

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



Geofyzikální prospekce středověkého osídlení v Dubicku,
Za kostelem (o. Šumperk)

Diplomová práce

Matej Chovanec

Environmentální geologie (N0532A330007) Prezenční studium

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

Olomouc 2022

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Matej Chovanec

Název: Geofyzikální prospekce středověkého osídlení v Dubicku, „Za kostelem“ (o. Šumperk)

Typ práce: diplomová

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

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

Rok obhajoby: 2022

Abstrakt: Práce je výsledkem geofyzikální prospekce dvou ploch na lokalitě „Za kostelem“ v obci Dubicko provedené metodami dipólového elektromagnetického profilování, odporové tomografie a georadaru. Cílem práce bylo lokalizovat a zrekonstruovat středověké osídlení a následně výsledky zkusit propojit se zjištěními z archeologického záchranného průzkumu, který na lokalitě proběhl v roce 2021 a také zjistit, která z použitých metod je pro danou problematiku nejvhodnější. Vytýčené plochy byly nejdříve změřeny metodou dipólového elektromagnetického profilování a georadarem a na jedné ploše byly následně změřeny profily odporové tomografie. Na jedné ploše byla lokalizována struktura připomínající příkop, která se však s velkou jistotou nedá určit. Kombinace metod odporové tomografie a georadaru se pro danou problematiku osvědčila, zatím co metoda dipólového elektromagnetického profilování se moc neosvědčila. Na místě nebyla předtím provedena žádná geofyzikální prospekce nebo rozsáhlejší archeologický průzkum, kromě archeologického záchranného průzkumu, s kterým by se zjištěné výsledky dali porovnat.

Klíčová slova: Dubicko, geofyzikální prospekce, odporová tomografie (ERT), elektromagnetické profilování (DEMP), georadar (GPR)

Počet stran: 38

Přílohy: 4

Jazyk: Český

Bibliographic identification

Author's first name and surname: Matej Chovanec

Title: Geophysical prospection of medieval settlement in Dubicko, "Za kostelem" (Šumperk District)

Type of thesis: Master

Institution: Palacky University of Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

Year of presentation: 2022

Abstract: The work is the result of a geophysical prospecting of two areas at the location "Za kostelem" in the village of Dubicko, carried out using the methods of dipole electromagnetic profiling, resistivity tomography and ground-penetrating radar. The goal of the work was to locate and reconstruct a medieval settlement and then to try to connect the results with the findings of the archaeological rescue survey, which took place on the site in 2021, and also to find out which of the methods used is the most suitable for the given issue. The delineated areas were first measured by the method of dipole electromagnetic profiling and georadar, resistivity tomography profiles were subsequently measured only on one area. A structure reminiscent of a ditch was located on one area, but it cannot be determined with great certainty. The combination of resistivity tomography and ground-penetrating radar methods proved successful for the given issue, while the dipole electromagnetic profiling method was not very successful. No geophysical prospecting or larger archaeological survey had previously been carried out at the site, apart from an archaeological rescue survey, with which the results found could be compared.

Keywords: Dubicko, geophysics, electrical resistivity tomography (ERT), dipole electromagnetic profiling (DEMP), ground penetrating radar (GPR)

Number of pages: 38

Appendices: 4

Language: Czech

Prohlašuji, že diplomovou práci sem vypracoval sám pod odborným dozorem vedoucího práce s užitím řádně citované literatury.

V Olomouci, dne

.....

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu své práce, Mgr. Martinu Moníkovi, Ph.D., za pomoc při měření v terénu a při zpracovávání naměřených dat. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Zuzaně Lendákové, Ph.D., a RNDr. Alešu Létalovi, Ph.D. za pomoc při zpracování naměřených dat pomocí georadaru. Mé poděkování patří také panu PhDr. Pavlu Šlézarovi, Ph.D. a Mgr. Jakubu Halamalovi, Ph.D. za odbornou konzultaci dosažených výsledků.

Obsah	
1. Úvod	7
2. Geologie zájmové oblasti	8
2.1. Moravskoslezská oblast	8
2.1.1. Slezikum	8
2.1.2. Moravskoslezské paleozoikum	8
3. Geofyzikální metody	10
3.1. Elektromagnetické metody	10
3.1.1. Dipólové elektromagnetické profilování	11
3.1.2. Georadar	12
3.2. Elektrické metody	13
3.2.1. Odporové metody	13
3.2.2. Uspořádání elektrod	14
3.2.2.1. Wennerova metoda	15
3.2.2.2. Wenner-Schlumbergerova metoda	15
3.2.2.3. Metoda dipól – dipól	15
3.2.3. Elektrická odporová tomografie	15
4. Historie lokality.	16
5. Metodika	17
5.1. Dipólové elektromagnetické profilování	17
5.2. Elektrická odporová tomografie	17
5.3. Georadar	18
6. Výsledky geofyzikální prospekce	19
6.1. Dipólové elektromagnetické profilování	19
6.2. Georadar	22
6.3. Elektrická odporová tomografie	25
7. Diskuze	27
8. Závěr	28
9. Použitá literatura	29
10. Přílohy	32

1. Úvod

Obec Dubicko se nachází přibližně 6,5 km SZ směrem od města Mohelnice. V posledním desetiletí je obec zájmem archeologických průzkumů především pod záštitou Vlastivědného Muzea v Šumperku. Jedná se především o záchranné archeologické průzkumy, které doposud odhalili, že historie osídlení obce sahá až do starší doby kamenné. Při jednom z takových průzkumů v roce 2021 východně od kostela Povýšení sv. Kříže byly nalezené pozůstatky středověkého osídlení. Nalezený byl zahloubený sídlištní objekt a s největší pravděpodobností část příkopu patřící tvrzi, zmiňované pro 13. – 14. stol. v historických pramenech (Medek 1960). Mimo zmiňovaného záchranného průzkumu nebyly doposud na lokalitě provedeny jiné archeologické průzkumy nebo geofyzikální prospekce. Cílem práce je pomocí kombinací několika geofyzikálních metod provést prospekci na vytyčených plochách, jejichž výsledkem by měla být plošná rekonstrukce půdorysu reliktního osídlení. Výsledky z jednotlivých měření budou navzájem porovnány a budou identifikovány geofyzikální metody, které jsou pro danou problematiku vhodné. Výsledky se následně propojí s informacemi získanými dřívějším záchranným výzkumem (2021 VM Šumperk).

2. Geologie zájmové oblasti

V okolí studované lokality se nachází horniny moravskoslezské oblasti. Jedná o horniny drahanského vývoje středního až svrchního devonu. Dále se zde nacházejí horniny spodního karbonu. Starší horniny (devon) se vyskytují směrem na S a SZ, zatím co mladší horniny (karbon) vystupují na povrch směrem na V od lokality. Na povrchu se pak nacházejí eolické, deluviofluviální a fluviální nezpevněné sedimenty kvartéru. Samotná lokalita se nachází ve sprašových hlínách (viz. *Obr.1.*) (Klad listů ZM50 14-43, Geologická mapa 1:50 000 In: Geovědní mapy 1:50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba 27.5.2022.). Při archeologickém výzkumu se ve výkopu objevovaly polohy navětralých břidlic (Halama 24.5.2022 osobní sdělení), které s největší pravděpodobností můžeme zařadit do karbonu moravskoslezského paleozoika. Horniny z okolí byly jako stavební materiál použité při výstavbě zdi obepínající kostel a hřbitov v obci (viz. *příloha 1*)

2.1. Moravoslezská oblast

2.1.1. Slezikum

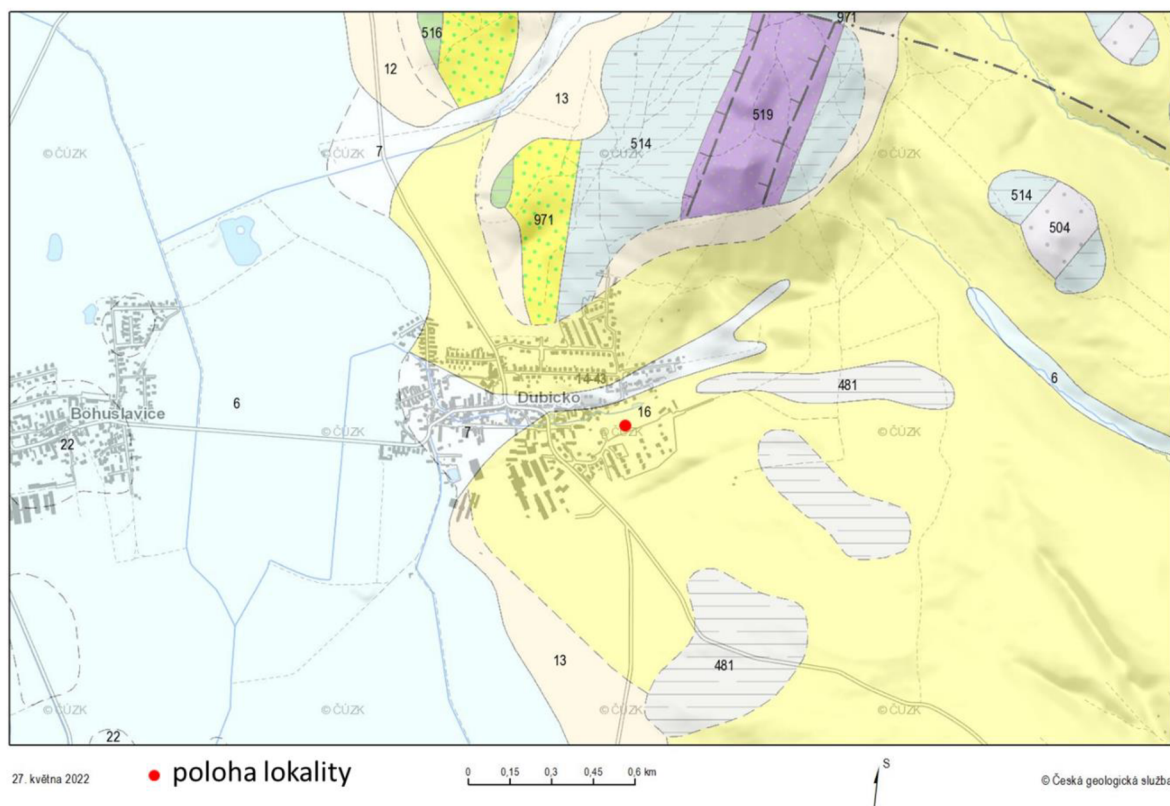
Severně od lokality se nachází horniny vrbenské skupiny. Vrbenská skupina je komplex epizonálně až mezozonálně metamorfovaných vrstev o stáří spodního až středního devonu, který je tektonicky složitou a horninově pestrou součástí příkrovu Vysoké hole (Schulmann a Gayer 2000, Cháb et al. 2008). Tyto vrstvy jsou tvořeny převážně kvarcity, mramory, metabazity, fylity a metamorfovanými keratofyrovými horninami (Pouba et al. 1962, Svoboda et al. 1964, Mísař et al. 1983, Cháb et al. 2008). Vrbenská skupina tvoří východní hranici silezika. V nadloží vrbenské skupiny se nachází andělskohorské souvrství moravskoslezského kulmu a v podloží desenské ruly (Fojt et al. 2007). V okolí lokality je vrbenská skupina reprezentována kvarcity, živcovými kvarcity a křemennými metakonglomeráty.

2.1.2. Moravskoslezské paleozoikum

V okolí studované lokality se pak vyskytují horniny moravskoslezského paleozoika o stáří od spodního devonu až po spodní karbon (Mísař et al. 1983). Na brunovistulickém krystaliniku leží bazální devonská klastika, středně devonského stáří. Jedná se o masivní, zbrídlíčnatělé slepence a arkózy (Mísař et al. 1983, Chlupáč et al. 2011). Na ně nasedají horniny stínavsko-chabičovského souvrství zastoupené jílovitými břidlicemi, vápnitými pískovci a vápenci, které jsou typickým členem pánevního drahanského vývoje. Místy se také vyskytují polohy vulkanitů (dolerity, metadolerity a jejich tufy), které jsou také součástí stínavsko-chabičovského souvrství (Dvořák, 1994).

SZ směrem od lokality se pak nachází horniny moravskoberounského souvrství (karbon-devon), které je reprezentováno jemnozrnnými vápnitými pískovci až písčítými vápenci (Chlupáč et al., 2011).

Západně od lokality se nacházejí horniny protivanovského souvrství (spodní karbon, stupeň visé). Jedná se především o jemnozrnné jílovité břidlice, prachovce a droby (Dvořák 1966).



kvartér

KENOZOIKUM KVARTÉR

- | | | |
|--|----|---|
| | 6 | nivní sediment |
| | 7 | smišený sediment |
| | 12 | písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment |
| | 13 | kamenitý až hlinito-kamenitý sediment |
| | 16 | spraš a sprašová hlína |
| | 22 | písek, štěrk |

moravskoslezská oblast

moravskoslezské paleozoikum

PALEOZOIKUM

KARBON

- | | | |
|--|-----|-------------------------------------|
| | 481 | jílovité břidlice, prachovce, droby |
|--|-----|-------------------------------------|

KARBON–DEVON

- | | | |
|--|-----|-----------------------------------|
| | 504 | vápnité pískovce, písčité vápence |
|--|-----|-----------------------------------|

DEVON

- | | | |
|--|-----|--------------------------------------|
| | 514 | jílovité břidlice, vápence |
| | 516 | dolerity, metadolerity a jejich tufy |

- | | | |
|--|-----|------------------|
| | 519 | arkózy, slepenec |
|--|-----|------------------|

sílezikum

PALEOZOIKUM

DEVON

- | | | |
|--|-----|--|
| | 971 | kvarcit, živcový kvarcit, křemenný metakonglomerát |
|--|-----|--|

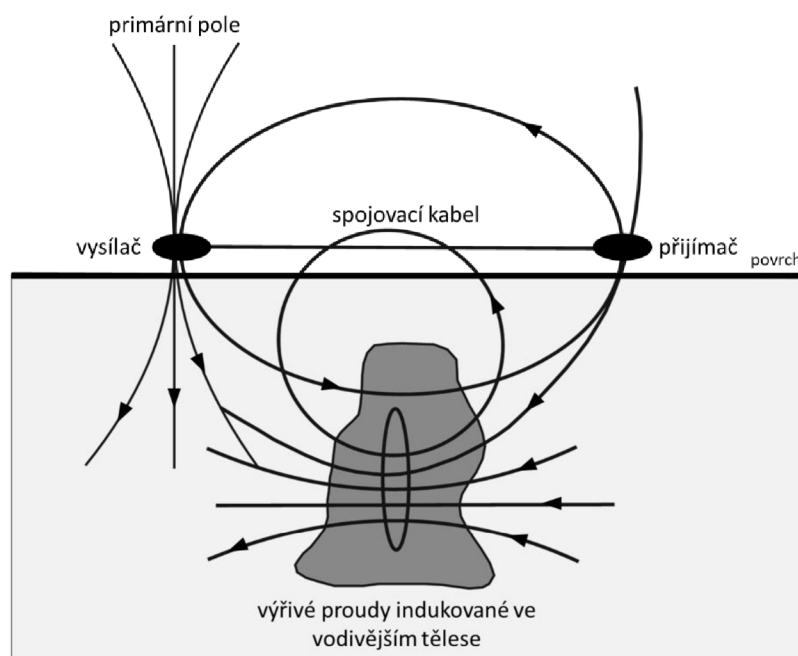
Obr. 1 Geologická situace oblasti zkoumané lokality (mapy.geology.cz).

3. Geofyzikální metody

3.1. Elektromagnetické metody

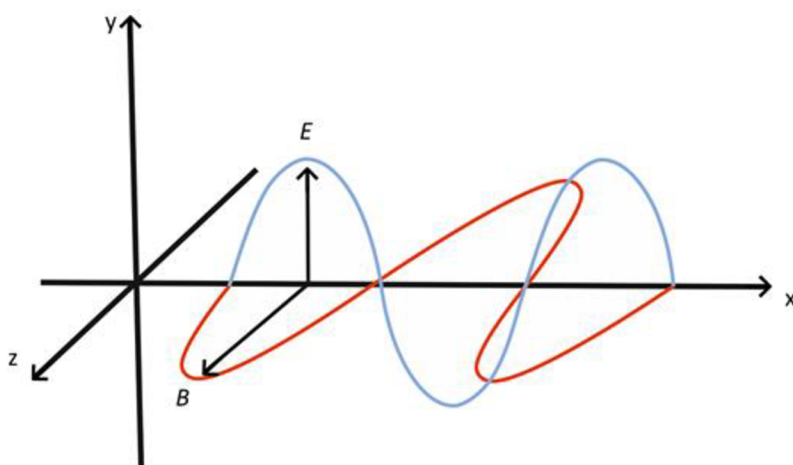
Tyto metody, které byly původně vyvinuty pro účely detekce vysoce vodivých sulfidových mineralizací, využívají ke zkoumání podpovrchových struktur princip elektromagnetické indukce a teorii elektromagnetického pole (Mareš et al. 1990). Cílem těchto metod je hledání anomálií pomocí sekundárního magnetického pole. Využívají se tedy k hledání lokálních vodičů v prostředí, které je oproti těmto vodičům nevodivé nebo jen mírně vodivé (Milsom 2003).

Charakter vyvolaného elektromagnetického pole závisí na magnetických a elektrických vlastnostech zkoumaného prostředí a na zdroji použitého k jeho vyvolání. Vodivost prostředí je také hlavním faktorem, který ovlivňuje hloubku dosahu elektromagnetických metod, přičemž se jedná o nepřímou úměru. Princip metody je následovný. Aparatura je tvořena dvěma cívkami, které jsou spojené spojovacím kabelem. Vysílací cívka neboli vysílač, vytváří primární magnetické pole, které prochází horninovým prostředím. Pokud se v horninovém prostředí nachází nějaký elektricky vodivý objekt nebo materiál, např. žíla, železný předmět nebo rudní těleso, tak se v tomto tělese vytváří v důsledku působení magnetického pole střídavý proud, který následně vyvolává sekundární magnetické pole. To je zpětně detekováno druhou, přijímací cívkou neboli přijímačem (viz. Obr. 2) (Telford et.al. 1990; Mussett a Khan 2000).



Obr. 2 Princip elektromagnetické indukce (upraveno podle Křížové et.al. 1998).

Elektromagnetické vlnění má dvě složky, které nejde oddělit, a to elektrickou a magnetickou. Elektrická složka představuje vektor intenzity elektrického pole E a magnetická složka představuje vektor magnetické indukce B . Tyto dvě složky jsou kolmé navzájem a taky kolmé na směr šíření vlny (viz. Obr. 3). Rychlost vlnění v lze vypočítat jako součin vlnové délky λ a frekvence f . Vlnová délka vyjadřuje vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími amplitudami (vrcholy) vlny a frekvence udává počet amplitud, které projdou určitým místem za jednu sekundu. Výhoda těchto metod tkví v tom, že při měření není nutný primární kontakt s horninovým prostředím, což např. znamená, že průzkum lze provádět letecky. Výstupem u moderních aparatur je přímé určení hodnot zdánlivých měrných vodivostí (Telford et.al. 1990; Milsom 2003).



Obr. 3 Elektromagnetická vlna šířící se v kladném směru x .

3.1.1. Dipólové elektromagnetické profilování

Při této metodě se měří odezvy svisle vysílaného elektromagnetického pulzu o určité frekvenci, což umožňuje zjištění zdánlivé konduktivity a tím i zdánlivé rezistivity hornin nebo půd pod povrchem přístrojem zvaným konduktometr (Mareš et al., 1990). Dipólové elektromagnetické profilování využívá primární elektromagnetické pole, které je vytvářené v magnetickém dipólu, realizovaném cívkou neboli vysílačem, v kterém proudí střídavý proud. Následně primární elektromagnetické pole indukuje v horninovém prostředí malé vířivé proudy, jejichž intenzita závisí na vodivých vlastnostech materiálu v místě měření. Příjímácí cívka neboli přijímač, následně zachycuje sekundární magnetické pole vyvolané těmito vířivými proudy. Změnou vzdálenosti vysílací a přijímací cívky lze změnit hloubkový dosah měření. Zkrácením vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem se snižuje hloubkový dosah přístroje. Ten se mění také při změně frekvence zdrojového pole. Tento typ měření má několik výhod. Samotné měření nezabírá moc času a je v celku pohodlné. Protože nemáme vodivý kontakt se zemí, tak měření nepřekáží povrchové vrstvy s vysokými odpory jako je například štěrk, písek nebo asfalt (Telford et.al. 1990; Milsom 2003).

3.1.2. Georadar

Metoda georadaru (z angl. Ground Penetrating Radar, zkr. GPR) je nedestruktivní elektromagnetická geofyzikální metoda založená na detekci změn v elektromagnetické impedanci podloží na rozhraních, kde dochází k rozdílné reflexi a šíření elektromagnetických vln (Everett 2013).

GPR vysílá elektromagnetické impulsy o frekvenci 25 až 1000 MHz do zkoumaného podloží pomocí antény, která může signál zároveň vysílat a přijímat, nebo je přítomna druhá anténa, která přijímá odražené impulsy. Pulsy elektromagnetických vln jsou vysokou rychlostí vysílány směrem do podloží, kde se odráží od jednotlivých rozhraní a poté se vrací směrem k povrchu, kde jsou zaznamenány. Sedimentární vrstvy v podloží a předměty pohřbené v nich mají jedinečné složení, které ovlivňuje energii, s jakou elektromagnetický signál prochází podložím a vrací se k přijímači (viz Tab. 1). Propustnost signálu je ovlivněná hlavně magnetickou permeabilitou a elektrickou konduktivitou. Část vlnění je pohlcená okolím (vzduchem, jednotlivými vrstvami a nehomogenitami). Čas, za který se vlny vrátí zpět k anténě je označován jako dvoucestná doba návratu (z angl. *two-way travel time*, zkr. TWT) a je funkcí vzdálenosti (hloubky) zachyceného rozhraní od antény. Absorpce je přímo úměrná vodivosti (Musset, Khan 2000; Conyers 2004).

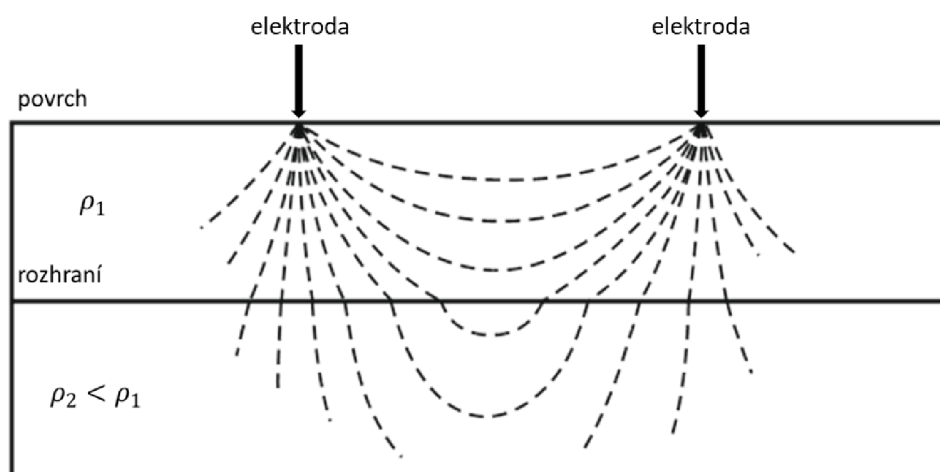
Elektromagnetické vlny vyslané z antény se k přijímači dostávají odražením od rozhraní. Přijímány jsou však také nežádoucí vlny, tzv. šum. Těmi jsou např. seismické vlny nebo elektromagnetické vlny, které byly ovlivněny neboli zkresleny vnějšími vlivy. Ke zkreslení může docházet při průniku elektromagnetické vlny vzduchem v horninovém prostředí např. v podobě dutiny, nebo může dojít k lomu vln antropogenním vlivem, jako jsou např. elektrická vedení, potrubí, telefonní kabely. Některé vlny, které jsou odražené v určitém úhlu, se kriticky lámou na povrchu a dále těsně nad povrchem (Musset, Khan 2000).

Materiál	Relativní permitivita, ϵ_r	Konduktivita, σ (mS/m)	Rychlost (m/ns)	Vlnová délka (m)	
				frekvence 50 Hz	Frekvence 1000 Hz
Vzduch	1	0	0.30	6	0.3
Pramenná voda	81	0.5	0.033	0.66	0.033
Mořská voda	81	3000	0.01	0.2	0.01
Led	3.2	0.01	0.16	3.2	0.16
Jíl	25-40	50-100	0.5-0.6	10-12	0.5-0.6
Granit	4-6	0.01	0.1-0.12	2-2.4	0.1-0.12
Vápenec	4-8	0.5-2	0.1-0.12	2-2.4	0.1-0.12
Nenasycený písek	3-6	0.01	0.15	3	0.15
Nasycený písek	20-30	0.1-1	0.06	1.2	0.06
Břidlice	5-15	1-100	0.09	1.8	0.09
Prachovce	5-30	1-100	0.07	1.4	0.07

Tab. 1 Rychlost šíření elektromagnetických vln v závislosti na fyzikálních veličinách a vlnové délce při zvolené anténě s frekvencí 50 a 1000 Hz (Bristow, Jol 2003).

3.2. Elektrické proudové metody

Elektrické proudové metody využívají k měření rozdílné elektrické vlastnosti minerálů a hornin. U těchto metod jsou podstatné tři parametry a to: měrný elektrický odpor, polarizovatelnost a relativní permitivita. Při měření je do horninového prostředí zaváděn elektrický proud, který v něm vyvolává elektrické pole. Proud do horninového prostředí je zaváděn buď přímo pomocí elektrod (viz. Obr. 4) nebo za pomoci elektromagnetické indukce, při které není potřebný přímý styk s horninovým prostředím (Mareš et al. 1990). Měření, při kterém se proud vpouští do horninového prostředí přímo pomocí elektrod se označuje jako měření stejnosměrným proudem, někdy také označované jako DC (z angl. *direct current* = stejnosměrný proud). Geoelektrické metody se v minulosti rozvíjely především s ohledem na ložiskovou prospekci. Teprve s rozvojem výpočetní techniky, analýzy a zpracování dat se tyto metody začaly uplatňovat i v jiných oborech jako například v hydrogeologii, archeologii, environmentálních studiích. Výsledkem měření je geoelektrický profil, ve kterém jsou hranice mezi geologickými útvary, jejich vnitřními vrstvami a objekty určeny jejich rozdílnými elektrickými vlastnostmi (viz. Tab. 2) (Mussett a Khan 2000).



Obr. 4 Průchod elektrického proudu mezi dvěma elektrodami přes dvě prostředí s rozdílným měrným odporem (upraveno podle Musset a Khan 2000).

3.2.1. Odporové metody

Principu Ohmova zákona definuje odpor R (Ω) jako poměr proudu I (A) a napětí U (V).

$$R = U/I$$

(1) Ohmův zákon (Milsom 2003)

Elektrický odpor se dá vyjádřit jako vlastnost látek zabraňovat průchodu elektrického proudu. Parametr, který je pro geoelektrické odporové metody důležitý, je rezistivita neboli měrný elektrický odpor, který je jednou ze základních fyzikálních vlastností látek. Jedná se o fyzikální

veličinu, která vyjadřuje elektrický odpor vodiče o jednotkové délce a o jednotkovém průřezu. Měrný elektrický odpor je určený vztahem 2, kde R je odpor vodiče, l délka vodiče, S tloušťka vodiče a ρ je měrný odpor.

$$R = \rho l / S$$

(2) vzorec na výpočet měrného elektrického odporu (Milsom 2003)

Převrácením hodnoty měrného odporu získáme hodnotu měrné vodivosti (γ), která se dá vyjádřit vztahem 3.

$$\gamma = l / \rho$$

(3) vzorec na výpočet měrné vodivosti (Milsom 2003)

Jednotkou měrného elektrického odporu je ohm-metr (Ωm) a měrné vodivosti Siemens na metr (Sm^{-1}) (Milsom 2003).

V závislosti na typu požadovaného měření se používá několik uspořádání elektrod, která se liší svým rozmístěním. Platí též, že čím delší je vzdálenost mezi koncovými elektrodami, tím jsme schopní dosáhnout větších hloubek (Jančovič et al. 2014).

hornina	resistivita ($\Omega\text{.m}$)
bazalt	10-10 ⁷
břidlice	10-1000
granit	100-10 ⁶
jíl	1-100
kvarcit	10-10 ⁸
písek	500-5000
pískovec	1-10
slín	1-100
šterk	100-5000
vápenec	50-10 ⁷

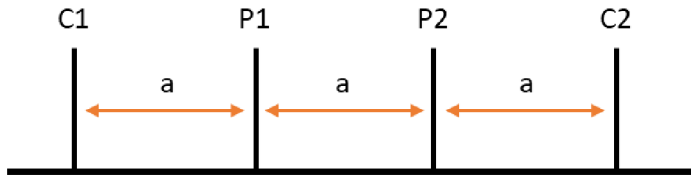
Tab. 2 Měrné odpory běžných typů hornin (upraveno podle Mussett a Khan 2000).

3.2.2. Uspořádání elektrod

Podle účelu měření je potřeba zvolit vhodné uspořádání elektrod, délku profilu a rozstup jednotlivých elektrod. Z různých možností uspořádání elektrod jsou nejpoužívanější tři metody. Jedná se o metody Wenner, Wenner-Schlumberger (Schlumbergerova metoda) a metodu dipól – dipól (Loke 1996).

3.2.2.1. Wennerova metoda

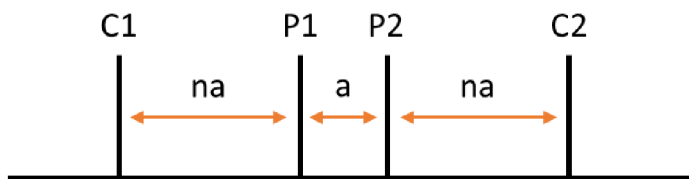
Při Wennerově uspořádání elektrod mají sousedící elektrody mezi sebou vždy stejné rozestupy (viz. Obr. 5). Uspořádání je vhodné pro určování vertikálních změn v horizontálně uložených vrstvách jako jsou například proluviální, fluviální, či lakustrinní sedimentární struktury. (Loke 1999).



Obr. 5 Wennerovo uspořádání elektrod, C1 a C2 – proudové elektrody, P1 a P2 – potenciálové elektrody (upraveno podle Loke 1999). a = vzdálenost

3.2.2.2. Wenner-Schlumbergerova metoda

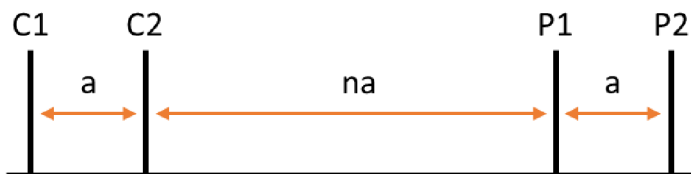
Tato metoda využívá mezi proudovými a potenciálovými elektrodami různé rozestupy (viz. Obr. 6). Uspořádání je vhodné k měření vertikálních a horizontálních struktur, jako jsou například zlomy, pukliny, žíly nebo vrstevní kontakty (Loke 1999).



Obr. 6 Wenner-Schlumbergerovo uspořádání elektrod, C1 a C2 – proudové elektrody, P1 a P2 – potenciálové elektrody (upraveno podle Loke 1999). a = vzdálenost, na = násobek vzdálenosti a

3.2.2.3. Metoda dipól – dipól

Tato metoda využívá párové uspořádání elektrod (viz. Obr. 7). Největší citlivost se projevuje mezi již zmíněnými páry. Uspořádání je vhodné pro měření vertikálních struktur jako jsou např. trhliny, pukliny, žíly, anebo dutiny (Loke 1999).



Obr. 7 Dipól – dipól uspořádání elektrod, C1 a C2 – proudové elektrody, P1 a P2 – potenciálové elektrody (upraveno podle Loke 1999). a = vzdálenost, na = násobek vzdálenosti a

3.2.3. Elektrická odporová tomografie

Metoda je založena na měření distribuce měrného odporu horninového podloží a zemin pomocí elektrod, které jsou rozmístěny v konstantní vzdálenosti od sebe v profilu nebo v ploše na povrchu, podél níž se zjišťují hodnoty měrného elektrického odporu. Protože se při měření používá velké

množství elektrod, nazývá se metoda též multielektrodovým profilováním neboli ERT (zkratka z angl. *electric resistivity tomography*). Elektrody, které jsou neustále ve styku s horninovým prostředím, jsou řídicí aparaturou střídavě zapojovány jako proudové nebo jako měřící.

Odporové profilování se využívá hlavně ke zkoumání pokryvných útvarů a reliéfu horninového podloží, protože pokryvné útvary mají většinou nižší odpory než skalní podloží. Také lze lokalizovat narušená místa nebo propustnější zóny ve skalním podloží. Tato metoda je využívána například v archeologii, k detekci a průzkumu vnitřní stavby sesuvů nebo ke zkoumání mocnosti a rozsahu permafrostu a zmrzlých hornin (Milsom 2003; Tsokas et al. 2009; Valenta 2015). Výhodou metody je možnost prospekce podstatně větších hloubek než např. u magnetometrie či georadaru (např. Tsokas et al. 2021).

4. Historie lokality

V minulosti byla lokalita a její blízké okolí studovány tzv. Vlastivědným kroužkem místních občanů, který působil v Dubicku v 20. a 30. letech 20. století. Na podzim roku 2010 se obec Dubicko rozhodla v blízkosti studované lokality (v trati „Za kostelem“) vybudovat novou ulici s řadovými a rodinnými domy, což vyvolalo potřebu záchranného archeologického výzkumu. Tohoto výzkumu se ujalo Vlastivědné muzeum v Šumperku, které doposud provádí záchranné archeologické výzkumy v obci (Halama 24.5.2022 osobní sdělení; muzeum-sumperk.cz).

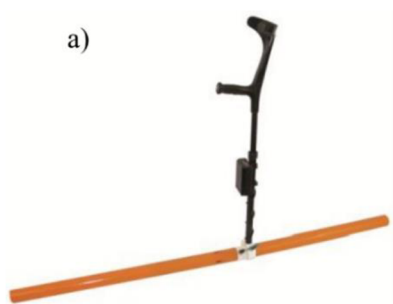
Historie osídlení okolí lokality sahá již do starší doby kamenné, jejíž pozůstatky však nejsou většího významu. V mladší době kamenné (neolit) se zde však objevuje téměř souvislé zemědělské osídlení doložené pozůstatky obydlí. Osídlení dále postupuje do doby bronzové, ze které se zachovaly žárové hroby, zemnice, jiné zemní objekty a také artefakty jako např. keramika nebo bronzové jehlice. Oblast byla posléze obývaná Kelty v době halštatské a následně slovanskými kmeny (sumpersky.denik.cz 2014; muzeum-sumperk.cz 2016; Halama 24.5.2022 osobní sdělení). První písemná zmínka o osídlení lokality pochází z poloviny 13. stol., konkrétně z roku 1253, kdy je zmiňována zdejší tvrz, kterou nechal vybudovat vladyka Beneda z Dubicka, lovcí moravského markraběte, později vrchní lovcí krále Přemysla Otakara II., s jehož jménem se setkáváme v listinách od roku 1238 až do roku 1269. Jeho panství původně zahrnovalo několik vesnic v okolí Dubicka jako např. Bohuslavice, Hrabovou, Třeštinu a jiné. Dubické panství se však již v druhé polovině 14. stol. rozpadá a je postupně rozprodáváno, čímž ztrácí svůj význam. Jakub Halama se také domnívá, že tvrz byla dobývána v období husitských válek, co naznačují nálezy šipek z kuší (též Medek 1960; Šlězár 19.5.2022 osobní sdělení)

5. Metodika

Pro vytýčení měřených ploch byla použita diferenciální GPS South Galaxy G1 (South Surveying & Mapping Instrument Co., Ltd., Čína).

5.1. Dipólové elektromagnetické profilování

Pro metodu elektromagnetického profilování (DEMP) byl použit přístroj CMD-MiniExplorer (GF Instruments, s.r.o., ČR) (viz. Obr. 8), který umožňuje měření v 3 vrstvách, v režimu *continuous*, s přednastavenou kalibrací F-Ground. Časový interval sběru datových bodů byl nastavený na 0,3 s. Rozteč dipólů byla nastavená na režim *low*. Měření byly dvě plochy o rozměrech 31 m na 15 m (horní plocha) a 32 m na 20 m (dolní plocha) (viz. Obr. 11). Měření bylo provedeno v profilech, přičemž rozteč mezi jednotlivými profily byla 1 m. Pro zpracování dat byl použit program Excel (Microsoft Office) a pro grafické výstupy byly data exportována a následně zpracována v programu Surfer 10 (Golden Software, USA) a Corel Draw.



Obr. 8 a) Vícehloubkový elektromagnetický měřič vodivosti CMD-Mini Explorer
b) CMD řídicí jednotka, (gfinstruments.cz 20.5.2022).

5.2. Elektrická odporová tomografie

Pro měření elektrické odporové tomografie (ERT) byl použit automatický multikabelový geoelektrický systém ARES (GF Instruments, s.r.o., ČR) (viz. Obr. 9). Celkově bylo změřeno 16 profilů s rozstupem mezi jednotlivými profily 1 m na dolní ploše. Na každém profilu bylo nivelačním přístrojem (Bosch 26D Professional) změřeno šest výšek přenesením z výškového bodu 538 (291,08 m Bpv.) Horní plocha nebyla metodou ERT změřena z důvodu navozeného stavebního materiálu a z časových důvodů. Všechny měřené profily mají délku 19,5 m a orientaci SZ-JV (viz. Obr. 11). Pro měření bylo použito Wenner-Schlumbergerovo uspořádání s roztečí elektrod 0,5 m. Dosažená hloubka při daném rozpoložení elektrod činí přibližně 4 m. Naměřená data byla následně zpracována v programu RES2DINV a RES3DINV (Geotomo, Malajsie) a pro grafické výstupy byly data exportována a následně zpracována v programu Surfer 10 (Golden Software, USA) a Corel Draw. Počet iterací při zpracování v programu RES2DINV je při každém profilu sedm a chyba se pohybuje v rozmezí od 0,78 % do 1,53 %.



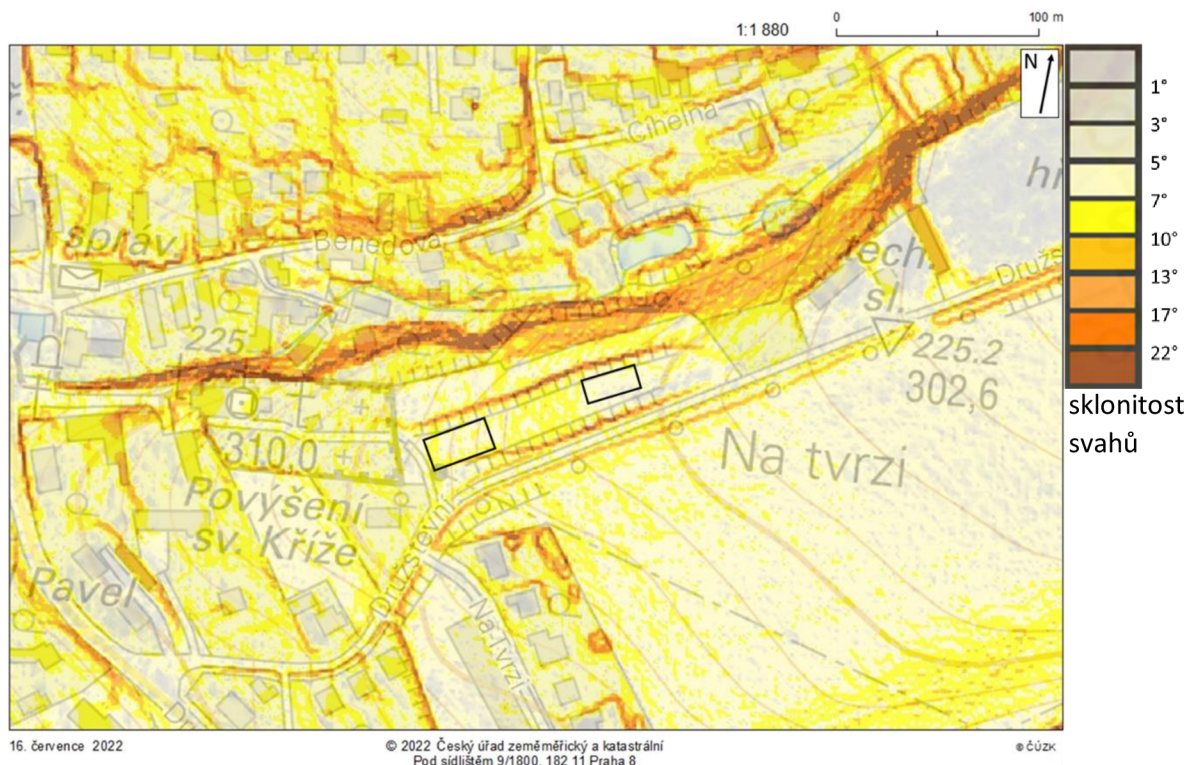
Obr. 9 a) Řídící jednotka ARES b) aktivní multielektrodové kabely MCS5 c) nerezové elektrody, (gfinstruments.cz 20.5.2022).

5.3. Georadar

Pro měření georadarem (GPR) byl použit přístroj Ground Explorer (MALA GPR, Australia), s použitím HDR antény 450 MHz. Měřené byly dvě plochy o rozměrech 31 m na 15 m (horní plocha) a 15 m na 19,6 m (dolní plocha) (viz. Obr. 10). Obě plochy byly měřené v profilech, přičemž rozteč mezi jednotlivými profily byla 0,5 m při obou plochách. Vzdálenosti na profilech byly měřené pomocí měřicího kolečka. Dolní plocha byla změřená ve dvou směrech (SZ-JV a SV-JZ). Naměřená data byla následně exportována a zpracována v programu Reflexw (Sandmeier, Německo). Pro zpracování dat byly použity funkce *move starttime*, *background removal*, *energy decay*, *dewow*, *bandpassfrequency*, *fk filter*, *Kirchhoff migration*.



Obr. 10 Geofyzikální měření provedené na lokalitě s viditelným odkryvem záchraného archeologického průzkumu (mapy.cz); vlevo dolní, vpravo horní plocha; žlutě měření CMD, modře GPR, červeně ERT.



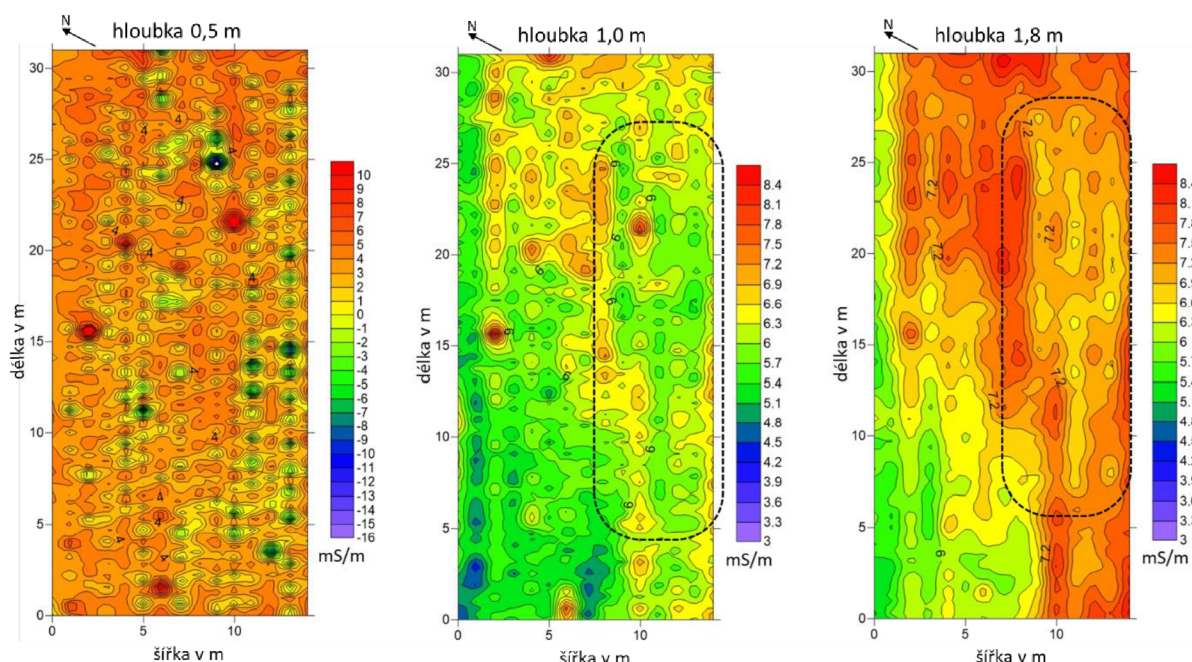
Obr. 11 Mapa sklonitosti svahů na lokalitě s vyznačenými plochami geofyzikální prospekce (<https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>).

6. Výsledky geofyzikální prospekce

6.1. Dipólové elektromagnetické profilování

Výsledné hodnoty měrné vodivosti se na lokalitě na horní ploše pohybují v rozmezí od -16 až po 10 mS/m, přičemž nejvyšší a nejnižší hodnoty jsou zaznamenány v přípovrchové vrstvě (0,5 m). V této vrstvě také pozorujeme, že hodnoty měrné vodivosti se jeví jako nahodilé. Tento fakt je pravděpodobně způsoben antropogenní činností, jakou byla např. pravidelná orba. V níže položené vrstvě (1 m) pozorujeme hodnoty pohybující se od 4,2 do 8,8 mS/m, přičemž vyšší hodnoty se projevují v ploše JV směrem a nižší hodnoty SZ směrem. Nejvyšší hodnoty 8,8 mS/m se projevují jako dvě malé pozitivní anomálie v ploše (viz Obr. 12), které odpovídají pozitivním anomáliím ve vrstvě nadložní. Při těchto anomáliích se může jednat o recentní kovové pozůstatky spojené se zemědělskou činností, nebo o jiné kovové objekty, jelikož vedle plochy v době provedení geofyzikálního měření probíhala stavba rodinného domu. Z tohoto důvodu jsou škály při mapách měrné vodivosti upravené, aby vynikly hodnoty měrné vodivosti mimo zmiňované anomálie a výstupy nebyly zkreslené. Ve vrstvě 1,0 m se objevuje struktura, která se projevuje jako negativní anomálie o hodnotě měrné vodivosti přibližně o 1 mS/m nižší než okolní prostředí. Anomálie má přibližně obdélníkový tvar s rozměry 5*20 m a nachází se na J straně plochy a má SV-JZ směr. V nejnižší vrstvě (1,8 m) pozorujeme

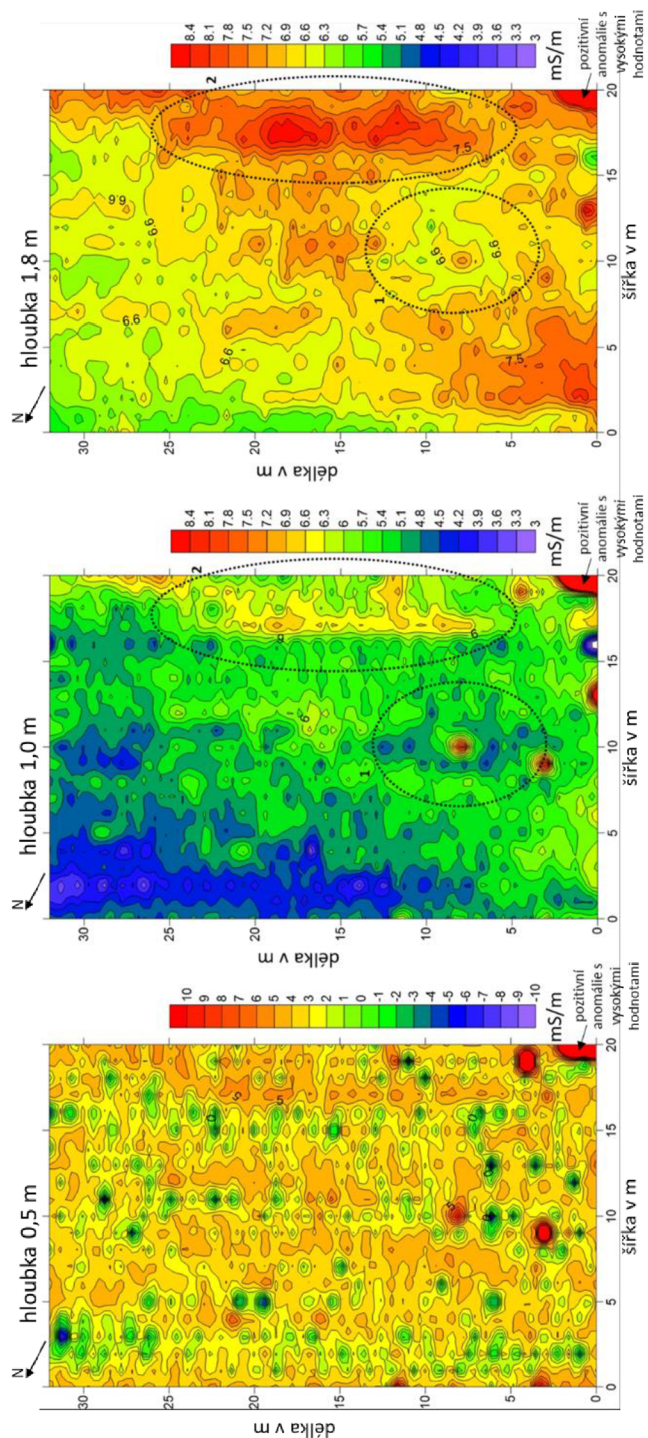
celkový nárůst hodnot měrné vodivosti v celé vrstvě oproti vrstvě nadložní, přičemž hodnoty měrné vodivosti se taktéž pohybují v rozmezí od 5 do 8,6 mS/m, jelikož pozitivní anomálie pozorované v nadložní vrstvě zde mizí. Znovu se tu objevuje trend vyšších hodnot JV směrem a nižších SZ směrem v ploše. Pozorujeme zde stejnou nízkovodivou anomálii, jakou můžeme pozorovat v nadložní vrstvě (viz Obr. 12).



Obr. 12 Mapy měrné vodivosti horní plochy s vyznačenou strukturou.

Výsledné hodnoty měrné vodivosti na dolní ploše se pohybují v rozmezí od -10 po 40 mS/m. Vysoké hodnoty měrné vodivosti pozorujeme ve všech třech vrstvách (0,5 m, 1 m, 1,8 m) v JZ rohu plochy (viz Obr. 13). Tato anomálie vznikla pravděpodobně v důsledku přítomnosti vodivého materiálu, který se zde objevil ve spojitosti přípravy pozemku pro výstavbu rodinného domu (příprava rozvodů). Z tohoto důvodu jsou škály při mapách měrné vodivosti upravené, aby vynikly hodnoty měrné vodivosti mimo zmiňovanou anomálii a výstupy nebyly zkreslené. Stejně jako u horní plochy, nejvyšší kontrast naměřených hodnot, -10 až 10 mS/m, se objevuje v horní, přípoверхové vrstvě (0,5 m). Taky zde pozorujeme, jako na horní ploše, že se hodnoty měrné vodivosti jeví jako nahodilé. Jelikož se obě měřené plochy nacházejí na stejné lokalitě, i při dolní ploše se pravděpodobně jedná o důsledek antropogenní činnosti. Ve vrstvě o hloubce 1 m pozorujeme nejnižší hodnoty měrné vodivosti, 3 mS/m, na S straně a postupný nárůst hodnot směrem na J. Nevyšší hodnoty, s výjimkou již dřív zmiňované anomálie v JZ rohu plochy, dosahují 6,5 až 7,5 mS/m. V této vrstvě pozorujeme dvě struktury (viz Obr. 13). První se nachází mezi 5. a 10. m délky a mezi 8. a 12. m šířky plochy. Tato struktura má hodnoty měrné vodivosti o přibližně 1 mS/m nižší než okolní. Druhá struktura má je položena na J straně plochy mezi 5. až 25. m délky a 16. až 20. m šířky plochy a má hodnoty měrné vodivosti o přibližně 1 až 1,5 mS/m vyšší oproti okolní.

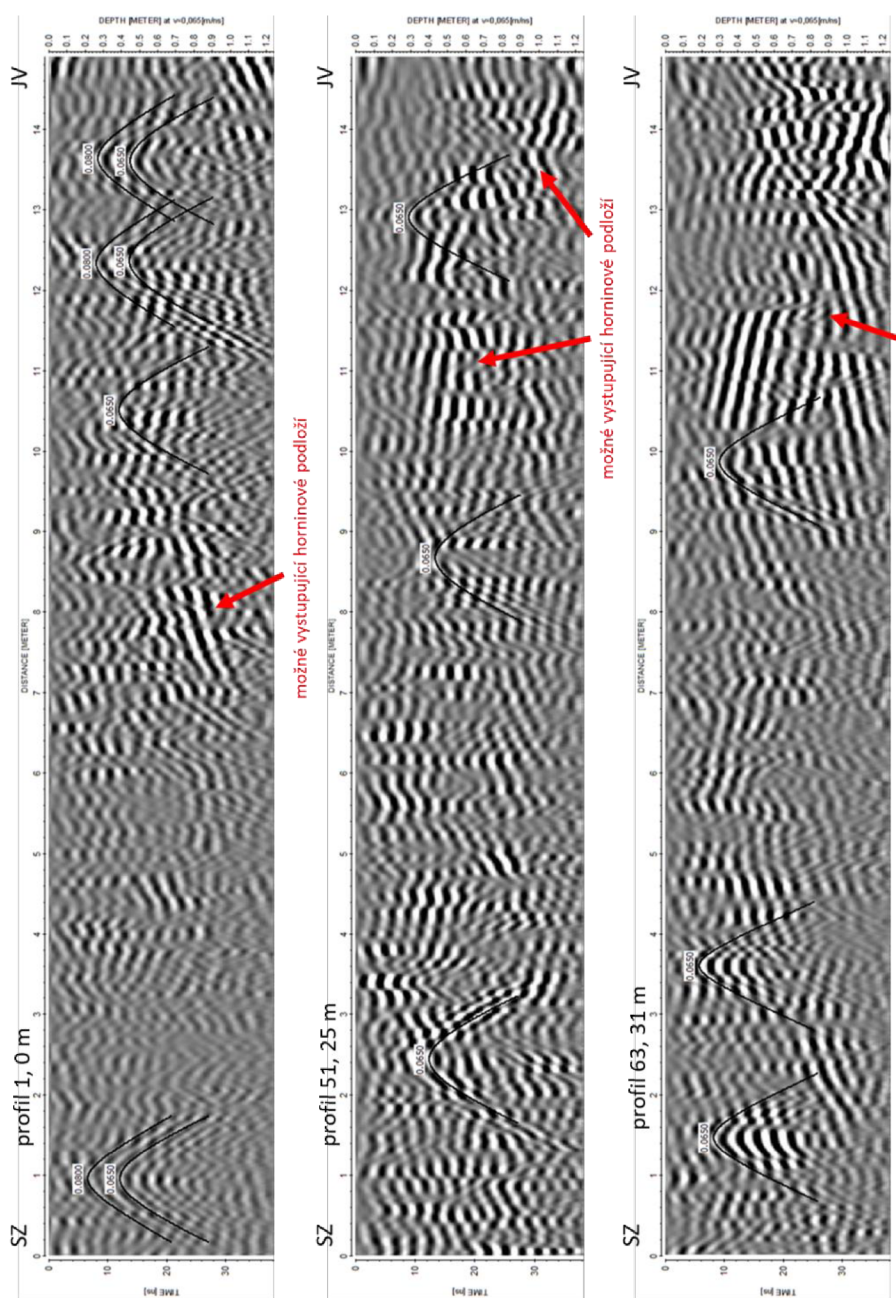
V této vrstvě se objevují bodové anomálie o vyšších hodnotách měrné vodivosti, u kterých se může jednat o recentní kovové pozůstatky spojené se zemědělskou činností, nebo o jiné kovové předměty. V nejnižší vrstvě (1,8 m hloubky) se naměřené hodnoty pohybují od 5 do 8,5 mS/m. Zvýšené hodnoty pozorujeme v Z rohu a na J polovině plochy, zatímco nižší hodnoty se nacházejí směrem na S. I zde jsou zachycené dvě struktury, které svým charakterem a rozměry odpovídají 1. a 2. struktuře v nadložní vrstvě (1 m).



Obr. 13 Mapy měrné vodivosti dolní plochy; zmiňované struktury jsou označené jako 1 a 2.

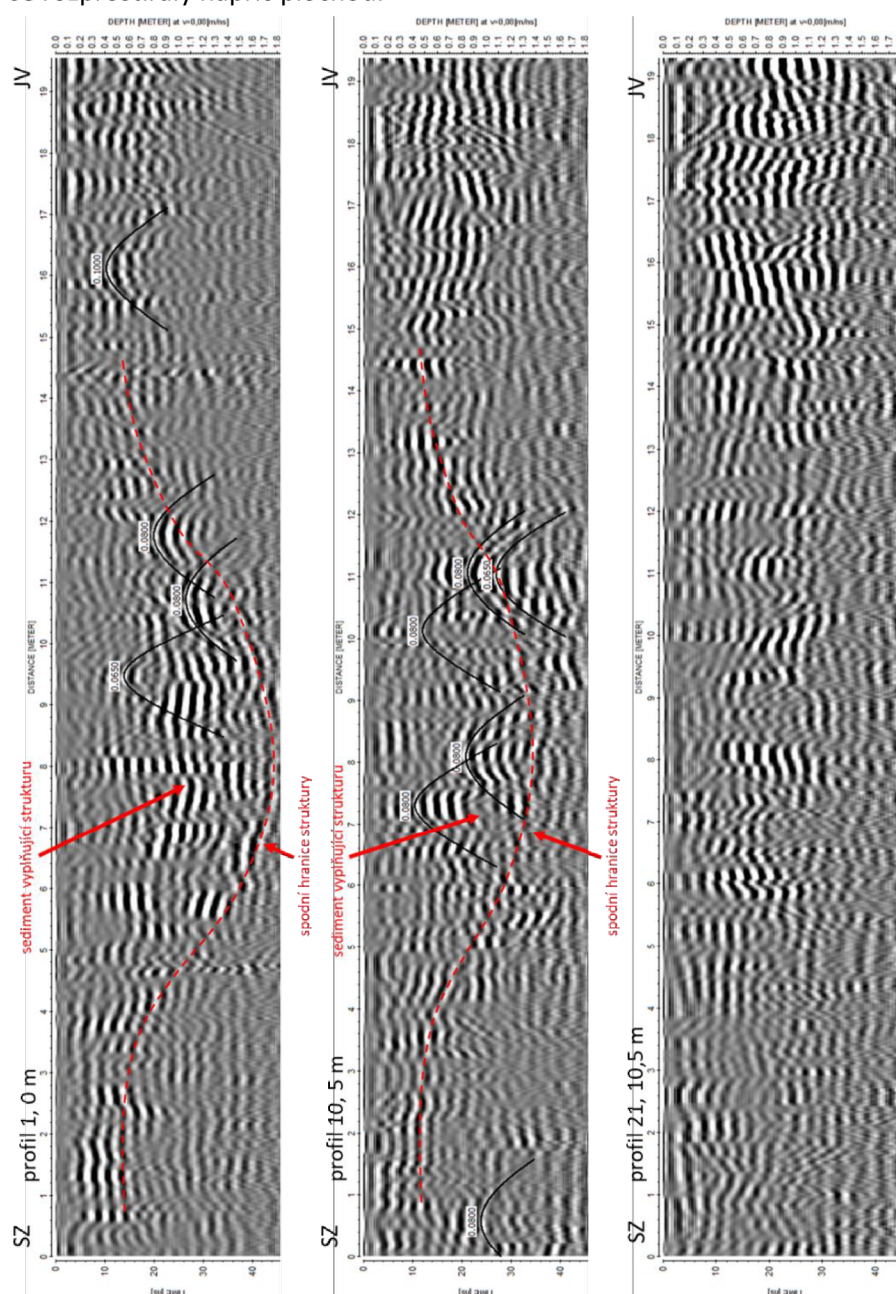
6.2. Georadar

Vybrané GPR profily z horní plochy (*Obr. 10*) jsou uvedeny na obrázku 14. Všechny profily dosahují maximální dvoucestné doby návratu (TWT) 38,3 ns, což při průměrné rychlosti vln 0,065 ns/s odpovídá dosažené hloubce 1,24 m. Vyšší rychlosti, přibližně 0,08 ns/m, se ojediněle objevují v horních partiích profilů, kde mohou být důsledkem zhuštění zeminy. Při tomto měření se však nepodařilo zachytit nic, co by mohlo korespondovat s výstupy měření měrné vodivosti. Nebyly zachyceny ani žádné výrazné struktury, které by mohly potvrdit přítomnost objektů, které by mohly mít spojitost s dosavadním archeologickým průzkumem. Na některých profilech se objevují výrazné, šikmo uložené reflektory, u kterých by se mohlo jednat o vystupující horninové podloží (viz *Obr.*).



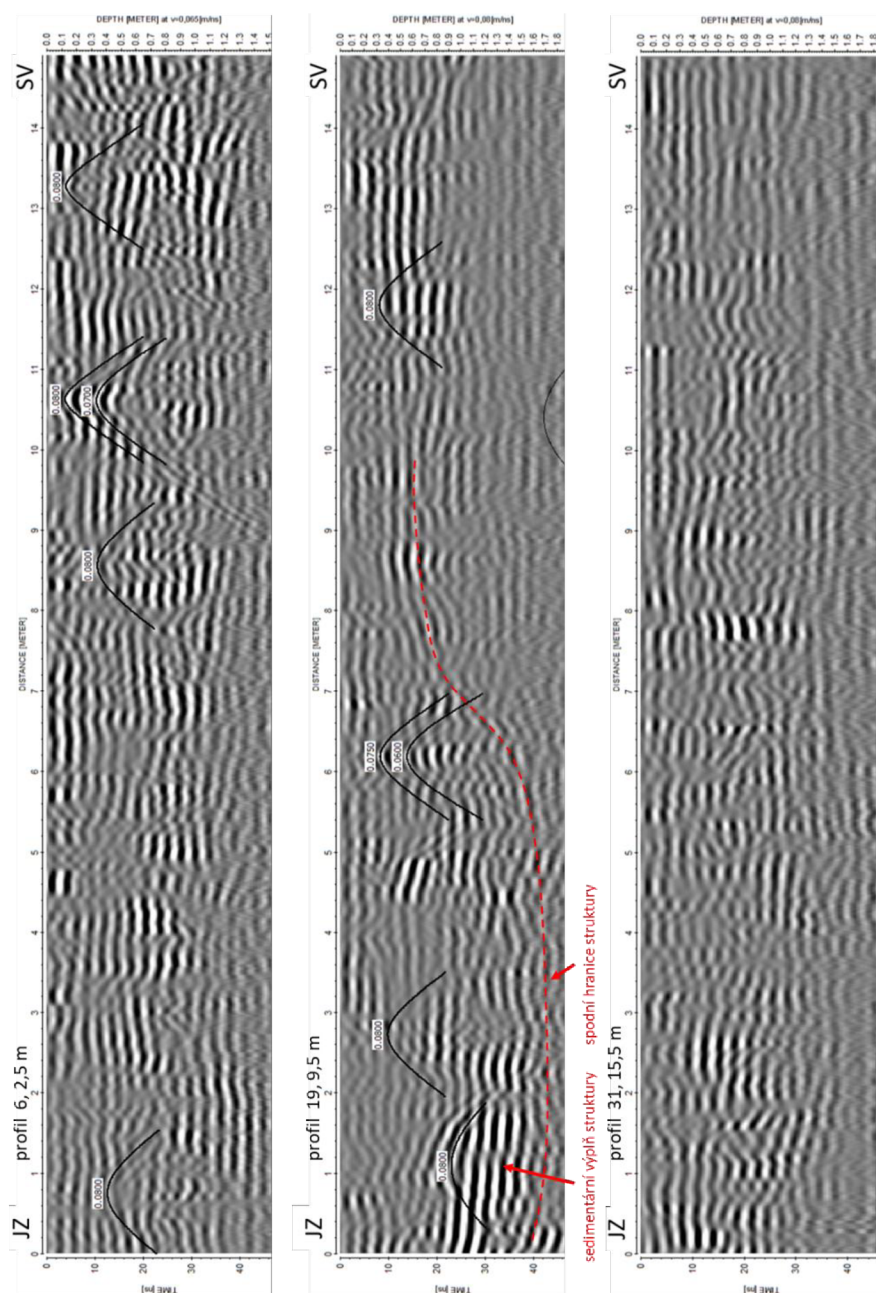
Obr. 14 GPR profily z horní plochy v směru SZ-JV; označení (pořadí profilu, poloha na ploše); amplitudy s rychlostmi (m/ns).

Dolní plocha byla georadarem změřená ve dvou směrech. U profilů měřených SZ-JV směrem dosahují všechny profily maximální dvoucestné doby návratu (TWT) 45,9 ns co při průměrné rychlosti 0,08 ns/s odpovídá dosažené hloubce necelých 1,84 m. Již u prvního profilu (profil 1, 0 m) se podařilo zachytit výraznou strukturu, která se v profilu projevuje výraznými horizontálně až sub-horizontálně uloženými reflektory, které na okrajích struktury se nacházejí v hloubce 0,2 až 0,7 m a ve středu struktury v hloubkách 0,7 až 1,84 m. Nalezená struktura dosahuje šíře přibližně 13 až 14 m a svým tvarem připomíná příkop, nebo objekt/strukturu tomu podobnou (viz Obr.). Tato struktura se dále zobrazuje i v následujících profilech, kde ji taktéž pozorujeme jako výrazné horizontálně až sub-horizontálně uloženými reflektory a postupně se posouvá k povrchu. Na profilu 21 (10,5 m), již není zachycená (viz Obr. 15). Na profilech nenacházíme další výrazné struktury, které by se rozprostíraly napříč plochou.



Obr. 15 GPR profily z dolní plochy v směru SZ-JV se zvýrazněnou spodní hranicí nalezené struktury; označení (pořadí profilu, poloha na ploše); amplitudy s rychlostmi (m/ns).

U profilů měřených SV-JZ směrem dosahují všechny profily maximální dvoucestné doby návratu (TWT) 46,7 ns co při průměrné rychlosti 0,08 ns/m odpovídá dosažené hloubce přibližně 1,86 m. Zde u prvních pár profilech, směrem od SZ na JV, nepozorujeme nijaké výraznější struktury, které by korelovaly s dřívějším měřením. První výraznou strukturu, která koreluje s předešlým měřením zachycujeme na profilu č 19 (9,5 m), ke se objevují výrazné horizontální až sub-horizontální reflektory v JV polovině profilu v hloubkách 0,8 až 1,6 m, které pak přibližně mezi 6. až 9. m na profilu, se uklánějí, směřují k povrchu a pak se znovu ukládají do horizontální polohy. Tato struktura se objevuje až po profil č 31 (15,5 m), kde se již neobjevuje (viz Obr. 16).

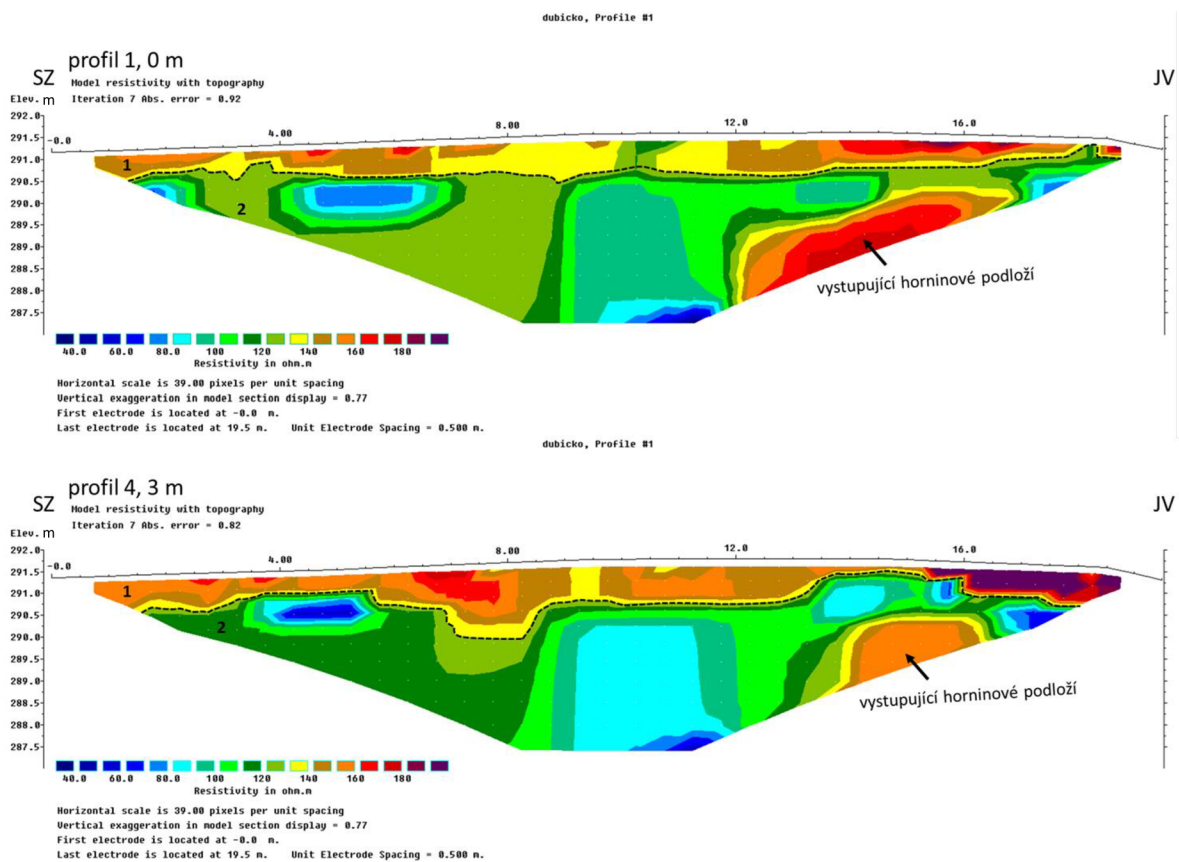


Obr. 16 GPR profily z dolní plochy v směru JZ-SV se zvýrazněnou spodní hranicí nalezené struktury; označení (pořadí profilu, poloha na ploše); amplitudy s rychlostmi (m/ns).

6.3. Elektrická odporová tomografie

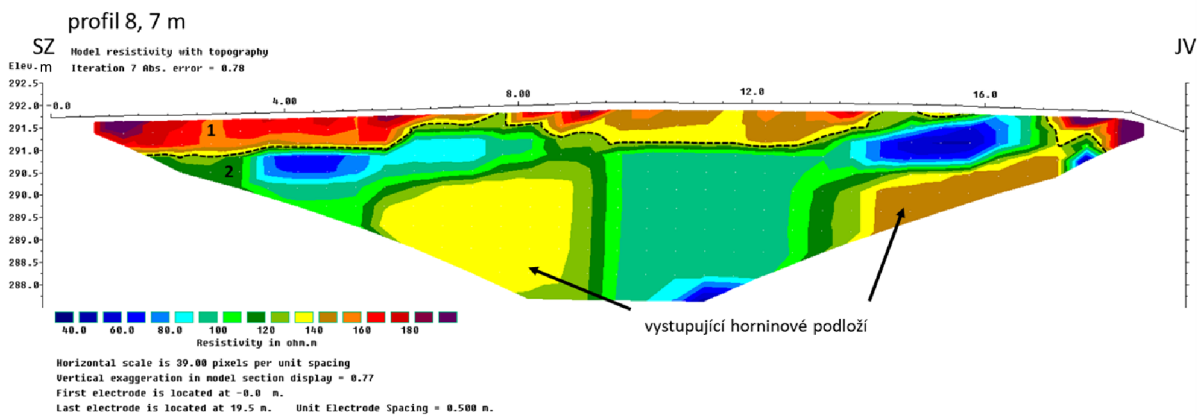
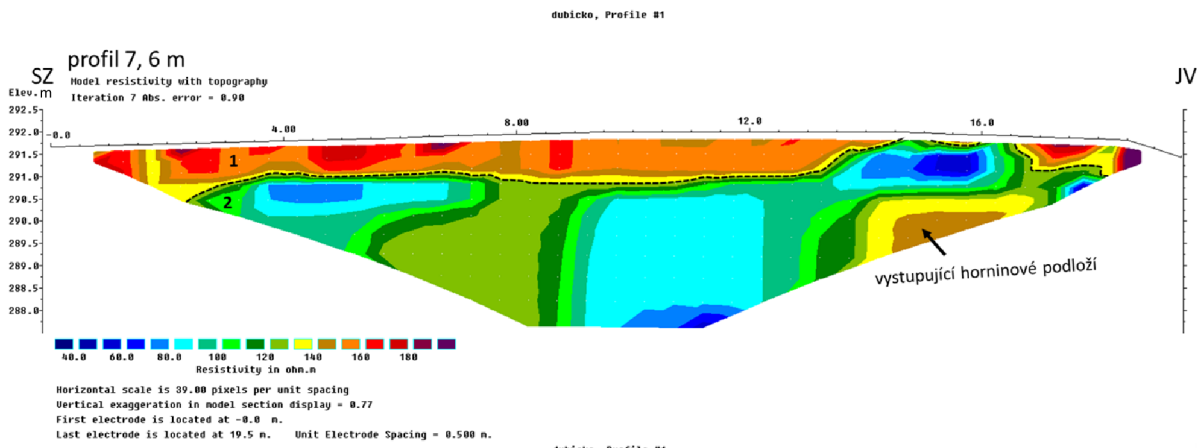
Naměřené hodnoty v profilech se pohybují v rozmezí od 13,4 do 2204,6 Ω .m. Tyto hodnoty jsou však pravděpodobně důsledkem vzniklé chyby při měření a následné iteraci. Z toho důvodu jsou škály hodnot ve výstupech upravené, aby vynikly hodnoty měrného odporu a bylo možné sledovat průběh změn pod povrchem. Hodnoty měrného odporu se po úpravě v profilech pohybují od 30,4 do 202,7 Ω .m. Ve většině profilů tím pádem můžeme sledovat dvě, někdy i tři domény. V příloze 2 je všech 16 profilů.

První doména (>130 Ω .m) se zobrazuje v prvních sedmi profilech (0 až 6 m) jako 1 až 1,5 m hluboká přípovrchová vrstva, která největší hloubky dosahuje přibližně na 3. m profilu (viz. Obr.17).



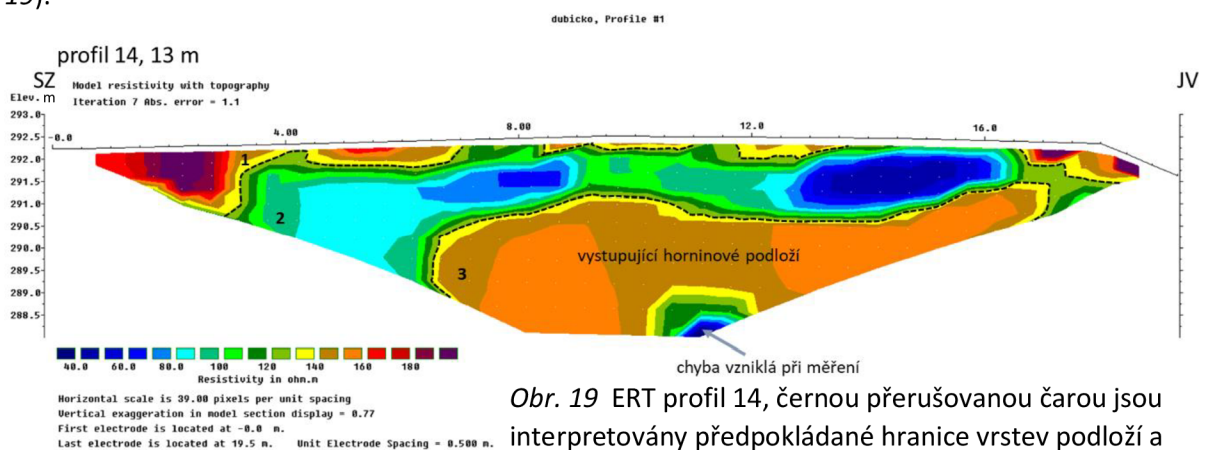
Obr. 17 ERT profily 1 a 4, černou přerušovanou čarou jsou interpretovány předpokládané hranice vrstev podloží a čísla označené domény.

Od profilu č 8 se tato doména ztenčuje směrem k povrchu. Následně v dalších profilech (profily 8 až 16) dosahuje největší hloubky (přibližně 0,5 až 1 m) na začátku profilů a směrem k JV se ztenčuje směrem k povrchu (viz Obr. 18). Doména 2 má hodnoty měrného odporu <130 Ω .m. Na některých profilech v rámci druhé domény se objevují polohy zvýšených hodnot měrného odporu (130-180 Ω .m), kde se pravděpodobně jedná o vystupující horninové prostředí (viz Obr. 18 a 19).



Obr. 18 ERT profily 7 a 8, černou přerušovanou čarou jsou interpretovány předpokládané hranice vrstev podloží a čísly označené domény.

Hranice mezi 1. a 2. doménou u profilů 1 až 7 koreluje, jak hloubkou, tak rozměry se zahloubenou strukturou, která byla odhalena pomocí georadaru na dolní ploše. Struktura zahloubená do materiálu s nižším odporem ($<130 \Omega \cdot \text{m}$) a je vyplněná materiálem s vyššími odporovými hodnotami ($>130 \Omega \cdot \text{m}$) (viz příloha 3). U profilů 13, 14 a 15 můžeme mluvit o třetí doméně, která se v daných profilech objevuje v hloubkách 1,5 m a hodnoty měrného odporu se v ní pohybují od 130 do $170 \Omega \cdot \text{m}$ (viz Obr. 19).



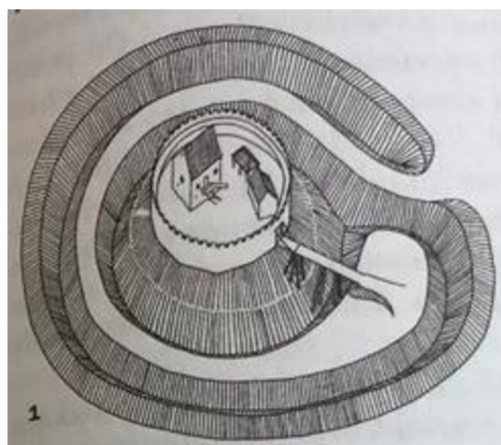
Obr. 19 ERT profil 14, černou přerušovanou čarou jsou interpretovány předpokládané hranice vrstev podloží a čísly označené domény.

7. Diskuse

Geofyzikálním měřením nalezená struktura na dolní ploše je svými rozměry a usměrněním zajímavá. Pokud ji propojíme s archeologickým výzkumem, který proběhl na lokalitě v roce 2021, a bereme ji v kontextu 13. až 14. století, do kterého jsou doposud archeology nalezené objekty datovány (2021 VM Šumperk, Halama osobní sdělení 2022), tak jsou možná následující vysvětlení. První možností je, že se jedná o obranný prvek (příkop) opevnění typu motte (z angl. *motte and bailey*) (viz Obr. 20). Tento typ opevnění byl hojně využíván v západní Evropě již v 11./12. století a ve století 13. se objevuje i v Čechách a na Moravě, s typickými příklady jako Vraní Hora, Tlestky, Měšetice, Popice, Smrk, Koválov u Židlochovic či Ervěnice na Mostecku (viz. Obr. 21) (Kašička a Nechvátal 1981; Unger 1988; Chotěbor 1989; Klápště 2005). Jelikož je v písemných pramenech zdejší tvrz zmiňována poprvé v roce 1253, kdy ji nechal vladyka Beneda z Dubicka vybudovat (Medek 1960), a v té době byla výstavba opevnění typu motte na území Čech populární, časové období a typ opevnění by souhlasil. Lokalita se také nazývá „Na tvrzi“ nebo „Na tvrzisku“. Při této hypotéze však narážíme na několik problémů. Jedním problémem je, že dnešní reliéf lokality (jak reliéf lokality vypadal v minulosti není známo) nenasvědčuje tomu, že by se zde v minulosti mohlo nacházet větší opevnění, ke kterému by mohl potencionální příkop patřit. Taktéž je zarážející položení nalezené struktury, která se táhne směrem ZJZ – VSV do mírného svahu. Opět však třeba zmínit, že není znám reliéf lokality v minulosti (viz příloha 4).



Obr. 20 Typický příklad opevnění typu motte-and-bailey hrad Sandal v Anglii (převzato z historicengland.org.uk)



Obr. 21 Opevnění typu motte v Koválově (převzato z Klápště 2005)

Dalším potencionálním vysvětlením je, že se jedná o zbytek příjezdové cesty, úvozu, k dřív nalezenému opevnění. Tuto hypotézu podporuje položení struktury ZJZ – VSV směrem. Proti tomu se staví fakt, že se struktura netáhne celým svahem plochy až k dřív nalezenému opevnění (2021 VM Šumperk), ale postupně vyklíňuje na prvních deseti až dvanácti metrech od spodku svahu. Nicméně, ať už šlo o příkop či cestu, mohlo zde dojít k jejímu zničení vlivem eroze či zplanýrováním

terénu v novověku. Problematický je ale fakt, že na příjezdovou cestu má struktura celkem veliké rozměry.

Také se může jednat o opevňovací prvek tvrze, která z neznámých důvodů nebyla dokončená a dosud vytvořené opevňovací prvky byly opuštěny. Následně se výstavba opevnění přesunula na nové místo. S podobnou problematikou se setkáváme u středověkého opevnění „Kozí hrb“ ze 13. století, kde se snad jedná o zárodečnou formu hradu. Podle Faltýnka a Šlézara (2016) bylo rozestavěné opevnění „Kozí hrb“ opuštěno a následně bylo vybudováno nové opevnění severněji, na přibližně 800 m vzdáleném pahorku v podobě hradu Vraní Hora. Na místě opevnění „Kozí hrb“ se dnes nachází hluboký, ve skále vylámaný šijový příkop o délce 57 m a šířce dosahující cca 10,5 m. Hloubka příkopu se pohybuje od 2 do 4 m.

Tyto tři hypotézy pracují s tím, že dosavadní nalezené objekty jsou datovány do 13./14. století. Samozřejmě se může také jednat o objekt jiného charakteru a jiné datace, než byly doposud nalezené objekty z archeologického záchranného výzkumu (Halama osobní sdělení 2022, Šlézar osobní sdělení 2022), nebo se vůbec nemusí jednat o strukturu vytvořenou antropogenní činností, což je však z důvodu velikosti a tvaru struktury méně pravděpodobné. Z provedených geofyzikálních měření není možné zjistit stáří nalezeného objektu. Jelikož lokalita nebyla doposud studována, nelze naměřená data s ničím jiným porovnat. Další poznání o nalezené struktuře by mohl přinést vrtný průzkum lokality nebo přímo další archeologický průzkum.

8. Závěr

Geofyzikální prospekci nalezená struktura na dolní ploše svými rozměry a tvarem připomíná opevňovací příkop. Jelikož dosavadním archeologickým průzkumem na lokalitě nalezené objekty, příkop a zemnice, jsou datovány do 13./14. století, je hypotéza příkopu možná, ale čistě geofyzikální prospekci ji není možné potvrdit. Na ploše je také naplánovaná stavba rodinného domu. Z těchto důvodů je nutné provést záchranný archeologický průzkum.

Z použitých geofyzikálních metod se nejvíc osvědčila metoda georadaru (GPR) v kombinaci s metodou odporové tomografie (ERT). Obě metody byly schopné i v malých hloubkách na malé ploše zachytit nepatrné změny v prostředí. U georadaru je také výhoda časové nenáročnosti při samotném měření v terénu. Metoda odporové tomografie je časově náročnější. U obou je také výhodou nenáročnost a jednoduchost při zpracování dat. Metoda dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) se pro danou problematiku moc neosvědčila, a to z toho důvodu, že nebyla dostatečně citlivá na to, aby na relativně krátkém profilu a v malých hloubkách byla schopná detailně zachytit změny v geologickém prostředí. Výsledky metody DEMPS s výsledky metod GPR a ERT nekorelovali.

9. Použitá literatura

- Bristow C. S., Jol H. M., 2003: Ground Penetrating Radar in sediments. Geological Society, London.
- Campana S., Piro S., 2009: Seeing the unseen: Geophysics and landscape archaeology. Boca Raton: CRC Press.
- Cháb J., Breitr K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J., 2008: Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. – Vydavatelství České geologické služby, Praha.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z., 2011: Geologická minulost České republiky, Vydání 2, opravené. Praha: Academia Praha
- Chotěbor P., 1989: Nejstarší období výstavby českých tvrzí (do pol. 14. stol.). *Archaeologia historica.*, vol. 14, 257–270.
- Conyers L.B., 2004: Ground-Penetrating Radar for Archaeology. Altamira Press.
- Čižmář, M. 2004: Encyklopedie hradišť na Moravě a ve Slezsku. Praha.
- Dvořák J., 1966: Zpráva o řešení stratigrafie spodního karbonu v kulmském vývoji na Dražanské vrchovině. – *Zpr. geol. Výzk. Úst. geol. v r. 1964*, 182-185. Praha.
- Dvořák J., 1994: Variský flyšový vývoj v Nížkém Jeseníku na Moravě a ve Slezsku. *Special Papers No. 3*. Praha: Czech Geological Survey, 1994. 77 s.
- Everett, M. E. 2013. *Near-Surface Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Faltýnek K., Šlězár P., 2016: Nové středověké fortifikace v povodí říčky Třebůvky na Bouzovsku. *Archeologie východních Čech* 11. 140–157.
- Fojt B., Dolníček Z., Hoffman V., Škoda R., Trdlička Z., Zeman J., 2007: Paragenetická charakteristika ložisek Zn–Pb rud v širším okolí Horního Města u Rýmařova (Nížký Jeseník). – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.* LXXXII (2007): 3–57.
- Halama J. 24.5.2022 osobní zdělení
- Jančovič L., Dostál P., Frýbová P., 2014: Geofyzikální metody měření v geotechnice. – Geodrill, Brno.
- Johnson J. K., 2006: Remote sensing in archaeology: an explicitly North American perspective. Tuscaloosa, – University of Alabama Press.
- Kašička F., Nechvátal B., 1981: K vývoji stavební podoby české středověké tvrze (Ervěnice na Mostecku v Čechách). *Archaeologia historica*, 139–146.
- Klápště J. 2005: Proměna českých zemí ve středověku. Vyd. 1. Praha.
- Křížová J., 1998: Použití některých geofyzikálních přístrojů při archeologickém výzkumu.

- Loke, M. H., 1999: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Penang, Malaysia.
- Mareš S., et al., 1990: Úvod do užití geofyziky, SNTL, Praha.
- Medek V., 1960: Dubické panství (Příspěvek ke kolonizaci severní Moravy). Severní Morava: vlastivědný sborník sv.5. Šumperk, Vlastivědný ústav.
- Milsom J., 2003: Field geophysics. 3rd edition, Wiley.
- Mísař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. ,1983: Geologie ČSSR I., Český masív. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Musset A. E., Khan M. A., 2000: Looking into the Earth: An introduction to geological geophysics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pouba Z., Dvořák J., Kužvart M., Mísař Z., Musilová L., Prosová M., Röhlich P., Skácel J., Unzeitg M., 1962: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000, M-33 – XVIII, Jeseník. – Ústřední ústav geologický v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Schulmann K., Gayer R., 2000: A model for a continental accretionary wedge developed by oblique collision: the NE Bohemian Massif - Journal of the Geological Society 157, 2, 401–416, London.
- Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodým ml. O., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Pouba Z., Sattran V., Škvor V., Weiss J., 1964: Regionální geologie ČSSR, díl 1., Český masív, svazek 1, krystalinikum. – Ústřední ústav geologický v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Šlězár P. 19.5.2022 osobní sdělení
- Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E., 1990: Applied geophysics. Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tsokas G.N., Tsourlos P.I., Papadopoulos N. 2009: Electrical resistivity tomography: A flexible technique in solving problems of archaeological research. In: Campana S., Piro S., Seeing the Unseen: Geophysics and Landscape Archaeology, CRC Press, Taylor & Francis, 83–104.
- Tsokas G.N., Tsourlos, P.I., Steinhauer G., Stampolidis A., Vargemezis G., Chavanidis C. 2021: Archaeological prospection north of Schinias rowing centre in Marathon at the site of ancient Trikorynthos. Archaeological prospection 29(2), 191–204.
- Unger J., 1988: Počátky středověkých opevněných sídel typu „motte“ na jihovýchodní Moravě. Rodná země: sborník k 100. výročí Muzejní a vlastivědné společnosti v Brně a k 60. narozeninám Vladimíra Nekudy, Brno, 207–222.
- Valenta J. 2015: Introduction to Geophysics – Lecture Notes

Internetové zdroje:

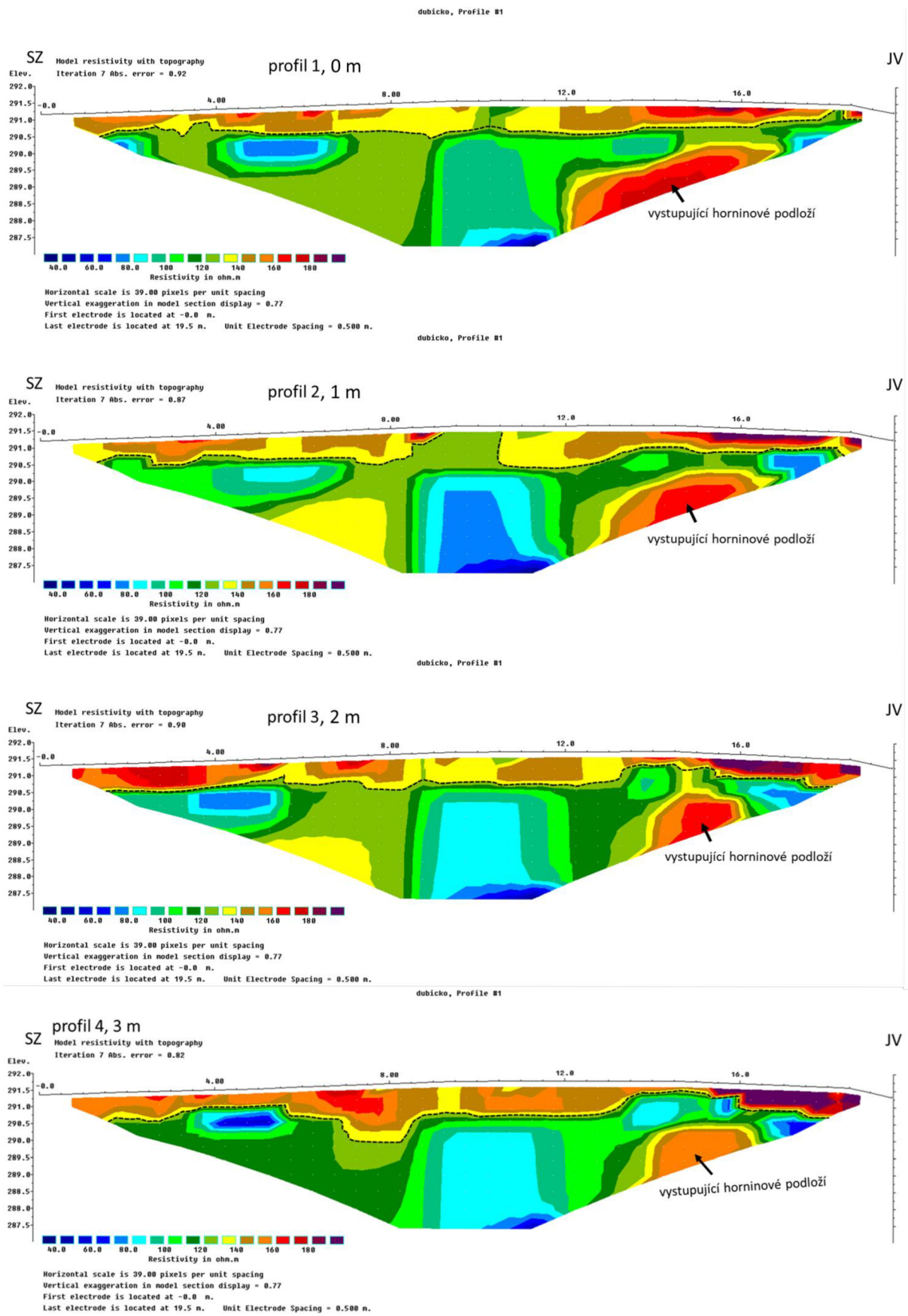
- <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- <https://en.mapy.cz/letecka>
- <http://gfinstruments.cz/>
- <https://historicengland.org.uk/listing/the-list/list-entry/1012075>
- <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- <http://www.muzeum-sumperk.cz/domains/muzeum-sumperk.cz/index.php/cs/kontakty/21-odborne-clanky/210-praveke-nalezy-z-dubicka-a-hrabove>
- https://sumpersky.denik.cz/kultura_region/archeologove-odkryvaji-praveke-sidliste-20141020.html

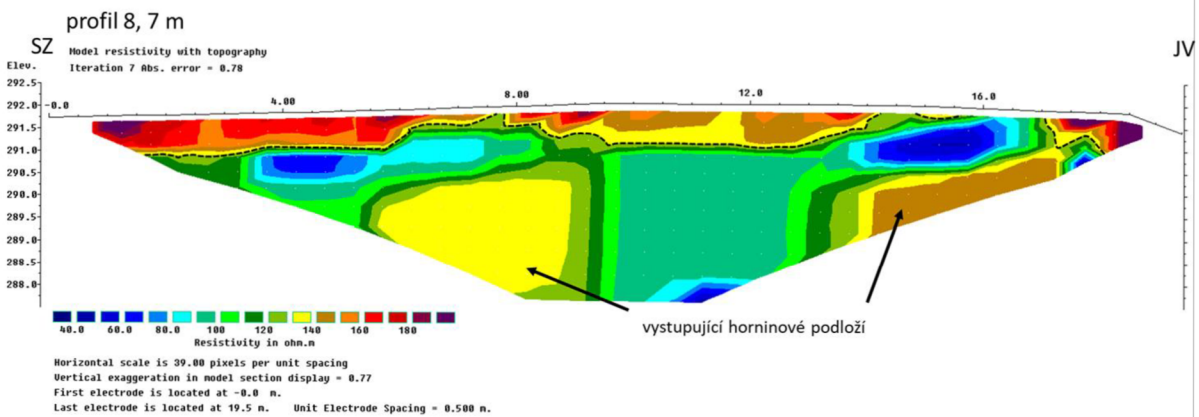
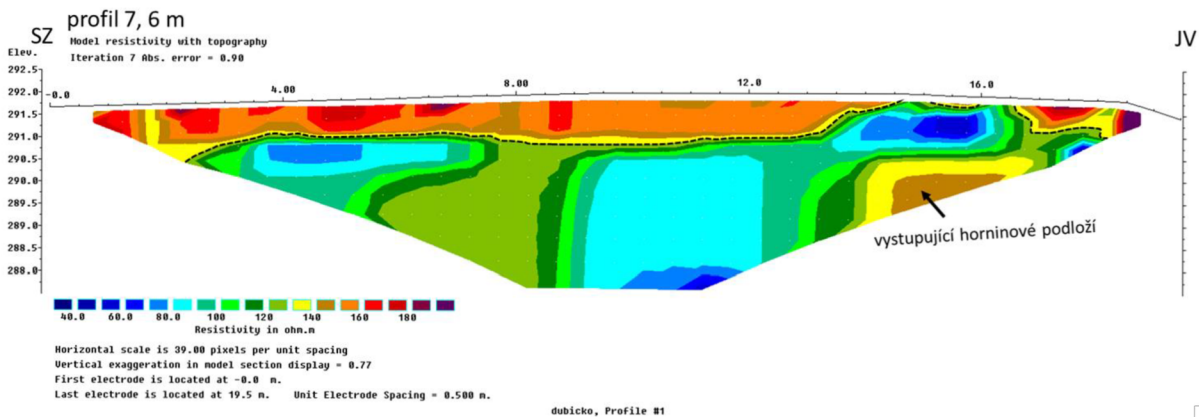
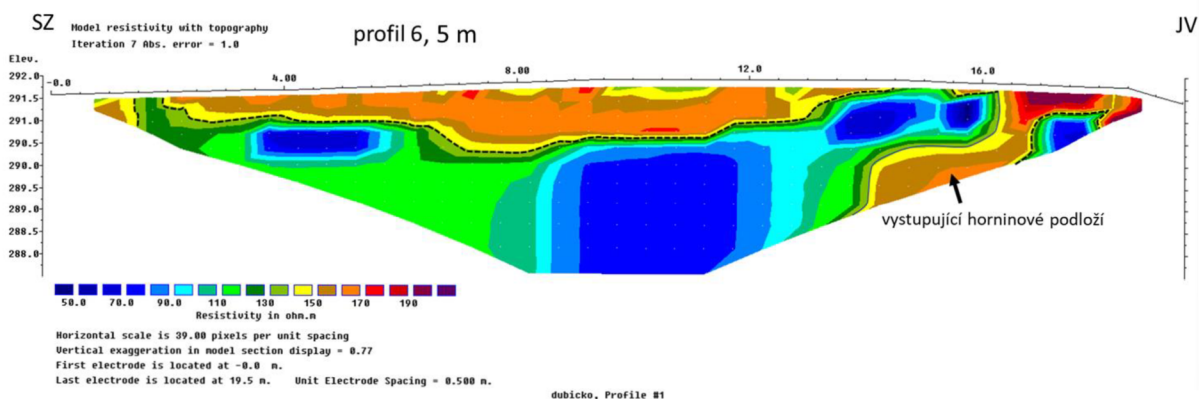
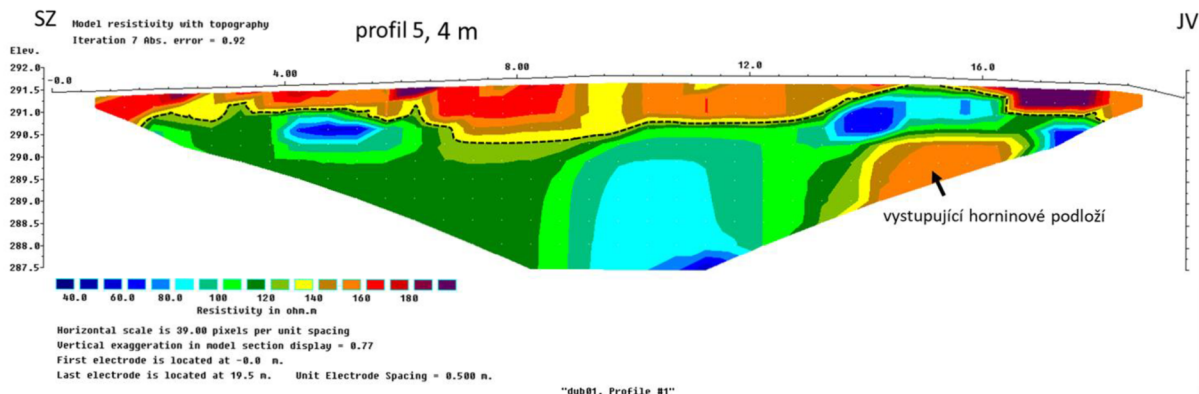
10. Přílohy

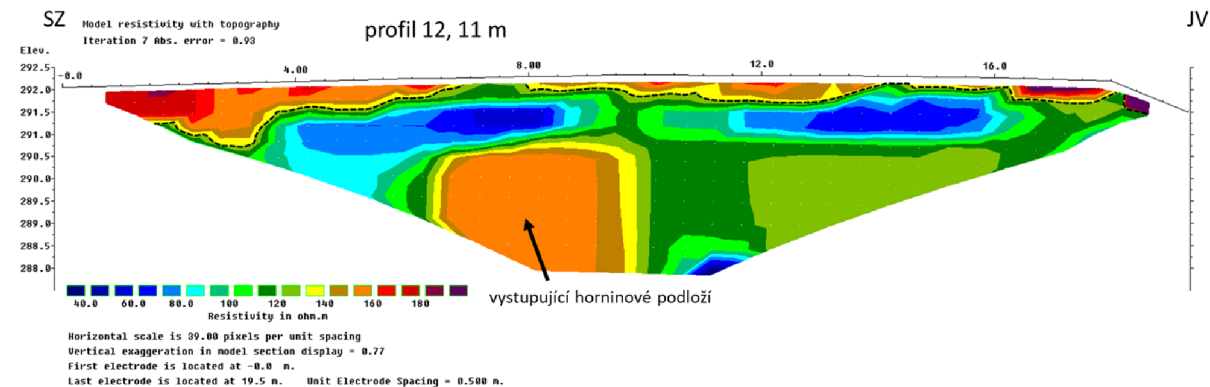
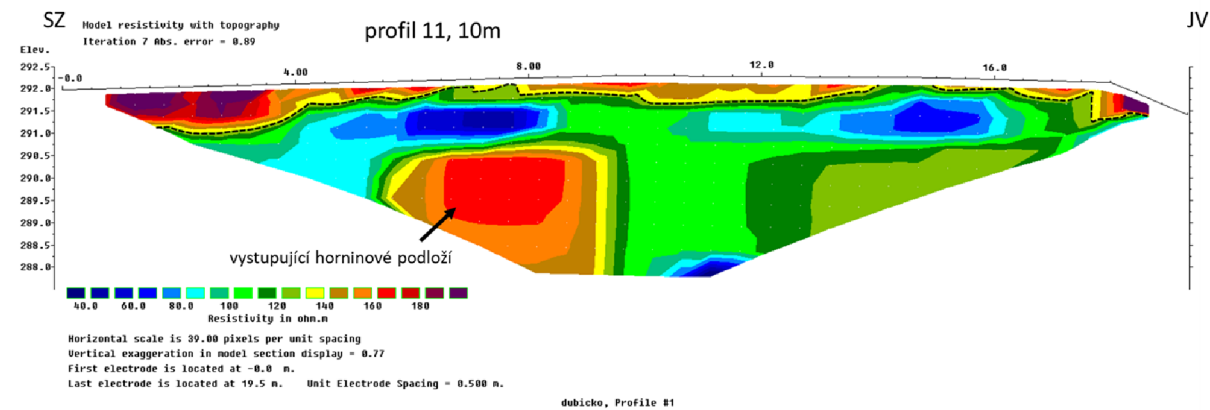
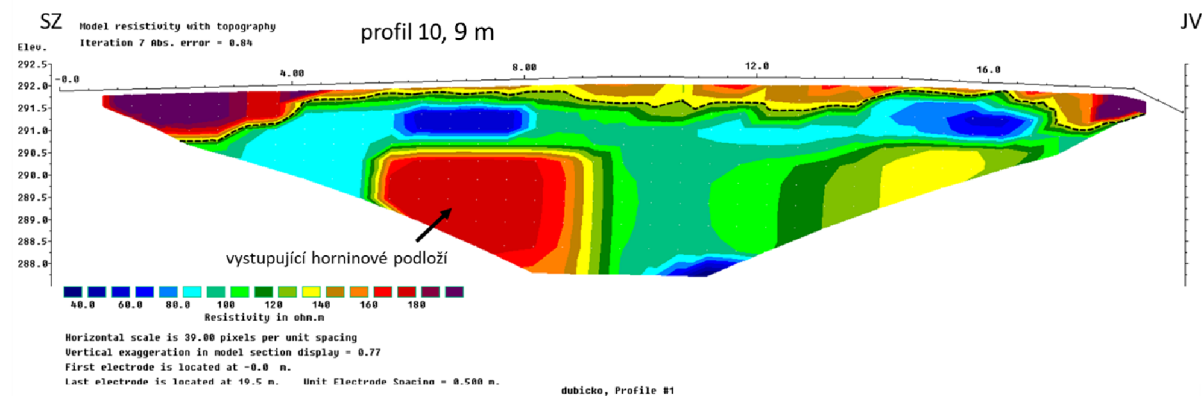
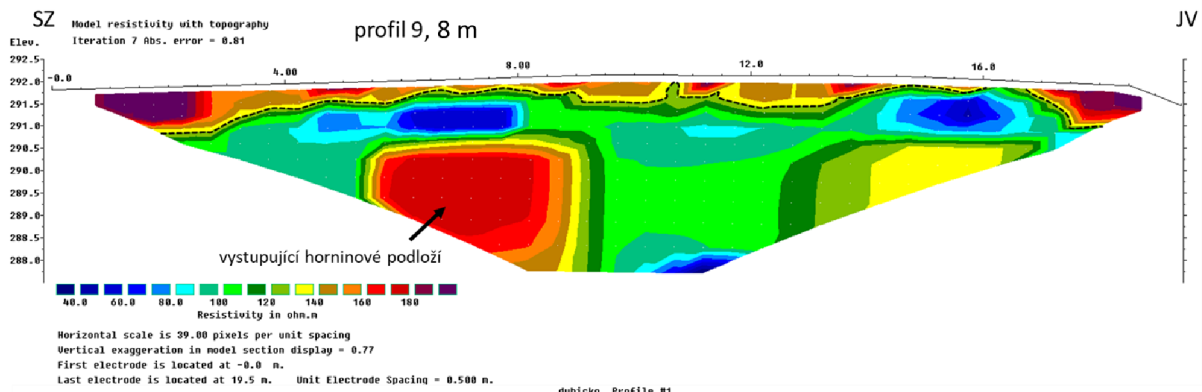


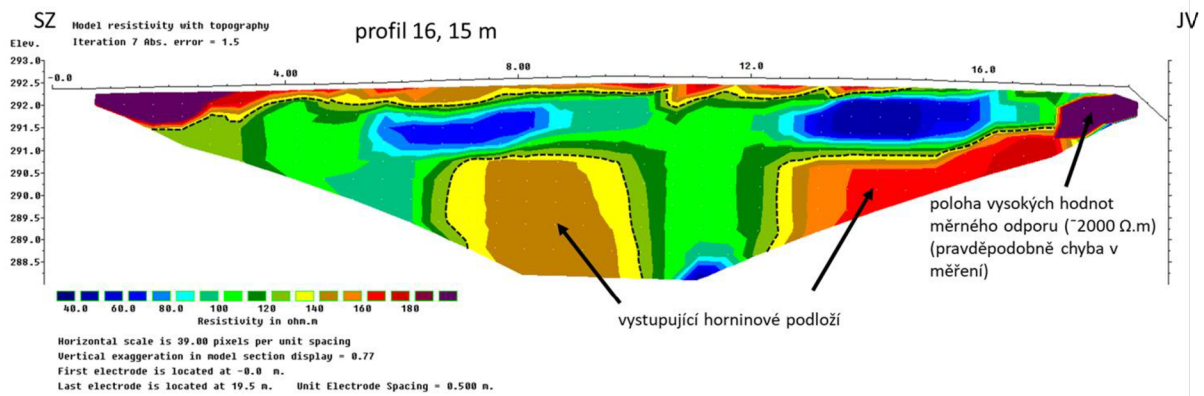
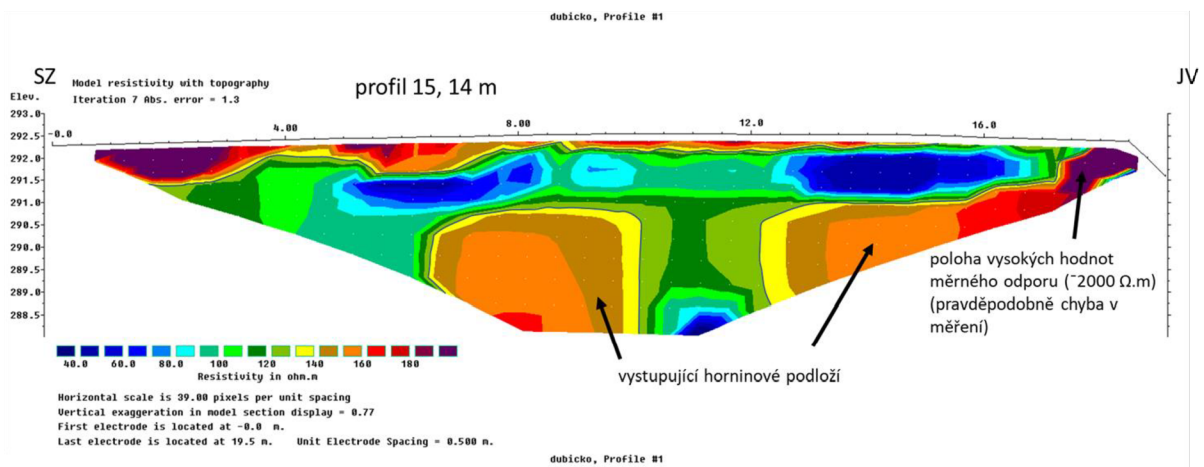
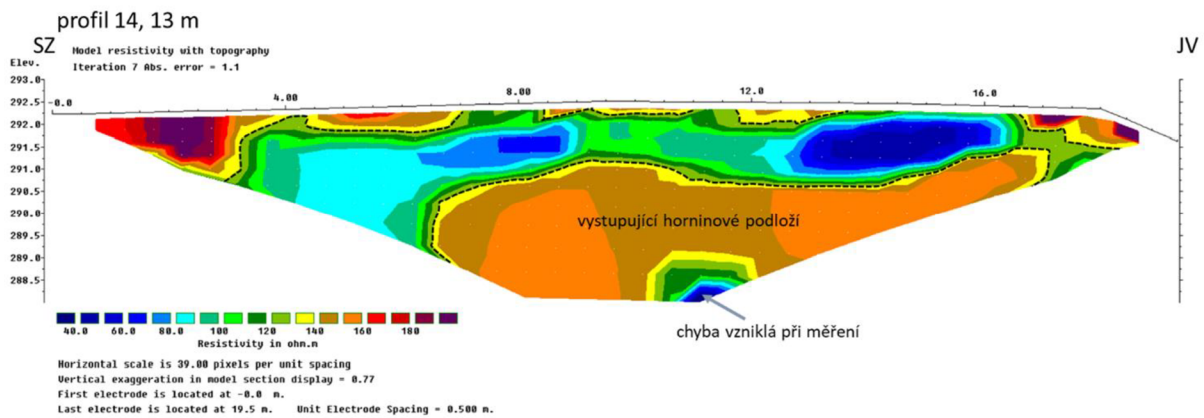
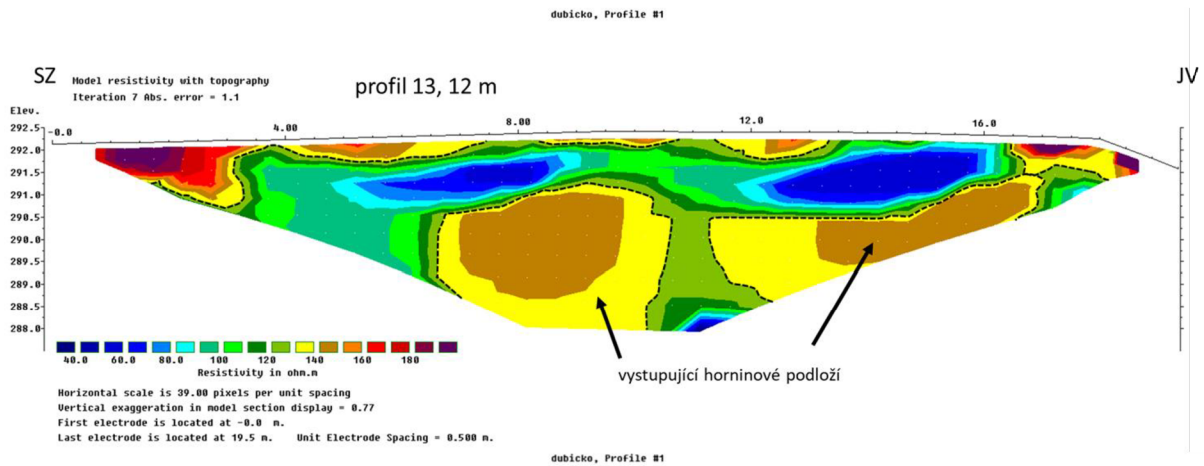
Příloha 1. a) kamenná zeď obepínající kostel s hřbitovem, b) vápenec, c) fylit, d) metabazit, e) křemenný metakonglomerát, f) kvarcit (20 Kč jako měřítko) (foto 21.4.2022)

Příloha 2. 16 ERT profilů ze spodní plochy na lokalitě, černou přerušovanou čarou jsou interpretovány předpokládané hranice vrstev podloží. Nadmořská výška (Elev. v m)

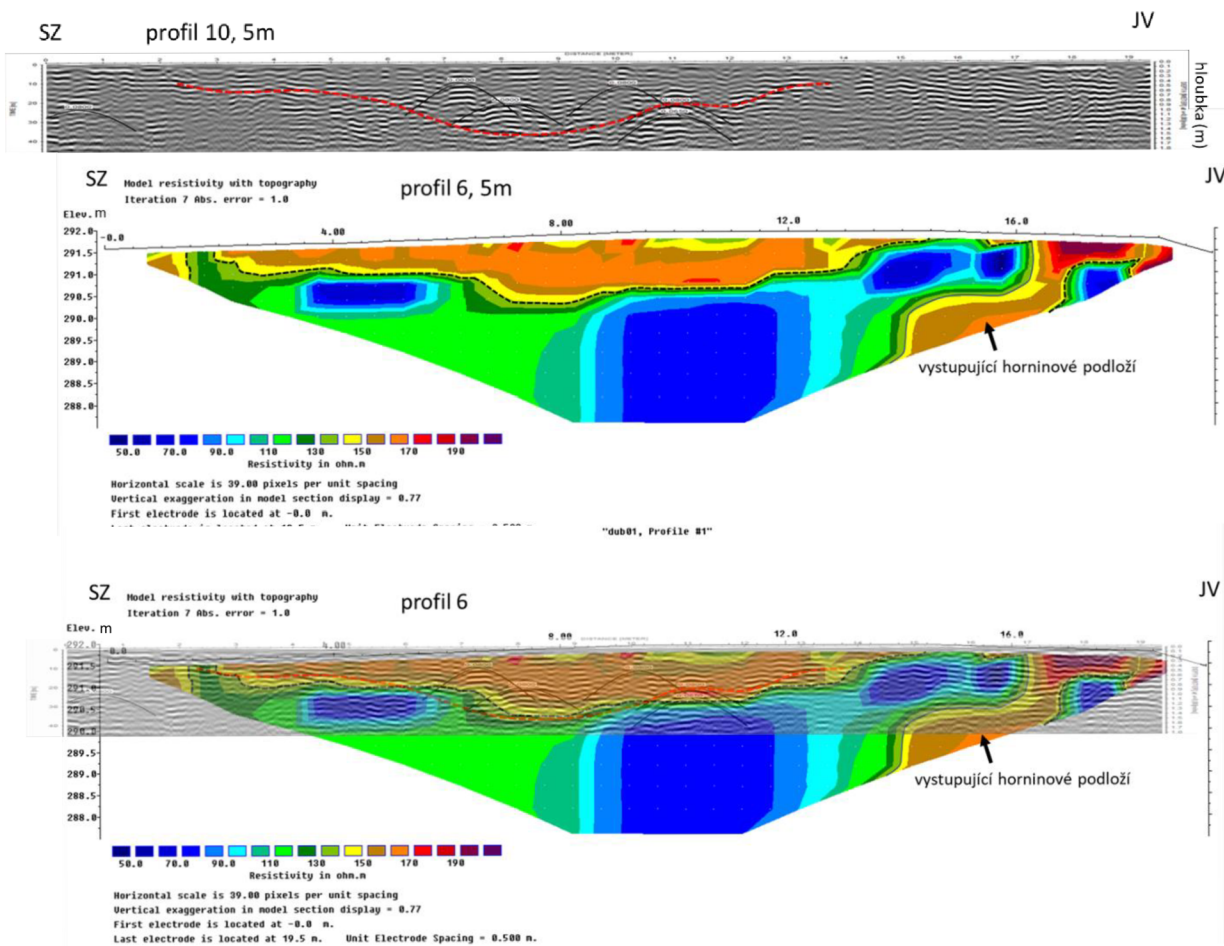








Příloha 3. Korelace ERT profilu 6 a GPR profilu ze spodní plochy SZ–JV směru č. 10. Oba profily jsou položeny na pátém m plochy. U ERT profilu černou přerušovanou čarou interpretovaná předpokládaná hranice vrstev podloží (hranice domnělého příkopu). U GPR profilu červenou přerušovanou čarou zvýrazněná struktura (domnělý příkop)



Příloha 4. Geofyzikální prospekci nalezená struktura a archeologickým průzkumem nalezené objekty vyznačená černou přerušovanou čarou. Čistě teoretická rekonstrukce pokračování příkopu červenou tečkovanou čarou (mapy.cz).

