

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE



**Geofyzikální prospekce středověkého hornického areálu
u Břevence (okr. Olomouc)**

Bakalářská práce

Daniela Rybová

Environmentální geologie (B1201)

Prezenční studium

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

Olomouc 2018

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Daniela Rybová

Název práce: Geofyzikální prospekce středověkého hornického areálu u Břevence
(okr. Olomouc)

Typ práce: bakalářská

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

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

Rok obhajoby práce: 2018

Abstrakt:

Předkládaná bakalářská práce se zabývá využitím geofyzikálních metod dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) a elektrické odporové tomografie (ERT) při průzkumu pozůstatků po těžbě zlata. Měření probíhalo v bývalém těžebním areálu podél řeky Oskavy nedaleko obce Břevenec. Předpokládaným cílem práce je zjištění projevů antropogenní činnosti spojené s historickým rýžováním zlata z hlediska elektrické vodivosti a rezistivity. Pro vhodnou interpretaci výsledků z měření byly provedeny dvě hloubené sondy, ze kterých byly odebrány vzorky a následně analyzovány.

Klíčová slova: dipólové elektromagnetické profilování (DEMP), elektrická odporová tomografie (ERT), středověké haldy hlušiny (sejpy), těžba zlata, řeka Oskava

Počet stran: 41

Počet příloh: 5

Jazyk: Čeština

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Daniela Rybová

Title: Geophysical prospecting of the medieval mining area near Brevenec
(district Olomouc)

Type of thesis: Bachelor thesis

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

Supervisor: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

The year of presentation: 2018

Abstract:

The presented bachelor thesis deals with the use of geophysical methods of dipole electromagnetic profiling (DEMP) and electrical resistivity tomography (ERT) in the exploration remains after washing. Measurements took place at a former mining site along the Oskava River near the village of Břevenec. The assumed aim of the thesis is to find out the manifestations of anthropogenic activities related to the historical gold washing in terms of electrical conductivity and resistivity. For an appropriate interpretation of the results of measurements two depth probe have been carried out from which samples were taken and subsequently analysed.

Keywords: dipole electromagnetic profiling (DEMP), electric resistivity tomography (ERT), medieval heaps, gold washing, Oskava River

Number of pages: 41

Number of appendices: 5

Language: Czech

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškerou literaturu a ostatní prameny, z nichž jsem při psaní práce čerpala, řádně cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Olomouci 16. července 2018

Souhlasím s veřejným půjčováním práce.

Daniela Rybová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce Mgr. Martinu Moníkovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, cenné rady k metodám a trpělivost při zpracování laboratorních výsledků a také za pomoc při práci v terénu. Velké poděkování patří také Mgr. Františkovi Kudovi, Ph.D. za odborné konzultace, připomínky, poskytnutí informací k metodice a za pomoc při měření v terénu. Dále chci poděkovat Petru Divišovi a Martinu Julínkovi za pomoc při výkopových pracích a Mgr. Janě Grohmannové, Bc. Patriku Šalamounovi a Marii Alexandrové za pomoc s grafickými úpravami.

Obsah

1. Úvod	7
2.1. Geomorfologie studované lokality.....	8
2.2. Geologie zájmového území.....	9
3. Rýžování zlata na řece Oskavě	12
4. Geofyzikální metody výzkumu (pre) historických rýžovišť a hornických areálů	15
4.1. Magnetometrie	15
4.2. Geoelektrika	18
4.2.1. Stejnosměrné odporové metody	19
5. Metodika.....	21
5.1. Dipólové elektromagnetické profilování	21
5.2. Multielektrodové odporové profilování.....	22
5.3. Kopaná sondáž	23
6. Výsledky	25
6.1. DEMP – dipólové elektromagnetické profilování	25
6.2. ERT – Multielektrodové odporové profilování	26
6.2.1. Odporový (ERT) profil Oskava 1.....	26
6.2.2. Odporový (ERT) profil Oskava 2.....	27
6.3. Kopaná sondáž	28
6.3.1. Sonda 1	28
6.3.2. Sonda 2	29
7. Diskuze a závěr.....	30
8. Použitá literatura	32
9. Přílohy.....	37

1. Úvod

Kolem řeky Oskavy v severozápadní části katastru obce Břevenec se v bývalém těžebním areálu mezi silnicí Dolní Libina – Oskava nachází pozůstatky středověké těžby zlata v podobě tzv. sejpů (rýžovnických kopečků) a umělé přívodní kanály, které sloužily k propírání sedimentů a odvodňování, což umožnilo povrchovou těžbu i do větších hloubek a použití rýžovnického splavu. Samotné rýžoviště můžeme spolehlivě datovat nálezy železných mincí a předmětů do 13. až 15. století (Večeřa a Večeřová 2010).

Rešeršní část bakalářské práce je věnována stručné geomorfologické a geologické charakteristice území a geofyzikálním metodám výzkumu (pre) historických rýžovišť a hornických areálů. Terénní část průzkumu byla provedena geofyzikální metodou dipólového elektromagnetického profilování (DEMP), která doposud v dané problematice nebyla použita a kterou je možné využít pro měření vodivosti a inphase. Pro porovnání výsledků byla jako další zvolena metoda elektrické odporové tomografie (ERT). Hlavním cílem práce je zjistit, jak se konkrétní antropogenní struktury (haldy hlušiny, štěrku a písku) projevují z hlediska elektrické vodivosti a na základě topografie a výsledků provést kopanou sondáž, která by interpretaci ověřila.

2. Geografická a geologická charakteristika studované oblasti

2.1. Geomorfologie studované lokality

Zájmovou lokalitou je bývalý těžební areál v nadmořské výšce 290 m a rozměrech 0,5 km², který je součástí Uničovské plošiny. Ta tvoří podcelek v severozápadní části Hornomoravského úvalu. Jedná se o nížinnou pahorkatinu tvořenou neogenními a kvartérními usazeninami v podhůří Hrubého a Nízkého Jeseníku (Demek et al. 2006).

Geomorfologický celek Hornomoravský úval je součástí geomorfologické oblasti Západní Vněkarpatské sníženiny. Tvoří jej široká protáhlá sníženina o rozloze 1 315 km². Hornomoravský úval se táhne od Libiny na severu po Napajedla na jih (Demek et al. 2006). Uničovská plošina je označení pro horní část uničovsko-litovelské deprese, která se dále dělí na Hornolibinskou brázdu, Oskavskou nivu a Žerotínskou a Červenskou rovinu. Ze severu je Uničovská plošina ohraničena Úsovskou vrchovinou a Hraběšickou hornatinou. Obě náleží k masivu Hrubého Jeseníku a z východu pak k Nízkému Jeseníku (Barth et al. 1971).

Okolí Oskavy spadá do spodní oblasti Hornomoravského úvalu zvané Oskavská niva. Jedná se o náplavovou rovinu řeky Oskavy, o rozloze 21,60 km. Plocha nivy je pokryta loukami (Demek et al. 2006).

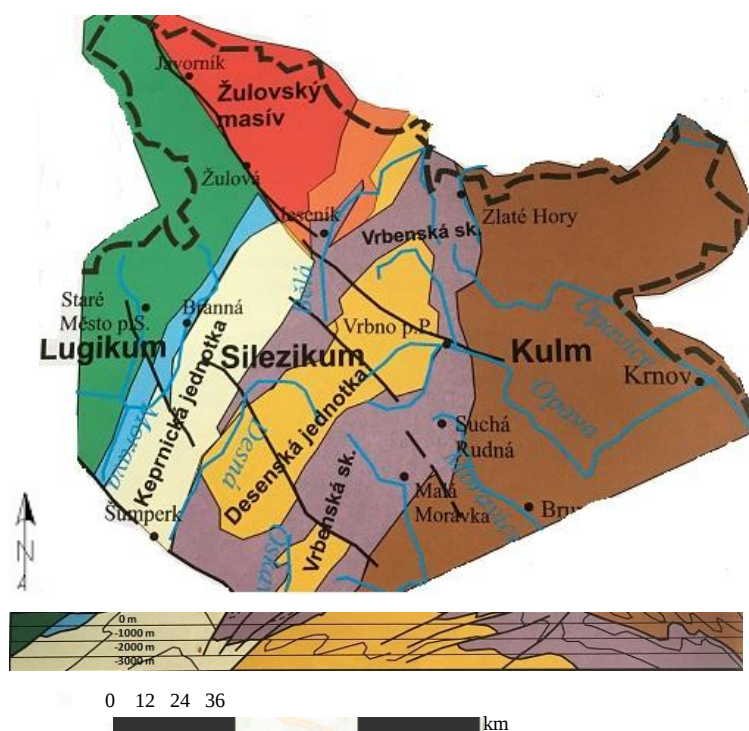


Obr.1 Mapa lokality (www1)

2.2. Geologie zájmového území

Studovaná lokalita je situovaná v Moravskoslezské oblasti, která reprezentuje východní část Českého masivu. Podloží Oskavy je tvořeno horninami náležícími k Českému masivu, konkrétně k sileziku (Chlupáč et al. 2002).

Silezikum odpovídá varisky přeměněnému západnímu okraji brunovistulického mikrokontinentu (Aichler et al. 2000). Je jednotkou s intenzivní deformací a regionální metamorfózou. Dělí se na dvě stratigraficky a strukturně odlišná patra-devonské a předdevonské. Předdevonské patro buduje klenby (keprnickou, desenskou a vidnavskou). Východní obal desenské jednotky tvoří vrbenská skupina devonského stáří (Mísař et al. 1983). Lokalita se nachází v okrajové části Oskavské kry, což je těleso předdevonských hornin, vystupující z jižní části vrbenské skupiny (v délce 15 km a šířce 2-3 km mezi Dolní Libinou a Žďárským potokem), která reprezentuje metamorfovaný vulkanosedimentární komplex devonského stáří (Kopečný 1981).



Obr.2 Mapa a profil hlavních geologických jednotek Jeseníků (upraveno podle Večeřa a Večeřová 2010).

Oskavská kra je součástí spodní části příkrovu Vysoké Hole (Cháb et al. 1984 in: Cháb et al. 2008). V jádře Oskavské kry jsou metagranity a v nadloží mladoňovské souvrství s převahou biotitických, muskovitických a chloritických fylitů (Chlupáč et al. 2002). Kopečný (1981) rozlišil v Oskavské kře tři typy granitoidních hornin a to: leukokráttní až křemenoživcové granity až metagranity, hrubě okaté a plástevnaté břidlice až metagranity a drobně okaté až drobnozrnné břidlice. Příkrov Vysoké Hole se sestává ze dvou částí. Spodní část sestává z metamorfovaných granitoidů neoproterozoického a kambrického stáří, místy s šupinami metamorfovaných siliciklastik. Na bázi se vyskytují ojedinělé šupiny fylonitu (Cháb et al. 1984). Svrchní částí je devonská vrbenská skupina, se sekvencemi metakvarcitů, křemenných metakonglomerátů, peraluminických fylitů a svorů (Chlupáč et al. 2002). Východně od Oskavy vystupují četná ložní tělesa metaryolitů s mocností z několik desítek metrů. Jsou zde i běžné polohy zelených břidlic (pravděpodobně metamorfované bazické žíly) (Aichler et al. 2000). Karbonátová sedimentace je ve spodním karbonu vystřídána flyšovým vývojem (kulmská facie). Tyto zmíněné horniny budují podloží Oskavské kry (Hrubeš et al. 2000).

V mladších třetihorách se zde ukládala převážně jemnozrnná klastika tzv. „pestré pliocenní série,“ reprezentovaná sladkovodními limnicko-fluviálními písčými jíly a s podílem organických látek. (Chlupáč 2002). V mladší části pliocenního souvrství převládají jemnozrnné klastické uloženiny (Hrubeš et al. 2000). Na nichž leží kvartérní sedimenty moravskoslezské akumulární oblasti. Rovněž nivu řeky Oskavy tvoří kvartérní nánosy. Jsou to sedimenty pleistocenního až holocenního stáří, sestávající z dolního šterkopískového souvrství a horního (holocenního) souvrství písčitých hlín a hlinitých písků. V nánosech řeky Oskavy se vyskytují akumulace volného zlata. Ve valounovém materiálu převládají horniny Oskavské kry: blastomylonity, granitoidy, fylity, diabasy a křemen. Otázkou je samotný výskyt volné akumulace zlata v nánosech řeky Oskavy. Velmi významná změna území nastala v třetihorách, kdy došlo k výraznému navětrání výchozových partií zlatonosných ložisek. Během čtvrtohor vznikl deluviální materiál s vysokým obsahem zlata. Vytvořila se dnešní říční síť, včetně hluboce zaříznutých údolí. Při odnosu rozvětraných hornin došlo k obnažení rudních těles a k druhotnému uložení těžkého, stabilního zlata do říčních sedimentů při úpatí hor a vzniku významných rozsypových ložisek zlata. Tím byla vytvořena surovinová základna zlata (Večeřa a Večeřová 2010).



Obr.3 Geologická mapa zájmové lokality (upraveno podle www2).

1-nivní sediment; 2-písek, štěrk; 3-blastomylonit; 4-kyselé vulkanity, keratofyry a metatufy; 5-dolerity, metadolerity a jejich tufy; 6-grafitické fylity; 7-kamenitý až hlinito-kamenitý sediment; 8-písek; 9-arkózy, slepence

3. Rýžování zlata na řece Oskavě

Stáří prací zabývajících se rýžováním zlata na řece Oskavě je hůře doložitelné, avšak předpoklad těžby zlata na řece Oskavě můžeme datovat do 2. st. př. n. l., tedy do doby, kdy rýžoviště využívali Keltové. Zdrojem zlata i železa bylo jižní podhůří Jeseníků u Uničova. Spolehlivě je rýžoviště datováno nálezy mincí a železnými předměty do 13. až 15. století. (Večeřa a Večeřová 2010).

V severozápadní části katastru obce Břevenec mezi silnicí Dolní Libina – Oskava a ramenem řeky Oskavy se nachází přerýžovaná plocha o rozměrech 1200 x 400 m. Zde můžeme sledovat rýžovnická pole a sejpy. Zmíněné rameno bylo přívodním kanálem k rýžovištím (Večeřa a Večeřová 2002). Sejpy jsou antropogenní formy reliéfu, které vznikly při rýžování (nejčastěji těžbou zlata) a jiných ryzích kovů. Jedná se o akumulární haldy štěrku a písku, které jsou doprovodným tvarem při těžbě rýžováním (Kirchner a Smolová 2010). Bohužel jsou sejpy příliš často a snadno rozplavovány povodněmi, či aplanovány při rekultivacích niv (Hrubý et al. 2016), což je případ středověkého hornického areálu u Oskavy, kdy oblast v roce 1997 z velké části zničila povodeň (Novák 1985).

Dnes jsou ale v ploše dochovaná rýžovnická pole, části hald a přívodních umělých kanálů, do jejichž středu byla struhou přiváděna voda a zde byl rýžován nakopáný materiál. Zbytky přerýžovaných štěrků byly odstraňovány na okraj rýžovnických polí. Haldy přemístěných štěrků dosahují délky okolo 10 m a výšky až 4 m (Novák 1985). V nánosech řeky se volně vyskytují zlatinky o velikosti 0,1 – 0,3 mm. Obsah Au je 0,2 mg na metr krychlový (www3).

Nejčastěji se úpravy nacházejí u vodních toků v místech, kde je vzdálenost mezi doly a vodním tokem minimální. Cenným zdrojem informací o těžbě je samotný úpravnický odpad. Nejtypičtější krajinnou stopou hutnických pracovišť, jsou struskoviště, která jsou také součástí rýžovnických areálů. Ta mohou představovat vegetací pokryté haldy, které jsou již aplanované a víceméně zazemněné v nivách potoků a řek (Hrubý et al. 2012). Většina průzkumů zpracovatelských areálů vychází ze zásad archeologie. Většina dosavadních průzkumů má formy povrchových sběrů, vrypů, menších sondáží, doplněných později o dokumentovanou prospekci pomocí detektorů kovů a o geofyzikální měření. Plošné odkryvy hutnických areálů proběhly např. v České Bělé na Havlíčkovobrodsku a u Černova na Pelhřimovsku (Hrubý et al. 2014).



Obr.4 Rýžování, které lze interpretovat jako jílování se spodním přítokem vody (podle Agricoly 1556).

Tab.1 Příklady archeologických průzkumů středověkých rýžovišť a hornických areálů oblasti Českomoravské vrchoviny (podle Hrubý et al. 2011, Hrubý et al. 2012, Hrubý et al. 2014).

Rudní revír	Středověký areál	Typ dobývané rudy/kovu	Aplikované metody průzkumu	Archeologické nálezy
<u>Havlíčkovobrodsko</u>	Utín u Sázavy	Polymetalické sulfidické rudy s obsahem olova a stříbra (galenit, sfalerit, pyrit)	Terénní průzkum-povrchové sběry; půdní sondáže a vrty, plošná magnetometrie a geochemická analýza	Středověká keramika, zbytky deponií rud, olověné slitky, klejty
	Česká Bělá	Stříbrnonosné, zlatonosné polymetalické sulfidické rudy s obsahem olova a stříbra (galenit, sfalerit, pyrit, arzenopyrit)	Terénní průzkum-povrchové sběry; půdní vrty pro účely metalometrie, letecká prospekce a geochemické vzorkování	Pozůstatky pecí, výhni nebo ohnišť, relikty dřevěných staveb, pozůstatky pracovišť primární úpravy rud, zbytek odvoňovacího kanálku, keramické zlomky
<u>Jihlavsko</u>	Staré Hory	Stříbrnonosné polymetalické sulfidické rudy s obsahem olova a stříbra (galenit, sfalerit, pyrit, arzenopyrit)	Terénní průzkum-povrchové sběry, menší sondáže; plošná magnetometrie , dokumentovaná prospekce pomocí detektoru kovů, paleobotanické analýzy	Soubor kladívek a hornických železek, pozůstatky dřevěných kádí na praní rud, zbytky úpravnického kanálu, keramický materiál, předměty z barevných kovů, zlomky stolního skla, mince aj.
<u>Pelhřimovsko</u>	Cvilínek u Černova	Stříbrnonosné polymetalické sulfidické rudy s obsahem olova a stříbra (galenit, černý sfalerit, pyrit, chalkopyrit, arzenopyrit)	Terénní průzkum-plošné odkryvy, povrchové sběry, půdní vrty pro účely metalometrie, plošná magnetometrie , letecká prospekce	Ohniště, mlecí kameny, železné předměty, pozůstatky pecí, kovářské strusky, kladívka, keramické úlomky aj.

4. Geofyzikální metody výzkumu (pre) historických rýžovišť a hornických areálů

V posledním desetiletí nachází v archeologii při průzkumu středověkých rýžovišť a hornických areálů uplatnění nedestruktivní metody, mezi které patří geoelektrické odporové metody, georadar a průzkum magnetometrie, který se uplatňuje při velkoplošném průzkumu lokalit (Kuna 2004). Těchto metod lze v závislosti na typu sledovaných archeologických situací i charakteru terénu využívat samostatně, běžné jsou ale také kombinace více geofyzikálních metod, jejichž výsledky se vzájemně doplňují (Křivánek 2007). Například pomocí různých typů magnetometrů jsme schopni lokalizovat zahloubené archeologické objekty (domy, jámy, příkopy). Pomocí georadaru lze zaznamenat struktury s kamennou konstrukcí. Geoelektrické odporové metody slouží především při řešení otázek spojených s fortifikačním systémem lokalit (Kuna 2004). Při zkoumání montánních lokalit se dají použít jen některé z těchto postupů (Venclová-Skřivánek 2008).

Na základě geofyzikálních výsledků si můžeme vytvořit představu o rozsahu jednotlivých nálezů, tvaru a fyzikálních vlastností jednotlivých objektů a v neposlední řadě identifikovat měřené lokality (Hrubý et al. 2016).

4.1. Magnetometrie

Magnetické metody se začaly používat již v padesátých letech (Campana a Piro 2009). Tato metoda se stala jednou z nejproduktivnějších metod používaných v archeologii. Mapuje lokální změny magnetického pole země. Magnetometrie si nevytváří umělé magnetické pole, jako tomu je u jiných geofyzikálních metod (např. u georadaru nebo elektromagnetické indukce), ale měří přirozené magnetické anomálie (Johnson 2006).

Je vhodná pro zkoumání objektů s vypálenými materiály (pece, ohniště, spálené objekty nebo odpadní haldy). Nejvyšší podíl na magnetických anomáliích má termoremanentní materiál, který byl vypálen nebo opakovaně vystaven vysokým teplotám (např. cihly, keramika, jíl). Anomálie takto způsobené bývají výrazné a ve srovnání s anomáliemi vyskytujícími se u zahloubených objektů jsou tak lehce identifikovatelné (Kuna 2004).

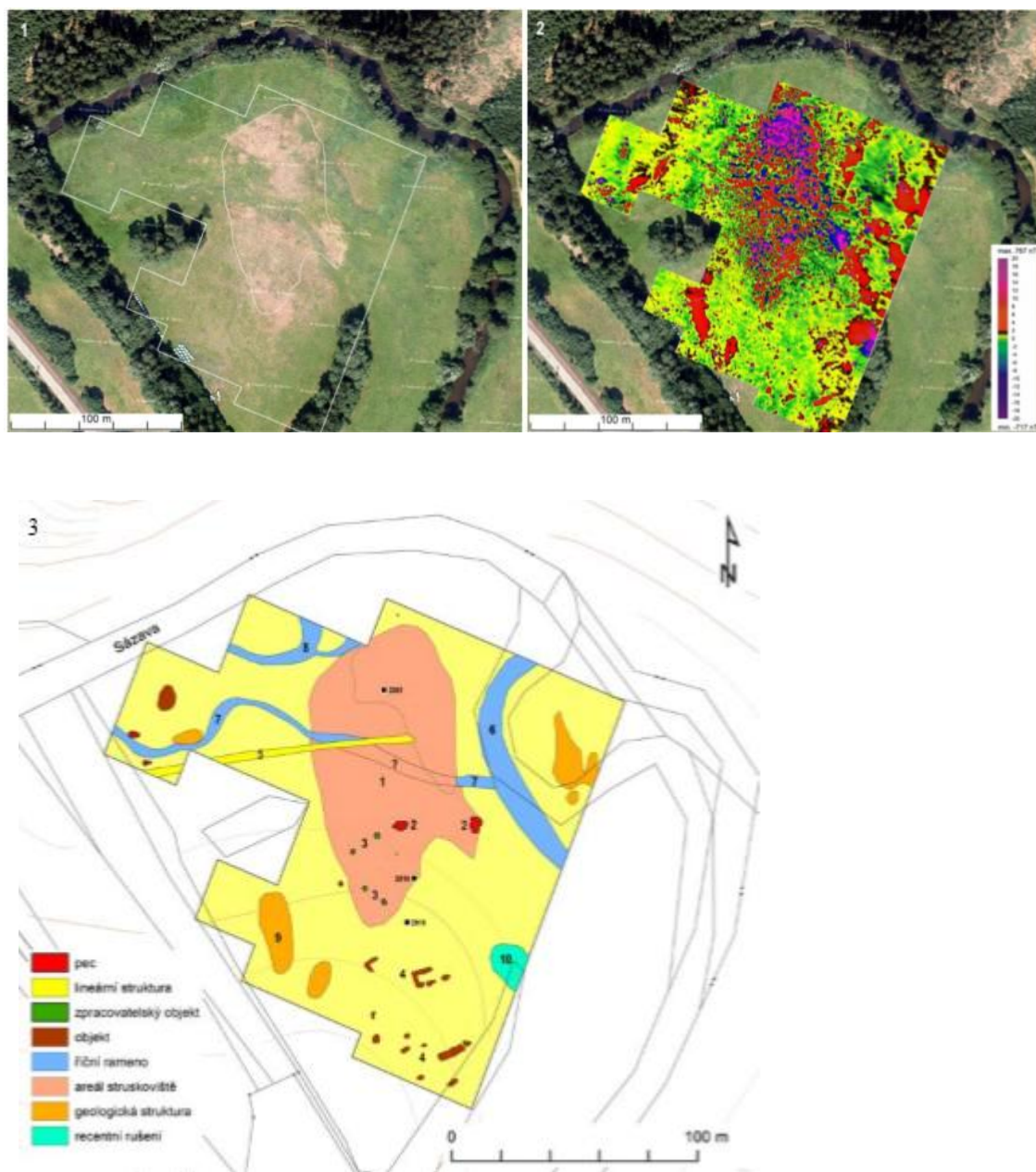
Tato metoda se ale především uplatňuje při průzkumu rozsáhlých ploch. Tepelné postižení pecí a jejich okolí, hutnické strusky, zbytky deponií rud poblíž úpraven způsobují magnetické anomálie, které dokážeme právě pomocí magnetometru měřit a ohodnotit. Důležitou roli přitom mají feromagnetické minerály, které se dostávají do výplní archeologických objektů. Právě zde tvoří shluky s vyšším magnetismem, než má okolní prostředí (Le Borgne 1955, Faßbinder 1994). Seskupení anomálií je ovlivněno určujícími parametry geologických nehomogenit: jejich tvarem, rozměry, polohou, hloubkou uložení, petrografickou povahou apod. (Mareš 1990). Největší výhodou magnetometrického průzkumu je ovšem schopnost detekovat antropogenní aktivity na velkých plochách a to velmi podrobně (Hrubý et al. 2016).

Základních sledovaných fyzikálních veličin, které se sledují magnetickými metodami je hned několik. Mezi hlavní patří absolutní a relativní magnetické pole T , jeho vertikální gradient ΔT resp. zdánlivá či objemová magnetická susceptibilita κ . Jako susceptibilitu můžeme označit magnetismus určitého materiálu a jeho schopnost magnetizovat se. Měří se převážně kontaktním způsobem, kdy naměřené hodnoty platí jen pro okruh několika centimetrů. Avšak výše totálního magnetického pole je zpravidla souhrnem působení širšího okolí přístroje, tedy i hlouběji uložených materiálů (Kuna 2004).

Přístroje na měření magnetického pole se nazývají magnetometry. Existují různé druhy těchto zařízení. V současné době se používají především protonové a atomové magnetometry. Měří se také gradienty pole tzv. gradiometry. Měřená data jsou vhodnější pro geologické interpretace a minimalizují vliv variací geomagnetického pole. Magnetická susceptibilita se měří tzv. kapametrem (Kuna 2004)

Příkladem průzkumu plošné magnetometrie je zaniklý úpravnický areál Utín na Havlíčkovobrodsku (Obr.5). Struskoviště se projevuje jako vymezený areál rozměrů 60×100 m. Anomálie zde způsobují relikty hutnických pecí. Polygon je tvořen hustou a na pohled nehomogenní koncentrací drobných anomálií s vysokými magnetickými hodnotami (-10 až 10 nT). Severní část struskoviště vykazuje hodnoty ještě vyšší. Zde byly naměřeny lokální anomálie až do 80 nT. To by s opatrností mohlo značit přítomnost pozůstatků hutnických pecí, avšak jednotlivé objekty není možné samostatně rozlišit, protože jsou obklopeny metalurgickým odpadem s podobnými magnetickými charakteristikami. Také v případě dvou výrazných lokálních anomálií v jižní části struskoviště můžeme vzhledem k hodnotám okolo 40 a 100 nT uvažovat o reliktech pecí. Dvě další anomálie těchto vlastností se nacházejí při severozápadním okraji polygonu. Zajímavé jsou čtyři menší přibližně kruhové anomálie v

jižní části struskoviště s negativními magnetickými hodnotami, obklopené anomálním pásem s hodnotami vysoce pozitivními. Jejich interpretace je problematická, nicméně může jít rovněž o pozůstatky pyrometalurgických zařízení (Hrubý et al. 2016).



Obr.5 Příklad geomagnetického měření středověkého areálu u Utína na Havlíčkovobrodsku: **1** - patrné porostové příznaky, které jsou ztotožnitelné s některými geomagnetickými anomáliemi. Světlý a vyschlý travní porost indikuje struskoviště; **2** - magnetogram zobrazující naměřené podpovrchové anomálie; **3** - interpretační geomagnetické schéma (podle Hrubý et al. 2016).

4.2. Geoelektrika

Geoelektrické metody jsou v archeologii ve velké míře využívány především při průzkumech objektů s kamennou konstrukcí (kamenných stěn a výplní pravěkých valů, destrukčních vrstev, kamenných obložení hrobů a obvodů mohyl). Při vhodných podmínkách dokáží detekovat také běžné sídlištní objekty, příkopy nebo hroby. V prostorách prehistorických těžebních areálů najdou geoelektrické metody uplatnění při vyhledávání zaniklých těžařských a dutých prostorů, detekci výplní, průběhu dolů, zpracovatelských a výrobních areálů. Jejich nevýhodou v porovnání s magnetometrií je náročnější vyhodnocení dat a jejich pomalejší sběr. Umožňují ale pohled dovnitř těchto struktur a jejich interpretaci v 3D obraze (Kuna 2004).

Pro geoelektriku je charakteristický velký počet dílčích metod. Tato skutečnost se projevuje příznivě v širokém okruhu geologických problémů, k jejichž řešení může geoelektrika přispět (Mareš 1990).

Geoelektrické metody se zabývají se sledováním elektrického pole Země a jeho lokálních nehomogenit prostřednictvím přirozených nebo umělých geoelektrických polí. Podle základního rozdělení můžeme metody dělit na stejnosměrné, elektromagnetické (vč. radaru) a elektrochemické. V archeologickém bádání se převážně uplatňují první dvě. Jako stejnosměrné označujeme ty geoelektrické metody, které zkoumají rozložení elektrického potenciálu nebo gradientu potenciálu stejnosměrného proudu. Nejrozšířenější stejnosměrnou metodou je metoda odporová. Symetrické odporové profilování (SOP) se využívá pro sledování horizontálních změn zdánlivého měrného odporu. Výsledkem je plošný horizontální řez hloubkové úrovně. Pro sledování vertikálních změn (jejichž výsledkem je pseudoprofil hodnot naměřených v různých hloubkových úrovních) používáme vertikální elektrické sondování (VES) (Mareš 1990).

4.2.1. Stejnosměrné odporové metody

Metody využívající měrný odpor, odpor či vodivost jsou založeny na měření napětí a proudu v systému uspořádaných elektrod, kterými je do podloží zaváděn stejnosměrný proud. Měrný odpor hornin závisí na minerálním složení, textuře a struktuře hornin, obsahu vody a rozpuštěných solí v hornině a v neposlední řadě na teplotě a tlaku. Hlavním využitím odporu je mapování hornin různé poréznosti (Musset a Khan 2000). Průzkum měrného odporu se v posledních letech stal možná nejdůležitější technikou dostupnou právě v archeologii. Z tohoto hlediska je uplatněna detekce a mapování kontaktu mezi zemí a archeologickými objekty, respektive vodivost jejich výplní. Tyto metody jsou poměrně jednoduché, přístroje levné a průzkumy poskytují dobré výsledky na více místech než jakýkoliv jiný typ výzkumu (Johnson 2006).

Průzkum rezistivity je aktivní metodou výzkumu. V tomto ohledu je podobný radarovému systému, protože sonduje podpovrchovou vrstvu tak, že zaznamenává odezvu na aktivní proudění elektromagnetické energie (Johnson 2006).

Odporovými metodami lze sledovat rozhraní krystalických a sedimentárních hornin, kompaktních kvarcitických hornin s břidlicemi a podobně. Tam, kde proměnlivost hornin podle odporu můžeme předpokládat v horizontálním směru, aplikujeme odporové profilování. Dochází-li k maximálním změnám v odporech ve vertikálním směru, použijeme odporové sondování. Odporové profilování je určitým způsobem pohybu uspořádání elektrod po profilu či po sousedních profilech, s nimiž měříme elektrické pole (Mareš 1990). Odporové profilování obecně vychází z Ohmova zákona, který vyjadřuje vztah mezi elektrickým odporem, napětím a proudem: $U = I \times R$,

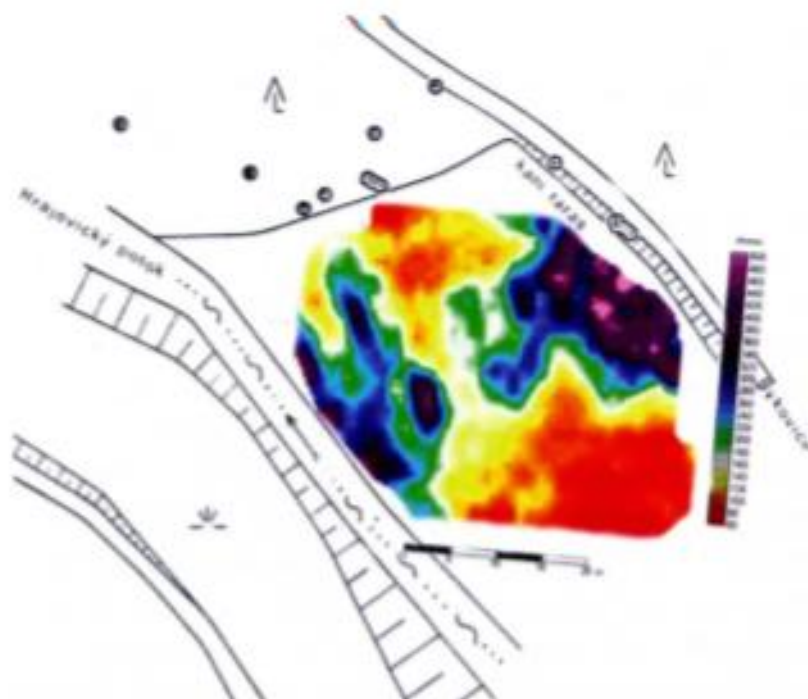
U..napětí (V)

I...proud (A)

R..odpor (Ω) (Musset a Khan 2000)

Zavádíme-li do země elektrodami A a B stejnosměrný proud, vznikne elektrické pole, jehož charakter bude záviset na odporu hornin, kterými tento proud bude procházet. Elektrické pole vyšetřujeme tak, že změříme rozdíl potenciálů mezi dvěma elektrodami M a N. Přemístíme-li dobře soustavu elektrod, můžeme zjistit geologickou stavbu podloží (Mašín a Válek 1963).

Příkladem geoelektrického odporového průzkumu je areál středověkého zlatorudného mlýna (Obr.6) na lokalitě Smršťov (okr. Benešov), který musel být situován nedaleko od potoka a nálezů mlýnských kamenů. Měřené anomálie zde způsobují úlomky či bloky mlýnských kamenů. Jedním ze dvou míst s vysokými odporovými anomáliemi je vyvýšený terén podél terasní zdi (v níž jsou uloženy úlomky mlýnských kamenů), kde lze předpokládat kamennou destrukci. Druhým místem několika nespojitých linií vysokých odporů je pak prostor podél břehu potoka, kde kamenné bloky mohly představovat součást dalšího zařízení mlýna (Křivánek 2007).



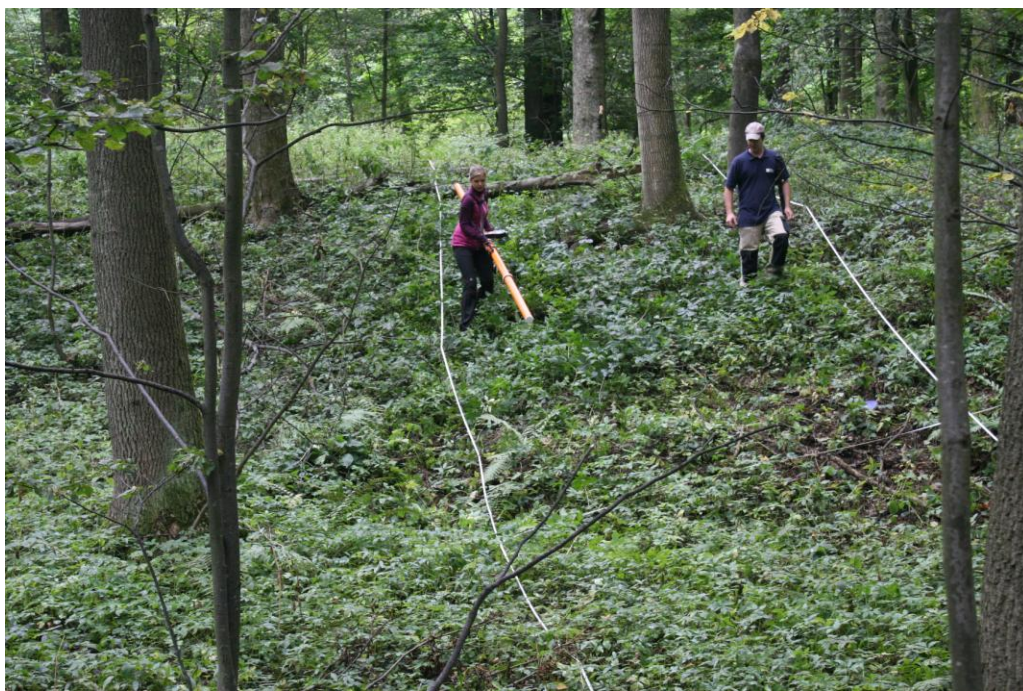
Obr.6 Louňovice p. B., okr. Benešov. Kombinace plánů nálezů mlecích kamenů a geoelektrického odporového měření v místě zaniklého středověkého areálu zlatorudného mlýna (Křivánek 2007).

5. Metodika

5.1. Dipólové elektromagnetické profilování

K terénním měřením jsem jako první využila metodu dipólového elektromagnetického profilování (DEMP), která je vhodná pro měření vodivosti a in-phase magnetické susceptibility půdy a hornin. Tato metoda doposud nebyla využita pro daný výzkum. Byl použit více-rozsahový elektromagnetický měřič vodivosti CMD-Explorer (GF Instruments Brno). Zařízení sestává ze 4 m dlouhé tyče, na jejíchž koncích se nachází měřící sondy. Sondy CMD firmy GF Instruments Brno poskytují vícerozsahová měření v rozmezí hloubek 2,2-6,7 m. Na konduktometru je připevněna řídicí jednotka, na které se nastaví požadované parametry měření. Tento přístroj má výbornou rozlišovací schopnost a hodí se na vyhledávání prostorových nehomogenit.

V první fázi byla vytyčena plocha o rozměrech 50 x 50 metrů, a rozdělena pomocí měřících pásem na úseky po deseti metrech. Tento přístroj je bezkontaktní a používá se za chůze, přičemž dochází k automatickému snímání dat. Hodnoty jsou měřeny ve zdánlivé vodivosti (mS/m), s rozlišovací schopností 0,1 mS/m s přesností +/- 4%. Hloubkový dosah byl nastaven na 6,7 metrů. Výsledkem je mapa tří vrstev elektrických vodivostí, susceptibility půdy v rozsahu 2,2; 4,2 a 6,7 m pod povrchem. Pro následné zpracování a vyhodnocení byl použit program Surfer (Golden Software, USA).



Obr.7 Měření konduktometrem, foto Martin Moník

5.2. Multielektrodové odporové profilování

V další terénní etapě jsem k měření profilů využila metodu elektrické odporové tomografie (ERT), která je vhodná i pro průzkum terénu s hustým vegetačním pokryvem, jako doplňující metodu k předchozímu měření. Byl použit přístroj Ares od firmy GF Instruments s.r.o. pro měření a zobrazení měrného odporu a in-phase. Aparatura sestává z několika částí, mezi které patří řídicí jednotka, multielektrodové kabely, ocelové elektrody a externí baterie. Pro zpracování a vyhodnocení naměřených dat a 2D inverzi jsem použila programy Res2Dinv (Geotomo Software, Malajsie) a Surfer (Golden Software, USA).

Pro správné vytyčení profilů bylo v první fázi určeno vhodné prostředí v lokalitě (nalézt a určit předpokládaný středověký rýžovnický sejp). Poté byla vyměřena plocha 50 x 50 metrů, která byla ohraničena měřicím pásmem. Pro přesné změření nadmořských výšek byl použit optický nivelační přístroj. Naměřené hodnoty jsem přenesla do plánu na milimetrový papír (příloha č.1). Poté proběhlo vytyčení dvou ERT profilů (na sebe kolmých, které vedly středem plochy 50 x 50 metrů) (Obr.8), pomocí měřicího pásma, a to profil Oskava1 o délce 55 m a profil Oskava2, taktéž o délce 55 m, podél nichž byly rozmístěny ocelové elektrody, u kterých musel být zajištěn kontakt s podložím. Bylo použito Wenner-Schlumbergerovo uspořádání elektrod.



Obr.8 Pozice ERT profilů (Oskava 1 a Oskava 2) (upraveno podle www1).



Obr.9 Měření ERT-profilu Oskava 2, foto Rybová

5.3. Kopaná sondáž

V poslední terénní etapě byly provedeny dvě kopané sondy (Obr.14;15) pro zjištění horninového materiálu v předpokládaném sejpu a jako doplňující metoda k předchozím měření. První sonda (Příloha č.1) byla provedena z boční strany předpokládaného sejpu do hloubky 170 cm. Druhá sonda byla situována do středu sejpu do hloubky cca 100 cm. Po začištění profilů byly fotograficky a kresebně zdokumentovány jednotlivé vrstvy obou profilů. Následně jsem odebrala vzorky z vybraných vrstev obou kopaných sond a provedla metodu síťování. Výsledky analýzy byly zpracovány v softwarovém programu Tri-plot v1.4.2 Excel Workbook.

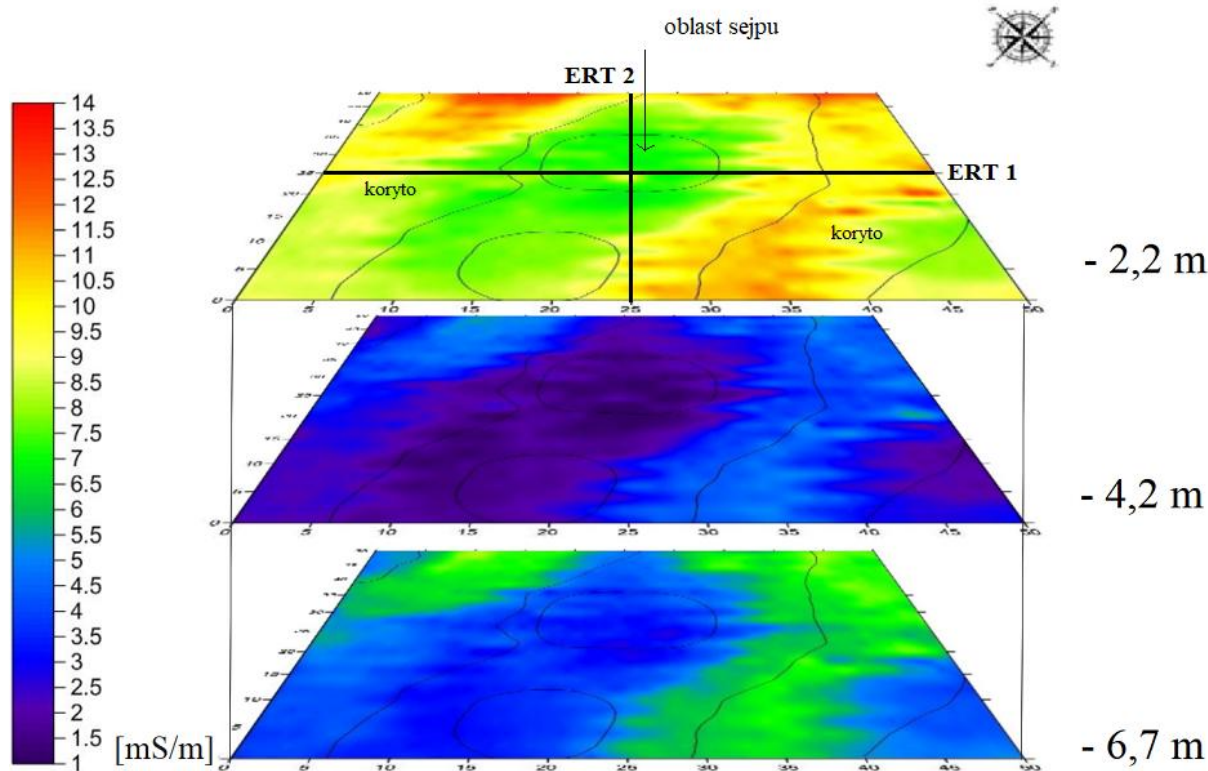


Obr.10 Hloubená sondáž o rozměrech 1,7 x 1,5 x 1,5m, foto Rybová

6. Výsledky

6.1. DEMP – dipólové elektromagnetické profilování

Provedené měření zdánlivé vodivosti probíhalo ve vymezené ploše 50 x 50 m. Naměřené hodnoty byly dále zpracovány v softwarovém programu Surfer (Golden Software, USA). Výsledkem jsou tři vodivostní 2D mapy a pseudo-3D model (Obr.11). Výsledky měření DEMP ukázaly v oblasti rozdíly v hodnotách elektrické vodivosti jak v rámci jedné hloubkové úrovně, kde se liší hodnoty v jádru struktury terénní vyvýšeniny (předpokládaném sejpu) a na okraji struktury, tak i v rámci třech různých hloubkových úrovní. Vysoké hodnoty vodivosti značí zvodnělé prostředí v okrajových částech (korytech) a naopak nízká vodivost je v oblasti terénní vyvýšeniny. Ve vodivostní mapě je zřetelná doména (terénní vyvýšenina), která má jasnou nejnižší vodivost ve všech měřených vrstvách v rozmezí 0,12 – 6,49 [mS/m]. Nejvyšší hodnoty vodivosti první měřené vrstvy (-2,2 m) činí 13,48 [mS/m], a nejnižší vodivost 6,49 [mS/m]. U druhé vrstvy (-4,2 m) je oblast terénní vyvýšeniny s nejnižší naměřenou vodivostí 0,12 [mS/m] ještě menší než u třetí vrstvy (-6,7 m), kde oblast terénní vyvýšeniny vykazuje měřené hodnoty 1,36 [mS/m]. Nejvyšší vodivost naměřená u druhé vrstvy (-4,2 m) činí 5,86 [mS/m] a u třetí vrstvy (-6,7 m) činí 8,27 [mS/m].

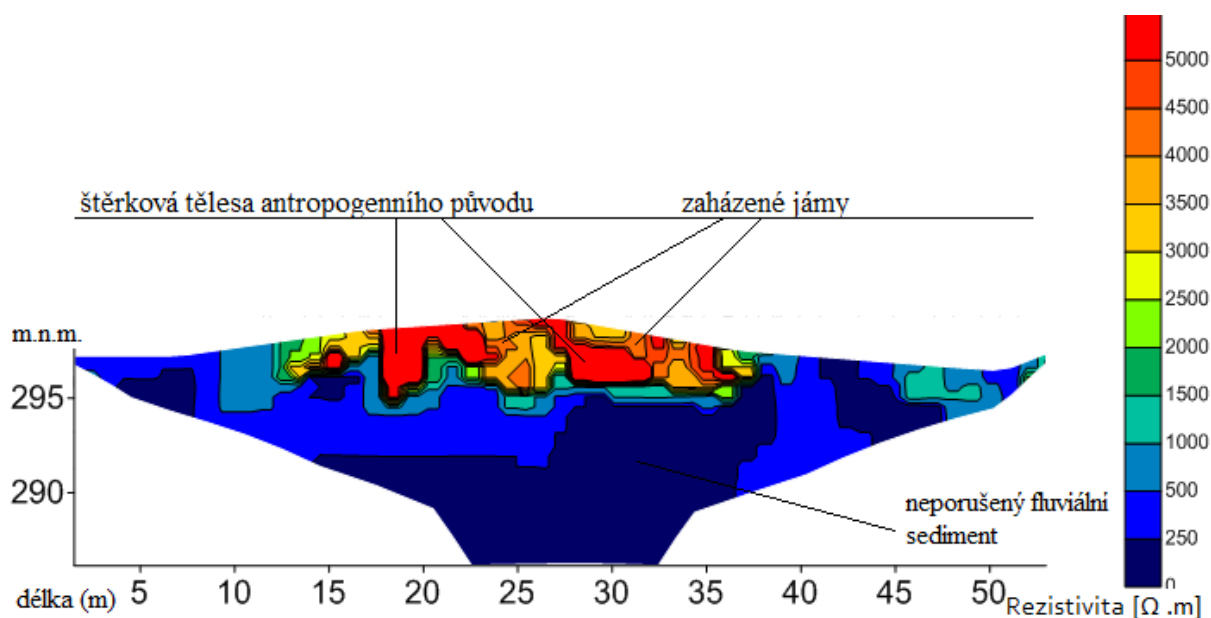


Obr.11 Pseudo-3D model vodivostních vrstev podle hloubkového dosahu

6.2. ERT – Multielektrodové odporové profilování

6.2.1. Odporový (ERT) profil Oskava 1

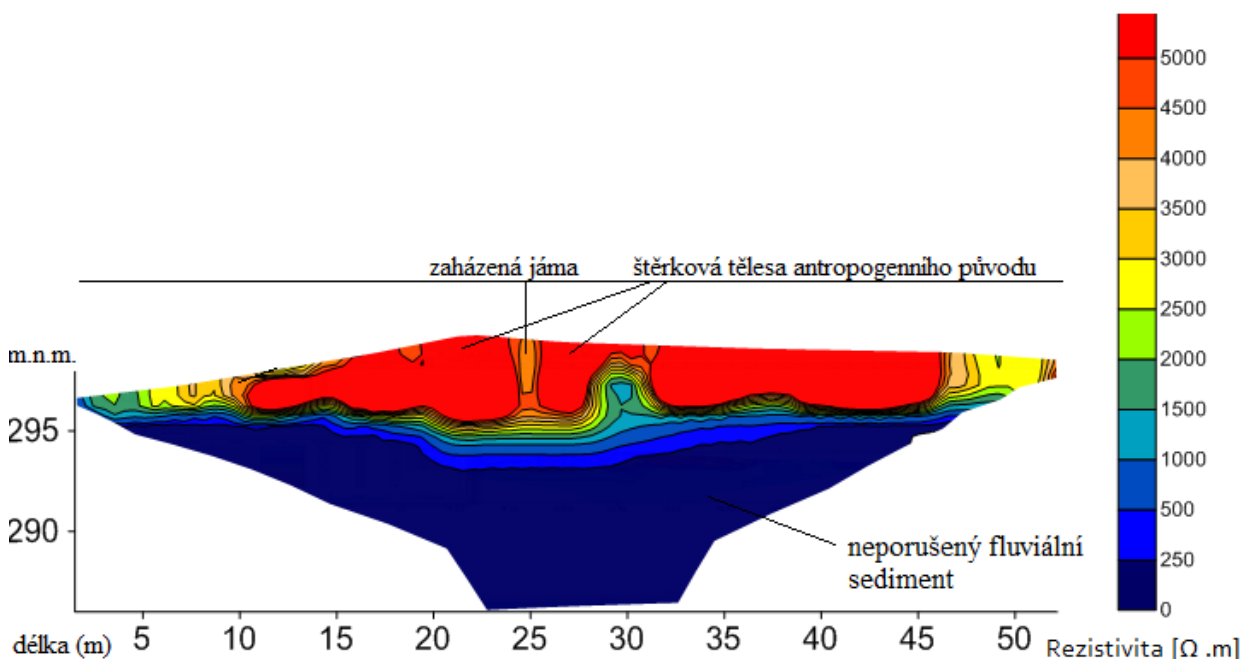
První profil Oskava 1 (Obr.12) o délce 55 m je veden napříč terénní vyvýšeninou ve směru (V-Z). Rozpětí elektrod činí 1 m. Naměřené hodnoty se pohybují v rozpětí od 42,4 [$\Omega \cdot m$] do 5 427 [$\Omega \cdot m$]. Začátek profilu je tvořen do 12. metru doménami s relativně nižším odporem v rozmezí 42,2 [$\Omega \cdot m$] do 1357 [$\Omega \cdot m$]. Nižší hodnoty 42,4 [$\Omega \cdot m$] až 334 [$\Omega \cdot m$] odpovídají nivním sedimentům. Od 15. metru pozorujeme první menší těleso s vysokým odporem v hloubce 2 metry. Mezi 18. a 24. metrem profilu od nadloží dolů lze pozorovat v oblasti terénní vyvýšeniny mocné těleso s vysokým odporem až 5 427 [$\Omega \cdot m$], které zasahuje do hloubky 3 metrů. Od 25. metru je taktéž v oblasti terénní vyvýšeniny druhé mocné těleso, které zasahuje do hloubky 2,5 metrů. Pravděpodobně se jedná o sedimentární tělesa s vysokým odporem, který odpovídá štěrkové frakci. Od 24. metru do 26. metru pozorujeme tři menší tělesa v rozmezí 4000 – 4500 [$\Omega \cdot m$]. Od 39. metru profilu pozorujeme opět vrstvy s relativně nižším odporem. Od 293 m.n.m. směrem do hloubky je podloží relativně homogenní, jedná se o neporušený fluvialní sediment. O rozmanitosti podloží v oblasti terénní vyvýšeniny vypovídá nejednotné vyplnění prostoru a zvýšená vlhkost.



Obr.12 Odporový (ERT) 2 D profil Oskava 1

6.2.2. Odporový (ERT) profil Oskava 2

Druhý profil Oskava 2 (Obr.13) o délce 55 metrů je veden kolmo ve směru (S-J) na první profil Oskava 1. Naměřené hodnoty se pohybují v rozpětí od 96,3 [Ω .m] do 5000 [Ω .m]. Od začátku profilu do 10. metru je ERT profil tvořen rozmanitými doménami s vyšším odporem do 4000 [Ω .m], což odpovídá štěrkopískové frakci. Směrem do hloubky od 10. metru do 24. metru můžeme pozorovat těleso o mocnosti 3 m s velmi vysokým odporem v oblasti terénní vyvýšeniny. Od 26. metru pozorujeme další menší doménu o mocnosti 3 m. Nejvyšší odpor vykazuje třetí mocná doména v profilu od 32. m do 48. m. Tyto domény leží v oblasti terénní vyvýšeniny a svým vysokým odporem pravděpodobně odpovídají štěrkovému materiálu. Na 10. a 25 metru pozorujeme dvě menší tělesa v rozpětí 4000-4500 [Ω .m]. V porovnání s prvním ERT profilem Oskava 1 (Obr.12) se naměřené hodnoty odporů na 25. metru profilu shodují. Od 48. m profilu do konce profilu jsou viditelné domény s vyšším odporem. Od 294 m.n.m. směrem do hloubky je podloží relativně homogenní, odpovídající neporušeným fluvialním sedimentům.



Obr.13 Odporový (ERT) 2 D profil Oskava 2

6.3. Kopaná sondáž

6.3.1. Sonda 1

Po začistění profilu byly zaznamenány 4 vrstvy. První vrstva (nejspodnější) dosahovala hloubky v rozmezí 140-180 cm, v níž byla převaha valounů od 1 cm do 5 cm. Druhá vrstva dosahovala hloubky 90-140 cm s obsahem valounů o velikosti od 2 cm do 70 cm. Třetí vrstva v hloubce od 10 do 90 cm obsahovala valouny velikosti 0,5 cm až 5 cm. Valouny v 1. a 3. vrstvě byly orientované jedním směrem, což pravděpodobně odpovídá původnímu přirozenému korytu řeky. Čtvrtá vrstva o mocnosti 0-10 cm obsahovala valounky od 0,5 cm do 2 cm.

Na základě výsledků síťování a následném zpracování dat v softwarovém programu Tri – plot v1.4.2 Excel Workbook (příloha č.2) lze v první kopané sondě rozlišit pomocí zobrazení v ternárním diagramu zastoupení štěrkové, písčité a prachovo-jílovité frakce (příloha č.2). Všechny tři vrstvy mají tedy značnou převahu štěrkovité frakce, což by mohlo znamenat antropogenně překopaný štěrkový materiál.



Obr.14 1.Kopaná sonda, foto Rybová

6.3.2. Sonda 2

Po začistění profilu bylo zaznamenáno 5 vrstev. Nejspodnější první vrstva dosahovala hloubky v rozmezí 100-80 cm, v níž byla převaha valounů od 1 cm do 5 cm, orientace klastů v této vrstvě byla stejná jako u sondy č.1 v 1. a 3. vrstvě, což by mohlo značit původní koryto řeky. Druhá vrstva dosahovala hloubky 80-60 cm s obsahem valounů velikostí od 1 cm do 5 cm. Třetí vrstva v hloubce od 60-30 cm obsahovala valouny velikosti 1 cm až 15 cm. Čtvrtá vrstva o mocnosti 30-10 cm obsahovala valounky od 1 cm do 20 cm. Pátá vrstva dosahovala do hloubky v rozmezí 10-0 cm s valounky od 1 do 15 cm.

Na základě výsledků síťování zvolených tří vrstev (vrstva č. 201 s hloubkou 100-50 cm; vrstva č. 202 s hloubkou 50-10 cm a vrstva č. 203 s hloubkou 10-0 cm) a následném zpracování dat v softwarovém programu Tri – plot v1.4.2 Excel Workbook lze v druhé sondě rozlišit pomocí zobrazení v ternárním diagramu (příloha č.3) zastoupení štěrkové, písčité a prachovo-jílovité frakce. Všechny tři vrstvy mají tedy taktéž značnou převahu štěrkovité frakce. Hloubená sondáž v rámci druhé kopané sondy tedy zřejmě potvrzuje antropogenní činnost, což by mohlo znamenat antropogenně překopaný štěrkový materiál (do hloubky 50 až 100 cm) a nález opáleného křemene a fylitického svoru (příloha č.5).



Obr.15 2.Kopaná sonda, foto Rybová

7. Diskuze a závěr

Tato práce se zabývá využitím metody dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) a doplňující metodou elektrické odporové tomografie (ERT) při průzkumu antropogenních pozůstatků (rýžovnických kopečků) po středověké těžbě v bývalém těžebním areálu u Břevence. Hlavním cílem práce bylo zjistit, jak se antropogenní struktury - konkrétně přerýžované haldy štěrkového materiálu projevují z hlediska vodivosti a rezistivity.

Interpretaci dat naměřených pomocí geofyzikálních metod bylo třeba potvrdit. Pro potvrzení byly provedeny dvě kopané sondy. Hloubená sondáž v rámci druhé kopané sondy z vrcholku předpokládaného sejpu by zřejmě mohla potvrzovat antropogenní činnost a to do 50 – 100 cm hloubky, kde byl sledován uměle překopaný štěrkový materiál, což nám potvrdily výsledky metodou ERT, kdy na 25. metru u obou profilů byly sledovány hodnoty odporů v rozmezí 4000 – 4500 [$\Omega \cdot m$]. Tyto anomálie by s největší pravděpodobností mohly značit zaházené jámy. Podle historických pramenů jsou kopečky podél řeky Oskavy antropogenními vyvýšeninami (sejpy) po středověkém rýžování, nicméně zvolené území neprokazuje jasně, že by se jednalo o středověký rýžovnický kopeček a s větší pravděpodobností jde o přírodní vyvýšeninu. Nález opáleného křemene a fylitického svoru nemůže taktéž jednoznačně potvrdit, zda-li se jedná o relikty po středověké těžbě.

Dipólovým elektromagnetickým profilováním byla změřena plocha o rozměrech 50 x 50 m. Byly sledovány rozdíly ve vodivosti a výskytu vodivostních anomálií v rámci třech hloubkových úrovní (2,2 m; 4,2 m; a 6,7 m), výsledné hodnoty vodivosti byly prověřeny měřeními ERT. Hodnoty vodivosti byly ovlivněny zvodnělým prostředím. Podle schématu oblasti s naměřenými výškami (Obr.16) výsledná data ukazují, že mezi 18. až 33. metrem v první hloubkové úrovni z výsledků DEMF lze potvrdit oblast terénní vyvýšeniny s nejnižší naměřenou vodivostí 6,49 [mS/m]. Porovnáním výsledků z elektrické odporové tomografie, kdy byl první profil Oskava 1 o délce 55 m veden napříč sejpem ve směru (V-Z), můžeme sledovat dvě domény v hloubce do 3 m s vysokým odporem, které vykazují hodnoty až 5 427 $\Omega \cdot m$. Mohlo by se jednat o zbytky antropogenně překopaného materiálu. Podle schématu oblasti (Obr.16) výsledná data měrné vodivosti v rámci první hloubkové úrovně ukazují taktéž nejnižší vodivost 6,49 [mS/m]. Na 25. metru v první hloubkové úrovni si lze povšimnout domény s vyšší vodivostí srovnatelnou s nižším odporem na 25. metru u ERT profilu Oskava 2. Můžeme sledovat taktéž dvě domény o hloubce do 3 m, které potvrzují nejvyšší naměřený odpor okolo 5000 [$\Omega \cdot m$]. V rámci první hloubkové úrovně výsledná mapa anomálií DEMF

zachytila jak domény s nízkou hodnotou zdánlivé vodivosti (vysokým odporem) v oblasti přírodní vyvýšeniny tak struktury s vysokou vodivostí (nízkým odporem) v oblasti původního koryta, přičemž nízká vodivost je zde pravděpodobně zapříčiněna polohami s nižší půdní vlhkostí a naopak vysoká vodivost zvodnělým prostředím.

V oblasti dalších dvou vodivostních úrovní (- 4,2 m a - 6,7 m) měrná vodivost v oblasti přírodní vyvýšeniny taktéž prokazuje nižší hodnoty vůči okolnímu prostředí, avšak při porovnání s elektrickou odporovou tomografií jsou hodnoty měrného odporu u obou ERT profilů od 294 m.n.m. směrem do hloubky relativně homogenní s nízkým odporem do 500 [Ω .m], což odpovídá neporušenému fluvialnímu sedimentu.

Metody dipólového elektromagnetického profilování a elektrické odporové tomografie se v našem případě vzájemně doplňují. Terénní vyvýšeniny vykazují zvýšený odpor a nízkou vodivost. Tyto zvolené metody však neprokazují zcela jasně, že se jedná o antropogenní pozůstatky po středověké těžbě. Velkou roli zde hraje prostředí. Zvolené území se nachází v blízkosti řeky Oskavy, tudíž větší vodivost prokazují sedimenty nasycené vlhkostí. Z geofyzikálního prospekce tedy vyplývá, že dané metody nejsou vhodné pro identifikaci sejpů. Pro další výzkum středověkého hornického areálu u Břevence se jeví jako vhodná metoda magnetometrie.

8. Použitá literatura

- Aichler J., Adamová, M., Buriánková K., Čurda J., Hanžl, P., Holásek O., Hrouda F., Chlupáčová M., Krejčí Z., Kočandrle J., Macek J., Manová M., Nekovařík Č., Orel P., Pecina V., Šalanský K., Večeřa J., Žáček V. (2000): Vysvětlivky základní geologické mapě ČR v měřítku 1:25 000 list 14-423 Libina. – Český geologický ústav, Praha.
- Agricola, G., (1556): De re metallica libri XII, Bazilej.
- Barth, V., Kopečný, V., Panoš, V., Pek, I., Zapletal, J. (1971): Geologické exkurze do Hornomoravského úvalu a okolí. – Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Olomouc.
- Conyers, L. B., and D. Goodman (1997): Ground-Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists. AltaMira, Walnut Creek, California. In: Johnson, Jay, K. (2006): Remote sensing in archaeology: an explicitly North American perspective. Tuscaloosa, – University of Alabama Press.
- Conyers, L. B., and J. E. Lucius (1996): Velocity Analysis in Archaeological Ground-Penetrating Radar Studies. Archaeological Prospection 3(1):25-38. In: Johnson, Jay, K. (2006): Remote sensing in archaeology: an explicitly North American perspective. Tuscaloosa, – University of Alabama Press.
- Conyers, L. B. (2004): Ground-Penetrating Radar for Archaeology. AltaMira, Walnut Creek, California. In: Johnson, Jay, K. (2006): Remote sensing in archaeology: an explicitly North American perspective. Tuscaloosa, – University of Alabama Press.
- 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.
- Dresler P., Tencer T., Vágner M. (2015): Prospekce zaniklé středověké vesnice Opatovice, k.ú. Hrušky. Studia Archaeologica Brunensia. – Masarykova Univerzita, roč. 20, č. 1, s. 113-132, Brno.

- Editors, Campana S., Piro S. (2009): Seeing the unseen: Geophysics and landscape archaeology. Boca Raton: CRC Press.
- Fassbinder, J. W. E. (1994): Die magnetischen Eigenschaften und die Genese ferrimagnetischer Minerale in Böden im Hinblick auf die magnetische Prospektion archäologischer Bodendenkmäler. Buch am Erlbach.
- Hanžl, P., Buriánková, K., Mixa, P. (2000): Mylonitizace a chemické složení metagranitů ve vrtu Do – 7, oskavská kra, silezikum. – Acta Mus. Morav., Sci. Geol., 85: 125-134.
- Hruběš, M., Adamovská, M., Bláha, J., Břízová, E., Čtyrská J., Čurda, J., Hnojem, I., Hanžl, P., Hladolová, Š., Kašpárek, M., Nekovařík, Č., Novák Z., Šamanovský, K., Švábenická, L., Večeřa, J., Zapletal, J. (2000): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000 24-224 Olomouc – Český geologický ústav, Praha.
- Hrubý, P., Hejhal, P., Hoch, A., Kočár, P., Malý, K., Macháňová, L., Petr, L., Štelcl, J. (2012): Středověký úpravnický a hornický areál Cvilínek u Černova na Pelhřimovsku – Das mittelalterliche Aufbereitungs und Bergbauareal Cvilínek bei Černov in der Region Pelhřimov, Památky Archeologické CIII, 339-18.
- Hrubý, P., Hejhal, P., Kočár, P., Petr, L., Malý, K. (2014): Centrální Českomoravská vrchovina na prahu vrcholného středověku. Archeologie, geochemie a rozborů sedimentárních výplní niv – Central Bohemian-Moravian Highlands on the threshold of the High Middle Ages. Archaeology, geochemistry and the analyses of alluvial sediments. Spisy Filozofické fakulty Masarykovy univerzity 422, Brno.
- Hrubý, P., Malý, K., Milo, P. 2016: Archeometalurgie a geofyzika středověkých areálů zaměřených na produkci drahých kovů. – Archaeologia Historica 41, 391-413.
- 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.

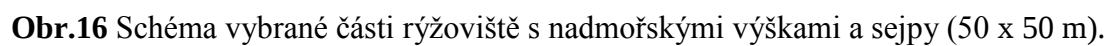
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z., (2002): Geologická minulost České republiky. – Nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha.
- Johnson, Jay K. (2006): Remote sensing in archaeology: an explicitly North American perspective. Tuscaloosa, – University of Alabama Press.
- Kirchner, K., Smolová, I. (2010): Základy antropogenní geomorfologie. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Kopečný, V. (1981): Petrografická charakteristika bedřichovské kry - Jeseníky. – Sbor. Prac. Univ. Pal. Geogr.-Geol., 70, 19-34. Olomouc.
- Kuna, M. (2004): Nedestruktivní archeologie: Non-destructive archaeology: Teorie, metody a cíle. Praha: Academia, Praha.
- Křivánek, R. (2009): Uplatnění geoelektrických metod při průzkumech zaniklých středověkých lokalit. In: V. Hašek – R. Neruda – M. Ruttkay (eds): Ve službách archeologie 1/2009, Fineso s.r.o. Brno, 22-28.
- Křivánek, R. (2014): Geofyzikální průzkum v areálu husitského obléhacího tábora na předpolí Nového hradu v Praze-Kunraticích. In: Archeologické rozhledy: Archeologický ústav AV ČR Roč. 66, s. 633-650.
- Le Borgne, E. (1955): Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel, Annales de Géophysique 11, 399-419.
- Lowrie, W. (2007): Fundamentals of geophysics. 2nd edition. – Cambridge University Press, New York.
- Machová, B., Šabatová, K., Milo, P., Bíško, R., Tencer, T., (2016): Identifikace a dokumentace jako základ památkové ochrany pravěkých středověkých nadzemních struktur. –Masarykova Univerzita, Brno. Dostupné z: <http://www.archeo-muzeo.phil.muni.cz> (cit.4.3.2018).

- 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.
- Mašín, J., Válek, R. (1963): Přehled užití geofyziky. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Milo, P.: Geofyzikálne prieskumy včasnostredovekých sídliskových lokalit na dolnom Podýjí. Archeologické rozhledy. Praha: Archeologický ústav AV ČR. 2013, 65(4), s. 706-734.
- Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983): Geologie ČSSR I. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Mussett, A. E., Khan, M. A. (2000): Looking into the earth: an introduction to geological geophysics. – Cambridge University Press, New York.
- Novák, J. (1985): Těžba a rýžování zlata v Jeseníkách. In: Vlastivědné listy, Olomouc. roč. 11, č. 2, s. 30-32.
- Večeřová, V., Večeřa, J. (2002): Jesenické zlaté stezky. 2. dopl. vyd. – Jeseník: Pinka.
- Venclová, N., Křivánek, R. (2008): Nedestruktivní archeologie hutnických areálů. In: Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 2003-2007. Sborník k životnímu jubileu Zdeňka Smrže. Most. (Černá, E.–Kuljavceva-Hlavová, J., edd.), 375-384.
- Vlach, J. (1958): Nízký Jeseník a přilehlé oblasti. – Sportovní a turistické nakladatelství, Řada oblastních turistických průvodců, Praha.

Internetové zdroje:

- www1: Mapy. Seznam. Dostupné z:
<http://mapy.cz/letecka?x=17.1351875&y=49.8718913&z=17&source=pubt&id=15270694> (cit. 12. 4. 2018)
- www2: Geologická mapa 1 : 50 000. Česká geologická služba. Dostupné z:
<https://mapy.geology.cz/geocr50/> (cit. 21. 6. 2018)
- www3: Geologické lokality. Významné geologické lokality v České republice. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/911> (cit. 29. 11. 2017)

Příloha 1



Příloha 2

vzorek 101			štěrk písek prach+ jíl	82,4388382 % 17,12776567 % 0,433396127 %
zrnitost	hmotnost g	hm%		
125	73,9	9,098856179		
64	235,6	29,00799074		
32	76,36	9,401740972		
16	4,17	0,513426661		
8	44,92	5,530725569		
4	116,45	14,33777811		
2	118,16	14,54831997		
1	74,34	9,153030695		
500	42,07	5,179822455		
250	16,38	2,016769475		
125	4,24	0,522045334		
63	2,08	0,256097711		
32	2,02	0,248710277		
	1,5	0,184685849		
812,19				
vzorek 102			štěrk písek prach+ jíl	96,1569967 % 3,623946777 % 0,112776982 %
zrnitost	hmotnost g	hm%		
125	3421,96	79,40706225		
64	370,2	8,590542977		
32	62,66	1,454034098		
16	2,58	0,059869262		
8	30,35	0,704276011		
4	126,61	2,938002826		
2	129,42	3,003209271		
1	67,22	1,559849538		
500	47,74	1,107813403		
250	30,22	0,701259343		
125	10,99	0,255024493		
63	4,58	0,106279543		
32	4,86	0,112776982		
4309,39				
vzorek 103				
zrnitost	hmotnost g	hm%		
125	182	23,23028617		
64	134,23	17,13297424		
32	57,3	7,313710974		
16	6,12	0,781150282		
8	43,29	5,525489495		
4	117,42	14,98736375		
2	94,34	12,04145713		
1	67,13	8,568401705		
500	45,79	5,844586833		
250	24,84	3,170551145		
125	7,35	0,938146172		
63	2,38	0,303780665		
32	1,27	0,162101447		
783,46				

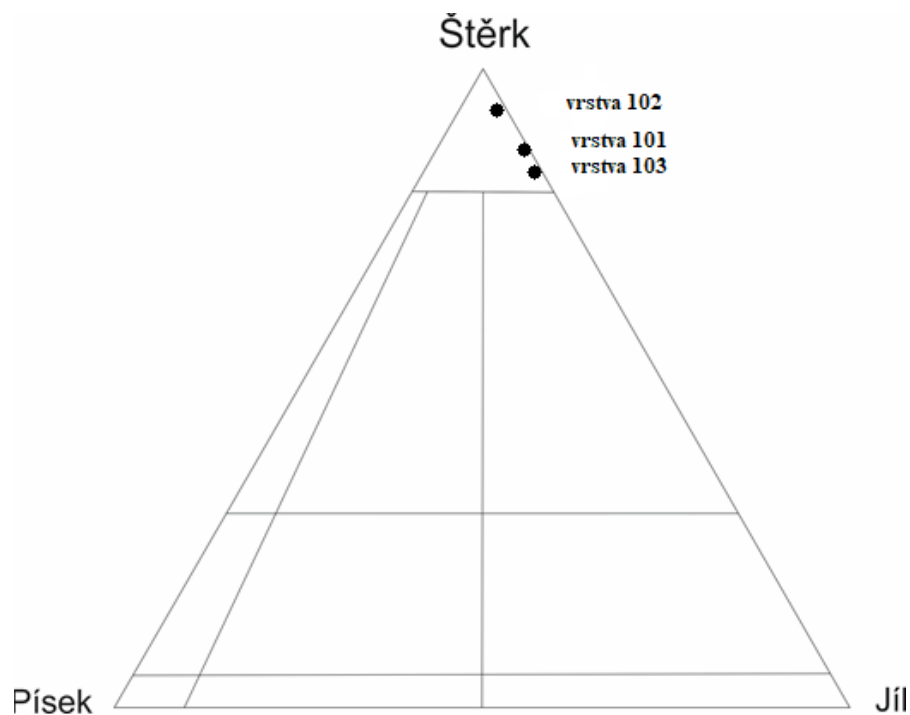
Obr. 17 Tabulky znázorňující zrnitost tří vrstev u 1. sondáže

Příloha 3

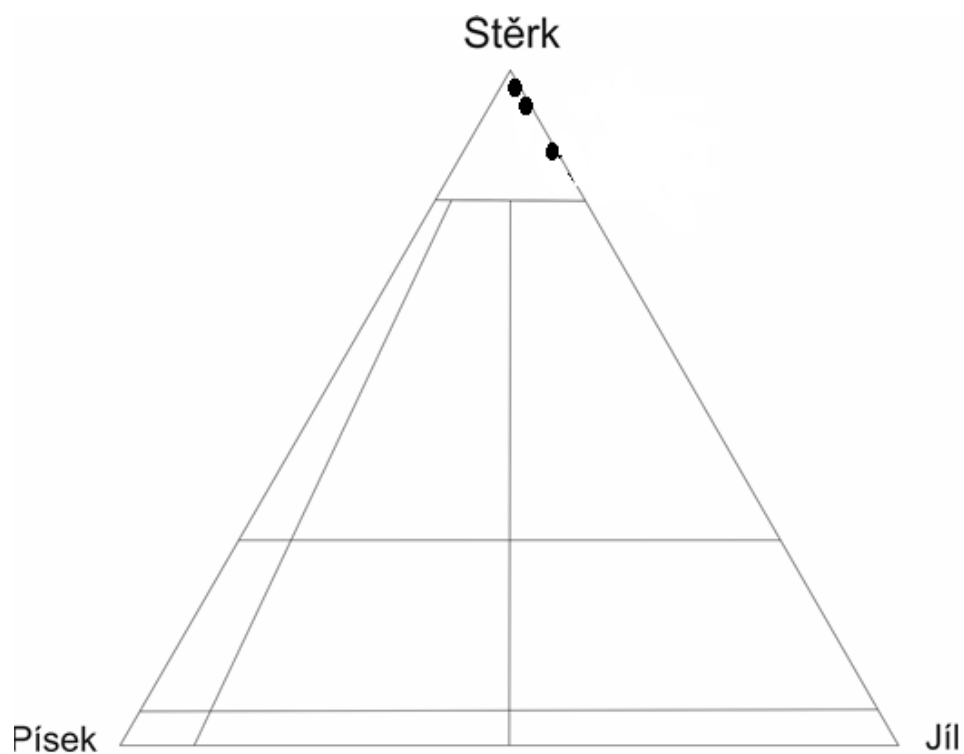
vtorek 1			štěrk	97,61467206 %
zrnitost	hmotnost g	hm%	písek	2,280109748 %
125	2200	63,07357533	prach+ jíl	0,105218192 %
64	855	24,51268496		
32	143,74	4,120998053		
16	12,5	0,358372587		
8	66,7	1,912276125		
4	59,12	1,694958988		
2	67,73	1,941806026		
1	42,72	1,224774154		
500	23,51	0,674027162		
250	10,6	0,303899954		
125	2,7	0,077408479		
63	1,52	0,043578107		
32	2,15	0,061640085		
3487,99				
vzorek 3			štěrk	93,36815275 %
zrnitost	hmotnost g	hm%	písek	6,442633974 %
125	214,98	33,61741388	prach+ jíl	0,189213279 %
64	129,7	20,28178705		
32	65,66	10,26755696		
16	7,2	1,125897199		
8	111	17,41074919		
4	42,86	6,702215828		
2	25,34	3,962532643		
1	15,67	2,450390155		
500	17,29	2,703717025		
250	6,41	1,002361257		
125	1,83	0,286165538		
63	0,71	0,111025974		
32	0,5	0,078187306		
	639,49			
vzorek 2			štěrk	98,86109613 %
zrnitost	hmotnost g	hm%	písek	0,983257254 %
125	1359	36,46961268	prach+ jíl	0,155646618 %
64	1999	53,64441188		
32	126,6	3,397389967		
16	9,3	0,249571301		
8	80,26	2,153827162		
4	79,33	2,128870032		
2	30,46	0,8174131		
1	17,29	0,463987935		
500	9,98	0,267819525		
250	5,58	0,149742781		
125	3,79	0,101707014		
63	2,69	0,072187828		
32	3,11	0,08345879		
3726,39				

Obr. 18 Tabulky znázorňující zrnitost tří vrstev u 2. sondáže

Příloha 4



Obr.19 Ternární diagram vyjadřující zastopení jednotlivých frakcí první kopané sondy



Obr.20 Ternární diagram vyjadřující zastoupení jednotlivých frakcí druhé kopané sondy

Příloha 5



Obr.21 Vzorek opáleného křemene, foto Rybová



Obr. 22 Vzorek opáleného fylitického svoru, foto Rybová