

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geologie



**Popis vnitřní stavby nivy Ploučnice pomocí měření
elektrického odporu a vodivosti metodami ERT a
DEMP**

Bakalářská práce

Michal Šulc

Environmentální geologie (B1201)

Prezenční studium

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

Konzultant: RNDr. Tomáš Matys Grygar, CSc.

Olomouc 2017

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně za použití citované literatury.

V Olomouci dne 10. 5. 2017

.....

Michal Šulc

Poděkování

Velké poděkování patří mému vedoucímu bakalářské práce Mgr. Martinu Faměrovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a pomoci při zpracování. Velký dík patří také Mgr. Aleši Létalovi Ph.D. za pomoc při zpracování dat z přístroje CMD-4. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Tomáši Matysu Grygarovi CSc. za věcné připomínky a pomoc v terénu.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Michal Šulc

Název práce: Popis vnitřní stavby nivy Ploučnice pomocí měření elektrického odporu a vodivosti metodami ERT a DEMP

Typ práce: bakalářská

Pracoviště: Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, katedra geologie

Vedoucí práce: Mgr. Martin Faměra Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2017

Abstrakt: Práce se zabývá využitím a porovnáním metod elektrické odporové tomografie (ERT) a dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) v nivě řeky Ploučnice. Pomocí ERT se měří měrný odpor a pomocí DEMP zdánlivá vodivost. Tyto hodnoty jsou vzájemně porovnatelné, jelikož měrný odpor je převrácená hodnota zdánlivé vodivosti. Práce zjistila, že tyto metody jsou vhodné pro mapování říční nivy a vzájemně se dobře doplňují.

Klíčová slova: elektrická odporová tomografie (ERT), dipólové elektromagnetické profilování (DEMP), rezistivita, konduktivita, Ploučnice

Počet stran: 42

Počet příloh: 0

Jazyk: čeština

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Michal Šulc

Title: Description of an internal structure of the Ploučnice river floodplain by measuring electrical resistivity and conductivity using methods ERT and DEMP

Type of thesis: bachelor

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 deals with the application and comparing of the electrical resistivity tomography (ERT) and dipole electromagnetic profiling (DEMP) in the floodplain of the Ploučnice river. The ERT method measures electrical resistivity and DEMP method measures conductivity. These values are mutually comparable because electrical resistivity is a reverse value of the conductivity. These methods are useful for mapping of the floodplains and they complete each other well.

Keyword: electrical resistivity tomography (ERT), dipole electromagnetic profiling (DEMP), resistivity, conductivity, Ploučnice

Number of pages: 42

Number of appendices: 0

Language: Czech

Obsah

1 Úvod	7
2 Geografická charakteristika zájmové oblasti.....	8
2.2 Hydrogeologie zájmového území.....	9
3 Geologie území.....	11
3.1 Podloží křídly a tektonika.....	11
3.2 Česká křídlová pánev.....	12
3.2.1 Stratigrafické členění české křídlové pánve	14
3.3 Terciér.....	17
3.4 Kvartér.....	17
4 Geofyzikální metody	18
4.1 Elektrická odporová tomografie (ERT).....	18
4.1.1 Měrný odpor hornin.....	19
4.1.2 Typy uspořádání elektrod	20
4.2 Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)	21
5 Metodika.....	23
6 Výsledky.....	26
6.1 Lokalita Boreček.....	26
6.2 Lokalita Sádlo.....	34
7 Diskuze a závěr.....	39
8 Použitá literatura.....	40

1 Úvod

Předložená bakalářská práce se zabývá mělkým podpovrchových geofyzikálním průzkumem v nivě řeky Ploučnice. Pro účely práce byly vybrány dvě metody. První metodou je elektrická odporová tomografie (ERT), která je založena na zavádění elektrického proudu do podloží a zkoumání jeho měrného odporu. Druhou použitou metodou v této bakalářské práci je dipólové elektromagnetické profilování (DEMP). Tato metoda slouží k měření měrné vodivosti. K průzkumu byl použit přístroj ARES a přístroj CMD-4, oba od firmy GF Instruments. Získaná data byla zpracována v programu RES2DINV a QGIS 2.14.0 Essen.

V první části bakalářské práce je zpracována literární rešerše na téma geologie a geomorfologie zájmové oblasti a geofyzikálních metod ERT a DEMP. V další části práce se autor věnuje vlastní práci, ve které jsou zpracována naměřená data a vytvořeny odporové a vodivostní profily, které jsou následně interpretovány a vzájemně porovnány, což je cílem této bakalářské práce.

2 Geografická charakteristika zájmové oblasti

Zájmové území se nachází v Libereckém kraji v okrese Česká Lípa přibližně 3 kilometry jižně od města Mimoň. Území Libereckého kraje se rozprostírá na rozhraní dvou geomorfologických soustav a to soustavy Krkonošsko-jesenické a České tabule (Obr. 1). Na severozápadě do území zasahuje oblast dolního toku řeky Ploučnice. Nejvyšším vrcholem Ralské pahorkatiny je vrchol Ralsko (696 m n. m.), který je zároveň nejvyšším vrcholem České tabule (www1).



Obr.1. Geomorfologická mapa České republiky (www2).

Lokalita Boreček a Sádlo se nachází nedaleko města Mimoň, kterým protéká řeka Ploučnice. Lokalita Sádlo leží v nivě řeky Ploučnice přibližně 8 kilometrů JZ směrem od Města Mimoň (Obr. 2). Lokalita Boreček leží také v nivě řeky Ploučnice přibližně 4 kilometry JJZ směrem od města Mimoň.

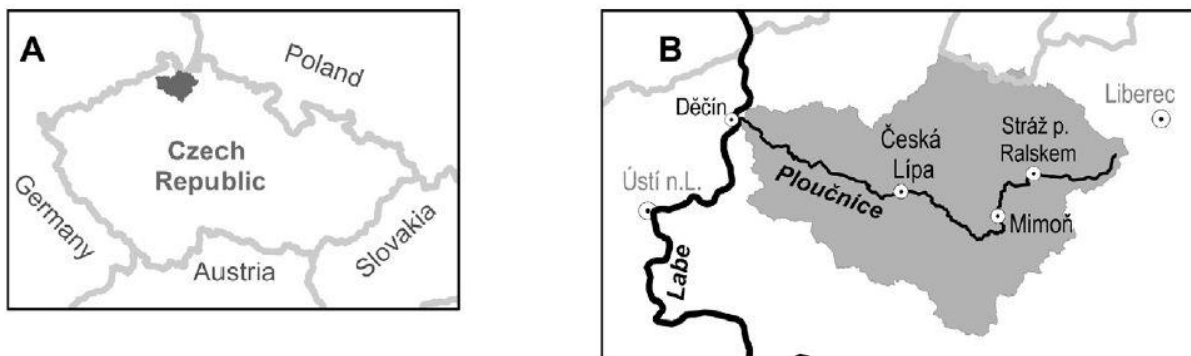


Obr. 2. Vyznačené lokality. (www3, upraveno).

2.2 Hydrogeologie zájmového území

Řeka Ploučnice odvodňuje rozsáhlou oblast české křídové pánve v okolí České Lípy. Pramení v jihozápadním úpatí Ještědského hřbetu a v Děčíně ústí do Labe (Kühn, 1996). Plocha povodí je 1 194 km² a délka toku 106 km (Obr. 3). Průměrný průtok je 2,30 m³/s v Mimoně a 4,90 m³/s v České Lípě (Majerová et al., 2013). Rozdíly v geologické stavbě území, kde Ploučnice protéká, vytváří neobvyklé spádové poměry. Na horním toku, od pramene až k Břevništi, klesá spád řeky z 33,8 % na 2,8 %, ve střední části toku klesá v průměru na 0,8 %, v zájmovém území mezi Českou Lípou a Hradčany dokonce na 0,6 %. Tok zde tvoří četné meandry a vine se poměrně širokou údolní nivou. Na dolním toku řeka pokračuje do oblasti vulkanických hor Českého středohoří a nastává zde zvětšení spádu, kde se údolí zařezává mezi tělesa vulkanických hornin a nevytváří žádnou údolní nivu (Kühn, 2006). V poslední dekádě bylo v nivě řeky Ploučnice u města Mimoň několik povodní (1995, 1999, 2000, 2001, 2005, 2006, 2010, 2013). Povodně byly obvykle krátké s kulminací trvající půl den až den (Majerová et al., 2013).

V sedimentech svrchní křídý jsou vyvinuty dva důležité zvodnělé horizonty. Spodní cenomanský kolektor, který nasedá na nepropustné podloží a je tvořen středně až jemně zrnitými pískovci. Svrchní kolektor je střednoturonský a tvoří ho středně zrnité pískovce. Má volnou hladinu a je napájen infiltrací atmosférických srážek, což z něj dělá významný zdroj pitné vody (Kühn, 1996).



Obr. 3. Česká republika s šedě zvýrazněným povodím řeky Ploučnice (A, detail B). (T. Matys Grygar et al., 2014).

3 Geologie území

3.1 Podloží křídý a tektonika

Z celkové plochy podloží zakrytého svrchnokřídovými sedimenty zaujímají předkarbonské formace přibližně 60 %. Zbývajících 40 % jsou permokarbonské sedimenty. Podstatnou část podloží křídových a permokarbonských sedimentů tvoří prekambriické horninové komplexy (zhruba 70 %). Menší plochu zde tvoří starší paleozoikum, hlavně kambrium a ordovik (15 %) a intruzivní, převážně granitoidní horniny (15 %). Menší podíl starších proterozoických komplexů a granitoidních hornin v oblasti zakryté křídovými sedimenty dokazuje, že území české křídové pánve bylo i ve starších geologických dobách oblastí převažujícího zaklesávání, v níž jsou zachována svrchnější, slaběji přeměněná patra suprakrustální série (Malkovský et al., 1974). Mezozonálně metamorfované sedimenty saxothuringika s granitoidy představují nejstarší jednotku, která tvoří až několik kilometrů široký pruh v jižní části českolipského zlomového pole. V podloží křídý mezi Českou Lípou a Mimoní a v okolí Stráže pod Ralskem se nacházejí epizonálně metamorfované horniny lugika (Kühn, 1996).

Oblast je součástí tektonické jednotky strážeckého bloku, který zde reprezentuje stratigrafii křídý od cenomanu do středního turonu. Strážecký blok zahrnuje plochu 194 km² a je ohraničený po celém obvodu tektonickými liniemi (lužický zlom na severovýchodě, strážecký zlom na severozápadě, zónou neovulkanitů na jihovýchodě a hradčanským zlomem na jihu). Na severozápadní hranici strážecký zlom odděluje strážecký blok od tlusteckého bloku představující pokles přibližně 600 m oproti strážeckému bloku. Celková mocnost křídových sedimentů je 140-400 m (Ekert a Mužák, 2010).

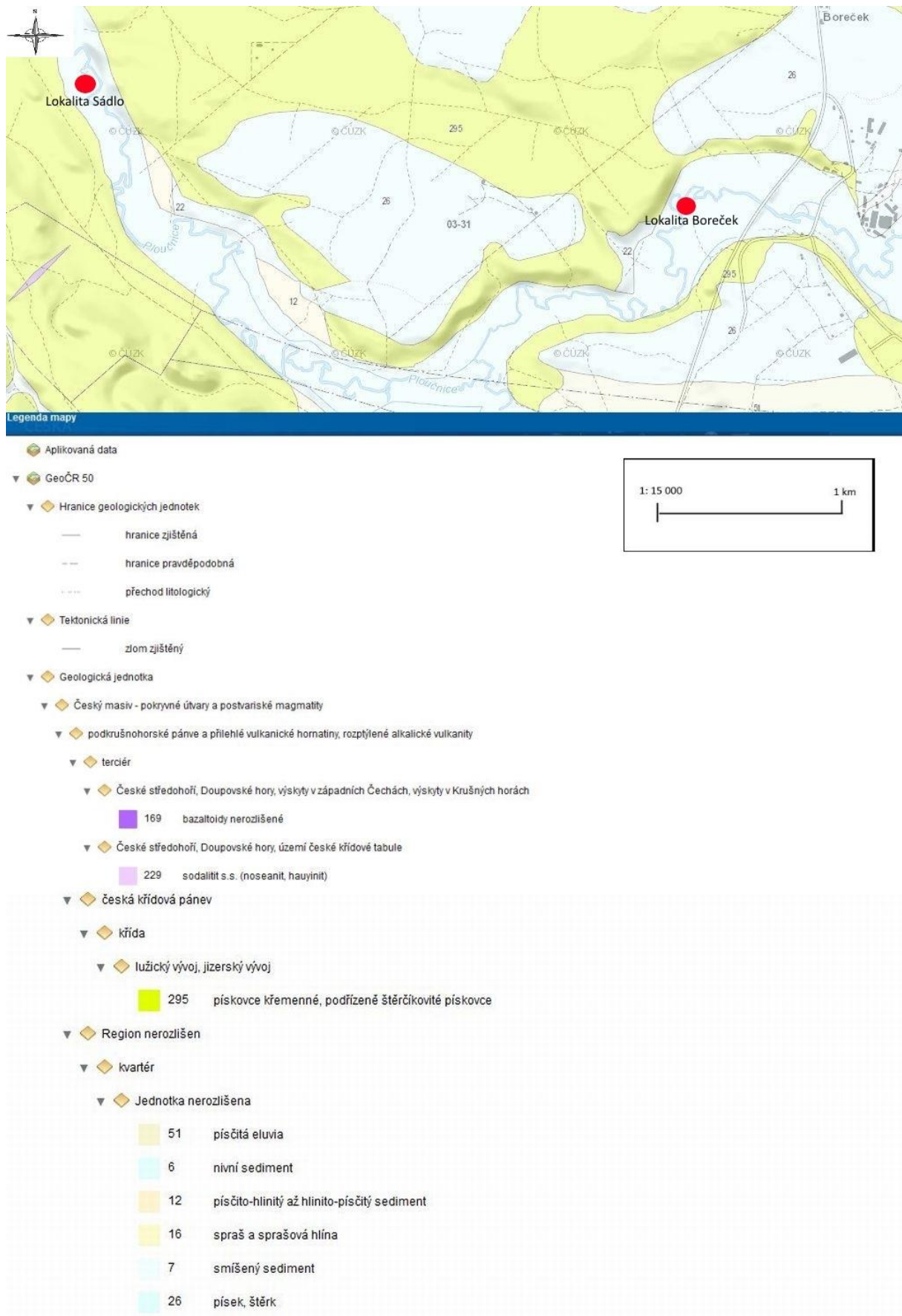
3.2 Česká křídová pánev

Česká křídová pánev (Obr. 4) je nejrozsáhlejší plošně souvislou sedimentární pánví v platformním pokryvu Českého masivu. Pánev zaujímá celkovou plochu 14 600 km², z toho 12 490 km² na území České republiky (Herčík et al., 1999). Podle Mísaře (1983), mají zachované sedimenty svrchní křídý severní části Českého masivu plošnou rozlohu asi 12 490 km², ale není zde započítána křída, která je skrytá pod terciárními uloženinami severozápadních Čech a pod vulkanity Českého středohoří. Herčík et al., (1999) tvrdí, že původní rozsah pánve byl ještě větší, protože okrajové uloženiny nejsou většinou zachovány.



Obr. 4. Schematická geologická mapa české křídové pánve s vyznačením zájmového území (Čech in Chlupáč et al., 2011).

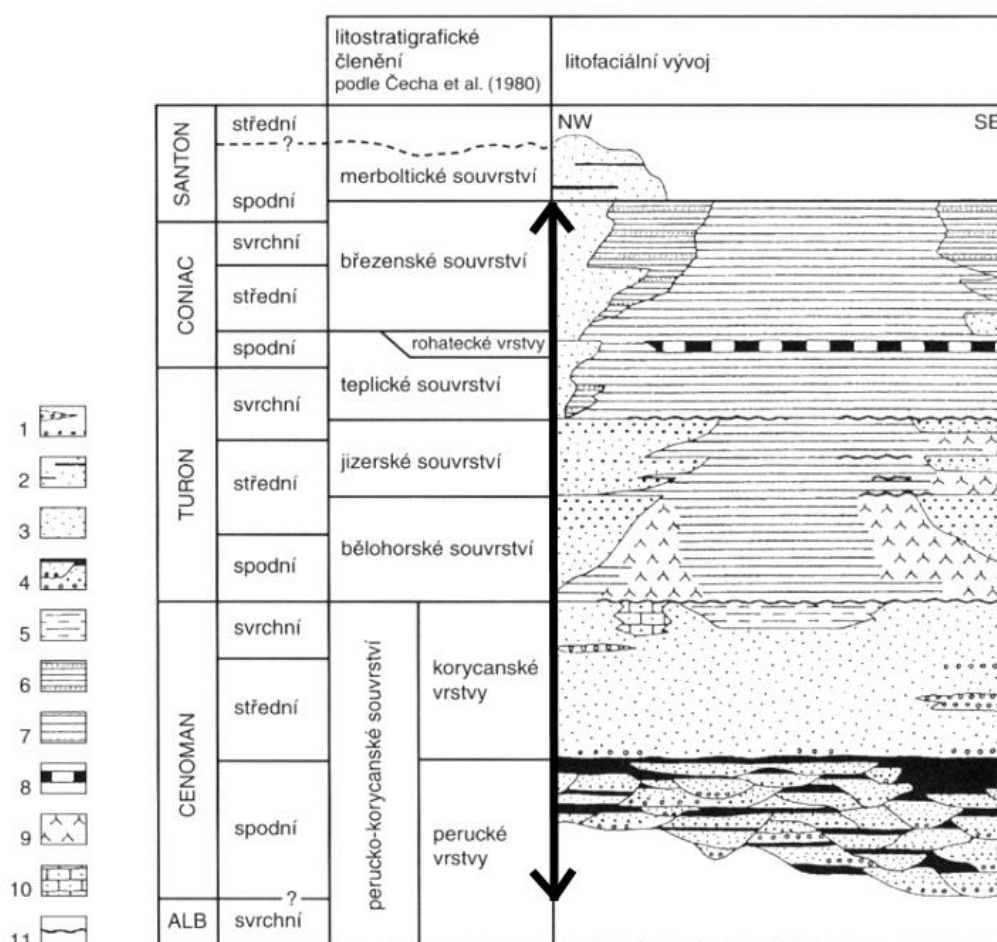
Uložení sedimentů je převážně subhorizontální až horizontální s mocností od 150 do 350 metrů. V zaklesnuté kře tlusteckého bloku dosahuje mocnost přibližně až 700 m. Severozápadně od strážského zlomu, mezi Luhovem a Stráží pod Ralskem, byly zjištěny mocnosti 780 až 806 m (Kühn, 1996). Křídové sedimenty jsou v okolí Stráže pod Ralskem severovýchodně od Mimoně pronikány svrchnokřídovými vulkanity, které tvoří diatremy, případně i maary (Chlupáč et al., 2011).



Obr. 5. Geologická mapa zájmové oblasti (www4, upraveno).

3.2.1 Stratigrafické členění české křídové pánve

Česká křídová pánev je rozdělena na 6 souvrství (Obr. 6): perucko-korycanské, bělohorské, jizerské, teplické, březenské a merboltické (Herčík et al., 1999). V zájmové oblasti jsou zastoupeny sedimenty cenomanu (perucko-korycanské souvrství), turonu (bělohorské, jizerské a část teplického souvrství) a coniacu (část teplického a březenského souvrství). V plné mocnosti jsou vyvinuty korycanské vrstvy a bělohorské souvrství, ostatní jednotky jsou postiženy různým stupněm denudace, která nejvíce postihuje teplické a březenské souvrství. Kromě merboltického souvrství, které je santonského stáří, jsou v oblasti zastoupeny všechny litostratigrafické jednotky (Kühn, 1996).



Obr. 6. Stratigrafické schéma české křídové pánve s vyznačeným rozsahem v zájmové oblasti: 1-slepence; 2-pískovce s vložkami jílovců; 3-pískovce; 4-cyklické střídání slepenců, pískovců a jílovců; 5-prachovce; 6-vápnité jílovce s vložkami pískovců; 7-vápnité jílovce až biomikritové vápence; 8-rohatecké vrstvy; 9-slínovce(opuky); 10-bioklastické vápence; 11-glaukonitické obzory na hiátových plochách (Valečka in Chlupáč et al., 2011).

Perucko-korycanské souvrství tvoří nejstarší část výplně pánve a dělí se na dvě jednotky: vrstvy perucké a korycanské. Perucké vrstvy jsou obvykle mocné několik metrů až desítek metrů, při jihovýchodním kraji pánve až 100 m (Herčík et al., 1999). Jsou nejnižším členem a v optimálním případě je tvoří několik cyklů, které začínají křemennými slepenci a pískovci a přecházejí přes prachovce do jílovců. Jedná se o říční, jezerní, bažinné, deltové a lagunární sedimenty, jež leží na zvětralinovém plášti fundamentu buď ostře, nebo formou opakovaného přeplavování zvětralin, v tom případě neostře. Většinou se jedná o pískovce. Výskyt peruckých vrstev je závislý na místních poměrech a tvarech podložního reliéfu, což odráží proměnlivou mocnost. Na starších elevacích perucké vrstvy chybějí (Mísař, 1983; Chlupáč et al., 2011).

Nadložní vrstvy korycanské jsou dokladem cenomanské mořské sedimentace, do peruckých vrstev mohou i částečně laterálně přecházet. Transgrese svrchnokřídového moře probíhala během cenomanu v několika fázích, z čehož plyne vzájemné zastupování sladkovodních a mořských sedimentů (Chlupáč et al., 2011). Podle Mísaře (1983), pokrývají mělkovodní mořské sedimenty korycanských vrstev téměř celou pánevní plochu. Ve spodní části vrstev na bázi leží mělkomořské křemenné pískovce s kaolinitovým pojivem a lokálně se vyskytují i slepence nebo brekcie. Výše leží vápnité nebo jílovité pískovce s akcesorickým často až hojným glaukonitem. Prachovce až jílovce se místně vyznačují relativně zvýšenými obsahy organického uhlíku (až kolem 1 %), což indikuje projevy globální anoxické události při rozhraní cenoman/turon (Uličný 1989 in Herčík et al., 1999).

Bělohorské souvrství představuje etapu dalšího prohloubení a rozšíření areálu mořské sedimentace. Na bázi je zpravidla poměrně stálá poloha vápnitých šedozelených glaukonitických jílovců s mocností 10-50 cm, na kterou nasedají charakteristické převážně světle šedé a žlutavé slínovce s prachovou příměsí. V oblastech s přínosem písčitého materiálu, převládají kvádrové pískovce (Chlupáč et al., 2011). Spodní hranice souvrství je často ostrá a vyznačuje se zesílením jílovitého podílu, přítomností pyritu a fosfátových konkrecí (Mísař et al., 1983). Podle Herčíka (1999), je zaplavena a překryta slínovci většina ostrovních elevací, které ještě koncem ukládání korycanských vrstev dodávaly do blízkého okolí abrazovaný materiál.

15-400 m mocné středně turonské jizerské souvrství, představuje mělkomořské prostředí a jeho písčité facie zasahuje od lužického a jílovického zlomu přes Hřensko až k Mělníku (Mísař et al., 1983). Jizerské souvrství odráží další etapu svrchnokřídové transgrese. Plošný rozsah pánve se nadále zvětšoval a moře zaplavilo i nejvyšší elevace. V místech vzdálených od zdrojů písčitého materiálu pokračovalo ukládání vápnných jílovců, slínovců a opuk a v místě přínosu hrubšího materiálu z plochých pevnin se hromadila mocná tělesa kvádrových pískovců (Chlupáč et al., 2011). Ze všech stratigrafických jednotek se jizerské souvrství vyznačuje největšími změnami ve faciálním vývoji a největšími, až řádovými změnami v mocnostech (Herčík et al., 1999).

Teplické souvrství reprezentuje monotónní mělkomořské komplexy vápnných jílovců, slínovců až jílovitých vápenců, které jsou brány jako snos z ostrovní souše, která byla velmi plochá (Malkovský et al., 1974). Psamity se vyskytují nejméně za celou dobu trvání české křídové pánve (Herčík et al., 1999). Mocnost teplického souvrství se pohybuje od 30 do 110 m, stáří odpovídá svrchnímu turonu až spodnímu coniak (Mísař et al., 1983).

Rohatecké vrstvy představují mělkomořské vápnné jílovce až slínovce s vložkami silicifikovaných nebo karbonátových sedimentů stáří coniak. Pravděpodobně se jedná o pouhou litofacii bez stratigraficky fixní plochy (Malkovský et al., 1974).

Březenské souvrství tvoří reliktní mělkomořské pánevní výplně, v úplnosti je zachováno jen v Českém středohoří, kde jej před odnosem chránil pokryv terciérních neovulkanitů (Chlupáč et al., 2011). Podle Mísaře (1983), je stáří souvrství střední až svrchní coniak. Ve střední a západní části pánve jsou vápnné jílovce až slínovce, které zastupují laterálně pískovce. Oproti teplickému souvrství obsahuje flyšoidní sedimenty, ale postrádá karbonáty. V souvrství se nachází tři základní litofacie: a) facie psamitická, b) facie vápnných pelitů až prachovců s vložkami pískovců, běžně označovaná jako flyšoidní a c) monotónní facie vápnných pelitů (Herčík et al., 1999).

Nejmladší jednotkou české křídové pánve je merboltické souvrství, které se zachovalo pouze jako denudační zbytky v Českém středohoří v podloží terciérních vulkanitů. Vyskytují se zde méně zpevněné jemně až středně zrnité bělavé pískovce s jílovitou základní hmotou a příměsí živcových zrn. Merboltické souvrství se považuje za regresní uloženiny (Chlupáč et al., 2011). Mocnost vrstev je až 150 m a stáří je santon (Mísař et al., 1983).

3.3 Terciér

Z terciérních hornin se v zájmové oblasti vyskytují pouze neovulkanity, které jsou zde soustředěny hlavně v severovýchodním pokračování oherského riftu. Sedimenty se zde nezachovaly (Kühn, 1996). Typickými horninami jsou ultrabazické alkalické horniny melilitické skupiny. Tvoří zpravidla žilná podpovrchová tělesa, odkrytá v Podještědí a okolí města Mimoně. V širším okolí se vyskytují i žilné polzenity (z německého názvu řeky Ploučnice), alkalické horniny, které neobsahují nebo obsahují jen minimální množství augitu. Dále obsahují nefelin, olivín a melilit. Magma melilitových hornin vzniklo pravděpodobně tavením peridotitů ve svrchním plášti a v pozdně magmatickém stadiu došlo k obohacení o U, Th, Zr, Nb a Ta a další prvky, což může být jedním ze zdrojů uranového a zirkoniového obohacení křídových sedimentů na ložiscích u Hamru (Ulrych et al., 1988).

3.4 Kvartér

Podle Hoška (2014), mají na horním toku Ploučnice hlavní zastoupení štěrkopískové říční terasy a váté písky. Jedná se tedy spíše o akumulární oblast. V pestré škále a velkém rozsahu jsou zde zastoupeny pleistocénní a holocénní sedimenty. Proluviální a fluviální štěrky středního pleistocénu jsou nejstarší. Místy rozsáhle pokrývají tvoří o něco mladší fluviální štěrky a písky, stejně jako eolické sedimenty svrchního pleistocénu. Významně jsou zde zastoupeny deluviální sedimenty. Současná údolí vyplňují holocénní sedimenty, na které jsou vázány i výskyty organických sedimentů (Kühn, 1996).

4 Geofyzikální metody

V posledních desetiletích se využití geofyzikálních technik stalo populární ve velké většině geomorfologických studií (Schrott a Sass, 2008). Informace o geologické stavbě se zprostředkovávají studiem fyzikálních polí, která jsou ovlivněna rozdílnými fyzikálními vlastnostmi hornin a nerostů. Horniny se liší např. různou hustotou, elektrickou vodivostí, magnetickou susceptibilitou nebo radioaktivitou (Mašín a Válek, 1963). Popis a interpretace geomorfologického měření, které využívají geofyzikální nástroje, může výrazně ovlivnit shromažďování dat a následné modelovací postupy (Schrott a Sass, 2008). Geofyzikální metody se dělí podle daného fyzikálního principu na metody gravimetrické, magnetometrické, radionuklidové, geoelektrické, elektromagnetické a seismické (Sedláček, 2013).

4.1 Elektrická odporová tomografie (ERT)

Všechny odporové metody využívají umělý zdroj elektrického proudu, který je dodáván do země skrze bodové elektrody nebo dlouhé linie kontaktů. Procedura probíhá měřením potenciálů mezi párem elektrod v blízkosti stávajícího proudu (Telford et al., 1990). Elektrody jsou rozloženy na profilové linii, podél které se měří hodnoty měrného elektrického odporu. Jelikož se zkoumá hloubková stavba za použití většího počtu elektrod, užívá se také termín multielektrodové profilování (Sedláček, 2013). Výhodou této metody je velká variabilita konfigurace a rozmístění elektrod. Vzdálenosti mezi elektrodami mohou mít rozmezí od několika centimetrů až po desítky metrů. Uspořádání elektrod může být vybráno podle cíle zkoumání (Schrott a Sass, 2008). Elektrická odporová tomografie má mnoho výhod oproti dalším metodám, ohledně získávání sedimentologických informací při mělkém podpovrchovém průzkumu. Příkladem použití je zmapování pískových a štěrkových uloženin, pohřbených jílem nebo prachem. Žádná jiná technika nedosahuje takové přesnosti (Baines et al., 2002).

4.1.1 Měrný odpor hornin

Měrný odpor (rezistivita) je základním parametrem elektrických vlastností hornin a je ovlivněn řadou faktorů jako jsou mineralogické složení, stupeň nasycení vodou, porozita a mineralizací vody zaplňující póry, struktura a textura hornin, tlak a teplota (Mareš et al., 1990). Odpor je fyzikální veličina, která charakterizuje schopnost látek vést elektrický proud. Počítá se Ohmovým zákonem, jenž vyjadřuje vztah mezi elektrickým odporem, napětím a proudem. Z tohoto vychází jednotka $\text{ohm}\cdot\text{m}$. Řecký symbol ρ se často užívá jako značka veličiny měrného odporu (Palacky, 1987).

Součtem měrných odporů primárních i sekundárních minerálů je měrný odpor hornin (Tab. 1). Pokud vzrůstá stupeň zvětrání horniny, tak měrný odpor klesá. Přítomnost trhlin, puklin a pórů, jež mají tenký vodní film na svém povrchu, zvyšuje vodivost hornin (Sedláček, 2013).

Tab. 1. Měrný odpor vybraných hornin a minerálů (Milsom a Eriksen, 2003).

Materiál	Měrný odpor ($\Omega\cdot\text{m}$)	Rudní minerál	Měrný odpor ($\Omega\cdot\text{m}$)
ornice	50-100	pyrit	0,01-100
vlhký písek	500-5000	chalkopyrit	0,005-0,1
suchý písek	1000-5000	galenit	0,001-100
jíl	1-100	sfalerit	1000-1 000 000
štěrk	100-1000	magnetit	0,01-1000
pískovec	200-8000	kasiterit	0,001-10 000
vápenec	500-10 000	hematit	0,01-1 000 000
břidlice	10-1000		
bazalt	200-100 000		
granit	200-100 000		
peridotit	100-100 000		
kvarcit	500-800 000		

4.1.2 Typy uspořádání elektrod

Při měření se využívá různých zapojení uspořádání elektrod. Podle účelu daného měření je důležité vhodně zvolit uspořádání elektrod, délku kontinuálně položeného profilu a rozstup jednotlivých elektrod. Kombinací těchto faktorů získáme požadovaný hloubkový dosah, délku měřeného profilu a také větší rozlišovací schopnost (Tábořík a Pánek, 2010).

Schlumbergerovo zapojení pokrývá širokou škálu úkolů, zejména zobrazování vodorovných vrstev. Pro detekci větších nehomogenit různého tvaru a směru jako širších prasklin, tektonických zón, rudních žil a kontakt vrstev s vysokým rozdílem odporů, je také efektivní (GF Instruments). Toto zapojení má malou vzdálenost měřících elektrod. Při měření musí být dodržena podmínka gradientových uspořádání a dipól je umístěn stabilně. Proudové elektrody se vzdalují od středu na obě strany (Sedláček, 2013). Poskytuje střední rozlišení vhodné pro podrobné zkoumání mělkých struktur. Je to běžně užívaná metoda pro měření široké škály odporů. Nižší odolnost proti elektrickému šumu je způsobena nižší úrovní naměřených potenciálů (GF Instruments).

Wennerovo zapojení je nejběžněji užívané zapojení. Elektrody jsou rovnoměrně rozmístěny v řadě. Navzdory jednoduché geometrii je toto zapojení docela nevhodné pro práci v terénu a má také určité nevýhody (Telford et al., 1990). Je to nejrychlejší metoda a má nízké rozlišení, což z ní dělá nevhodnou pro podrobné zkoumání hlubších struktur. Vyznačuje se vysokou odolností proti elektrickému šumu (GF Instruments). Vzdálenost všech sousedních elektrod je stejná a přitom je uspořádání symetrické. Je nejvyužitelnější k detekci vodorovných vrstev (Sedláček, 2013).

Při zapojení Dipól-Dipól jsou potenční elektrody rozmístěny blízko sebe a jsou vzdálené od proudových elektrod, které jsou také blízko sebe. (Telford et al., 1990). Nejvíce podrobná metoda zejména pro zjišťování svislých struktur, včetně tenkých trhlin, rudních žil a dutin. Má vysoké rozlišení umožňující maximální možnou charakteristiku hlouběji umístěných struktur. Efektivní hloubkový dosah je silně omezen prudkým snížením potenciálu na větší vzdálenost dipólu (GF Instruments).

Pól-Dipól zapojení je nejúčinnější metodou pro odhalení všech svislých struktur i štíhlých prasklin s velkým hloubkovým rozsahem. Metoda má vysoké rozlišení (GF Instruments). Jedna z proudových elektrod je připevněna ve velké vzdálenosti od odstatních tří (Obr. 7), přičemž všechny z nich mohou mít různé rozestupy (Telford et al., 1990).

		Electrodes array	K
2D	Wenner		$2\pi a$
	Wenner-Schlumberger		$\pi n(n+1)a$
	Dipole-Dipole		$\pi n(n+1)(n+2)a$
	Pole-Pole		$2\pi a$
	Pole-Dipole <i>Forward</i>		$2\pi n(n+1)a$
	<i>Reversed</i>		
3D	Square		$\frac{2\pi a}{2 - \sqrt{2}}$

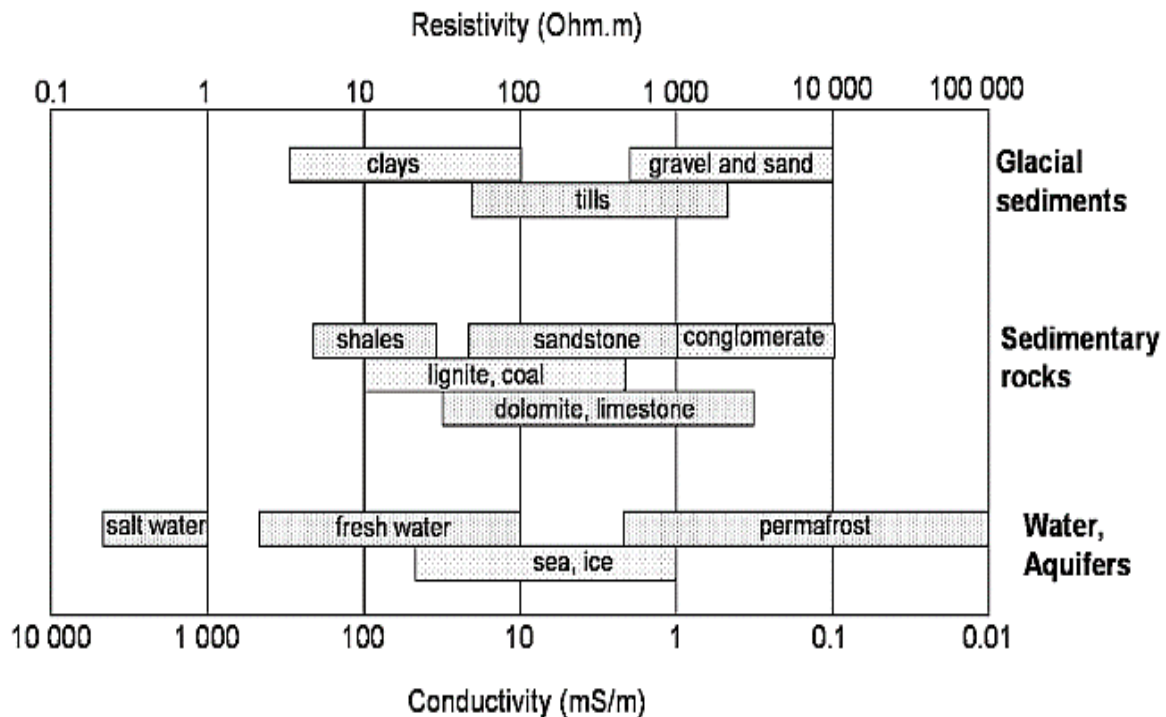
A and B current electrodes, M and N potential electrodes
A: spacing between electrodes used in a particular measurement
n: spacing factor (integer values 1-6)
x: distance to "infinite electrodes" in pole-pole array

Obr. 7. Základní typy uspořádání elektrod (Samouělian et al., 2005).

4.2 Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

Dipólové elektromagnetické profilování je metoda, při které se přístrojem zvaným konduktometr, měří zdánlivá vodivost země. Magnetický dipól, který je vytvářen cívkou, jíž protéká střídavý proud, je zdrojem primárního elektromagnetického pole. Primární elektromagnetické pole indukuje v zemi male vířivé proudy, jejichž intenzita je dána vodivostí hornin. Měří se magnetické pole, které tyto proudy způsobují (Sedláček, 2013). Pro označení měrné elektrické vodivosti (konduktivity) se užívá písmeno sigma (σ). Je to opačná hodnota rezistivity $\sigma = 1/\rho$. To znamená, že $1\text{mS/m} = 1000\text{ohm}\cdot\text{m}$ (Obr. 8). Konduktivita se uvádí

v jednotkách siemens na metr (S/m). Hodnoty milisiemens na metr se užívají konduktivitu malých hodnot (Palacky, 1987). Elektromagnetická indukce, která je zdrojem vzruchu v odporových metodách, je základ mnoha geofyzikálních metod, které byly dříve používány k vyhledávání sulfidických rud, avšak dnes jsou stále více používány pro hloubkové měření a geologické mapování (Milsom a Eriksen, 2011).



Obr. 8. Typické rozsahy rezistivity a konduktivity (Samouëlian et al., 2005).

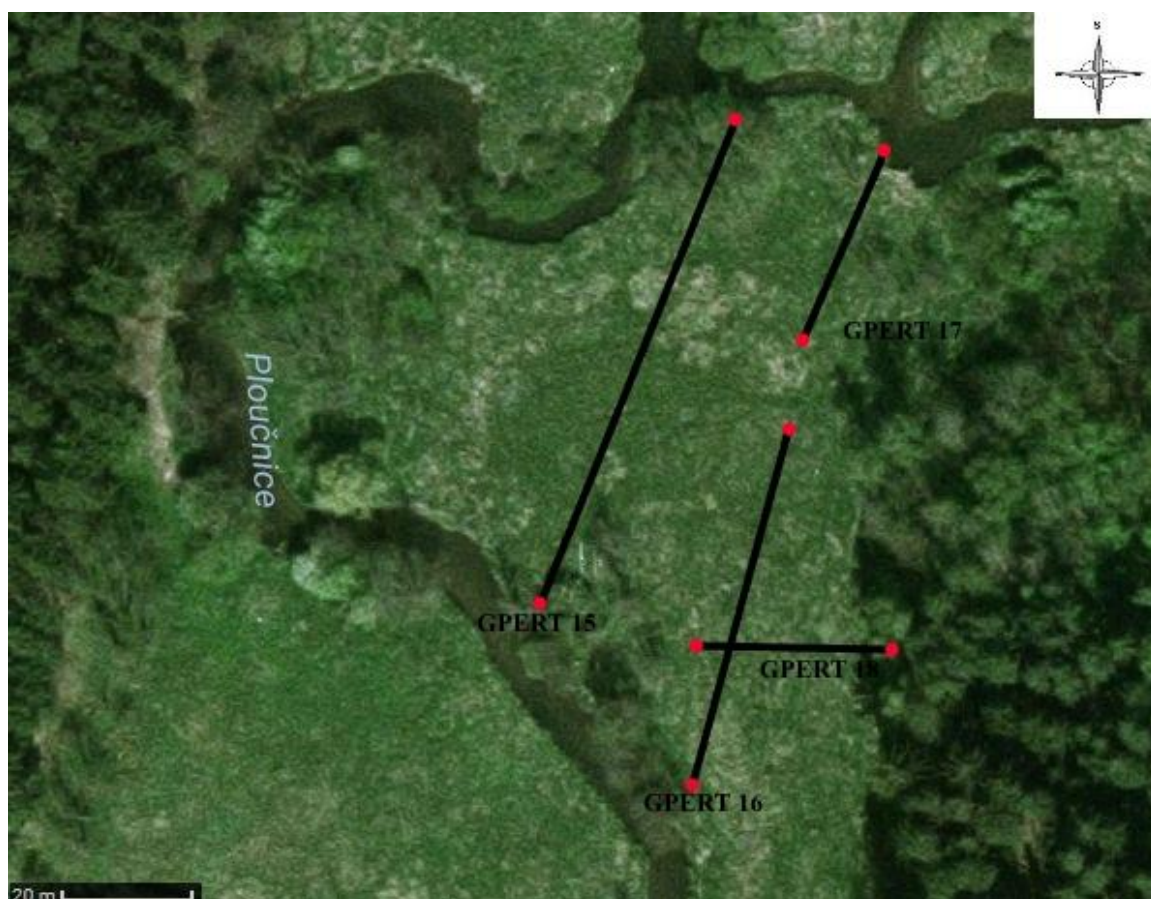
Tato metoda používá aktivního zdroje elektromagnetických vln, který vysílá směrovaný signál do země a zpět přijímá jeho odezvu. Vytváří plošný snímek přípořchové části horninového masivu a takto je možné podrobně a rychle získat snímek hodnot zdánlivé měrné vodivosti. Z těchto rozdílů vodivost lze usuzovat na změny litologie hornin, vlhkosti nebo přítomnost cizích těles, jako jsou inženýrské sítě. Fázové změny pak odrážejí magnetické vlastnosti hornin a je možné detekovat kovové předměty, cihelné zdivo nebo jiné umělé magneticky aktivní materiály (Minář, 2010). Největší výhoda elektromagnetických konduktometrů je rychlé a bezkontaktní mapování zdánlivé konduktivity (GF Instruments).

5 Metodika

Na lokalitě Boreček, v nivě řeky Ploučnice, byly naměřeny 4 odporové profily (Obr. 9, Tab. 2).

Tab. 2. GPS souřadnice ERT profilů na lokalitě Boreček.

Profil	Začátek	Konec
GPERT 15	N 50° 37.875' E 14° 42.607'	N 50° 37.835' E 14° 42.581'
GPERT 16	N 50° 37.849' E 14° 42.613'	N 50° 37.820' E 14° 42.600'
GPERT 17	N 50° 37.874' E 14° 42.627'	N 50° 37.858' E 14° 42.615'
GPERT 18	N 50° 37.831' E 14° 42.605'	N 50° 37.831' E 14° 42.625'



Obr.9. Odporové profily na lokalitě Boreček.

Pro potřeby porovnání hodnot zdánlivé vodivosti a měrného odporu byly v bakalářské práci použity 2 odporové profily z diplomové práce Andrey Tipanové. Oba tyto profily se nachází na lokalitě Sádlo.

Pro měření byl použit přístroj ARES (Automatic Resistivity System) firmy GF Instruments s.r.o. Systém se skládá z automatické řídicí jednotky, multielektrodových kabelů, ocelových elektrod, T kusu (slouží k propojení řídicí jednotky a multielektrodového kabelu) a externí baterie, která obstarává napájení celého systému (Obr. 10). U všech měření byla použita metoda Wenner-Schlumberger s délkou impulzu 0,5 s a sčítání dat (stacking) ze 4 měření v každém bodě. Rozestup elektrod byl u všech měřených profilů 0,5 metru.



Obr.10. Řídicí jednotka ARES při měření na lokalitě Boreček. (Foto: Michal Šulc).

Naměřená data byla zpracována v programu RES2DINV. Program pracuje s inverzí dat z jednotlivých pseudosekcí za použití zhlazení metodou nejmenších čtverců. Poté je vytvořen dvourozměrný model odporů v ose geoelektrického profilu. Po zanesení topografie je vytvořen dvourozměrný inverzní model rozložení odporů.

Pro vyhodnocení konduktivity byl na lokalitě Boreček (rozloha cca 7000 m²) a lokalitě Sádlo (rozloha cca 15 000 m²) použit konduktometr CMD-4, firmy GF Instruments s.r.o. Zařízení se skládá z dlouhé tyče, kterou lze pro potřeby přemístění rozložit na 3 dílčí části. V jedné části je vysílací cívka, v druhé části měřicí cívka a na prostřední část je připevněna řídicí jednotka, GPS zařízení a popruhy pro snadnou manipulaci (Obr. 11). Měření probíhá za chůze každých 0,5 sekundy a ke každé zaznamenané hodnotě zdánlivé vodivosti (mS/m) je přidružena i GPS poloha. Efektivní hloubkový dosah přístroje byl nastaven na 3 m (nastavení *low*). Rozlišovací schopnost přístroje je 0,1 mS/m s přesností +/- 4%. Naměřená data byla upravena v programu QGIS 2.14 Essen. Po interpolaci byla následně vytvořena mapa vodivosti zájmových území.

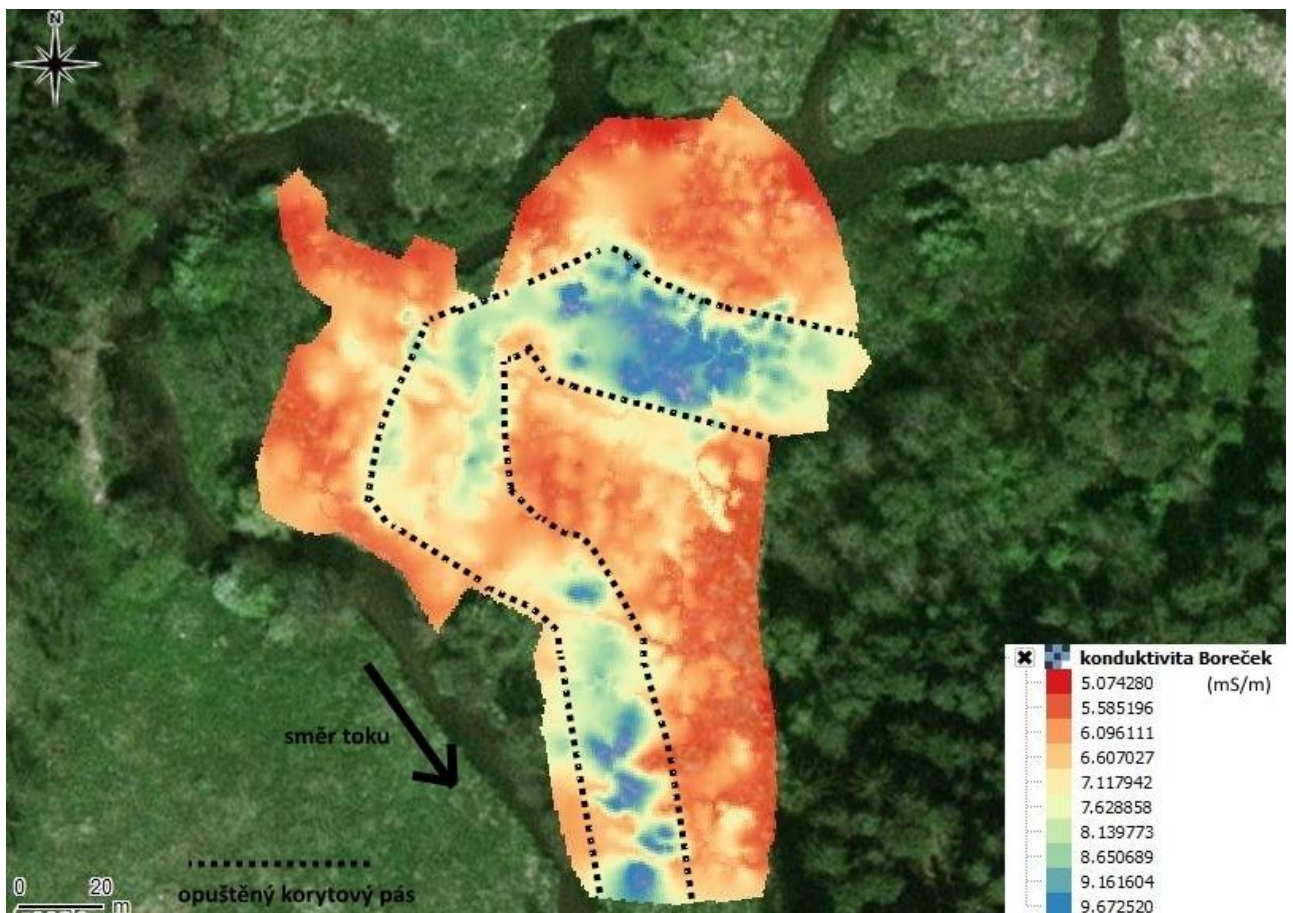


Obr. 11. Konduktometr CMD-4 při práci v terénu na lokalitě Sádlo. Foto: Martin Faměra.

6 Výsledky

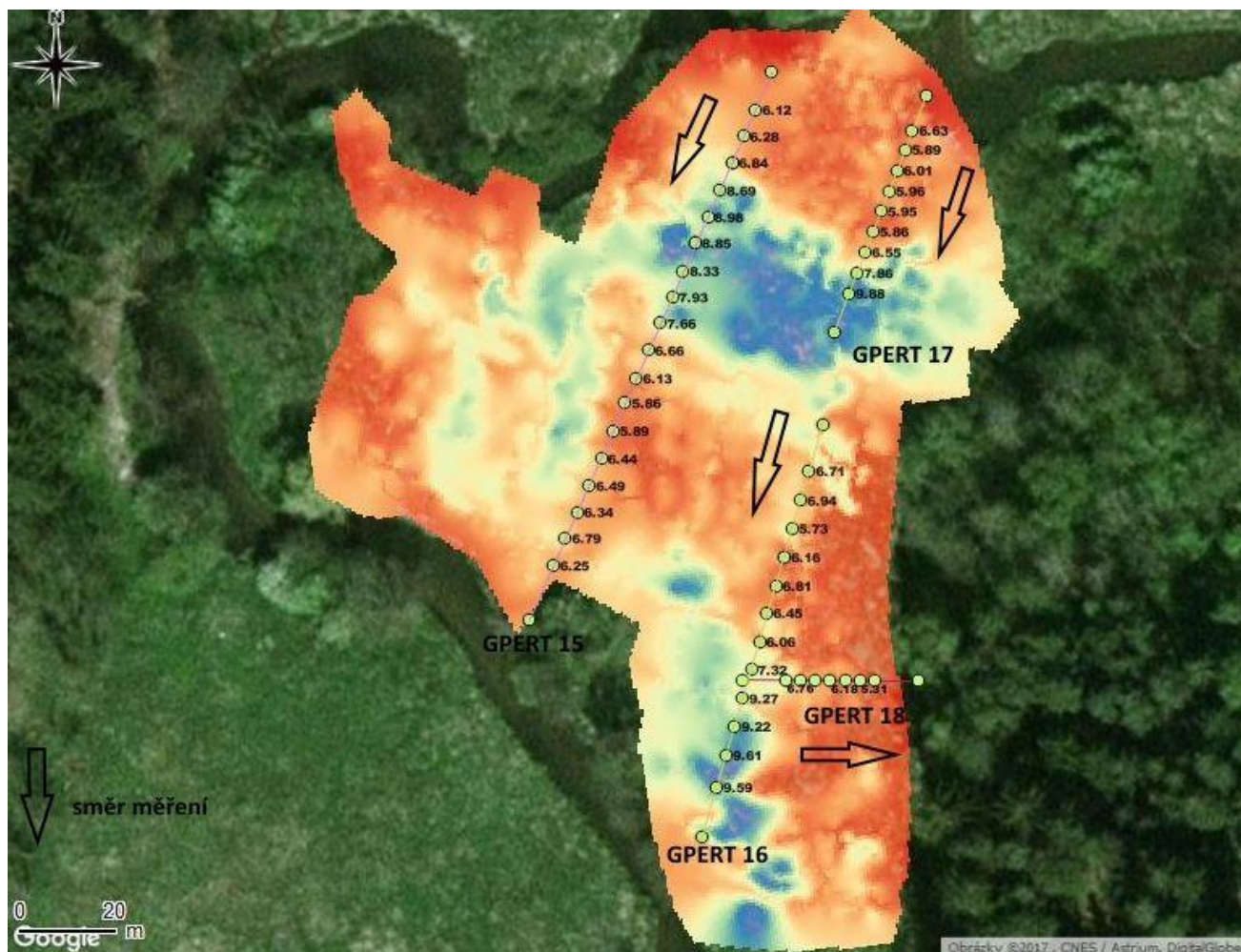
6.1 Lokalita Boreček

Měření zdánlivé vodivosti proběhlo na ploše přibližně 120 x 65 m. Naměřené hodnoty zdánlivé vodivosti v efektivní hloubce tří metrů se pohybují od 5 do 10 mS/m (Obr. 12). Ve vodivostní mapě je zřetelná oblast, která vykazuje hodnoty přibližně 8 až 10 mS/m a je tvořena zejména jíly a písiky. Tato oblast je interpretována jako opuštěný korytový pás. Mimo tuto doménu byly naměřeny hodnoty 5 až 8 mS/m a jsou interpretovány jako písiky a štěrkopísiky.



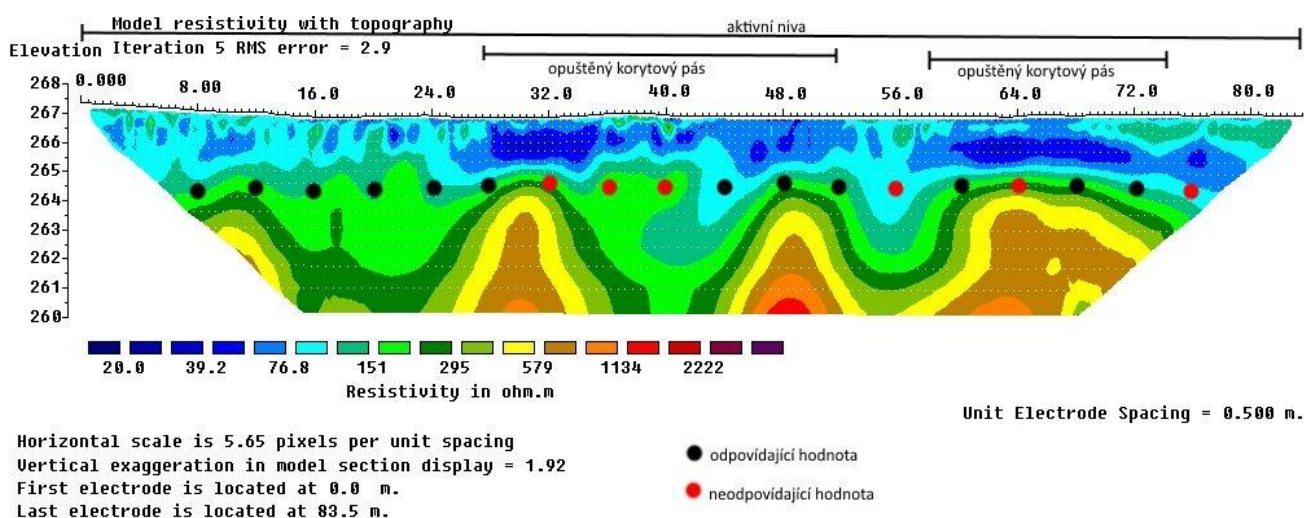
Obr. 12. Mapa zdánlivé vodivosti se zřetelnou doménou opuštěného korytového pásu.

Pro potřeby porovnání hodnot zdánlivé vodivosti získané měřením DEMP a měrného odporu získaného ERT byla vytvořena mapa s vytyčenými profily a to GPERT 15, GPERT 16, GPERT 17 a GPERT 18 (Obr. 13). Na profilu GPERT 15 bylo vytyčeno osmnáct bodů po čtyřech metrech s prvním bodem na osmém metru a posledním bodem na sedmdesátém šestém metru (Tab. 3). Na profilu GPERT 16 bylo vytyčeno dvanáct bodů po čtyřech metrech s prvním bodem na osmém metru a posledním bodem na padesátém druhém metru (Tab.4). Na profilu GPERT 17 bylo vytyčeno devět bodů po třech metrech s prvním bodem na šestém metru a posledním bodem na třicátém metru (Tab. 5). Na profilu GPERT 18 bylo vytyčeno sedm bodů po dvou metrech s prvním bodem na šestém metru a posledním bodem na osmnáctém metru (Tab. 6).



Obr. 13. Naměřené hodnoty zdánlivé vodivosti na liniích odporových profilů.

Délka odporového profilu GPERT 15 je 83,5 m, rozpětí elektrod je 0,5 m a zobrazení odporů dosahuje hloubky 7 m (Obr. 14). Celý měřený profil se nachází v aktivní nivě. Naměřené hodnoty se pohybují od 20 $\Omega\cdot\text{m}$ do 1587 $\Omega\cdot\text{m}$. Od 27. do 52. metru a od 58. do 74. metru byl interpretován opuštěný korytový pás. Do dvou metrů od nadloží se hodnoty pohybují od 20 $\Omega\cdot\text{m}$ do 107 $\Omega\cdot\text{m}$ a odpovídají jílům a pískům. Směrem do podloží se hodnoty zvyšují od 130 $\Omega\cdot\text{m}$ až do 810 $\Omega\cdot\text{m}$ a odpovídají štěrkopískům až štěrkům.



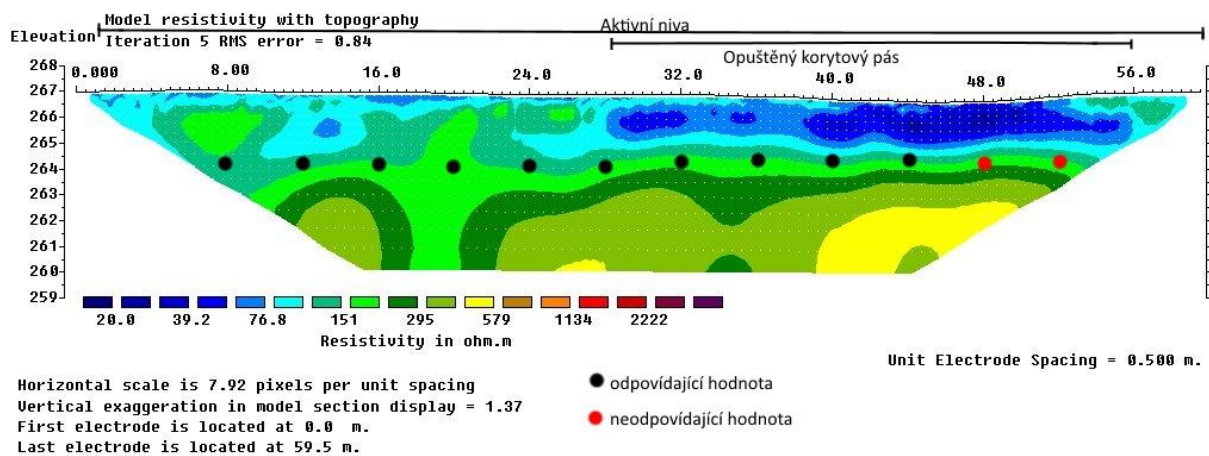
Obr. 14. Odporový profil GPERT 15 s vyznačenými body zdánlivé vodivosti podle tabulky 3.

Z celkových osmnácti vytyčených bodů na profilu GPERT15, dvanáct bodů svými hodnotami zdánlivé vodivosti po přepočtu a porovnání s měrným odporem odpovídá a šest hodnot neodpovídá (body č. 7, 8, 9, 13, 15, 18). Bod č. 7 vykazuje hodnotu 120 $\Omega\cdot\text{m}$ a podle měření odporového profilování by měla být vyšší, přibližně 220 $\Omega\cdot\text{m}$. Bod č.8 vykazuje hodnotu 126 $\Omega\cdot\text{m}$, avšak podle odporového profilování by měla odpovídat přibližně 151 až 211 $\Omega\cdot\text{m}$. Bod č. 9 vykazuje hodnotu 130 $\Omega\cdot\text{m}$, podle měření by měla být vyšší, 151 až 211 $\Omega\cdot\text{m}$. Bod č. 13 vykazuje hodnotu 170 $\Omega\cdot\text{m}$, avšak hodnota by měla být 77 až 108 $\Omega\cdot\text{m}$. Bod č. 15 vykazuje hodnotu 154 $\Omega\cdot\text{m}$ a hodnota by měla být přibližně 250 $\Omega\cdot\text{m}$. Bod č. 18 vykazuje hodnotu 160 $\Omega\cdot\text{m}$, ale měla by být nižší přibližně 90 $\Omega\cdot\text{m}$.

Tab. 3. Hodnoty zdánlivé vodivosti na profilu GPERT 15.

Bod č.	Vzdálenost na profilu ERT (m)	Zdánlivá vodivost (mS/m)	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
1.	8	6,12	163
2.	12	6,28	159
3.	16	6,84	146
4.	20	8,69	115
5.	24	8,98	111
6.	28	8,85	113
7.	32	8,33	120
8.	36	7,93	126
9.	40	7,66	130
10.	44	6,66	150
11.	48	6,13	163
12.	52	5,86	171
13.	56	5,89	170
14.	60	6,44	155
15.	64	6,49	154
16.	68	6,34	158
17.	72	6,79	147
18.	76	6,25	160

Délka odporového profilu GPERT 16 je 59,5 metru, rozpětí elektrod je 0,5 a zobrazení dosahuje hloubky 7 m (Obr. 15). Profil se po celé délce nachází v aktivní nivě. Od 28. m do 56. m se nachází opuštěný korytový pás s nízkými hodnotami odporu, odpovídajícím jílu. Do dvou metrů hloubky měření vykazuje převážně nižší hodnoty odporu 20 $\Omega\cdot\text{m}$ až 100 $\Omega\cdot\text{m}$, odpovídající zejména jílu a pískům. Směrem do podloží hodnoty odporu stoupají až k 400 $\Omega\cdot\text{m}$, což odpovídá štěrkopískům.



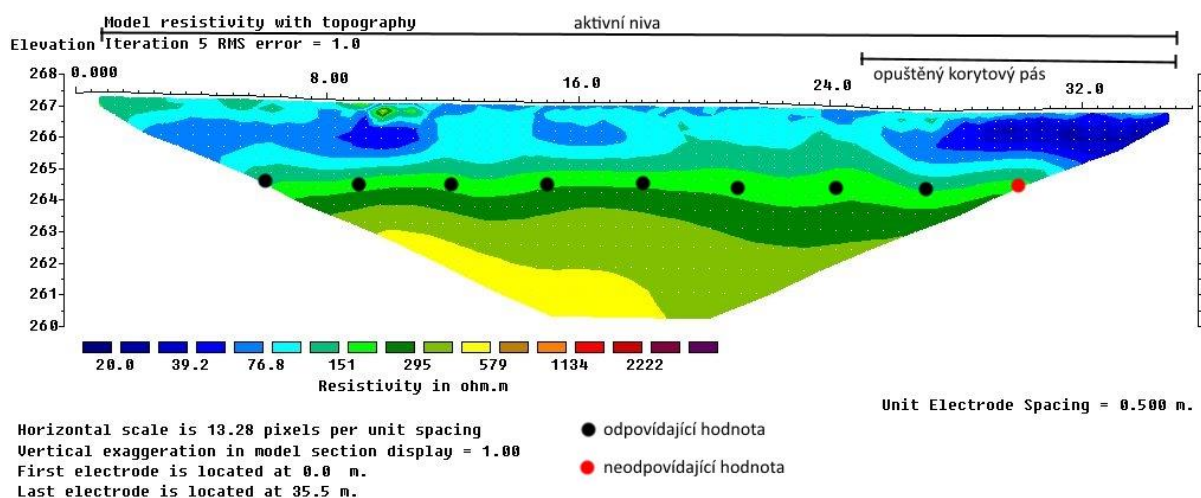
Obr. 15. Odporový profil GPERT 16 s vyznačenými body zdánlivé vodivosti podle tabulky 4.

Z celkových dvanácti bodů na profilu GPERT 16 odpovídá svými hodnotami deset bodů a dva body neodpovídají (body č. 11, 12). Bod č. 11 vykazuje hodnotu 104 $\Omega\cdot\text{m}$, avšak podle odporového měření by měla odpovídat vyšším hodnotám, přibližně 180 $\Omega\cdot\text{m}$. Bod č. 12 vykazuje hodnotu také 104 $\Omega\cdot\text{m}$, podle měření by měla být vyšší, přibližně 170 $\Omega\cdot\text{m}$.

Tab. 4. Hodnoty zdánlivé vodivosti na profilu GPERT 16.

Bod č.	Vzdálenost na profilu ERT (m)	Zdánlivá vodivost (mS/m)	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
1.	8	6,71	149
2.	12	6,94	144
3.	16	5,73	175
4.	20	6,16	162
5.	24	6,81	147
6.	28	6,45	155
7.	32	6,06	165
8.	36	7,32	137
9.	40	9,27	108
10.	44	9,22	109
11.	48	9,61	104
12.	52	9,59	104

Délka odporového profilu GPERT 17 je 35,5 m, rozpětí elektrod je 0,5 m s hloubkovým dosahem 7 m. Profil se v celé délce nachází v aktivní nivě (Obr. 16). Od 25. m do 35,5. m se nachází opuštěný korytový pás s nízkými hodnotami odporů, odpovídající jílu. Do hloubky 2 m byly naměřeny nižší hodnoty odporu, které vykazují méně než $90 \Omega \cdot m$ a odpovídají jílu a písku. Směrem do podloží hodnoty odporu stoupají až na $579 \Omega \cdot m$, jež jsou interpretovány jako štěrkopisky.



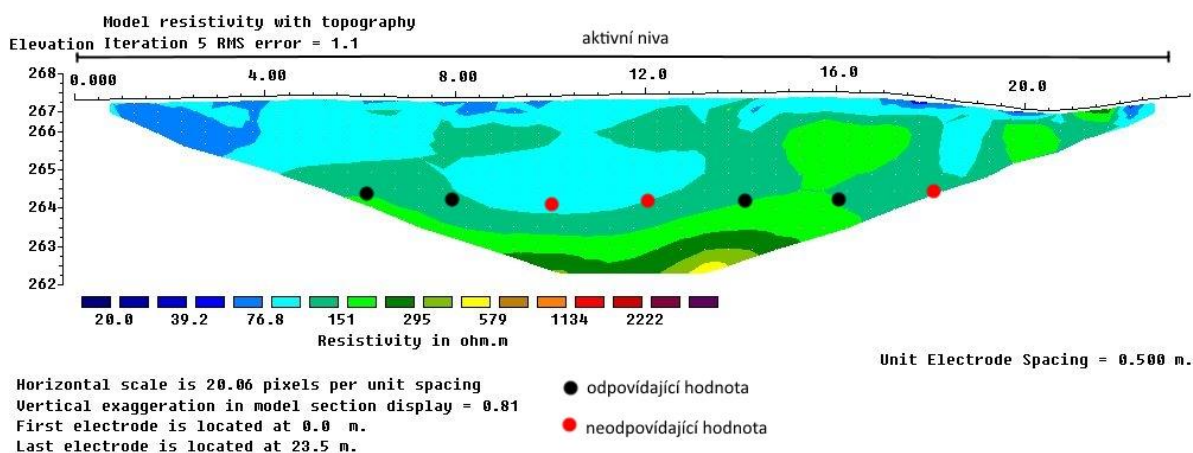
Obr. 16. Odporový profil GPERT 17 s vyznačenými body zdánlivé vodivosti podle tabulky 5.

Z celkového počtu devíti bodů na profilu GPERT 17 odpovídá naměřeným hodnotám osm bodů a jeden bod neodpovídá. Bod č. 9 má hodnotu 101 $\Omega\cdot\text{m}$, avšak podle měření odporového profilu, by hodnota měla být vyšší, přibližně 170 $\Omega\cdot\text{m}$.

Tab. 5. Hodnoty zdánlivé vodivosti na profilu GPERT 17.

Bod č.	Vzdálenost na profilu ERT (m)	Zdánlivá vodivost (mS/m)	Měrný odpor ($\Omega\cdot\text{m}$)
1.	6	6,63	151
2.	9	5,89	170
3.	12	6,01	166
4.	15	5,96	168
5.	18	5,95	168
6.	21	5,86	170
7.	24	6,55	153
8.	27	7,86	127
9.	30	9,88	101

Délka odporového profilu GPERT 18 je 23,5 m. Rozmístění elektrod je 0,5 m a hloubkový dosah činí 5 m (Obr. 17). Profil se po celé délce nachází v aktivní nivě. Prakticky v celé délce profilu do hloubky 3 m vykazují hodnoty nízké odpory od 55 $\Omega\cdot\text{m}$ do 150 $\Omega\cdot\text{m}$. Tyto hodnoty jsou interpretovány jako jíly a písky. Hlouběji do podloží odporové hodnoty stoupají přibližně od 155 $\Omega\cdot\text{m}$ do 400 $\Omega\cdot\text{m}$, což odpovídá štěrkopískům.



Obr. 17. Odporový profil GPERT 18 s vyznačenými hodnotami zdánlivé vodivosti podle tabulky 6.

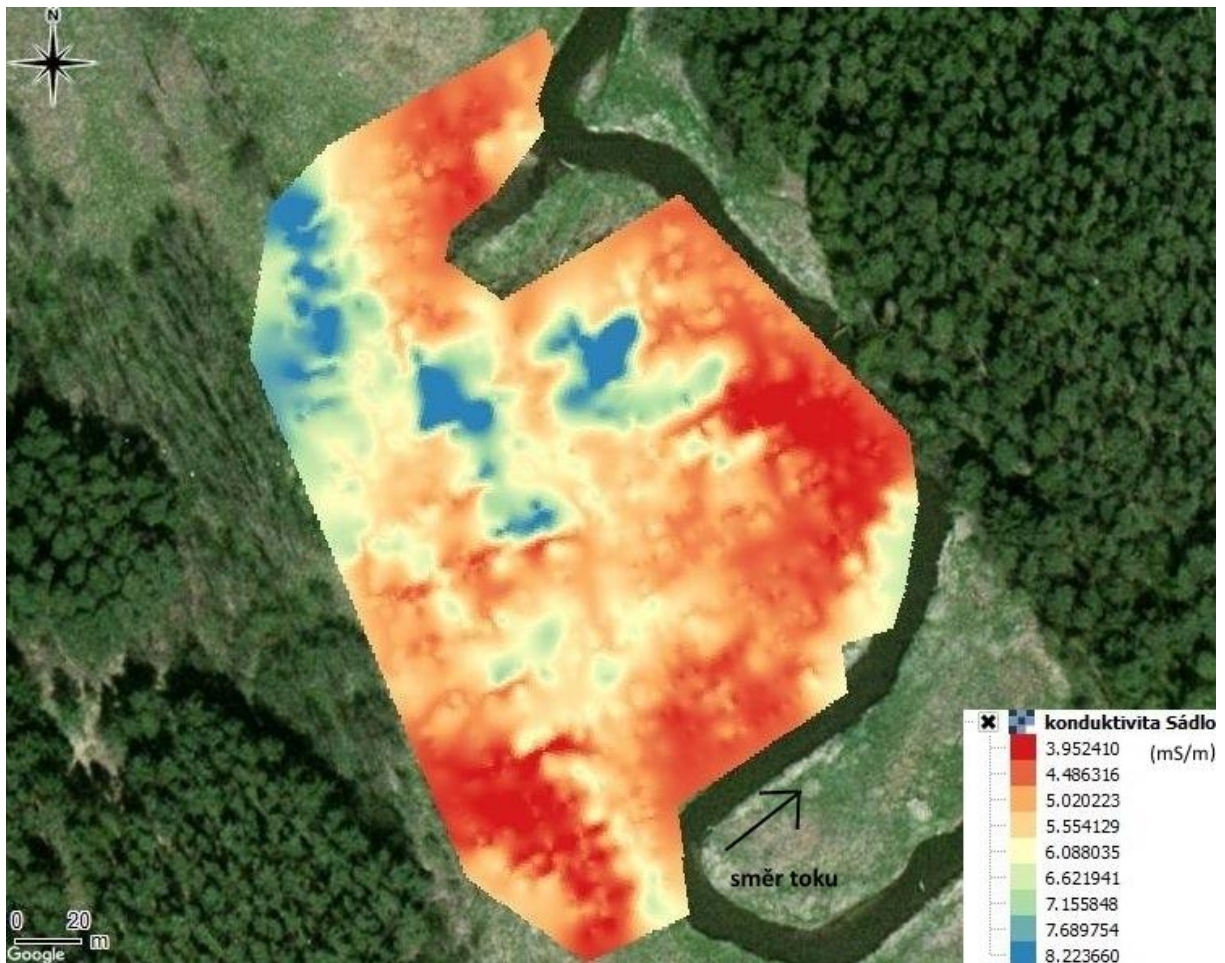
Z celkového počtu sedmi bodů na profilu GPERT 18 odpovídají měřením čtyři body a tři body neodpovídají (body č. 3, 4, 7). Bod č. 3 odpovídá hodnotě 162 $\Omega \cdot m$. Podle měření by hodnota měla být menší, přibližně 92 $\Omega \cdot m$. Bod č. 4 odpovídá hodnotě 171 $\Omega \cdot m$, hodnota by měla být přibližně 115 $\Omega \cdot m$. Bod č. 7 odpovídá hodnotě 188 $\Omega \cdot m$, avšak podle měření odporového profilování by hodnota měla být kolem 130 $\Omega \cdot m$.

Tab. 6. Hodnoty zdánlivé vodivosti na profilu GPERT 18.

Bod č.	Vzdálenost na profilu ERT (m)	Zdánlivá vodivost (mS/m)	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
1.	6	7,02	142
2.	8	6,76	148
3.	10	6,17	162
4.	12	5,86	171
5.	14	6,18	162
6.	16	5,57	180
7.	18	5,31	188

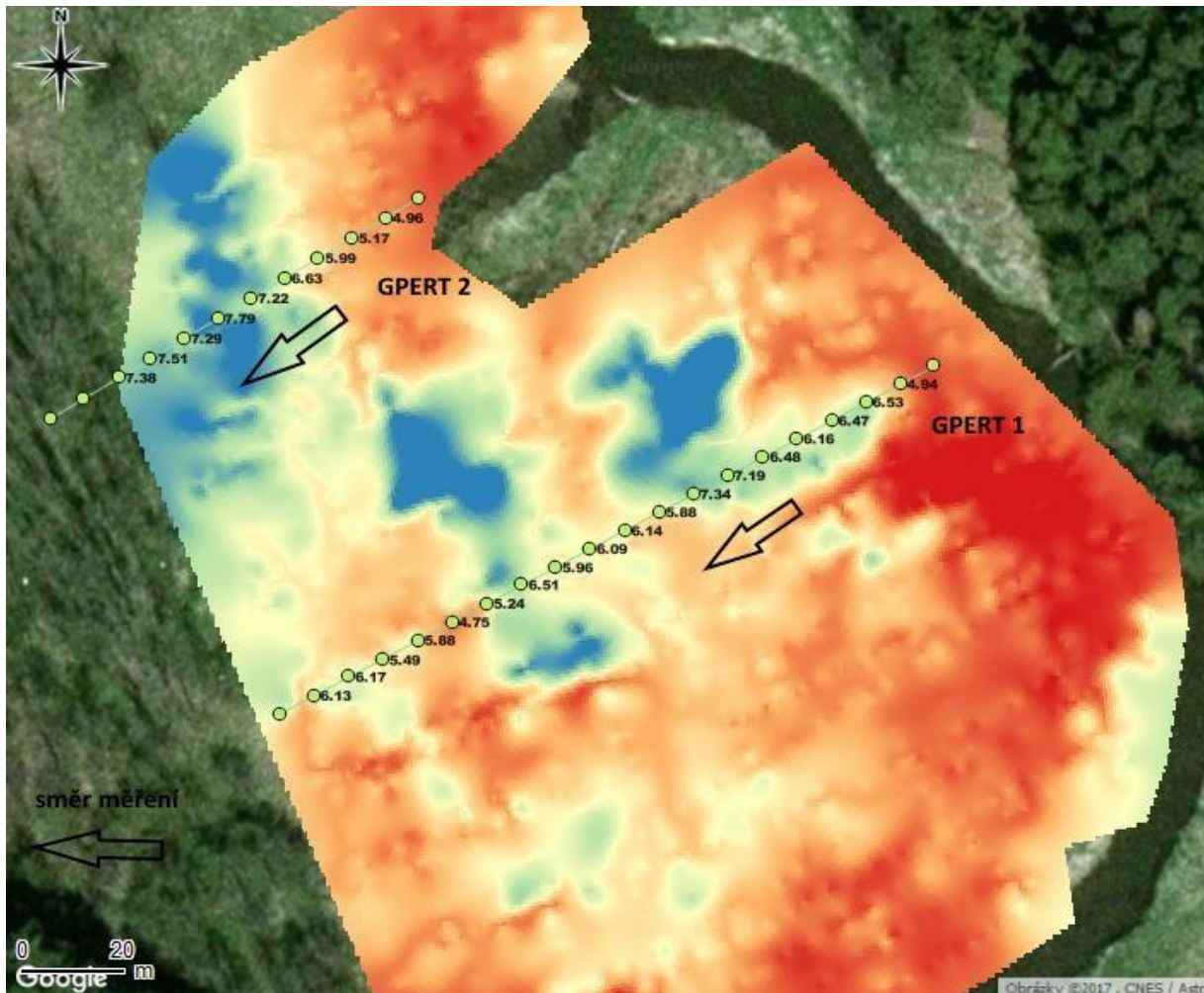
6.2 Lokalita Sádlo

Měření zdánlivé vodivosti proběhlo na ploše přibližně 160 x 110 m. Hodnoty zdánlivé vodivosti v efektivní hloubce do 3 metrů se pohybují v rozmezí od 4 mS/m až 8 mS/m. Ve vodivostní mapě jsou zřetelné tři domény s vyšší konduktivitou s hodnotami okolo 7 mS/m až 8 mS/m, odpovídající jílům, a tři větší domény s nízkou vodivostí s hodnotami přibližně 4 mS/m, odpovídající pískům až štěrkopískům (Obr. 18).



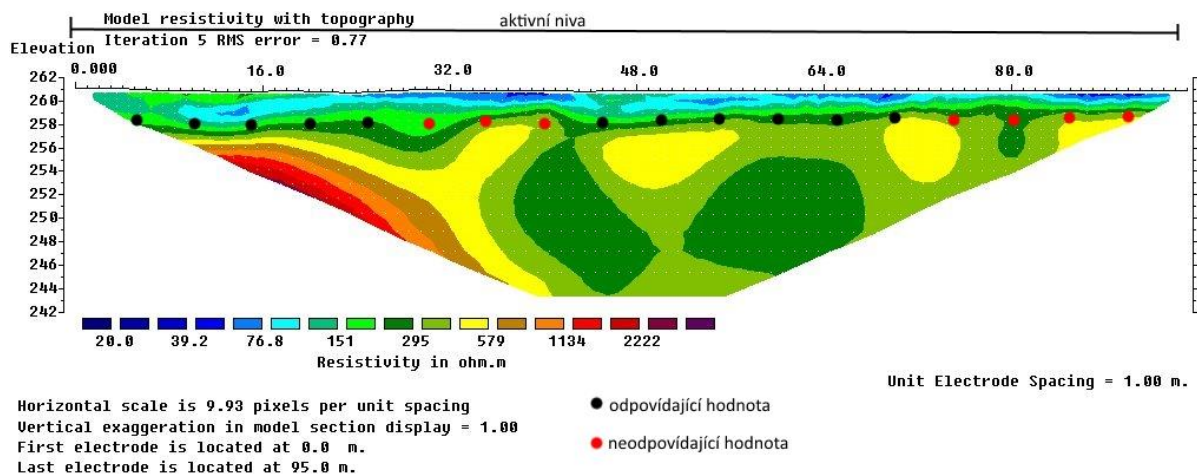
Obr. 18. Mapa zdánlivé vodivosti se zřetelnými doménami na lokalitě Sádlo.

Pro porovnání zdánlivé vodivosti a měrného odporu byla vytvořena mapa s vyznačenými profily GPERT 1 a GPERT 2 (Obr.19). Na profilu GPERT 1 bylo vytyčeno osmnáct bodů s roztečí bodů po pěti metrech. První bod je umístěn na pátém metru a poslední bod je umístěn na devadesátém metru (Tab. 7). Na profilu GPERT 2 bylo vytyčeno devět bodů s roztečí bodů po pěti metrech. První bod je umístěn na pátém metru a poslední bod je umístěn na čtyřicátém pátém metru (Tab. 8).



Obr. 19. Naměřené hodnoty zdánlivé vodivosti na liniích odporových profilů na lokalitě Sádlo.

Délka odporového profilu GPERT 1 je 95 m. Rozmístění elektrod je po 1 m a hloubkový dosah zobrazení je 17 m. Hodnoty měrného odporu se do 3 metrů pohybují směrem do podloží od $20 \Omega \cdot \text{m}$ do $400 \Omega \cdot \text{m}$, což postupně odpovídá jílu, pískům a štěrkopískům. Celá linie profilu se nachází v aktivní nivě (Obr. 20).



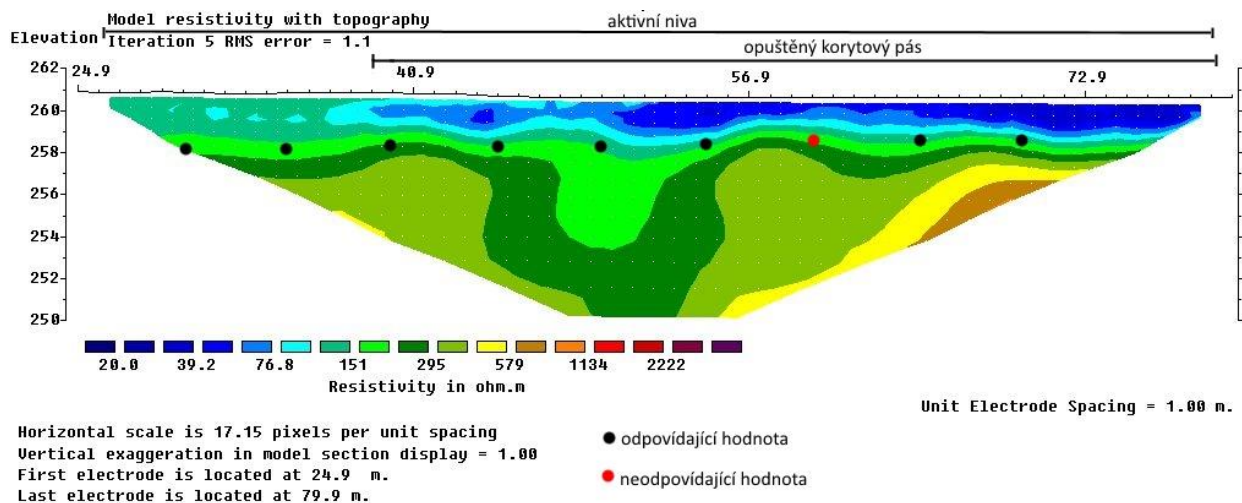
Obr. 20. Odporový profil GPERT 1 s vyznačenými hodnotami zdánlivé vodivosti podle tabulky 7 (převzato z Tipanová, 2016, upraveno).

Z celkového počtu osmnácti bodů na profilu GPERT 1 odpovídá měření jedenáct bodů a sedm bodů neodpovídá (body č. 6, 7, 8, 15, 16, 17, 18). Bod č. 6 odpovídá hodnotě $139 \Omega \cdot \text{m}$, avšak podle měření odporového profilování by měla hodnota být přibližně $180 \Omega \cdot \text{m}$. Bod č. 7 odpovídá hodnotě $136 \Omega \cdot \text{m}$, podle měření odporového profilování by měla být vyšší, přibližně $300 \Omega \cdot \text{m}$. Bod č. 8 odpovídá hodnotě $170 \Omega \cdot \text{m}$, avšak hodnota by měla být vyšší, přibližně $320 \Omega \cdot \text{m}$. Bod č. 15 vykazuje podle měření měrné vodivosti hodnotu $170 \Omega \cdot \text{m}$, avšak v porovnání s odporovým profilováním by měla být vyšší, kolem $300 \Omega \cdot \text{m}$. Bod č. 16 má hodnotu $182 \Omega \cdot \text{m}$, v porovnání s odporovým profilováním by měla být vyšší, přibližně $250 \Omega \cdot \text{m}$. Bod č. 17 odpovídá hodnotě $162 \Omega \cdot \text{m}$, podle odporového profilování by se hodnota měla pohybovat okolo $330 \Omega \cdot \text{m}$. Bod č. 18 má hodnotu $163 \Omega \cdot \text{m}$, avšak podle odporového profilování by měla být přibližně $360 \Omega \cdot \text{m}$.

Tab. 7. Hodnoty zdánlivé vodivosti na profilu GPERT 1.

Bod č.	Vzdálenost na profilu ERT (m)	Zdánlivá vodivost (mS/m)	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
1.	5	4,94	202
2.	10	6,53	153
3.	15	6,47	155
4.	20	6,16	162
5.	25	6,48	154
6.	30	7,19	139
7.	35	7,34	136
8.	40	5,88	170
9.	45	6,14	163
10.	50	6,09	164
11.	55	5,96	168
12.	60	6,51	154
13.	65	5,24	191
14.	70	4,75	211
15.	75	5,88	170
16.	80	5,49	182
17.	85	6,17	162
18.	90	6,13	163

Délka odporového profilu GPERT 2 je 55 m. Rozpětí elektrod je 1 m a hloubkový dosah je 10 m (Obr. 21). Profil se po celé délce nachází v aktivní nivě. Od 14. m do konce profilu, tedy 55. m se nachází opuštěný korytový pás, který do 2 m hloubky vykazuje nízké hodnoty odporu do 90 $\Omega \cdot m$, které odpovídají jílům. Směrem do podloží hodnoty narůstají od 160 $\Omega \cdot m$ až do 550 $\Omega \cdot m$, které jsou interpretovány jako písky, štěrkopísky až štěrky.



Obr. 21. Odporový profil GPERT 2 s vyznačenými hodnotami zdánlivé vodivosti podle tabulky 8 (převzato z Tipanová, 2016, upraveno).

Z celkového počtu devíti bodů na profilu GPERT 2 odpovídá měření osm bodů a jeden bod neodpovídá. Bod č.7 vykazuje podle měření zdánlivé vodivosti hodnotu $137 \Omega \cdot m$. Podle měření měrného odporu by však hodnota měla být vyšší, přibližně $180 \Omega \cdot m$.

Tab. 8. Hodnoty zdánlivé vodivosti na profilu GPERT 2.

Bod č.	Vzdálenost na profilu ERT (m)	Zdánlivá vodivost (mS/m)	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
1.	5	4,96	202
2.	10	5,17	193
3.	15	5,99	167
4.	20	6,63	151
5.	25	7,22	139
6.	30	7,79	128
7.	35	7,29	137
8.	40	7,51	133
9.	45	7,38	136

7 Diskuze a závěr

Z měření elektrické odporové tomografie na obou lokalitách je zřejmé, že se v říční nivě řeky Ploučnice vyskytují zejména jíly, písky a štěrkopísky. Jíly, které vykazují nejnižší odporové hodnoty, reprezentují nejsvrchnější část měřených profilů a jsou indikátorem opuštěných korytových pásů. S narůstající hloubkou směrem do podloží narůstají i odporové hodnoty, které odpovídají zejména pískům, jež přecházejí do štěrkopísků až štěrků. Tyto naměřené hodnoty odpovídají předešlým výzkumům v nivě řeky Ploučnice např. Majerová et al., (2013). Pomocí dipólového elektromagnetického profilování byl na lokalitě Boreček lokalizován opuštěný korytový pás. Tento opuštěný korytový pás předpokládal ve své práci Matys Grygar et al., (2014). Na obou lokalitách si hodnoty měrného odporu opuštěných korytových pásů odpovídají. Při měření DEMP mají jílové uloženiny vysoké hodnoty zdánlivé vodivosti a štěrkové uloženiny nízké hodnoty. Z tohoto je patrné, že vodivost odráží změny zrnitosti sedimentů. Celkově bylo vybráno 73 bodů pro porovnání hodnot zdánlivé vodivosti a měrného odporu. Z toho 20 bodů svými hodnotami měrného odporu neodpovídá. Tato chyba může být způsobena faktem, že dané body mají do hloubky velmi rozmanitou vodivost a geofyzikální přístroje je nemusí změřit přesně. Podle Schrotta a Sasse (2008) se mohou vyskytnout chyby kvůli měnícím se fyzikálním vlastnostem měřené podpovrchové části. Při použití jen jedné techniky může dojít ke špatným interpretacím, protože geofyzikální metody nejsou vždy úplně přesné a zobrazují jen přibližnou podobu měřené podpovrchové části. Metoda ERT je modelová, oproti tomu metoda DEMP vykazuje přesnou číselnou hodnotu. Z toho vyplývá, že porovnání dvou geofyzikálních metod, v tomto případě ERT a DEMP, nemusí být vždy plně odpovídající.

Měření v nivě řeky Ploučnice dokázalo, že metody ERT a DEMP jsou vhodné pro mapování říční nivy a vzájemně se dobře doplňují. Metoda ERT vhodně vykresluje stavbu nivy a podává základní informace v podobě 2D profilů. Metoda DEMP vytváří vodivostní mapu, na které lze rozpoznat oblasti s vyššími a nižšími hodnotami konduktivity. V říční nivě se uplatnila jako metoda vhodná pro mapování opuštěných korytových pásů.

8 Použitá literatura

Baines D., Smith D.G., Froese G.D., Bauman P., Nimeck G. (2002): Electrical resistivity ground imaging (ERGI): a new tool for mapping the lithology and geometry of channel-belts and valley-fills. – *Sedimentology*, 49, 441-449.

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

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

GF Instruments (2016): *Short guide for electromagnetic conductivity mapping and tomography*. – Brno.

GF Instruments (2016): *Short guide for resistivity and induced polarization imaging*. – Brno.

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.

Herčík F., Herrmann Z., Valečka J. (1999): *Hydrogeologie české křídové pánve*. – Český geologický ústav, Praha.

Hošek M. (2014): *Kontaminace nivy Ploučnice těžkými kovy ve vztahu k její architektuře*. – MS, diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů.

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

Kühn P. (2006): Řeka Ploučnice v průběhu času. – In: Sborník příspěvků z konference: Ploučnice a její přínos pro region z hlediska cestovního ruchu., pp. 42-53. Město Mimoň, Mimoň.

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.

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

Mareš S., Gruntorád J., Hrách S., Karous M., Marek F., Matolín M., Skopec J. (1990): Úvod do užité geofyziky. – Nakladatelství technické literatury, Praha.

Mašín J., Válek R. (1963): Přehled užité geofyziky. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Milsom J., Eriksen A. (2011): *Field Geophysics. Fourth Edition.* – John Wiley and Sons, West Sussex.

Minář L. (2010): Využití metod lehké geofyziky v inženýrské geologii a pro potřeby geologického mapování. – MS, odborný seminář, středisko geofyziky, Brno.

Misař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): *Geologie ČSSR I.* – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Palacky G.V. (1987): Resistivity characteristics of geologic targets. – *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics.* – 3, 52-129.

Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., Bruand A., Richard G. (2005): Electrical resistivity survey in soil science: a review. – *Soil and Tillage Research*, 83, 173-193.

Schrott L., Sass O. (2008): Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. – *Geomorphology*, 93, 55-73.

Sedláček J. (2013): Úvod do užité geofyziky. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Tábořík P., Pánek T. (2010): Elektrická odporová tomografie ve výzkumu horského reliéfu – případové studie z flyšových Karpat. In: Sborník příspěvků z XXII. sjezdu České geografické společnosti, pp. 74-81, Ostrava.

Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E. (1990): *Applied geophysics*. Second Edition. – Cambridge University Press, Cambridge.

Tipanová A. (2016): Transport polutantů z těžby a zpracování uranu říčním systémem Ploučnice. – MS, diplomová práce, Katedra geologie, PřF UP, Olomouc.

Ulrych J., Povondra P., Rutšek J., Pivec E. (1988): Melilitic and melilite-bearing subvolcanic rocks from the Ploučnice river region, Czechoslovakia. Univerzita Karlova, Praha.

www1: Charakteristika území. Geoportal. (cit. 20. 1. 2016). Dostupné z <http://prvk.kraj-lbc.cz//geomorfologie>

www2: Tématické mapky. (cit. 20.1. 2016). Dostupné z (http://geografie.kvalitne.cz/cr_mapky.htm)

www3: Letecká mapa. (cit. 22. 1. 2016). Dostupné z <https://mapy.cz/letecka?x=14.6692492&y=50.6381011&z=13>

www4: Geologická mapa 1: 50 000. (cit. 10. 2. 2016). Dostupné z http://mapy.geology.cz/geocr_50/