v podmínkách svrchního proudového režimu horizontálně zvrstvené laminované písky. V závislosti na velikosti na velikosti a hloubce toku a intenzitě povodně mohou mít pískové vrstvy mocnost až 0,4-2.5 m.
- <u>Tělesa vznikající akrecí směrem po proudu</u> jsou tvořena soubory šikmo zvrstvených pískových poloh ukládaných v podmínkách spodního proudového režimu. Tyto tělesa se vytvoří v řekách, které transportují převážně písek.
- 6) <u>Sedimenty laterální akreace</u> na vnitřní straně oblouků meandrujícího toku vytváří laterální akreace sedimentární tělesa jesepů. Ideální vertikální profil sedimentů jesepu je zjemňující se sekvence což znamená, že sedimenty tohoto typu jsou tvořeny převážně pískem (mohou se v nich však vyskytovat klasty štěrkové frakce valouny až balvan, které byly při jarních povodních transportovány v ledových krách.
- 7) <u>Sedimenty gravitačních proudů</u> vznikají kombinací procesů fluviálních a gravitačních. Hmota gravitačních proudů se pohybuje ve formě úlomkotů, zrnotoků, bahnotoků a může se střídat s fluviálními štěrkovými a pískovými tělesy (Miall, 1996, Růžičková et al. 2003). Tyto základní jednotky fluviálních sedimentu jsou vyobrazeny na obr. 8.



Obr. 8 Základní architekturní jednotky fluviálních sedimentů (Růžičková et al., 2003)

# 5.2. Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto

Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto neboli nivní sedimenty vznikají u meandrujících vodních toků (obr. 9). Během povodní se na břehu vnitřní strany

meandrů ukládají uloženiny jesepů a na vnější straně meandrů se vytvářejí agradační valy, tvořeny převážně pískem. Vlivem další povodně může eroze vytvořit průrvu v agradačním valu, kterou voda teče dále do nivy. Uloženiny, které se při tom na povrchu nivy ukládají, označujeme jako povodňové sedimenty průrvy. Dále se během povodní ukládají sedimenty nivních jezer a v opuštěných ramenech vznikají uloženiny mrtvých ramen, jsou tvořeny hlavně jíly, prachem a v neposlední řadě humusem. V horských údolích je niva obvykle úzká a při zvýšeném stavu voda proudí značně rychle, že se ukládají pouze písky a drobnozrnný štěrk. Níže v suspenzi se jsou unášeny zejména jíl a prach, které jsou ukládány za překážkami či při poklesu rychlosti proudění. Zejména v prostorách širokých niv v nivních jezerech dochází k sedimentaci částic ze suspenze při doznívání povodně. Na vnitřní straně meandru se ukládají fluviální uloženiny, zatímco vnější břehy meandru jsou erodovány vodou proudící v říčním korytě. Tento děj způsobuje zvětšování meandrů. V důsledku změn velikosti meandrů dochází k postranní migraci říčního koryta v nivě. Výsledkem je komplikovaná stavba sedimentární výplně nivy s velkými postranními litofaciálními změnami (Růžičková et al., 2003).

Uloženiny obsahují všechny zrnitostní frakce, kde jsou hlavními složkami převážně jíl (35-60%) a prach (20-40%). Další významnou složkou jsou organické látky, které jsou středně či špatně vytříděné. Uloženiny s převahou prachu označujeme jako sedimenty nivních jezer. Jemnozrnné prachovité písky s jílem označujeme jako sedimenty agradačních valů nebo povodňové sedimenty průrvy (Růžičková et al., 2003).



Obr.9 Sedimentární tělesa vznikající v prostředí meandrujícího toku (Růžičková et al., 2003).

## 6. Těžké kovy

Přirozeně se těžké kovy vyskytují v životním prostředí ve velmi malých dávkách. Hlavním zdrojem vyšších koncentrací těžkých kovů je antropogenní činnost (tab. 2). Spalování fosilních paliv, průmyslová činnost (hutnictví) a zemědělství (účinné složky pesticidů, herbicidů a organických hnojiv), automobilová doprava a barviva. (Kafka a Punčochářová, 2002). Těžké kovy jsou neodbouratelné a většina z nich po překročení určité hranice koncentrace má toxické účinky na živé organismy (Macfarlane a Burchett, 2000). Horninové prostředí České republiky bylo těžkými kovy silně kontaminováno v důsledku rozsáhlé těžby rud a dalších nerostných surovin (Sejkora 2009).

Olovo (Pb)	chemický průmysl, akumulátory, úpravny rud, pigmenty do barev, hnojiva, plechy, trubky, kovové obaly).		
Měď (Cu)	slitiny, komunální odpad, elektrotechnický materiál, měděné dráty, chemický průmysl.		
Zinek (Zn)	galvanizace, slitiny, pigmenty do barev, zemědělství, komunální odpad.		
Kadmium (Cd)	pigmenty pro barvy a plasty, baterie, doprovodný kov v zinkových a olověných rudách, fosforečná hnojiva.		
Rtuť (Hg)	zpracování rud, herbicidy, elektrochemie, baterie, lékařství.		
Chróm (Cr)	chemický průmysl, zpracování kůže, výroba cementu, pokovování, pigmenty do barev, slitiny.		
Nikl (Ni)	úpravny rud, rafinerie, pokovování, kosmetické přípravky		

Tab. 2 Příklady některých	n těžkých kovů a	jejich zdroje kontaminace	(Kafka a Punčochářová)
---------------------------	------------------	---------------------------	------------------------

#### 7. Metodika

#### 7.1 Terénní etapa

V terénní etapě bylo provedeno měření elektrické odporové tomografie (ERT), dále bylo provedeno deset vrtů. Vrtná jádra byla ihned sedimentologicky popsána a následovalo provedení terénní analýzy přenosným RTG fluorescenčním spektrometrem (XRF).

#### 7.1.1. Elektrická odporová tomografie (ERT)

Elektrická odporová tomografie (ERT – electric resistivity tomography) je geofyzikální metoda, která byla poprvé použita v 90. letech minulého století. Tato metoda je založena na teoretických základech chování elektrických polí v odlišných prostředích. Měření je postaveno na výpočtu rozložení odporů pod zemským povrchem. Metoda ERT využívá stejnosměrného proudu, který je pouštěn mezi dvě elektrody (Drahor et al. 2006). Naměřená data jsou uváděna ve stylu "pseudosekcí", které představují rozsah odporů pod zemským povrchem. Výhodou ERT systémů patří přesné hloubkové a prostorové vymezení odporu materiálu ve zkoumaném prostředí a schopnost odhalit mělce pohřbená tělesa (Loeke 1999).

K měření metody ERT se v současnosti nejvíce využívá automatický geoelektrický systém ARES od firmy GF Instrument s.r.o., který byl využit i v této studii. ARES se skládá z hlavní měřící jednotky (obr. 10A), multielektrodového kabelu (obr. 10B), který je rozdělen na jednotlivé sekce – každá sekce obsahuje 8 nerezových elektrod (obr. 10C) s maximální roztečí 5 m.



**Obr. 10** Hlavní měřící jednotka (A), multielektrodový kabel (B), válečková elektroda (C) - (foto: Zapletal. R)

Naměřené hodnoty jsou zpracovány v programu RES2DINV ve 2D zobrazení. V rámci této práce byly změřeny celkem 4 ERT profily. Délka ERT profilů se pohybovala od 23,5 m do 83,5 m s konstantní vzdáleností elektrod 0,5 m. Pro měření bylo použito uspořádání elektrod (Schlumberger – obr. 11), které je vhodné pro podrobný průzkum mělčích struktur. Na obr. 12 můžeme vidět 4 naměřené ERT profily s jejich přesnou lokací.



Obr. 11 Uspořádání elektrod – typ Schlumberger (Loke 1999)



Obr. 12 Zájmové území s vyznačenými ERT profily a vrty (www.google.cz/maps, upraveno).

#### 7.1.2. Odběr vrtů z nivních sedimentů za pomocí žlábkového vrtáku

Odběr vrtných jader byl proveden pomocí žlábkového vrtáku (Eijkelkamp, Nizozemí) o průměru 3,5 cm. Délka vrtných jader závisela na hloubce štěrkového podloží, které se nacházelo v hloubce mezi 220 a 300 cm. Většina vrtů byla provedena ve stejné linii jako ERT profily (obr 12).

#### 7.1.3. RTG fluorescenční spektrometr

Analýza RTG fluorescenčním spektrometrem byla provedena přímo v terénu za pomoci ručního přístroje XRF Niton XL3t 950 GOLDD+ Thermo Scientific (obr 13). Analyzátor má rentgenovou trubičku 50 kV s Rh anodou a velkoplošným Peltier – chlazeným křemíkovým driftovým detektorem. (Grygar et al. 2016). Kvantitativní analýzu poskytl program – TestAllGeo. XRF analýza má několik výhod. Ukazuje rozložení znečištění a sedimentární litologii (pomocí poměru Al/Si). Dále také poskytuje obsah litogenních prvků pro geochemickou normalizaci. (Grygar et al. 2016).



Obr. 13 Ruční XRF přístroj při práci v terénu (foto: R. Zapletal).

# 8. Výsledky

Ve výsledcích jsou použity všechny mnou provedené ERT profily z lokality Boreček – GPERT 15, GPERT 16, GPERT 17 a GPERT 18). Dále všechny vrty kromě vrtu GP39, který nebyl v linii s žádným ERT profilem. Data z vrtů GP35, GP36 a GP37, které se nacházejí na linii ERT profilu GPERT 17, byly poskytnuty dr. Matys Grygarem.

### 8.1. ERT profily

Na lokalitě Boreček byly změřeny čtyři ERT profily: GPERT 15, GPERT 16, GPERT 17, GPERT 18 (tab. 3). Při interpretaci byl použit digitální model reliéfu (obr. 14), díky kterému můžeme určit jednotlivá sedimentární tělesa.

ERT profil	Délka profilu	Začátek profilu		Konec	profilu
GPERT 15	83,5 m	N 50° 37.875′	E 14° 42.607′	N 50° 37.835′	E 14° 42.581′
GPERT 16	59, 5 m	N 50° 37.849′	E 14° 42.613′	N 50° 37.820′	E 14° 42.600′
GPERT 17	35,5 m	N 50° 37.874′	E 14° 42.627′	N 50° 37.858′	E 14° 42.615′
GPERT 18	23,5 m	N 50° 37.831′	E 14° 42.605′	N 50° 37.831′	E 14° 42.625′

Tab. 3 GPS souřadnice a délka ERT profilů na lokalitě Boreček



Obr. 14 Vyznačení ERT profilů v digitálním modelu reliéfu (Model poskytnul J. Štojdl, upraveno).

Všechny provedené profily se nacházejí v aktivní nivě. Na třech profilech (GPERT 15, GPERT 16, GPERT 17) se nacházejí opuštěná koryta. V profilu GPERT 15 se nacházejí od 27. do 52 m a od 58. do 74 m. V profilu GPERT 16 od 28. až do 56 m a v profilu GPERT 17 od 25. do 35,5 m. V místech opuštěných koryt jsou hodnoty měrného odporu velice nízké, pohybují se od 20  $\Omega$ ·m do 76  $\Omega$ ·m. Na digitálním modelu

reliéfu (obr. 14) pozorujeme, že opuštěná koryta se nacházejí v nižší nadmořské výšce (266,7 – 266,9 m n m.). Na odporovém profilu GPERT 17 se od 1. do 12 m nachází agradační val. Z digitálního modelu reliéfu můžeme pozorovat, že nadmořská výška v místě agradačního valu je vyšší (267,4 – 267,6 m n m.) oproti zbytku profilu. Měrný odpor se v tomto místě pohybuje od 107  $\Omega$ ·m do 250  $\Omega$ ·m. V hloubce pod 2 m se na všech profilech měrný odpor zvyšuje a dosahuje hodnot až 1133  $\Omega$ ·m (obr. 15).



Obr. 15 Odporové profily s vyznačenými vrty a sedimentačními tělesy.

#### 8.2. Zrnitost a litologie

Pro ověření litologie v liniích ERT profilů bylo provedeno celkem 12 vrtů (tab. 4). Pro určení zrnitosti a litologie sedimentů říční nivy byl použit hmotnostní poměr Al/Si z EDXRF analýz. Hmotnostní poměr Al/Si je velice vhodnou metodou pro určení zrnitosti sedimentů, protože minerály jílové frakce jsou bohaté na Al, zatímco písčitá frakce obsahuje z velké části Si. S klesající velikostí částic roste poměr Al/Si.

VRT	ERT profil	Souřadnice		Vzdálenost od začátku profilu (m)	Hloubk a vrtu (cm)	Zdroj vrtu
GP42	GPERT 15	N 50° 37.870′	E 14° 42.601′	13	230	RZ
GP43	GPERT 15	N 50° 37.861′	E 14° 42.597′	34	260	RZ
GP44	GPERT 15	N 50° 37.851′	E 14° 42.590′	53	240	RZ
GP41	GPERT 15	N 50° 37.840′	E 14° 42.582′	73,5	270	RZ
GP40	GPERT 16	N 50° 37.847′	E 14° 42.615′	5,8	270	RZ
GP47	GPERT 16	N 50° 37.840′	E 14° 42.611′	15	220	RZ
GP45	GPERT 16	N 50° 37.835′	E 14° 42.608′	27	270	RZ
GP46	GPERT 16	N 50° 37.826′	E 14° 42.602′	45	240	RZ
GP36	GPERT 17	-	-	5	100	TMG
GP35	GPERT 17	-	-	14	100	TMG
GP37	GPERT 17	-	-	21,5	100	TMG
GP48	GPERT 18	N 50° 37.830′	E 14° 42.617′	13	270	RZ
RZ – Rostislav Zapletal, TMG – Tomáš Matys Grygar						

Tab. 4 Údaje o vrtech na lokalitě Boreček

#### 8.2.1. Vrty z linie ERT profilu GPERT 15

Vrt GP42 - Zrnitostní křivka poměru Al/Si směrem od nadloží až do metráže cca 170 cm má stabilní trend (Výjimkou je 45 cm, kde je mírné zvýšení a 90 cm, kde naopak je mírné snížení hodnot křivky). Poté křivka od 170 cm do 230 cm výrazně klesá. Z křivky grafu Al/Si lze vyvodit, že od nadloží po cca 170 cm se jedná

o povodňový sediment. Z odporového profilu GPERT 15 (obr. 15) lze vypozorovat, že hodnoty odporu (od 76  $\Omega$ ·m do 107  $\Omega$ ·m) od nadloží do cca 170 cm odpovídají jílům. Od cca 170 cm do 210 cm se jedná o prach až jemný písek. Od 210 cm po konec vrtu o písek a štěrk.

**Vrt GP43** - Ze zrnitostní křivky poměru Al/Si lze vyvodit, že se jedná o profil, který má jemnozrnnější sedimentární výplň. U odporového profilu GPERT 15 (obr. 15) se hodnoty odporu do cca 2 m pohybují od 39  $\Omega$ ·m do 76  $\Omega$ ·m, což by odpovídalo jílovité hlíně.

Vrt GP44 - Zrnitostní křivka poměru Al/Si má celkově klesající trend a z křivky lze vyčíst, že se jedná o jemnozrnnější sediment, kde dominuje do 100 cm jílová frakce. Od 100 cm se hodnoty odporu (cca 107  $\Omega \cdot m$ ) zvedají a jedná se pravděpodobně o jemně zrnitý písek. Kolem 2 m se hodnota odporu opět navyšuje (do cca 150  $\Omega \cdot m$ ), což značí, že se jedná o hrubý písek až jemnozrnný štěrk. To potvrzuje i popis v terénním deníku (tab. 5).

**Vrt GP41** - Ze zrnitostní křivky lze vyčíst, že se jedná hlavně o výplň odpovídající povodňovým hlínám (0 – 220 cm). V terénním zápise je uvedeno, že v hloubce 40-100 cm se nachází písek, což potvrzuje i vyšší hodnota odporu (cca 107  $\Omega \cdot m$  až 150  $\Omega \cdot m$ ) u odporového profilu GPERT 15 (obr. 15). Poté se hodnoty odporu lehce snižují, což by odpovídalo jemnějšímu sedimentu. Zhruba okolo 250 cm se hodnoty zvyšují a jedná se hrubší zrnitý písek – to souhlasí, jak s terénním deníkem, tak i se zrnitostní křivkou.



**Obr. 16** Hloubkové profily Al/Si ve vrtech na GPERT 15. Vrty jsou řazeny od začátku ERT profilu k jeho konci.

#### 8.2.2. Vrty z linie ERT profilu GPERT 16

**Vrt GP40** - Zrnitostní křivka poměru Al/Si má do hloubky 75 cm stabilní trend. Poté klesá a od zhruba 90 cm po 215 cm má opět stabilní trend. Následně nepatrně vzroste a na 260 cm prudce klesne. Podle terénního deníku se nachází do 85 cm povodňový sediment a následuje jemný písek, posléze hrubší písek. To by odpovídalo odporovým hodnotám na ERT profilu GPERT 16 (obr. 15), které od nadloží po zhruba 1 m ukazují hodnotu 76  $\Omega$ ·m až 107  $\Omega$ ·m. Následuje zvýšení odporových hodnot od 107  $\Omega$ ·m do 150  $\Omega$ ·m (což by odpovídalo prachu až jemnému písku). Kolem 2 m se odporové hodnoty zvedají na 150  $\Omega$ ·m až 210  $\Omega$ ·m a odpovídají tak hrubšímu písku.

Vrt GP47 - Zrnitostní křivku poměru Al/Si lze rozdělit na 4 dílčí části. Od nadloží do 70 cm hodnoty poměru Al/Si mají stabilní trend. Následuje pozvolné klesání od 70 – 140 cm. V metráži od 140 cm po 175 cm křivka lehce stoupá a poté následuje prudké klesaní na 190 cm. Z poměru Al/Si, odporových hodnot z profilu GPERT 16

(obr. 15) a popisku v terénním deníku lze vyvodit, že od nadloží po 70 cm se jedná o povodňový sediment, od 70 cm do 140 cm se vyskytuje prach až jemný písek a v hloubce okolo 2 m se jedná o písek.

Vrt GP45 - Zrnitostní křivka Al/Si lze rozdělit na 4 části. V prvním úseku má křivka stabilní trend do hloubky cca 55 cm. Ve druhém úseku křivka klesá v hloubce od cca 70 až 90 cm. Ve třetím úseku křivka prudce stoupá a její maximum je v metráži 168 cm. V posledním úseku (180-210 cm) křivka opět klesá. Z hmotnostního poměru Al/Si a z terénního deníku je patrné že do hloubky cca 50 m se vyskytuje povodňový sediment. Poté následuje přechod do písčitého prostředí, což potvrzují o odporové hodnoty (107  $\Omega \cdot m$  do 150  $\Omega \cdot m$ ) z profilu GPERT 16 (obr. 15). Dle křivky Al/Si i odporových hodnot v hloubce cca 160 cm se jedná opět o povodňový sediment. V posledním úseku hodnoty odpovídají hrubému písku až štěrkopísku.

**Vrt GP46** - Zrnitostní křivka Al/Si má obecně klesající tendenci. V hloubce cca 80 cm křivka prudce klesá a drží si konstantní průběh až do hloubky cca 168 cm, následuje lehké stoupání na 190 cm a poté opět křivka klesá v hloubce 220cm. Podle odporových hodnot z ERT profilu GPERT 16 (obr. 15), které jsou velmi nízké (20  $\Omega \cdot m$  do 39  $\Omega \cdot m$ ) a terénního deníku se v hloubce do cca 90 cm jedná o jílový sediment. V další pasáží se pravděpodobně jedná o prach až jemnozrnný sediment písku. V poslední fázi okolo 240 cm se nachází hrubší písek až štěrkopísek.



**Obr. 17** Hloubkové profily Al/Si ve vrtech na GPERT 16. Vrty jsou řazeny od začátku ERT profilu k jeho konci.

#### 8.2.3. Vrty z linie ERT profilu GPERT 17 a GPERT 18

**Vrt GP36** - Zrnitostní křivka poměru Al/Si má stabilní trend. Z odporových hodnot (obr. 18) lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o prachový až pískový sediment.

Vrt GP35 - Zrnitostí křivka má stabilní trend do cca 63 cm, pak nepatrně stoupá a drží si konstantní hodnoty až do konce vrtu. Dle křivky i odporových hodnot z ERT profilu 17 (obr. 15) lze říct, že se jedná o jemnozrnnější výplň, kterou zastupují především povodňové hlíny.

Vrt GP37 - Zrnitostní křivka poměru Al/Si má poměrně stabilní trend až na poslední fázi, kde v hloubce 80 cm křivka klesá. Podle křivky a odporu hodnot se jedná o jemnozrnnější sediment, pravděpodobně o povodňové hlíny.

Vrt GP48 - Ze zrnitostní křivky poměru Al/Si, lze odvodit, že se jedná o variabilní sedimentární výplň. Do hloubky 70 cm se jedná o povodňové hlíny, což

potvrzují i nižší odporové hodnoty (obr. 15). Od 70 – 150 cm se jedná pravděpodobně o prachovitý a jemně pískový sediment. Od 150 cm se křivka rapidně zvedá až na maximum ve 170 cm. V této oblasti se jedná o ostře oddělenou vrstvu prachovitého sedimentu. Následně křivka prudce klesá a od 180 cm má stabilnější trend, v této fázi se vyskytuje hrubý písek



**Obr. 18** Hloubkové profily Al/Si ve vrtech na GPERT 17. Vrty jsou řazeny od začátku ERT profilu k jeho konci.

Vrt GP42 –	kompakce 12 cm (GPERT 15)	240-270 cm	Černé organikou bohaté sedimenty	
12k-60k cm	Hnědá hlína	Vrt GP47 – kompakce 23 cm (GPERT 16)		
60k-75k cm	Jílovitý sediment	do 60k cm	Hnědý povodňový sediment	
100-190 cm	Jemně písčitý sediment	80 cm	Šedý písek	
190-200 cm	Jemný písek	Do 180 cm	Písčitý prach	
nad 200 cm	Hrubý písek a jemnozrnný štěrk, ostrohranné úlomky křemene	182 cm	Jemný laminovaný písek s organickou příměsí	
Vrt GP4	3 – kompakce 26 cm (GPERT 15)	Nad 2 m	Hrubší písek	
do 50k cm	Hnědá hlína	Vrt GP4	5 – kompakce 18 cm (GPERT 16)	
50k-90k cm	Oranžovo-šedivý sediment	do 75k cm	Hnědý povodňový sediment	
100-185 cm	Plastický šedivý sediment	75k-85k cm	Výskyt mnoha bročků	
185-200 cm	Jemně až středně zrnitý písek	85k-100k cm	Šedý jemný písek s oranž. šmouhami	
200-230 cm	Plastický šedivý sediment	100-162 cm	Jemně písčitý sediment (oranžovo-šedivá strakace)	
230-260 cm	Jemně až středně zrnitý písek	162-173 cm	Gradace do hrubě zrnitého písku	
Vrt GP4	4 – kompakce 12 cm (GPERT 15)	173-190 cm	Hrubý písek	
do 50k cm	Hnědá hlína	190-200 cm	Jemnozrnný písek s laminaci jílu/prachu – tm. hnědý	
50k-100k cm	Plastický jílovitý sediment	200-270 cm	Hrubý písek až štěrk	
100-120 cm	Jemně písčitý sediment (hnědá barva)	Vrt GP46 – kompakce 0 (GPERT 16)		
120-180 cm	Středně zrnitý písek (šedá barva)	0-26 cm	Hnědá hlína, místo bohaté na organický detrit	
180-200 cm	Hrubý písek	26-44 cm	Šedý jíl s oranžovými fleky	
220-240 cm	Hrubý písek až jemnozrnný štěrk, ostrohranné úlomky křemene	2 44-95 cm Šedý jíl (60-65 cm – oranžové bročk		
Vrt GP4	1 – kompakce 12cm (GPERT 15)	95-142 cm Šedý jemný písčitý sediment		
do 40k cm	Hnědá hlína	142-152 cm	Tmavý šedý písčitý prach	
40k-80k cm	Písek	152-167 cm	Laminy – střídání sv. šedého písku s tm. šedým písčitým prachem	
80-100k cm	Hrubý písek (šedá barva)	167-200 cm	Tmavě hnědošedý sediment s organikou, (jemný písek)	
100-200 cm	Šedý sediment – plastický až písčitý, výrazné	200-240 cm	Štěrk	
220-250 cm	Sediment bohatý organikou (písčitý)	Vat CD48 kompakas 12 am (CDEDT 18)		
250-270 cm	Hrubě zrnitý písek	0-45k cm Hnědá hlína		
270cm	Jílovitý sediment	90k cm	Začíná písčitý prachovitý sediment, směrem	
Vrt GP4	0 – kompakce 20 cm (GPERT 16)	dolů hrubší 165-183 cm Prachovitý sediment v ostře oddělené vrst		
do 85k cm	Hnědý povodňový sediment	190- 230 cm	Hrubý písek	
85k-100k cm	Jemný písek	230-233cm	Organický detrit	
100-200 cm	Stále jemný nísek	233- ? cm	Jemný sediment	
200-240 cm	Černé organikou bohaté sedimenty	270 cm	Štěrk	

#### 8.3. Kontaminace v nivní výplni

V této části výsledků bude vyhodnocena kontaminace uranu, zinku a olova v ppm (normalizace Fe). Měření se provádělo ve všech hloubkových úrovních v liniích s ERT profily.

#### 8.3.1. Uran

Kontaminace U se vyskytuje ve všech (12) zkoumaných vrtech, které se nacházejí v linii s ERT profily. Na obr. 19 můžeme vidět, že znečištění U sahá maximálně do hloubky 100 cm (Ve vrtu GP42 do 102cm.). Ve vrtech na ERT profilech GPERT 15 a GPERT 16 se nejvíce U nachází v hloubce od 15 do 55 cm (výjimkou je vrt GP40 – 75 cm). Nejvyšší naměřené hodnoty U/Fe se nacházejí ve vrtech GP43 (hloubka 36 cm, hodnota 203 ppm) a GP46 (hloubka 18 cm, hodnota 136 ppm). Na ERT profilu GPERT 17 se ve vrtech zkoumalo znečištění U jen do hloubky 1 m. V těchto vrtech je kontaminace stabilní a hodnoty U/Fe nepřesáhli hodnotu 50 ppm. Nejvyšší hodnota byla naměřena ve vrtu GP37, kde v hloubce 73 cm hodnota U/Fe dosahuje 40 ppm. Ve vrtu GP48 na linii ERT profilu GPERT 18 sahá kontaminace U do hloubky 64 cm, kde je i nejvyšší hodnota U/Fe – 44 ppm.

#### 8.3.2. Zinek

Kontaminace Zn se vyskytuje ve všech (12) zkoumaných vrtech, které se nacházejí v linii s ERT profily. Znečištění Zn sahá ve většině případů do hloubky 200 cm. Ve vrtech GP43, GP40 a GP46 se kontaminace nachází i v hloubce pod 2 m. Na obr. 20 můžeme vidět, že ve všech vrtech se nejvyšší hodnoty Zn/Fe nacházejí do hloubky 50 cm. Poté hodnoty pomalu klesají, ale v některých vrtech dochází v hloubce 200 až 240 cm k mírnému stoupání. Nejvyšší kontaminace Zn byla naměřena ve vrtu GP46, kde se hodnoty 3x dostali za hranici 200 ppm (v hloubce 8 cm se hodnota vyšplhala dokonce na 341 ppm).



Obr. 19 Graf kontaminace U ve vrtech na lokalitě Boreček (Hloubka vrtu v cm, hodnoty U/Fe, U v ppm).



Obr. 20 Graf kontaminace Zn ve vrtech na lokalitě Boreček (Hloubka vrtu v cm, hodnoty Zn/Fe v ppm).



Obr. 21 Graf Kontaminace Pb ve vrtech na lokalitě Boreček (Hloubka vrtu v cm, hodnoty Pb/Fe v ppm).

#### 8.3.3. Olovo

Kontaminace Pb se ve vrtech ERT profilu GPERT 15 vyskytuje do hloubky 160 cm (obr. 21). Nejvyšší hodnoty Pb/Fe se vyskytují do hloubky 50 cm. Hodnoty se pohybují mezi 10 – 36 ppm. Ve vrtech ERT profilu GPERT 16 se kontaminace nachází pouze do hloubky 80 cm. Nejvíce Pb se nachází v hloubce od 3 do 60 cm. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve vrtu GP46 v hloubce 28 cm (40 ppm). Ve vrtech ERT profilu GPERT 17 se hodnoty Pb/Fe pohybují okolo 15 – 26 ppm a ve vrtu GP48, který se nachází na ERT profilu GPERT18 se nejvyšší hodnoty Pb/Fe vyskytují v hloubce 14 – 64 cm. Nejvyšší naměřená hodnota byla v hloubce 24 cm (28 ppm).

#### 9. Diskuze a závěr

Mezi prvními, kdo se zabýval kontaminací nivních sedimentů řeky Ploučnice byl Mgr. J. Kühn, Dr ve své disertační práci (1996). V posledních letech se této problematice enormně věnuje RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc., který se svým týmem vydal několik odborných článků. Dále se tomuto tématu věnovali studenti ve svých bakalářských potažmo diplomových prací (Hošek 2015, Tipanová 2016, Šulc 2017).

V praktické části této bakalářské práci byla použita kombinace metod ERT a XRF analýzy vrtných jader z nivy řeky Ploučnice. Tato vzájemná kombinace se ukázala jako velice účelná, jelikož dodala rozsáhlé informace o vnitřní stavbě nivy řeky Ploučnice. Metoda ERT byla využita z toho důvodu, že dokáže rozpoznat hranice litologických jednotek. Z ERT profilů je pak zřejmé, že v nivní výplni se nachází především jíl, silt, písek a štěrkopísek. Nejnižší odporové hodnoty vykazují jíly, které se nacházejí v nejsvrchnějších částech měřených profilů. Směrem hlouběji do podloží narůstají odporové hodnoty, jenž odpovídají siltům, pískům a následně přecházejí do štěrkopísků až štěrků. Vrty byly provedeny přímo v liniích s ERT profily, proto aby se informace vzájemně doplňovali. V praxi nám pomohl také ruční XRF přístroj, který jsme si vypůjčili od RNDr. Tomáše Matyse Grygara, CSc. Práce s tímto přístrojem nám ušetřila spoustu času, jelikož jsme díky němu byli schopni zpracovávat data přímo v terénu. Další výhodou XRF analýzy bylo rozpoznání sedimentárních facií pomocí poměru Al/Si a díky samotné hmatatelné hmotě z jádra (terénní deník). Dalším velkým pomocníkem byla mapka digitálního modelu reliéfu, kterou poskytnul J. Štojdl a podle které jsme mohli určit sedimentární tělesa s daleko větší přesností.

Z hloubkových analýz jsme zjistili, že nejvyšší hodnoty kontaminace (U, Zn, Pb) se vyskytují ve vrtech GP43 a GP46. Je tomu tak z důvodu, protože se oba vrty nacházejí v opuštěných korytech (obr. 16). Sedimenty jsou zde jemnozrnnější, měrný odpor v těchto místech je velice nízký a odpovídá jílovému materiálu. To potvrzuje nejen poměr Al/Si, ale i poznámky z terénního deníku. Naopak ve vrtu GP36, který se nachází v místě agradačního valu (obr. 16 – GPERT 17) jsou hodnoty znečištění daleko nižší (především U) a sediment je zde hrubozrnnější. Celkově se kontaminace U ukládá především v jemnějším sedimentu a maximálně do hloubky 1 m. Kontaminace Zn a Pb se naopak vyskytuje i ve větší hloubce a v některých případech i v hrubozrnnějším sedimentu. Shrnutím všech hodnot lze však říci, že kontaminace se vyskytuje hlavně v blízkosti nadloží, kde jsou sedimenty jemnozrnnější.

#### 10. Použitá literatura

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2011): Geologická minulost České republiky. – Academia, Praha.

Demek J., Mackovčin P. (2006): Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. - Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno.

Drahor M.G., Göktürkler G., Berge M.A., Kurtulmu T.O. (2006): Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from Turkey. – Environmental Geology, 50, 147-155.

Ekert V., Mužák J. (2010): Mining and remediation at the Straz pod Ralskem uranium deposit. – GeoScience Engineering, 3, 1-6.

Hanslík E., Mansfeld A., Justýn J., Moucha V., Šimonek P. (2002): Vliv těžby uranových rud na vývoj kontaminace hydrosféry Ploučnice v období 1966-2000. – Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha.

Kafka Z., Punčochářová J. (2002): Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. Chemické listy 96, str. 611-617.

Kopecký L. (1987): Mladá vulkanismus Českého masivu, část 1 a 2., Geologie a hydrometalurgie uranu, - Výzkumný a vývojový ústav, Stráž pod Ralskem.

Kühn J. (1996): Distribuce uranu a vybraných těžkých kovů v sedimentech údolní nivy Ploučnice. – MS, disertační práce, Přírodovědecká fakulta Karlovy univerzity, Praha.

Loke, M. H. (1999): Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Tutorial.

MacFarlane G.R., Burchett M.D. (2000): Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove Avicennia marina (Forsk.). Vierh. Aquat. Bot. 68, 45–59.

Majerová L., Matys Grygar T., Elznicová J., Strnad L. (2013): The differentiation between point and diffuse industrial pollution of the Ploučnice river, Czech republic. – Water Air and Soil Pollution, 224, 1-20, Verlag.

Matys Grygar T., Elznicová J., Bábek O., Hošek M., Engel Z., Kiss T. (2014): Obtaining isochrones from pollution signals in a fluvial sediment record: A case study in a uranium-polluted floodplain of the Ploučnice river, Czech Republic. – Applied Geochemistry, 48, 1-15.

Matys Grygar T., Elznicová J., Tůmová Š., Faměra M., Balogh M., Kiss T. (2016): Floodplain architecture of an actively meandering river (the Ploučnice River, the Czech Republic) as revealed by the distribution of pollution and electrical resistivity tomography, Czech republic. – Geomorphology, 254, 41-56.

Malkovský M. (1974): Geologie české křídové pánve a jejího podloží. – Academia, Praha.

Miall A. D. (1996): The geology of fluvial deposite sedimentary facies, basin analyses and petroleum geology – Springer, Verlag.

Perry Ch., Taylor K. (2007): Environmental Sedimentology. – Blackwell Publishing, Oxford.

Růžičková E., Růžička M., Zeman A., Kadlec J. (2003): Kvartérní klastické sediment České republiky: struktury a textury hlavních genetických typů. – Česká geologická služba, Praha.

Sejkora J., Šťastný M., Litochleb J., Šreinová B., Šrein V., Sýkorová I. (2009): Natural and anthropogenic contamination and their evidence in geologicalhistory. - Acta Research Reports, Praha.

Slezák, J. (2001): Historie těžby uranu v oblasti Stráže pod Ralskem v severočeské křídě a hydrogeologie. - Sborník Geologických věd, Hydrogeologie inženýrská geologie 21, pp. 5-36. Praha.