

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



**GEOFYZIKÁLNÍ PROSPEKCE RANĚ
STŘEDOVĚKÉHO OPEVNĚNÉHO SÍDLIŠTĚ
V MORAVIČANECH „NA SOUTOKU“ (okr. ŠUMPERK)**

Diplomová práce

Bc. Zuzana Tejkalová

Environmentální geologie (B1201)

Prezenční studium

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

Olomouc 2023

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením pana Mgr. Martina Moníka, Ph.D. Veškerou použitou literaturu a zdroje jsem uvedla v seznamu literatury.

V Olomouci dne 3. 1. 2023

.....

Zuzana Tejkalová

Poděkování:

Poděkování patří mému vedoucímu diplomové práce Mgr. Martinu Moníkovi, Ph.D. za pomoc při měření v terénu seznámení se studovanou lokalitou a cenné rady při zpracování laboratorních výsledků.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Bc. Zuzana Tejkalová

Název práce: Geofyzikální prospekce raně středověkého opevněného sídliště v Moravičanech „Na Soutoku“ (okr. Šumperk)

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Katedra geologie

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

Rok obhajoby práce: 2023

Abstrakt: Tato práce se zabývá geofyzikálním průzkumem raně středověkého opevněného sídliště v Moravičanech na Soutoku za použití elektrické odporové tomografie (ERT) a dipólového elektromagnetického profilování (DEMP). Systémem ARES (ERT) byl změřen měrný odpor hornin a přístrojem CMD-4 a CMD-Mini Explorer (DEMP) byla změřena vodivost horninového podloží. Cílem práce bylo lokalizovat průběh opevnění, případně identifikovat další dochované objekty. Výsledná geofyzikální data byla srovnávána s dřívějšími publikovanými i nepublikovanými výzkumy. Porovnáním výsledků z jednotlivých měření, byla identifikována nejvhodnější geofyzikální metoda pro danou problematiku.

Klíčová slova: Moravičany „Na Soutoku“, geofyzika, odporová tomografie (ERT), dipólové elektromagnetické profilování (DEMP), archeologie

Jazyk: Český

Počet stran: 56

Počet příloh: 4

Bibliographic identification

Author's first name and surname: Zuzana Tejkalová

Title: Geophysical Prospection of Early Middle Ages fortified settlement in Moravičany at the Soutok

Type of thesis: Graduation thesis

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

Supervisor: Mgr. Martin Moník, Ph.D.

The year of presentation: 2023

Abstract: This thesis deals with the geophysical survey of the fortified settlement area of Early Middle Age in Moravičany at the Soutok with the application of electrical resistivity tomography (ERT) and dipole electromagnetic profiling (DEMP). The resistivity of the rocks was measured by the ARES system (ERT) and the conductivity of the rocks was measured by the CMD-4 and CMD-Mini Explorer. The aim of the thesis was to locate the course of the fortification or other surviving objects. Geophysical data were compared with published and unpublished data. By comparing the results from individual measurements was identified the most suitable geophysical method for the given problem.

Key words: Moravičany at the Soutok, geophysics, electrical resistivity tomography (ERT), dipole electromagnetic profiling (DEMP), archaeology

Language: Czech

Number of pages: 57

Number of appendices: 4

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod..... | 7 |
| 2. Geomorfologie a geologie oblasti prospekce..... | 8 |
| 2.1. Geomorfologie | 8 |
| 2.1.1. Mohelnická brázda | 9 |
| 2.2. Geologie..... | 12 |
| 2.2.1. Mohelnická brázda a její okrsky..... | 13 |
| 3. Moravičany „Na Soutoku“ | 15 |
| 3.1. Archeologické výzkumy dané oblasti..... | 15 |
| 3.1.1. Sondáže..... | 17 |
| 3.1.2. Geofyzikální prospekce | 19 |
| 4. Geofyzikální metody..... | 22 |
| 4.1. Geofyzika v archeologii..... | 22 |
| 4.1.1. Magnetometrie | 23 |
| 4.1.2. Geoelektrické metody | 24 |
| 4.1.3. Seismika..... | 30 |
| 5. Metodika..... | 31 |
| 5.1. Lokalita a vytipování prospekčních oblastí | 31 |
| 5.2. Terénní etapa..... | 32 |
| 5.2.1. ARES | 33 |
| 5.2.2. CMD-4..... | 33 |
| 5.2.3. CMD-Mini Explorer | 33 |
| 5.3. Laboratorní etapa | 34 |
| 6. Výsledky..... | 35 |
| 6.1. Elektrická odporová tomografie..... | 35 |
| 6.1.1. Profily P1 – P4 | 35 |
| 6.1.2. Profil P5 | 37 |
| 6.1.3. Profil P6 | 38 |
| 6.2. Dipólové elektromagnetické profilování | 39 |
| 6.2.1. Plocha M1 | 39 |
| 6.2.2 Profily M2 – M4..... | 40 |
| 7. Diskuze a závěr..... | 42 |
| 8. Seznam literatury | 44 |
| 9. Internetové zdroje | 46 |
| 10. Seznam obrázků | 47 |

| | |
|--|----|
| 11. Přílohy | 48 |
| Příloha 1 – Sondové nálezy | 49 |
| Příloha 2 – Geofyzikální nálezy z let 2013, 2014 a 2016..... | 51 |
| Příloha 3 – GPS souřadnice a naměřené nadmořské výšky..... | 53 |
| Příloha 4 – DEMP (M2 – M4)..... | 54 |

1. Úvod

V Moravičanech nedaleko soutoku Moravy s přítokem Třebůvky, kolem kostela sv. Jiří v trati, se uvažuje o existenci středohradištního opevnění. Jeho pozůstatky byly identifikovány archeologickým výzkumem. Bylo zaznamenáno také intenzivní osídlení, které se vyvíjelo v průběhu 9. – 12. století. V prostoru současného hřbitova, fary a školy byly identifikovány kosterní pozůstatky (kostrové pohřby – odkryto 31 hrobů), nálezy zlatých a bronzových šperků (esovitých záušnic) a zbraní. Zaznamenáno bylo také mocné kulturní souvrství s pozůstatky kamenných staveb, případně zahloubených objektů. Během 12. století byla nekropole nepochybně funkční, z čehož byla vyslovena domněnka o existenci malohradištní fortifikace. Na základě poznatků je možné tedy předpokládat výskyt opevněného ústředí v Moravičanech (Kouřil a Gryc, 2014).

Cílem diplomové práce je vytipování ploch vhodných ke geofyzikální prospekci, různými geofyzikálními metodami. Výsledkem by měla být rekonstrukce raně středověké hradby, případně identifikace zahloubených objektů a staveb v rámci sídliště. Jednotlivá měření budou porovnána a bude identifikována geofyzikální metoda nejvhodnější pro danou problematiku.

2. Geomorfologie a geologie oblasti prospekce

2.1. Geomorfologie

Podle Demka a Mackovčina (2014) má každá geomorfologická jednotka individuální charakteristiku založenou především na geologických a morfostrukturních hlediscích. Dále může být jejich znakem podobná relativní výšková členitost, stejná geneze georeliéfu, případně stejná historie geomorfologického vývoje atd. Hierarchicky nejvyššími geomorfologickými jednotkami České republiky jsou geomorfologické provincie, které se dále dělí na geomorfologické soustavy, jichž v České republice existuje 10 (Tab. 1). Dalšími geomorfologickými podjednotkami jsou geomorfologické podsoustavy, celky, podcelky a okrsky (Bína a Demek, 2012).

Tab. 1 Přehled geomorfologických provincií a soustav České republiky (Demek a Mackovčín, 2014), upraveno.

| PROVINCIE | SOUSTAVY |
|-----------------------|------------------------------|
| Česká vysočina | I. Šumavská |
| | II. Česko-moravská |
| | III. Krušnohorská |
| | IV. Krkonoško-jesenická |
| | V. Poberounská |
| | VI. Česká tabule |
| Středoevropská nížina | VII. Středopolské nížiny |
| Západní Karpaty | VIII. Vněkarpatské sníženiny |
| | IX. Vnější Západní Karpaty |
| Západopanonská pánev | X. Vídeňská pánev |

Tyto geomorfologické jednotky jsou podrobněji znázorněny na obr. 1. Provincie jsou zde značeny písmeny A – D, soustavy jsou značeny velkými písmeny jejich názvu a podsoustavy jsou značeny malými písmeny jejich názvu (Bína a Demek, 2012).



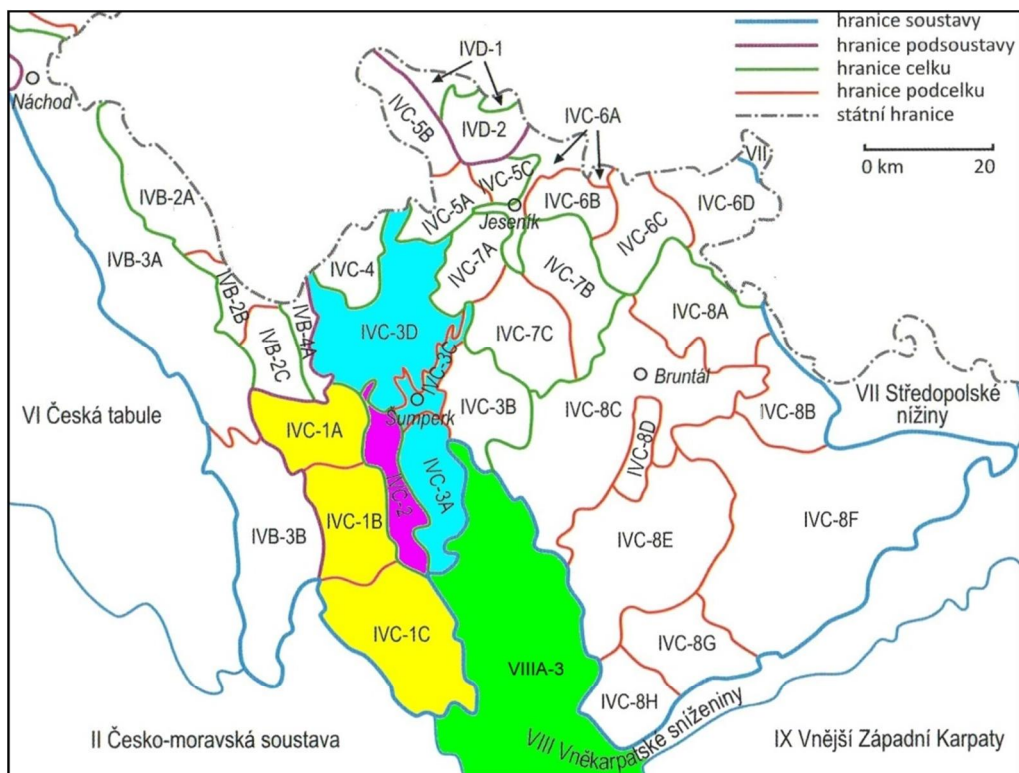
Obr. 1. Vyšší geomorfologické jednotky České republiky (Bína a Demek, 2012), upraveno.

Studovaná oblast Moravičany „Na Soutoku“, spadá podle geomorfologického členění České republiky do celku Mohelnické brázdy. Tento celek, který náleží do Jesenické podsoustavy, dále řadíme do Krkonošsko-jesenické soustavy spadající pod provincii České vysočiny (Demek a Mackovčín, 2014).

2.1.1. Mohelnická brázda

Podle Demka a Mackovčina (2014) řadíme Mohelnickou brázdu, z geomorfologického hlediska, mezi vhloubené tvary subaerického reliéfu. Je to úzká sníženina, která má protáhlý tvar a ploché dno. Brázda je po všech stranách omezena vyšším georeliéfem.

Mohelnická brázda se rozkládá mezi Zábřežskou vrchovinou na západě, Hanušovickou vrchovinou na východě a Hornomoravským úvalem na jihu (obr. 2). Plocha Mohelnické brázdy je 122,16 km², má střední výšku 288,8 m a střední sklon 2°08'. Její šířka je 3–5 km. Celou sníženinou protéká řeka Morava, v jejíž jihozápadní části se vytvořily náplavové kužely Moravské Sázavy, Mírovky a Třebůvky, která protéká v blízkosti prospekce (Demek a Mackovčín, 2006; Bína a Demek, 2012).



- IVC Jesenická podsoustava
IVC-1 Zábřežská vrchovina
 IVC-1A Drozdovská vrchovina, IVC-1B Mírovská vrchovina, IVC-1C Bouzovská vrchovina
IVC-2 Mohelnická brázda
IVC-3 Hanušovická vrchovina
 IVC-3A Úsovská vrchovina, IVC-3B Hraběšická hornatina, IVC-3C Šumperská kotlina,
 IVC-3D Branenská vrchovina
 VIII Vněkarpatské sníženiny
VIII A-3 Hornomoravský úval

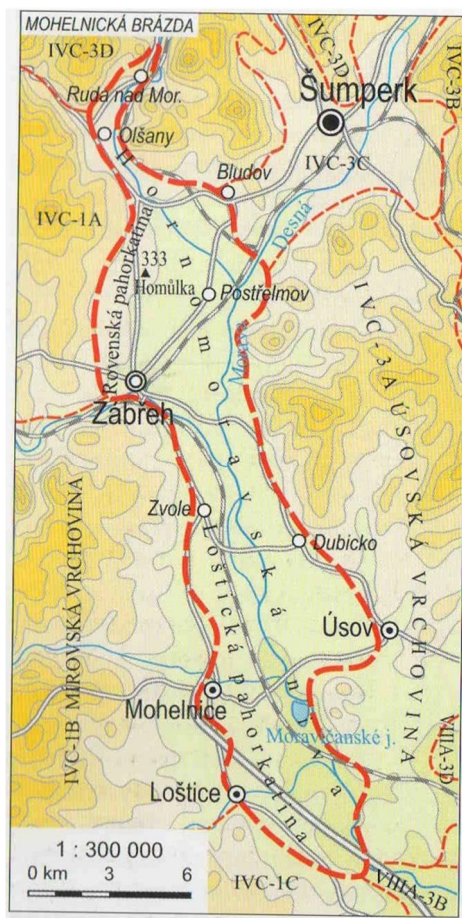
Obr. 2. Rozložení geomorfologických jednotek východní části Krkonošsko-jesenické soustavy s vyznačením zájmové oblasti a jejich sousedních jednotek (Bína a Demek, 2012), upraveno.

Součástí Mohelnické brázdy jsou tři okrsky (obr. 3). Nejnižší částí je Hornomoravská níva, která tvoří osu Mohelnické brázdy, jejíž rozloha je 86,29 km². Je to široká náplavová rovina kolem řeky Moravy (Demek a Mackovčín, 2006). Podle Bíny a Demka (2012) je Morava provázena mrtvými rameny a jezírky, vzhledem k tomu, že v nivě volně meandruje. Tato jezírka vznikla u Mohelnice a Moravičan v prostorech někdejší těžby štěrkopísku.

Dalším okrskem v jihozápadní části Mohelnické brázdy je Loštická pahorkatina o rozloze 24,11 km². Zlehka vystupuje v úzkém pruhu nad nivou Moravy, jejíž pravé přítoky zde uložily náplavové kužely (Demek a Mackovčín, 2006; Bína a Demek, 2012).

Posledním pahorkatinným okrskem Moravské brázdy je Rovenská pahorkatina, jež je plochou úpatní pahorkatinou. Její rozloha je 11,75 km² a jejím nejvyšším vrcholem je Homůlka

333 m n. m. (Demek a Mackovčín, 2006). Obě tyto pahorkatiny jsou vymezeny pouze na pravé straně po toku řeky (Bína a Demek, 2012).



Obr. 3. Mohelnická brázda a její okrsky (Bína a Demek, 2012).

Mohelnická brázda má také vodohospodářský význam. Podle Čurdy (2001) je zdůrazněn vyhlášením Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV) Kvarter řeky Moravy zaujímající téměř veškerou plochu údolní nivy Moravy rozkládající se na S mezi Zábřehem a na J mezi Řimicemi. Částečně se toto území překrývá s územím chráněné krajinné oblasti (CHKO) Litovelské Pomoraví a to mezi Stavenicemi, Mohelnicí, Moravičany, Doubravicemi, Novými Mlýny, Řimicemi a Bílou Lhotou (Čurda, 2001).

2.2. Geologie

Převážná část Mohelnické brázdy spadá podle geologického členění do Českého masivu (lugikum a moravosilezikum) a okrajově do Západních Karpat (Karpatská předhlubeň). Lugické horniny jsou tvořeny zejména rulami (dvojslídne, biotitické), fylity a granátickými svory vystupujícími ve staroměstském, zábřežském a svinovsko-vranovském krystaliniku (Mísař et al., 1983; Chlupáč et al., 2011). Horniny moravosilezika (zejména silezika) pak nalezneme především v širším okolí Mohelnické brázdy v podobě jemnozrnných pararul, dvojslídnych svorů či grafitických fylitů. Dále se zda nacházejí také kvarcity, erlány či vápence (Mísař et al., 1983).

Lugikum je část Českého masivu nacházející se v jeho nejsevernější části, kde se dále noří pod platformní pokryv permokarbonských, mezozoických, terciérních a kvartérních sedimentů na území Německa a Polska. Východní hranice dělicí lugikum od silezika je tvořena moravskoslezským zlomovým pásmem reprezentovaným nýznerovským a ramzovským nasunutím. Jižní hranice s bohemikem je podél hlubinných zlomů labského tektonického pásma skryta pod sedimenty české křídové pánve (Chlupáč et al., 2011; Mísař et al., 1983). Z geologických jednotek lugika, které zde tvoří podstatnou část Jizerských hor, Krkonoš a Orlických hor, sem pak patří krkonošsko-jizerské krystalinikum, lužický pluton, krkonošsko-jizerský masiv, orlicko-sněžnické krystalinikum, zábřežské krystalinikum a staroměstské krystalinikum (Chlupáč et al., 2002).

Zábřežské a staroměstské krystalinikum zasahuje do severní části mohelnické brázdy. Podle Svobody (1964) je staroměstské krystalinikum (dříve staroměstské svorové pásmo) reprezentováno několika výraznými pruhy krystalických břidlic. Dalším charakteristickým znakem tohoto krystalinika jsou ložní žíly tonalitů, drobné ostrůvky hadců a s nimi amfibolity a lampofyry. Ekvivalentem staroměstského krystalinika je zábřežské krystalinikum (dříve zábřežská série), což je komplex nerovnoměrně metamorfovaných hornin. Hlavní část je tvořena monotónními komplexy pararul, svorů, příp. biotitických fylitů (Svoboda et al., 1964; Chlupáč et al., 2011).

Moravosilezikum je nejvýchodnější částí Českého masivu nořící se na východě do podloží západních Karpat a na západě omezeno moravsko-slezským zlomovým pásmem (Mísař et al., 1983). Geologickými jednotkami moravosilezika jsou brunovistulikum, moravikum, silezikum, žulovský pluton a moravskoslezské paleozoikum (Chlupáč et al., 2011). Pro oblast mohelnické brázdy jsou důležité jednotky silezika a to desenská a keprnická klenba. Desenská

klenba se vyznačuje slabě migmatizovanými biotitickými a dvojslídnyými rulami s vložkami erlánů, kvarcitů atd. Keprnická klenba je tvořena monotónním komplexem biotitických pararul a pestrou sérií, které je tvořena především svory a rulami s vložkami krystalických vápenců (Svoboda et al., 1964; Mísař et al., 1983; Chlupáč et al., 2011).

2.2.1. Mohelnická brázda a její okrsky

Mohelnická brázda, jež je úzká protáhlá sníženina, vznikla v pliocénu poklesem ker v SSZ-JJV směru (Demek a Mackovčín, 2006). Brázda je vyplněná převážně pliocenními (jezerními) a čtvrtohorními (fluviálními) usazeninami, jejichž mocnost je přes 300 m (Bína a Demek, 2012). Také podle Čurdy (2001) je tvořena pliopleistocenními sedimenty. Zejména pliopleistocenními jíly, písky případně štěrkopísky. Tyto sedimenty jsou překryty holocenními fluviálními sedimenty.

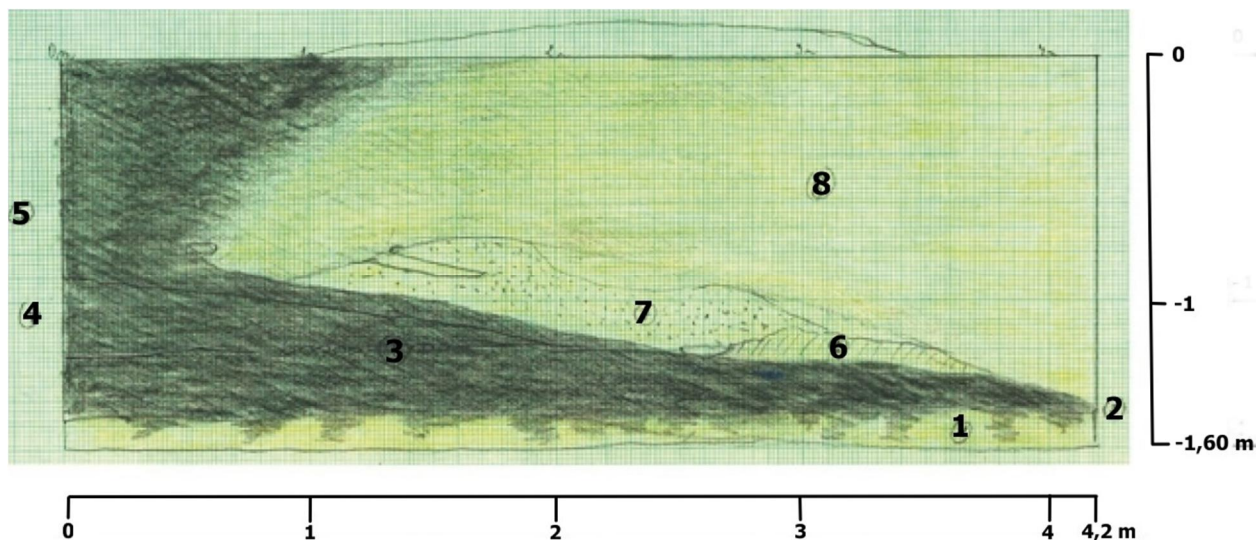
Hornomoravská niva se podle Demka a Mackovčina (2006) skládá ze spodního pleistocenního štěrkopísčitého souvrství a svrchního holocenního souvrství hlinitých písků a hlín.

Horniny paleozoického a proterozoického stáří, nacházející se při úpatí zlomového okraje Zábřežské vrchoviny, tvoří v Loštické pahorkatině pruh stupňovitě pokleslých ker. Částečně jsou překryty pliocenními usazeninami a většinou spraší (Demek a Mackovčín, 2006). Také zde byly uloženy náplavové kužely Třebůvky a Mírovky (Demek a Mackovčín, 2006; Bína a Demek, 2011).

Rovenská pahorkatina je tvořena pásem pokleslých ker krystalinika Zábřežské vrchoviny. Při úpatí jejího zlomového svahu jsou kry překryty pleistocenními kongeliflukčními sedimenty, většinou jsou však překryty spraší (Demek a Mackovčín, 2006). Náplavový kužel zde vznikl vyústěním Moravské Sázavy do Mohelnické brázdy (Bína a Demek, 2011).

V roce 1963 byly na zájmovém území položeny sondy, jejichž cíli bylo zjištění stratigrafie. Sonda S1/63 dosáhla v hloubce 1,4–1,7 m úroveň štěrkového podloží, na němž ležela 0,06 m tenká vrstva žluté sprašové hlíny. Stratigrafii zde pak uzavírala ornice o mocnosti mezi 0,1–0,55 m (Faltýnek et al., 2018). Sonda S2/63 (obr. 4) zachytila v hloubce 1,5 m podloží v podobě jílovité hlíny. Na této vrstvě ležela lokálně tenká vrstva štěrku (povodeň?). V polovině sondy zde vyklíňovala hnědočerná jílovitá hlína s vrstvou jemného žlutého písku (0,35 m), která převrstvovala vydutou vrstvu hrubšího štěrku ležícího na vrstvě černé jílovité hlíny. Nad těmito

vrstvami byl vybudován fortifikační prvek v podobě jednoduchého valu (žlutošedý písčité nasy) bez vnitřní konstrukce (Faltýnek et al., 2018).



Obr. 4. Profil sondy S1/63. 1) podložní jílovitá hlína, 2) černá jílovitá hlína, 3) tvořící pruh napříč sondou, 4) hnědočerná jílovitá hlína, 5) tmavě černá kyprá kulturní vrstva, 6) vrstva hrubšího štěrku, 7) jemný žlutý písek, 8) žlutošedá písčité hlína (Faltýnek et al., 2018), upraveno.

Dle hydrogeologické prozkoumanosti Mohelnické brázdy byla v předkvartérním reliéfu potvrzena existence několika depresí vyplněných štěrky, písky a hlínami. Vzhledem k výskytu řeky Moravy protékající středem Mohelnické brázdy byl sedimentární materiál do této oblasti transportován ze silezika (až od Kralického Sněžníku) a ze zábřežské skupiny (Čurda, 2001).

3. Moravičany „Na Soutoku“

Lokalita kolem kostela sv. Jiří v trati „Na Soutoku“ v Moravičanech je polykulturní pravěké a středověké sídliště rozkládající se na sprašovém návrší na levém břehu řeky Třebůvky (obr. 5). Farní kostel sv. Jiří stojí na tomto sprašovém návrší spolu s původním hřbitovem, farou s hospodářským dvorem, budovou staré školy a rodinnými domy se zahradami (Faltýnek, 2018). Lokalita se však rozkládá i na jejím pravém břehu (dnes oblast zastavěná rodinnými domy) naproti kostelu sv. Jiří s původním hřbitovem (Šlězara, 2017). Podle Faltýnka et al. (2018) se lokalita řadí mezi fortifikovaná sídliště (hradiště?) z dob raného středověku. Tato oblast v okolí kostela sv. Jiří je kulturní památka č. 41639/8-2204 – hradiště a pohřebiště, která je chráněna od roku 1958 (Kalábková, 2016).

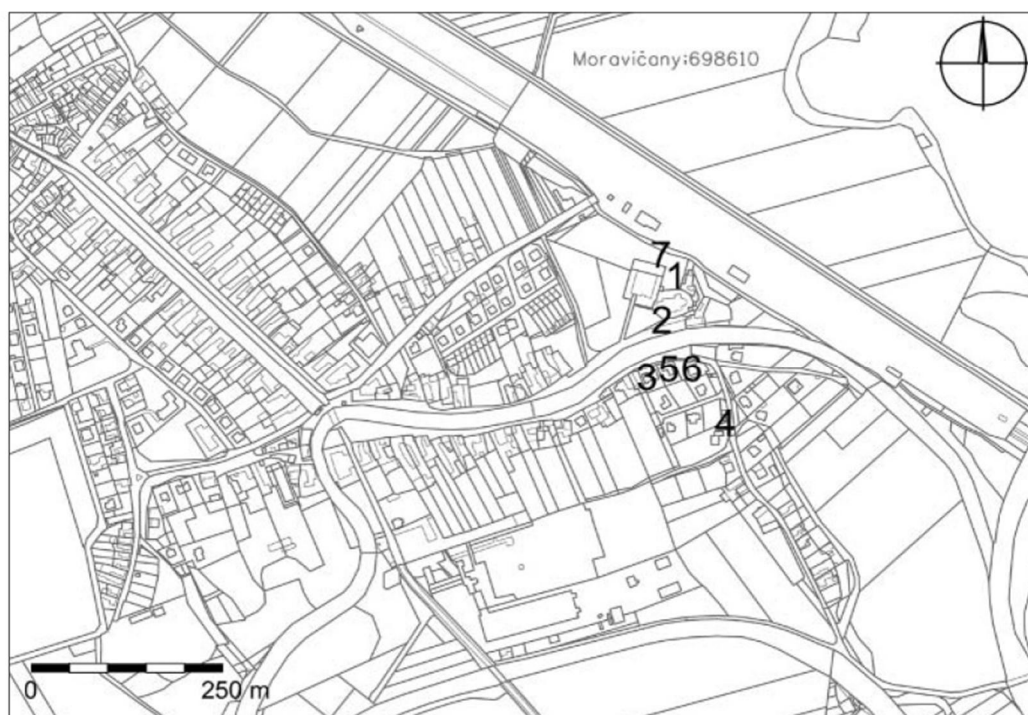


Obr. 5: Přibližná rekonstrukce rozlohy hradiště (?). Tmavě šedá – opevněný areál, světle šedá – osídlený areál mimo opevnění podle Šlězara (2017).

3.1. Archeologické výzkumy dané oblasti

Lokalita „Na Soutoku“ je známá od 50. let 20. století. Zdejší farář Josef Novák a Jiří Adamec tu prováděli zejména povrchové sběry (obr. 6: 1), při kterých byly nalezeny zlomky nádob z pravěku a ze středověku (Kalábková, 2016). Během let 1953 – 1973 docházelo

k různým nálezům, u nichž však nejsou doloženy nálezové okolnosti, případně jsou u nich popsána jen místa nálezů. Lze především o nálezy při kopání hrobů, z výkopů pro vodovod a jámu na vápno na farském dvoře, nálezy v okolí kostela či na hřbitově, sběry z různých výkopů v okolí školy atd. (Faltýnek, 2018). V roce 1960 a 1963 provedl Jindra Nekvasil (Archeologický ústav Brno) výzkumy sondami (obr 6: 2, 3, 4). Nejdříve na levém břehu Třebůvky, později i na pravém břehu (Šlězár, 2017). V letech 1985 – 1987 došlo k dalším větším nálezům při novostavbách (obr. 6: 6, 7) získaných od stavebníka Karla Faltýnka a amatérského archeologa Vladimíra Kapla. Vzhledem k nepřítomnosti odborného pracovníka chybí k těmto nálezům řádná dokumentace (Šlězár, 2017). Drobná akce proběhla i v roce 2010 (obr. 6: 2) za dohledu Archeologického centra v Olomouci při stavbě kanalizace (Faltýnek et al., 2018). V letech 2013 (obr. 6: 7) a 2014 (obr. 6: 2) pak proběhly dvě rozsáhlejší etapy archeologického výzkumu pod záštitou Národního památkového ústavu (Šlězár, 2017).



Obr. 6. Polohy archeologických výzkumů v Moravičanech „Na Soutoku“: 1) sběry na hřbitově, faře a na farském dvoře, 2) výzkum z roku 1960, 2010 a 2014, 3) výzkum z roku 1963, 4) výzkum z roku 1963, 5) sběr z roku 1985, 6) sběr z let 1986-1987, 7) výzkum Národního památkového ústavu z roku 2013 (Šlězár, 2017).

3.1.1. Sondáže

Podle Faltýnka et al. (2018) byla zjišťovací sonda S1/60 o rozměrech 7 × 3 m (obr. 7) položena v roce 1960 nedaleko bočního vchodu do kostela při jižní straně hřbitovní zdi. Stratigraficky zde byly rozlišeny 3 základní úrovně. Šlo o ornici (0,25 m), kulturní souvrství (1,30–1,40 m) a podloží do hloubky 1,55–1,65 m. Nekvasil následně tyto úrovně blíže rozčlenil po mechanických vrstvách silných 0,25 m (Tab. 2). Nekvasil zde prozkoumal kostrové hroby (Příloha 1. 1) patrového pohřebiště (11. až počátek 13. století). Tyto hroby, které byly zahloubeny do sídlištní situace ve 150cm mocném kulturním souvrství, obsahovaly kultury lužických popelnicových polí, doby římské a raného středověku (Šlězár, 2017).

Tab. 2. Charakteristika mechanicky rozčleněných vrstev Jindrou Nekvasilem (Faltýnek et al., 2018), upraveno.

| Vrstva | Hloubka | Charakteristika | Nálezy |
|--------|-------------|---|---|
| I | 0–0,25 m | ornice s četnými kameny | - zlomky kostí (ojediněle) - recentní střepy a keramika v druhotné poloze |
| II | 0,25–0,50 m | tmavě hnědošedá drolivá humózní hlína (1,55–1,65 hnědá sprašovitá hlína) | - ojediněle kameny, zvířecí kosti, zlomky mazanice |
| III | 0,50–0,75 m | | - keramika, zlomky lidských kostí |
| IV | 0,75–1,00 m | | - od 0,9 m první hroby - keramika |
| V | 1,00–1,25 m | | - pohřby, kumulace lidských kostí |
| VI | 1,25–1,65 m | | - pohřby |

Sondáž z roku 1963 (obr. 7), která proběhla na pravém břehu Třebůvky, potvrdila mohutné 150 cm souvrství s různými kulturními vrstvami (moravská malovaná keramika, kultura lužických popelnicových polí, doba římské a raný středověk). Toto souvrství bylo potvrzeno ve třech sondách (Šlězár, 2017). Pravěké a raně středověké sídlištní situace byly zachyceny první sondou S1/63 o rozměrech 20 × 4 m. Položena byla podél okraje cesty, která lemuje břeh Třebůvky. Z této sondy bylo také získáno 121 ks středověké keramiky (Faltýnek et al., 2018).

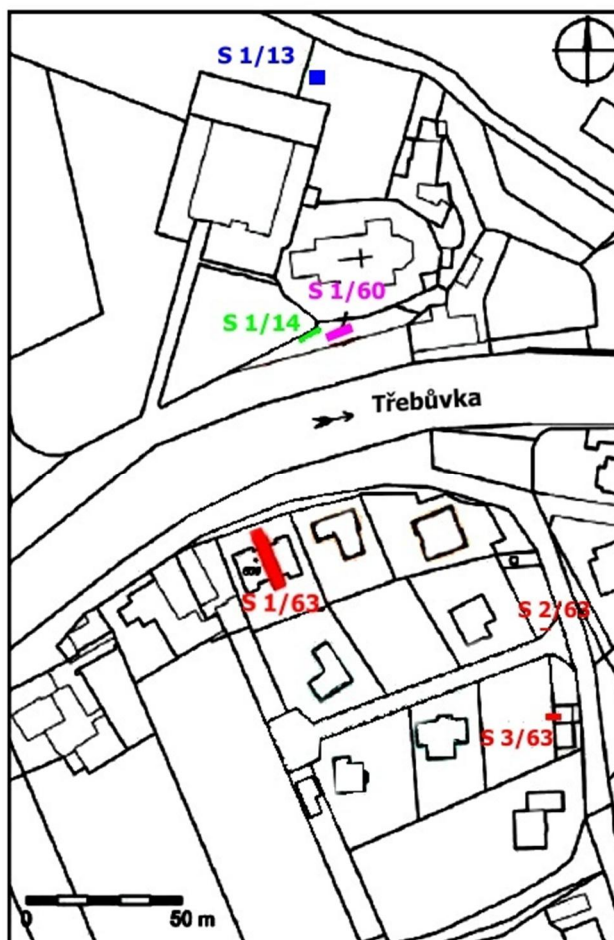
Další dvě sondy S2/63 a S3/63 byly položeny v blízkosti západního okraje cesty přibližně 60 m a 90 m od břehu Třebůvky (obr. 7). Zbytky raně středověkého valu z mladší doby hradištní pak byly zachyceny těmito dvěma sondami o rozměrech 4,3 × 0,9 m (S2/63) a 3 × 1,5 m (S3/63). V tomto prostoru byly provedeny sběry již v roce 1954, 1957 a 1961 s objevením keramiky, zahloubených objektů (zemnice?), mazanice, zlomky mlýnských kamenů a zvířecích kostí (Šlězár, 2017).

V roce 2013 byla vyhloubena sonda S1/13 (obr. 7), jejíž rozměry byly 5 × 5,5 m. Sonda se nacházela u severozápadního vstupu na hřbitov, vzniklého v roce 1992 rozšířením hřbitova a dosahovala hloubky 2,4 m (Faltýnek et al., 2018). Cílem výzkumu bylo využití nového prostoru k pohřbívání. V hloubce 1,5 m zde byl zjištěn zánikový horizont, který byl indikován kamennou destrukcí s obsahem mazanice a keramiky (z počátku 13. století, Příloha 1. 2). Intruze starší mladohradištní a keramiky ve vrstvách svědčí o dlouhodobém osídlení. Nejintenzivnější osídlení spadá však do období kultury lužických popelnicových polí (Faltýnek et al., 2018).

V roce 2014 byla vyhloubena sonda S1/14 (obr. 7, Příloha 1. 3), západním směrem od sondy z roku 1960 S1/60, která měla rozměry 8 × 2 m (Šlězár, 2017). Sonda byla rozdělena na část jihozápadní a část severovýchodní s 2 m kontrolním blokem uprostřed.

V jihozápadní části byla téměř po celé délce zaznamenána 0,20 – 0,25 m mocná novověká vrstva kamenů s fragmenty malt a vápna. U lokálního výskytu vápna nebylo jasné, zda jde o destrukci, či zbytek pochůzné úpravy související se zdí. Pod ní se nacházela tmavě šedá písčité jílovité hlína obsahující keramiku 15. – 16. století s příměsí keramiky ze 13. a 14. století. Tato keramika se vyskytuje i v mohutné vrstvě šedočerné, písčitojílovité hlíny pod ní, která dosahuje do hloubky cca 1,4 – 1,7 m. Převažuje zde také podíl pravěkých a raně středověkých střeptů (Faltýnek et al., 2018).

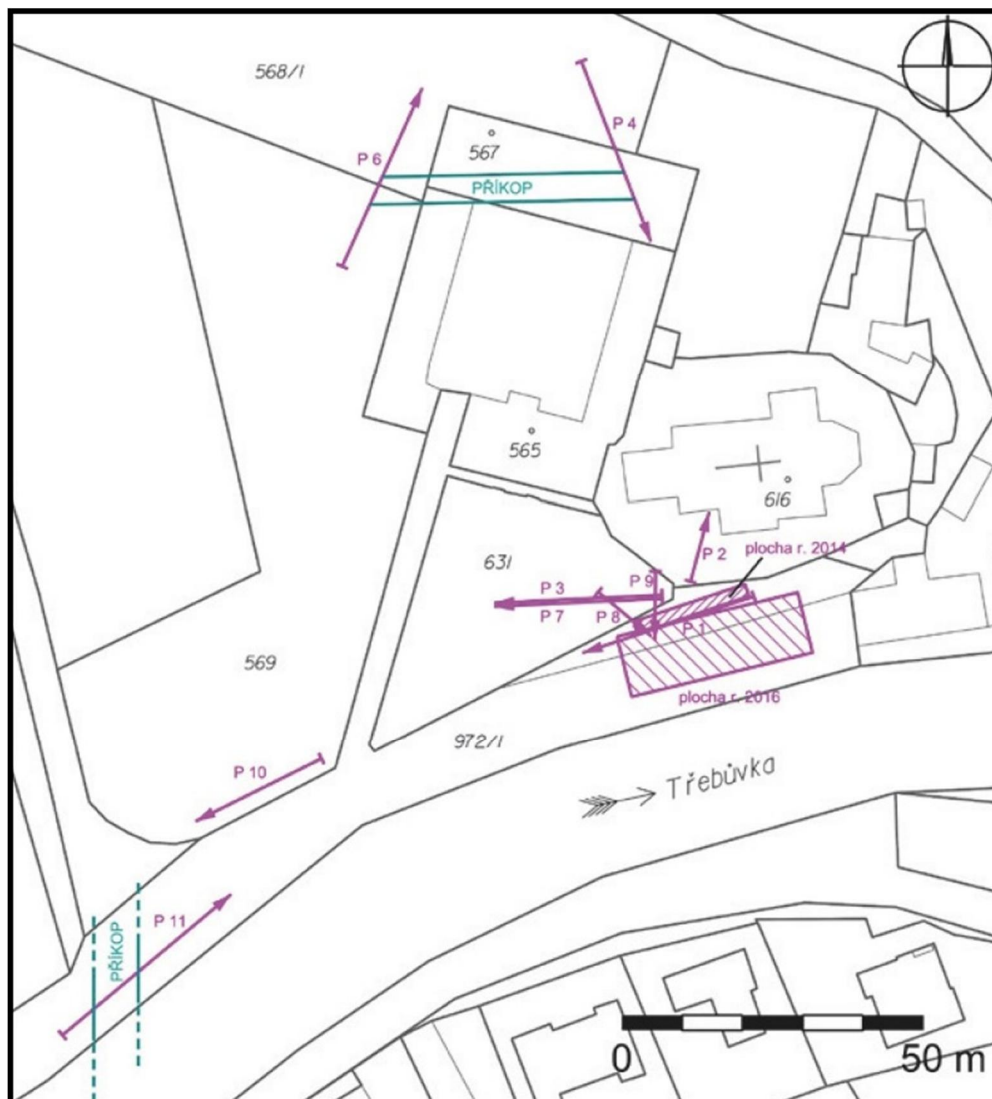
V severovýchodní části sondy dosahující do hloubky 1,25 – 1,55 m byly nalezeny kostrové hroby (Příloha 1. 3). Ve vyšších vrstvách se pak nahodile vyskytovaly kumulace kostí, keramika 14. století a dvě železné šipky (Faltýnek et al., 2018).



Obr. 7. Polohy sondáží z roku 1960 (fialová), 1963 (červená), 2013 (modrá), 2014 (zelená) upraveno podle Faltýnka et al., (2018).

3.1.2. Geofyzikální prospekce

Podle Šlézara (2017) proběhla v okolí kostela sv. Jiří v letech 2013 a 2014 také geofyzikální prospekce (obr. 8). Za pomoci elektrického odporového profilování (ERT) bylo provedeno 9 profilových měření (P1–P4 a P6–P10) v roce 2013. Délka profilů se pohybovala od 11,5 m do 31,5 m s roztečí elektrod 0,5 m. Hloubka signálu dosahovala 2–4 m. V roce 2014 pak bylo provedeno 6 profilových měření (P11–P16), z nichž profily P12–P16 byly sestaveny do plochy (1/2014). Většina profilů byla soustředěna do farské zahrady a do jejího bližšího okolí. Pouze profily P4 a P6 byly měřeny v oblasti stodoly severně od farské zahrady. Výsledkem odporového profilování bylo zachycení různých anomálií vyhodnocených níže (Faltýnek et al., 2018).



Obr. 8. Polohy profilů (P1 – P4, P6 – P11) a ploch (1/2014 a 1/2016) z geofyzikální prospekce z roku 2013, 2014 a 2016. Podle M. Moníka, digitalizace J. Grégr (Faltýnek et al., 2018).

Na profilu P1 byla zachycena úroveň kamenné vrstvy zachycená i v sondě S1/14. Další zaznamenané anomálie v profilech P3 a P7 pravděpodobně souvisely s výskytem stromů v blízkosti vedených profilů. Na profilech P4 a P6, nacházejících se na severní straně areálu, byly zaznamenané anomálie vyhodnoceny jako příkopy (Příloha 2. 1). Tyto příkopy dosahovaly přibližně do hloubky 2 m a šířky kolem 5 m. U profilu P4 šlo snad i o dvojitý příkop. Dále zde byl patrný zvýšený odpor, který mohl značit zasypání materiálem původní hradby (?). Profil P10 (Příloha 2. 2), jehož cílem bylo detekovat průběh možného opevněného areálu, potvrdil jen výskyt nívné hlíny s nízkým odporem, pod níž se nacházely říční štěrky (Faltýnek et al., 2018).

Anomálie odpovídající příkopu a možné destrukci hradby (?) byla zachycena v roce 2014 na profilu P11 (Příloha 2. 3). Příkop byl o šířce až 10 m a hloubce 2 m. Možná hradba byla o šířce 12,5 m (Šlézar, 2017). Plocha 1/2014 byla situovaná do míst sondy S1/14, která byla plánovaná v témže roce. V ploše o velikosti $19,5 \times 2,0$ m byla objevena anomálie, která měla podobu vrstvy kamenů odkryté v následné sondě S1/14 (Faltýnek et al., 2018).

V souvislosti s objeveným etážovým pohřebištěm bylo v roce 2016 provedeno geofyzikální měření v jižním okolí sond S1/60 a S1/14 (obr. 8). Cílem tohoto výzkumu bylo lokalizovat možnou církevní stavbu. Toto měření proběhlo za pomoci georadaru (GPR), vzhledem k tomu, že plocha určená k výzkumu zasahuje z větší části do vozovky. Bylo provedeno 31 profilů o délce 30 m, jejichž výsledky byly vizualizovány do plochy 30×10 m (Příloha 2. 4). Nejzajímavější anomálie, která odpovídala zdivu o šířce 2 m vyskytujícímu se v hloubce 0,6 m a níže se nacházela na jihozápadní straně měřeného areálu. Nejlépe proto odpovídala hledané církevní stavbě. U další anomálie o rozměrech $10 \times 3,5$ m se nabízela souvislost s vápennou jámou zachycenou v sondě S1/14 (Faltýnek et al., 2018).

4. Geofyzikální metody

Geofyzika jako věda se využívá k pochopení Země a k jejímu studiu využívá principy fyziky (Kearey et al., 2002; Mussett a Khan, 2000). Podle Mareše et al. (1990) se na základě zkoumaného fyzikálního principu a charakteru pole dělí na další metody – geoelektrické (zkoumá geoelektrické pole), gravimetrické (tíhové pole), seismické (pole elastických vln), magnetometrické (magnetické pole Země), geotermické (geotermické pole), radiometrické (radioaktivní pole), (Mareš et al., 1990; Mašín a Válek, 1963). S pomocí geofyzikálních metod pak můžeme provádět nedestruktivní výzkum a získat tak poznatky o vnitřní stavbě Země, vývoji kontinentů či vzniku horských pásem (Mussett a Khan, 2000). Na základě podmínek a způsobu použití pak mohou být geofyzikální metody využity při letecké prospekci, pozemním či vrtném průzkumu atd., kdy každá z těchto variant má své zvláštnosti (měřicí přístroj, metoda měření či interpretace). Např. ke správné interpretaci výstupních dat je potřeba znalostí z geologie a principů fyziky (Mareš et al., 1990). Vzhledem k tomu, že se geofyzikální technika neustále vyvíjí, lze geofyzikální metody aplikovat také v archeologii, při inženýrsko-geologickém průzkumu, hydrologii atd. (Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000; Válek et al., 1972).

4.1. Geofyzika v archeologii

Historicky je rok 1946 jakýmsi výchozím bodem začátku aplikací geofyzikálních metod v archeologii (Kuna et al., 2004).

Při archeologické prospekci lze využít jak destruktivní, tak i nedestruktivní metody. Destruktivní se užívají zejména při záchranných či badatelských archeologických výzkumech. Především jde o výkopové práce (odkryv, exkavaci), (Mareš et al., 1990). Výhodou použití nedestruktivních metod v archeologii je možnost efektivního prozkoumání relativně rozsáhlé oblasti za krátkou dobu a s nízkými náklady (Hašek a Meřínský, 1991; Kvamme, 2005). Můžeme tedy nahlédnout pod zemský povrch, aniž by došlo k jeho narušení (Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000). Pomocí nedestruktivních geofyzikálních metod dokážeme identifikovat archeologické struktury pod zemským povrchem a zmapovat je (Kvamme, 2005).

Úspěšné použití geofyzikálních metod v archeologii a následná interpretace výsledků je závislá na různých podmínkách, které je třeba znát a dodržovat, i když ne vždy jsou splnitelné. Důležitá je především dostatečná odlišnost fyzikálních vlastností mezi geologickým podložím a hledanými archeologickými objekty (Kuna et al., 2004). Další jsou: dochování antropogenních

vrstev / objektů pod povrchem, rozměry a množství archeologických objektů (i jejich tvar či orientace), tvar terénu, vegetační pokryv, absence cizích (mladších) objektů (případně jejich snadné odlišení), znalost geologické stavby území (i geologických procesů), znalost půdního horizontu a půdních procesů ve zkoumané lokalitě atd. (Křivánek, 2013; Kuna et al., 2004).

Při kombinaci více metod (především magnetometrie, georadar a geoelektrické odporové metody), je možné lépe řešit danou problematiku. Každá metoda totiž zkoumá různé fyzikální vlastnosti a jejich kombinací získáme více dat k posouzení (Machová et al., 2017).

V archeologii je možné využít různé geofyzikální metody jako je magnetometrie, geoelektrické metody, gravimetrie, geotermické metody, seismické metody, radiometrie případně geofyzikální měření ve vrtech (karotáž), (Jankovič et al., 2014; Kearey et al., 2002). Nejpoužívanější je magnetometrie, geoelektrické odporové metody a GPR (Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000; Válek et al., 1972). V následující tabulce (Tab. 3) lze vidět jednotlivé geofyzikální metody a vhodnost jejich využití při detekci pravěkých terénních relikvů (Machová et al., 2017).

Tab. 3: Vhodnost použití geofyzikálních metod při detekci pravěkých relikvů. ✓ - vysoký potenciál, ✓× - metoda úspěšná v závislosti na podmínkách, × - nevhodná metoda, upraveno (Machová et al., 2017).

| Objekt / metoda | Magnetika | SOP, VES | DEMP | GPR | Gravimetrie | Seismika |
|------------------------------------|-----------|----------|------|-----|-------------|----------|
| Sídlištní objekty, mělké prohlubně | ✓ | ✓× | ✓× | ✓× | × | × |
| Hradby, valy | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓× | ✓× |
| Příkopy | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓× | ✓× |
| Kamenné struktury | ✓× | ✓ | ✓× | ✓ | ✓× | × |
| Mohyly | ✓ | ✓× | ✓× | ✓ | ✓× | ✓× |
| Úvozy | ✓ | ✓× | ✓× | ✓× | × | × |
| Hornická díla, doly, duté prostory | × | ✓ | × | ✓ | ✓ | ✓ |

4.1.1. Magnetometrie

Magnetometrie je jednou z nejstarších geofyzikálních metod, která patří k nejčastěji používaným metodám při plošné, nedestruktivní archeologické prospekci. Podle Kuna et al. (2004) položil v roce 1957 Kanadčan J. Beshé teoretické základy magnetometrického průzkumu vypálených materiálů. O rok později se pak Angličan M. Aitken stal průkopníkem aplikace

magnetometrie v archeologii, který uskutečnil první magnetometrické měření na lokalitě Walter Newton.

Magnetometrie zkoumá různé magnetické anomálie, čili zkoumá magnetické pole Země a sleduje jeho případné lokální či regionální poruchy geomagnetického pole (Kearey et al., 2002). Pro archeologii je základem magnetometrie schopnost rozeznat anomálie od okolního prostředí na základě fyzikálních vlastností. Práce pomocí magnetometrie probíhají rychle, jsou ekonomické a mají vysokou produktivitu. Na rozdíl od jiných geofyzikálních metod lze prozkoumat velkou plochu (cca 0,5-10 ha / den). Základní fyzikální veličiny, které magnetometrie sleduje, jsou především absolutní či relativní totální magnetické pole T a jeho (vertikální) gradient ΔT . Respektive jeho zdánlivá nebo objemová magnetická susceptibilita κ . Na měření magnetického pole se používají magnetometry (např. cesiový, gradiometr) a magnetická susceptibilita se měří kapametrem (Kuna et al., 2004, Machová et al., 2017).

Primárním cílem této metody je prospekce archeologických objektů skrytých pod povrchem. Použitím magnetometrických metod při archeologické prospekci se nejčastěji vyhledávají a rozlišují různě veliké zahluobené objekty, jako jsou neopevněná / opevněná sídliště, hradiště, města, pohřebiště, mohyly, příkopy, ohrazení, jámy, systémy opevnění atd. Dále lze rozlišit žárové objekty (pece, jámy s vypáleným materiálem, odpadní haldy, ...), či identifikovat kovové předměty. Díky možnému plošnému průzkumu je možné zkoumat architektonické stavby, které mají cihlovou konstrukci (hrady, zámky, kláštery) nebo také jeskyně, komunikace či rondely (Kuna et al., 2004).

Příkladem je prokázání atypického systému příkopového ohrazení z pozdní doby bronzové v obci Brozany, díky plošnému magnetometrickému průzkumu (Křivánek, 2012). Další příkladem je využití magnetometrie na lokalitě Zámka, kde již v polovině 19. století bylo objeveno pravěké a raně středověké hradiště. Na přelomu let 2005 a 2006 pak došlo k magnetometrickému průzkumu, jehož cílem bylo identifikovat vnější osídlení hradiště (Křivánek, 2010).

4.1.2. Geoelektrické metody

V roce 1946 provedl Richard Atkinson první geoelektrické odporové měření na lokalitě Dorchester-on-Thames. V roce 1956 pak byla použita první speciálně vyrobená aparatura

Angličanem Anthony Clarkem. Ta byla použita pro geofyzikální průzkum v archeologii na lokalitě Curotio, Wiltshire (Kuna et al., 2004).

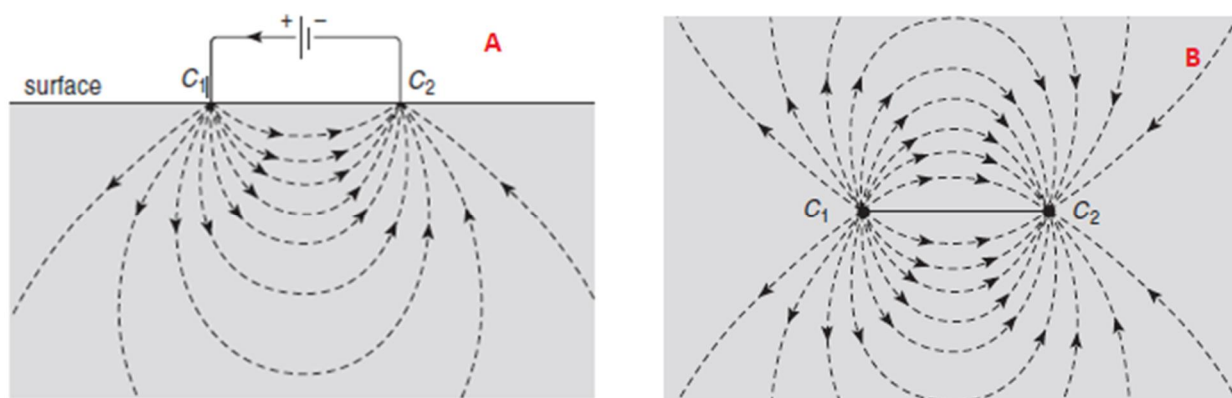
Podle Válka et al. (1972) jsou geoelektrické metody jednou z nejmladších součástí geofyzikálních metod, které sledují elektrické pole Země a jeho nehomogenity. Využívají přirozené i umělé elektrické pole. Lze praktikovat měření jak po profilech na zemském povrchu, tak i z letadla (Machová et al., 2017; Mareš et al., 1990; Válek et al., 1972). Pomocí sondování, odporových metod či spontánní polarizace dále využívají vodivost i měrný odpor horninového prostředí (Sedláček, 2013). Dále sleduje pole stejnosměrného i střídavého proudu. Tato metoda je charakteristická svým vysokým počtem dílčích metod, díky čemuž má příznivé uplatnění v řešení geologických otázek (Mareš et al., 1990; Válek et al., 1972). Podle Mussetta a Khana (2000) lze tyto metody využít i pro prospekci minerálů, mapování kontaminantů, archeologickým průzkumům atd. Následující tabulka (Tab. 4) je zaměřena na rozdělení geoelektrických metod podle Válka et al., (1972).

Tab. 4 Rozdělení geoelektrických metod podle Válka et al. (1972), upraveno.

| | | | | Elektrická pole | |
|----------------|---------------------------|------------------------|--|--|---|
| | | | | Přirozená | Umělá |
| Pozemní měření | Elektrického pole | Stejnoseměrného proudu | | Metoda spontánní polarizace | Metoda odporová (profilování, vertikální elektrické sondování) a metoda nabitého tělesa |
| | | Střídavého proudu | Harmonické | X | Metody: TURAM, SLINGRAM, radiokip |
| | Neharmonické | | Metody: telurická, magnetotelurická, AFMAG | X | |
| | Studium přechodného jevu | | X | Metoda vyzvané polarizace, metoda přechodného jevu | |
| Letecké měření | Elektrické | Střídavého proudu | Harmonické | X | Metoda indukce, metoda rotujícího elektromagnetického pole |
| | | | Neharmonické | Metoda AFMAG | X |
| | Studium přechodového jevu | | X | Metoda INPUT | |

Geoelektrické metody jsou další hojně využívané při archeologických průzkumech. Nejčastěji se využívají stejnosměrné a elektromagnetické geoelektrické metody (Machová et al., 2017; Mareš et al., 1990). Stejnoseměrné metody zkoumají rozložení elektrického potenciálu či

jeho gradientu stejnosměrného proudu. Pomocí elektrod lze měřit elektrické pole za předpokladu galvanického spojení se zemí (Jankovič et al., 2014). Využitím měrného odporu a vodivosti, lze zjistit proměnlivost měrného odporu ve zkoumaném prostředí (Jankovič et al., 2014; Machová et al., 2017; Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000; Sedláček, 2013). Ze stejnosměrných metod je nejrozšířenější odporové profilování. Pokud sledujeme horizontální změny, jde o symetrické odporové profilování (SOP). Při sledování vertikálních změn, jde o vertikální sondování (VES). Záleží především na uspořádání elektrod během průzkumu (Machová et al., 2017; Mareš et al., 1990; Milsom, 2003; Mussett a Khan, 2000). Hlavním principem těchto metod je proudění elektřiny mezi horninami. Na obr. 9 je znázorněn průchod proudu mezi elektrodami (C1 a C2), které jsou uzemněny a na nichž je připojen zdroj stejnosměrného napětí. Obrázek A pak znázorňuje průchod elektrického proudu na vertikálním řezu a obrázek B zobrazuje horizontální průchod elektrického proudu horninou (Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000).



Obr. 9: A) průchod elektrického proudu na vertikálním řezu, B) horizontální průchod elektrického proudu horninou (Mussett a Khan, 2000), upraveno.

Podle Milsoma (2003) jsou základními měřeními a sledovanými veličinami: napětí (U), elektrický proud (I), měrný odpor (ρ), měrná vodivost (γ), polarizovatelnost (η) a intenzita magnetického pole (H). Základní fyzikální vlastností minerálů je pak elektrický odpor. Při jeho měření u hornin závisí tedy na mnoha faktorech: mineralogické složení horniny a její nasycení vodou. Dále závisí na její struktuře, textuře, tlaku či její teplotě (Mareš et al., 1990; Milsom, 2003). V následujících tabulkách (Tab. 5 a Tab. 6) je zobrazen přehled měrných odporů vybraných hornin a minerálů podle Mareše et al. (1990) a Mussetta a Khana (2000).

Tab. 5: Měrné elektrické odpory vybraných sedimentárních, magmatických a metamorfovaných hornin (Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000), upraveno.

| Sedimentární hornina | Měrný odpor [Ωm] | Magmatické a metamorfované horniny | Měrný odpor [Ωm] |
|--------------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------|
| Hlíny | 10^{-1} až 10^2 | Žula, syenit | 10^2 až 10^6 |
| Jíly | 1 až 10^2 | Diabas, čedič, gabro | 10^2 až 10^5 |
| Křída | 50 až 150 | Čedič | 10 až 10^7 |
| Kvarcit | 10 až 10^8 | Gabro | 10^3 až 10^6 |
| Písky | 10^2 až 10^4 | Krystalické břidlice | 10 až 10^4 |
| Písky nasycené minerální vodou | 10^{-1} až 10 | Jílovité břidlice | 10 až 10^3 |
| Pískovce | 10 až 10^8 | Křemence | 10^3 až 10^5 |
| Vápence | 50 až 10^7 | Mramory | 10^2 až 10^8 |
| Opuky | 10 až 10^2 | Ruly | 10^2 až 10^4 |
| Slepence | 10 až 10^4 | | |
| Slín | 1 až 10^2 | | |
| Sádrovce | 10^4 až 10^6 | | |
| Štěrk | 10^2 až 5000 | | |

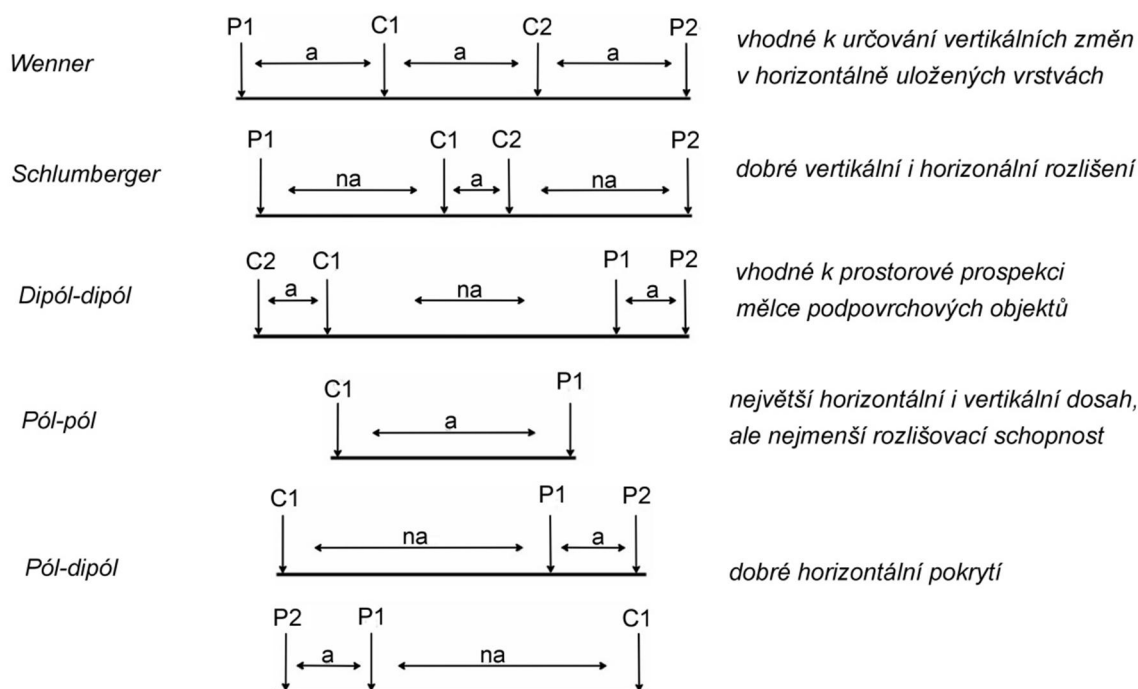
Tab. 6: Měrné elektrické odpory vybraných minerálů a rud (Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000), upraveno.

| Minerály a rudy | Měrný odpor [Ωm] | Minerály a rudy | Měrný odpor [Ωm] |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|------------------------|
| Galenit | 10^{-3} až 10^2 | Muskovit | 10^{12} |
| Grafit | 10^{-4} až 10^{-3} | Pyrit | 10^2 |
| Halit | 10 až 10^{13} | Ropa | 10^{10} až 10^{16} |
| Hematit | 10 až 10^5 | Sfalerit | 10^3 až 10^6 |
| Chalkopyrit | 10^{-5} až 0.3 | Siderit | 10 až 10^3 |
| Kalcit | 10^8 až 10^{12} | Síra | 10^{13} až 10^{15} |
| Křemen | 10^{10} až 2×10^{14} | Stříbro | 1.6 až 10^{-8} |
| Magnetit | 1 až 10^5 | Sylvín | 10^{14} až 10^{15} |

Při odporovém profilování existuje řada kombinací, jak uspořádat proudové a měřicí elektrody (mají přesně definované rozmístění elektrod). Elektrody jsou také různě značeny: A, B,

C,... (proudové elektrody); M, N, P, ... (měřicí elektrody). Pomocí proudových (uzemňovacích) elektrod je pak do podloží zaveden elektrický proud (I) a měřicími elektrodami následně změříme napětí ΔU (Mareš et al, 1990; Mussett a Khan, 2000).

Kombinací odporového profilování a vertikálního sondování jde o multielektrodové profilování (ERT = electrical resistivity tomography), které slouží k měření odporu zkoumaného horninového podloží. Při tomto měření je zapojeno více elektrod v jedné linii, podél které se zjišťují hodnoty měrného odporu (Milsom, 2003). Podle Mussetta a Khana (2000) lze při ERT použít různá roztažení elektrod, které mají rozdílné rozmístění (obr. 10).

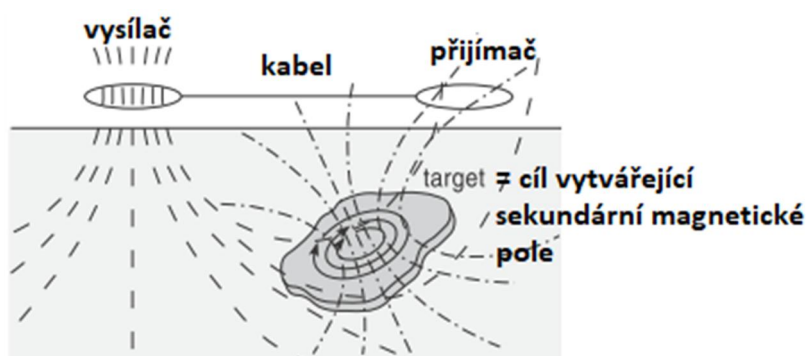


Obr. 10. Různé uspořádání elektrod při odporovém profilování. C1, C2 – centrální elektrody; P1, P2 – potenciálové elektrody; a – rozestup proudových elektrod; n – faktor, který určuje poměr vzdálenosti mezi C a P; na – v závislosti na rozestupu P (u každého měřicího uspořádání je různé). Upraveno z (Loke, 1999).

Jednou z dalších geoelektrických metod je elektromagnetické profilování (Mussett a Khan, 2000). Řadíme mezi ně dipólové elektromagnetické profilování (DEMP), georadar a magnetotelurické měření.

Elektromagnetické profilování je závislé na elektromagnetickém poli a fyzikálních vlastnostech měřených hornin (podloží). Používají se především v oblastech, které mají vysoký

odpor při povrchových vrstvách, které nelze změřit proudovými elektrodami (Mareš et al., 1990; Mussett a Khan, 2000). Pracují na principu elektromagnetické indukce (obr. 11). Vysílač (tvořený cívkou), zajišťuje napájení střídavým proudem, což vytvoří primární magnetické pole. Toto pole následně prochází jak nad zemí, tak i pod zemí. Pokud je v podloží detekován elektricky vodivý materiál, začne jím procházet střídavý proud, který vytváří sekundární magnetické pole a je na povrchu zjištěno primární cívkou na povrchu (Mussett a Khan, 2000).



Obr. 11: Princip elektromagnetické indukce (Mussett a Khan, 2000), upraveno.

Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP) se provádí konduktometrem, který měří zdánlivou vodivost země. Zdrojem je magnetický dipól, vyvolaný malou cívkou, kterou prochází střídavý proud. Využívá magnetickou indukci (není nutný kontakt s povrchem). Tato metoda se využívá na hledání nehomogenit pod povrchem Země. Výhodou je rychlost a dobrá rozlišovací prostorová schopnost (Mareš et al., 1990). Lze ji využít i v archeologii.

Při archeologickém průzkumu lze tyto metody použít pro prospekci různých památek, ale také před zahájením různých terénních prací (odkryvů), pro zmapování prostředí. Jejich použitím je možné vyhledávat jak zděné i kamenné konstrukce (sídliště, hradiště, města) a různé liniové zahloubené objekty (příkopy, zdi, hradby), ale také i podpovrchové duté objekty (sklepy, studny, chodby). Dále lze zkoumat různá pohřebiště, hrobové komory, vyhledávat skříňkové hroby atd. Díky geoelektrickým metodám lze identifikovat terénní úpravy v místech, kde jsou vytěžené lomy, výrobní objekty, kamenné pece. Můžeme také rozlišovat zaniklé povrchové i podpovrchové těžené prostory (Kuna et al., 2004).

4.1.3. Seismika

Seismika poskytuje informace o geologické stavbě Země, jejích fyzikálních vlastnostech a složení. Je založena na přirozeně (zemětřesení) či uměle (exploze, úder závažím na povrch) vyvolaných elastických vlnách, které se od zdroje vyvolání vln šíří pod povrch všemi směry a pronikají do hloubky. Tím, že se vlny šíří heterogenním prostředím dochází k jejich lámání / odrazení (refrakce / reflexe) na hranici geologického rozhraní (Kearey et al., 2002; Mareš et al., 1990; Válek et al., 1972). Podle Válka et al. (1972) platí, že u vyvřelých / metamorfovaných hornin je rychlost šíření vln podstatně větší než u hornin s vysokou porozitou např. pískovce (Tab. 7). Doba příchodu odražené vlny, které se pak vrací na povrch, lze pomocí přístrojů změřit. Díky tomu, lze získat další informace jako třeba hloubku geologického rozhraní. Využívá se na určování horizontálních hranic mezi vrstvami (Mussett a Khan, 2000).

Tab. 7: Rychlost šíření seismických vln v horninách podle Mareše et al. (1990).

| Hornina nebo prostředí | Rychlost v_p ($m s^{-1}$) | Hornina nebo prostředí | Rychlost v_p ($m s^{-1}$) |
|---|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Vzduch | 310 až 360 | Vápenec, dolomit | 2600 až 6500 |
| Rozvětralá půdní vrstva, štěrk, suchý písek | 150 až 600 | Anhydrit, kamenná sůl | 4500 až 6000 |
| Suchá jílovitá půda | 300 až 900 | Metamorfované horniny | 4000 až 6000 |
| Vlhký písek | 600 až 1300 | Žula | 4000 až 6000 |
| Voda | 1430 až 1590 | Gabro | 6000 až 6500 |
| Pískovec, jílovec | 1500 až 4500 | Peridotit | 6500 až 7500 |

V archeologii lze tuto metodu uplatnit především při vyhledávání objektů ve velkých hloubkách, kam jiné metody nedosáhnou (Mussett a Khan, 2000).

5. Metodika

5.1. Lokalita a vytipování prospekčních oblastí

Prospekční oblast se nachází ve východní části intervilánu obce Moravičany, která se rozkládá na sprašovém návrší před soutokem Třebůvky s Moravou. Stojí zde farní kostel sv. Jiří s původním hřbitovem, který byl později rozšířen severním směrem (Faltýnek et al., 2018).

Vytipování vhodných ploch ke geofyzikální prospekci v této oblasti komplikovala skutečnost, že většina oblasti kolem kostela sv. Jiří není veřejná, tudíž je oplocená a nepřístupná. Oblast proto byla rozdělena na čtyři plochy.

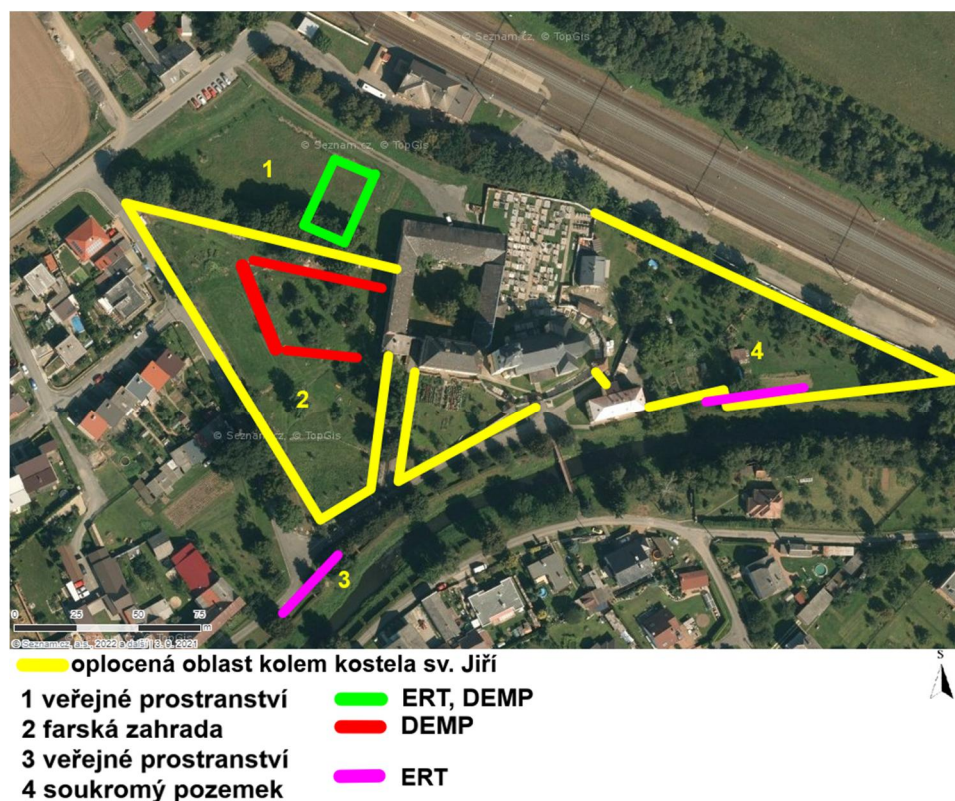
Plocha č. 1 je volně přístupná ležící mezi železniční stanicí na severu a farskou zahradou na jihu. Její jihovýchodní část přiléhá k farské stodole a pokračuje severozápadním směrem k pozemní komunikaci (obr. 12: 1). V tomto místě proběhlo jak ERT (Profily P1 – P4), tak i DEMP (plocha M1) měření. Původně se zde uvažovalo i o seismickém měření, od kterého bylo vzhledem k mělkému povrchu upuštěno. Cílem této prospekce bylo zachycení průběhu středověké hradby.

Plocha č. 2 je pozemek náležící k faře, která je dočasně uzavřena. Jedná se o farní zahradu (obr. 12:1), která se nachází JJZ směrem od železniční stanice Moravičany, její východní strana přiléhá ke stodole patřící k faře a západní a jižní strana kopíruje pozemní komunikaci vedoucí podél Třebůvky. Tato plocha je veřejně nepřístupná. Nicméně se zde podařilo provést tři elektromagnetická měření (profily M1 – M3), i když s časově omezenými možnostmi. Cílem této prospekce bylo možné zachycení zahloubaných sídlištních objektů.

Plocha č. 3 (obr. 12: 3) se nachází JJZ směrem od farské zahrady. Jedná se o pás travnaté plochy protažený mezi pozemní komunikací na severu a říčkou Třebůvkou na jihu. Jde o pás travnaté plochy protažený severovýchodně směrem k farním pozemkům, který se nachází mezi pozemní komunikací na severu a říčkou Třebůvkou na jihu. Zde byl vytvořen jeden ERT profil (P5) a to v místě, kde už prospekce proběhla v roce 2013. Lze tak porovnat výsledky měření. Vzhledem k výskytu pozemní komunikace v přilehlém okolí se i zde upustilo od seismické prospekce.

Poslední vytyčenou plochou je plocha č. 4. Jedná se o soukromé zahrady (obr. 12: 4), které se táhnou podél silniční komunikace souběžné s železniční tratí ve směru SSZ-JJV. Zahrady jsou veřejně nepřístupné. Shodou okolností bylo možné v jedné zahradě, nacházející se

v jejíž části této plochy, provést jedno ERT měření (profil P6) i když s časovým omezením. Tato zahrada kopíruje protékající říčku Třebůvku na jejím levém břehu. V tomto místě se podle Šlézarova nákresu z roku 2017 (obr. 5) dá předpokládat zachycení průběhu koryta.



Obr. 12. Mapa studované oblasti s vyznačením situace kolem kostela sv. Jiří včetně provedené geofyzikální prospekce (www4), upraveno.

5.2. Terénní etapa

Během terénní etapy byla použita 1 – 3 měřicí pásma, využitá podle prováděného profilování. Jedno měřicí pásmo bylo většinou zapotřebí ke stanovení délky profilu a jeho orientaci. Pokud šlo o vytvoření souběžných profilů, byla použita další měřicí pásma. Pro zaznamenání souřadnic profilů byl využit GPS lokátor. Dále byl použit nivelační přístroj, který se skládá z otočného dalekohledu připevněného na stativ, jehož součástí je i měřicí lať. Tento přístroj posloužil k výškovému měření provedených profilů. Tato metodika je popsána i mé vlastní bakalářské práci, kde výzkum proběhl víceméně stejným způsobem (Tejkalová, 2017).

Za účelem geofyzikální prospekce byl použit automatický geoelektrický systém ARES (GF Instruments, ČR), vícerozsahový elektromagnetický měřič vodivosti CMD-4 (GF

Instruments, ČR) a elektromagnetický měřič vodivosti CMD-Mini Explorer (GF Instruments, ČR).

5.2.1. ARES

Automatický geoelektrický systém ARES (GF Instruments, ČR) byl použit při vytváření ERT profilů. Tento geoelektrický systém byl využit pro stanovení a zobrazení měrného odporu podloží. Skládá se z řídicí jednotky, multielektrokových kabelů, nerezových elektrod a T-kusu, který slouží k propojení řídicí jednotky a multielektrodového kabelu. Pro jeho funkčnost je také zapotřebí externí 12V baterie (www1).

Pro úspěšnou prospekci bylo zapotřebí řádně uzemnit nerezové elektrody podél vytyčeného profilu, pro zajištění vodivého kontaktu s podložím (Obr. 12). Vzdálenost mezi elektrodami je dána tím, jakých chceme dosáhnout hloubek a rozlišení při prospekci. Na tyto elektrody následně za pomoci gumiček připevníme multielektrodové kabely a s využitím T-kusu připojíme k řídicí jednotce. S připojenou baterií pak můžeme začít s obsluhou tohoto přístroje a nastavit námi zvolené parametry měření. Pro profily v této diplomové práci bylo zvoleno Wenner-Schlumbergerovo nastavení (uspořádání elektrod). Před samotným měřením ještě dojde ke kontrole správnosti uzemnění elektrod. V případě špatného kontaktu s podložím je přístroj schopen tuto chybu zaznamenat a určit chybně uzemněnou elektrodu.

5.2.2. CMD-4

Pro měření metodou dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) byl použit vícerozsahový elektromagnetický přístroj k měření vodivosti podloží CMD-4 (GF Instruments, ČR). CMD-4 se skládá z řídicí jednotky a sondy. Řídicí jednotka nabízí pět měřících režimů – manuální, kontinuální, manuální s GPS, kontinuální s GPS a vyhledávací režim. Jde o bezkontaktně měřící přístroj, díky němuž lze provést rychlé měření vodivosti a to za všech přírodních podmínek (i suchá a zmrzlá půda). Při použitém kontinuálním měření se data ukládala v intervalu každých 0,5 sekund. Přístroj, kterým byla měřena zdánlivá vodivost (mS/m), má rozlišovací schopnost 0,1 mS/m. Je také možné nastavit efektivní hloubkový dosah na režim „low“ (3 m), který byl použit, a režim „high“ (6 m), (www2).

5.2.3. CMD-Mini Explorer

Pro další měření vodivosti byl použit elektromagnetický měřič CMD-Mini Explorer (GF Instruments, ČR). S tímto měřičem je poměrně snadná manipulace. Skládá se jen z vodící tyče

s bluetooth adaptérem na jejímž konci je připevněna sonda (Obr. 12). Přístroj, který byl nastaven na režim „low“, lze nastavit také na režim „high“. Režim „low“ využívá k měření nízkých frekvencí. Díky tomuto přístroji je možné získat informace o horninovém podloží při jeho povrchu, jelikož měření je provedeno v 3 efektivních hloubkách, což poskytuje poměrně detailní obraz elektrické vodivosti vrstev v různých hloubkách podél profilu.

5.3. Laboratorní etapa

Naměřená data z ERT prospekce lze stáhnout z řídicí jednotky do PC, kde jsou dále zpracována v systému Ares v 5.3. Data ze DEMP lze stáhnout přes USB do PC. Získaná data mohou být následně exportována do dalších interpretačních programů jako je Surfer 10 (Golden Software), RES2DINV (Geomoto Inc., Malajsie), případně RES3DINV (Geomoto Inc., Malajsie). Využitím programu Surfer 10 lze doplnit k datům nadmořské výšky, případně vytvořit vektorové 3D mapy. Program RES2DINV a RES3DINV lze využít k vytvoření 2D / 3D modelů pomocí interpolace naměřených dat, přičemž se nám vytvoří model měrného odporu inverzní metodou nejmenších čtverců. V kombinaci programů Corel DRAW a Zoner Photo Studio X byly modely dále zpracovány a využity při tvorbě mapových podkladů.



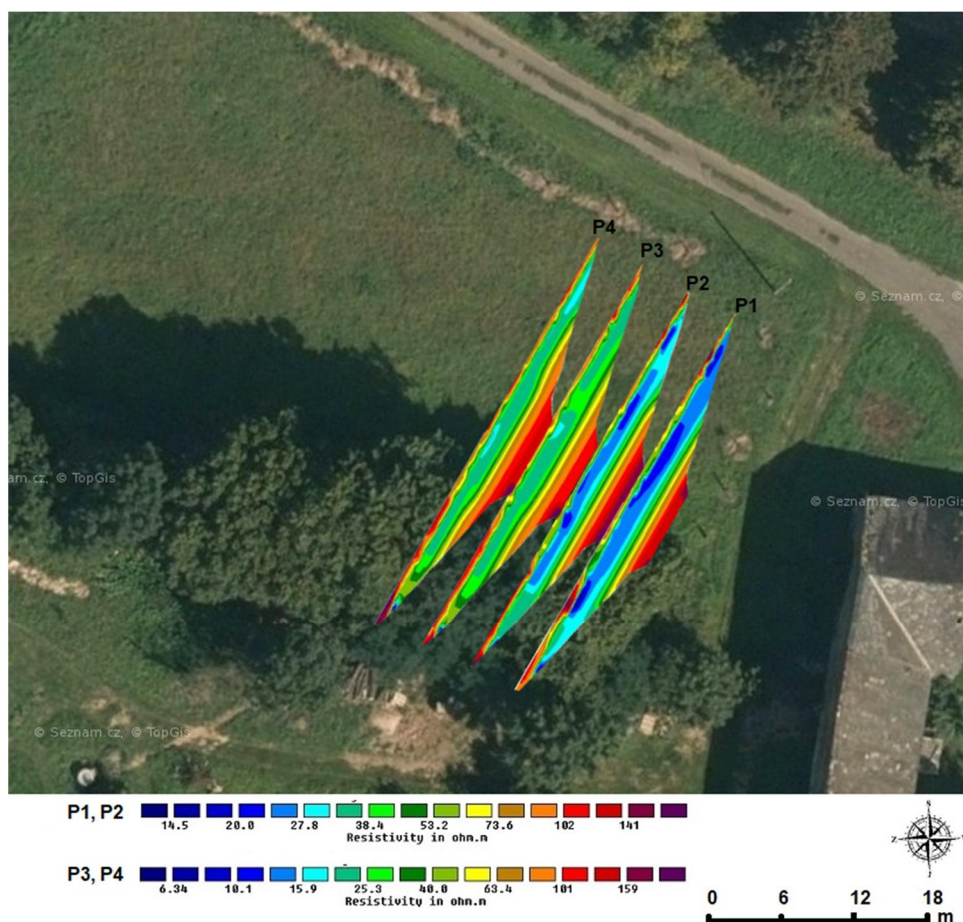
Obr. 13. A) CMD-Mini Explorer 6L, B) ERT prospekce, foto autor.

6. Výsledky

6.1. Elektrická odporová tomografie

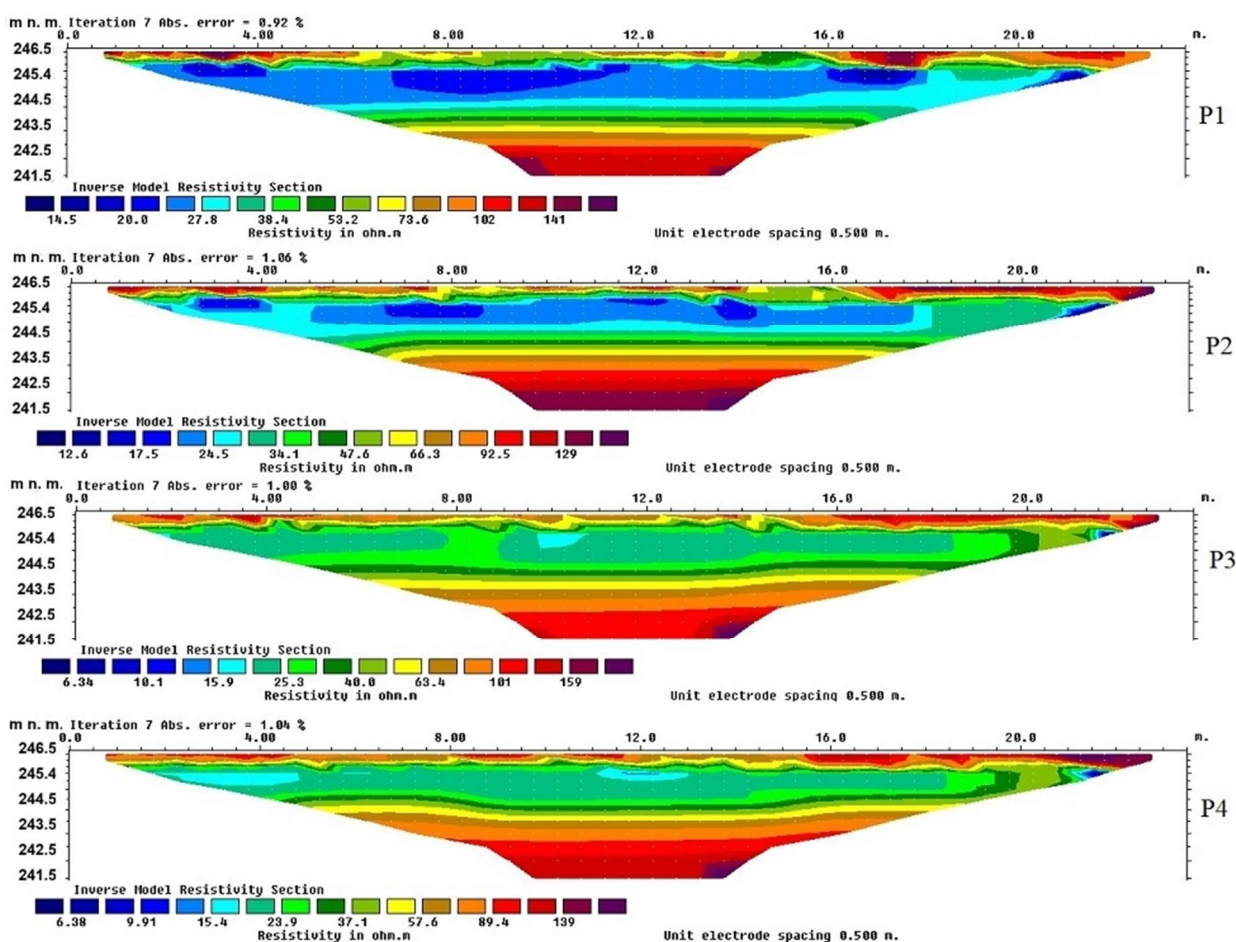
6.1.1. Profily P1 – P4

Všechny tyto profily byly vedeny jihozápadním směrem do blízkosti oplocení farské zahrady. Délka jednotlivých profilů byla 23,5 m s 1 m rozstupem mezi profily a roztečí elektrod 0,5 m. U každého profilu byly zaznamenány GPS souřadnice (příloha 3) v počátku profilu a na jeho konci. Pro pozdější laboratorní zpracování dat bylo také zapotřebí změřit za pomoci nivelačního přístroje nadmořskou výšku. A to na jednotlivých profilech, kde byla nadmořská výška měřena na 0 m, 10 m, 20 m a 23,5 m. Nadmořská výška se v této oblasti u měřených profilů pohybuje mezi 246,25 – 246,95 m n. m (tab. 8).



Obr. 14. 2D profily P1 – P4 zanesené do plochy (www4), upraveno.

Hodnoty měrného odporu se u vytvořených 2D (obr. 15) profilů pohybují v mezi 10 a 150 $\Omega\cdot\text{m}$. Inverze proběhla v 7 iteracích, přičemž se konečná hodnota RMS pohybuje mezi 0,9 – 1,1 %. U měřených profilů byly při povrchové vrstvě do hloubky $\sim 0,8$ m zaznamenány hodnoty odporu ~ 50 $\Omega\cdot\text{m}$ do ~ 145 $\Omega\cdot\text{m}$. Koncové části mezi ~ 20 m – $\sim 23,5$ m, které vykazují větší odporové hodnoty ~ 145 $\Omega\cdot\text{m}$ jsou zřejmě způsobeny přesahem profilů přes mírný val táhnoucí se východozápadním směrem podél oplocené farské zahrady. Směrem do hloubky $\sim 2,5$ m hodnoty měrného odporu klesají a pohybují se od ~ 10 $\Omega\cdot\text{m}$ po ~ 35 $\Omega\cdot\text{m}$. Profily dosahují hloubky 5 m. Přičemž od $\sim 2,5$ m hodnoty měrného odporu rovnoměrně stoupají směrem do hloubky. Pohybují se od ~ 55 $\Omega\cdot\text{m}$ do ~ 140 $\Omega\cdot\text{m}$. Nízko odporové hodnoty potvrzují výskyt nivních hlín, pod nimiž se nacházejí vysoko odporové říční štěrky.



Obr. 15. 2D ERT profily P1 – P4.

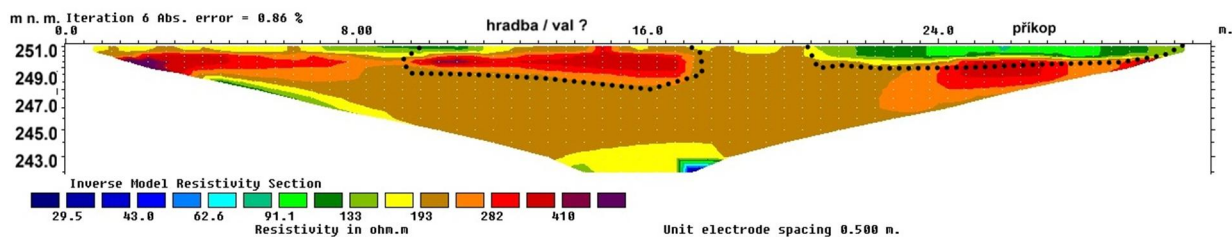
6.1.2. Profil P5

Profil P5 (obr. 16) vedený mezi pozemní komunikací a Třebůvkou (vedený jihozápadním směrem od kostela sv. Jiří) měl délku 31,5 m s rozpětím elektrod 0,5 m. I u tohoto profilu byly zaznamenány GPS souřadnice a naměřeny nadmořské výšky (příloha 3). Nadmořská výška profilu P5 klesá od jeho 0 m. Pohybuje se mezi 251 – 250 m n. m.



Obr. 16: Profil P5 vyneseny do mapy se zachyceným zdívkem kanálu, upraveno www4 + foto autor.

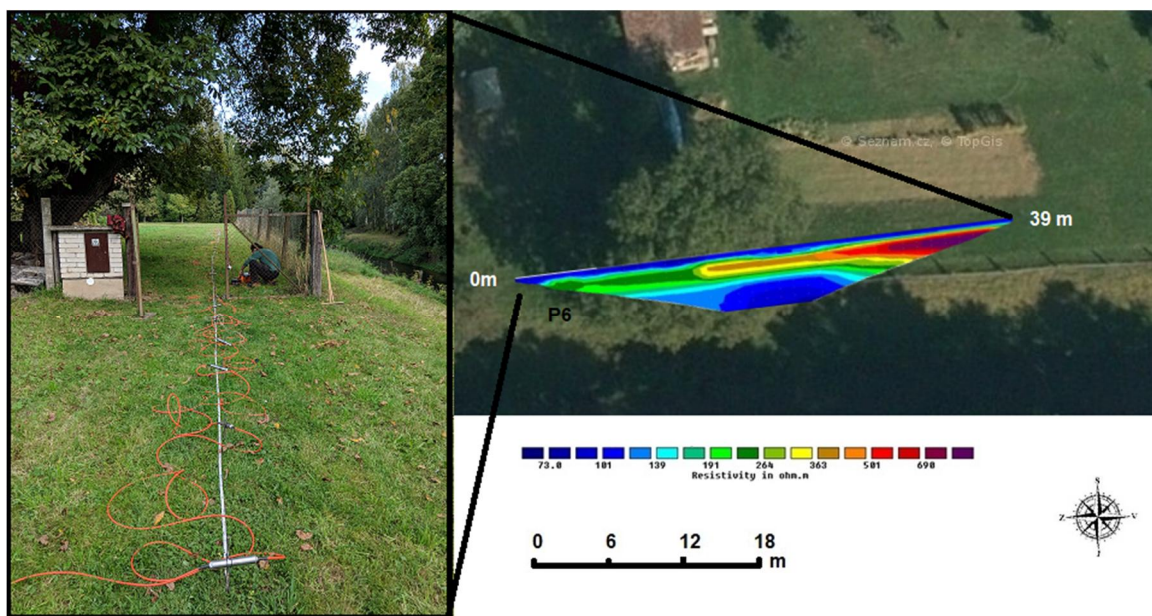
Hodnoty měrného odporu se u 2D profilu P5 (obr. 16) pohybují v mezi 90 a 410 Ω .m. Inverze pseudoprofilu proběhla v 6 iteracích, přičemž konečná hodnota RMS 0,86 %. Oproti předchozím profilům v místě s mělkým povrchem jsou tyto hodnoty vyšší. Tento profil dosáhl hloubky 6 m, přičemž už od ~ 1 m se odporové hodnoty pohybují mezi ~ 160 Ω .m – ~ 250 Ω .m. Je možné, že tyto vysoké hodnoty mají co do činění s pozemní komunikací v těsné blízkosti vedeného profilu. Zajímavější jsou však anomálie zaznamenané při povrchu o hloubky ~ 1 m. Odporová hodnoty mezi ~ 8 a ~ 17 m je ~ 300 Ω .m. Tuto anomálii si můžeme vysvětlit jako zdívko kanálu / valu, který dříve v těchto místech vedl. Další anomálie s nižšími hodnotami rezistivity (~ 90 – 120 Ω .m) v koncové části profilu (~ od 22 m) mohou značit výskyt příkopu.



Obr. 17. ERT profil P5.

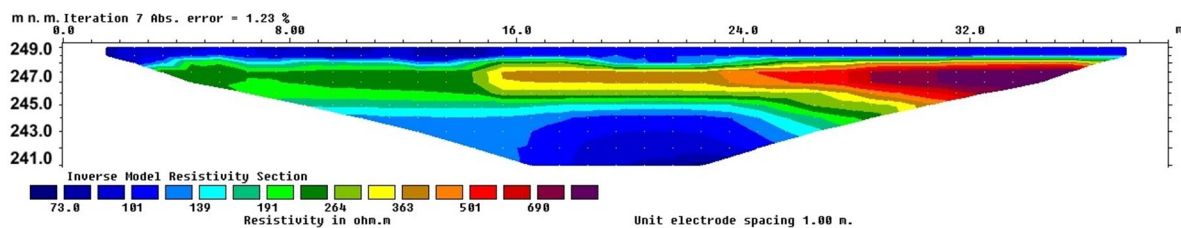
6.1.3. Profil P6

Posledním měřeným ERT profilem je profil P6 vedený v blízkosti kostela sv. Jiří přes soukromou zahradu (se souhlasem majitele). Profil P6 byl o délce 39 m nejdelším měřeným profilem s roztečí elektrod 1m (obr. 18) vedený JV od kostela sv. Jiří, podél Třebůvky. Opět zde byly zaznamenány GPS souřadnice a hodnoty nadmořské výšky. Výškové hodnoty se pohybují od 248 do 249 m n. směrem k 39 m.



Obr. 18: Profil P5 zanesený do mapy s fotografií jeho průběhu.

Hodnoty měrného odporu se u profilu P6 (obr. 19) pohybují v mezi ~ 60 a $\sim 700 \Omega.m$. Inverze pseudoprofilu proběhla v 7 iteracích, s konečnou hodnotou RMS 1,23 %. Profil dosáhl hloubky téměř 8 m. Povrchová vrstva do $\sim 1,2$ m a vrstva od $\sim 4 - 8$ m vykazuje hodnoty mezi ~ 70 a $100 \Omega.m$. Zajímavější je zde však anomálie zaznamenaná v hloubce $\sim 1,2$ m – ~ 4 m. Směrem od 0 m se hodnota odporu postupně zvyšuje. Do 16 m se hodnoty rezistivity pohybují do $\sim 200 \Omega.m$, mezi 16 – 24 m už dosahují hodnot $\sim 300 \Omega.m$ a od 24 m po 39 m už odpor dosahuje hodnot do $\sim 700 \Omega.m$. Takto vysoké hodnoty mohou značit průběh přirozeného koryta vyplněného štěrkem.



Obr. 19. ERT profil P5

6.2. Dipólové elektromagnetické profilování

Metoda DEMP byla použita na ploše č. 1 (obr. 12) proběhlo plošné měření (M1). Ve farské zahradě pak byly touto metodou vytvořeny 3 profily měrné vodivosti (obr. 20)

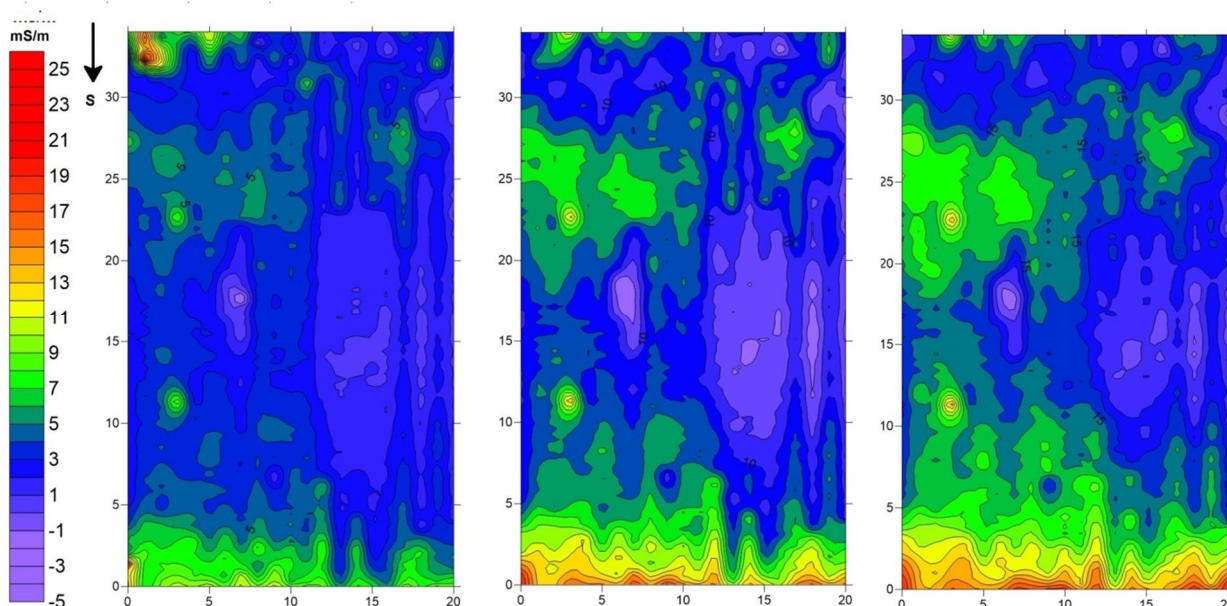


Obr. 20: Vytyčené CMD profily v mapě (www4), upraveno.

6.2.1. Plocha M1

V oblasti nacházející se mezi farskou zahradou a železniční stanicí bylo měřeno v ploše o rozměrech 34×20 m (M1). Hodnoty zdánlivé vodivosti pro plochu M1 se pohybovaly od -5 mS/m do 25 mS/m. Měření, které proběhlo za pomoci přístroje CMD-4 proběhlo v režimu low, který měří ve třech efektivních hloubkách (obr. 21). V okrajové části plochy od 0 m do ~ 5 m byly zaznamenány vyšší hodnoty měrné vodivosti zvyšující se směrem do hloubky ($\sim 10 - 25$ mS/m). Tato anomálie je vak způsobena místem prospekce. Jedná se o okrajovou část pole, které zde zřejmě původně bylo a které je souběžné s „příjezdovou“ cestou vedoucí směrem ke hřbitovu. Lze zde předpokládat nivní sedimenty. Další anomálie se objevuje zhruba mezi 20 a

30 m, kde se opět s rostoucí hloubkou zvyšuje nepatrně měrná vodivost ($\sim 5 - \sim 10$ mS/m). I tato anomálie je zřejmě dána místem prospekce. V těchto místech byl terén porušen a zasypán.



Obr. 21. DEMP (M1) – výsledné zpracování naměřených hodnot ve třech efektivních hloubkách.

6.2.2 Profily M2 – M4

Ve farské zahradě byly vytvořeny 3 profily M2 – M4 za pomoci přístroje CMD-Mini Explorer nastaveným v režimu low, který měří ve třech efektivních hloubkách. Profily měly různou délku. Profil M2 vedený kolmo od stodoly přes farskou zahradu měl délku 49 m, a byl tudíž nejdelším měřeným CMD profilem. M3 vedený ssz-jjv směrem měl délku 34 m a profil M4 vedený cca ze středu zahrady směrem k jižnímu rohu stodoly byl dlouhý 27 m.

Na profilu M2 byly zaznamenány dvě anomálie. První se nachází mezi $\sim 2 - 10$ m a druhá mezi ~ 20 a 35 m, kde směrem do podloží stoupá měrná vodivost. Ve třech efektivních hloubkách byly zaznamenány rostoucí hodnoty od ~ 10 do ~ 20 mS/m. Vzhledem k naměřeným hodnotám je možné, že se zde nachází pozůstatek středověkého ohrazení.

V sz. části profilu M3 je patrná jedna anomálie s měrnou vodivostí ~ 20 mS/m. Je možné, že v těchto místech kdysi probíhal příkop. Ostatní zaznamenané hodnoty se sice přibývající hloubkou zvyšují, drží se však hodnot kolem ~ 15 mS/m.

Poslední M4 profil se vykazuje také relativně nízkými hodnotami zdánlivé vodivosti kolem od ~ 5 do 10 mS/m a s přibývajícím hloubkou se hodnoty mírně zvyšují ($\sim 12 - \sim 18$ mS/m). Nejhlouběji dosahují hodnot až ~ 24 mS/m. Tato anomálie je však v místě výskytu stromů farní zahrady.

7. Diskuze a závěr

Během terénní etapy byly vytipovány plochy, kde by mohl být zaznamenán průběh středověkého opevnění či příkopu s ohledem na dosavadní výzkumy, které na lokalitě Moravičany „Na Soutoku“ proběhly. Při prvním terénním měření však muselo dojít k improvizaci, vzhledem k zaplacení oblasti, skrz kterou vytipovaná plocha probíhala. V dostupné ploše mezi farní zahradu a železniční stanicí tudíž proběhlo jak ERT, tak i DEMP měření s cílem porovnání geofyzikálních metod, případně částečného zachycení příkopu, který se vyskytoval v blízkosti stodoly (Faltýnek et al., 2018), (kap. 3. 1. 2., obr. 8). I když se zde uvažovalo i o seismickém měření, vzhledem k blízkosti železniční stanice a mělkému prostředí byla tato metoda vypuštěna. Srovnáním ERT a DEMP měření lze tedy předpokládat alespoň výskyt nízko odporových nivních hlín. Drobné anomálie zachycené jak v ERT profilech byly zachyceny i v plošném DEMP měření.

Další měřený profil (P5) bylo možné porovnat s téměř totožným ERT profilem (P11) provedeným v roce 2013, na němž byly zaznamenány anomálie v podobě příkopu a hradby / valu (Faltýnek et al., 2018). Tyto anomálie se shodovaly i s anomáliemi z profilu P5 z vlastního měření. Nicméně odporové hodnoty se od ~ 1 m do ~ 6 m hloubky neshodují. Hodnoty rezistivity u vlastního měření se pohybují mezi ~ 160 Ω .m – ~ 250 Ω .m, kdežto u profilu P11 odpovídají spíše hodnotě ~ 120 Ω .m. (příloha 2.3.). I v této ploše prospekce se uvažovalo o seismickém měření, které se opět ukázalo jako nevhodné vzhledem k těsné blízkosti silniční komunikace.

Tím, jak se změnila situace kolem kostela, se značně zkomplikovalo vytipování dalších vhodných ploch k měření. Shodou okolností se podařilo provést jeden delší ERT profil v soukromé zahradě. V těchto místech měření ještě neprobíhalo, nicméně zde bylo teoreticky možné zachytit průběh středověkého ohrazení podle Šlézarova nákresu (obr. 5). Anomálie zde byla zaznamenána a můžeme také uvažovat, že se jedná o nějaké přirozené koryto zasypané štěrkem, nicméně by zde bylo potřeba provést další geofyzikální měření. Dobrý záznam by mohlo poskytnout i plošné měření v těchto místech (jak ERT, tak i DEMP). Můžeme předpokládat, že jakékoliv destruktivní zkoumání zde není možné, vzhledem k tomu, že pozemek není obecní, ale patří do osobního vlastnictví.

O výsledcích z farské zahrady, můžeme jen spekulovat, vzhledem k rychlému a nedostatečnému měření. Díky měření z DEMPu lze však uvažovat, že zde mohl procházet příkop a je možné, že jsme jeho část zaznamenali. Nicméně by bylo dobré tyto výsledky podpořit ještě

nějakým geofyzikálním měřením a nevycházet jen z přibližné rekonstrukce hrazení podle Šlézarova nákresu (obr. 5).

Cílem této práce byla rekonstrukce středověké hradby. Z našeho provedeného měření můžeme pouze spekulovat o jejím výskytu jak ve farní zahradě, tak i na soukromém pozemku. Za jediná srovnatelná data můžeme považovat prospekci z roku 2013, kde došlo ke shodnosti nálezů.

Dalším cílem bylo také porovnání geofyzikálních metod a identifikace nejvhodnější metody pro danou problematiku. Při geofyzikálních pracích byla použita elektrická odporová tomografie, dipólové elektromagnetické profilování a uvažovalo se i o seismice. Seismické měření se ukázalo jako nevhodná metoda pro tuto oblast, vzhledem k možnostem prospekce. Elektrická odporová tomografie je poměrně oblíbená při archeologických prospekcích. Jedná se o metodu časově nenáročnou na průběh zaznamenávání dat, ovšem může být časově náročnější její příprava. Vše záleží na délce měřeného profilu a vzdálenosti rozteče elektrod. Čím kratší profil, tím rychlejší zaznamenání dat. U delšího profilu se zase můžeme dostat více do hloubky. Dipólové elektromagnetické profilování přístroji CMD-4 a CMD-Mini Explorer je asi časově nejméně náročné, vzhledem k tomu že se jedná o ručně přenosné zařízení. Díky němu se dá zachytit poměrně velká plocha v kratším čase než s ERT profilováním, kdežto ERT profilování má větší hloubkový dosah. Kromě vytyčení profilů a nastavení přístroje není nutná další příprava.

8. Seznam literatury

- Bína, J., Demek, J. (2012):** Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. – Průvodce, Academia, Praha, 344 s. (ISBN 978-80-200-2026-0)
- Čurda, J. (2001):** Hydrogeologie území. – In: Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000, List 14-43 Mohelnice. Český geologický ústav, Praha, s. 21-53. (ISBN 80-7075-347-1)
- Demek, J., Mackovčín, P. (eds.), (2006):** Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. – Vydání 2., AOPAK ČR, Brno, 580 s. (ISBN 80-86064-99-9)
- Demek, J., Mackovčín, P. (eds.), (2014):** Zeměpisný lexikon ČR. – Vydání 3. přepracované, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 610 s. (ISBN 978-80-7509-113-0)
- Faltýnek, K., Novák, J., Šlězár, P. (2018):** Raně středověké osídlení v Moravičanech na Soutoku. – In: Přehled výzkumů, Archeologický ústav AV ČR Roč. 59, č. 2, Brno, s. 119-159.
- Hašek, V., Meřínský, Z. (1991):** Geofyzikální metody v archeologii na Moravě. – Muzejní a vlastivědná společnost, Brno, 190 s. (ISBN 80-85048-33-7)
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z. (2002):** Geologická minulost České republiky. – 1. vydání, Academia, Praha, 436s. (ISBN 80-200-0914-0)
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z. (2011):** Geologická minulost České republiky. – 2. vydání, Academia, Praha. 440s. (ISBN 978-80-200-1961-5)
- Jankovič, L., Dostál, P., Frýbová, P. (2014):** Geofyzikální metody měření v geotechnice. – Geodrill, Brno, 96 s. (ISBN 978-80-214-4910-7)
- Kalábková, P. (2016):** Sonda do pravěku Moravičan. – In: Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci, společenské vědy č. 312, s. 5-20. (ISBN 978-80-85037-80-7)
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. (2002):** An introduction to geophysical exploration. – Wiley-Blackwell, 3rd edition, 288s. (ISBN 978-0632049295)
- Kouřil, P., Gryc, J. (2014):** Hradiska 10. – 12. století na severní Moravě a v českém Slezsku. In Funkcje grodów w państwach wczesnośredniowiecznej Eurpy środkowej. Wrocław–Głogów, s 99–171.

Křivánek, R. (2010): Geofyzikální průzkum hradišť Přerovská hůra a Zámka ohrožených stavebním záměrem. – In: Archeologické rozhledy LXII-2010, s. 480-491.

Křivánek, R. (2012): Přehled geofyzikálních měření na archeologických lokalitách Ústeckého kraje v letech 2009 – 2010. – In: Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 2009 – 2010, Most, s. 251-260.

Křivánek, R. (2013): Možnosti uplatnění geofyzikálních metod při průzkumech archeologických lokalit v jižních Čechách. – In: Archeologické výzkumy v jižních Čechách, Supplementum 9. 167-178s.

Kuna, M. et al. (2004): Nedestruktivní archeologie: Teorie, metody a cíle. – Academia, Praha, 555 s. (ISBN 80-200-1216-8)

Kvamme, K. L. (2005): Terrestrial remote sensing in archaeology. – In: Handbook of archaeological methods 1, Lanham, s. 423-477.

Machová, B., Šabatová, K., Milo, K., Biško, R., Tencer, T. (2017): Identifikace a dokumentace jako základ památkové ochrany pravěkých a raně středověkých nadzemních struktur. – Brno, 135 s.

Loke, M. H. (1999): Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. – A practical guide to 2-D and 3-D surveys, 61 s.

Mareš, S. et al. (1990): Úvod do užité geofyziky. – SNTL, Praha, 680 s. (ISBN 80-03-00427)

Milsom, J. (2003): Field Geophysics. Third Edition. John Wiley and Sons Ltd, London, 244 s. (ISBN 978-0470843475)

Mísař, Z. et al. (1983): Geologie ČSSR I, Český masív. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 336s. (ISBN 14-403-83)

Mussett, A. E., Khan, A. M. (2000): Looking into the Earth – An Introduction to Geological Geophysics. – Cambridge University Press, New York, 492 s. (ISBN 978-0521785747)

Sedláček, J. (2013): Úvod do užité geofyziky. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 81 s.

Svoboda, J. et al. (1964): Regionální geologie ČSSR: Český masív. Krystalinikum, Díl 1, Svazek 1. – Československá akademie věd, Praha, 377 s.

Šlézar, P. (2017): Hradiště v Moravičanech „Na Soutoku“ v raném středověku. – In: Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci, Společenské vědy č. 314, s. 103-116. (ISBN 978-80-85037-86-9)

Tejkalová, Z. (2017): Geofyzikální výzkum hradiska Tepenec. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 32s.

Válek, R., Gruntorád, J., Matolín, M., Mareš, S., Skopec, J. (1972): Užitá geofyzika pro SPŠ hornické. – SNTL, Praha, 188 s.

9. Internetové zdroje

www1: Ares – automatic resistivity systém. Dostupné z:

http://www.gfinstruments.cz/index.php?menu=gi&cont=ares_ov (cit. 20. 5. 2019)

www2: CMD – multidepth electromagnetic conductivity meters. Dostupné z:

http://www.gfinstruments.cz/index.php?menu=gi&smenu=iem&cont=cmd_&ear=ov (cit. 1. 11. 2022)

www3: CMD MiniExplorer Multidepth conductivity meter. Dostupné z:

<http://www.exiusa.com/item/electromagnetic/cmd-mini-61> (cit. 12. 10. 2020)

www4: Mapy.cz. Dostupné z:

<https://mapy.cz/letecka?x=16.9696203&y=49.7574023&z=18&l=0> (cit. 20. 5. 2019)

10. Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1. Vyšší geomorfologické jednotky České republiky (Bína a Demek, 2012), upraveno.</i> | 9 |
| <i>Obr. 2. Rozložení geomorfologických jednotek východní části Krkonošsko-jesenické soustavy s vyznačením zájmové oblasti a jejich sousedních jednotek (Bína a Demek, 2012), upraveno.</i> | 10 |
| <i>Obr. 3. Mohelnická brázda a její okrsky (Bína a Demek, 2012).</i> | 11 |
| <i>Obr. 4. Profil sondy S1/63. 1) podložní jílovitá hlína, 2) černá jílovitá hlína, 3) tvořící pruh napříč sondou, 4) hnědočerná jílovitá hlína, 5) tmavě černá kyprá kulturní vrstva, 6) vrstva hrubšího štěrku, 7) jemný žlutý písek, 8) žlutošedá písčité hlína (Faltýnek et al., 2018), upraveno.</i> | 14 |
| <i>Obr. 5: Přibližná rekonstrukce rozlohy hradiště (?). Tmavě šedá – opevněný areál, světle šedá – osídlený areál mimo opevnění podle Šlézara (2017).</i> | 15 |
| <i>Obr. 6. Polohy archeologických výzkumů v Moravičanech „Na Soutoku“: 1) sběry na hřbitově, faře a na farském dvoře, 2) výzkum z roku 1960, 2010 a 2014, 3) výzkum z roku 1963, 4) výzkum z roku 1963, 5) sběr z roku 1985, 6) sběr z let 1986-1987, 7) výzkum Národního památkového ústavu z roku 2013 (Šlézar, 2017).</i> | 16 |
| <i>Obr. 7. Polohy sondáží z roku 1960 (fialová), 1963 (červená), 2013 (modrá), 2014 (zelená) upraveno podle Faltýnka et al., (2018).</i> | 19 |
| <i>Obr. 8. Polohy profilů (P1 – P4, P6 – P11) a ploch (1/2014 a 1/2016) z geofyzikální prospekce z roku 2013, 2014 a 2016. Podle M. Monika, digitalizace J. Grégr (Faltýnek et al., 2018).</i> | 20 |
| <i>Obr. 9: A) průchod elektrického proudu na vertikálním řezu, B) horizontální průchod elektrického proudu horninou (Mussett a Khan, 2000), upraveno.</i> | 26 |
| <i>Obr. 10. Různé uspořádání elektrod při odporovém profilování. C1, C2 – centrální elektrody; P1, P2 – potenciálové elektrody; a – rozestup proudových elektrod; n – faktor, který určuje poměr vzdálenosti mezi C a P; na – v závislosti na rozestupu P (u každého měřicího uspořádání je různé). Upraveno z (Loke, 1999).</i> | 28 |
| <i>Obr. 11: Princip elektromagnetické indukce (Mussett a Khan, 2000), upraveno.</i> | 29 |
| <i>Obr. 12. Mapa studované oblasti s vyznačením situace kolem kostela sv. Jiří včetně provedené geofyzikální prospekce (www4), upraveno.</i> | 32 |
| <i>Obr. 13. A) CMD-Mini Explorer 6L, B) ERT prospekce, foto autor.</i> | 34 |
| <i>Obr. 14. 2D profily P1 – P4 zanesené do plochy (www4), upraveno.</i> | 35 |
| <i>Obr. 15. 2D ERT profily P1 – P4.</i> | 36 |
| <i>Obr. 16: Profil P5 vyneseny do mapy se zachyceným zdívem kanálu, upraveno www4 + foto autor.</i> | 37 |
| <i>Obr. 17. ERT profil P5.</i> | 38 |
| <i>Obr. 18: Profil P5 zaneseny do mapy s fotografií jeho průběhu.</i> | 38 |
| <i>Obr. 19. ERT profil P5.</i> | 39 |
| <i>Obr. 20: Vytyčené CMD profily v mapě (www4), upraveno.</i> | 39 |
| <i>Obr. 21. DEMP (M1) – výsledné zpracování naměřených hodnot ve třech efektivních hloubkách.</i> | 40 |

11. Přílohy

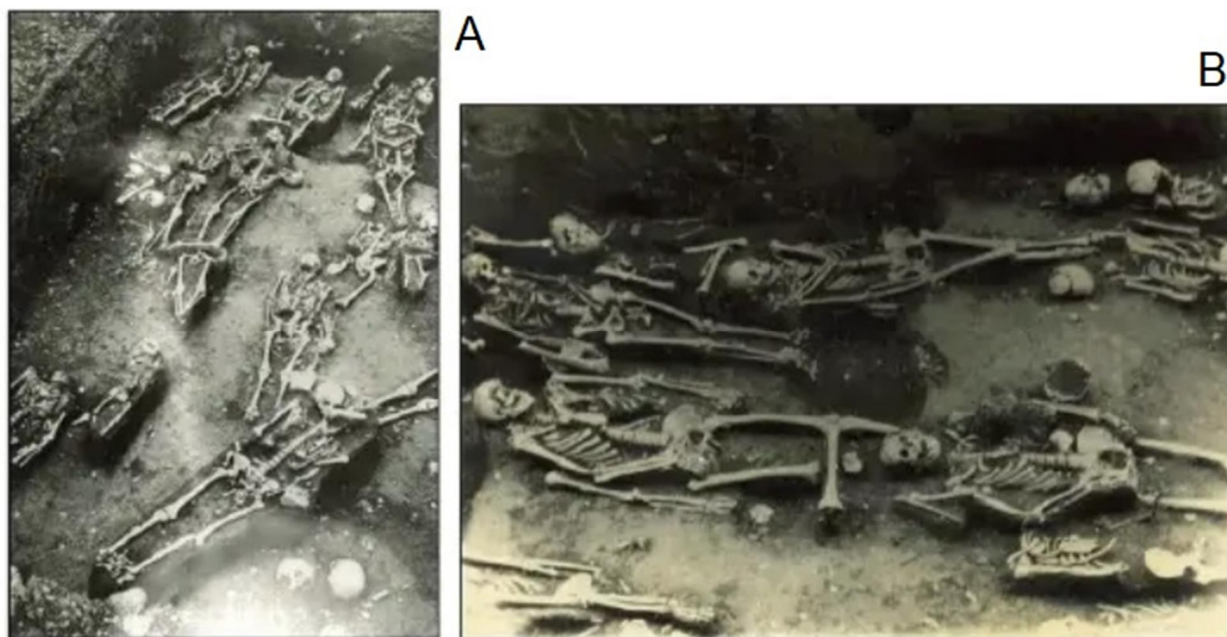
Příloha 1 – Sondové nálezy

Příloha 2 – Geofyzikální nálezy z let 2013, 2014 a 2016

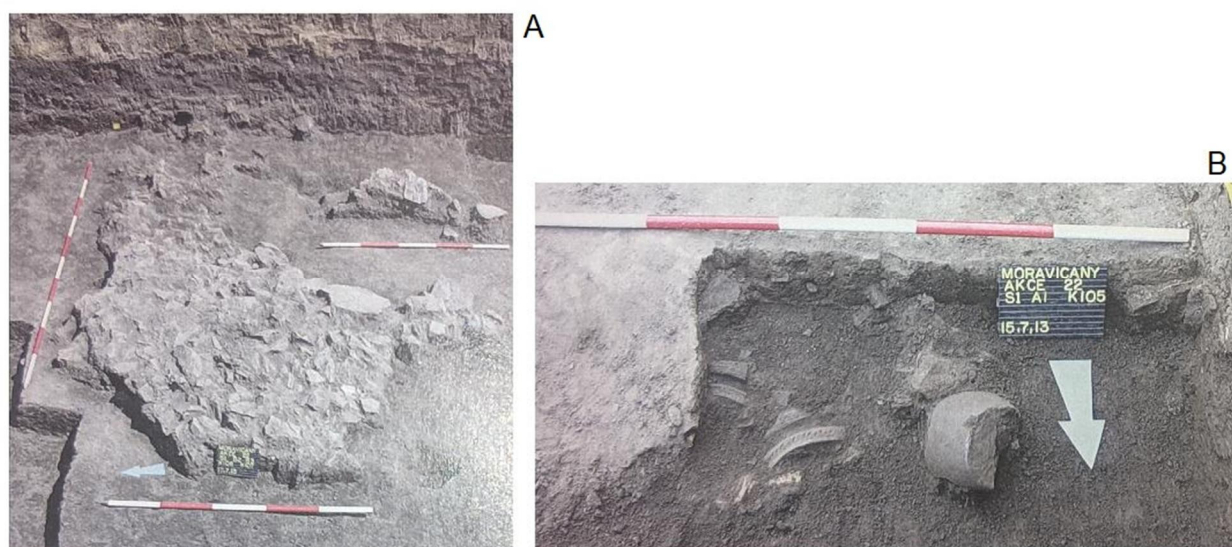
Příloha 3 – GPS souřadnice a naměřené nadmořské výšky

Příloha 4 – DEMP (M2 – M4)

Příloha 1 – Sondové nálezy



Příloha 1. 1. Nalezené kostrové hroby ze sondy S1/60 z roku 1960. A - foto z archivu J. Adamce, B – foto z pozůstalosti J. Horkého (Faltýnek et al., 2018), upraveno.

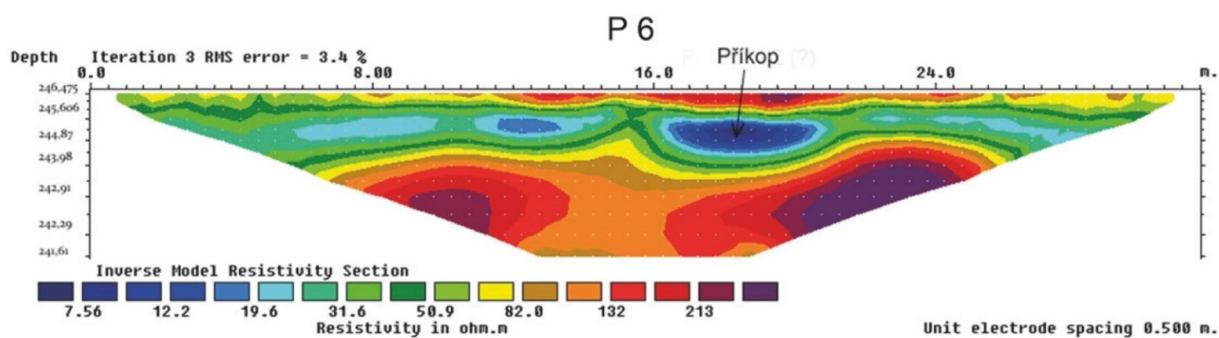
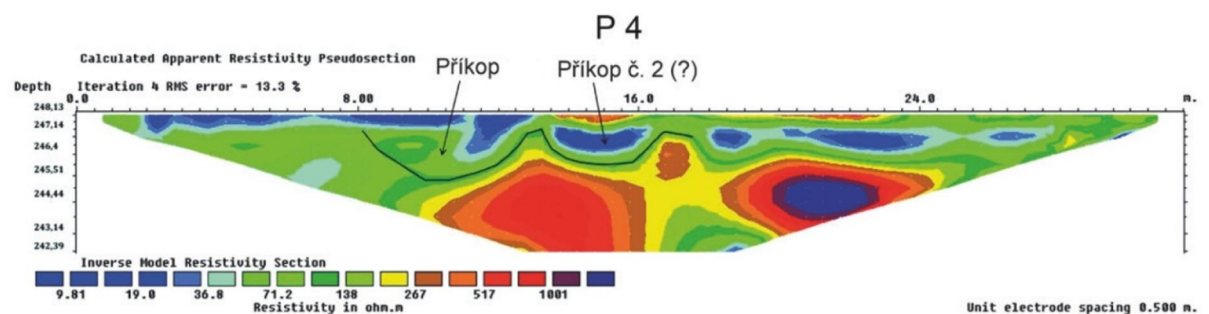


Příloha 1. 2. A) kamenná destrukce, B) torzo keramických nádob. A i B v horizontu 1. pol. 13. stol. (Faltýnek et al., 2018), upraveno.

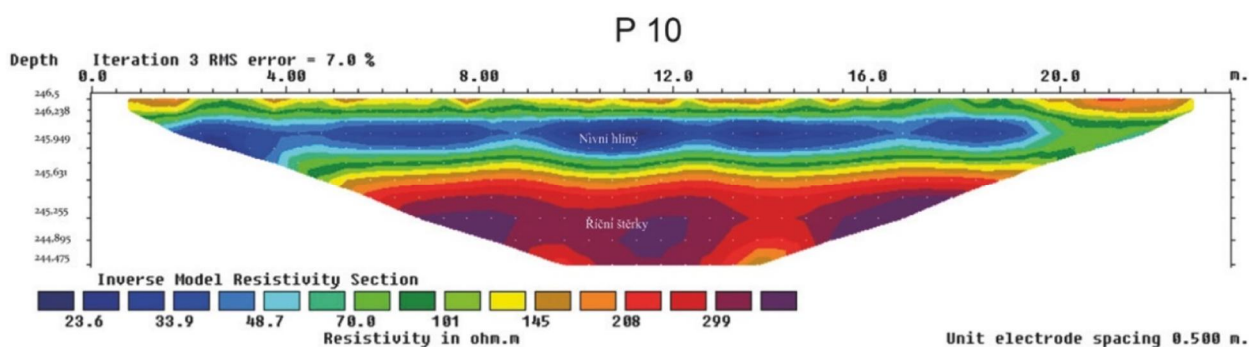


Příloha 1. 3. A – jihozápadní část sondy S1/14 s vrstvou kamenů (destrukce?), B – kostrové hroby v severovýchodní části sondy S1/14 (Faltýnek et al., 2018), upraveno.

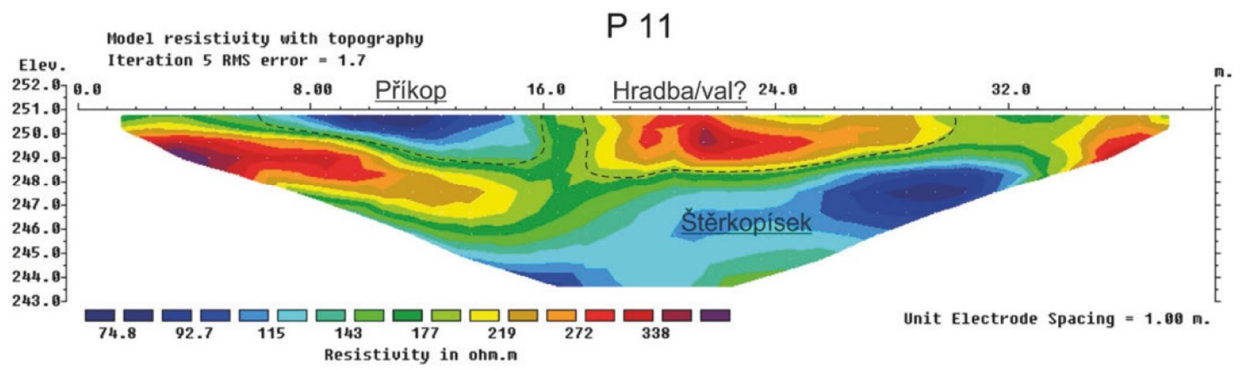
Příloha 2 – Geofyzikální nálezy z let 2013, 2014 a 2016



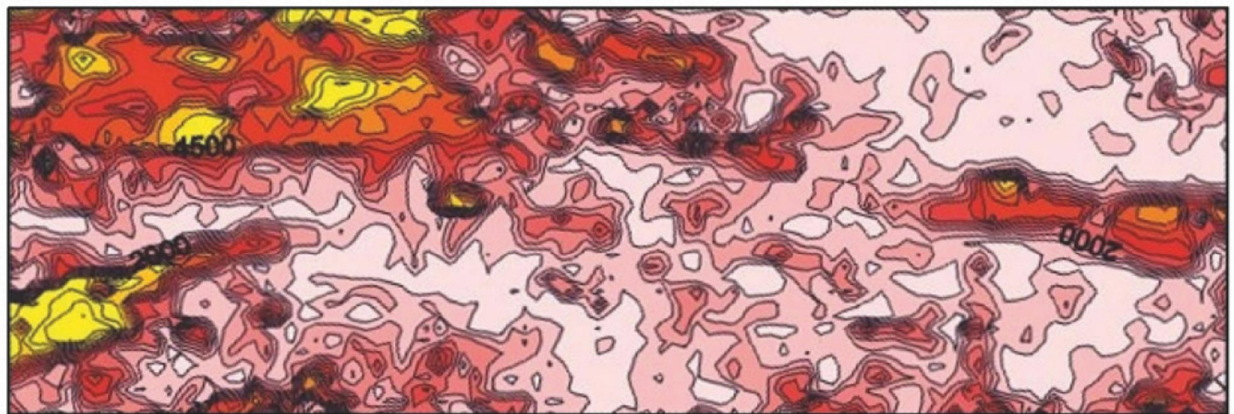
Příloha 2. 1. Geofyzikální prospekce z roku 2013 (profily P4 a P6) podle M. Monika, digitalizace J. Grégr (Faltýnek et al., 2018).



Příloha 2. 2. Geofyzikální prospekce z roku 2013 (profil P10) podle M. Monika, digitalizace J. Grégr (Faltýnek et al., 2018).



Příloha 2. 3. Geofyzikální prospekce z roku 2014 (profil P11) podle M. Monika, digitalizace J. Grégr (Faltýnek et al., 2018).



plocha r. 2016



Příloha 2. 4. Geofyzikální prospekce z roku 2016 (plocha 1/2016) podle M. Monika, digitalizace J. Grégr (Faltýnek et al., 2018).

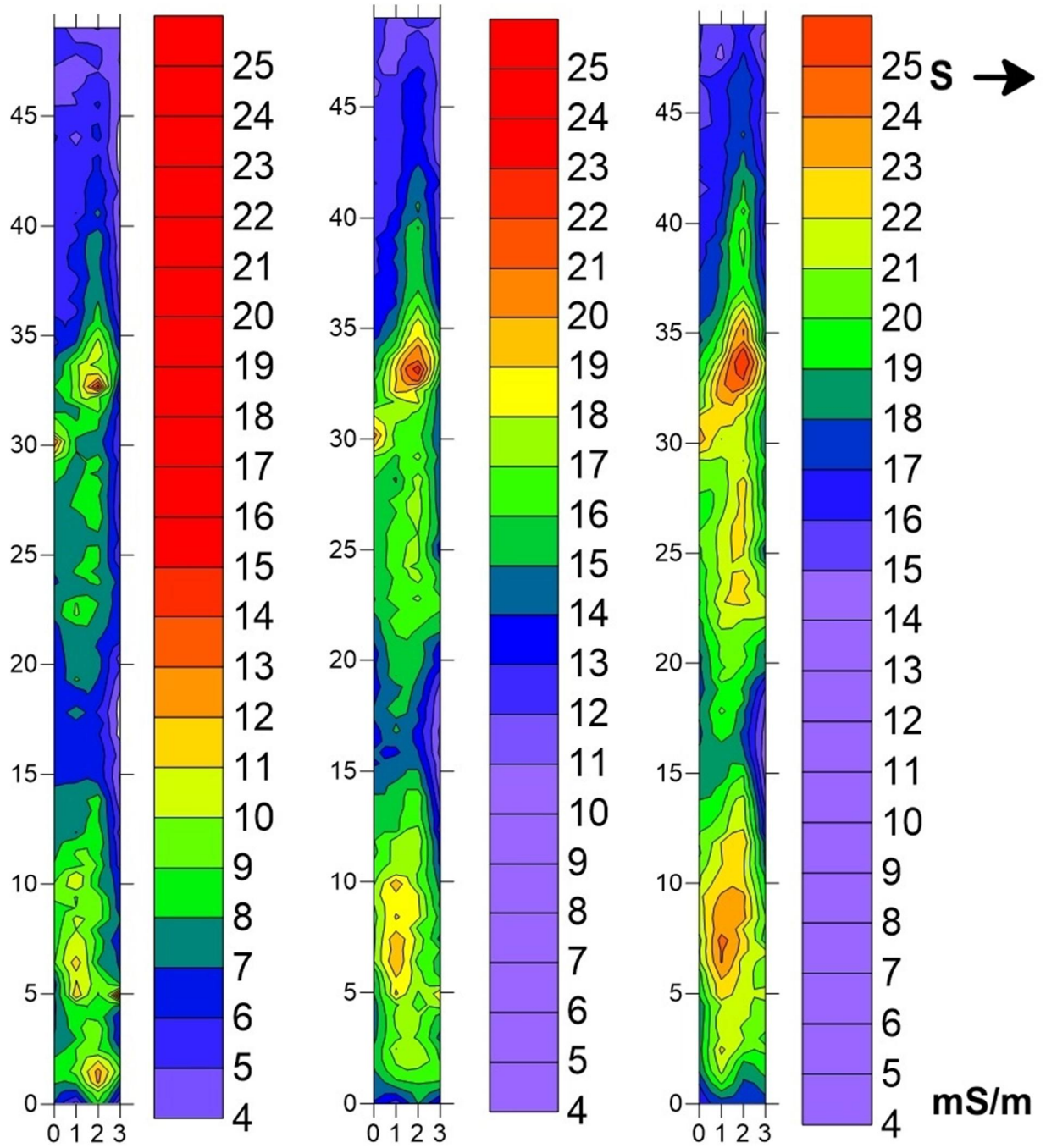
Příloha 3 – GPS souřadnice a naměřené nadmořské výšky

| Název profilu | GPS souřadnice | Rozestupy při měření nadmořských výšek (m n. m.) | | | |
|---------------|--|--|--------|--------|--------|
| | | 0 m | 10 m | 20 m | 23,5 m |
| P1 | 49.757722, 16.968011 49.757597, 16.967861 | 246,46 | 246,34 | 246,54 | 246,31 |
| P2 | 49.757732, 16.968007 49.757603, 16.967855 | 246,42 | 246,33 | 246,47 | 246,95 |
| P3 | 49.757737, 16.967992 49.757611, 16.967840 | 246,37 | 246,25 | 246,42 | 246,89 |
| P4 | 49.757743, 16.967975 49.757618, 16.967830 | 246,33 | 246,25 | 246,34 | 246,88 |

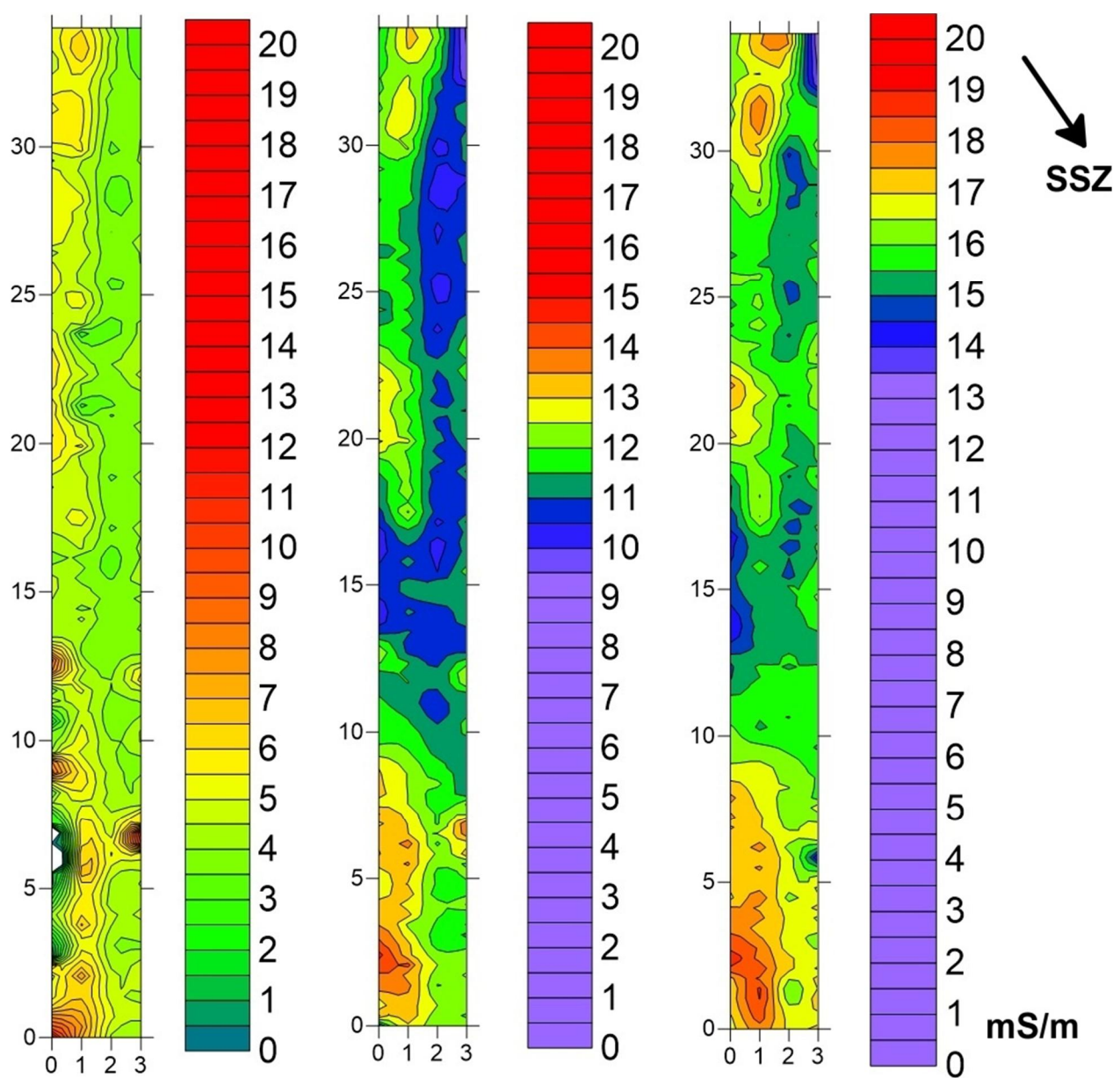
| Název profilu | GPS souřadnice | Rozestupy při měření nadmořských výšek (m n. m.) | | | |
|---------------|--|--|--------|--------|--------|
| | | 0 m | 10 m | 20 m | 31,5 m |
| P5 | 49.756397, 16.967740 49.756262, 16.967585 | 250,33 | 250,75 | 250,64 | 250,98 |

| Název profilu | GPS souřadnice | Rozestupy při měření nadmořských výšek (m n. m.) | | | |
|---------------|--|--|--------|--------|--------|
| | | 0 m | 13 m | 26 m | 39 m |
| P6 | 49.756944, 16.969857 49.756980, 16.970381 | 248,35 | 248,52 | 248,64 | 248,91 |

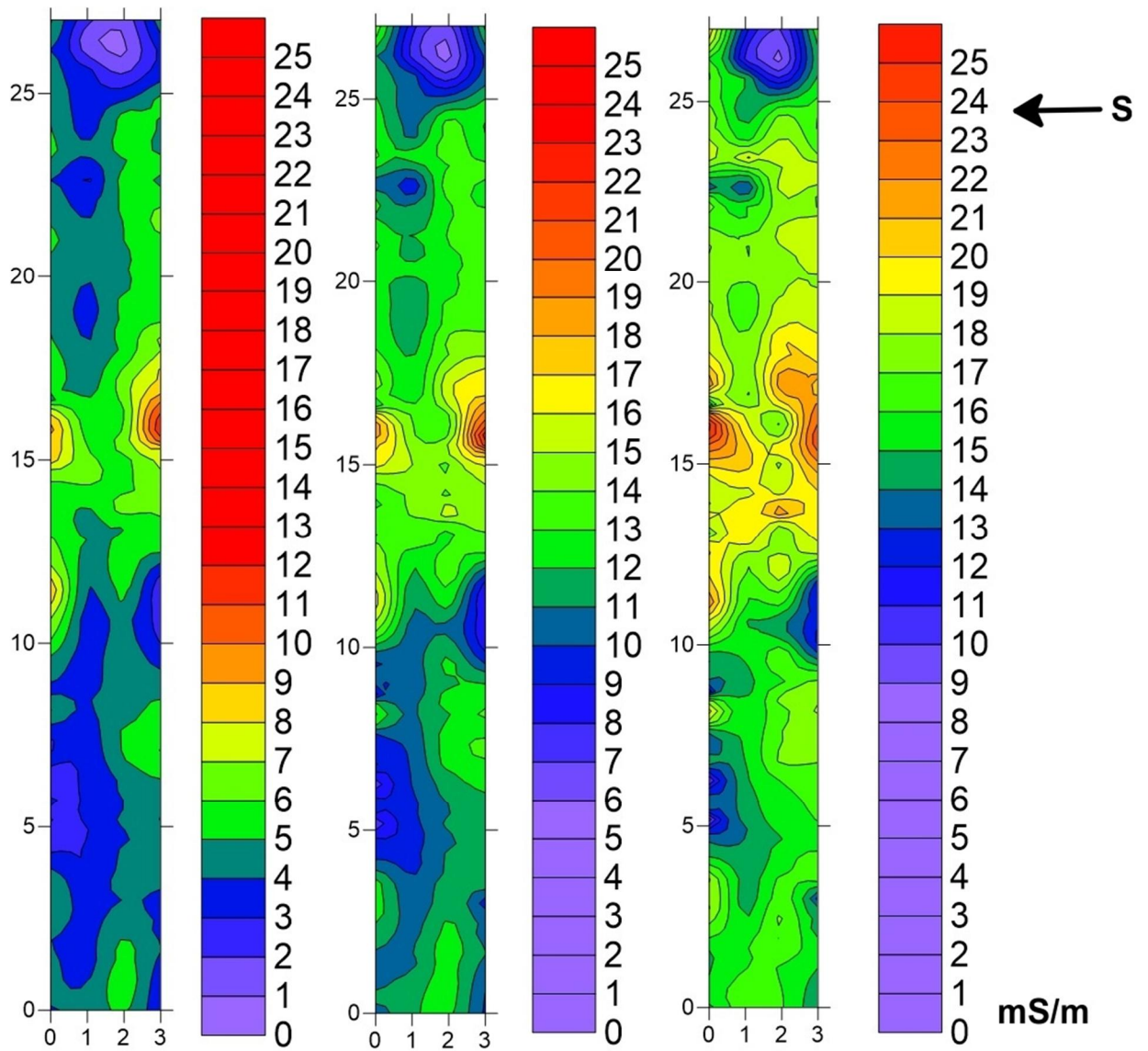
Příloha 4 – DEMP (M2 – M4)



Příloha 4. 1. DEMP (M2) – výsledné zpracování naměřených hodnot ve třech efektivních hloubkách



Příloha 4. 2. DEMP (M3) – výsledné zpracování naměřených hodnot ve třech efektivních hloubkách



Příloha 4. 3. DEMP (M4) – výsledné zpracování naměřených hodnot ve třech efektivních hloubkách