

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE

**Popis vnitřní stavby nivy Ohře na lokalitě Písty pomocí měření
elektrického odporu a vodivosti metodami ERT a DEMP**

bakalářská práce

Milan Sekanina

Environmentální geologie (B1201)

prezenční studium

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

červen 2017

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Milan Sekanina

Název práce: Popis vnitřní stavby nivy Ohře na lokalitě Písty pomocí měření elektrického odporu a vodivosti metodami ERT a DEMP

Typ práce: Bakalářská

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

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

Rok obhajoby práce: 2017

Abstrakt:

Práce se zabývá využitím metod elektrické odporové tomografie (ERT) a dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) při výzkumu architektury říční nivy řeky Ohře. Průzkum probíhal na lokalitě Pístecký les u obce Písty. Metoda ERT měří zdánlivý elektrický odpor a metoda DEMP zdánlivou elektrickou vodivost geologického podloží. Výsledky těchto geofyzikálních metod jsou vzájemně inverzní hodnoty, a proto jsou dobře porovnatelné. Pro ověření litologie sedimentárních těles byly žlábkovým vrtákem zhotoveny zarážené sondy. Sondy byly laboratorně analyzovány metodami rentgenové fluorescenční spektrometrie a laserové granulometrie.

Klíčová slova: Ohře, říční niva, fluviální sedimenty, říční koryta, jesešní valy, elektrická odporová tomografie (ERT), dipólové elektromagnetické profilování (DEMP), EDXRF, laserová granulometrie

Počet stran: 45

Počet příloh: 6

Jazyk: Čeština

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Milan Sekanina

Title: Description of an internal structure of the Ohře river floodplain at the locality Písty by measuring electrical resistivity and conductivity using electrical resistivity tomography (ERT) and dipole electromagnetic profilig (DEMP).

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: 2017

Abstract:

The thesis is focused on the application of electrical resistivity tomography (ERT) and dipole electromagnetic profilig (DEMP) in research of floodplain architecture of the Ohře river. The research took place at the locality Pístecký forest nearby village Písty. The ERT method measures apparent electrical resistivity and the DEMF measures apparent electrical conductivity of geological subsurface. The results of these geophysical methods are mutually inverse and therefore well comparable. For the purpose of verification of lithological properties we used manual groove corer. The sediment samples were analysed using EDXRF and laser granulometry.

Keywords: Ohře, fluvial sediments, river channels, point bar, elektrical resistivity tomography (ERT), dipole electromagnetic profilig (DEMP), EDXRF, laser granulometry

Number of pages: 45

Number of appendices: 6

Language: Czech

Prohlášení

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

V Olomouci 28. dubna 2017

.....

Milan Sekanina

Poděkování

Děkuji Mgr. Martinu Faměrovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a za poskytnutí informací k tématu a metodám. Dále chci poděkovat RNDr. Tomáši Matysu Grygarovi, Ph.D. za poskytnutí informací k tématu, výsledků EDXRF analýz a pomoc při měření v terénu. Za provedení EDXRF analýz děkuji Monice Maříkové a Petru Vormovi. Dále chci poděkovat Ing. Jitce Elznicové, Ph.D. za poskytnutí digitálního modelu terénu a mapových podkladů a Jiřímu Štojdlovi za zpracování dat naměřených metodou DEMP. Také děkuji Mgr. Michalu Hoškovi, Barboře Zavřelové a Lucii Dostálové za pomoc při práci v terénu.

Obsah

1.	ÚVOD	7
2.	GEOGRAFICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ.....	8
2.1.	Geomorfologie a hydrogeologie povodí Ohře.....	8
2.2.	Geologie povodí Ohře	8
2.3.	Souhrnná charakteristika lokality Písty	11
3.	GEOFYZIKA	12
3.1.	Elektrické vlastnosti hornin	12
3.2.	Geoelektrické metody	14
4.	MORFOLOGIE ŘÍČNÍ NIVY	19
4.1.	Říční niva.....	19
4.2.	Říční terasa.....	19
4.3.	Fluviální uloženiny.....	20
4.4.	Anastomóza	21
4.5.	Říční meandry	22
4.6.	Mrtvá ramena (fluviální jezera)	22
5.	METODIKA	24
5.1.	Automatický geoelektrický systém ARES	24
5.2.	Vícerozsahový elektromagnetický měřič vodivosti CMD-4	24
5.3.	Odběr vzorků sedimentů	25
5.4.	Laboratorní zpracování geofyzikálních měření a odebraných vzorků	26
6.	VÝSLEDKY	28
6.1.	ERT.....	28
6.2.	DEMP	33
6.3.	Zrnitost a litologie	34
7.	DISKUSE	38
8.	ZÁVĚR	41
9.	POUŽITÁ LITERATURA.....	42

1. ÚVOD

V povodí řeky Ohře docházelo v minulosti k těžbě a zpracování polymetalických rud. Pro pochopení a popis rozložení kontaminace v říční nivě je potřebná znalost její vnitřní stavby. Na lokalitě Písty je z digitálního modelu terénu a historických map patrné několik generací zazemněných koryt.

Bakalářská práce se zabývá popisem architektury říční nivy řeky Ohře na lokalitě Pístecký les u obce Písty. Hlavním cílem práce je mapování zazemněných říčních koryt. Terénní část průzkumu byla provedena metodou multi-elektrodového profilování (ERT) a metodou dipólového elektromagnetického profilování (DEMP). V terénu bylo dále provedeno 6 odběrů půdních sond pomocí žlábkového vrtáku. Vrty byly zhotoveny na profilech ERT, aby bylo možné porovnat výsledky měření a litologii. Vzorke sedimentů byly dále laboratorně analyzovány. Jako laboratorní metody byly zvoleny analýzy EDXRF a laserová granulometrie.

2. GEOGRAFICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

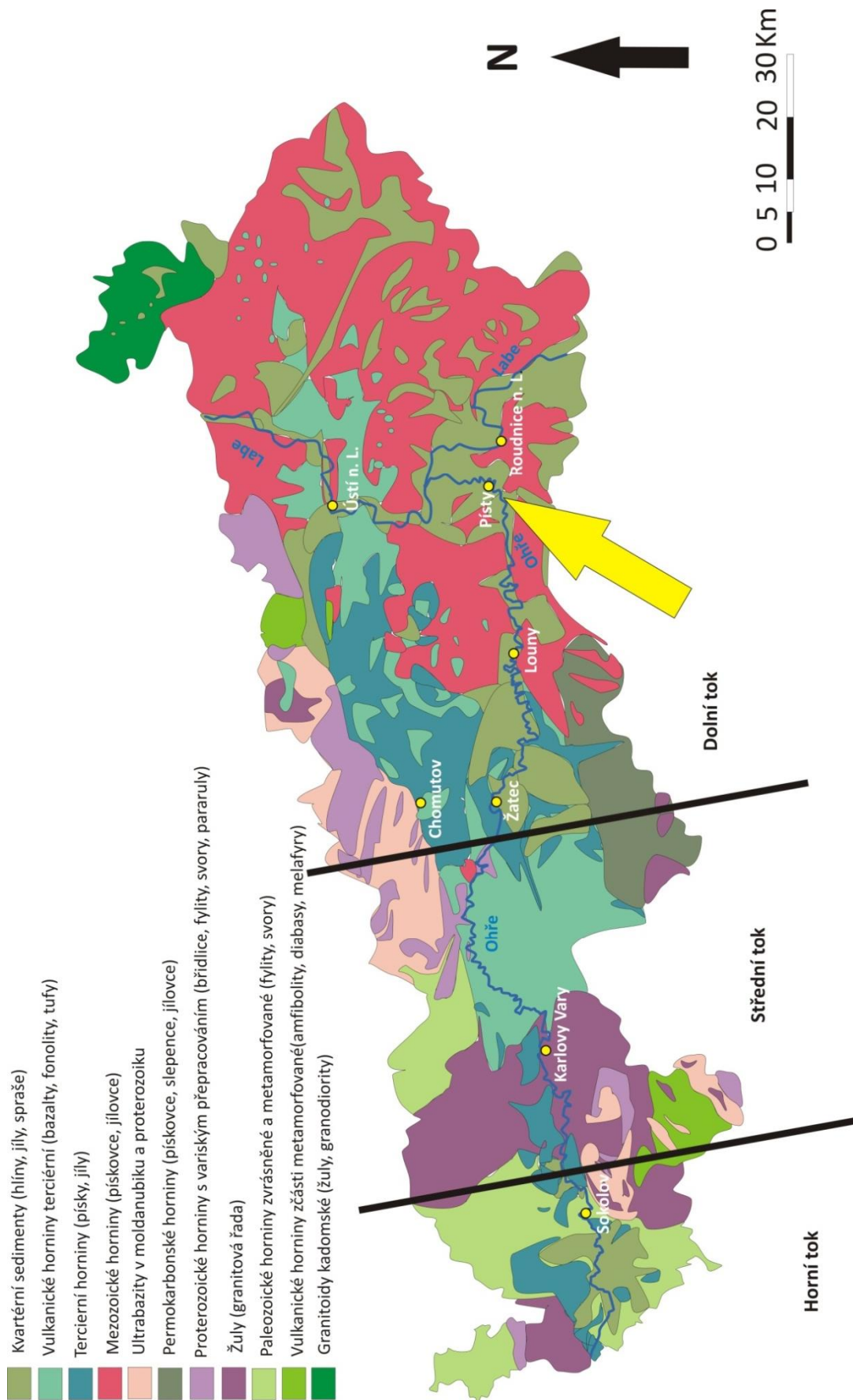
2.1. Geomorfologie a hydrogeologie povodí Ohře

Ohře pramení v německém severním Bavorsku v nadmořské výšce 752 metrů nad mořem. Její úplná délka, po soutok s Labem, činí 316 km a povodí má rozlohu 5606 km². Na území České republiky činí délka řeky 247 km a plocha povodí 4601 km². Říční niva má podél toku Ohře proměnlivou šířku. V některých místech prakticky chybí (např. mezi městy Sokolov a Karlovy Vary), ale někde přesahuje šířku i 1 km. Povodí horního toku Ohře a jejích přítoků Reslavy a Odavy na území Německa je charakteristické převážně kopcovitým terénem. Ohře má na horním toku na území ČR, mezi Chebem a Sokolovem, sklon 4 ‰. Říční niva je zde široká, s výskytem mrtvých ramen a částečně zazemněných ramen. Na středním toku, mezi Loktem a Nechranickou nádrží, je údolí řeky úzké (přibližně 100-200 m) a říční niva prakticky chybí. Sklon středního toku činí 7,8 ‰. Významnými přítoky jsou Rolava, Bystřice a Teplá. Dále po proudu je Ohře lemována svahy Doupovských hor (Matys Grygar a kol., 2016a). Dolní tok Ohře začíná u Nechranické vodní nádrže a končí na soutoku Ohře s Labem. Říční niva je zde mnohem širší a rozmanitější. Také je charakteristická přítomností říčních teras, ve kterých se nachází pozůstatky paleomeandrů. Dolní tok má sklon 0,7 ‰ (Matys Grygar a kol., 2016a) a protéká jihozápadní částí Terezínské kotliny, tzv. Oharské nivy (Demek a kol., 2006). Podle porovnání s historickými mapami a ortofotomapami se v některých místech za posledních 150 let laterálně přesunulo koryto řeky v pásu, který je široký přibližně 100 metrů. Na nejspodnějším toku lze vzácněji pozorovat přítomnost anastomózních ramen, častěji mrtvých ramen a téměř zaplněných historických ramen (Matys Grygar a kol., 2016a).

2.2. Geologie povodí Ohře

Charakteristickými horninami na horním toku jsou horniny granitoidní např. granity, granodiority, diority (Matys Grygar a kol., 2016a), dále metamorfované a nemetamorfované sedimenty, např. ruly, migmatity, svory eklogity a břidlice (Konopásek a kol., 2001 in Cháb a kol., 2008). Mezi Chebem a Sokolovem protéká Ohře pánvemi kenozoického stáří, tvořenými převážně siliciklastickými fluvialními jíly

a písky (Matys Grygar a kol., 2016a). Nejnižší výplň tvoří říční jíly, písky a štěrky, které se někdy nazývají spodní jílovito-písčité souvrství. Nejvyšší část miocenní výplně chebské pánve tvoří až 200 metrů mocný sled jílu a bitumenních jílovců a v západní části pánve se nachází hnědouhelná sloj. Sokolovská pánev je vyplněna kaolinickými písky a jíly, dále prokřemenělými pískovci až křemenci a místy slepenci (Chlupáč a kol., 2011). Na středním toku Ohře, je důležitým přítokem řeka Rolava, jejíž povodí je tvořeno paleozoickými granitoidy (Blecha a Štemprok, 2012). Dále po proudu protéká Ohře oblastí Doupovských hor, které jsou tvořeny třetihorními sopečnými materiály (Demek a kol., 2006), konkrétněji mafickými vulkanity, zejména bazalty a tufy. Geologické podloží povodí dolního toku je tvořeno paleozoickými, mezozoickými a kenozoickými siliciklastickými sedimenty. Říční údolí jsou pokryta kvartérními sedimenty (Grygar a kol., 2016a).



Obr. 1 Geologická mapa české části povodí řeky Ohře

2.3. Souhrnná charakteristika lokality Písty

Studované území se nachází u obce Písty (okres Litoměřice) v přírodní rezervaci Pístecký les. Obec Písty je částí města Budyně nad Ohří (www1). Říční niva je na lokalitě asi dva kilometry široká a proměnlivá a na jejím okraji je patrný erozní zbytek terasy. Niva je protkána četnými zazemněnými rameny (Obr. 9), dále se zde vyskytují mrtvá ramena a téměř zaplněná historická ramena. Tato ramena poukazují na značnou dynamiku říčního systému v období holocénu (Matys Grygar et al. 2016a). Podle informací dostupných na stránkách České geologické služby, je údolí řeky tvořeno kvarténními sedimenty, které mají mocnost v rozmezí 3,5-7 metrů. Tyto sedimenty leží na slínech křídového stáří. Na strmých úbočích údolí vystupují také křídové prachovce, slíny a vápence, které jsou překryty kvarténními sprašemi, písky a štěrky



Obr. 2 Ortofotomapa lokality Písty (www2)

3. GEOFYZIKA

3.1. Elektrické vlastnosti hornin

Elektrické vlastnosti hornin jsou určeny třemi parametry: elektrickým odporem, permitivitou (dielektrickou konstantou) a polarizovatelností (elektrochemickou aktivitou). Nejzákladnějším geoelektrickým parametrem, který se uplatňuje ve většině geoelektrických metod, se nazývá měrný elektrický odpor (Ohm, Ω). Převrácená hodnota odporu se nazývá elektrická vodivost (Siemens, Sm)(Gruntorád, 1993; Lowrie, 2007).

Odpor je definován Ohmovým zákonem, který kvantitativně určuje, jakou mírou materiál zdržuje elektrický proud (1):

$$U = I \times R \quad (1)$$

kde **U** je napětí (**V**), **I** je proud (**A**) a **R** je odpor (**Ω**)

Pro vyjádření zdánlivého odporu se používá veličina měrný odpor, kterou lze vyjádřit rovnicí (2):

$$\rho = R / l \quad (2)$$

kde **ρ** je měrný odpor (**Ω / m**), **R** je odpor (**Ω**) a **l** je délka (**m**) (Witten, 2006).

Měrný elektrický odpor hornin je závislý na řadě vlastností. Nízký měrný odpor má velký počet rudních minerálů, např. galenit, hematit, chalkopyrit, magnetit, markazit, molybdenit, pyrit a pyrhotin. Vysoký odpor mají naopak hlavní horninotvorné minerály, např. křemen, živce, muskovit, které se v elektrickém poli chovají jako izolanty a jejich měrný odpor přesahuje 10^{10} až $10^{15} \Omega/m$. Z tohoto důvodu je u většiny hornin odpor tuhé fáze o 6-8 řádů vyšší než odpor roztoků zaplňujících póry horniny. Elektrický odpor hornin je tedy ovlivněn především koncentrací solí v pórech, pórovitostí, nasycením vodou a v neposlední řadě také strukturou horniny (Gruntorád, 1993) a teplotou. Obecně lze říct, že odpor klesá se stoupající teplotou (Musset a Khan, 2000).

Tab. 1 Tabulka měrných odporů, upraveno z Musset a Khan (2000)

Horniny	Měrný odpor (Ω / m)
<i>Sedimenty</i>	
křída	50-150
Jíl	1-100
štěrk	100-5000
vápenec	50-10 ⁷
slín	1-100
kvarcit	10-10 ⁸
jílovitá břidlice	10-1000
písek	500-5000
pískovec	10-10 ⁸
<i>Vyvřelé a metamorfované</i>	
bazalt	10-10 ⁷
gabro	1000-10 ⁶
granit	100-10 ⁸
mramor	100-10 ⁸
břidlice	100-10 ⁷

Dalšími parametry ovlivňujícími elektrické vlastnosti hornin jsou permitivita (dielektrická konstanta, ϵ) a polarizovatelnost (η). Permitivita je bezrozměrnou veličinou, která vyjadřuje schopnost prostředí zesilovat nebo zeslabovat elektrické pole (Gruntorád, 1993). Nabývá hodnot v rozmezí 3-80. (Lowrie, 2007). Polarizovatelnost je definována podílem potenciálního rozdílu vyzvané polarizace a potenciálního rozdílu procházejícího proudu (Gruntorád, 1993).

Tab. 2 Příklady hodnot permitivity (ϵ), upraveno podle Lowrie, 2007

Vzduch	1,00059
Slída	3
Sklo	5
Pískovec	5–12
Granit	3–19
Voda	80

3.2. Geoelektrické metody

Geoelektrické metody jsou charakteristické tím, že využívají velký počet technik, z nichž mnohé mají řadu modifikací. Ty mohou přispět k řešení širokého okruhu geologických problémů (Mareš, 1990). Zjednodušeně můžeme geoelektrické metody rozdělit do tří základních skupin: a) Metody odporové (stejnoseměrné), b) elektrochemické a c) elektromagnetické. Spolu s dalšími fyzikálními parametry jsou geoelektrické vlastnosti využívány v aplikované i obecné geofyzice. Komerčně jsou využívány k hledání ložisek nerostných surovin, která mohou být lokalizována díky svým anomálním elektrickým vodivostem. Hlubkové elektrické průzkumy poskytují hodnotné informace o struktuře zemské kůry a pláště. Tyto výzkumy zahrnují odporové a elektromagnetické metody. Významnými fyzikálními vlastnostmi hornin pro tento druh průzkumu jsou permitivita (georadar, GPR) a odpor nebo vodivost (elektrická odporová tomografie, ERT; dipólové elektromagnetické profilování, DEMP). Mezi ložiska nerostných surovin a matečnou horninou jsou často značné kontrasty v odporech, protože odpory různých hornin a minerálů se značně liší. V rudách kovů mohou být odpory velmi nízké, naopak vyvřelé horniny mohou mít odpory velmi vysoké, protože neobsahují vodu (Lowrie, 2007).

Odporové metody

Odporové (stejnoseměrné) metody jsou založeny na měření potenciálového rozdílu (Musset a Khan, 2000) využitím modifikovaného Ohmova zákona, kde se počítá zdánlivý měrný odpor podle vztahu (3):

$$\rho = k \times \Delta U / I \quad (3),$$

kde **k** je konstanta uspořádání, **ΔU** napětí mezi měřicími elektrodami a **I** je proud.

Mezi potenčními elektrodami MN se měří napětí ΔU (mV) a proud **I** (mA) je zaváděn do země pomocí proudových elektrod AB. Konstanta **k**, je závislá na uspořádání elektrod (Gruntorád, 1993). Zdánlivý měrný odpor není přesnou interpretací rozložení odporu v podloží, protože v reálných situacích je odpor určen různými litologiemi a geologickými strukturami, a tak může být velmi nehomogenní. Tato složitost není při měření metodou se čtyřmi elektrodami brána v potaz, protože předpokládá, že podloží je uniformní. Odporové metody lze rozdělit na: a) odporové profilování, b) vertikální sondování (Gruntorád, 1993) a c) poměrně novou zobrazovací techniku ERT (Sharma, 1997).

Odporovými metodami můžeme sledovat rozhraní krystalických a sedimentárních hornin apod. Tam, kde můžeme diferenciaci hornin předpokládat v horizontálním směru, aplikujeme odporové profilování. Pokud dochází k maximálním změnám odporu ve vertikálním směru, používáme vertikálního elektrického sondování (VES) (Mareš, 1990).

Odporové profilování je nejrozšířenější stejnosměrnou geoelektrickou metodou. Při terénním měření se zavádí proudovými elektrodami A a B do země proud I (Obr. 3), mezi měřicími elektrodami M a N pak měříme potenciálový rozdíl ΔV . Uplatňuje se při mapování kontaktů hornin s odlišným odporem (Mareš, 1990). VES se využívá, když se podloží přibližně podobá sérii horizontálně uložených vrstev, z nichž každá má specifický, ale uniformní odpor (Musset a Khan, 2000). Hloubkový dosah měření je funkcí vzdáleností proudových elektrod a nejčastěji se měří ve Schlumbergerově uspořádání elektrod (Mareš, 1990).

Multielektrodové odporové profilování (ERT)

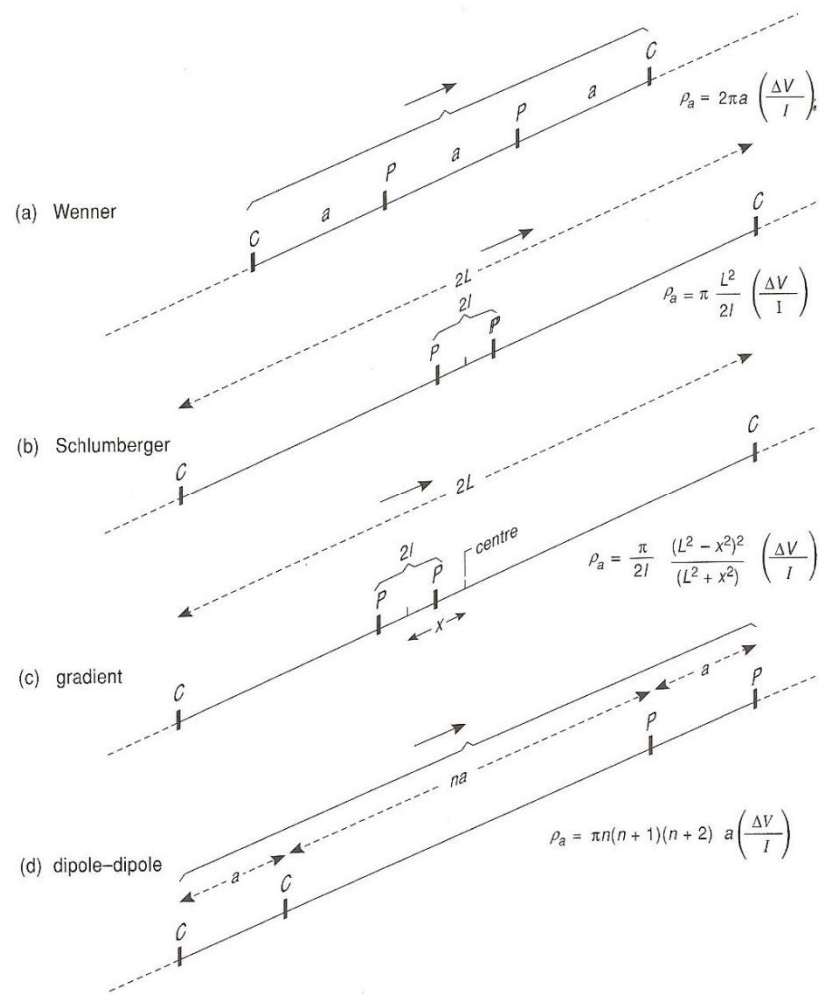
ERT je geofyzikální zobrazovací technika, která využívá množství elektrod ve vrtech nebo na povrchu, aby zobrazila rozložení odporu v podloží (Sharma, 1997). Odporová tomografie se vztahuje na elektrické potenciály měřené mezi páry elektrod ke zjištění rozložení odporu na měřeném profilu. Je při ní rovnoměrně rozmístěna celá řada elektrod. Pro dvojrozměrné profilování se používá lineární rozmístění elektrod. Při měření jsou analyzovány různé kombinace proudových a potenciálových elektrod. Inverzní výpočet je komplexní (Lowrie, 2007) a používá se při něm metoda nejmenších čtverců (Sharma, 1997). Stejně jako ve standardních odporových metodách je rozlišení a maximální hloubka závislá na vzdálenosti mezi elektrodami a jejich rozmístěním (Lowrie, 2007). Komerční přístroje pro ERT jsou sofistikované a skládají se z mnoha elektrod, které mají „vnitřní přepínání“. Používáním tohoto systému může být mnoho elektrod rovnoměrně rozmístěno v určité linii na povrchu a elektrika poté automaticky obíhá různými sekvencemi vybraná seskupení čtyř elektrod, takže je provedeno mnoho kombinací elektrodového rozmístění a uskuteční se „centrální umístění“. Jakmile jsou rozmístěny elektrody a je připojena kabeláž, může být proveden kompletní sběr dat v rozmezí několika hodin (Witten, 2006).

Existuje několik způsobů uspořádání proudových a potenciálových elektrod (Obr. 3). Patří mezi ně uspořádání Wennerovo, Schlumbergerovo, dipól-dipól. V každé konfiguraci jsou elektrody rozmístěny kolineárně, ale jejich rozmístění a vzdálenosti jsou odlišné.

Wennerovo uspořádání: Páry proudových a potenciálových elektrod jsou rozmístěny tak, že mají společný střed a vzdálenosti mezi přilehlými elektrodami jsou stejné (Lowrie, 2007). Obecně je tedy uspořádání Wenner vhodné spíše k určování vertikálních změn v horizontálně uložených vrstvách (www3).

Schlumbergerovo uspořádání: Při této konfiguraci mají páry proudových a potenciálových elektrod také často společný středový bod, ale vzdálenosti mezi přilehlými elektrodami se liší. V tomto uspořádání vzdálenost mezi proudovými elektrodami mnohem větší než vzdálenost mezi potenciálovými (Lowrie, 2007).

Uspořádání Wenner-Schlumberger: Toto uspořádání je hybridem mezi Wennerovým a Schlumbergerovým zapojením. Klasické Schlumbergerovo zapojení je jedno z nejběžněji používaných uspořádání při odporových průzkumech. Toto hybridní uspořádání je úměrně citlivé jak k horizontálním, tak k vertikálním strukturám. V oblastech, kde je předpokládán výskyt obou druhů struktur, je toto uspořádání dobrým kompromisem mezi uspořádáními Wennerovým a dipól-dipól. Průměrná hloubka dosahu je při tomto uspořádání přibližně o 10 % větší, než při Wennerově uspořádání s totožnou vzdáleností elektrod (www3).

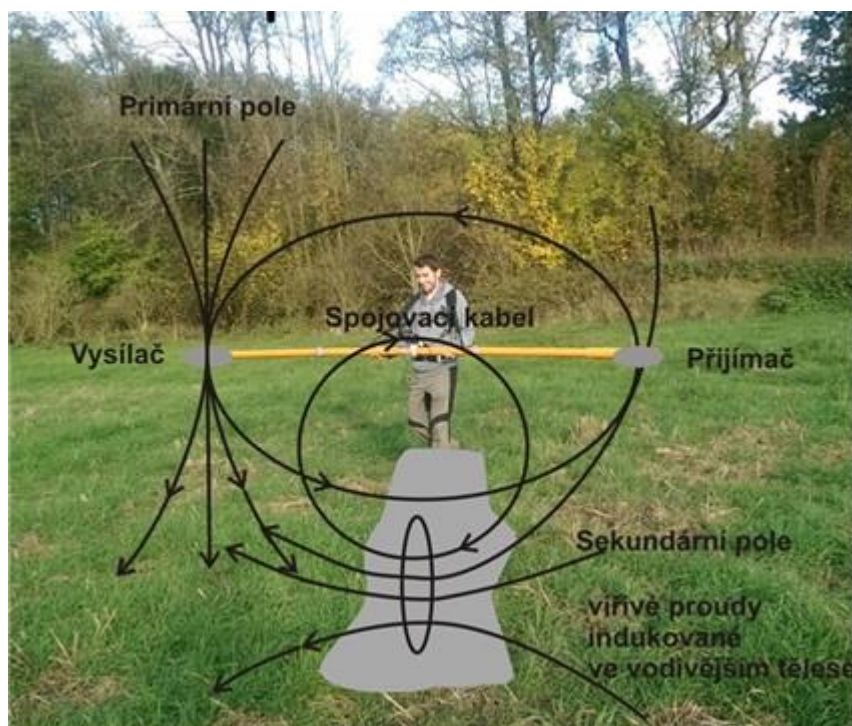


Obr. 3 Uspořádání elektrod (Musset a Khan, 2000)

Elektromagnetické metody

Elektromagnetické metody (EM) patří mezi moderní metody geoelektrického průzkumu, ale v jednodušších variantách jsou aplikovány již od dvacátých let dvacátého století. Teoretickým základem elektromagnetických metod je teorie elektromagnetického pole. Rozložení elektromagnetického pole je závislé především na fyzikálních vlastnostech hornin, které tvoří měřené prostředí (Mareš, 1990). Většina elektromagnetických metod je zaměřena na podobné cíle jako odporové metody (Musset a Khan, 2000). Hlavní výhodou EM metod oproti odporovým metodám je, že nevyžadují vodivé spojení s povrchem a mnohé z těchto metod mohou být využity z letadla (Sharma, 1997). Elektromagnetické výzkumy prováděné ve frekvencích pod 50kHz jsou založeny na principu elektrické indukce (Obr. 4). Střídavé magnetické pole v cívce nebo kabelu indukuje elektrické proudy ve vodiči. Vodivost hornin a půd je příliš nízká na to, aby

dovolila významné indukované proudy, ale když je přítomen dobrý vodič, vzniká systém vířivých proudů. Tyto vířivé proudy vytváří sekundární magnetická pole, která mohou být měřena na povrchu (Lowrie, 2007). EM metody jsou užitečné zejména pro průzkumy podloží, které mají povrchovou vrstvu s vysokým odporem - jako jsou suché písky nebo zmrzlé půdy - které nedovolují odporovým elektrodám navázat elektrické spojení s více vodivými spodnějšími vrstvami (Musset a Khan, 2000).



Obr. 4 Základní princip metody DEMP

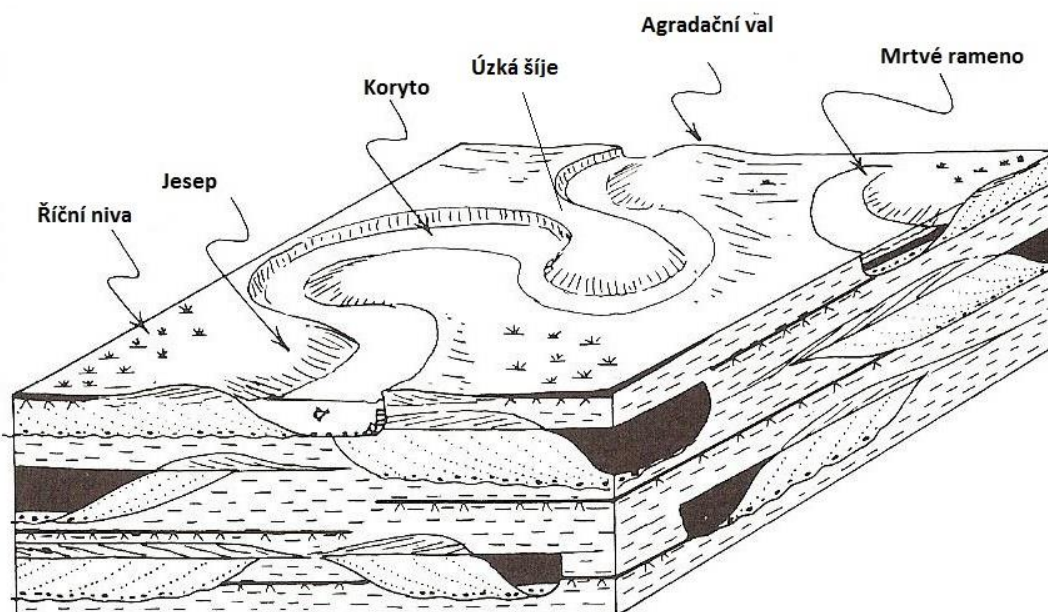
Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

DEMP je další klíčovou metodou použitou v této práci. Jako dipólové elektromagnetické profilování (DEMP) jsou označovány profilové verze elektromagnetického průzkumu, jejichž zdrojem je magnetický dipól. Tento magnetický dipól je realizován cívku malých rozměrů, jíž protéká střídavý proud. Pole této cívky je rovno poli magnetického dipólu (Mareš, 1990).

4. MORFOLOGIE ŘÍČNÍ NIVY

4.1. Říční niva

Podle (Simon a Castro, 2003) je říční niva pás relativně rovné krajiny, který ohraničuje říční tok a je jím v době povodní zaplaven. Nejdůležitějším procesem při vzniku říčních niv, je kombinace sedimentace na jesepech říčních meandrů a sedimentace záplavové. Tento proces vytvořil mnohé roviny přilehlé u říčních toků a je pravděpodobně zodpovědný za vznik většiny říčních niv velkých světových toků. Ložek (2011), definuje nivu jako ploché údolí, ve kterém stavbu tohoto údolí, vegetaci i faunu vytváří a ovlivňuje činnost toku. Říční niva je dynamickým prostředím, kde téměř neustále dochází na jednom místě k erozi, zatímco na druhém k sedimentaci. Síly působící v meandrujících říčních systémech, poskytují dostatek energie na to, aby erodovaly a transportovaly nivní sedimenty (Simon a Castro, 2003).



Obr. 5 Schéma říční nivy a v něm patrný laterální pohyb koryta v různých generacích (Selley, 1994)

4.2. Říční terasa

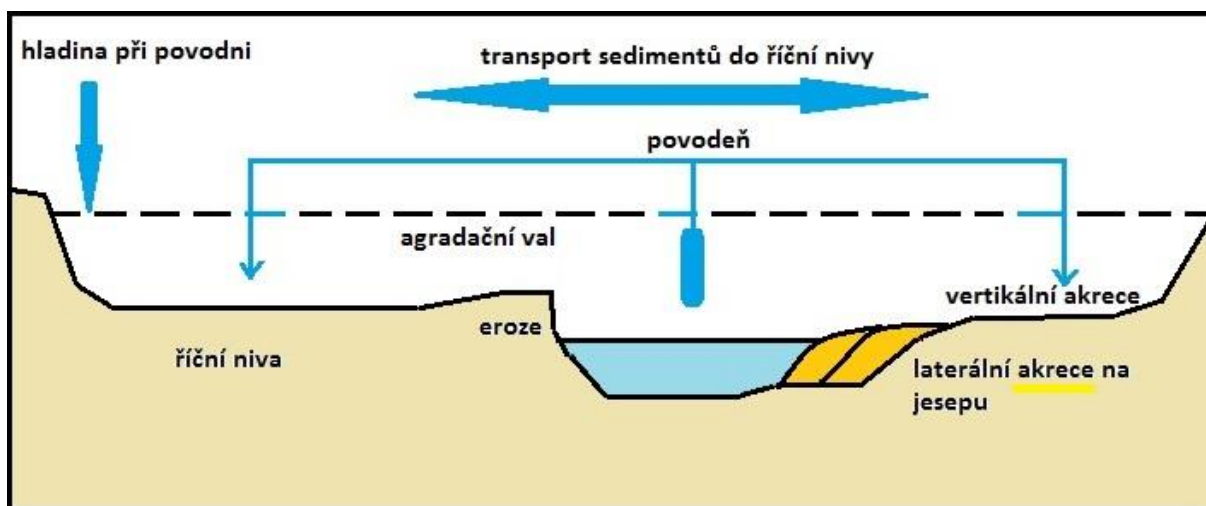
Říční terasy představují opuštěné říční nivy s různou, nadmořskou výškou, která je určována stupněm zařiznutí říčního koryta. Zařiznutí koryta se událo buď postupně, nebo

geologickými procesy jako je výzdvih (Simon a Castro, 2003). V případech, kdy je koryto zaříznuto do podloží je úroveň toku řeky opuštěna procesy jako je eroze nebo aggradace. Při erozi je původní niva rozrušena a její zbytky ohraničují řeku. Terasa se skládá ze dvou částí, stěny a stupně nad a za ní (Leopold a Wolman, 1957). Terasy se na běžných středoevropských řekách utvářely akumulací fluvialních sedimentů v obdobích glaciálů, kdy sedimentace převažovala nad erozí. Později byly rozrušeny extenzivní erozí v průběhu interglaciálů (Růžičková a kol., 2001). Řeky Ohře a Bílina mají díky specifickému vývoji téměř úplně zachovalý terasový soubor. Od středního pleistocénu tekla Ohře směrem na SV a S od Bíliny. Vlivem jednostranného posunu se na levém břehu Ohře vytvořila až 17 km široká terasový stupeň. Od středního pleistocénu teče Ohře dnešním směrem a vytvořila systém nízkých teras. Pro terasy Ohře je typický značný plošný rozsah, ale v porovnání s ním malá mocnost (průměrně 3-6 m a s maximem 10 m) a někdy podložní horniny vystupují až v úrovni teras (Malkovský a kol., 1985). Podle Tyráčka (1995), má Ohře v oblasti Mostecké pánve systém 25 teras, které vznikaly od konce terciéru až po současnost. Tyto terasy vykazují pravidelný vývoj bez projevů environmentálních změn, které by vyznačovaly hranici mezi terciérem a kvartérem.

4.3. Fluvialní uložení

Fluvialní uložení jsou tvořeny klastickým materiálem, který byl přenesen a uložen říčními proudy. Mohou se ukládat přímo v korytech řek, nebo na povrchu nivy (Růžičková a kol., 2001). Sedimentární výplně říčních údolí se většinou skládají ze dvou členů různého stáří: a) štěrky a písky nízké terasy, b) sedimenty dnešních niv. Štěrkové a písky nízké terasy představují starší člen. Byly uloženy v průběhu posledního glaciálu divočími řekami. Štěrkopísková tělesa se vytvořila v širokých říčních nivách, především v Polabí, údolích dolní Vltavy a Ohře, ale také u řek v moravských úvalech. Sedimenty dnešních niv představují mladší člen, který byl vytvořen meandrujícími toky. Tyto sedimenty jsou ukládány vodním proudem. Jsou pro ně typické břehové valy, a také štěrkové a pískové lavice a bahnitě sedimenty ukládané povodňovými vodami (Ložek, 2011). Povodňové sedimenty jsou ukládány ve dvou etapách. Jako první se ukládají hrubozrnnější sedimenty, které vytvářejí agradační valy na okrajích niv. V prostředí nivy se vertikální akrecí ukládají jemnozrnnější sedimenty (Simon a Castro, 2003). Tyto jemnozrnnější sedimenty jsou

tvořeny především kalovým a jílovým materiálem. Zároveň dochází k sedimentaci v mrtvých ramenech, kde se ukládají především písky a jíly (Růžičková a kol., 2001). Terasy Ohře jsou z litologického hlediska silně variabilní. Střídají se zde písky, štěrkovité písky, písčité štěrky a štěrky, které mají místy vložky písčitých jílů (Malkovský a kol., 1985).



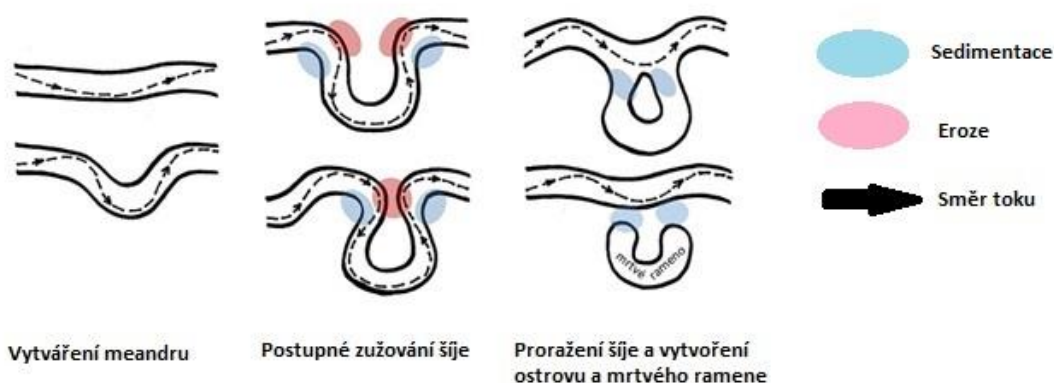
Obr. 6 Schéma transport fluviálních sedimentů mezi korytem a nivou během povodně, upraveno z Hupp a Bornette (2003).

4.4. Anastomóza

Anastomóza je termín popisující široké rozvětvení a znovu spojení říčního proudu. Rozvětvená ramena anastomózního systému tvoří síť neustále se posunujících kanálů o malé sinusoidě a vzájemně jsou od sebe oddělena ostrovy nebo štěrkovými říčními lavicemi. Tyto lavice, rozdělují proud na jednotlivá ramena při nízké hladině a při zvýšení hladiny jsou často ponořené. U anastomózních ramen můžeme často pozorovat agradaci (Leopold a Wolman, 1957). Často se vyskytují na náplavových kuželech podél mnoha horských pásem. Jsou charakteristické vyšším spádem a hrubšími sedimenty oproti meandrujícím systémům. Říční niva aluviálního systému nemá jasně vymezený terén. Jemnozrnné sedimenty se zde ukládají zejména v opuštěných ramenech. Opuštěná ramena vznikají tak, že se říční lavice zvětší natolik, že zablokují tok a způsobí oddělení. Aluvium anastomózních systémů se skládá zejména z korytového štěrku, lavicových písků a v opuštěných korytech z jemnozrnných písků a jílů (Selley, 1994).

4.5. Říční meandry

Téměř všechny toky vykazují tendenci vytvářet zákruty, které jsou úměrné velikosti koryta (Leopold a Wolman, 1957). Meandry (Obr. 5) jsou zákruty říčního kanálu, které se vyskytují převážně na dolních tocích řek s nízkým sklonem. Vznikají tak, že přirozené rozdíly hloubky na rovném úseku řeky způsobí, že nejrychlejší část proudu, která se nazývá údolnice, začne v korytě pohybovat ze strany na stranu. Voda poté eroduje břehy toku tak dlouho, dokud nevznikne meandr (Obr. 7). Na vnější straně meandru eroze pokračuje na výsepu. Na vnější straně se tok zpomaluje, takže může docházet k sedimentaci a tvorbě jesepu (Marshak, 2016). Na jesepu se uplatňuje laterální akrece hrubozrnných sedimentů. Laterální akrece je proces, ke kterému dochází při vysokém průtoku a tvaruje jesep do srpovitého tvaru. Na výsepu se naopak eroduje odpovídající objem materiálu (Simon a Castro, 2003).



Obr. 7 Schematické znázornění vzniku meandru, zaškrčení a vzniku mrtvého ramene (www4), upraveno

4.6. Mrtvá ramena (fluviální jezera)

Vyskytují se v nivách mnoha řek, především na středních a dolních tocích. Nacházejí se v místech, kde má řeka mírný sklon a vytváří se širší niva. Na těchto úsecích dochází k meandrování (Jánský a kol., 2003). Mrtvá ramena vznikají tak, že v meandru působící eroze zakříví meandr o více než 180° , tím se přiblíží výsepní břehy začátku a konce meandru (Obr. 7). Mezi těmito konci vznikne úzká šíje. Když dojde k oderodování této šíje (zaškrčení meandru), přesměruje se tok řeky tímto směrem a z meandru se stává mrtvé rameno, jehož konce se postupně zazemní sedimenty. Pokud v tomto rameně zůstane

voda, jedná se o říční jezero. V případě, že dojde k vyschnutí, mluvíme o zazemněném ramenu (Marshak, 2016). Říční nivy meandrujících řek jsou těmito mrtvými rameny velice často prokány (Wolman a Leopold, 1957).

5. METODIKA

5.1. Automatický geoelektrický systém ARES

K terénním měřením v místech s hustým vegetačním pokryvem, jsem využil metodu elektrické odporové tomografie (ERT). Měření bylo provedeno automatickým geoelektrickým systémem ARES (GF Instruments). Jedná se o aparaturu pro měření a zobrazení měrného odporu. Systém ARES podporuje několik uspořádání. V terénu jsme vytyčili profily měřicím pásmem. Podél pásma se poté rozmístily elektrody s určeným rozstupem. Měření bylo provedeno metodou zapojení Wenner-Schlumberger. Délka měření jednoho profilu trvala přibližně 1-2 hodiny. Systém obsahuje výkonný vysílač sdružený s citlivým přijímačem a řídicí částí, pomocí které může řešit široké spektrum geofyzikálních metod. V mé práci byl použit pro 2-D multielektrodové odporové profilování. Může být ale použit i k 3-D tomografii. Dále s ním lze měřit vertikální elektrické sondování (VES), odporové a IP profilování (RS) a v neposlední řadě k měření spontánní polarizace. Měřený profil lze prodloužit pomocí tzv. rolování kabelových sekcí (www5). Této metody bylo využito zejména u dlouhých profilů (např. GOERT2), kdy jsme po proměření první části profilu přesunuli přední část kabelu na konec profilu, poté jsme zadali tuto variantu do řídicí jednotky a pokračovali v měření. Podél profilu jsme dále změřili GPS souřadnice, abychom mohli určit topografii.

Systém ARES je sestava skládající se z řídicí jednotky a standardního příslušenství. Pro měření není potřeba připojení k PC. Puls měření lze nastavit v rozmezí 0,3-30 s. Příslušenství řídicí jednotky jsou aktivní multielektrodové kabely. Dále nerezové elektrody, kterých může být při jednom měřicím uspořádání použito maximálně 200, a také tzv. T-kus, který se používá pro připojení sekcí multielektrodového kabelu a kabelů pro proudové a napěťové elektrody. Pro zpracování naměřených dat a 2-D inverzi se používá program Res2DInv (www5).

5.2. Vícerozsahový elektromagnetický měřič vodivosti CMD-4

Pro měření vodivosti podloží na nezalesněných plochách metodou dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) jsem použil více-rozsahový elektromagnetický měřič vodivosti CMD-4. Jedná se o bezkontaktní systém (www6). Metoda je pro svou

nenáročnost, ale také rozměry sondy vhodná pro využití na otevřených prostranstvích. Vybrané území procházíme v pruzích nejprve jedním směrem a poté směrem na něj kolmým. Výsledkem měření je mapa elektrických vodivostí, která byla korelována s 2-D profily získanými měřeními ERT. Jedná se o bezkontaktní geofyzikální přístroj, který se využívá k měření měrné vodivosti a susceptibility půdy a podložních hornin. Sondy CMD firmy GF Instruments poskytují vícerozsahová měření v rozmezí hloubek 0,5-9 m. Poskytují také jedno nebo vícevrstvé mapování v klasickém nebo GPS režimu. Praktické jsou zejména při měření v extrémních podmínkách, jako je například zmrzlá nebo naopak suchá půda (www6).

Hlavní částí měřiče CMD-4 tvoří řídicí jednotka a sonda. Řídicí jednotka poskytuje 5 měřicích režimů: manuální, kontinuální, manuální s GPS, kontinuální s GPS a vyhledávací režim. Při mnou prováděném měření jsem použil kontinuální měřicí režim s GPS, který data měří a ukládá v průběžně zvoleném intervalu 1 s a zároveň se poloha naměřených bodů zapisuje pomocí připojené GPS. Snadný přenos dat je zajištěn pomocí USB rozhraní nebo přímého uložení na USB flash disk. Řídicí jednotka umožňuje měřit v intervalu v rozmezí 0,1-20 s. K řídicí jednotce je připojena sonda, která je dlouhá 4 metry, její efektivní hloubkový dosah (high/low) činí 6,0 / 3,0 m, vzdálenost středů dipólů měří 3,77 m a její pracovní hmotnost je 6,8 kg (www6).

5.3. Odběr vzorků sedimentů

Odběr vzorků k ověření litologie byl proveden pomocí žlábkového vrtáku o průměru 3,5 cm (Eijkelkamp, Nizozemsko). Vrtná jádra byla odebrána do hloubky 150-300 cm. Vzorky z vrtů byly v závislosti na litologii odebrány po různých intervalech (10-25 cm) a ukládány do uzavíratelných plastových sáčků. Všechny sáčky byly označeny kódem vzorku ve formátu GOX, kde GO znamená Grant Ohře a X označuje pořadové číslo vrtu, a také označením hloubky odebíraného vzorku na vrtu (např. 10-20 cm).

5.4. Laboratorní zpracování geofyzikálních měření a odebraných vzorků

Softwarové zpracování dat ERT

Získaná data byla stáhnuta z řídicí jednotky pomocí USB a softwaru **ARES**. Dále byl použit program **Surfer**, ve kterém byl k datům přiřazen výškopis. Soubor byl dále zpracován v programu **RES2DINV**, ve kterém byla provedena inverze dat metodou nejmenších čtverců (least-squares inversion), abychom dostali model rozložení měrného odporu. Inverze byla nastavena na 5 iterací a relativní chyba po páté iteraci byla u všech ERT profilů menší než 3%. Po zobrazení výsledků inverze ve 2D řezu profilu byla k modelu přidána topografie povrchu. Takto vyhotovený řez byl uložen pro další práci v programu **Surfer**.

Laserová granulometrie

Granulometrické analýzy byly provedeny na analyzátoru velikosti částic Fritsch, model ANALYSETTE 22 MicroTec plus v rozsahu 0,08-2000 μm . Vzorky byly po rozdužení ve vodě měřeny v suspenzi v ultrazvukové dispergační jednotce s frekvencí ultrazvuku 36 kHz a výkonem 60 W. Vzorky na analýzu velikosti částic byly vybrány na základě vertikálních profilů poměru Al/Si - pro analýzu byly vybrány vzorky s výrazně odlišnými poměry Al/Si. Změřeny byly pouze vybrané vzorky z vrtů z ERT profilů 4-7. Naměřená data byla zobrazena tak, aby odpovídala Wentworthově zrnitostní klasifikaci. Podle Wentworthovy zrnitostní klasifikace frakce roztřídil do 3 kategorií: jíl, silt (prach) a písek. Poté jsem vytvořil granulometrické křivky, kde jsem podíly jednotlivých frakcí (obsah zrn v procentové hmotnosti) vynesl v semilogaritmickém grafu.

Tab. 3 Vybrané vzorky sedimentů z vrtů (vlastní zpracování)

GOERT4		GOERT5		GOERT6	GOERT7
GOERT4-25	GO126	GO129	GO131	GO132	GO142
0-25	15-30	40-50	50-60	45-60	40-50
100-115	30-50	60-70	70-80	75-90	70-80
160-175	120-140	80-90	90-110	150-160	95-105
350-360	180-200	150-160			175-185
		200-215			185-200
		225-235			
		255-265			
		265-275			

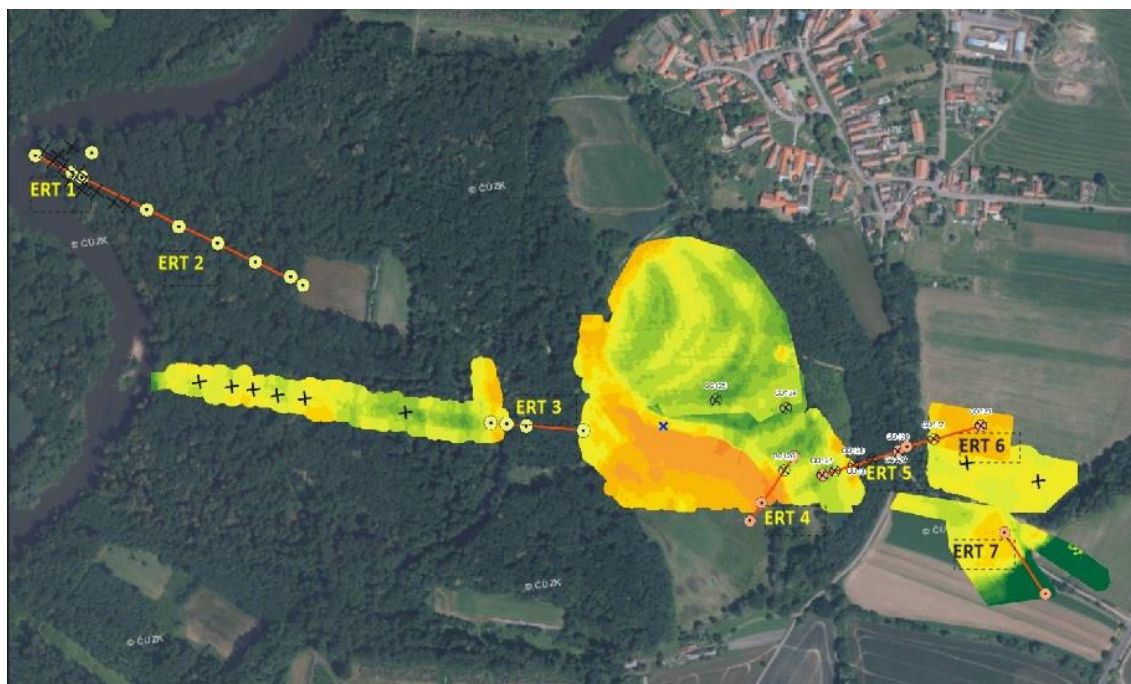
RTG fluorescenční spektrometrie

Rentgenová fluorescenční analýza byla provedena na přístroji Epsilon 3x (PANalytical, Holandsko) v plastových kyvetách se spodním měřícím okénkem z Mylarovy fólie. Přístroj má Ag rentgenovou lampu (až 50 kV) a energiově disperzní detektor (velkoplošný driftový křemíkový) chlazený Peltierovým článkem. Suché rozemleté vzorky byly analyzovány po volném nasypání do kyvet podobně jako v pracech Matys Grygar a kol. (2016a; 2016b). Výsledný signál byl kalibrován pomocí certifikovaných referenčních materiálů. Celá práce byla prováděna v laboratoři ústavu a organické chemie AV ČR v Řeži. Z výsledků měření EDXRF jsem použil hmotnostní poměry Al/Si a v programu Microsoft Excel jsem vytvořil grafy poměrů Al/Si v jednotlivých hloubkách měřených vrtných jader. V metrážích s výrazněji odlišným poměrem Al/Si byly provedeny granulometrické analýzy, ze kterých jsem mimo jiné vytvořil prstencové diagramy s podíly frakcí (jíl, prach, písek) a pro porovnání vložil ke grafu poměru Al/Si s hloubkami vrtů.

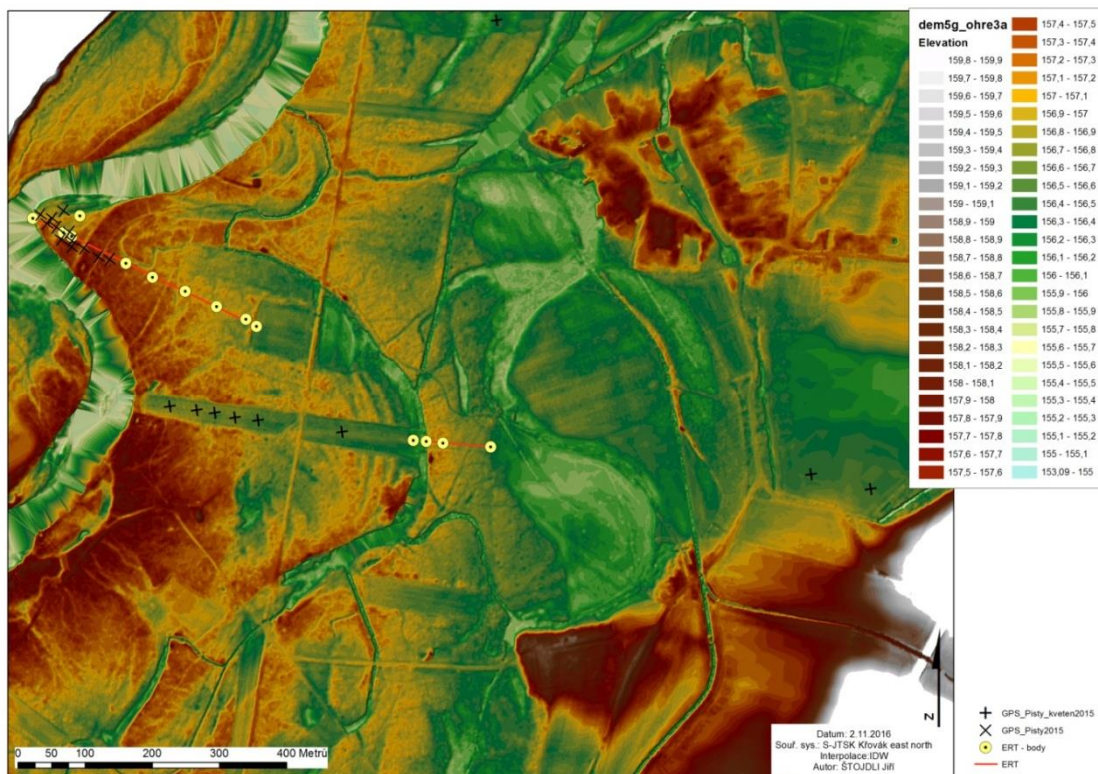
6. VÝSLEDKY

6.1. ERT

Multielektrodovým profilováním bylo na lokalitě Písty změřeno celkem 7 profilů (Obr. 8). Všechny profily byly měřeny ve směru od řeky do distální nivy. První 2 profily byly vedeny od jesepu současného koryta Ohře. Další 4 profily byly postupně směřovány do distální části nivy. Poslední profil pak vymezuje konec říční nivy. Profily byly změřeny a vyhodnoceny přibližně do hloubky 7 metrů. Hodnoty odporů byly porovnány s hodnotami v práci Matyše Grygara a kol. (2013) Ověření litologie je zaměřeno maximálně do hloubky 2-3 metry, což je hloubka, do které lze v tomto případě výsledky ERT porovnat s výsledky zrnitostních analýz. Dalším klíčovým prvkem k určení těles je porovnání s digitálním modelem terénu, výsledky měření metodou DEMP a pozorováním v terénu.



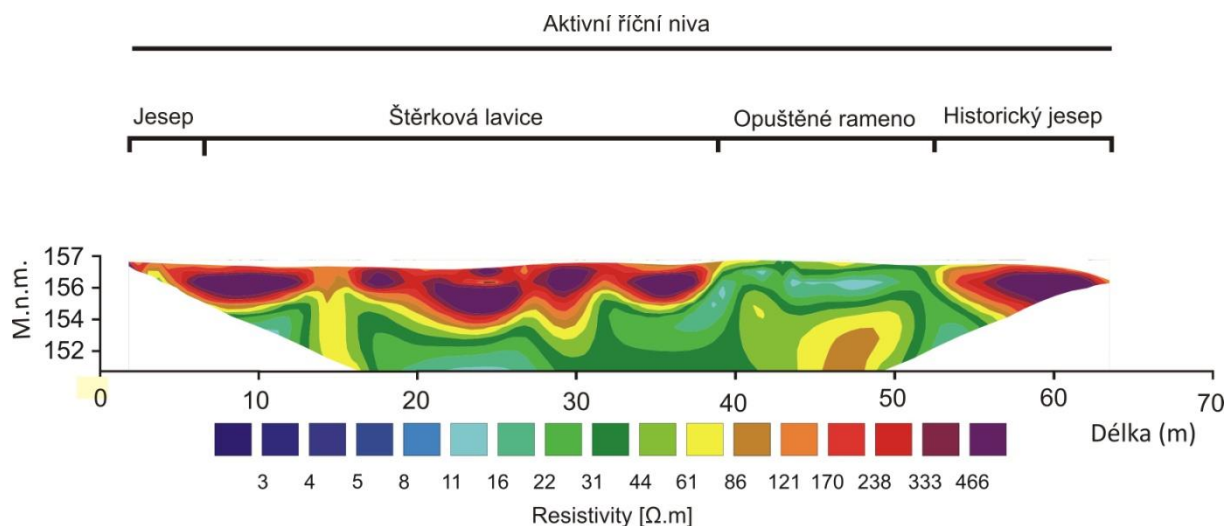
Obr. 8 2D vizualizace DEMPu, vyznačení ERT profilů a půdních sond (zpracoval Jiří Štojdl).



Obr. 9 Digitální model terénu (zpracovala Ing. Jitka Elznicová, Ph.D.)

Profil GOERT1

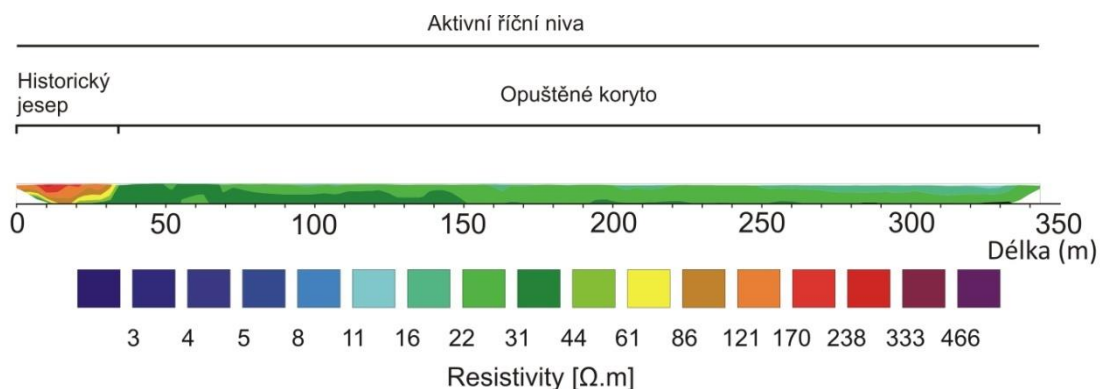
První profil je veden od břehu současného koryta řeky napříč jesepelem. Profil je dlouhý 63,5 m s rozmístěním elektrod po 0,5 m. Na začátku profilu pozorujeme 1-1,5 m mocná tělesa s vysokým odporem, který odpovídá písčité až štěrkové frakci. Jedná se o sedimenty jesepního valu a pravděpodobně štěrkovou říční lavici. Mezi přibližně 40. a 50. metrem profilu pozorujeme relativně homogenní těleso jílovito-prachovitých, prachovito-písčitých až jemně písčitých sedimentů (11-61 Ω .m). Posledních přibližně 10 metrů profilu je tvořeno opět sedimentárním tělesem s vysokým odporem, který odpovídá písčité až štěrkové frakci a pravděpodobně se jedná o historický jesepní val.



Obr. 10 Znárodnění ERT profilu GOERT1. Použita byla rozteč elektrod 0,5 m.

Profil GOERT2

Druhý profil navazuje přímo na profil první, s jehož koncem se překrývá prvními 13,5 m. Profil samotný měří 318 m. Rozmístění elektrod je po 2 m. Na začátku profilu vidíme překryv s prvním profilem, a tedy písčité až štěrkové sedimenty (121-238 $\Omega.m$). Poté pozorujeme téměř 300 m prachovito-jílovitých až prachovito-písčitých sedimentů (11-44 $\Omega.m$), které tvoří výplň laterálně protnutého historického ramena, které obsahuje korytové sedimenty, které jsou překryty jemnozrnnými povodňovými sedimenty.

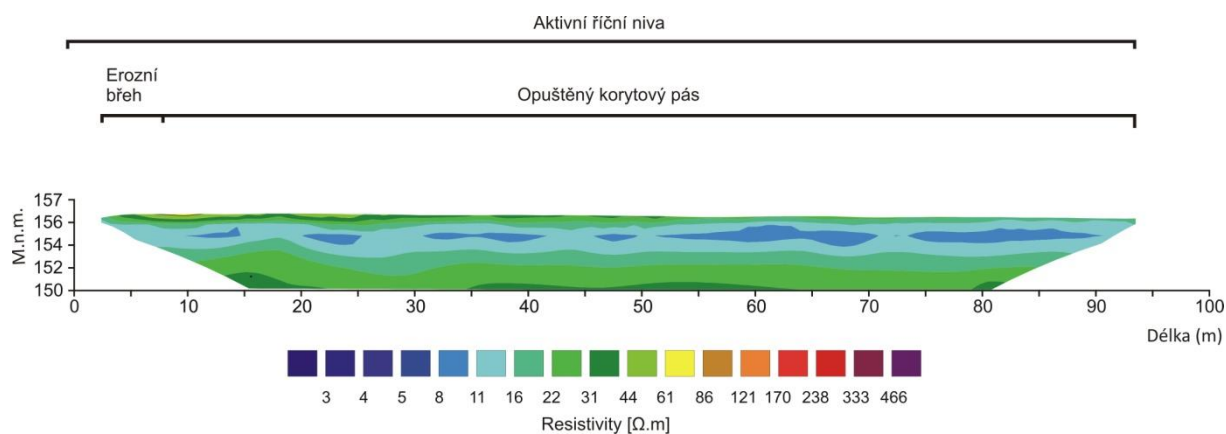


Obr. 11 Znárodnění ERT profilu GOERT 2. Použita byla rozteč elektrod 2 m.

Profil GOERT3

Třetí profil začíná na okraji mrtvého ramena (viz. DTM) a vede přes lesík oddělující dvě louky. Délka tohoto profilu činí 94 m a vzdálenost mezi elektrodami je 1 m. Začátek profilu je na erozním břehu mrtvého ramene. Zbytek profilu je tvořen až 2 metry mocnou vrstvou sedimentů o odporu, který odpovídá prachovito-jílovitým sedimentům

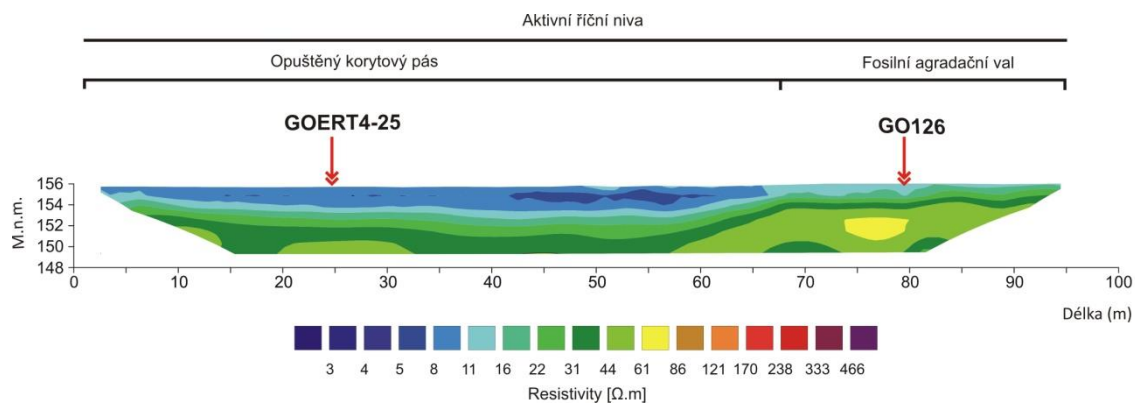
opuštěného korytového pásu (5-31 $\Omega\cdot\text{m}$). Na povrchu jsou překryty prachovito-písčitymi až jemně-písčitymi povodňovými sedimenty (44-61 $\Omega\cdot\text{m}$).



Obr. 12 Znárodnění ERT profilu GOERT 3. Použita byla rozteč elektrod 1 m.

Profil GOERT4

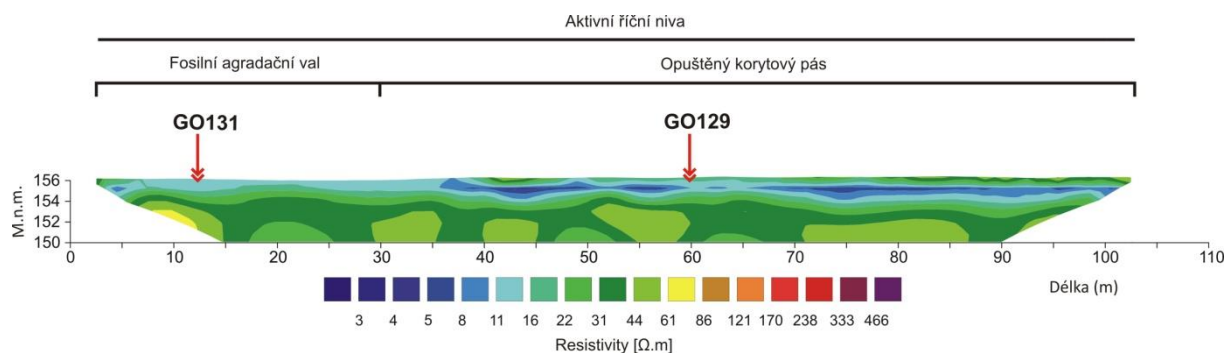
Čtvrtý profil je veden přes louku, kde byl z výsledku měření metodou DEMP výrazný přechod v hodnotách vodivosti, a proto byl pro ověření těchto hodnot zvolen směr čtvrtého profilu, který tuto hranici kolmo protíná. Profil měří 95 m a elektrody jsou od sebe vzdáleny 1 m. Prvním přibližně 65 metrů profilu ukazuje 2-3 metry mocné sedimenty zazemněného korytového pásu, jejichž hodnoty odporu odpovídají jílu až prachovitému jílu. Od 65. metru potvrdilo měření ERT výsledky DEMP a můžeme zde pozorovat přechod z prachovito-jílovitých sedimentů (5-31 $\Omega\cdot\text{m}$) do prachovito-písčitých až jemně písčitých sedimentů (44-61 $\Omega\cdot\text{m}$), které pravděpodobně tvoří fosilní agradační val nebo zazemněnou terasu.



Obr. 13 Znárodnění ERT profilu GOERT 4. Použita byla rozteč elektrod 1 m.

Profil GOERT5

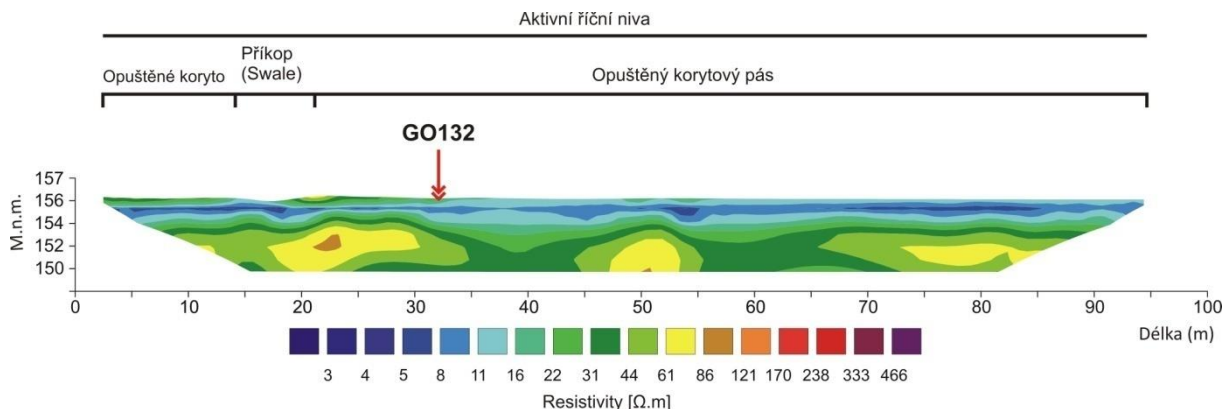
Pátý profil vede od odvodňovací strouhy, která je zřetelná na DTM, přes lesík do distální části říční nivy a končí u vedlejší pozemní komunikace, která lesík rozděljuje. Profil měří 103 m a elektrody jsou od sebe vzdáleny 1 m. Tento profil začíná nedaleko profilu GOERT4. Jeho prvních přibližně 30 metrů má při porovnání s měřením DEMP podobnou hodnotu vodivosti a z výsledků ERT vyplývá, že se zde nachází prachovito-písčité až jemně písčité sedimenty (44-61 Ω .m) a jedná se zřejmě o fosilní agradační val nebo zazemněnou terasu. Zbytek profilu se podobá profilu GOERT3, tedy sedimenty s odpory odpovídajícími prachovito-jílovitým až prachovito písčitým sedimentům opuštěného korytového pásu (5-44 Ω .m) Tyto jemnozrné korytové sedimenty jsou překryty až 1 metr mocnou vrstvou s odpory odpovídajícími prachovito-písčitým až jemně-písčitým, pravděpodobně povodňovým sedimentům.



Obř. 14 Znáznornění ERT profilu GOERT 5. Použita byla rozteč elektrod 1 m.

Profil GOERT6

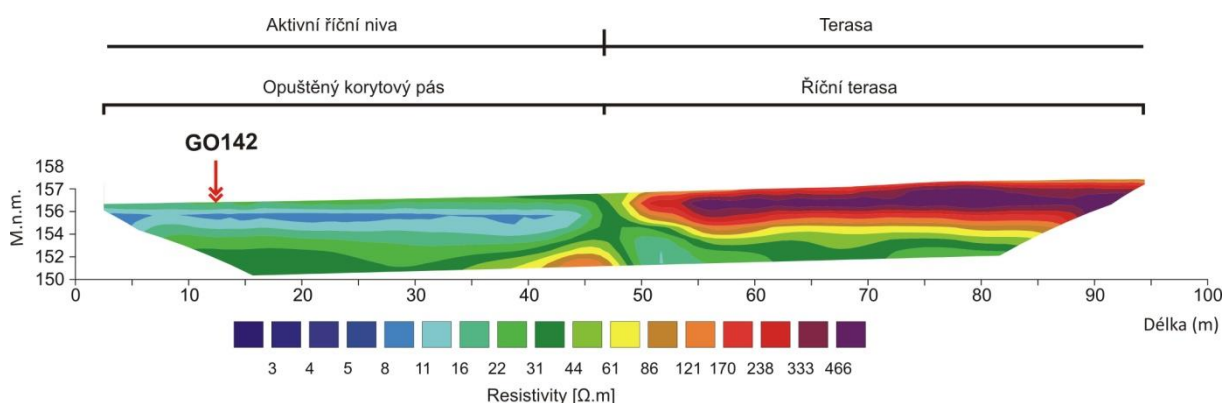
Tento profil navazuje na profil č. 5, je veden ve stejném směru za pozemní komunikací. Profil měří 95 m a elektrody jsou od sebe vzdáleny 1 m. Je veden přibližně 40 metrů lesíkem, kde mezi 15. až 20. metrem protíná vyschlý odvodňovací příkop. Dále profil vybíhá na louku v distální části říční nivy. Po celé délce profilu pozorujeme 1-2 metry mocnou vrstvu sedimentů s hodnotami odporů odpovídajícími prachovito-jílovitým sedimentům (5-31 Ω .m) opuštěného korytového pásu. Tyto korytové sedimenty jsou na celém profilu překryty homogenní vrstvou prachovito-písčitých až jemně-písčitých, povodňových sedimentů (44-61 Ω .m).



Obr. 15 Znáznornění ERT profilu GOERT 6. Použita byla rozteč elektrod 1 m.

Profil GOERT7

Poslední profil je veden na poli v distální nivě. Profil měří 95 m a je veden do mírného kopce, kde převýšení na profilu činí přibližně 2 metry. Elektrody jsou od sebe vzdáleny 1 m. V porovnání s výsledky metody DEMP je patrné, že je zde ostrý přechod mezi hodnotami elektrické vodivosti. Podle digitálního modelu terénu ani terénního pozorování nelze určit geomorfologické prvky, kvůli intenzivní zemědělské činnosti. Výsledky ERT ukazují, že první polovina profilu je tvořena 2-3 metry mocnou vrstvou prachovo-jílových sedimentů (8-31 $\Omega.m$) opuštěného korytového pásu. V druhé polovině profilu je souvislé těleso s hodnotami odporů, které odpovídají pískové až štěrkové frakci. Z tohoto výrazného rozdílu odporů a převýšení terénu lze usoudit, že se jedná o říční terasu.



Obr. 16 Znáznornění ERT profilu GOERT 7. Použita byla rozteč elektrod 1 m.

6.2. DEMP

Dipólové elektromagnetické profilování bylo měřeno na několika místech. Nejprve na louce mezi současným korytem řeky a mrtvým ramenem. V této části jsou

pozorovatelné rozdíly v hodnotách elektrické vodivosti, které tvarem značí přítomnost tzv. scroll bars. Scroll bars jsou pozůstatkem laterální migrace meandru, která vytváří asymetrickou topografii okrouhlých valů a příkopů (www7), která v terénu není pozorovatelná. Dále byla proměřena plocha, kde jsou již na DTM pozorovatelná historická ramena řeky a scroll bars. Výsledky měření DEMP zde ukázaly vysoké rozdíly hodnot elektrické vodivosti, které byly prověřeny měřením ERT (GOERT4, GOERT5). Podobně vysoké hodnoty vodivosti byly DEMP naměřeny v distální části nivy a na samotném okraji nivy byl změřen ostrý přechod na velmi nízké hodnoty vodivosti.

6.3. Zrnitost a litologie

Pro určení zrnitosti a litologie sedimentů říční nivy byly vybrán poměr výsledků laserové granulometrie a hmotnostní poměr Al/Si z EDXRF analýz. Zrnitostní frakce z granulometrické analýzy byly rozděleny podle Wentworthovy zrnitostní klasifikace. Hmotnostní poměr Al/Si je vhodný pro určení zrnitosti sedimentů, protože minerály jílové frakce obsahují převážně Al, kdežto písčité frakce je bohatá na Si. Z toho lze usoudit, že s klesající velikostí částic roste poměr Al/Si. Pro hodnocení výsledků EDXRF a granulometrie bylo vybráno 6 vrtů (GO126, GOERT4-25, GO131, GO129, GO132, GO142) z profilů GOERT4-7.

Vrt GOERT4-25 (profil GOERT4)

V jádře vrtu GOERT4-25 (Příloha 1) byly provedeny granulometrické analýzy ve 4 metrážích. Výsledky ukázaly dominanci písčité frakce. Průměrný obsah jílové frakce činí 4,25 %, prachové frakce 26,25 % a písčité frakce 69,5 %. Nejvyšší obsah má písčité frakce v metráži 350-360 cm (76 %). Prachová frakce má nejvyšší obsah v metrážích 0-25, 100-115 a 160-175 cm (28 %). Jílová frakce má nejvyšší obsah v metrážích 0-25 a 100-115 cm (5 %).

V porovnání s křivkou Al/Si můžeme pozorovat, že na prvních 100 cm jsou vyšší hodnoty Al/Si, což odpovídá vyššímu podílu jílové frakce z granulometrické analýzy. Jedná se o prachovito-jílovité až prachovito-písčité korytové sedimenty. S rostoucí hloubkou klesá poměr Al/Si, což odpovídá rostoucímu podílu písčité frakce.

Vrt GO126 (profil GOERT4)

V jádře vrtu GO126 (Příloha 2) byly provedeny granulometrické analýzy taktéž ve 4 metrážích, které ukázaly dominanci písčité frakce. Průměrný obsah jílové frakce je 4,25 %, prachové frakce 26 % a písčité frakce 70 %. Nejvyšších hodnot dosahuje písková frakce v metráži 180-200 cm (74%). Prachová frakce dosahuje nejvyšších hodnot v metráži 30-50 cm (29 %). Jílová frakce má nejvyšší obsah v metráži 30-50 cm (5 %).

V porovnání s křivkou Al/Si lze usoudit, že od nadloží do přibližně 1 m, se jedná o jemnozrnnější povodňové hlíny a dále hrubozrnnější prachovito-písčité až písčité sedimenty.

Vrt GO131 (profil GOERT5)

Vrt GO131 (Příloha 3) se nachází v přibližně stejné úrovni říční nivy jako vrt GO126. Z jeho jádra byly provedeny granulometrické analýzy ve 3 metrážích, které opět ukázaly dominanci písčité frakce. Průměrný obsah jílové frakce činí 4,7 %, prachové frakce 27,3 % a písčité frakce 67,7 %. Nejvyšších hodnot dosahuje písčité frakce v metrážích 90-110 a 70-80 cm (69 %). Obsah prachové frakce dosahuje nejvyšších hodnot v metráži 50-60 cm (29 %) a jílová frakce má nejvyšší obsah v metrážích 50-60 a 90-110 cm (5 %).

Při porovnání s křivkou Al/Si lze provést korelaci s výsledky granulometrie. Nejvyššímu podílu jílové složky v metrážích 50-60 a 90-110 cm, odpovídají vysoké hodnoty poměru Al/Si. Stejně tak nejvyšším podílům písčité frakce v metrážích 90-110 a 70-80 cm odpovídají nižší hodnoty poměru Al/Si. Na křivce Al/Si s hloubkou pozorujeme růst obsahu hrubozrnnější frakce, kdy jemnozrnnější povodňové hlíny a dále hrubozrnnější prachovito-písčité přechází pravděpodobně do písčitých sedimentů.

Vrt GO129 (profil GOERT5)

Z jádra tohoto vrtu (Příloha 4) bylo změřeno laserovou granulometrií 8 metráží. Dominantní složkou byla opět písčité frakce. Průměrný obsah jílové frakce činí 4,9 %, prachové frakce 26,9 % a písčité frakce 68,2 %. Nejvyšších hodnot dosahuje písčité frakce v metrážích 225-235 cm (70 %) a 255-265 cm (71 %). Nejvyšší podíl prachové frakce je v metrážích 40-50 a 60-70 cm (29 %). Nejvíce jílové frakce je v metrážích 40-50 a 150-160 cm (6 %).

Porovnání s křivkou hmotnostního poměru Al/Si, lze výsledky obou metod opět korelovat. Metráže s nejvyšším podílem jílové frakce, tedy 40-50 a 150-160 cm mají nejvyšší hodnoty Al/Si. Stejně tak metráže s nejvyšším podílem písčité frakce, což jsou 225-235 a 255-265 cm, mají výrazně nízké hodnoty poměru Al/Si. Ve vrtu tedy opět přechází prachovito-písčité korytové sedimenty do jemně písčitých sedimentů.

Vrt GO132 (profil GOERT6)

Vrt GO132 (Příloha 5) se podle profilu ERT nachází v místě s až 2 metry mocnou vrstvou korytových sedimentů. Z jádra vrtu byly provedeny granulometrické analýzy tří metráží. Dominantní je opět písčité frakce. Průměrný obsah jílové frakce činí 5,3 %, prachové frakce 27 % a písčité frakce 68 %. Nejvyšší obsah písčité frakce je v metráži 45-60 cm (69 %) a 75-90 cm (70 %). Nejvyšší obsah prachové frakce byl změřen v metráži 150-160 cm (29 %), kde je také nejvyšší podíl jílové frakce (7 %).

Při pohledu na křivku poměru Al/Si můžeme pozorovat opačný trend, než u předchozích vrtů, a sice s hloubkou zvyšující se poměr hmotnostního poměru Al/Si. To odpovídá výsledkům granulometrické analýzy, kde s hloubkou přibývá prachové a jílové frakce. V porovnání s profilem ERT můžeme pozorovat, že horních přibližně 50 cm je tvořeno sedimenty s vyššími odpory, tedy hrubozrnnější prachovito-písčité sedimenty, které podle analýz nasedají na prachovito-písčité až prachovito-jílovité sedimenty zazemněného koryta.

Vrt GO142 (GOERT7)

Vrt GO142 (Příloha 6) je vzdálen několik metrů od profilu, ale podle výsledků DEMP se nachází v oblasti se stejnou vodivostí, respektive odporem. Z jádra vrtu bylo laserovým granulometrem změřeno 5 vybraných metráží. Převažuje opět písčité frakce. Průměrný podíl jílové frakce činí 5,4 %, prachové frakce 25,4 % a písčité frakce 69,2 %. Nejvyšší obsah písčité frakce je v metráži 40-50 cm (73 %). Nejvíce prachové frakce bylo naměřeno v metrážích 175-185 cm (28 %) a 185-200 cm (27 %). Jílová frakce má nejvyšší obsah v metráži 175-185 cm (7 %) a 185-200 cm (6 %).

Při nahlédnutí na graf hodnot Al/Si s rostoucí hloubkou vidíme, že data odpovídají výsledkům granulometrické analýzy. Svrchních 50 cm s nejvyšším podílem písčité frakce vykazuje nejnížší hodnoty Al/Si, jedná se o prachovito-písčité až jemně písčité sedimenty

koluviálního původu. Pod nimi je přibližně 150 cm mocná vrstva korytových sedimentů, u kterých opět pozorujeme, že nejvyšší hodnoty jílové frakce se ve stejných metrážích odráží na vysokých hodnotách Al/Si.

7. DISKUSE

Na začátku práce byla určena místa, kde budou vedeny ERT profily. Umístění a směr prvních tří profilů bylo určeno na základě digitálního modelu terénu, na kterém byly pozorovatelné geomorfologické útvary, jejichž tvar připomínal typické strukturní jednotky říčních systémů. Další čtyři profily byly určeny podle DTM, ale také podle výsledků měření elektrické vodivosti metodou DEMP, a to zejména v místech, kde byl náhlý a výrazný rozdíl v jejich hodnotách (GOERT4). Profily ERT byly sestaveny tak, aby vytvořily přibližně linii napříč nivou. Na obilném poli, kde byl měřen profil GOERT4, zobrazilo měření DEMP také přítomnost *scroll bars*, které jsou překryty povodňovými sedimenty kolísající mocnosti (Obr. 8, žlutozelená plocha ve středu obrázku). Odporový kontrast v tomto profilu potvrdil rozdílnou zrnitost sedimentů v souladu s DEMP. Všeobecně jsme při práci nacházeli dobrou shodu mezi analýzami ERT, DEMP a průměrnou zrnitostí sedimentů podle poměru Al/Si.

Litologické rozdělení sedimentárních těles na základě hodnot měrného odporu bylo provedeno podle práce Matyše Grygara a kol. (2013). Prakticky na všech ERT profilech pozorujeme horizontální uspořádání sedimentárních těles s kontrastními elektrickými odpory. Na profilech GOERT4-7 pozorujeme v hloubkách přibližně 3,5-5 m tělesa s vyšším odporem. Jejich přítomnost nelze ověřit žlábkovým vrtákem, ale v porovnání s daty dostupnými na stránkách České geologické služby se pravděpodobně jedná o křídové horniny, které mají být překryty 3,5-7 m mocnou vrstvou kvartérních sedimentů. V jejich nadloží jsou tělesa s výrazně vysokým odporem, která jsou v porovnání s pracemi Matyše Grygara a kol. (2013, 2016b) určeny jako šterkové lavice, agradační valy a jesešní valy, které se vyskytují na konvexním břehu meandru a agradační valy, které se vyskytují na konkávní straně oblouků meandru (Boggs, 2011). Podle Boggse (2011), může výskyt valů v říční nivě poukazovat na migraci koryta. Již z výsledků DEMP je patrné, že valy jsou tvořeny sedimenty s nižší vodivostí (resp. vyšším odporem). Mezi těmito valy je v říční nivě přítomno několik těles sedimentů, které reprezentují zazemněné korytové pásy a historická koryta řeky, která jsou překryta záplavovými sedimenty. Na profilu GOERT1 můžeme pozorovat historické koryto řeky, která tudy tekla přibližně v období vytvoření císařských otisků stabilního katastru, které probíhalo kolem 40. let 19. století (Vencláková, 2016). Toto koryto je z obou stran ohraničeno tělesy s vysokým odporem. Tato tělesa jsou

interpretovány jako štěrková lavice a historický jesep. Jelikož se profily GOERT1 a GOERT2 překrývají v délce 13,5 m, pozorujeme méně vodivé těleso historického jesepu i na začátku druhého profilu, který je nejdelším ze všech měřených profilů. Prakticky celý zbytek profilu GOERT2 ukazuje víceméně stejný odpor povrchové vrstvy asi 3 m bez jakýchkoli kontrastů. Analýza historických map ukazuje, že profil GOERT2 vede mohutným zazemněným ramenem tzv. Malé Ohře (Vencláková, 2016).

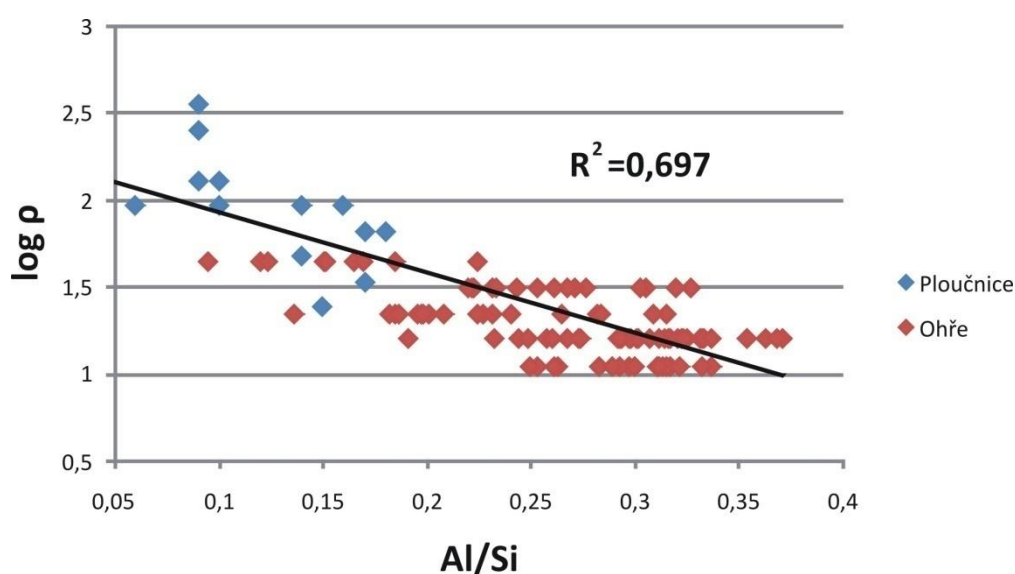
V profilu GOERT4 (Obr. 14), byl ověřen výrazný odporový kontrast podle měření DEMP (Obr. 8). Těleso vodivějších sedimentů tam končí náhle v depresi tvaru zazemněného koryta (Obr. 9), za níž přechází v hrubší, patrně bočně uložené sedimenty. Fosilní agradační valy a zazemněná koryta se ukázaly i na výsledných řezech profilů GOERT5 a GOERT6, kde bohužel nešlo porovnat ERT s metodou DEMP, kvůli hustému vegetačnímu pokryvu. Na posledním profilu v samotném okraji nivy bylo již z DTM patrné výrazné převýšení a otázkou bylo, zdali se jedná o říční terasu nebo aluviální kužel. Výsledky měření ERT a litologie tělesa (velmi hrubý štěrk, absence jemné frakce) potvrzují domněnku, že by se mohlo jednat o říční terasu, protože v polovině profilu GOERT7 je začátek tělesa s vysokým měrným odporem, které se táhne až ke konci profilu. Přítomnost sedimentů výrazně rozdílných zrnitostí potvrdily i výsledky měření DEMP, kde je také značný rozdíl v hodnotách vodivosti.

Data, která byla naměřena geofyzikálními metodami, a jejich interpretaci bylo potřeba potvrdit. K tomu byly zvoleny zarážené sondy, které byly zhotoveny žlábkovým vrtákem. Pro porovnání s výsledky ERT bylo vybráno 6 vrtů z profilů GOERT4-7. Pro analýzu vybraných metráží sond byly zvoleny metody RTG fluorescenční spektrometrie, konkrétně poměr Al/Si a laserové granulometrie. Porovnání ERT s výsledky laserové granulometrie ukazuje, že je u každé metody mírně rozdílná interpretací litologie. Podle hodnot měrného odporu by měly mít sedimenty větší podíl jílu. Důvody toho, proč odpory ukazují na jemnozrnnější sedimenty, než granulometrie mohou být dva: buď, může být odpor sedimentu snížen úrovní nasycenosti sedimentu vodou, nebo pro měření laserovou granulometrií nebyly dostatečně rozvolněny půdní agregáty (nebyla užitá metoda chemická degradace organojílových komplexů).

Matys Grygar a kol. (2013, 2016a, 2016b), používají poměr Al/Si jako proxy litologie sedimentů, jelikož reprezentuje podíl jemnozrnnější (jílové) a hrubozrnnější (píscité)

frakce. Jílové sedimenty jsou bohatší na Al a písčité na Si. Čím vyšší je podíl Al/Si, tím jemnozrnější je sediment. Výhodou je, že chemické složení sedimentů není ovlivněno přítomností nebo absencí organojílových komplexů a půdních agregátů. V grafech, které jsou uvedeny v Přílohách je vidět, že odpor sedimentů klesá s rostoucím poměrem Al/Si. Matys Grygar a kol. (2016b), našel lineární vztah mezi logaritmem odporu a průměrnou hodnotou Al/Si v sedimentech řeky Ploučnice. Porovnání výsledků měření ERT a poměru Al/Si z této práce v nivě Ohře s výsledky z práce Matyše Grygara a kol. (2016b) je zobrazeno v grafu (Obr. 18). Z porovnání vyplývá, že v nivě Ohře na lokalitě Písty jsou jemnozrnější sedimenty s menším odporem, než v nivě Ploučnice. Graf (Obr. 18), dokládá, že sedimenty z obou niv sledují stejný obecný trend.

V porovnání DTM s výsledky geofyzikálních měření, které jsou podloženy granulometrickými a XRF analýzami, lze výsledky v této práci doložit, že v nivě na lokalitě Písty docházelo k migraci meandrujícího říčního systému. Jak uvádí Boggs (2011), migrace meandrujících toků, které jsou propojeny do úzkých, písčitých meandrových pásů v říční nivě vytváří lineární, úzké pískové valy, které jsou paralelní s bývalými koryty řeky. Tyto pískové valy jsou obklopeny jemnozrnějšími přelivovými, záplavovými sedimenty. Výplň nivy v Pístech skutečně ukazuje četná zazemněná koryta, *scroll bars*, tedy obecně kontrasty v odporech mezi bočně uloženými sedimenty (hrubozrnější, s větším odporem; jesepy, valy) a sedimenty nivními (jemnějšími, s menším odporem).



Obr. 17 Výsledky porovnání hodnot odporu a Al/Si z lokality Písty na řece Ohře a z práce Matyše Grygara a kol. (2016b) na Ploučnici.

8. ZÁVĚR

Práce se zabývá využitím metod elektrické odporové tomografie (ERT) a dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) při výzkumu architektury říční nivy řeky Ohře na lokalitě Písty. Hlavním cílem práce je mapování zazemněných říčních koryt.

Měření ERT se osvědčilo jako vhodná metoda výzkumu stavby říční nivy. Výhoda ERT spočívá v možnosti měření i v místech s hustým vegetačním pokryvem a pro tuto práci byla velice vhodná. Pro měření vodivosti byla zvolena metoda DEMP. Výhodou metody DEMP je její nenáročnost a rychlost měření. Kombinace těchto geofyzikálních metod se ukázala jako velmi důležitá. DEMP poukázal na výrazný kontrast hodnot vodivosti, které byly potvrzeny měřením ERT. Měření DEMP odhalilo přítomnost *scroll-bars*, které jsou znakem laterální migrace meandrujícího toku.

Pro potvrzení výsledků geofyzikálních měření bylo zhotoveno 6 vrtných sond na čtyřech profilech ERT. Zhotovení vrtů a jejich laboratorní analýza je v porovnání s geofyzikálními měřeními časově náročnější. Jako laboratorní metody byly zvoleny RTG fluorescenční spektrometrie (EDXRF) a laserová granulometrie. Porovnání výsledků ERT a granulometrie ukázalo mírné rozdíly v interpretaci litologie. To mohlo být způsobeno ovlivněním hodnot odporů sedimentů nasyceností vodou nebo koncentracemi solí, případně nedostatečným rozvolněním půdních agregátů při granulometrické analýze. Výsledky ERT byly porovnány s výsledky EDXRF, konkrétně hmotnostním poměrem Al/Si. Všeobecně byla nalezena dobrá shoda mezi analýzami ERT, DEMP a průměrnou zrnitostí sedimentů podle poměru Al/Si. Volba a kombinace použitých metod se tedy ukázala jako velmi vhodná.

9. POUŽITÁ LITERATURA

- Blecha V., Štemprok M. (2012): Petrophysical and geochemical characteristics of late Variscian granites in the Karlovy Vary Massif (Czech Republic) - implications for gravity and magnetic interpretation in shallow depths. – *Journal of Geosciences*, 57, 65-85.
- Boggs S. (2011): *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Fifth edition. – Prentice Hall, Boston.
- Demek J., Mackovčín P., Balatka B., Buček A., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D., Havlíček M., Hrádek M., Kirchner K., Lacina J., Pánek T., Vašátko J. (2006): *Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. Vyd. 2.* – AOPK ČR, Brno.
- Gruntorád J. (1993): *Geofyzikální metody při vyhledávání ložisek rud a nerud: skripta pro posl. přírodovědecké fak. Univ. Karlovy.* – Karolinum, Praha.
- Hupp C. R., Bornette G. (2003): *Vegetation as a Tool in the Interpretation of Fluvial Geomorphic Processes and Landforms in Humid Temperate Areas.* – In: Kondolf G. M., Piégay H.: *Tools in fluvial geomorphology*, pp. 291-322. Wiley, Hoboken, NJ.
- Cháb J., Breitr K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J. (2008): *Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu.* – Vydavatelství České geologické služby, Praha.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2011): *Geologická minulost České republiky, Vydání 2.* – Academia Praha, Praha.
- Jánský B., Šobr B., Hrdinka T., Zbořil A., Vránek T., Pošta P., Oulehle F., Šnajdr M., Klouček O., Chalupová D. (2003): *Jezera České republiky.* – Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- Leopold L. B., Wolman G. M. (1957): *River Channel Patterns: Braided.* – In: Dury G. H.: *Rivers and River Terraces*, pp. 197-237. Palgrave Macmillan, UK.
- Lowrie W. (2007): *Fundamentals of geophysics*. 2nd edition. – Cambridge University Press, New York.
- Ložek V. (2011): *Po stopách pravěkých dějů: o silách, které vytvářely naši krajinu.* – Dokořán, Praha.

- Malkovský M., Brunnerová Z., Bůžek Č., Čadek J., Čadková Z., Čech F., Čuta J., Domáci L., Elznic A., Fejfar O., Gabriel M., Gabrielová N., Hercogová J., Hokr Z., Kačura G., Kodymová A., Kopecký L., Králík F., Kurendová J., Líbalová J., Malecha A., Manová M., Mašín J., Plzák V., Rákosová M., Řeháková Z., Schovánek P., Schováňková D., Šalanský K., Šebesta J., Šmejkal V., Šrámek J., Štemprok M., Tásler R., Tyráček J., Urban J. (1985): Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. – Ústřední ústav geologický, Academia, Praha.
- Mareš S. (1990): Úvod do užití geofyziky: Celostát. vysokošk. učeb. pro stud. přírodověd. fak. skupiny stud. oborů 12-geologické vědy. 2. přeprac. vyd. – Nakladatelství technické literatury, Praha.
- Marshak S. (2016): Essentials of geology. Fifth edition. – W. W. Norton & Company, New York.
- Matys Grygar T., Nováková T., Bábek O., Elznicová J., Vadinová N. (2013): Robust assessment of moderate heavy metal contamination levels in floodplain sediments: A case study on the Jizera River, Czech Republic. – Science of the Total Environment, 452-453, 233-245.
- Matys G. T., Elznicová J., Kiss T., Smith H. G. (2016a): Using sedimentary archives to reconstruct pollution history and sediment provenance: The Ohře River, Czech Republic. – Catena, 144, 109-129.
- Matys G. T., Elznicová J., Tůmová Š., Faměra M., Balogh M., Kiss T. (2016b): Floodplain architecture of an actively meandering river (the Ploučnice River, the Czech Republic) as revealed by the distribution of pollution and electrical resistivity tomography. – Geomorphology, 254, 41-56.
- Mussett A. E., Khan M. A. (2000): Looking into the earth: an introduction to geological geophysics. – Cambridge University Press, New York.
- Růžičková E. (2001): Quaternary clastic sediments of the Czech Republic: textures and structures of the main genetic types. – Czech Geological Survey, Prague.
- Selley R. C. (1994): Applied sedimentology. – University Press, Cambridge.
- Sharma P. V. (1997): Environmental and engineering geophysics. – Cambridge University Press, New York.

- Simon A., Castro J. (2003): Measurement and Analysis of Alluvial Channel Form. – In: Kondolf G. M., Piégay H.: Tools in fluvial geomorphology, pp. 291-322. Wiley, Hoboken, NJ.
- Tyráček J. (1995): Stratigraphy of the Ohře river terraces in the Most Basin. – Sbor. geol. Věd, Antropozoikum, 22, 141 - 157. Praha.
- Vencáková D. (2016): Hodnocení vývoje krajiny řeky Ohře v okolí vesnice Písty (Budyně nad Ohří). – MS, bakalářská práce, Fakulta životního prostředí UJEP Ústí nad Labem.
- Witten A. J. (2006): Handbook of geophysics and archaeology. – CT: Equinox Pub., Oakville.
- Wolman G. M., Leopold L. B. (1957): Flood Plains. – In: Dury G. H.: Rivers and River Terraces, pp. 166-196. Palgrave Macmillan, UK.

Internetové zdroje:

- www1: Hlavní strana. Číst. Písty (Budyně nad Ohří). Wikipedie. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADsty_\(Budyn%C4%9B_nad_Oh%C5%99%C3%AD\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADsty_(Budyn%C4%9B_nad_Oh%C5%99%C3%AD)) (cit. 20. 3. 2017)
- www2: Mapy. Seznam. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=14.1447412&y=50.4224660&z=16&source=muni&id=1923>
- www3: Locke M. H. (1999): Electrical Imaging surveys for environmental and engineering studies, A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Dostupné z <http://www.heritagegeophysics.com/images/lokenote.pdf> (cit. 19. 4. 2017)
- www4: Meandry Luciny. Geocaching. Dostupné z: https://www.geocaching.com/geocache/GC22ZR5_meandry-luciny-meanders-of-lucina-earthcache?guid=34d2df20-ae1b-4435-b140-e212d74f1c90 (cit. 19. 4. 2017)
- www5: Geofyzikální přístroje. Geoelektrické systémy. ARES. Dostupné z: http://www.gfinstruments.cz/version_cz/index.php?menu=gi&smenu=ires&cont=ares_&ear=ov (cit. 19. 4. 2017)

- www6: Geofyzikální přístroje. Elektromagnetické systémy. CMD. Dostupné z:
http://www.gfinstruments.cz/version_cz/index.php?menu=gi&smenu=iem&cont=cmd_&ear=ov (cit. 19. 4. 2017)
- www7: Main page. Read. Meander. Wikipedia. Dostupné z:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Meander#Scroll-bars> (cit. 20. 4. 2017)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Geologická mapa české části povodí řeky Ohře.....	10
Obr. 2 Ortofotomapa lokality Písty (www2).....	11
Obr. 3 Uspořádání elektrod (Musset a Khan, 2000)	17
Obr. 4 Základní princip metody DEMP	18
Obr. 5 Schéma říční nivy a v něm patrný laterální pohyb koryta v různých generacích (Selley, 1994).....	19
Obr. 6 Schéma transport fluvialních sedimentů mezi korytem a nivou během povodně, upraveno z Hupp a Bornette (2003).....	21
Obr. 7 Schematické znázornění vzniku meandru, zaškrvení a vzniku mrtvého ramene (www4), upraveno	22
Obr. 8 2D vizualizace DEMPu, vyznačení ERT profilů a půdních sond (zpracoval Jiří Štojdl).	28
Obr. 9 Digitální model terénu (zpracovala Ing. Jitka Elznicová, Ph.D.)	29
Obr. 10 Znázornění ERT profilu GOERT1. Použita byla rozteč elektrod 0,5 m.	30
Obr. 11 Znázornění ERT profilu GOERT 2. Použita byla rozteč elektrod 2 m.	30
Obr. 12 Znázornění ERT profilu GOERT 3. Použita byla rozteč elektrod 1 m.	31
Obr. 13 Znázornění ERT profilu GOERT 4. Použita byla rozteč elektrod 1 m.	31
Obr. 14 Znázornění ERT profilu GOERT 5. Použita byla rozteč elektrod 1 m.	32
Obr. 15 Znázornění ERT profilu GOERT 6. Použita byla rozteč elektrod 1 m.	33
Obr. 16 Znázornění ERT profilu GOERT 7. Použita byla rozteč elektrod 1 m.	33
Obr. 17 Výsledky porovnání hodnot odporu a Al/Si z lokality Písty na řece Ohře a z práce Matyše Grygara a kol. (2016b) na Ploučnici.	40

PŘÍLOHY

Příloha 1: Vrt GOERT4-25, profil GOERT4

Příloha 2: Vrt GO126, profil GOERT4

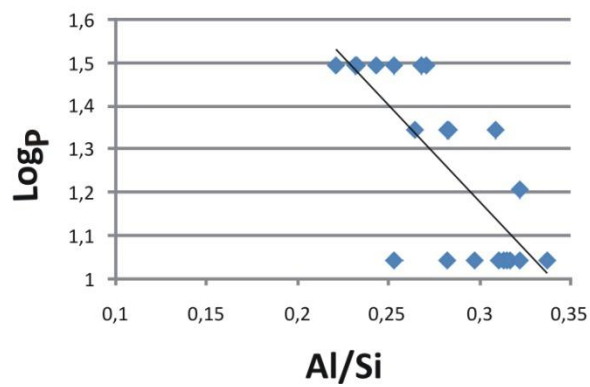
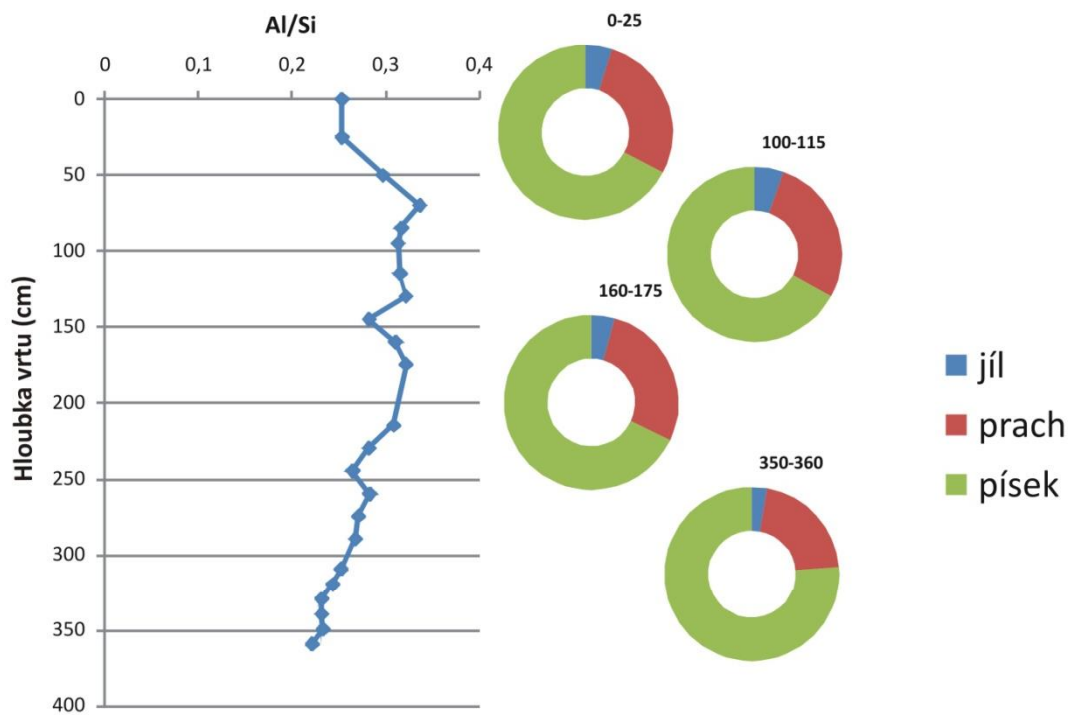
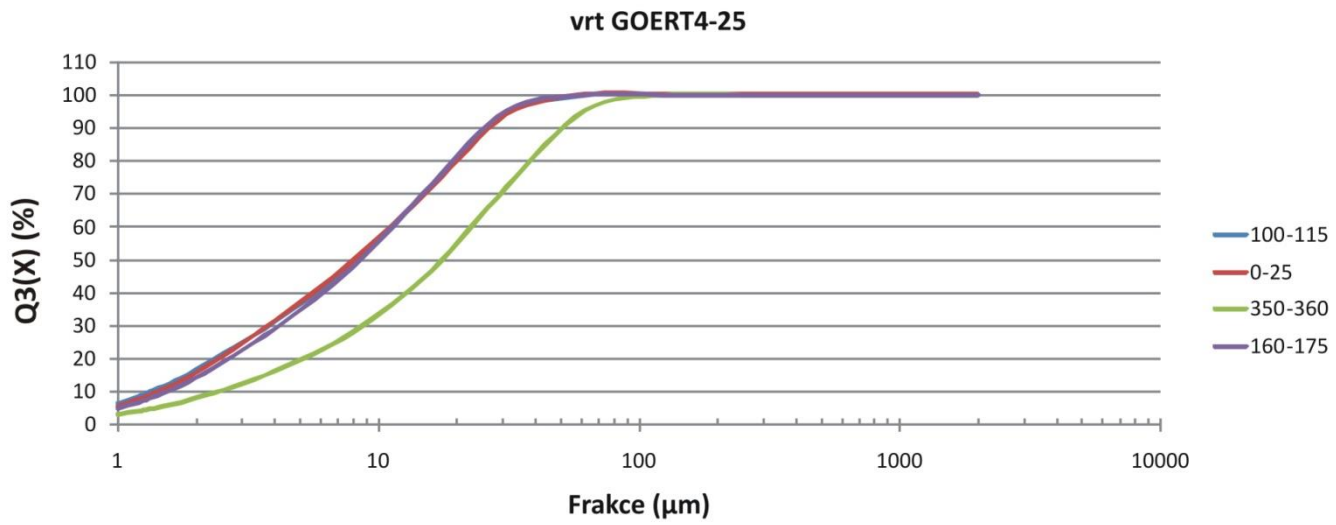
Příloha 3: Vrt GO131, profil GOERT5

Příloha 4: Vrt GO129, profil GOERT5

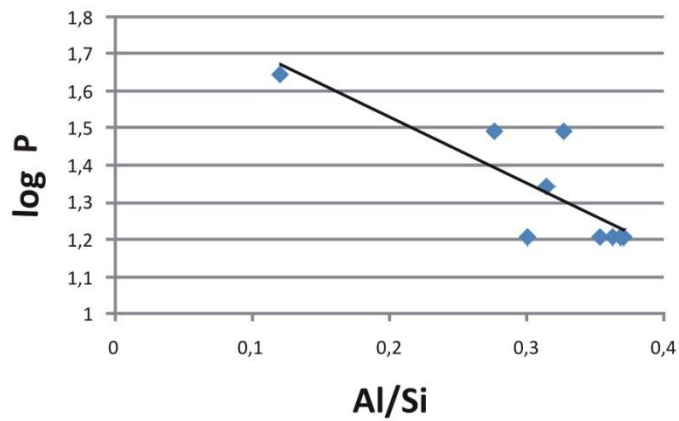
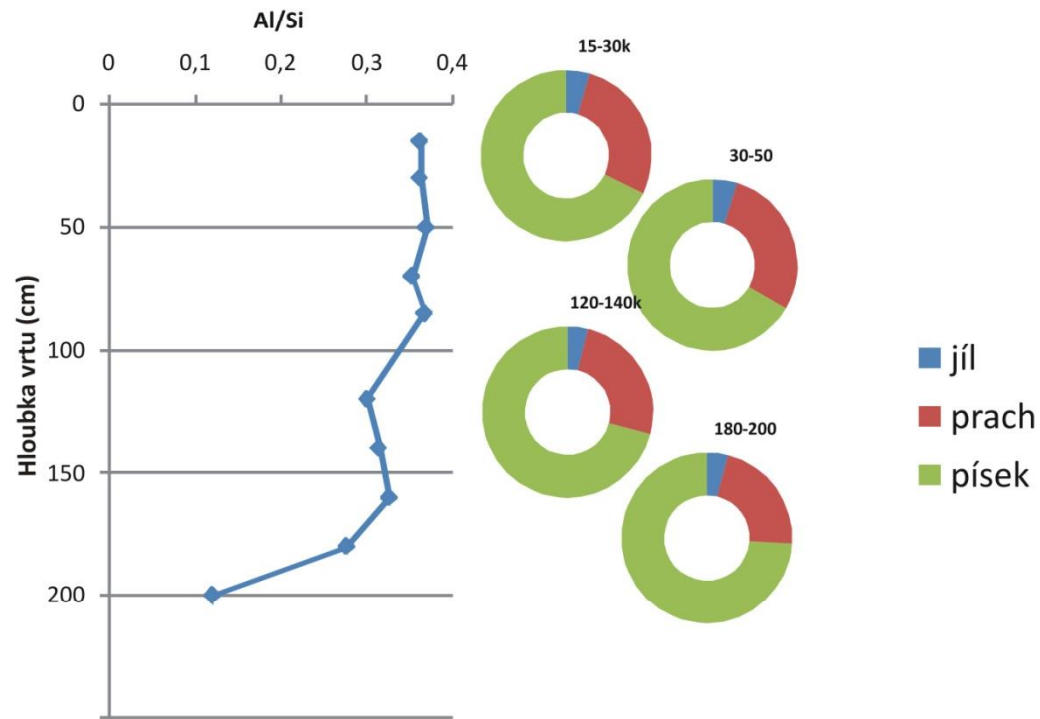
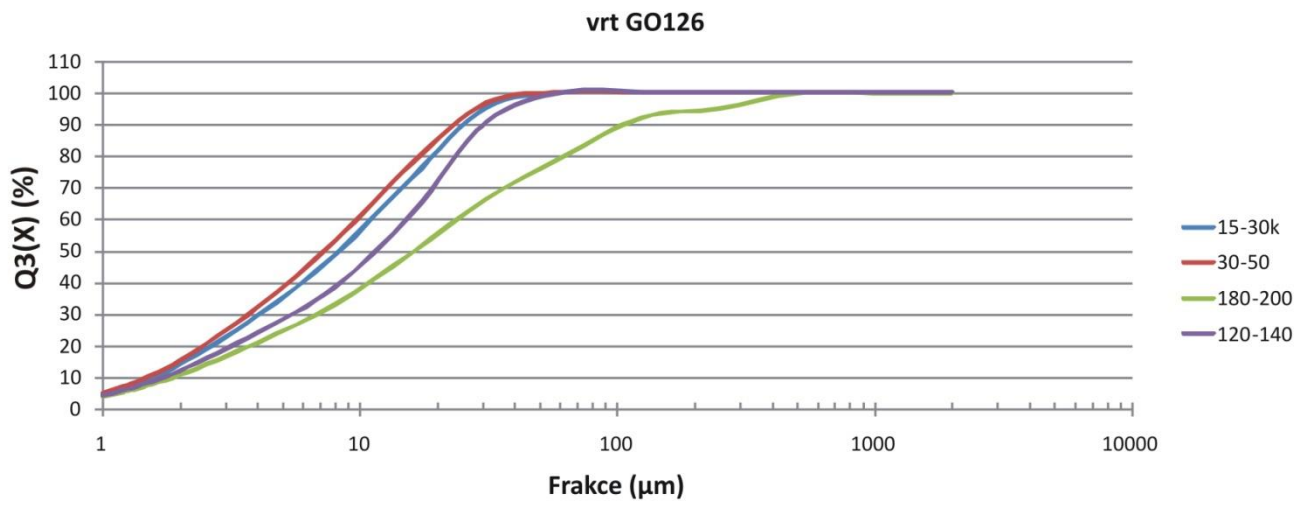
Příloha 5: Vrt GO132, profil GOERT6

Příloha 6: Vrt GO142, profil GOERT7

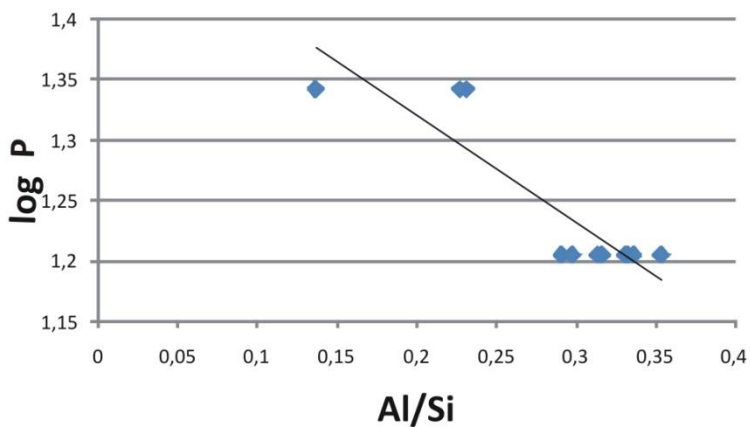
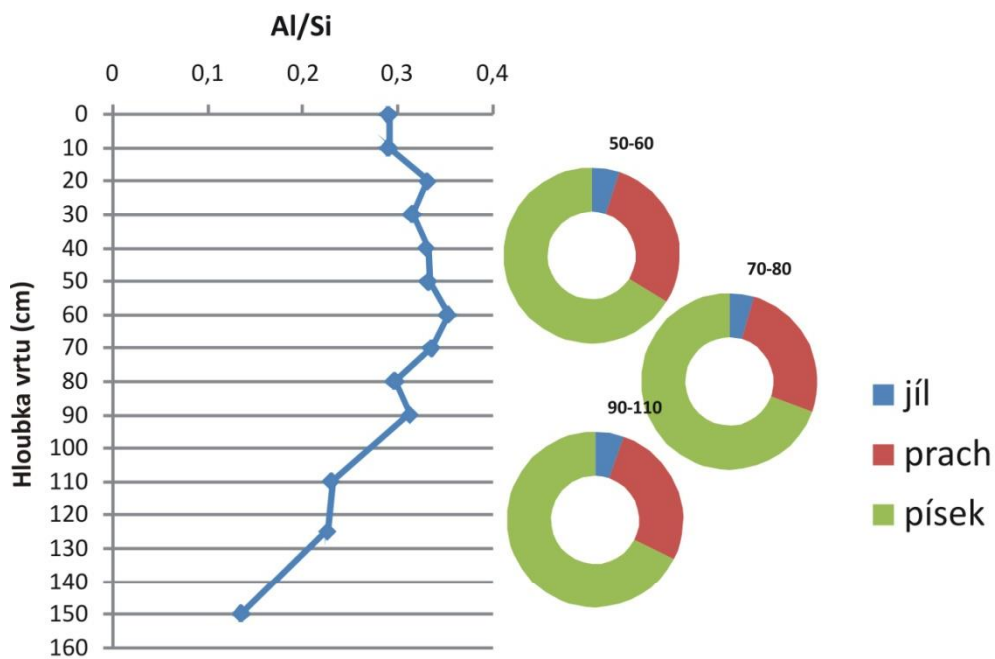
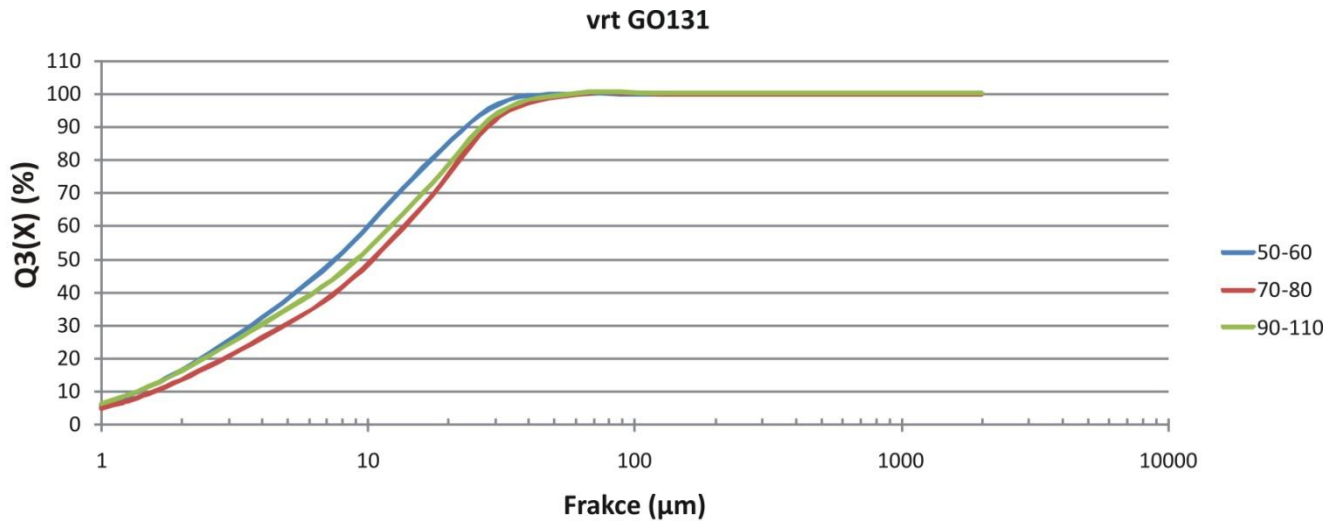
Příloha 1: Vrt GOERT4-25, profil GOERT4



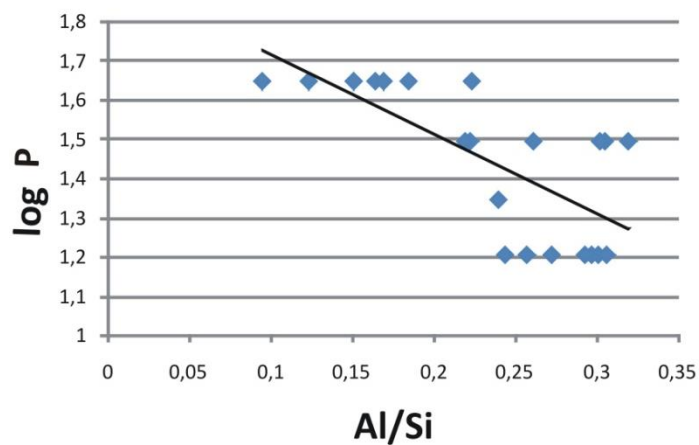
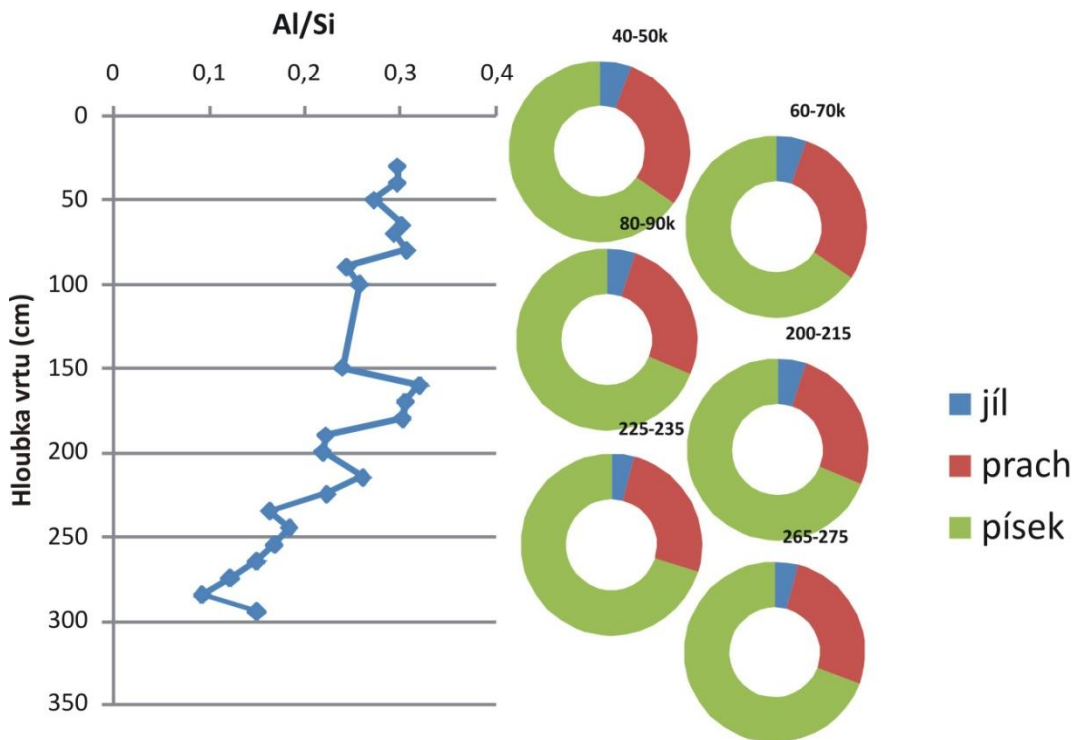
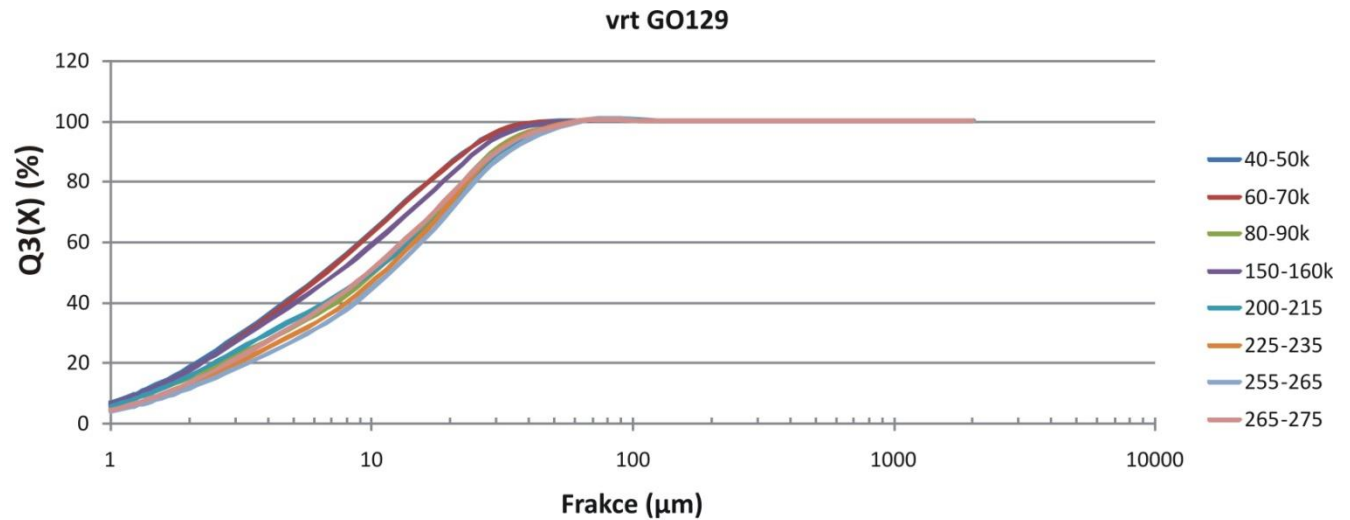
Příloha 2: Vrt GO126, profil GOERT4



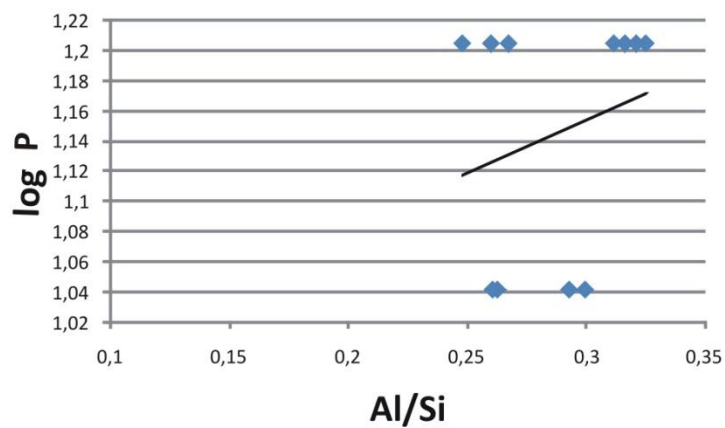
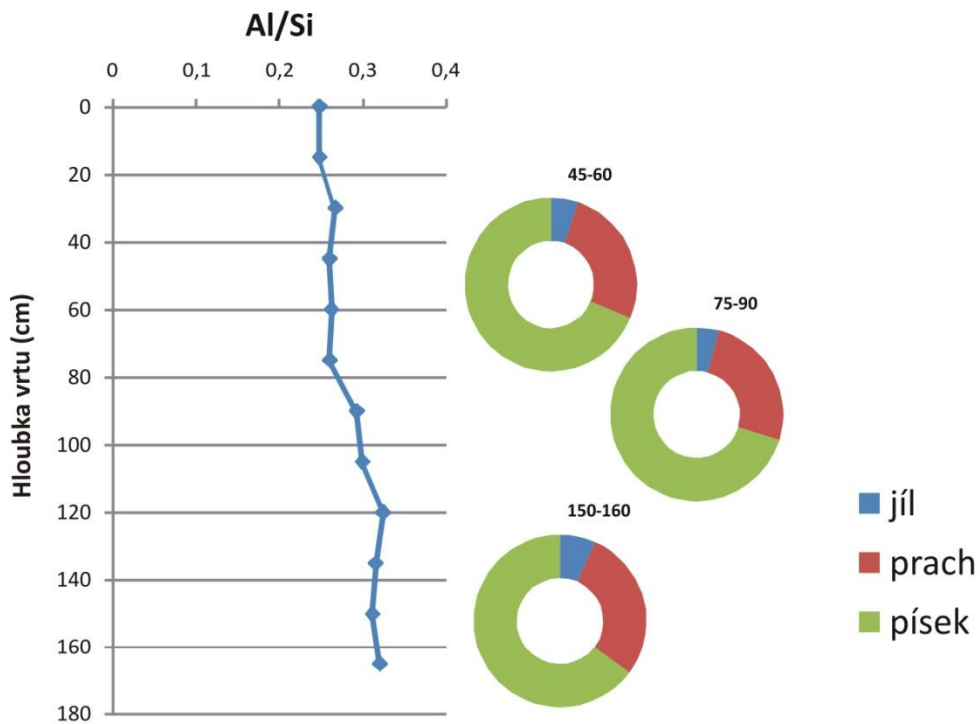
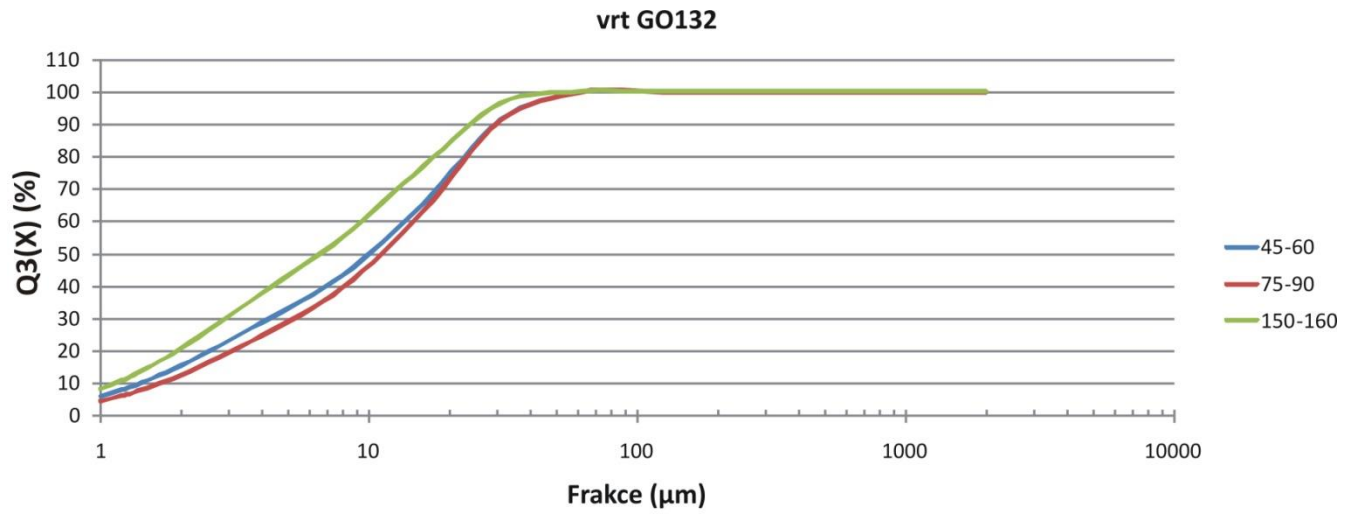
Příloha 3: Vrt GO131, profil GOERT5



Příloha 4: Vrt GO129, profil GOERT5



Příloha 5: Vrt GO132, profil GOERT6



Příloha 6: Vrt GO142, profil GOERT7

