

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Geologie

Geologie



Eliška Vošvrdová

Geofyzikální metody při lokalizaci a průzkumu zaniklých středověkých vesnic
Geophysical methods for localization and exploration of deserted medieval villages

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PhDr. RNDr. Jiří Dohnal

Praha, 2018

Charles University
Faculty of Science

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 20. 8. 2018

.....

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala PhDr. RNDr. Jiřímu Dohnalovi za odborné vedení bakalářské práce, za cenné rady, čas a trpělivost a také za pomoc při přípravě a realizaci terénních prací a při zpracování dat. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Zdeňkovi Jáněmu, Mgr. Ing. Žanetě Novotné, Veronice Turjakové a Jiřímu Skalkovi za neocenitelnou pomoc při realizaci terénních prací. Dík patří také PhDr. Tomášovi Klírovi, Ph.D. za poskytnutí informací týkajících se archeologické lokality Štítary.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá využitím metod užité geofyziky při lokalizaci a průzkumu zaniklých středověkých vesnic. Skládá se ze dvou navzájem propojených částí: teoretické a praktické.

První část rešeršního charakteru shrnuje poznatky o středověkých vesnicích, možnostech jejich lokalizace a využití vybraných metod užité geofyziky při jejich průzkumu. Mezi vybrané geofyzikální metody patří magnetometrie, geoelektrické odporové (symetrické odporové profilování, elektrická odporová tomografie) a elektromagnetické metody (georadar, konduktometrie). U každé metody jsou uvedeny její základní principy a využití při archeologické prospekci. Kromě poznatků o využití v archeologii obecně jsou zde uvedeny konkrétní typy struktur a objektů vyhledávaných v areálech středověkých vesnic.

Druhá část je experimentální. Jejím jádrem je popis realizovaného geofyzikálního průzkumu vybrané lokality Štítary u Městce Králové. Cílem průzkumu byla lokalizace zaniklé středověké vesnice. V této části práce je popsána geografická, geologická a archeologická situace lokality, postup při výběru místa měření, volba geofyzikálních metod a metodika terénního průzkumu. Pro průzkum zaniklé vesnice Štítary byly vybrány metody: magnetometrie, symetrické odporové profilování a konduktometrie. V závěru druhé části práce jsou na základě zhotovených mapových výstupů prezentovány výsledky měření a jejich interpretace. Geofyzikální průzkum přinesl nové poznatky o zkoumané lokalitě.

Klíčová slova: *archeologie, zaniklé středověké vesnice, geofyzikální metody, geofyzikální průzkum.*

Abstract

This bachelor thesis deals with geophysical methods used for localization and exploration of deserted medieval villages. It's comprised of two closely related parts: theoretical and practical.

First of which, the thesis reviews the current knowledge about deserted medieval villages, how to locate them and describes practical application of selected geophysical methods such as magnetometry, geoelectrical resistivity survey (symmetric resistivity profiling, electrical resistivity tomography) and electromagnetic (ground penetrating radar, dipole electromagnetic profiling). In addition to the explanation of basic principles and practical use of the methods in archaeological prospection, this part of the thesis presents particular examples of structures and objects that are being sought around the areas of deserted medieval villages.

The second part is experimental and its main aim is to describe geophysical research of a selected area called Štítary u Městce Králové. The primary purpose of research was to localize relicts of deserted medieval village. This part of the thesis examines the preparation proces, implementation of the terrain measurment, the data processing and, most importantly, the interpretation of the final results.

Key words: *archaeology, deserted medieval villages, geophysical methods, geophysical survey.*

Obsah

1. ÚVOD	7
2. GEOFYZIKÁLNÍ METODY PŘI PRŮZKUMU STŘEDOVĚKÝCH VESNIC	8
2.1 Středověké vesnice v evropském kontextu	8
2.1.1 Středověké vesnice v českých zemích	9
2.2 Lokalizace zaniklých středověkých vesnic	12
2.2.1 Historické prameny	12
2.2.2 Místní názvy a mapové materiály	13
2.2.3 Dálkový průzkum Země a letecká archeologie	13
2.2.4 Povrchový průzkum a povrchové sběry	15
2.3 Metody užití geofyziky při průzkumu středověkých vesnic.....	15
2.3.1 Magnetometrie	15
2.3.2 Geoelektrické odporové metody	21
2.3.3 Elektromagnetické metody.....	25
3. GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM LOKALITY ŠTÍTARY.....	29
3.1 Geografická poloha.....	29
3.2 Geologické poměry	31
3.3 Historické údaje o lokalitě	33
3.4 Archeologický průzkum lokality	33
3.5 Výběr plochy pro geofyzikální měření.....	35
3.6 Volba geofyzikálních metod	35
3.7 Metodika terénního průzkumu.....	36
3.7.1 Geodetické práce	36
3.7.2 Geofyzikální měření.....	37
3.8 Zpracování dat	38
3.9 Výsledky měření a interpretace.....	39
4. DISKUZE	49
5. ZÁVĚR	50
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
7. FOTOGRAFICKÁ PŘÍLOHA	55

1. ÚVOD

Účelem této práce bylo vytvořit přehled metod užitých geofyziky využívaných při lokalizaci a průzkumu zaniklých středověkých vesnic. Práce je rozdělena do dvou vzájemně provázaných částí. První, rešeršní část, je zaměřena na popis středověkých vesnic a způsoby jejich lokalizace. Dále popisuje vybrané metody užitých geofyziky a jejich využití při archeologickém průzkumu. Mezi tyto metody patří magnetometrie, geoelektrické metody a elektromagnetické metody. Z geoelektrických metod jsou zde popsány metody odporové, a to symetrické odporové profilování a elektrická odporová tomografie a z elektromagnetických georadar a konduktometrie.

Druhá část je experimentální, popisuje realizovaný geofyzikální průzkum zaniklé středověké vesnice Štítary u Městce Králové. Výběr lokality vycházel ze spolupráce s PhDr. Tomášem Klírem, Ph.D z Ústavu pro archeologii Filozofické fakulty Univerzity Karlovy. Místo, kde Štítary stávaly, během několika staletí zcela změnilo svou podobu, především kvůli zemědělské kultivaci a k ověření přítomnosti zaniklých objektů se metody užitých geofyziky jevíly vhodnými. Na lokalitě dosud žádný podrobný výzkum veden nebyl. Cílem experimentální části práce bylo přispět získanými výsledky k lepšímu poznání archeologické lokality Štítary a získat poznatky o možnostech efektivní aplikace vybraných geofyzikálních metod na této lokalitě.

2. GEOFYZIKÁLNÍ METODY PŘI PRŮZKUMU STŘEDOVĚKÝCH VESNIC

2.1 Středověké vesnice v evropském kontextu

Z časového hlediska je období středověku obecně vymezováno zánikem Západořímské říše a rokem objevení Ameriky Kryštofem Kolumbem, tedy lety 476 a 1492. Tyto letopočty jsou však pouze orientační, jelikož přechody mezi jednotlivými obdobími měly delšího trvání a záleželo i na vývoji společnosti a kultury v konkrétní oblasti. Středověk se dále dělí na raný, vrcholný a pozdní. U této periodizace se nepoužívá dělení dle konkrétních let, nýbrž staletí. Jako raný středověk je obecně nejčastěji označováno období od 5. do 11. století, vrcholný do 14. století a pozdní je zasazován do století 14. až 15. (Klápště 2012).

Pro české země není toto časové dělení zcela adekvátní, jelikož zde byl oproti většině evropských zemí zpomalen kulturní vývoj společnosti a jejich sídel, například z důvodu izolace od katolických zemí v době husitských válek. Středověké osídlení v České republice je zachováno nejčastěji z období 6. až 15. století (Vařeka 2004). Nejstarší venkovská sídla mají svým charakterem velmi blízko k sídlištím doby železné, což je dalším příkladem složitého časového vymezování takových období (Gies, Gies 2018).

Rozdíly mezi středověkými vesnicemi v českých zemích oproti jiným státům Evropy jsou značné. Například ve Skandinávii, Velké Británii, Francii a západním Středomoří byly vesnice a stavby mnohem větší, vyspělejší a složitější již za raného středověku, a především díky jejich zachování je možný detailnější průzkum a dokonalejší interpretace jejich původní podoby, což je u nás problematické. V Čechách a na Moravě nám informace o starších sídlištích poskytují především pozůstatky po stavbách, které zasahovaly do podloží, vyhloubená místa pro polozemnice či různé jámy na skladování obilí atp. Podobná naleziště se nacházejí i v sousedních zemích, například na Slovensku a v Rakousku (Vařeka 2004). Vrcholně a pozdně středověká naleziště jsou ve střední Evropě o mnoho bohatší a zachovalejší.

2.1.1 Středověké vesnice v českých zemích

▪ Umístění a podoba vesnic v raném středověku

Určit podobu raně středověkých vesnic je složité, jelikož je z tohoto období dochováno jen velmi málo staveb, případně jejich půdorysů. Vzhledem ke stavebním objektům v podobě dochovaných sakrálních staveb – kostelů a rotund románského slohu, stále patrným pozůstatkům fortifikací a nálezům keramiky z povrchových sběrů lze určit jejich typické umístění vzhledem ke krajině (Černý 1979). Stavby jako kostely a rotundy stávaly často na vyvýšeném místě, vesnice, často nazývané jako hradiště, pak v rovinatější krajině kvůli zemědělské půdě. Významný byl zdroj vody, venkovské sídlo raného středověku bychom našli při břehu řeky či potoka. Důležitou surovinou bylo dřevo, tudíž se raně středověká sídliště nacházela v blízkosti lesů. Raně středověké vesnice byly tedy situovány především v závislosti na zdrojích, bez složitějšího systému, organizace a prostorového uspořádání.

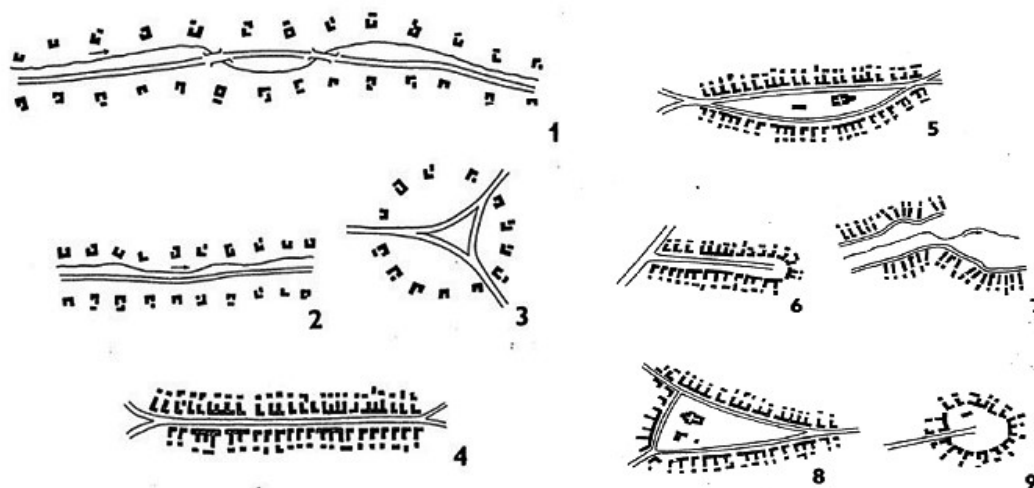
Podrobnějších informací o přesném uspořádání staveb a jejich funkcích není mnoho, ve většině případů nezůstaly půdorysy z tohoto období zachovány. V blízkosti ojedinělých dochovaných staveb lze, v případě zachování osídlení i v následujících obdobích, nalézt pozůstatky půdorysů budov mladších (Škabrada 1999). O umístění raně středověkých sídel v krajině svědčí i pozůstatky hradištních opevnění, které jsou dnes v terénu neznatelné, avšak je možné tato místa identifikovat například díky leteckému archeologickému průzkumu (Gojda et al. 2013).

▪ Umístění a podoba vesnic ve vrcholném a pozdním středověku

V druhé polovině 13. století došlo díky kulturnímu a společenskému vývoji k výrazné společensko-hospodářské změně, která se projevila i ve výstavbě venkovských sídel (Gies, Gies 2018; Klápště 2012). Ta se na rozdíl od raně středověkých začala stavět více kompaktně, s pravidelným geometrickým uspořádáním (Gies, Gies 2018). Vznikaly tzv. návesní vesnice (Vařeka 2004), které byly situovány buď v místech dřívějšího osídlení, nebo do dosud neosídlených teplejších rovinatých oblastí s dostatečnými zdroji. Jednotlivé budovy nestály izolovaně, ale byly s ohledem na jejich funkci a využití zařazeny organizovaně mezi ostatní (viz obr. 1). V období pozdního středověku se ve vesnici

nacházelo až 25 usedlostí (Vařeka 2004). Území vsi bylo ohraničeno dřevěným oplocením či zdí a často i příkopem, za kterým se nacházela obdělávaná zemědělská půda Vesnice tedy zaujímala centrální polohu uprostřed přiléhající plužiny (Černý 1979; Gies, Gies 2018).

Ve vrcholném středověku vznikala mimo výše popsaných sídel i taková, která neměla návesní prostor a byla situována do dlouhého pruhu podél vodního toku. Bylo tomu tak především v záplavových nebo horských údolních oblastech, kde usedlosti stávaly na terasách nad vodními toky výše v terénu (Škabrada 1999). I ve vrcholném a pozdním středověku byla tedy pro venkovská sídla typická poloha poblíž vodního zdroje.

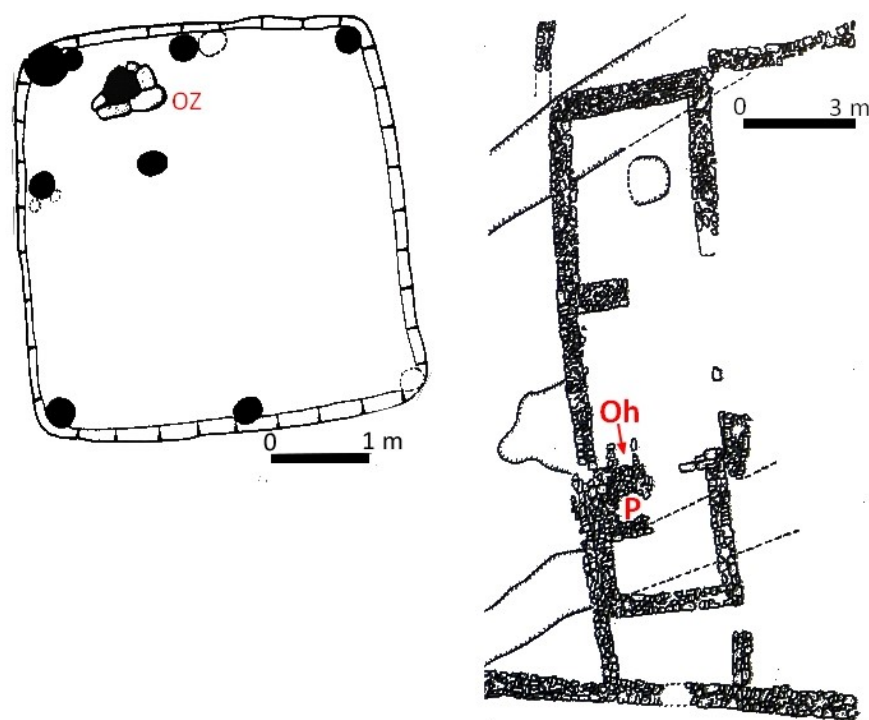


Obr. 1: Typologie vrcholně středověkých vesnických sídel: 1 – lesní lánová ves (část), 2 - krátká lesní lánová ves, 3 – lesní lánová návesní ves, 4 – silniční ves, 5 – silniční návesovka, 6 – ulicovka, 7 – vesnice s řádkovým půdorysem, 8 – návesovka, 9 – okrouhlice. Podle Černý 1979.

▪ Typy objektů

Česká vesnická architektura má své počátky v období od poloviny 13. do 15. století, kdy se začínaly budovat pro naše území typické venkovské obydlí a stavby, doprovázející zemědělský způsob života místy až do 20. století (Škabrada 1999).

Pro menší obytná stavení, polozemnice nebo nadzemní stavby z raného středověku, byl typický čtvercový půdorys nejběžněji o velikosti 4 x 4 metry a ohniště umístěné do rohu (Hájek 2007). Takové jednoduché jednoprostorové stavby byly v pozdějším období postupně nahrazovány složitějšími víceprostorovými (Gies, Gies 2018), nejčastěji takovými, které měly trojdílný půdorys (viz obr. 2; Vařeka 2004). Přítomnost trojdílných domů je prokázána od 13. století až počátku století 14. Tento poznatek vychází především z výzkumů na třech významných lokalitách, na kterých jsou mimořádně zachovány terénní pozůstatky – jedná se o Pfaffenschlag, Mstěnice a Svídnu (Čapek a Holata 2017). Od 14. století byly trojdílné budovy ve vesnicích zastoupeny nejpočetněji (Vařeka 2004).



Obr. 2: Vlevo: půdorys jednodílného raně středověkého domu, OZ – otopné zařízení, lokalita Šakvice. Vpravo: půdorys trojdílného vesnického domu, Oh – ohniště, P – pec, lokalita Svídna. Upraveno podle Vařeka 2004.

Základní stavbou ve vesnici vrcholného a pozdního středověku byla zemědělská usedlost (Gies, Gies 2018). Ta byla tvořena obydlím, jehož štít byl většinou orientován směrem k centru vesnice, a hospodářskými budovami. Mezi takové budovy patřily stodoly, špýchary, kolny, sýpky, chlévy a stáje pro zvířata. Ty byly postaveny tak, aby obklopovaly dvůr, z kterého měly tyto stavby samostatné vchody (Hájek 2007). Typickými drobnými

objekty pro vesnickou usedlost byly také studny a odpadní jámy. Velmi významné byly budovy, které sloužily jako výrobní prostory, takové objekty lze dobře identifikovat na základě nalezených artefaktů. Jedná se například o hutnické, hrnčířské a sklářské dílny, kovárny a tak podobně. Ve vrcholně a pozdně středověkých vesnicích nezřídka stávaly panské dvory, často i tvrze, případně hrady. Ty byly situovány na okrajích vesnic nebo nedaleko od nich (Hájek 2007).

▪ **Stavební materiál a konstrukce staveb**

Raně středověký dům byl stavěn především ze dřeva, kámen se používal v omezené míře, například na pece nebo ohniště. Mimo dřevo a kámen byla využívána hlína, kterou se dřevěné konstrukce omazávaly.

Postupem doby se kámen stal při výstavbě využívanějším, u staveb vrcholného a pozdního středověku ho lze nalézt běžně. Materiál byl používán místní, k těžbě kamene sloužily různé lomy v blízkosti sídel nebo bylo možno získat materiál i sběrem, například na polích. Mezi nejvyužívanější stavební suroviny v českých zemích patřily pískovce a opuky nebo také různé typy granitoidních hornin. Zidky z kamene, buď kladené na sucho nebo pojené jílem, byly stavěny především jako podkladové nebo jimi byly podezdívány dřevěné stěny domů. Šířka kamenných zdí se pohybovala okolo 50 až 90 centimetrů (Hájek 2007).

2.2 Lokalizace zaniklých středověkých vesnic

2.2.1 Historické prameny

Důležitým informačním zdrojem při hledání místa zaniklé středověké osady jsou v první řadě historické literární prameny. Mnoho písemných zmínek se nachází v kronikách, především v těch podrobněji dokumentujících historii konkrétního regionu. Na základě toho je možné pátrat i v ostatních informačních zdrojích, jako jsou archiválie v podobě různých písemností a spisů týkajících se například katastrů či obyvatel. Za méně důvěryhodný, avšak mnohdy cenný zdroj lze považovat i různé místní pověsti a legendy (Černý 1979).

2.2.2 Místní názvy a mapové materiály

Velmi dobrým indikátorem zaniklých osad jsou i místní a pomístní zeměpisné názvy dochované a používané v dnešních, zejména turistických mapách. Především se jedná o taková pojmenování, která v mapě neoznačují existující obec nebo osadu, ačkoli tomu samotný název napovídá. S takovými pomístními jmény se v okolí dnešních obcí lze setkat velmi často. Název může označovat přímo zaniklou středověkou osadu, v mnoha případech se však o konkrétním jménu nenachází zmínky ani v archiváliích a díky zachovalému pojmenování místa je možné název osadě přiřadit (Černý 1979).

Při nahlédnutí do mapy si lze všimnout nejen názvů, ale také různých prvků, které mohou být pozůstatky zaniklých osad. Jedná se například o vodní plochy v podobě rybníků nápadně vzdálených od dnešních sídel, jejich staré hráze nebo například staré cesty. Kromě soudobého mapového materiálu lze zkoumat mapy historické, ty je pak vhodné s těmi dnešními porovnávat (Campana a Piro 2009).

2.2.3 Dálkový průzkum Země a letecká archeologie

Velmi významnou metodou nedestruktivní archeologie je v dnešní době letecký průzkum a analýza družicových a leteckých snímků. Metodami dálkového průzkumu je možné identifikovat a mapovat archeologické lokality o velkých rozlohách (Gojda et al. 2013).

▪ Letecká archeologie

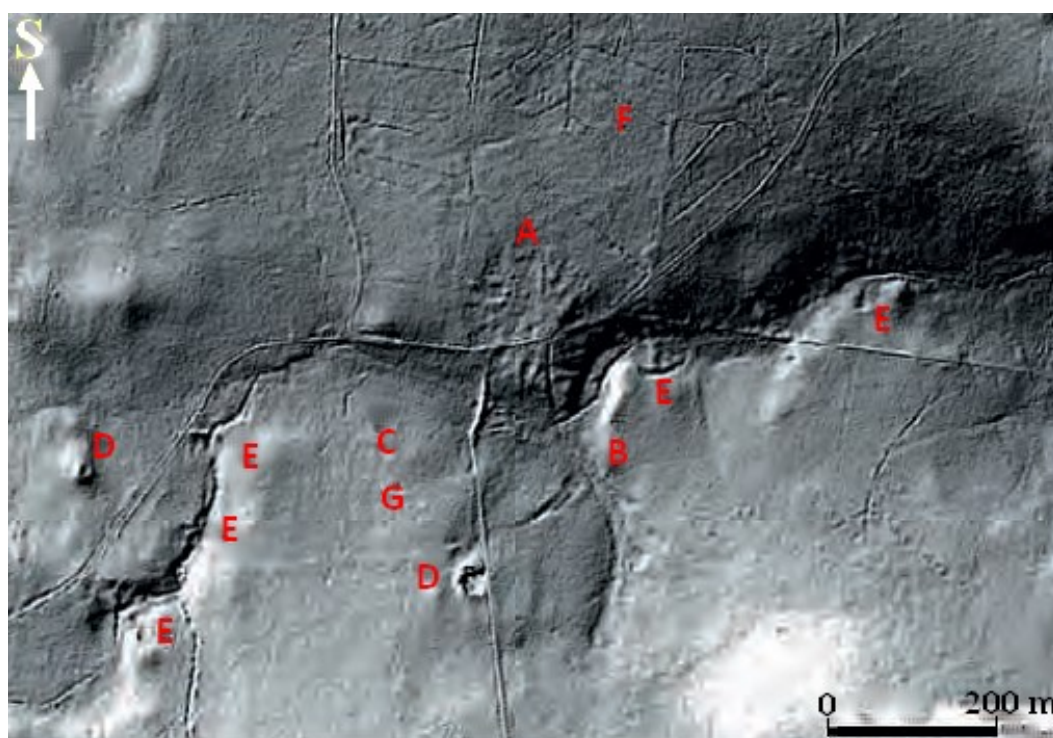
Sídelní areály mohou být často identifikovány výzkumem pomocí nízko letícího letadla. Na taková místa zpravidla poukazují různé terénní odlišnosti v podobě porostových, půdních, srážkových a teplotních či stínových příznaků (Kuna a kol. 2004; Rees 2012).

V případě porostových příznaků bývá rozdíl patrný na vegetaci, například v místě pohřbené zdi je vegetace nižší, má odlišné zbarvení atp. Jiná barva bude také v případě půdního příznaku spojeného s rozdílným složením materiálu. Mezi srážkové příznaky se řadí především sněhové, v terénu pokrytém vrstvou sněhu a se zahloubeným objektem taje sníh nad objektem rychleji. Při vyhledávání pomocí stínových příznaků mohou zahloubené objekty vrhat dlouhé stíny v ranních či večerních hodinách (Gojda et al. 2013).

▪ LiDAR

Mezi metodami dálkového průzkumu se stala velmi využívanou a prosazovanou moderní metoda známá pod zkratkou LiDAR (light detection and ranging). Fyzikální princip spočívá v měření vzdálenosti a polohy pomocí odrazu laserového paprsku. Výsledkem zpracování nasbíraných lidarových dat může být digitální model povrchu, digitální model reliéfu či různé 3D modely objektů. Na obrázku 3 je uveden příklad využití lidarového snímku při lokalizaci a průzkumu zaniklých středověkých vesnic.

V archeologii se používají tři formy lidarů: letecký, pozemní a někdy také batymetrický. Letecký je využíván při skenování povrchu terénu, například rozsáhlých archeologických areálů se zaniklým osídlením, pozemní je vhodnější k podrobnějšímu průzkumu budov, ale je možné ho využít také při plošném výzkumu lokalit (Chase et al. 2017). Při výzkumu areálů zaniklých středověkých osad se tedy nejvíce uplatňuje letecké skenování (Gojda et al. 2013).



Obr. 3: Lokální model reliéfu, příklad využití lidarů při lokalizaci a průzkumu zaniklých středověkých vesnic. Na obrázku středověká vesnice Žďár. A – intravilán, B – úvozová cesta, C – novověký ovčín, D – lomy na kámen, E – hráze zaniklých rybníků, F – recentní meliorace, G – studna. Upraveno podle Gojda et al. 2013.

2.2.4 Povrchový průzkum a povrchové sběry

Nedílnou součástí archeologického nedestruktivního výzkumu je povrchový průzkum. Ten spočívá ve vizuálním zkoumání terénní situace a geomorfologie lokality, po něm pak obvykle následují povrchové sběry. Jedná se o zkoumání osídlení pomocí sběru různých artefaktů, které se dostaly na povrch terénu nejčastěji orbou. Původně se takové předměty nacházely pod nynějším terénem, například ve výplni zahloubených objektů (Kuna a kol. 2004). Metodika povrchových sběrů spočívá v systematických sběrech artefaktů, kterými mohou být například keramika, sklo, industrie nebo struska, a to v liniích, sítích a polygonech (Kuna a kol. 2004).

2.3 Metody užití geofyziky při průzkumu středověkých vesnic

Nedestruktivní archeologie obecně zahrnuje soubory technik a postupů které se využívají v případech, kdy není z různých důvodů možné narušit povrch lokality. Díky geofyzikálním metodám je možné terén prozkoumat bez nutnosti zásahu a „destrukce“ lokality, popřípadě lze po interpretaci výsledků měření zaměřit archeologickou sondáž pouze na konkrétní místa, kde byly objeveny významné geofyzikální anomálie.

Mezi nejpoužívanější metody v archeologii patří magnetometrie a geoelektrické metody (odporové a elektromagnetické). Ostatní metody jsou využívány zpravidla pouze jako doplňkové.

2.3.1 Magnetometrie

- **Princip magnetometrických metod**

Fyzikálních veličin, které jsou využívány magnetometrickými metodami, je několik. Mezi ty hlavní, měřené v rámci archeologického průzkumu při magnetickém profilování, patří absolutní či relativní velikost geomagnetického pole T v jednotkách nT a jeho vertikální gradient ΔT udávaný v nT/m . Velikost totálního vektoru T je ovlivněna tzv. variacemi, což znamená, že magnetické pole se mění v čase. Jedná se o variace krátkodobé, středně- a dlouhodobé (sekulární), mezi pravidelné patří denní variace způsobené Sluncem, jejichž

velikost je nejčastěji v desítkách nT . Krátkodobé bývají nepravidelné a spadají mezi ně tzv. pulsace, které způsobuje sluneční aktivita. Ta v případě, kdy je mimořádně vysoká, způsobuje magnetické bouře, které charakterizují variace o velikosti až ve stovkách nT (Sleep a Fujita 1997).

Při magnetickém měření se zaznamenává magnetické pole na jednotlivém bodě po dobu v řádu několika sekund. Následně je nutné opravit naměřené hodnoty totálního vektoru T o variace, a to buď pomocí dat z dalšího magnetometru, jímž je prováděno měření současně na tzv. variačním bodě, nebo opakovaným měřením na opěrném bodě po určitém časovém intervalu. Jelikož má na velikost měřeného magnetického pole vliv široké okolí přístroje, mohou měření ovlivnit různé umělé zdroje, jako je například vedení vysokého napětí, elektrizovaná železniční trať atp.

Při měření gradientu ΔT se měří dvěma sondami, z nichž je jedna blíže povrchu a druhá je umístěna výše. Hodnota gradientu se počítá z rozdílu naměřených údajů. V tomto případě se měří tzv. gradiometrem (Sala et al. 2012).

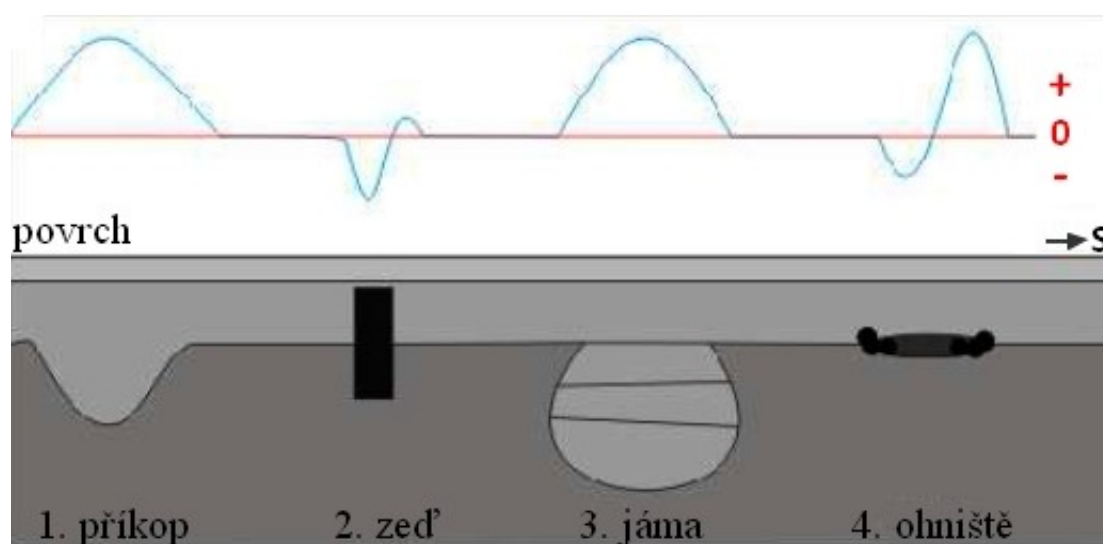
▪ **Magnetická susceptibilita**

Důležitou veličinou je magnetická susceptibilita κ , která je základní charakteristikou magnetismu příslušného materiálu a jeho schopnosti magnetizovat (Sleep, Fujita 1997). Podle magnetické susceptibility se látky rozdělují na tři skupiny. Diamagnetické materiály mají nízké a záporné hodnoty κ , zeslabují vnější magnetické pole. Další skupinou jsou látky paramagnetické, které mají hodnoty κ nízké a kladné, mírně zesilují vnější magnetické pole. Třetí skupinou jsou látky feromagnetické s velmi vysokými a kladnými hodnotami κ , magnetické pole zesilují. Měření magnetické susceptibility je označováno jako kapametrie, v terénu se měří přístrojem nazývaným kapametr.

▪ **Využitelnost magnetometrie**

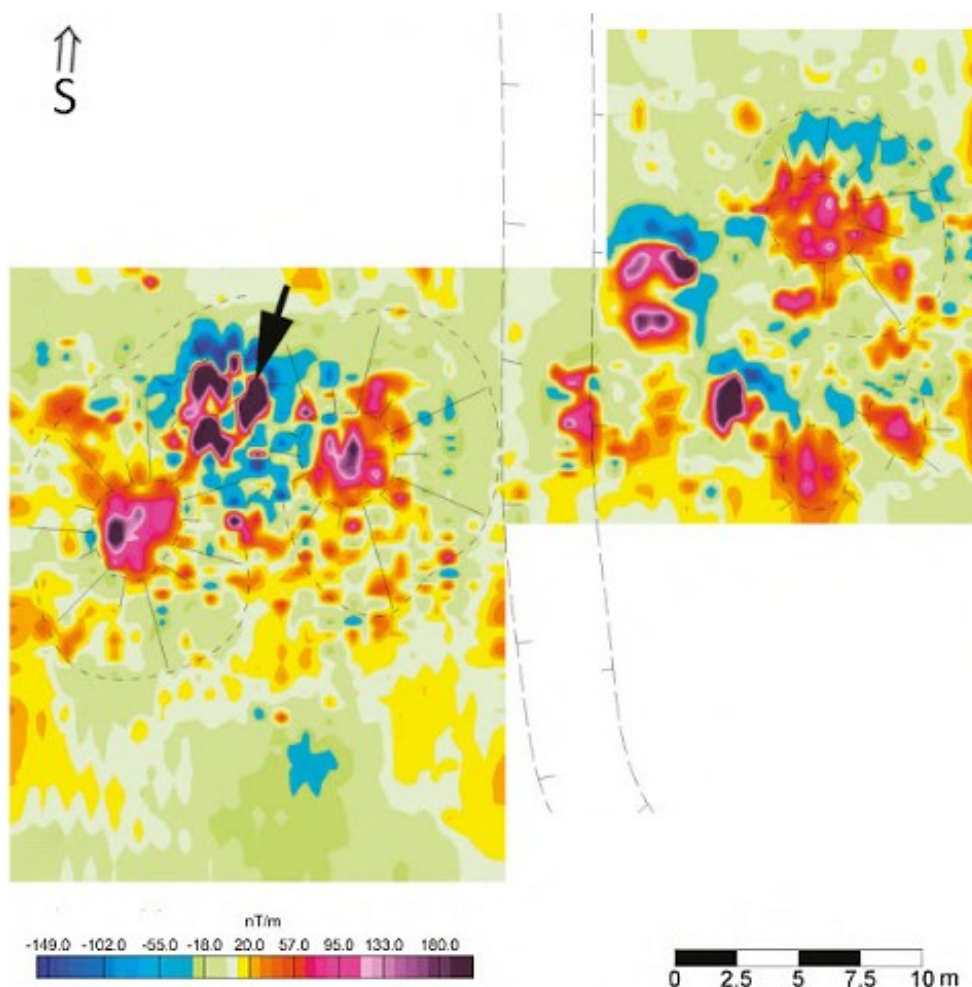
Magnetometry se obecně využívají zejména při plošných průzkumech rozsáhlejších areálů. Při podrobnějším vyhledávání a mapování jednotlivých objektů jsou užitečnější gradiometry (Campana a Piro 2009). Při měření gradiometrem se odstraňuje vliv časových variací a přístroj lépe identifikuje mělké objekty (viz obr. 4) se zanedbáním velkých

anomálií (Sala et al. 2012). Magnetometrii lze použít při identifikaci vypálených materiálů. Tyto materiály, jako jsou pálené cihly, keramika, vypálený jíl atp. vykazují tzv. termoremanentní magnetizaci, jelikož byly vystavovány vysokým teplotám (Campana a Piro 2009). Důležitým faktorem pro velikost magnetických anomálií je míra tepelného namáhání vyhledávaných objektů. Pokud se jedná například o velmi dlouho používanou pec na vypalování keramiky, bude vykazovat vyšší amplitudu magnetických anomálií než například obytný objekt zničený požárem (Weymouth a Huggins 1985). Při nálezu vypálených materiálu se často odebírají vzorky pro následné laboratorní měření magnetických vlastností a také pro provedení archeomagnetického datování (Kuna a kol. 2004).



Obr. 4: Typické magnetické projevy archeologických objektů při měření gradiometrem, upraveno podle Sala et al. 2012.

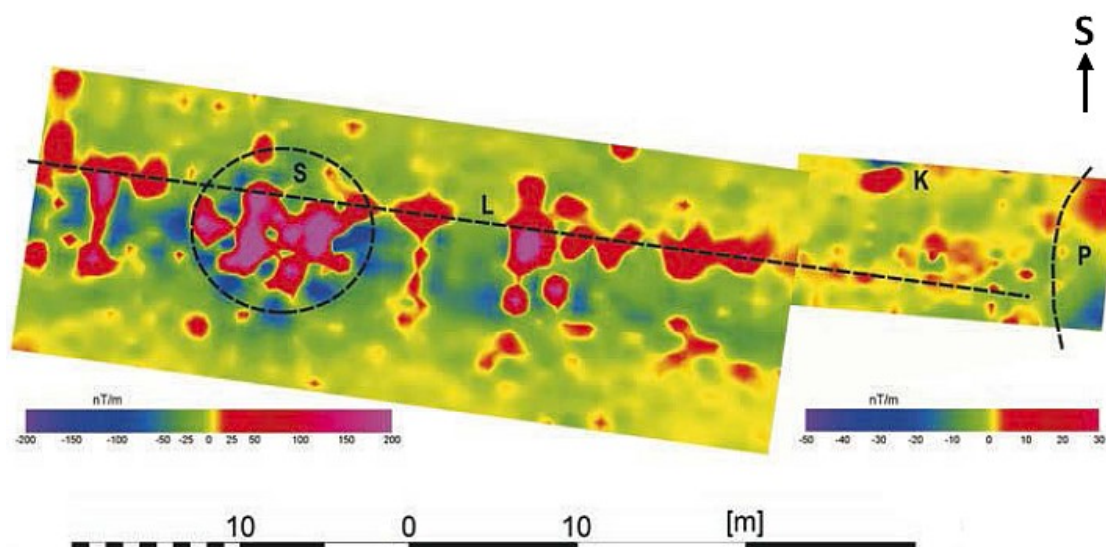
Magnetometrie je velmi užitečnou metodou při identifikaci středověkých výrobních areálů. Ve středověkých vesnicích se nacházely chlebové pece, pece pro výrobu keramiky, železných předmětů, skla, milíře pro výrobu dřevěného uhlí atp. Po objektech určených k hutnění, zpracování a úpravě železa nebo skla zůstal zachován také odpadní materiál v podobě strusky. Struska se může projevit výraznými magnetickými anomáliemi. Velmi výraznými anomáliemi se projevují také pece na tavení pryskyřice a výrobu přírodního dehtu (Křivánek 2017), jako je tomu u příkladu uvedeného na obrázku 5.



Obr. 5: Středověký dehtářský výrobní areál (jedna z pecí označena černou šipkou), lokalita Rynartice. Podle Křivánek 2017.

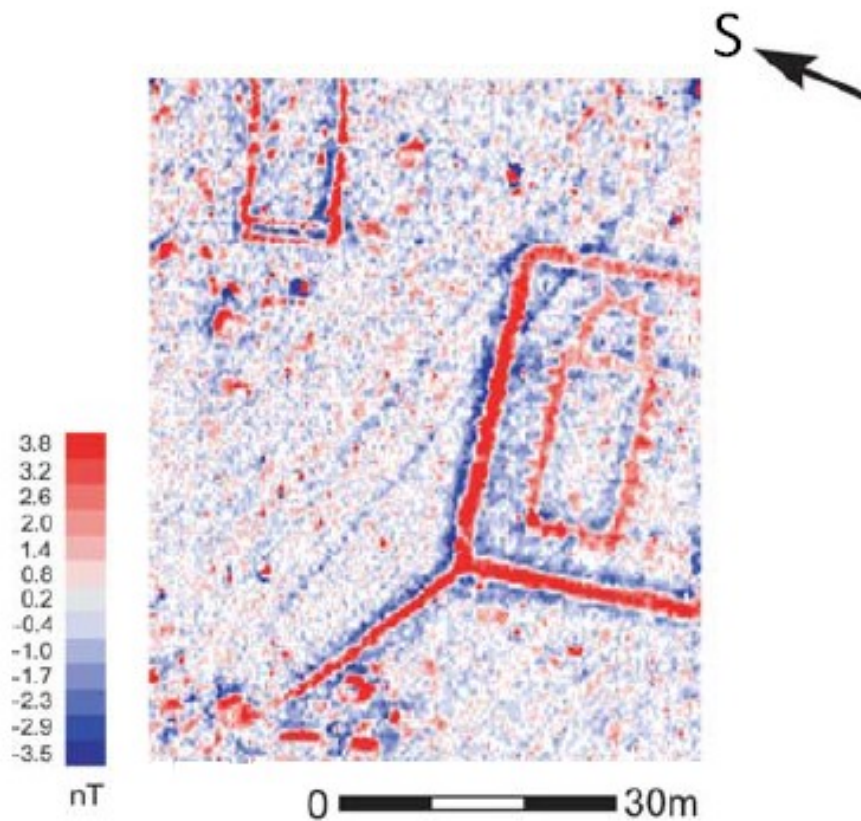
Magnetometrií dobře detekovatelné mohou být i fortifikační prvky. Vesnice byly obehány zdmi, palisádami, valy nebo příkopy. Tyto objekty jsou typické zejména pro raně středověká hradiště. Zachovány zůstaly především příkopy vyplněné magneticky odlišným materiálem. Relikty fortifikací se při magnetometrickém měření projevují lineárními anomáliemi (viz obr. 6). Magnetometrie je v případě lokalizace a průzkumu středověkých vesnic často kombinována se studiem leteckých a lidarových snímků. Nežádka je magnetometrie realizována v podobě leteckého měření (David et al. 2008).

Detekované příkopy či terénní nerovnosti mohou pak naznačovat i polohu jednotlivých zemědělsky obdělávaných ploch kolem vesnic, tzv. plužin (Černý 1979).



Obr. 6: L – lineární struktura, pravděpodobně relikv opevnění, S – anomálie o vysokých hodnotách gradientu ΔT značí objekt prošlý žářem, K – recentní železný předmět, P – archeologické výkopy. Lokalita Pohansko u Břeclavi, upraveno podle Dresler a kol. 2007.

Kromě příkopů, jejichž výplň je magneticky odlišná od geologického prostředí, lze v areálu středověké vesnice nalézt i další typy zahloubených objektů, pro jejichž lokalizaci je magnetometrie hlavní využívanou metodou. Mezi takové objekty patří rýhy po základech dřevěných budov (viz obr. 7), polozemnice, studny a různé zásobní a odpadní jámy (David et al. 2008). Na archeologických lokalitách datovaných do raného středověku, kdy nebyl kámen na stavbu vesnických objektů běžně využívaným materiálem, je typická přítomnost základů dřevěných budov. Magnetometrií lze pak detekovat zahloubeniny či jamky, které jsou relikty po dřevěných kůlech a po zániku objektu byly zaplněny sekundární výplní (Campana a Piro 2009).



Obr. 7: Půdorys dřevěné stavby a obvodový příkop. Upraveno podle David et al. 2008.

Mezi další dobře identifikovatelné objekty patří pece a různá otopná zařízení. Ty byly zpravidla přítomny v každé obytné stavbě (Vařeka 2004). Při vyhledávání zděných budov je magnetometrie užitečná v případě, že objekty zanikly při požáru nebo byly postaveny z magneticky aktivních materiálů, například pálených cihel. (Fassbinder 2011) nebo hornin s vyšší magnetickou susceptibilitou (např. bazické vulkanity). Méně běžné objekty ve vesnickém prostředí jsou žárové hroby a pohřebiště. Ty jsou typické spíše pro období pravěku, ale lze se s nimi setkat i ve vesnicích z raného středověku (Křivánek 2017).

2.3.2 Geoelektrické odporové metody

▪ Princip odporových metod

Odporové metody patří mezi stejnosměrné elektrické metody, pro měření se používá stejnosměrný proud. Vycházejí principiálně z Ohmova zákona, jehož vyjádřením je základní vzorec $U = RI$. Veličina U vyjadřuje napětí na vodiči, kterým prochází proud I a jehož odpor je R . Jiné vyjádření hodnoty odporu vychází z geometrických parametrů vodiče, tedy průměru S a délky l . Je dáno vzorcem $R = \rho l/S$, kde je veličina ρ nazývána jako měrný elektrický odpor.

Když se při geoelektrických odporových měřeních zavádí do země elektrický proud, využívá se modifikovaného Ohmova zákona. Z něho lze odvodit vzorec pro potenciál U , ve vzdálenosti r od bodového zdroje elektrického proudu A : $U = I\rho/2\pi r$. Elektrický potenciál je skalární veličinou, je tedy možné sčítat účinky více zdrojů nebo získat rozdíl ΔU mezi dvěma body. Při použití odporových měření je proud zaváděn do země pomocí dvou proudových elektrod, označovaných písmeny A a B. Mezi nimi je zapojen zdroj elektrického proudu. Dále jsou používány dvě měřicí elektrody M a N, mezi kterými se zjišťuje napětí ΔU (Mareš a kol. 1979).

Jelikož je měrný odpor ovlivňován tím, že pod povrchem země zpravidla není homogenní prostředí, je zaváděn termín zdánlivý měrný odpor ρ_z . Ten je možné spočítat s využitím konstanty uspořádání k , kde $k = 2\pi/(1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)$. Výsledný vzorec pro výpočet zdánlivého měrného odporu je $\rho_z = k\Delta U/I$. Termínem uspořádání je označováno to, jak jsou elektrody navzájem řazeny a jaká je mezi nimi vzdálenost. Odporovými metodami se dají zjistit buď změny odporu v horizontálním směru, tedy podél profilu, nebo ve směru vertikálním, sondováním do hloubky v určitém bodě. Měrný odpor hornin je ovlivňován mnoha faktory, například mineralogickým složením, stupněm porušení (porozitou), nasycením vodou, strukturou a texturou hornin, teplotou i tlakem (Mareš a kol. 1979). Rozmezí hodnot měrných odporů u nejběžnějších horninových typů je uvedeno v tabulce 1.

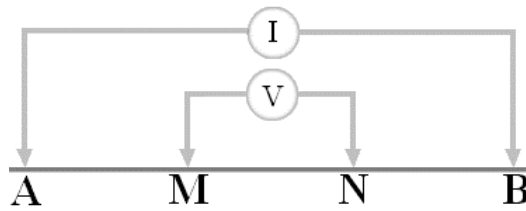
Hornina	Měrný odpor ρ (Ω m)
Sedimentární horniny	
hlíny	10^{-1} až 10^2
jíly	10 až 10^2
písky	10^2 až 10^4
písky nasycené minerální vodou	10^{-1} až 10
pískovce	10^2 až 10^4
vápence	10^2 až 10^4
opuky	10 až 10^2
slepence	10 až 10^4
sádrovce	10^4 až 10^6
Magmatické a metamorfované horniny	
žula, syenit	10^2 až 10^5
diabas, čedič, gabro	10^2 až 10^5
krystalické břidlice	10^2 až 10^4
jílovité břidlice	10 až 10^3
křemence	10^3 až 10^5
mramory	10^2 až 10^5
ruly	10^2 až 10^4

Tab. 1: Rozmezí hodnot měrných odporů u základních typů hornin, upraveno podle Mareš a kol. 1979.

- **Přehled nejčastěji využívaných odporových metod**

Odporové profilování

Princip měření spočívá v postupném měření pro danou konfiguraci elektrod, které se pohybují podél profilu. Do proudových elektrod je pouštěn proud, mezi potenčními elektrodami je měřeno napětí a stanoví se hodnoty zdánlivého měrného odporu. Pro lepší výsledky měření se využívají různá uspořádání elektrod, existuje řada různých postupů, schémat měření apod. Mezi nejčastěji využívaná uspořádání v archeologii patří Wennerovo (obr. 8), Schlumbergerovo a dipólové.



Obr. 8: Wennerovo symetrické uspořádání elektrod, $AM = MN = NB$.

Měřením pomocí této metody podél profilu s určitým krokem lze získat sekvenci hodnot zdánlivého měrného odporu. Ty se zobrazí ve formě profilové křivky a výsledkem je horizontální odporový profil. Pro zjištění plošného rozložení odporů je potřeba vykonat sérii měření po liniích vzdálených od sebe o určitý interval. Naměřená data se poté pomocí souřadnicového systému sestaví do mřížky. Výsledkem plošného měření je nejčastěji mapa izolinií zdánlivých měrných odporů.

Multielektrodová metoda ERT

Elektrická odporová tomografie ERT (electrical resistivity tomography) kombinuje odporové profilování a odporové sondování. V terénu se položí speciální multižilný kabel, ke kterému je připojeno větší množství elektrod, které jsou rozmístěny se stanoveným rozestupem. Podle zvolené konfigurace jsou elektrody automaticky postupně připojovány jako proudové a měřící a mezi vybranými páry se měří proud a napětí. Poté se automaticky proměřují všechny stanovené kombinace a data se ukládají do paměti přístroje. Tímto způsobem se zjistí odporové změny jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru. Výstupem jsou odporové řezy, ve formě 2D (v profilu) nebo 3D (v ploše).

- **Využitelnost odporových metod**

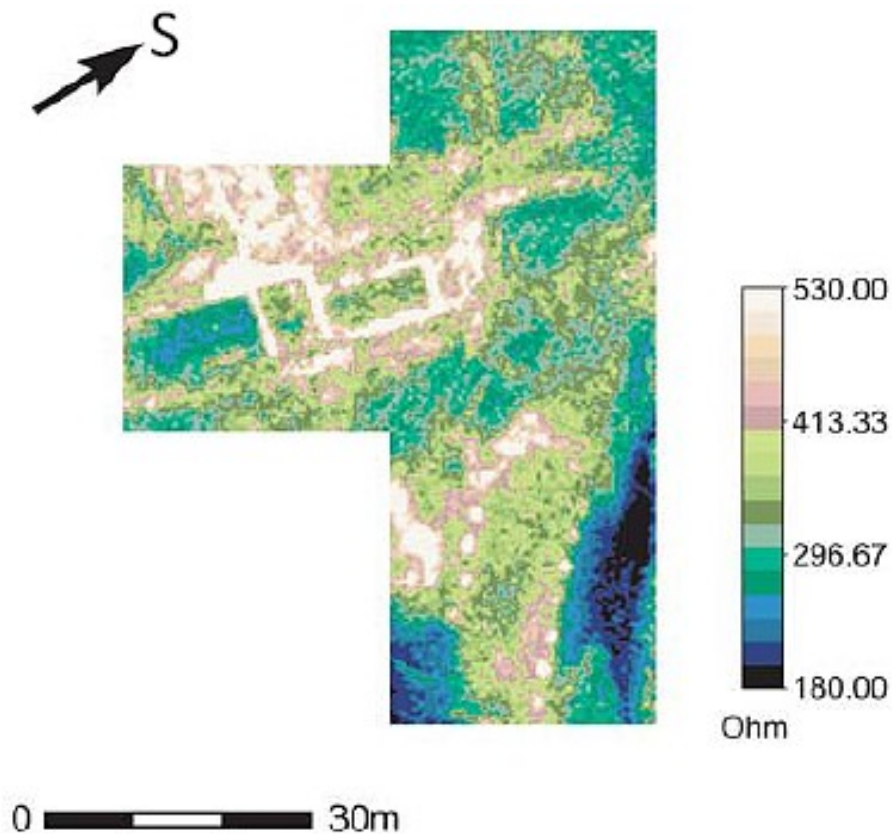
Z geofyzikálních metod jsou elektrické odporové s archeologií spojovány nejdéle, poprvé byly využity již v roce 1946 (Aitken 1961), hojněji jsou užívány od 60. – 70. let 20. století (Weymouth a Huggins 1985). Spolu s magnetometrií patří k těm nejpoužívanějším. Jsou vhodné při průzkumu lokalit o menších plochách a k identifikaci významnějších odporově kontrastních objektů. Metody je vhodné použít v případě systematického a podrobnějšího

výzkumu lokalit a v případě výběru vhodné dílčí části plochy. Většinou se odporová měření provádějí v kombinaci s magnetickými metodami. Pokud se použijí samostatně, předpokládá se, že se na lokalitě budou vyskytovat například pozůstatky kamenného zdiva nebo zde z různých důvodů nelze použít magnetometrii.

Pro odporovou identifikaci zděných objektů je klíčový stav zachování kamenných konstrukcí, objekty mohou být dobře zachovány nebo naopak zcela zničeny, kdy z objektu zbývají pouze fragmenty použitého stavebního materiálu. Důležitým parametrem jsou také vlastnosti kamenného materiálu, ten se musí fyzikálně (měrným odporem) odlišovat od okolního geologického prostředí. Výsledky průzkumu výrazně ovlivňuje i vlhkost geologického prostředí, nasycení hornin vodou a celkové hydrogeologické poměry včetně srážek, jelikož elektrický odpor je závislý i na vlhkosti (Sala et al. 2012).

Při průzkumu středověkých vesnic je předpokládán výskyt kamenných konstrukcí nebo jejich destrukcí. V případě zaniklých vesnic mohou zůstat zachovány půdorysy budov s kamennými základy, v ojedinělých případech i půdorysy celých vesnic.

Stavební kámen byl využívanou surovinou zejména v pozdním a vrcholném středověku a v těchto obdobích byly nezděná součástí vesnic také tvrže a hrádky. Odporové metody jsou často využívány při průzkumu či lokalizaci právě takových staveb (Kuna a kol. 2004). Příklad detekce kamenných základů tvrže je uveden na obrázku 9. Kámen byl využíván také na stavbu fortifikací, proto je použití odporových metod vhodné i při detekci opevnění vesnic a jeho reliktní.



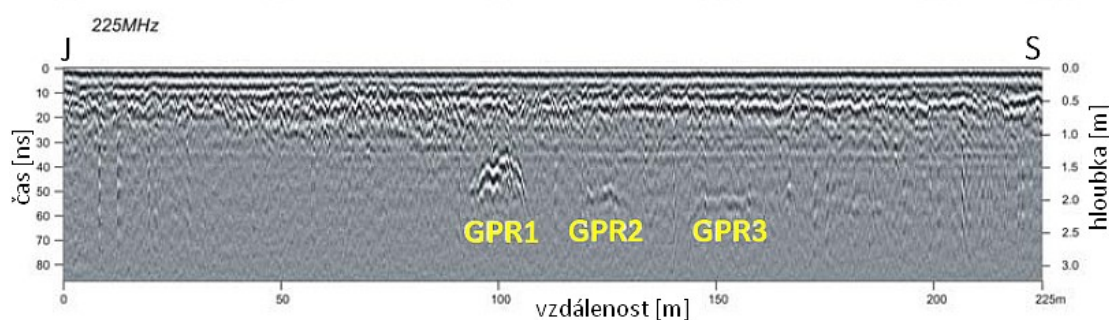
Obr. 9: Středověká tvrz v Herefordshire, relikty zdiva se projeví vysokými hodnotami odporů. Upraveno podle David et al. 2008.

2.3.3 Elektromagnetické metody

Elektromagnetické metody spočívají v měření vybraných parametrů elektromagnetického pole, které je proměnné a může mít různé zdroje. Mezi ně patří přirozené jevy probíhající v ionosféře a atmosféře nebo může být vytvářeno lidskou činností (vysílače). Elektromagnetické pole může být tedy přirozené či umělé, dále harmonické nebo neharmonické a také o různě vysoké frekvenci.

▪ Georadar – GPR

Metoda GPR (groundpenetrating radar) spočívá ve vysílání elektromagnetických pulzů do země, kdy anténa vyšle impuls o vysoké frekvenci. Frekvence pulzů mají hodnoty přibližně od 10 MHz do 2 GHz (Rees 2012), pro účely archeologie se nejčastěji používají frekvence 100 MHz až 1GHz (David et al. 2008). V případě nárazu na materiál s odlišnými elektromagnetickými vlastnostmi, než má okolí, je signál od rozhraní odražen a dochází k zaznamenání času příchodu odraženého signálu do přijímače, sleduje se tedy doba mezi odesláním a přijetím impulsu. Primárním výstupem je takzvaný radargram, diagram zaznamenaných amplitud odrazů, s časem (resp. s hloubkou) na ose vertikální a vzdáleností podél profilu na ose horizontální. Příklad radargramu je na obrázku 10.

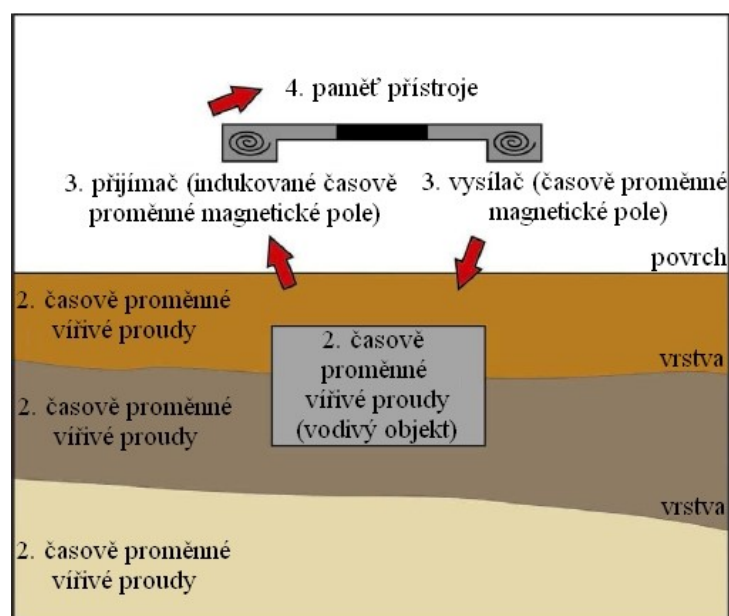


Obr. 10: Radargram, GPR1, GPR2 a GPR3 – projevy hlouběji pohřbených objektů.

Upraveno podle David et al. 2008.

▪ Konduktometrie - DEMP

Princip konduktometrie, metody DEMP (dipólového elektromagnetického profilování), spočívá ve vysílání elektromagnetických pulzů do země aktivním zdrojem (obr. 11), stejně tak jako je tomu u metody GPR. Frekvence pulzů se pohybují v řádu kHz. Elektromagnetickou indukcí v geologickém prostředí vzniká sekundární elektromagnetické pole, jehož vybrané parametry nesou příslušnou informaci (např. o vodivosti prostředí) a jsou registrovány. Přístroj se často skládá z několika cívek, zpravidla z jedné budící a třech přijímacích. Na základě orientace a vzájemné vzdálenosti cívek je u této metody různý hloubkový dosah a odlišná charakteristika odezvy (Sala et al. 2012).



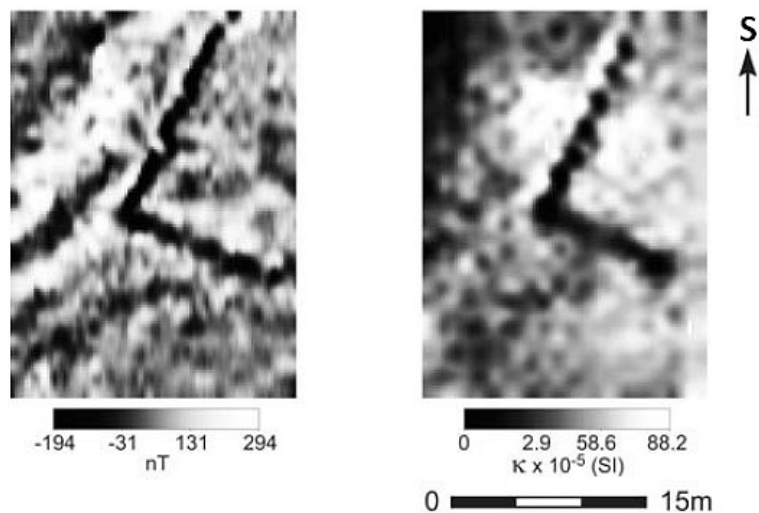
Obr. 11: Schéma principu konduktometrie, upraveno podle Sala et al. 2012.

- **Využitelnost georadaru a konduktometrie**

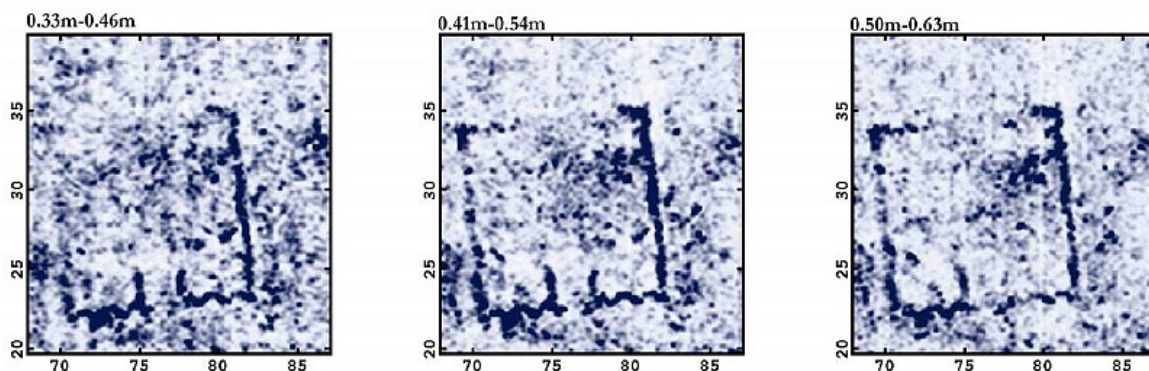
Výhodou georadaru je především rychlost měření, možnost vytváření 3D modelů a v některých případech také hloubkový dosah (Sala et al. 2012). Mezi jeho nevýhody patří vysoká pořizovací cena vybavení a obtížná interpretace výsledků. Ve vlhkém prostředí je použití georadaru nevhodné, a to kvůli odrazu vln od vodou nasycené vrstvy na povrchu terénu. Také je důležité, aby byla aparatura v dobrém kontaktu s povrchem terénu, který by neměl vykazovat větší mikročlenitost. Při průzkumu archeologických lokalit je georadar běžně využíván především ve Velké Británii, kde jsou zaniklá sídla často lokalizována zvláště v oblastech s nečlenitým terénem (Drewett 2001). Konduktometrie je výhodná především díky rychlosti měření v terénu a více hloubkovým dosahům. Také ji lze využít v místech, kde je zpevněný povrch (asfalt, beton) a kde nelze dobře využít metody odporové.

Při průzkumu středověkých vesnic se elektromagnetické metody využívají zpravidla v kombinaci s elektrickými odporovými metodami nebo magnetometrií (Sala et al. 2012). Na obrázku 12 je uvedeno srovnání výstupů z měření pomocí magnetometrie a konduktometrie na příkladu lokalizace pohřbeného zdiva. Nejvhodnější použití elektromagnetických metod je na lokalitách, kde se předpokládá výskyt kamenných

konstrukcí (Kuna a kol. 2004). Dobře detekují také kamenné fortifikační prvky a půdorysy zaniklých objektů (viz obr. 13).



Obr. 12: Vlevo: magnetometrie, vpravo: konduktometrie (složka *inphase*), pohřbené zdivo. Upraveno podle David et al. 2008.



Obr.13: Výstupy z měření georadarem (frekvence 600 MHz) pro několik hloubkových úrovní, půdorys kamenné budovy. Podle David et al. 2008.

V kombinaci s magnetometrií lze využít georadar či konduktometrii také pro identifikaci objektů proslých žarem, otopných zařízení, pecí a vypálených materiálů. Především při lokalizaci raně středověkých hradišť se metody uplatní při vyhledávání zahloubených objektů, jako jsou příkopy, polozemnice a různé jámy (Sala et al. 2012).

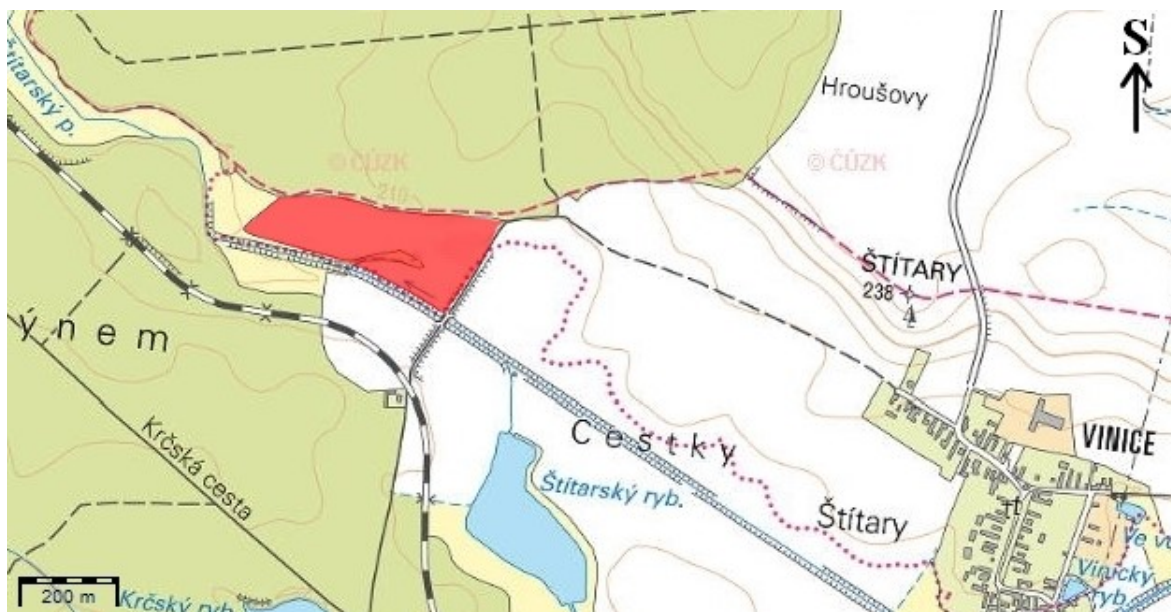
3. GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM LOKALITY ŠTÍTARY

3.1 Geografická poloha

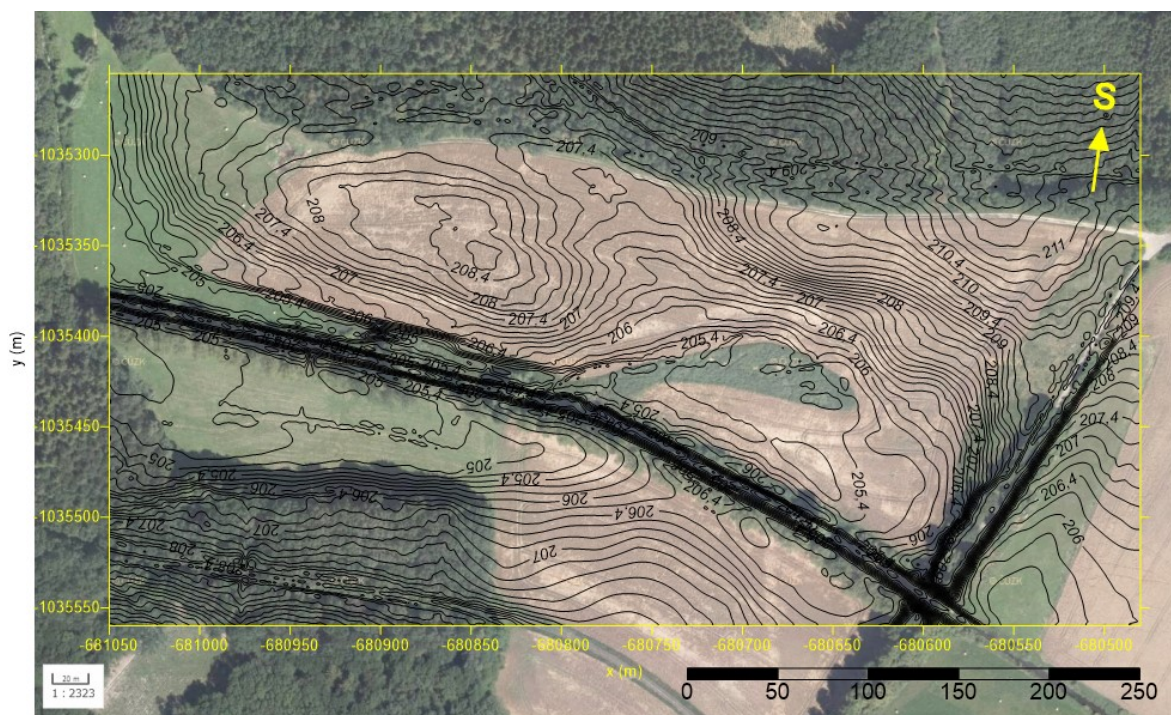
Archeologická lokalita Štítary se nachází ve středočeském kraji, v okrese Nymburk. Patří do katastrálního území Vinice u Městce Králové. Zájmová plocha leží na zemědělsky využívané půdě zhruba 1,5 kilometru od obce Vinice. Na jihu je ohraničena Štítarským potokem a na severu Štítarským lesem. Poloha lokality je označena na následujících obrázcích 14 a 15. Nadmořská výška lokality se pohybuje od 204 do 211 m n. m., mapa nadmořských výšek je na obrázku 16. Na obrázku 17 je fotografie - celkový pohled na prostor měření.



Obr. 14: Ortofoto s vyznačením polohy zájmové lokality. Dostupné z <http://www.mapy.cz/>.



Obr. 15: Topografická mapa. Dostupné z <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec>.



Obr. 16: Vrstevnicová mapa lokality podle lidaru (list mapy 1:50000, Nymburk, č. 27).



Obr. 17: Celkový pohled na prostor měření.

3.2 Geologické poměry

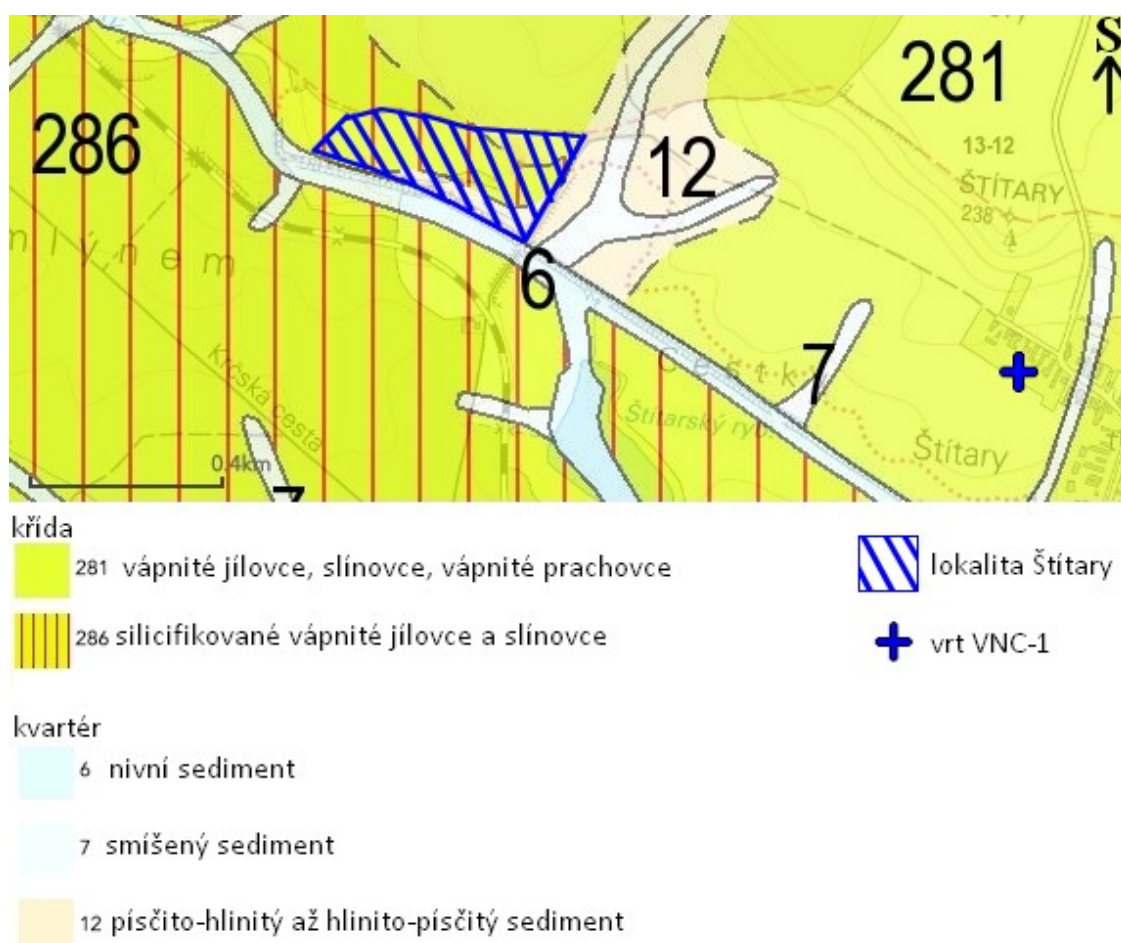
Z hlediska regionálního geologického členění České republiky se lokalita nachází v oblasti české křídové pánve, která patří mezi pokryvné útvary Českého masivu. Druhohorní křídová pánev je tvořena sedimentárními horninami.

V prostoru lokality je možné se setkat se dvěma stratigrafickými jednotkami (v obou případech se jedná o zpevněné marinní sedimenty), jelikož se lokalita nachází na jejich rozhraní (viz geologická mapa na obr. 18). Severovýchodní segment lokality leží na vápnatých jílovcích, slínovcích a vápnatých prachovcích březenského souvrství (stáří coniac až santon). Březenské souvrství je charakteristické přítomností většího množství příměsí v podobě nezralého materiálu, například úlomky žilců a jiných hornin (Kachlík 2003). Ve větší jihozápadní části lokality se nacházejí silicifikované výpnité jílovce a slínovce, reprezentující rohatecké vrstvy teplického souvrství (stáří coniac). Teplické souvrství charakterizuje přechod prachovito–písčitých sedimentů do slínovců (Kachlík 2003).

Zájmovou plochu překrývají větší či menší mocnosti kvartérních uloženin. Jedná se o nezpevněné písčito–hlinité až hlinito–písčité deluviální sedimenty, podél Štítarského potoka o smíšené deluviofluviální sedimenty. Vzhledem k přítomnosti velkého množství

křemenných valounů různých velikostí na povrchu terénu lze předpokládat, že pocházejí z rozplavené říční labské terasy, která se zde nedochovala. Dominantními půdními jednotkami v oblasti lokality jsou karbonátová pelozem a karbonátová černozem (<https://mapy.geology.cz/pudy>).

V databázi vrtné prozkoumanosti se nejbližší vrt nachází ve vzdálenosti 1 km jihovýchodně od lokality, v obci Vinice (https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/). Jedná se o svislý hydrogeologický vrt s označením VNC-1 o hloubce 20 m. Kvartér zde dosahuje mocnosti 1 m a první zastiženou podložní horninou byl křídový jílovec.



Obr. 18: Geologická mapa, 1:50 000. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>.

3.3 Historické údaje o lokalitě

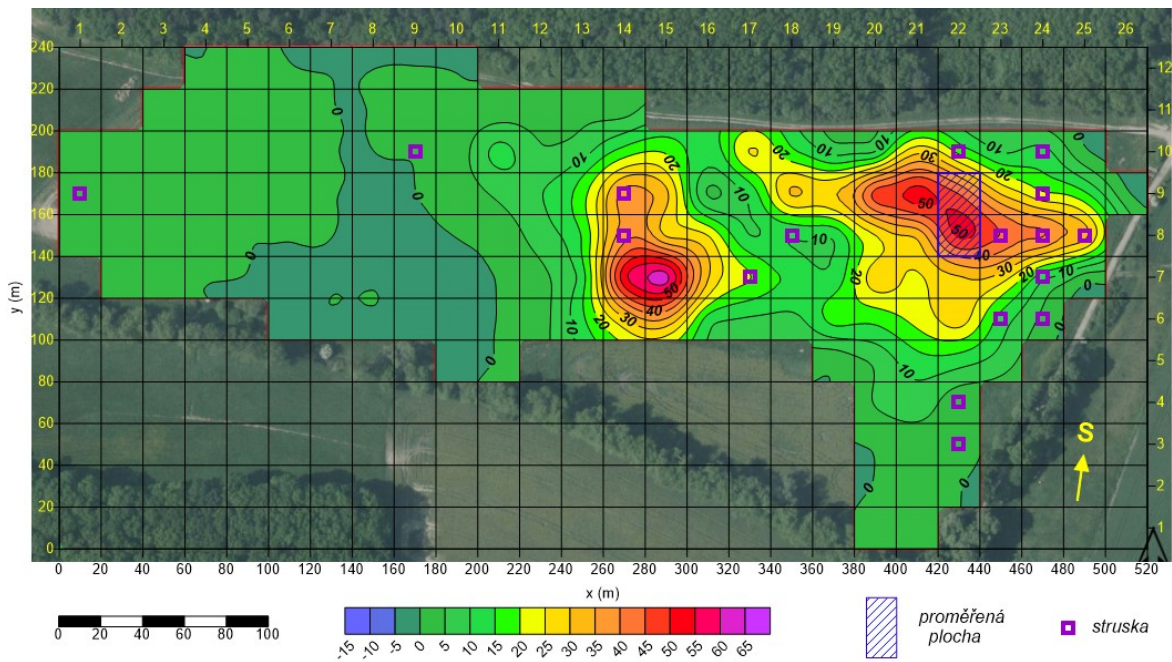
První z historických pramenů pojednává o věnování Štítar Lvovi z Konecchlumí králem Václavem IV (Emler 1882). Lvovi bylo odejmuto území Jičina s tvrzí Brada a jako náhradu dostal Štítary. V té době se jednalo o vesnici se 16 obdělávanými poli a 8 neobdělávanými. Další dochovanou listinou týkající se Štítar je smlouva z roku 1375 (Emler 1882), která dokumentuje prodej pravděpodobně celého území Štítar a s ním i dědického práva na ně. Bohuňko Puklice ze Štítar tehdy převedl území vesnice i s právy na obdělávání lánů a hospodaření na Jakuba z Velenic. Ke konci 14. století hovoří písemné prameny o Štítarech jako o sídle rodu Štěpů. V roce 1420 byla ves vypleněna a od té doby pustla (Emler 1882).

3.4 Archeologický průzkum lokality

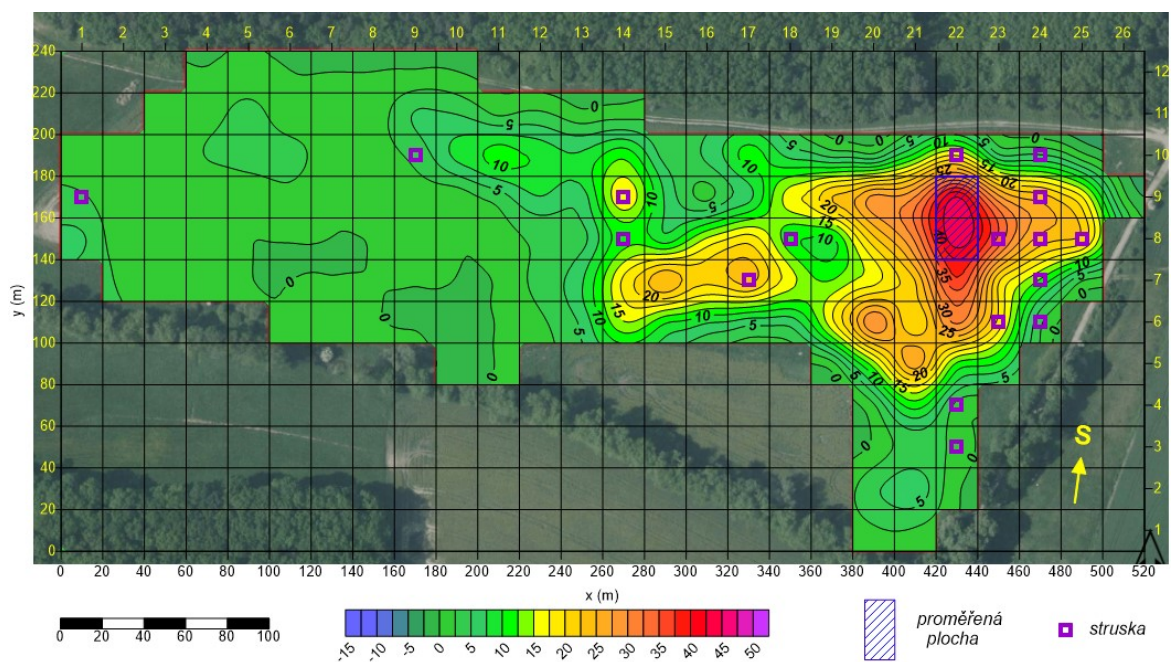
Systematický archeologický průzkum lokality nebyl prováděn. Realizován byl pouze povrchový průzkum, pro který byla zvolena metoda povrchového sběru (Klír 2018, ústní sdělení). Povrchové sběry byly na lokalitě provedeny studenty z Ústavu pro archeologii Filosofické fakulty Univerzity Karlovy v květnu roku 2014, a to pod vedením PhDr. Tomáše Klíra, Ph.D.

Na celé lokalitě Štítary bylo vymezeno a vysbíráno 156 čtvercových ploch (20 × 20 m), ze kterých bylo získáno několik tisíc kusů nálezů. Nalezeny byly různé typy keramických střepů, klasifikovaných do různých tříd dle zdobení, obsahu slídnatého ostřiva, intenzity výpalu, barvení a glazury. Dále byla nasbírána struska a recentní střepy. Většina kusů keramických střepů byla datována do středověku raného a vrcholného, celkový počet nálezů takto datovaných byl více než 3 tisíce.

Data jsem zpracovala do grafické podoby. Nejdříve byla podle instrukcí archeologů seskupena do tří podsouborů pro tři vymezená dílčí období (pravěk, raný středověk, vrcholný středověk). Následně byly v programu Surfer vytvořeny plošné mapy frekvencí výskytu nálezů pro vybraná období (viz obrázky 19 a 20).



Obr. 19: Koncentrace nalezených střeptů datovaných do raného středověku, jednotka: počet kusů na čtverec 20×20 m.



Obr. 20: Koncentrace nalezených střeptů datovaných do vrcholného středověku, jednotka: počet kusů na čtverec 20×20 m.

3.5 Výběr plochy pro geofyzikální měření

Na základě výsledků povrchových sběrů byla vybrána plocha nejvhodnější pro měření. V prostoru vybraného polygonu ve tvaru obdélníku o velikosti 20×40 m byla největší koncentrace střepů datovaných do období raného a vrcholného středověku, dalo se tedy předpokládat, že pocházejí z blízkých a mělce uložených pozůstatků středověkého osídlení.

3.6 Volba geofyzikálních metod

Výběr vhodných geofyzikálních metod vycházel především z pravděpodobné podoby a typu objektů a struktur, které zde mohly být pohřbeny. V případě Štítar jakožto středověké osady se jedná především o pohřbené kamenné zdi, základy budov, popřípadě jejich destrukce, jelikož byl prostor lokality zcela aplanován při zemědělské kultivaci. Dalším možným typem pohřbených struktur mohou být relikty zahloubených objektů, například zemnice, odpadní a zásobní jámy. Stopami po lidském osídlení mohou být v případě zaniklých středověkých osad také různá ohniště, pece či vypálené hlíny vykazující termoremanentní magnetizaci vzniklou při silném zahřátí.

Pro měření na lokalitě byly zvoleny metody: geoelektrické odporové profilování, magnetometrie a konduktometrie. Jako základní metoda byla zvolena geoelektrická metoda symetrického odporového profilování, jelikož velmi dobře detekuje kamenný materiál využívaný na stavbu různých objektů. Ten zpravidla vykazuje vyšší měrné odpory vůči okolí (Kuna a kol. 2004). Magnetometrií lze detekovat zejména objekty vykazující termoremanentní magnetizaci, dále se při magnetometrickém měření projevují zahloubené objekty a jámy či příkopy vyplněné magneticky odlišným materiálem nebo také zdiva z magneticky aktivních materiálů, například vypálených cihel (Fassbinder 2011). Třetí zvolenou metodou byla konduktometrie. Její výhodou je dosah do tří hloubkových úrovní a informace o magnetické susceptibilitě ve složce „*inphase*“, nevýhodou je však menší kontrast výsledků.

3.7 Metodika terénního průzkumu

3.7.1 Geodetické práce

Terénní geofyzikální průzkum byl proveden dne 18. července 2018 za oblačného počasí s občasnými přeháňkami. Nejprve byly pomocí GPS zaměřeny čtyři základní body, jejich souřadnice jsou uvedeny v tabulce 2. Pravé úhly měřičské sítě byly určeny buzolou. Vytýčená plocha měla tvar obdélníku o rozměrech 20 × 40 m (obr. 21).

bod	X [m]	Y [m]
ST1	-680581.664	-1035345.665
ST2	-680561.705	-1035347.53
ST3	-680585.407	-1035385.534
ST4	-680565.46	-1035387.399

Tab. 2: Souřadnice rohových bodů zkoumané plochy v systému JTSK.



Obr. 21: Vytýčená plocha pro geofyzikální měření.

Průzkum byl realizován v síti 1 × 1 m. Při geofyzikální prospekci archeologických lokalit je tento rastr běžný, především u odporových a elektromagnetických metod. Pozice

jednotlivých bodů byly určeny pomocí natažených pásem. Tato síť byla využita pro měření všemi třemi vybranými metodami.

3.7.2 Geofyzikální měření

Měření probíhalo v síti rovnoběžných profilů, vzdálenost mezi profily byla 1 m, azimut profilů byl 172,2 °.

- **Symetrické odporové profilování (SOP)**

Odporové měření bylo provedeno pomocí soupravy Geoter 1, která se skládá z miliampérmetru a milivoltmetru. Elektrody byly od sebe ve vzdálenosti 1 m (Wennerovo uspořádání). Hloubkový dosah měření při Wennerově uspořádání je 1-1,5 m. Na každém bodě byla zaznamenána hodnota napětí a proudu.

- **Magnetometrie**

Magnetometrické měření bylo realizováno přístrojem GSM–196V od firmy GEM Systems. Jedná se o gradiometr, kterým lze měřit vertikální gradient magnetického pole, sondy byly ve výšce 0,5 a 1,5 m nad terénem. Magnetometrické měření je velmi citlivé na přítomnost železných předmětů, proto bylo nutné, aby nositel sondy takové předměty u sebe neměl.

- **Konduktometrie**

Měření metodou dipólového elektromagnetického profilování bylo provedeno přístrojem CMD – Mini Explorer od výrobce GF Instruments Brno. Tento přístroj při třech různých vzdálenostech mezi vysílací a přijímací cívkou umožňuje měření ve třech hloubkových úrovních.

Konduktometr CMD měří jak zdánlivou vodivost v mS/m, ta je úměrná imaginární části signálu „*out of phase*“, tak jím lze měřit složku „*inphase*“ odpovídající magnetické

susceptibilitě v jednotkách ppt (parts per thousand). Hloubkové dosahy měření byly 0,5 m, 1 m a 1,8 m.

3.8 Zpracování dat

Před tvorbou grafických výstupů bylo třeba terénní data, naměřená vybranými metodami, upravit. V koncové fázi byla všechna data zpracována v programu Surfer 13 (Golden Software) do formy map izolinií, které byly vytvořeny pomocí gridu (pravidelná matice hodnot vytvořená na základě dat pro souřadnice x, y, z). Pro vytvoření gridu byla ve všech případech volena metoda kriging a síť $0,25 \times 0,25$ m.

▪ Symetrické odporové profilování

Prvním krokem při zpracování byl převod dat do digitální formy (MS Excel). Po zkontrolování zapsaných dat následoval výpočet zdánlivého měrného odporu ρ_z . Data byla následně zpracována do grafické podoby v interpretačním softwaru Surfer 13 jako mapa izolinií zdánlivého měrného odporu. Celkový počet bodů změřených touto metodou byl 883. Střední kvadratická chyba měření byla: $\pm 6,7\%$ (počet opakovacích hodnot $n = 10$).

▪ Magnetometrie

Během práce s gradiometrem se data automaticky ukládala do paměti přístroje. Po převedení dat do počítače byla zpracována do mapy izolinií gradientu ΔT . Celkový počet bodů změřených magnetometrií byl 862. Střední kvadratická chyba měření byla: $\pm 0,46$ nT/m (počet opakovaných hodnot $n = 41$).

▪ Konduktometrie

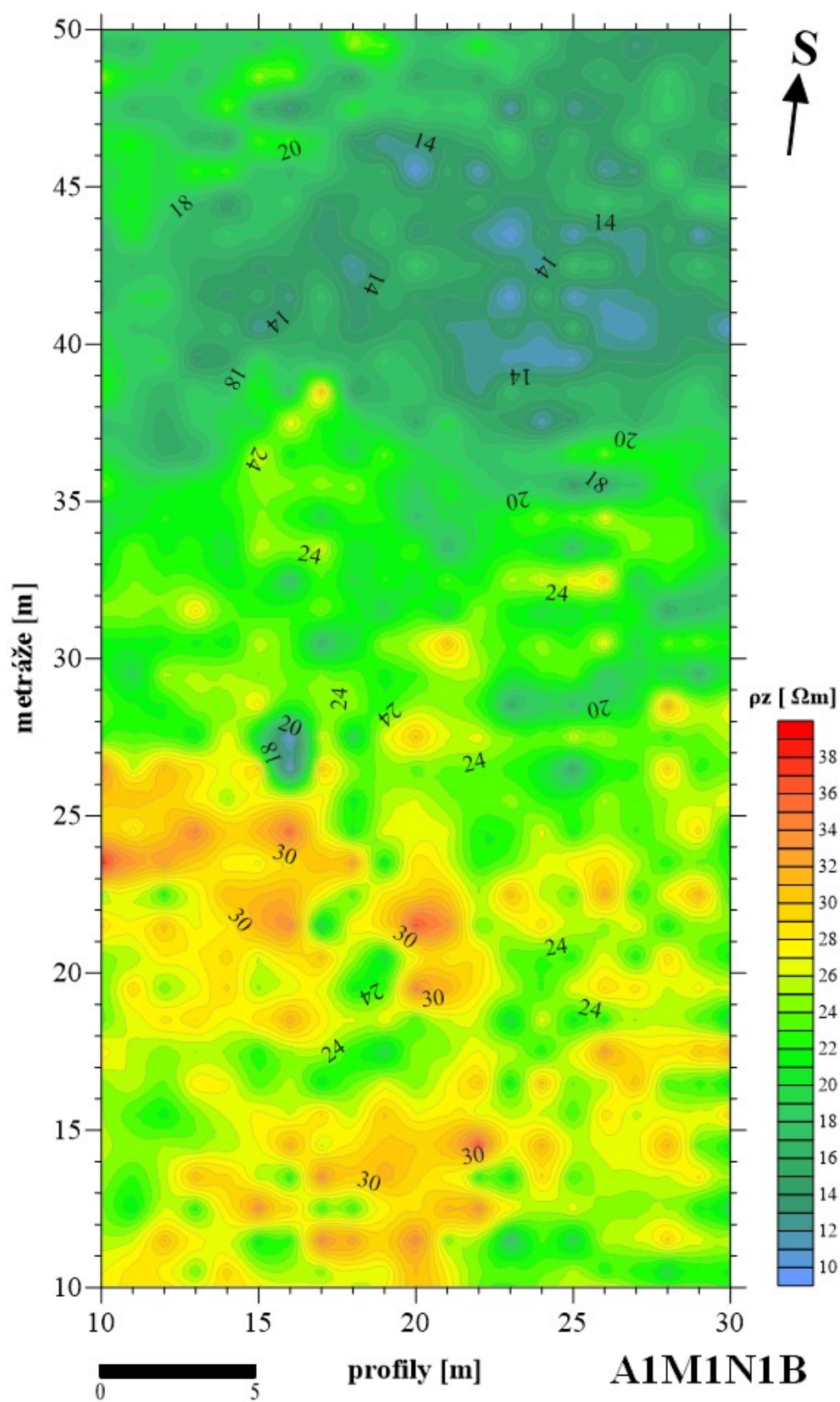
U dat získaných metodou DEMP se hodnoty měřené v terénu automaticky ukládají do interní paměti přístroje. Z opakovacích kontrolních měření a výpočtů vyplynulo, že není třeba zavést opravu na chod přístroje. Z naměřených dat byly vypočítány odpory ρ_z , mapy

izolinií byly vytvořeny pro všechny tři hloubkové úrovně. Data byla zpracována i pro složku *inphase*. Výstupem měření DEMP je tedy celkem 6 map izolinií. Celkový počet měřených bodů byl 862. Střední kvadratická chyba u odporů byla: $\pm 8 \%$, $\pm 4,5 \%$ a $\pm 1 \%$, u složky *inphase*: $\pm 0,02$ ppt, $\pm 0,01$ ppt a $\pm 0,01$ ppt (počet opakovaných hodnot $n = 21$).

3.9 Výsledky měření a interpretace.

- **Symetrické odporové profilování**

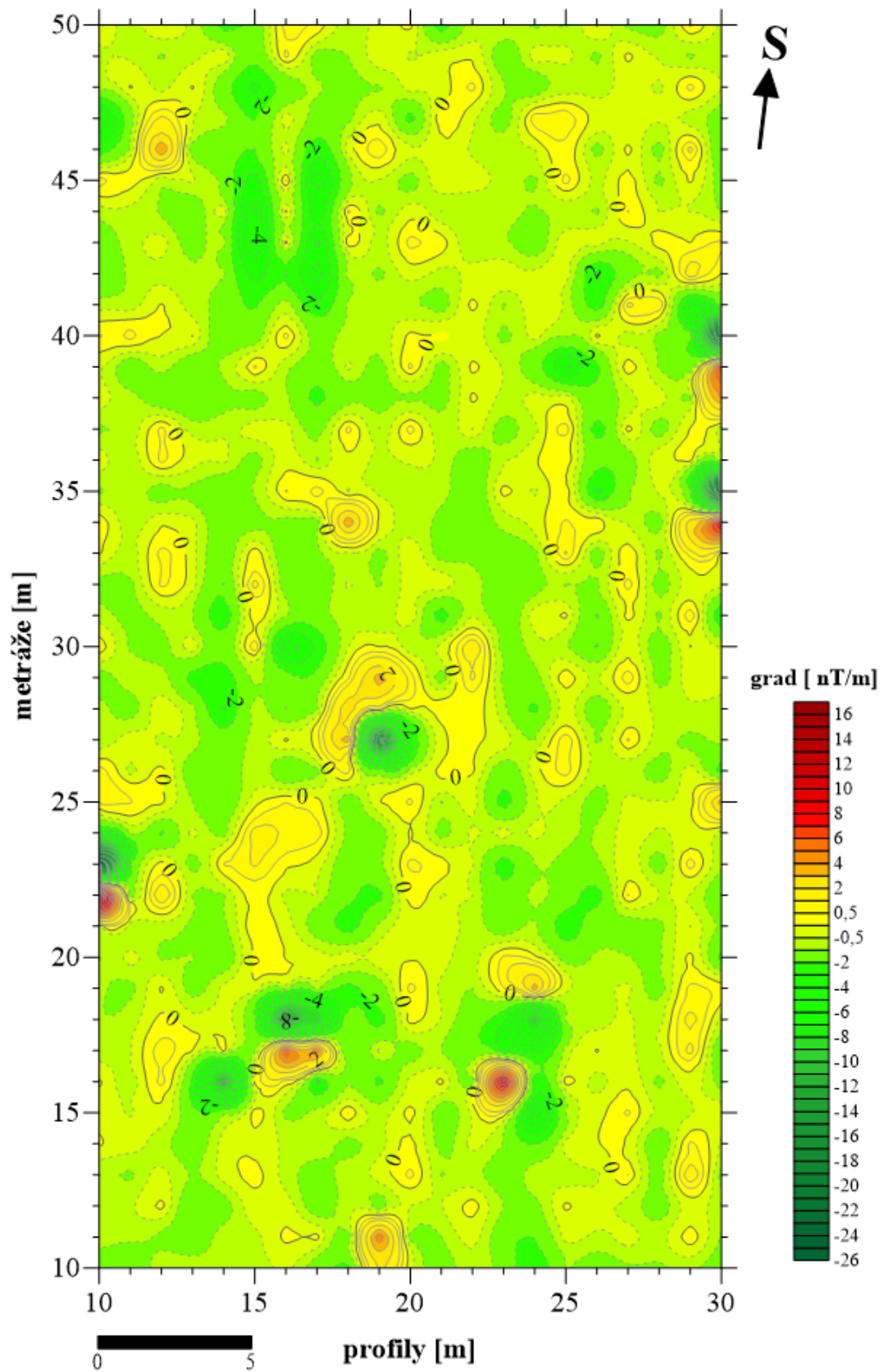
Výsledná mapa izolinií zdánlivého měrného odporu ρ_z je zobrazena na obr. 22. Naměřené hodnoty odporů se pohybují v rozmezí 10 až 40 Ωm , střední hodnota je 22 Ωm . Vápnytm jílovcům a slínovcům, které tvoří skalní podloží zájmové lokality, odpovídají zpravidla hodnoty 10 až 100 Ωm (Mareš a kol. 1979). Charakteristickým rysem plošného rozložení odporů je odporové minimum mezi profily 10 až 30 a metrážemi 36 až 47. Toto minimum lze interpretovat jako sekundárně vyplněnou terénní depresi, mohl by to být například aplanovaný lůmek či příkop. Nejvyšší odpory odpovídající hodnotám 30 až 40 Ωm byly naměřeny mezi profily P10 a P23 na metrážích 10 až 27. Výrazné odporové anomálie v tomto prostoru (i východněji) mohou indikovat relikty několika zaniklých objektů. Tyto struktury o vysokých odporech vykazují pravidelnou geometrii a jejich rozměry jsou úměrné velikostem středověkých objektů (cca 10×5 m). Mohlo by se jednat o relikty základů či kamenných podezdívek dřevěných budov. Další takové objekty vymezené zvýšenými odpory by se mohly nacházet mezi P17 a P22/26-31, P13 a P19/33-38, P23 a P28/33-37 a P17 a P22/46-50, velikost těchto interpretovaných struktur odpovídá rozměrům cca 5×5 m. Jelikož je zemědělská půda, na které se zájmová lokalita nachází, dlouhodobě a pravidelně kultivována hlubokou orbou a mocnost místního kvartérního pokryvu je malá, je velmi pravděpodobné, že se objekty zachovaly pouze v podobě reliktního kamenného stavebního materiálu.



Obr. 22: Mapa izolinií zdánlivého měrného odporu ρ_z podle metody symetrického odporového profilování.

▪ Magnetometrie

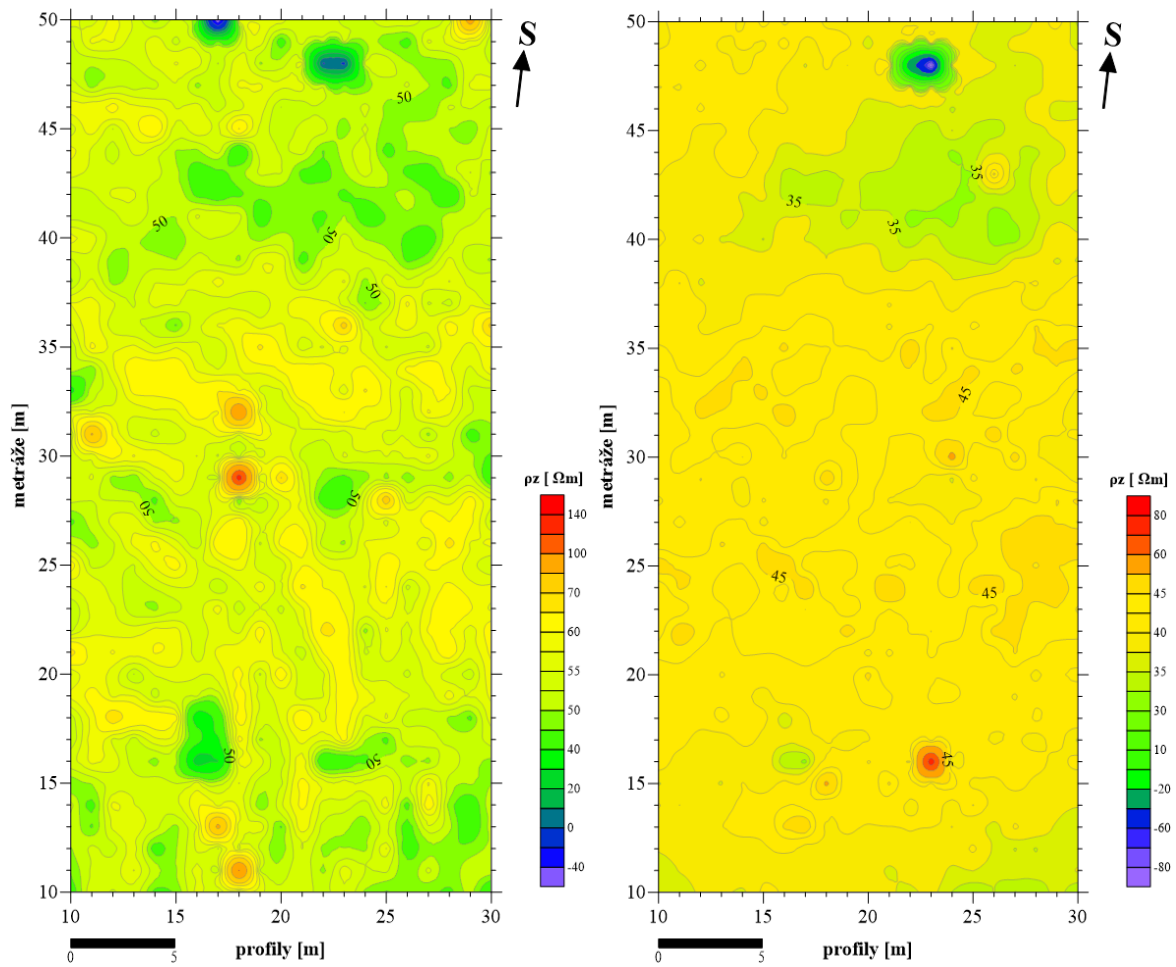
Na obrázku 23 je zobrazena mapa izolinií hodnot vertikálního gradientu magnetického pole v jednotkách nT/m. Měřenou plochu charakterizuje klidné magnetické pole s většinou hodnot gradientu ΔT v rozmezí -5 až $+5$ nT/m. Absolutní rozmezí hodnot gradientu ΔT je -25 až $+16$ nT/m. Nejvyšší hodnoty gradientu byly naměřeny při okrajích měřené plochy, v bodech P10/22 ($+16$ nT/m) a P30/34 a 38. Další lokální maxima byla naměřena v bodech P16/15-17 ($+4$ nT/m), v bodě P19/29 ($+3$ nT/m) a P23/16 ($+10$ nT/m). Téměř všechna maxima mají záporný lem na severu (indukovaná magnetizace). Nejnižší hodnoty gradientu byly naměřeny na profilu P10 na metrání 23 (-25 nT/m), profilu P19 na metrání 27 (-16 nT/m), profilu P14 na metrání 16 (-11 nT/m), profilu 16 na metrání 18 (-16 nT/m) a na profilu P30 na metráních 35 (-22 nT/m) a 40 (-20 nT/m). Výrazné magnetické anomálie podporují archeologický význam objektů interpretovaných na základě výsledků SOP. Pravidelné magnetické anomálie pozičně odpovídající strukturám o vysokých a zvýšených odporech pravděpodobně signalizují pozice pecí či otopných zařízení (ohnišť), nacházejících se v interpretovaných objektech.



Obr. 23: Mapa izolinií hodnot vertikálního gradientu ΔT podle magnetometrického měření.

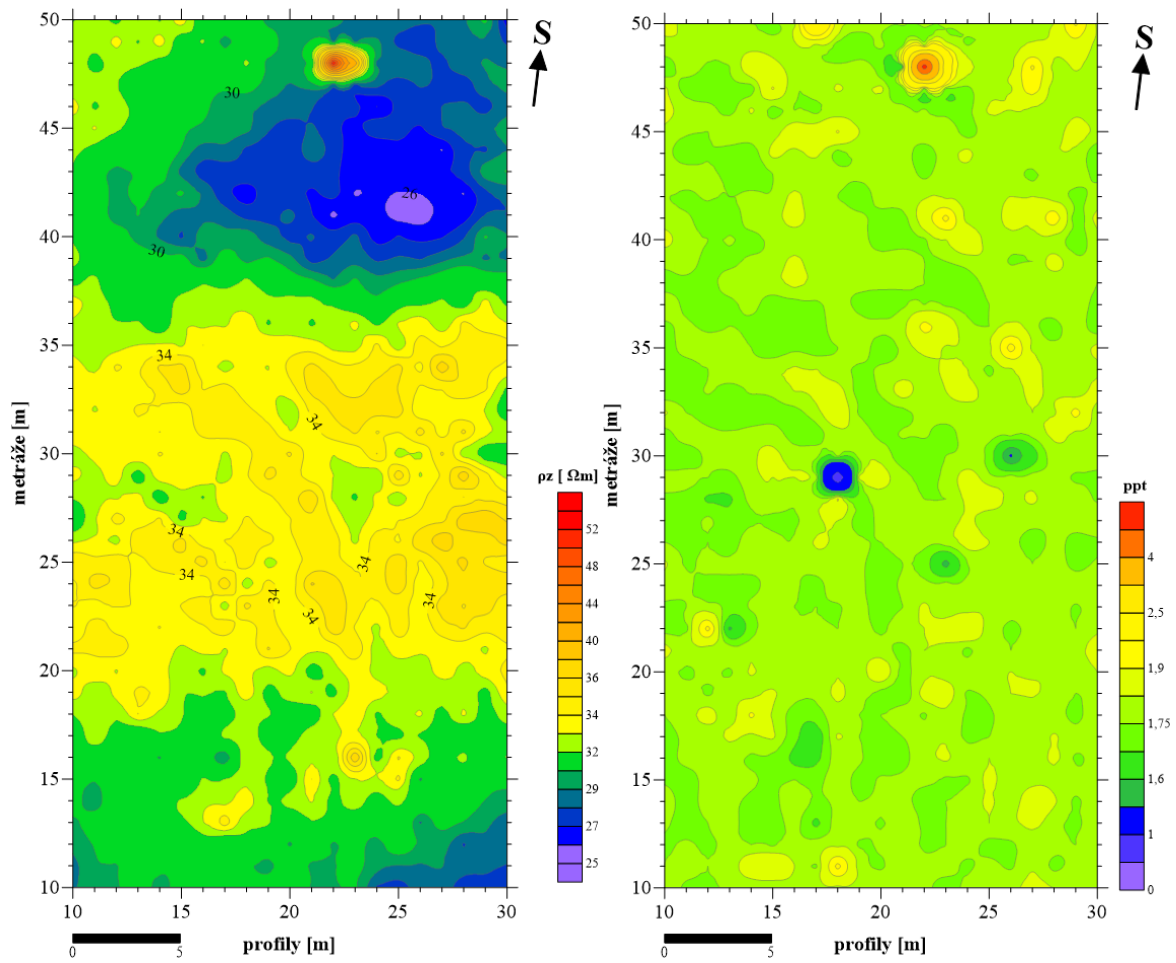
▪ **Konduktometrie**

Na obrázcích 24 až 26 jsou mapy izolinií zdánlivých měrných odporů, na obrázcích 27 až 29 jsou mapy izolinií pro složku *inphase*. Pro jednotlivé hloubkové dosahy charakterizují měřený prostor měrné odpory: střední hodnota 54 Ωm pro hloubku 0,5 m, střední hodnota 40 Ωm pro hloubku 1 m a střední hodnota 32 Ωm pro hloubku 1,8 m. Nejvýraznější anomálie se projeví v hloubce 0,5 m v bodech: P18/29, P17/50 a P22-23/48, pro hloubkový dosah 1 m v bodech: P23/16 a P22-23/48 a pro hloubku 1,8 m v bodech: P25/41 a P22-23/48. Výsledky měření složky *inphase* poskytují informaci o výskytu materiálů o vyšší magnetické susceptibilitě, jedná se vesměs o bodová maxima a minima. Pro jednotlivé hloubkové dosahy jsou charakteristické hodnoty složky *inphase*: střední hodnota 1,77 ppt pro hloubku 0,5 m, střední hodnota 2,1 ppt pro hloubku 1 m a střední hodnota 2,39 pro hloubku 1,8 m. Lokální indikace složky *inphase* signalizují přítomnost feromagnetických materiálů se zvýšenou magnetickou susceptibilitou, pravděpodobně se jedná o drobné železné předměty. Bodové indikace tohoto typu se projeví v hloubce 0,5 m v bodech: P18/29 a P22/48, pro hloubku 1 m v bodech: P18/29, P22/35 a P22/48 a pro hloubkový dosah 1,8 m v bodech: P18/29 a P22/48. Bodová maxima a minima naměřených odporů a složky *inphase*, polohově odpovídající vymezení interpretovaných objektů, zejména výrazná anomálie v bodě P22-23/48, by mohly signalizovat přítomnost železných předmětů. Plošné odporové minimum zjištěné metodou DEMP v severní části plochy (nejvýrazněji pro hloubku 1,8 m) pro profily P10 až P30 a metráže 38 až 50 koreluje s minimem naměřeným metodou SOP a hypoteticky signalizuje aplanovanou terénní depresi nebo litologické rozhraní.



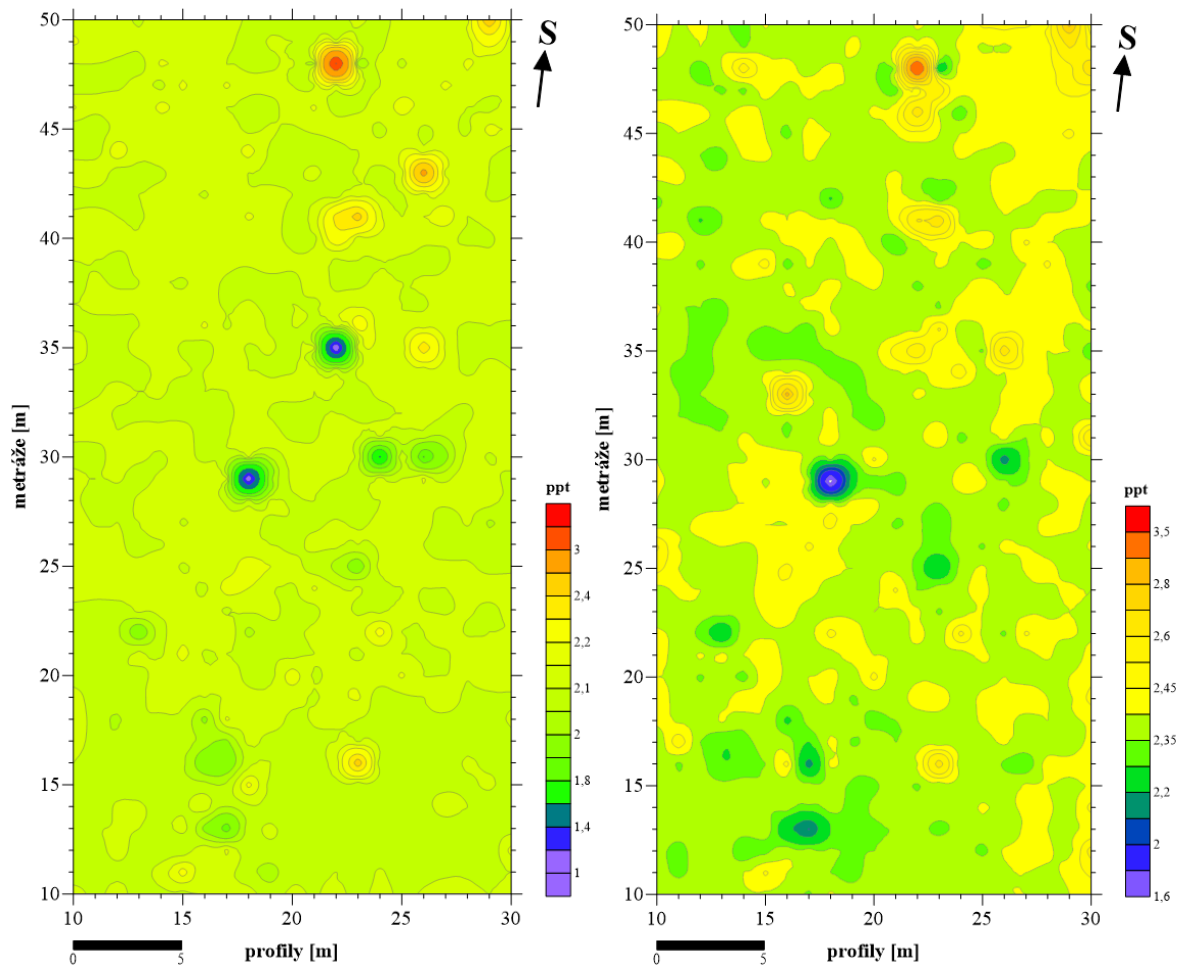
Obr. 24: DEMP: mapa izolinií zdánlivých měrných odporů, hloubka 0,5 m.

Obr. 25: DEMP: mapa izolinií zdánlivých měrných odporů, hloubka 1 m.



Obr. 26: DEMP: mapa izolinií zdánlivých měrných odporů, hloubka 1,8 m.

Obr. 27: DEMP: mapa izolinií pro složku *inphase*, hloubka 0,5 m.

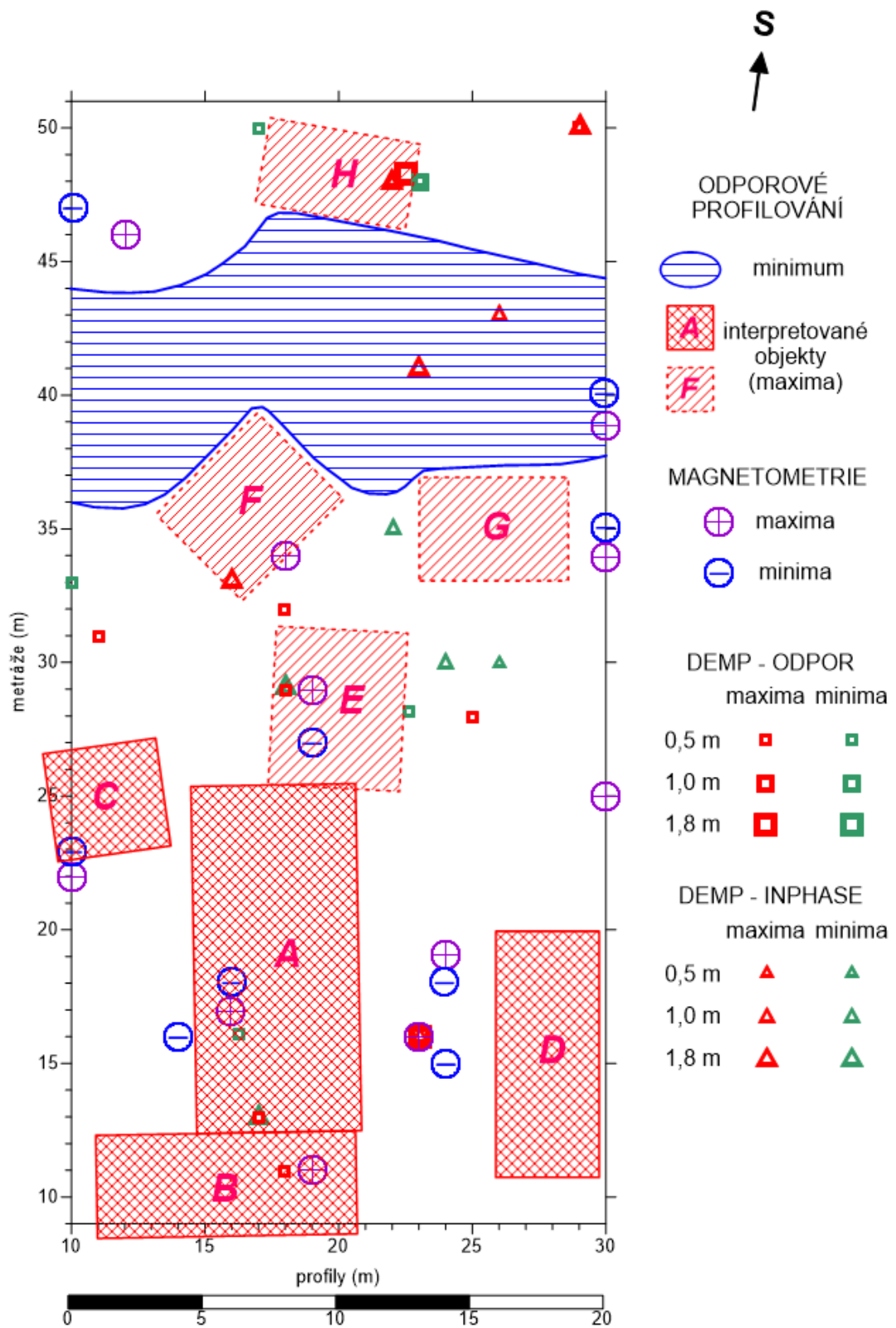


Obr. 28: DEMP: mapa izolinií pro složku inphase, hloubka 1 m.

Obr. 29: DEMP: mapa izolinií pro složku inphase, hloubka 1,8 m.

▪ **Strukturní schéma**

Strukturní schéma na obrázku 30 vychází z výsledků všech použitých metod a poskytuje souhrnnou představu o plošném rozmístění zjištěných, pravděpodobně i archeologicky významných, nehomogenit. Červeným šrafováním jsou vyznačeny interpretované objekty, které se projeví vysokými a zvýšenými odpory. Výraznější struktury jsou ohraničeny plnou čarou (objekty A, B, C, D), méně výrazné čarou přerušovanou (objekty E, F, G, H). Vzájemná poloha objektů A, B, C a D, naznačuje, že by mohlo jít o usedlost tvořenou více budovami. Modrým šrafováním je vyznačeno plošné odporové minimum, signalizující terénní depresi. Výrazné magnetické anomálie jsou označeny modrými a fialovými znaménky + (maximum) a – (minimum). Bodová maxima a minima naměřená pomocí metody DEMP jsou naznačena červenými či zelenými čtvercovými (odpor) a trojúhelníkovými (složka *inphase*) značkami. Magnetické anomálie pozičně konformní s interpretovanými objekty mohou naznačovat pozici otopných zařízení či pecí přítomných v interpretovaných objektech. Drobné magnetické anomálie situované mimo uvedené objekty reprezentují patrně projevy drobných železných předmětů.



Obr. 30: Strukturní schéma.

4. DISKUZE

Cílem rešeršní části této bakalářské práce bylo shrnutí problematiky a vytvoření přehledu hlavních metod užitých geofyziky využívaných při lokalizaci a průzkumu středověkých vesnic. V první části práce byly vybrané metody uvedeny do kontextu s dosavadními poznatky o podobě středověkých vesnic ve formě shrnutí informací z dostupných zdrojových publikací a článků. Ačkoli je geofyzika při průzkumech středověkých archeologických lokalit v praxi běžně využívanou metodou a zaniklým vesnicím je během posledních let věnována větší pozornost, zejména cizojazyčná odborná literatura věnující se geofyzice v archeologii je ve většině případů jen obecného charakteru. Informace často nejsou dostačující, v textech nejsou podávány uceleně a velké procento textů není doplněno ilustračními obrázky. Zájemce o konkrétní problematiku je nucen vyhledávat velké množství informačních zdrojů. Problémem je také velmi omezená dostupnost odborných textů, jak v knižní, tak v digitální podobě. Tento problém se týká i prací tuzemských autorů, ty jsou často dostupné pouze v zahraničních publikacích určených odborné veřejnosti. Z hlediska využití geofyzikálních metod v archeologii by měla být více věnována pozornost těm geoelektrickým a elektromagnetickým metodám, které jsou často opomíjeny, ačkoli mohou v určitých případech přinést kvalitnější a přínosnější výsledky.

Na zájmové lokalitě Štítary doposud nebyl proveden žádný geofyzikální průzkum. Ten, kterému se věnuje experimentální část této bakalářské práce byl první. Nebyly tedy k dispozici žádné výsledky předešlých měření, s kterými by bylo možné výsledky tohoto průzkumu porovnat. Výběr použitých geofyzikálních metod se potvrdil jako vhodný. Metoda symetrického odporového profilování prokázala přítomnost odporových anomálií, které mohou být způsobeny objekty odporově odlišnými od geologického prostředí lokality. Magnetometrické měření také lokalizovalo několik pravidelných anomálií, které korelují se zónami zvýšených odporů podle symetrického odporového profilování. Interpretace struktur a objektů není jednoznačná, v úvahu přichází další geofyzikální měření například pomocí metody ERT. Profily by probíhaly místy, kde byly zaznamenány nejvýraznější anomálie. Další metodou pro případný návazný průzkum by mohla být mělká refrakční seismika. Pro ověření interpretace by také bylo možné provedení archeologické sondáže. Nejvhodnější místo pro tyto práce by bylo v oblasti interpretovaných struktur, které se projeví vysokými hodnotami odporů a jsou pozičně konformní s výraznými magnetickými anomáliemi.

5. ZÁVĚR

Užitá geofyzika jako nedestruktivní metoda je v archeologii metodou moderní, stále se rozvíjí a přináší nové poznatky. Při vyhledávání zaniklých středověkých vesnic jsou její metody velmi přínosné, společně s přispěním poznatků z ostatních oborů, jako je geologie, historie, geografie apod. V kombinaci s těmito obory může geofyzikální prospekce poskytnout pro archeologii cenné informace a specifický pohled na pohřbené struktury identifikované na daných lokalitách. Stejně jako jakékoli technické metody je geofyzikální měření v některých případech limitováno. Archeologické objekty se nemusejí vždy dostatečně lišit svými fyzikálními vlastnostmi od okolního geologického prostředí a rozhodující je také stav jejich zachování. Záleží i na interpretaci výsledků, která není v mnoha případech jednoznačná.

Geofyzikální průzkum zaniklé vesnice Štítary přinesl nové poznatky o lokalitě. Metoda symetrického odporového profilování odhalila několik struktur, které lze interpretovat jako relikty kamenných základů budov. Výrazné magnetické anomálie je možné interpretovat jako fragmenty otopných zařízení. Vzhledem k nejednoznačnosti interpretace by lepší výsledky přinesl další podrobnější průzkum. Bylo by tak možné výsledky mezi sebou porovnat a dojít k jasnějším závěrům.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- AITKEN, M. J. (1961): *Physics and archaeology*. Interscience Publishers, New York.
- CAMPANA, S., PIRO, S. (2009): *Seeing the unseen: geophysics and landscape archaeology*. CRC Press, Boca Raton.
- ČAPEK, L., HOLATA, L. (2017): General overview of medieval settlement research in the Czech Republic: Emergence and development of the field, main issues and adoption of landscape context. *Revista Arkeo Gazte Aldizkaria*, 7, 12, 267-320.
- ČERNÝ, E. (1979): *Zaniklé středověké osady a jejich plůžiny: metodika historickogeografického výzkumu v oblasti Dražanské vrchoviny*. Studie ČSAV. Academia, Praha.
- DAVID, A., LINFORD, N., LINFORD P. (2008) *Geophysical survey in archaeological field evaluation*. English Heritage Publishing. Dostupné z: <http://www.english-heritage.org.uk/upload/pdf/GeophysicsGuidelines.pdf>
- DRESLER, P., MILO P. a ŠEŠULKA V. (2007): *Magnetic prospection of the rampart of the early medieval hill-fort Pohansko by Břeclav, Czech republic*. Študijné zvesti Archeologického ústavu SAV, Nitra, 41,1, 142-144.
- DREWETT P. L. (2001): *Field archaeology: an introduction*. UCL Press, Londýn.
- EMLER, J. (1882): *Regesta diplomatica nec non epistolaria Bohemiae et Moraviae*. Typis Grégerianis, Praha.
- FASSBINDER, J. (2011) *Geophysical Prospection: a Powerful Non-destructive Research Method for the Detection, Mapping and Preservation of Monuments and Sites*. CEUR Workshop Proceedings.
- GIES, F., GIES J. (2018): *Życie w średniowiecznej wsi*. Otwarte, Kraków.

- GOJDA, M., JOHN J., BREJCHA R. (2013): Archaeology and airborne laser scanning of the landscape. Katedra archeologie, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň.

- HÁJEK, V. (2007): Pozdně středověký vesnický dům v Českých zemích. Historické stavby I., FA ČVUT.
Dostupné z: http://www.atelierhajek.cz/doc/pozdne_stredoveky_dum.pdf
[cit. 7. 7. 2018].

- CHASE, A. S. Z., CHASE D. Z., CHASE A. F. (2017) LiDAR for Archaeological Research and the Study of Historical Landscapes. In: Sensing the Past, Geotechnologies and the Environment, Springer International Publishing, 89-100.
Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-50518-3_4
[cit. 1. 8. 2018].

- KACHLÍK, V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. Doplněk k publikaci pro SÚRAO. Ústav geologie a paleontologie, Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

- KLÁPŠTĚ, J. (2012): The Czech lands in medieval transformation, East Central and Eastern Europe in the Middle Ages. Brill, Boston.

- KUNA, M. a kol. (2004): Nedestruktivní archeologie, Teorie, metody a cíle. Academia, Praha.

- MAREŠ, S. a kol. (1979): Úvod do užití geofyziky. SNTL Nakladatelství technické literatury, Praha.

- REES, W. G. (2012): Physical Principles of Remote Sensing. Cambridge University Press.

- SALA, R. et al. (2012): Archaeological Geophysics – From Basics to New Perspectives. Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques.

- SLEEP, N. H., FUJITA K. (1997): Principles of geophysics. Blackwell Science, Malden, Massachusetts.
- ŠKABRADA, J. (1999): Lidové stavby: architektura českého venkova. Argo, Praha.
- VAŘEKA, P. (2004): Archeologie středověkého domu I. Proměny vesnického obydlí v Evropě v průběhu staletí. 6. - 15. století. Archeologica, Plzeň.
- WEYMOUTH J. W., HUGGINS R. (1985): Geophysical Surveying of Archaeological Sites. In: Archaeological Geology, Yale University Press, 191-236.

Mapové materiály:

- ČGS: (Vrtná prozkoumanost, Geologická mapa 1:50 000. In: Geovědní mapy 1:50 000 [online]. Česká geologická služba, Praha.
Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/> [cit. 1. 8. 2018].
- ČÚŽK (2016): Základní mapa ČR 1:25 000 barevná bežešvá (ZM 25). In: Mapový podklad 1:25 000 [online]. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha.
Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec> [cit. 1. 8. 2018].
- MAPY.CZ (2015): Letecká mapa ČR. In: Letecký mapový podklad [online]. Mapový portál www.mapy.cz. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka-2015> [cit. 1. 8. 2018].

Použité programy:

- Surfer® 13 (Golden Software, LLC)
- Microsoft Office Excel 2016

- Microsoft Office Word 2016
- PhotoFiltre 7

Osobní sdělení:

- KLÍR, T. Osobní sdělení. Ústav pro archeologii Filosofické fakulty Univerzity Karlovy, Praha. [2018]

7. FOTOGRAFICKÁ PŘÍLOHA



Foto 1: Příprava profilů.



Foto 2: Měření metodou symetrického odporového profilování.



Foto 3: Měření gradiometrem GSM–196V (GEM Systems).