

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

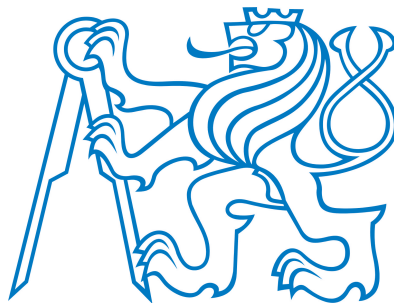
Bc. Adam Dlesk

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR GEOMATIKA



DIPLOMOVÁ PRÁCE

GEODETICKO - GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM
LOKALITY SKORKOV

GEODETICAL - GEOPHYSICAL EXPLORATION OF THE
SKORKOV SURROUNDINGS

Vedoucí práce: Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Katedra geomatiky

2016

Bc. Adam Dlesk





ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

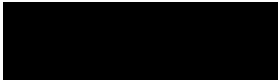
I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc.Dlesk	Jméno: Adam	Osobní číslo: 381432
Zadávací katedra: Geomatiky		
Studijní program: GaK		
Studijní obor: H		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Geodeticko - geofyzikální průzkum lokality Skorkov	
Název diplomové práce anglicky: Geodetical and geophysical exploration of the Skorkov surroundings	
Pokyny pro vypracování: Zpracujte rešerši vhodných technologií a obdobných prací v délce minimálně 5 stran, popište lokalitu z hlediska zájmových objektů a uveďte jejich historickou charakteristiku. Zvolte vhodné přístroje pro průzkum a dokumentaci vybraných objektů v lokalitě, stručně je popište a uveďte jejich přesnost, výhody a nevýhody. Proveďte vlastní měření a vyhodnocení naměřených dat. Pokuste se na základě historických pramenů a místních informací nalézt další objekty. Zvolte vhodný způsob interpretace a vizualizace dat. V závěru zhodnoťte výsledky a v diskusi rozveďte další možnosti a možnou budoucí práci i vlastní teorie.	
Seznam doporučené literatury: Pavelka, K.: 3D skenování - nové metody při dokumentaci v památkové péči. In Dějiny staveb 2005. Plzeň: Nakladatelství Petr Mikota, 2005, díl 1, s. 199-201. ISBN 80-86596-76-1. Šedina, J. - Pavelka, K. - Housarová, E.: RPAS as a tool for mapping and other special work. In Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies: Proceedings of the International Conference on Engineering Sciences and Technologies. Leiden: CRC Press/Balkema, 2015, p. 405-411. ISBN 9781138029071. Pavelka, K. - Faltýnová, M. - Matoušková, E. - Šedina, J.: Documentation, 3D modelling and replication of archaeological artifacts. In 15th INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC GEOCONFERENCE SGEM 2015. Sofia: STEF92 Technology Ltd., 2015, p. 109-116. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7105-34-6	
Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka	
Datum zadání diplomové práce: 22.2.2016	Termín odevzdání diplomové práce: 22.5.2016
	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
24.2.2016	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je představit geofyzikální metody využívané v archeologii v kombinaci s geodetickými metodami. První část se zabývá představením těchto metod, jejich principem, výhodami a nevýhodami. Druhá část je zaměřena na využití popsaných metod v historické lokalitě obci Skorkov a okolí. V diplomové práci je provedena dokumentace místního podzemního objektu, jehož původní účel je neznámý. Dále je provedeno měření na místě, kde pravděpodobně stála dělostřelecká reduta za třicetileté války, a v oblasti, kde se mohlo nacházet pravěké sídliště.

KLÍČOVÁ SLOVA

georadar, magnetometr, laserové skenování, RPAS, spojení dat, vizualizace dat, obec Skorkov, třicetiletá válka

ABSTRACT

The aim of this thesis is to introduce geophysical methods in combination with geodetical methods which are used by archaeologists. The first part of this thesis is focused on introducing those methods, on their principle and advantages or disadvantages. The second part of this thesis is focused on using those methods in the Skorkov village and its surroundings. The measurement and analysis of local historical object of unknown purpose were conducted as well as of redoubt from Thirty Years' War or of probable prehistoric settlements.

KEYWORDS

ground penetrating radar, magnetometer, laser scanning, RPAS, data merging, data visualisation, Skorkov municipality, Thirty Years' War

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Geodeticko - geofyzikální průzkum lokality Skorkov“ vypracoval samostatně. Všechny podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Bc. Adam Dlesk

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svým rodičům a sestře Markétě za podporu během celého mého studia. Děkuji Ing. Karlu Vachovi, CSc. za dlouhodobou podporu a jeho odborné rady. V neposlední řadě děkuji Prof. Dr. Ing. Karlu Pavelkovi za jeho odborný dohled při psaní této diplomové práce.

Seznam použitých zkratek

RPAS	Remoted Piloted Aircraft Systems
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
GNSS	Global Navigation Satellite System
ČR	Česká republika
INS	Inertial navigation system
GPR	Ground penetrating radar
EMI	Electromagnetic induction
ČVUT	České vysoké učení technické
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
VFK	Výměnný formát katastru nemovitostí
RTK	Real time kinematic
CZEPOS	Síť permanentních stanic GNSS České Republiky
NDVI	Normalizovaný diferenční vegetační index
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Balt po vyrovnání
WGS84	World Geodetic System 1984
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing

Obsah

1 Úvod	1
2 Geofyzikální metody	2
2.1 Georadar	3
2.1.1 Historie Georadaru	4
2.1.2 Princip georadaru	5
2.1.3 Měření georadarem	6
2.1.4 Georadar typu borehole	7
2.2 Magnetometr	9
2.2.1 Protonové magnetometry	10
2.2.2 Atomové magnetometry	10
2.2.3 Magnetometry s ferosondou	11
2.2.4 Měření magnetometrem	12
2.3 Průzkum měřením odporu	13
2.4 Metoda EMI	15
3 Laserové skenování pro historickou dokumentaci	16
3.1 Impulsní dálkoměry	17
3.2 Triangulační metoda	18
3.3 Fázové laserové skenery	19
4 RPAS	20
5 Literární rešerše	22
5.1 Průzkum části věznice Alcatraz	22
5.2 Konzervace kamenného obkladu na fasádě královského paláce v městě Caserta	23
5.3 Dokumentace archeologických nalezišť	24
5.4 Využití geofyzikálních metod pro mapování archeologických nalezišť v České republice	25

5.5	Komplexní archeologický průzkum využitím kombinací různých nedestruk- tivních metod	28
6	Lokalita Skorkov	30
6.1	Historie obce Skorkov	31
7	Podzemní objekt ve Skorkově	32
7.1	Sběr dat	34
7.2	Zaměření podzemního objektu	34
7.2.1	Geodetické zaměření	35
7.2.2	Tvorba 3D modelu	36
7.2.3	Laserové skenování	39
7.2.4	Průzkum georadarem	40
7.2.5	Snímkování lokality ve Skorkově	44
7.3	Spojení dat	47
8	Švédský tábor ve Staré Boleslavi za třicetileté války	49
8.1	Průzkum reduty	51
8.2	Snímkování lokality	52
8.3	Měření lokality magnetometrem	53
8.4	Měření lokality georadarem	54
8.5	Analýza získaných dat	55
9	Průzkum možného pravěkého sídliště ve Skorkově	60
10	Závěr	61
A	Zaměření podzemního objektu ve Skorkově	I
B	Zaměření lokality, kde se dříve nacházela dělostřelecká reduta	V
C	Pravěká lokalita ve Skorkově	X

1 Úvod

Pro dokumentaci historických a archeologických objektů se kromě klasických geodetických a fotogrammetrických metod často využívá i metod geofyzikálních. Kombinace více metod umožňuje badateli získat komplexní povědomí o sledované lokalitě nebo objektu.

Část této práce bude věnována popisu metod, které se v archeologii využívají. Mezi popsané geofyzikální metody bude patřit měření georadarem, magnetometrem a měření odporu. Z ostatních metod se autor v práci bude věnovat laserovému skenování a RPAS. U všech metod autor uvede princip metod, výhody a nevýhody jejich využití. Součástí teoretické části bude i provedená literární rešerše projektů, ve kterých bylo zkombinováno několik uvedených metod.

V praktické části se autor bude zabývat lokalitou v okolí vesnice Skorkov, kde budou vybrány tři zajímavé historické objekty, které budou zdokumentovány několika metodami. Prvním objektem je podzemní objekt ve Skorkově, který se nachází ve středu obce a bude zdokumentován na žádost místních obyvatel. Druhým studovaným územím je pravděpodobné místo, kde se nacházela dělostřelecká reduta za třicetileté války. Třetím projektem bude provedeno měření magnetometrem na místě doporučeném zaměstnanci Městského muzea v Čelakovicích, kde je teoretická možnost nalezení pravěkého sídliště. V práci budou autorem zvoleny vhodné měřičské metody pro každou lokalitu a vhodný softwarový nástroj pro spojení dat a vizualizaci tak, aby získaná data mohla být co nejlépe interpretována a zhodnocena.

2 Geofyzikální metody

Princip geofyzikálních metod používaných v geodézii spočívá v nedestruktivním a neinvazivním průzkumu a mapování podzemních objektů, měření a určování jejich fyzikálních vlastností, zanesením získaných informací do souřadnicového systému a jejich vizualizaci ve 2D nebo 3D.

Jedná se o detekci fyzikálních anomálií. Homogenní prostředí má určité fyzikální vlastnosti a hledaný objekt má odlišné fyzikální vlastnosti. Tato odlišnost je detekována geofyzikálními přístroji.

Geofyzikální metody jsou často používány pro geologické, stavební, vojenské nebo archeologické účely. Archeolog například získá poměrně snadnou metodou informace o rozsáhlých územích, jako jsou například archeologická naleziště, historické hřbitovy, a nebo o historických objektech. Tato diplomová práce se zabývá geofyzikálními metodami pro archeologické účely. [27]

Geofyzikální přístroje se liší sledovanou veličinou, způsobem použití a vhodností pro jednotlivé aplikace.

2.1 Georadar

Georadar, v angličtině nazývaný ground penetrating radar (GPR), je přístroj vynalezený pro relativně mělký průzkum podloží ve vysokém rozlišení.



Obrázek 1: Georadar RD1000 s vozítkem.[25]

Georadar se skládá z několika částí. Základem je řídicí jednotka spojená kabelem s vysílací i přijímací anténou a počítačem pro ukládání dat a vizualizaci. Součástí může být také zařízení, které odečítá ujetou vzdálenost například vozítko nebo kolečko. Některé georadary jsou vybaveny i systémem GNSS a kamerou. Výhodou georadaru je možnost provádět průzkumy v různorodých místech, jako jsou stavební konstrukce, silnice i volný terén. Zároveň je možné provádět měření i ve vysoké rychlosti (až 80 km/h), takže je možné georadar připevnit například k autu. Oproti jiným geofyzikálním metodám lze pomocí georadaru určit nejen polohu objektu pod povrchem, ale také přibližnou hloubku předmětu. Nevýhodou georadaru je někdy složitá interpretace získaných výsledků. Nad některým nevhodným typem terénu nemusí být měření úspěšné, například nad zavázkou, kde se signál roztříští a ve výsledku nelze nic interpretovat.[17]



Obrázek 2: Měření georadarem.[14]

2.1.1 Historie Georadaru

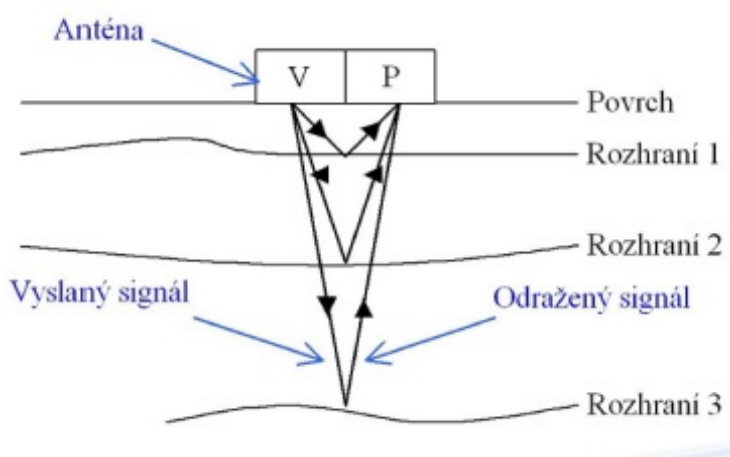
První patent k radarové technologii byl získán Christianem Hülsmeierem 30. dubna 1904. V roce 1910 Gotthelf Leimbach a Heinrich Löwy použili radar jako první pro detekci podzemních objektů, kteří si svoji technologii nechali také patentovat. První známý průzkum s georadarem byl proveden Rakušanem W. Sternem, který se s ním pokusil určit tloušťku ledovce. Georadar v té době nebyl běžně používán. To se změnilo až v 70. letech 21. století, když byl georadar používán pro vojenské účely, jako vyhledávání min či vyhledávání podzemních chodeb v demilitarizované zóně mezi Severní a Jižní Koreou. V roce 1972 americká firma GSSI začala komerčně prodávat georadary, které se začaly využívat i pro civilní potřeby, jako jsou geologické účely nebo pro vyhledávání inženýrských sítí, dutin v konstrukcích staveb a nebo pro archeologii.[15] [16] [17]



Obrázek 3: Jeden z prvních georadarů využíváný pro archeologii.[13]

2.1.2 Princip georadaru

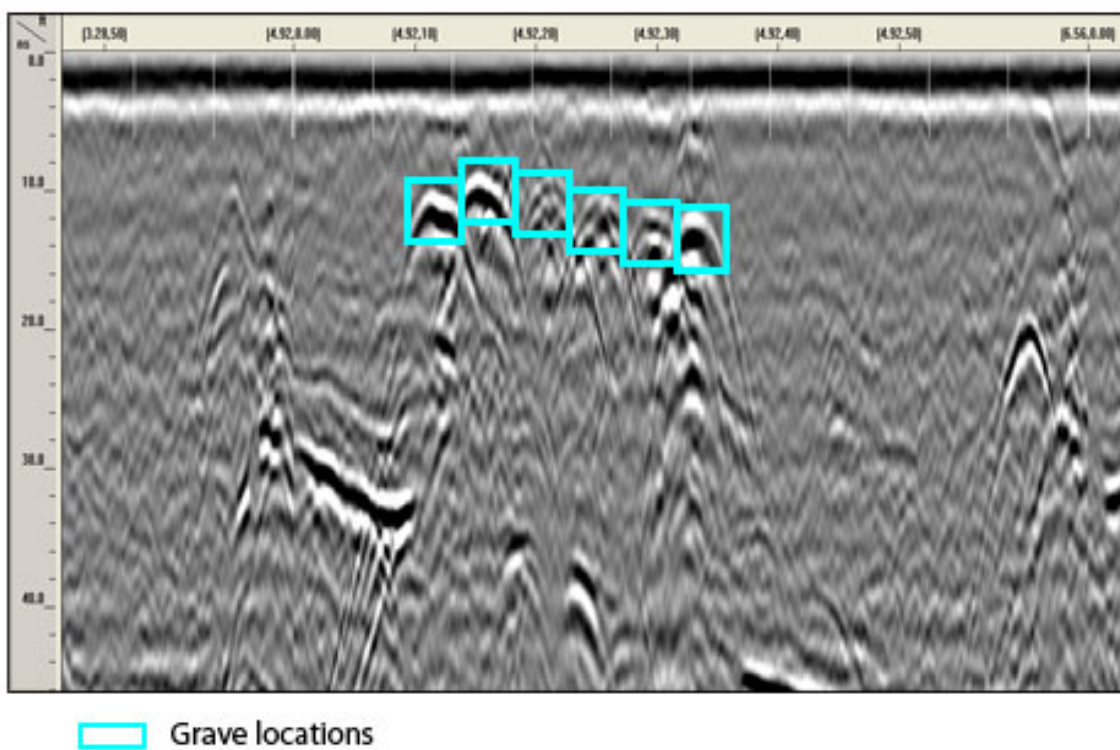
Princip georadaru spočívá ve vyzařování elektromagnetických vln vysílačem antény georadru do podloží o určitém materiálu. Rychlost vyzařované vlny je určena permitivitou materiálu podloží. V momentě, kdy vlna narazí na jiný objekt nebo rozhraní podloží, které má jinou elektromagnetickou charakteristiku, část vlny prostoupí dále a část se odrazí. Odraženou vlnu detekuje přijímač antény. Pomocí počítače a řídicí jednotky je tento odraz zaznamenán a vizualizován ve tvaru podobném jako konkávní parabola. [7] [32]



Obrázek 4: Princip georadaru.[17]

2.1.3 Měření georadarem

Měření georadarem se zpravidla provádí v určených profilech, které mohou být souřadnicově připojené. Anténa georadaru je posunována podél profilu a řídicí jednotka zachycuje měřené údaje, které jsou vizualizovány v tzv. sken. Na horizontální ose je zaznamenán profil měření a na vertikální ose je čas přijatého signálu, který se pomocí určené permitivity prostředí převede na hloubku v metrických jednotkách. [32]



Obrázek 5: Sken georadaru s detekovanými hroby.[14]

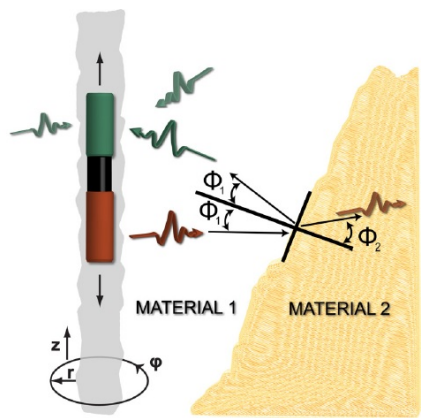
Důležitým faktorem při měření georadarem je typ zvolené antény a frekvence vln vyslaných anténou. Vlny na nižší frekvenci umožňují měření hlubších objektů. Vlny na vyšších frekvencích rychleji ztrácejí signál a nepronikají tedy do větší hloubky, umožňují ale rozeznávat menší předměty než antény o nižších frekvencích. Frekvence antén se pohybuje v rozmezí od 2600 MHz, někdy až po 16 MHz, jejichž signál dosahuje až do 50 m. [27]

Tabulka 1: Typy antén nabízené americkou firmou GSSI. [14].

Frekvence antény	Hloubka penetrace	Vhodné použití
2600 MHz	do 0.4 m	Průzkum betonu
1600 MHz	do 0.5 m	Průzkum betonu
900 MHz	do 1 m	Průzkum betonu, Detekce trhlin
400 MHz	do 4 m	Průzkum inženýrských sítí, detekce vlhkosti, archeologie
270 MHz	do 6 m	Průzkum inž. sítí, detekce vlhkosti, archeologie, geotechnika
200 MHz	do 9 m	Geotechnika, geologie

2.1.4 Georadar typu borehole

V momentě, kdy je potřeba detekovat objekty a provést měření ve větší hloubce, než jsou schopny měřit antény klasického georadaru a nebo je měření klasickým georadarem nevhodné, je nutné provést vrt a využít georadar typu borehole, který pracuje na stejném principu, jako georadar. Jedná se o anténu ve tvaru tyče, která má v sobě zabudovaný vysílač a přijímač zároveň, nebo se jedná o systém dvou tyčí pro vysílač a přijímač zvlášť. Anténa je spouštěna vrtem a je připojená k počítači kabelem o různé vzdálenosti a měří okolí válcovitého tvaru s poloměrem až 100 m (záleží na frekvenci antény). Zařízení je spouštěno pod povrch přes spouštěcí kolečko, které odečítá hloubku, ve které se anténa nachází. Běžné komerční antény mohou být spuštěny do hloubky kolem 30 m, některá experimentální měření byla prováděna až do hloubky 2500 m pod povrchem.[21][3]



Obrázek 6: Princip borehole radaru. [3].

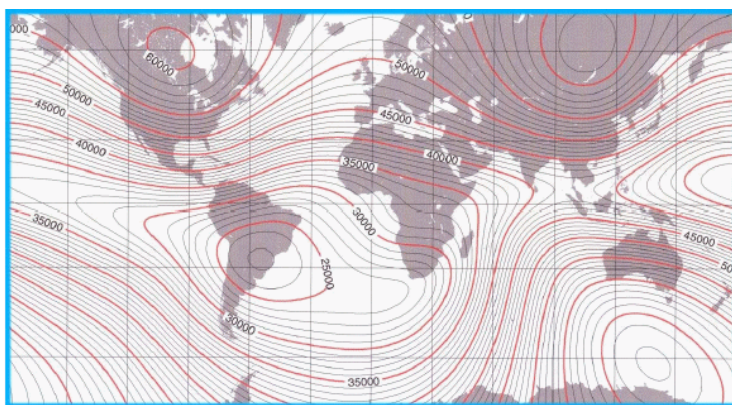


Obrázek 7: Spouštění borehole radaru do vrtu. [22].

2.2 Magnetometr

Magnetometr je nástroj pro měření magnetického pole Země. Vývoj magnetometru začal již v 30. letech 20. století. Magnetometr v archeologii se používá pro lokalizaci magnetických anomálií v archeologických lokalitách. Metoda měření magnetometrem je nedestruktivní a poměrně rychlá metoda, která zjištěním magnetické anomálie pomáhá archeologům nalézat archeologické předměty. Nejlépe magnetometr reaguje například na kovové předměty nebo na pálené cihly, které procesem přepálení změni svoje elektromagnetické vlastnosti. Citlivá reakce magnetometru na kovy přináší i velké nevýhody. Například v zastavěném území téměř nelze provádět měření s magnetometrem, protože magnetometr silně reaguje na okolní kovové předměty. Měření je vhodné provádět v prostředí, kde nejsou kovové materiály, které by ovlivňovaly samotné měření, například pole, poušť nebo také na vodní ploše.

Magnetometry se dělí na dva základní druhy. Na magnetometry s jedním senzorem, které nazýváme jako skalární, které určují absolutní hodnotu magnetické indukce se základní jednotkou Tesla [T]. Protože je magnetická indukce vektorová veličina, má tedy nejen hodnotu, ale i směr, který měříme vektorovými magnetometry nebo-li gradiometry. [19] [31] [27]



Obrázek 8: Intenzita magnetického pole Země. V ČR bychom mohli naměřit magnetickou indukci okolo 45 000 nT a na pólech 70 000 nT [19]

2.2.1 Protonové magnetometry

Tyto skalární magnetometry jsou jedny z nejběžnějších typů používaných v archeologii. Protonové magnetometry využívají precesy protonů. Protony se polarizují, pokud na ně působí nějaké magnetické pole. Pokud toto pole přestane působit, tak se protony opět přizpůsobí vnějšímu magnetickému poli. Nevýhodou je, že s protonovým magnetometrem je nutné na bodě měřit cca 3 sekundy, a měření protonovým magnetometrem se tím stává časově náročnější a nepraktické. Proto jsou tyto klasické protonové magnetometry používány pouze pro předběžný průzkum archeologických lokalit.

Protonový magnetometr byl poupraven na Overhauserův magnetometr, který využívá Overhauserova jevu, a činí tím magnetometr přesnější a hlavně rychlejší. [31]

2.2.2 Atomové magnetometry

Atomové magnetometry jsou velmi citlivé skalární magnetometry. Princip těchto magnetometrů je velmi komplikovaný. Výhodou těchto magnetometrů je citlivost, která umožňuje zaznamenávat i malé signály.[31]



Obrázek 9: Protonový magnetometr PM-2.[20]



Obrázek 10: Měření atomovým magnetometrem v archeologické oblasti.[31]

2.2.3 Magnetometry s ferosondou

Oproti uvedeným magnetometrům je magnetometr s ferosondou vektorový. Lze s ním tedy měřit kromě magnetické intezity i její směr. S těmito magnetometry je možné detekovat i malé magnetické anomálie. Často jsou magnetometry s ferosondou vybaveny i GNSS anténou, díky které se stává následné zpracování dat jednodušší. Tento magnetometr je často také využíván pro měření magnetického pole na lodi nebo v letadle.[31]



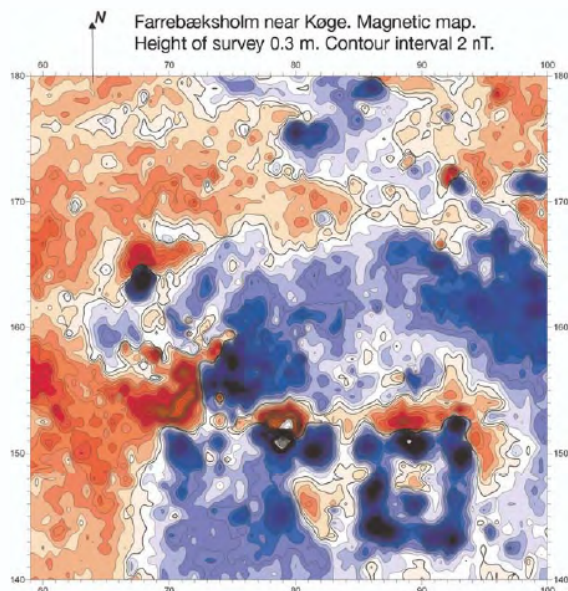
Obrázek 11: Magnetometr s ferosondou. [1]

2.2.4 Měření magnetometrem

Často se před magnetometrickým měřením provádí tzv. volný průzkum, kdy měřič prozkoumává rozsáhlejší lokalitu procházením s magnetometrem a označuje místa s vysokou magnetickou anomálií. Pokud se lokalita jeví jako zajímavá, může být na ni provedeno bodové měření v pravidelné mřížce, která může být připojena do souřadnicového systému. Výsledné hodnoty jsou pak interpolovány do mapy magnetických anomálií. Pokud je magnetometr vybaven anténou GNSS není nutné mřížku připojovat geodeticky. Měření metodou GNSS by ale mělo být relativně přesné, jinak mohou být interpolované výsledky nekvalitní, a tím měření degradované. [31]



Obrázek 12: Měření magnetometrem v řezech. [31]



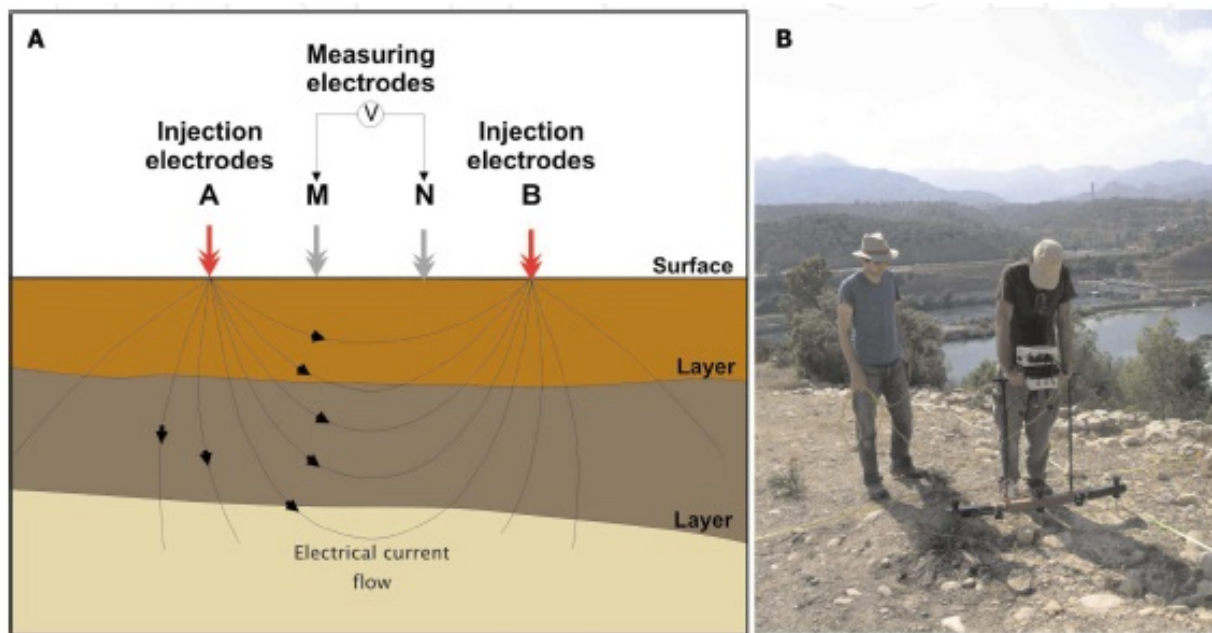
Obrázek 13: Magnetická mapa archeologické oblasti. [31]

2.3 Průzkum měřením odporu

Měření odporu pro průzkum podloží je další geofyzikální metoda, která se využívá v archeologii. Elektrický proud se zavede do země sondami a následně je měřeno, jak se elektrický proud v podloží chová. Měřící aparát se skládá ze sond, které mohou mít různou konfiguraci. Nejčastěji je užíváno ramena, na kterém jsou na krajích dvě injektážní sondy, které vedou elektrický proud a jsou vnořeny do pozorovaného podloží. Blíže středu ramena jsou další dvě sondy. Tyto sondy měří napětí, ze kterého se určuje elektrický odpor v místě měření. Vzdálenost sond mezi sebou přímo ovlivňuje hloubku, do které je možné detekovat předměty. Rozpětí 0,5 m mezi sondami, které vedou elektrický proud, odpovídá měření 1 m pod povrch.[8] Naopak čím více jsou sondy od sebe vzdáleny, tím hůře je možné detekovat malé předměty a provádět podrobnější měření. Dnes jsou tomu měřící systémy uzpůsobeny tím, že konfigurace jejich elektrod je měnitelná a provádí se tedy měření na bodě v několika

konfiguracích.

Měření odporu se často provádí, když selže měření magnetometrem z různých důvodů. Vhodné podzemní objekty pro určování měřením odporu jsou například zdi nebo jiné stavební materiály, které vykazují větší elektrický odpor, a také dutiny a přepálené objekty. Nevýhodou této metody je relativně pomalejší průběh měření, protože měřič musí vložit sondy do země v každém měřeném bodu a kvalita měření je ovlivněna způsobem, jakým jsou sondy vloženy do země. Měření nelze vykonávat za deště a pokud je terén podmáčený. Měření se provádí, podobně jako ostatní metody, v pravidelné mřížce a výstupem jsou mapy odporu vypočítané zvolenou interpolací. [27][26]



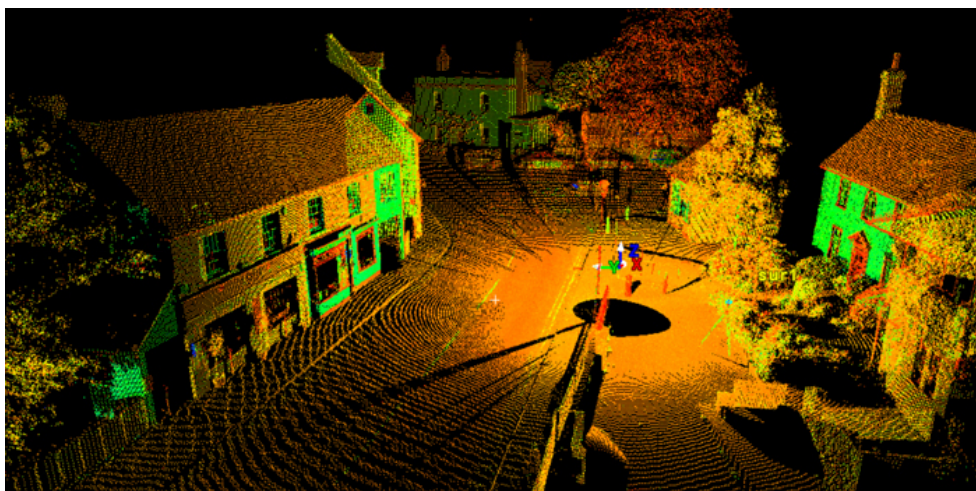
Obrázek 14: Část A znázorňuje konfiguraci sond na měřícím aparátu a průběh šíření elektrického proudu. Na části B je měřič, který měří odpor podloží. [27]

2.4 Metoda EMI

Metoda EMI (elektromagnetické indukce) je také často nazývána jako metoda měření vodivosti. Oproti magnetometru, který pasivně měří magnetickou indukci magnetického pole Země, metoda EMI není pasivní metoda, protože vytváří vlastní zdroj excitace. Aparát se skládá z cívky, která generuje vlastní elektromagnetické pole o dané frekvenci. Elektromagnetický proud je měřen cívkou označovanou také jako přijímač. Vzdálenost mezi cívkami je přímo úměrná hloubce, do které je možné provádět měření na úkor horšího rozlišení. Metoda EMI umožňuje získávat informace o sledovaném území poměrně rychle, přesto oproti měření georadarem a magnetometrem není v archeologii tolik využívána. [27][10]

3 Laserové skenování pro historickou dokumentaci

Laserové skenování je dnes již často používaná nekontaktní měřicí metoda v geodézii. Jedná se o metodu, kde jsou pomocí laserového paprsku určeny polohové a výškové souřadnice bodu. Laserové skenery umožňují změřit velké množství 3D bodů za velmi krátký čas, a to s poměrně velikou přesností. Laserové skenování v různých průmyslových odvětvích je prováděno již od 90. let minulého století, ale protože jsou získaná data velmi objemná, laserové skenování se rozšířilo až při nižších cenách počítačových pamětí. Využití laserových skenerů by se dalo najít téměř v každém průmyslovém odvětví, od bezpečnostního monitoringu, přes geodézii, archeologii, až po forenzní analýzy nebo reversní inženýrství.



Obrázek 15: Mračno bodů získané laserovým skenerem. [28]

Laserové skenery můžeme dělit na statické, nebo-li terestrické, které se při svém měření nepohybují, a dynamické, které se při měření pohybují, například při mobilním skenování připevněním zařízení k autu nebo leteckém skenování k letadlu nebo bezpilotnímu systému. Dynamické laserové skenery mohou být vybaveny i jednotkou INS a používají se pro skenování rozsáhlých území, jako například měst, železnic či dálnic.[12]

3.1 Impulsní dálkoměry

Impulsní laserové dálkoměry jsou založené na principu měření času, anglicky se nazývají Time-of-flight. Vyslané světlo má v jistém prostředí známou konstantní rychlost. Vysílač vyšle světlo, které se odrazí od objektu a přijímač světlo přijme. Mezi vysláním a přijetím paprsku se měří čas. Ze vztahu času T , rychlosti vyslaného světla c a znalosti indexu lomu prostředí n se určí vzdálenost objektu s od vysílače (skeneru). Z rovnice je tedy patrné, že měřená přesnost závisí na přesnosti měření času. Přesnost takových dálkoměrů se pohybuje okolo 5 mm.

$$s = \frac{c * T}{n * 2}$$

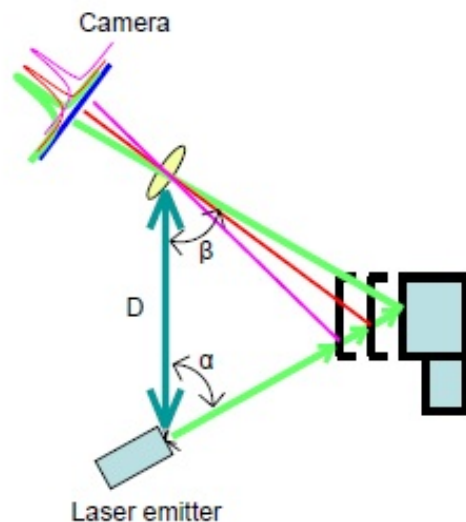
Výhodou impulsních dálkoměrů je, že umožňují detekovat více přijatých impulsů, které se z vyslaného světla několikanásobně odrazily. Například při vyslání paprsku se část paprsku odrazí od vegetace (např. listu v koruně stromu), část pokračuje dál a odrazí se od terénu. Přijímač detekuje tedy dva impulsy, které se zaznamenají. To je využitelné například při tvorbě digitálního modelu terénu, kdy je třeba odfiltrovat body, jež náleží vegetaci. Výhodou impulsních dálkoměrů je také jejich velký dosah. Jsou tak používány i například při leteckém skenování. Nevýhodou je jejich nižší rychlost v pořizování dat.[12] [24] [2]



Obrázek 16: Příklad staršího impulsního laserového skeneru Callidus CP3200. [6]

3.2 Triangulační metoda

Laserové skenování zaměřené na triangulační metodě se používá pro měření blízkých objektů, u kterých je vyžadována vysoká přesnost, která může být až submilimetrová. Nevýhodou je, že triangulační skenery mají oproti jiným skenerům krátký dosah. Princip měření je založen na trojúhelníku, který je složen ze tří vrcholů - vysílač laserového paprsku, laserová stopa na zaměřovaném objektu a kamera, která snímá stopu laserového paprsku na zaměřovaném objektu. Laserový vysílač a kamera jsou od sebe vzdáleny známou délkou D a paprsek je vysílán vysílačem o známém úhlu α . Tento paprsek dopadá na objekt a jeho stopa je zaznamenána kamerou v úhlu β . Nyní jsou známy tři parametry trojúhelníku a pomocí kosinové věty lze trojúhelník vyřešit, a získat tak souřadnice zaměřeného bodu. Z postupu je patrné, že přesnost určení bodu závisí zejména na přesnosti změřené délky D . Často je tento triangulační laserový skener používán pro archeologické účely pro skenování nalezených předmětů nebo jiných menších objektů.[12] [24] [2]



Obrázek 17: Princip triangulační metody. [12]

3.3 Fázové laserové skenery

U fázových laserových skenerů je nejdříve vyslaná vlna amplitudově nebo frekvenčně modulována. Vyslaný signál je odražen od zaměřovaného objektu a vrátí se zpět do přijímače. Vyslaná a přijatá vlna je fázově porovnána a z velikosti fázového posunu je určena relativní vzdálenost. Absolutní vzdálenost je zjištěna, pokud jsou změřeny fázové posuny na několika vlnových délkách. Dosah těchto fázových laserových skenerů je řádově kolem 100 m. Výhodou těchto zařízení je jejich rychlé měření. V krátkém čase tak pořídí velké množství dat.



Obrázek 18: Fázové laserové skenery. [12]

4 RPAS

RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), je do češtiny překládáno často jako bezpilotní systém, letadlo bez pilota na palubě, nebo je užíván mezinárodní název dron. Jedná se o letecký stroj, kde pilot není přítomný přímo na palubě. Častěji než RPAS se používá zkratka UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Slovo unmanned v překladu znamená neřízený, to může vést k mylné domněnce, že objekt je neovládaný a nepilotovaný. Z toho důvodu se dnes užívá zkratka RPAS, kde slovo „piloted“ přímo značí že je pilot přítomný.

RPAS jsou dnes velmi rozšířeny, protože je lze pořídit i za relativně nízkou cenu. Používají se zejména jako nosič záznamového zařízení, například fotoaparátu nebo laserového skeneru a jsou často vybaveny jednotkou INS. Kromě geodézie je RPAS hojně využíváno i ve filmovém průmyslu nebo také v žurnalistice. Využití RPAS pro komerční nebo vědecké účely je legislativně omezeno. V ČR použití letadla bez pilota na palubě upravuje Doplněk X - Bezpilotní systémy, Předpisu L 2, pravidla létání. [38][9][5]

RPAS dělíme na druhy bez pohonu a druhy s pohonem. Mezi druhy bez pohonu se řadí například balón, rogalo nebo drak, který se označuje zkratkou KAP (Kite Aerial Photography). Nejznámější druhy s pohonem jsou pravděpodobně multikoptéry, které se označují podle počtu vrtulí od kvadrakoptér, hexakoptéry, až po oktokopty. Multikoptéry jsou nazývané také anglickým termínem Rotary Wing. Jsou to většinou robustnější a těžší zařízení. Jejich nevýhodou je komplikovanější ovládání, škody při případné havárii mohou být větší. Naopak jejich výhodou je, že umožňují létat ve vertikálním směru a hodí se tedy pro pořizování šikmých snímků a unesou těžší fotoaparáty nebo laserové skenery. Dalším známým druhem RPAS s pohonem jsou letadla poháněná vrtulí, anglicky označované jako fixed wing. Letadla mohou být různých velikostí, většinou jsou to ale lehčí zařízení, která jsou využívána pro snímkování rozsáhlejších lokalit. Užívání bezpilotních letadel je po většinou jednodušší. Vzlétnou ze startovací rampy nebo se vyhazují přímo do vzduchu pilotem a přistávají většinou automaticky na zadanou polohu. Do RPAS s pohonem se řadí také vzducholodě nebo paraglidy s motorem.[38][9]



Obrázek 19: Hexakoptéra a bezpilotní letadlo (fixed wing). [34]

RPAS se využívá v mnoha oborech. Rozvoj bezpilotních systémů podpořilo využití ve vojenském průmyslu, kdy se RPAS používá nejen pro průzkumné účely, ale také při útocích na konkrétní cíl. Dále se tyto systémy využívají ve filmovém průmyslu a pro snímkování k reklamním účely nebo při monitorovacích pracích, při pojistných údálostech a podobně. Rozšíření UAV také umožňuje časté sledování vegetačního procesu při precizním zemědělství. V geodetickém oboru se UAV využívá pro dokumentaci objektů, tvorbu digitálního modelu terénu nebo digitální modelu povrchu. Dokumentace historických objektů s RPAS se hojně využívá i v archeologii.[38][9]

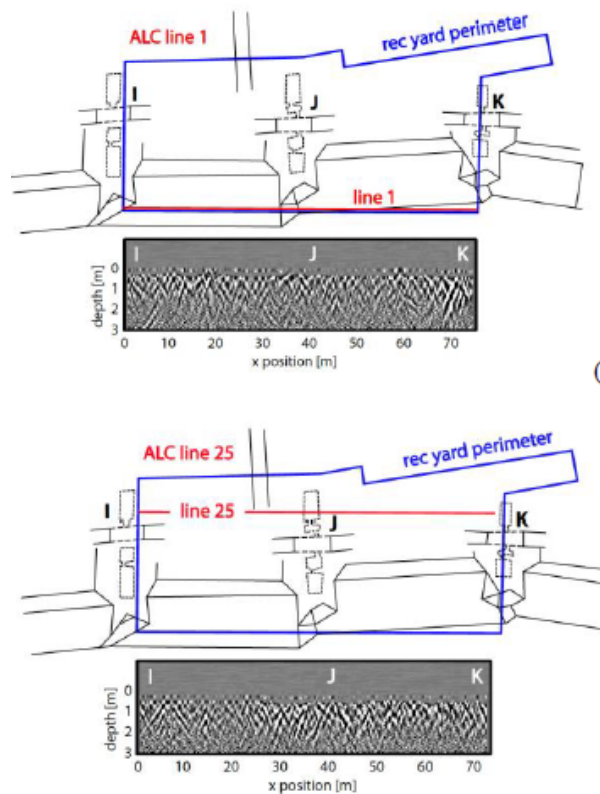
5 Literární řešerše

V této kapitole se autor zabýval provedenými projekty, které využily geofyzikálních metod pro dokumentaci nebo průzkum historických objektů v kombinaci s některými z klasických měřičských metod. Literatura byla čerpána zejména z archivu ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing).

5.1 Průzkum části věznice Alcatraz

Kalifornská státní univerzita Chico společně se studenty a kantory z texaské A&M univerzity provedla v roce 2013 průzkum části bývalé federální věznice Alcatraz v San Francisku. Bývalá věznice byla vybudována na místě bývalé kamenné pevnosti z 19. století. Dnes věznice slouží pouze jako turistická atrakce.

Cílem projektu bylo vyhledat tunely, které byly vybudovány jako součást bývalé pevnosti a zjistit jejich návaznost na okolní betonové zdivo, ve kterém byla nedestruktivní metodou vyhledána železná konstrukce. Dále bylo využito fotogrammetrické metody a laserového skenování pro dokumentaci současného stavu chátrajících materiálů. Pro nedestruktivní průzkum podzemních chodeb byl použit georadar s anténou o frekvenci 200 MHz s nastavením 3 m penetrace do hloubky. Georadarem bylo měřeno 33 profilů a byla prokázána korelace mezi měřením a pravděpodobnou polohou chodeb získanou z historických map. Následně byla zaměřena celková lokalita laserovým skenerem Rieglem z390 a totální stanicí klasickou geodetickou metodou. Poškození zdí, které obklopovaly rekreační část věznice, bylo detekováno společně s výsledky z laserového skenování pořízením detailních fotografií, které byly transformovány do souřadnicového systému. Na závěr byly vytvořeny mapy poškození zdí. [35]



Obrázek 20: Měření georadarem nad podzemními chodbami.[35]

5.2 Konzervace kamenného obkladu na fasádě královského paláce v městě Caserta

Královský palác, který je součástí světového dědictví UNESCO se nachází ve městě Caserta v jižní Itálii. I. Titomanlio z Katedry architektury a průmyslového designu univerzity v Neapoli provedl v roce 2013 průzkum kamenné fasády Královského paláce nedestruktivní metodou užitím georadaru. Titomanlio pomocí georadaru odhalil některé degradující materiály na fasádě včetně kovových objektů poškozených vysokou korozí. Měření autor článku doplnil i o termovizní analýzu kamerou Thermacam SC3000, pomocí které se mu podařilo detekovat různé materiály z různých období výstavby a oprav.[33]

5.3 Dokumentace archeologických nalezišť

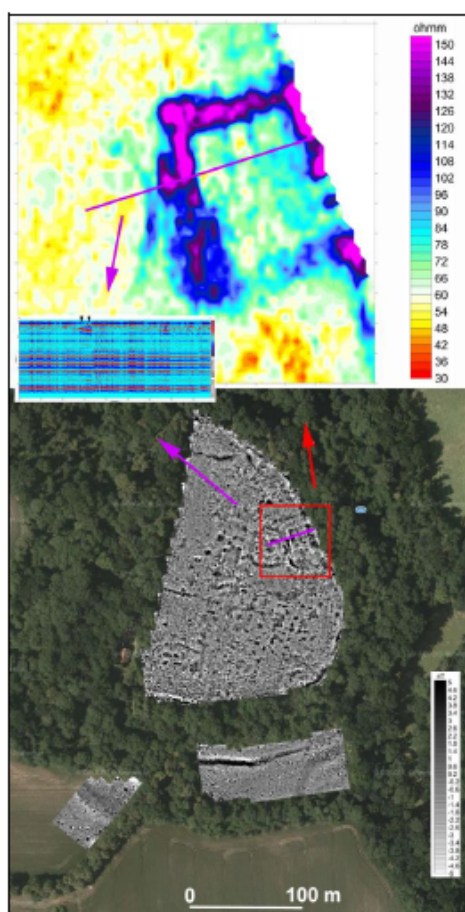
Článek z roku 2012 od autorů z rakouského Institutu Ludwiga Boltzmana pro archeologický průzkum pojednává teoreticky o využití metod neinvazivního průzkumu, jako jsou letecká archeologie, letecké laserové skenování a geofyzikální průzkum. Nejprve autoři v článku popisují možnosti získávání dat pořízených z letadla. Popisují zpracování snímků automatickou korelační metodou pořízených zařízení se systémem INS a měření terénu pod vegetací laserovým skenerem. Dále je popsáno snímkování archeologických lokalit na infračervených délkách a pomocí detekce kondice a stresu vegetace vyhledávání zajímavých míst. Bylo provedeno měření archeologické lokality bývalého římského tábora georadarem na speciální motorizované jednotce, na které je zavěšeno více antén o různých frekvencích a která za den změří plochu až 15 hektarů. Výsledky autoři vizualizovali v GIS.[23]



Obrázek 21: Řez měření georadaru nad bývalým římským táborem v hloubce 1,58 m pod povrchem.[23]

5.4 Využití geofyzikálních metod pro mapování archeologických nalezišť v České republice

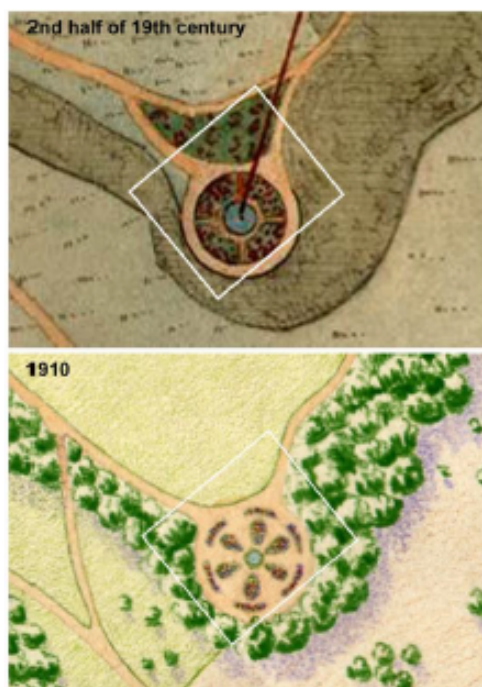
Dr. Roman Křivánek z Archeologického ústavu Akademie věd České republiky se geofyzikálními metodami zabývá systematicky. Provedl měření geofyzikálními metodami na několika místech. Jako sledovanou lokalitu vybral například hradiště z raného středověku v Praze Vinoři, dále čtyřúhelníkové ohrazení z doby železné políž Třeboně a zbytky původní zahrady při zámku Červený dvůr a lokalitu Zločince, kde se pravděpodobně nacházelo pravěké sídliště. Autor kombinuje metody měření georadarem, magnetometrem a měřením odporu a také výsledky leteckého snímkování.



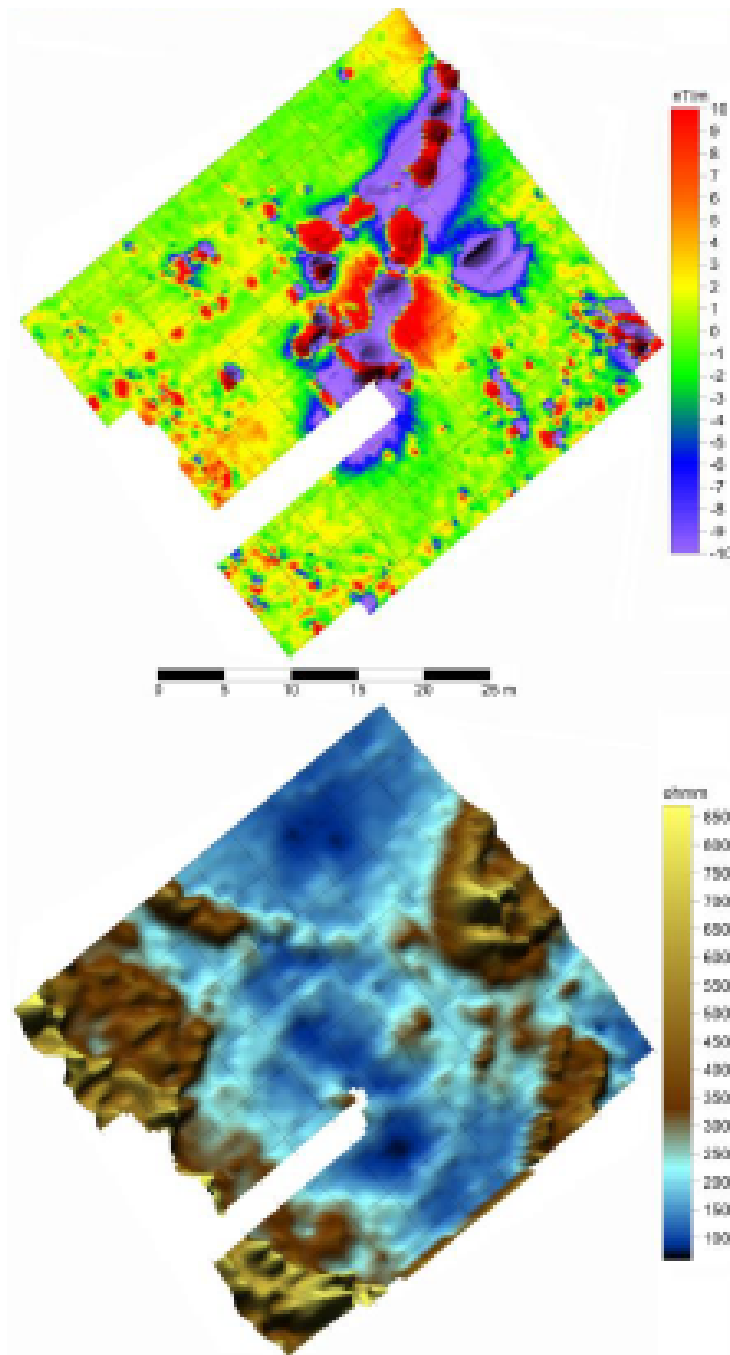
Obrázek 22: Výsledné mapy měření geofyzikálními metodami v Praze-Vinoři.[18]

Na předchozím obrázku je znázorněn výsledek měření magnetometrem (dolní část) rozsáhlé oblasti v kombinaci s ortofotem oblasti, z čehož je patrné, že pod povrchem se ukrývají různé typy objektů. Bylo provedeno měření odporu (horní část), které odhalilo čtvercové rozložení kamenných zbytků pod povrchem (pravděpodobně opevnění). V obrázku je také znázorněn řez na místě opevnění a výsledný radarový sken.

Studovaná část parku zámku Červeného dvora poblíž Českého Krumlova byla v průběhu času několikrát změněna a zalesněna. Na obrázku ve výřezu se dříve nacházelo rozárium. Bylo provedeno měření magnetometrem, které silně reagovalo na podzemní vodovodní potrubí, které vedlo k fontáně uprostřed rozária. Naopak metoda měření odporu odhalila kruhový tvar rozária s obvodovými cestami. Zde bylo demonstrováno, jak rozdílné geofyzikální metody poskytují odlišné výsledky.



Obrázek 23: Plán části zahrady zámku Červený dvůr s výřezem, ve kterém bylo prováděno měření (cca 0,2 ha). [18]



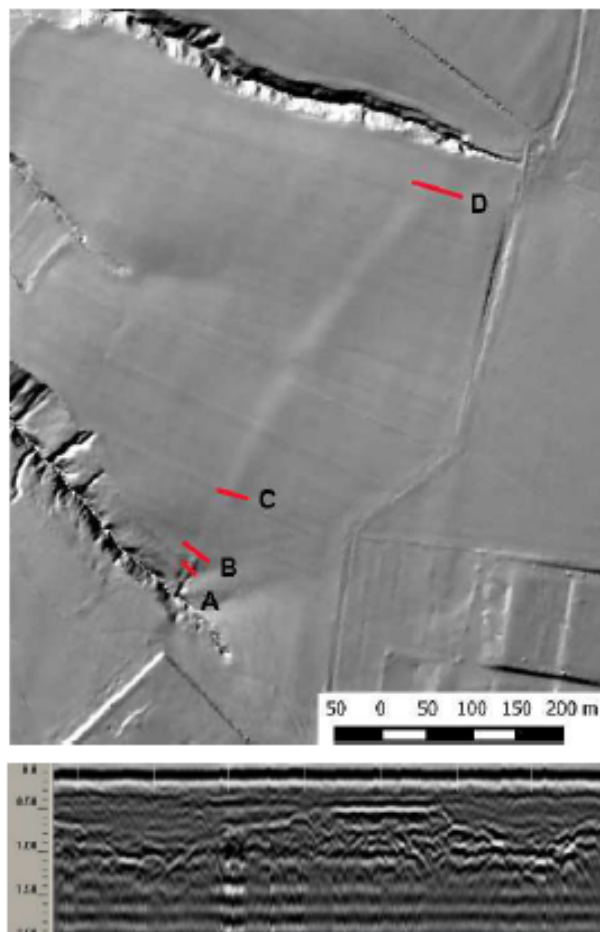
Obrázek 24: Měření rozária magnetometrem (nahore) a měření odporu (dole). [18]

Na závěr autor článku hodnotí využití geofyzikální metody. Podle autora se dnes průzkum podobných archeologických nalezišť neobejde bez měření magnetometrem. Touto

metodou lze v krátkém čase zmapovat poměrně rozsáhlé území a tak získat základní povědomí o sledované oblasti. Jako nevýhodu měření magnetometrem uvádí, že magnetometr silně reaguje na kovové materiály, které nejsou objektem sledování. Měření odporu se jeví jako vhodná doplňková metoda k měření magnetometru jen ve vybraných místech, protože měření odporu je pomalejší metoda. Další nevýhodou měření odporu je, že je závislé na vnějších podmínkách. Měření se neprovádí za deště nebo pokud je půda značně podmáčená. Roman Křivánek považuje měření georadarem za doplňkovou metodu k jiným geofyzikálním měřením. Jako výhodu této metody autor vidí, že lze provádět měření do větší hloubky.[18]

5.5 Komplexní archeologický průzkum využitím kombinací různých nedestruktivních metod

Kolektiv z Fakulty stavební ČVUT provedl roku 2015 průzkum historické lokality tzv. Čertovy brázdy. Čertova brázda se nachází severozápadně od města Kouřim mezi vesnicemi Lipany a Chotouň. Dříve se předpokládalo, že brázda sloužila jako stará cesta nebo administrativní hranice. Autoři nejprve nashromáždili dostupné materiály, jako jsou historické vojenské a katastrální mapy, data z leteckého laserového skenování a ortofoto od ČÚZK. Bylo vytvořené také detailní ortofoto a digitální model povrchu využitím RPAS. Pomocí ortofota a digitálního modelu terénu byla zvolena místa, která byla zmapována georadarem SIR - 3000 ve 4 řezech kolmých na Čertovu brázdu.

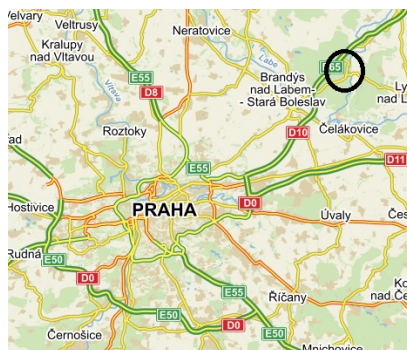


Obrázek 25: Stínovaný digitální model povrchu se znázorněnými řezy georadarem (nahore) a sken georadaru v řezu B.[11]

Na obrázku je sken georadaru v řezu B, ve kterém lze rekognoskovat val, který je z obou stran ohraničen příkopy. Příkopy jsou hluboké přibližně 1 m a jsou od sebe vzdáleny přibližně 9 m, což odpovídá situaci i na ortofotu. Ostatní řezy se s řezem B přibližně shodovaly. Autoři analyzovali průběh Čertovy brázdy využitím různých dat a geofyzikální metodou měření georadarem identifikovali její průběh. Později byla část Čertovy brázdy zdokumentována i laserovým skenerem.[11]

6 Lokalita Skorkov

Skorkov leží ve Středočeském kraji, přibližně 15 km od Prahy podél dálnice D10 směrem na Mladou Boleslav.



Obrázek 26: Poloha obce Skorkov. [www.mapy.cz]

Obec se skládá ze tří částí - Skorkov, Podbrahy a Otradovice o celkové rozloze $16,61 \text{ km}^2$. V obci je přihlášeno 583 občanů (stav k 1. 1. 2015). Mezi zajímavosti obce patří kostel sv. Jana Křtitele, o němž první zmínka pochází už z roku 1359, zvonice z roku 1698, přilehlá kostnice v renesančním slohu a fara z roku 1910 pro obec Skorkov a sousedící obec Sojovice. Skorkov leží na řece Jizeře, je proto vyhledávaným cílem rabářů a také cykloturistů. [29] [30]



Obrázek 27: Kostel sv. Jana Křtitele. [29].



Obrázek 28: Kostnice ve Skorkově. [29].

6.1 Historie obce Skorkov

První zmínka o obci se datuje z roku 1332, kdy obec Skorkow koupil Jan z Michalovic od pražského měšťana Mikuláše Fridricha. Další prameny zmiňují Skorkov až v 16. století, kdy obec byla součástí brandýského panství, které díky svým hlubokým lesům a známou honitbou přilákalo krále Ferdinanda. Brandýské panství se roku 1547 stalo majetkem královské komory. V této době bylo na území Skorkova 8 dvorů. Mezi nimi byl nejvýznamější skorkovský mlýn, který byl majetkem brandýského panství. Roku 1608 byl mlýn stržen vodou.

Ve 20. století byla v obci založena knihovna (1920), obec byla v roce 1929 elektrifikována a v roce 1933 byl založen spolek dobrovolných hasičů. V roce 1986 byly spojeny obce Sojovice, Skorkov, Otradovice a Podbrahy s celkovým počtem 750 obyvatel tvořily jednu správní jednotku. V roce 2000 se obec Skorkov na základě místního referenda opět odtrhla společně s Otradovicemi a Podbrahami.[29]



Obrázek 29: Historické foto ze Skorkova.[29]

7 Podzemní objekt ve Skorkově

Poblíž kostela sv. Jana Křtitele ve Skorkově a přilehlé fary se u řeky Jizery nachází bývalý hostinec na p. č. 20, č. p. 18. Z této budovy je vstup do rozsáhlého podzemního objektu. Objekt byl zkoumán jako součást interního výzkumu firmy EuroGV s.r.o. na žádost místních obyvatel a restaurátora Miloše Gavendy.



Obrázek 30: Historické pohledy hostince nad podzemním objektem.

Objekt se skládá z hlavní chodby, která je přibližně 20 m dlouhá a 2,5 m vysoká se stropem kruhového tvaru klenby. Tato chodba vede západním směrem pod místní komunikací až pod dům p. č. 18, č. p. 14. Na konci se tato chodba rozvětví na dvě kolmé chodby. Levý trakt je dlouhý okolo 10 m, jeho strop je značně spadaný. Pravý trakt je zazděný a vchod do něj je přes úzký komín u hlavní chodby. Jeho strop je velmi spadaný až do výšky přibližně 5,5 m. Část takto spadaného stropu se nachází pod nosnou stěnou domu č. p. 14 a byla již předmětem zkoumání dne 27. 6. 1975 technickým náměstkem Vojenských staveb Karlem Strachem, který navrhnul zajištění stropu obezdívkou nebo kompletní betonáží. Ani jedna varianta nebyla provedena.



Obrázek 31: Hlavní chodba podzemního objektu. [vlastní foto]

Původ chodby je naznámý. Podle místních chodba sloužila jako úniková cesta z přilehlého kostela a fary směrem k řece Jizeře, která byla dříve používána jako dopravní cesta. Další variantou, podle místních bylo pokračování chodby jihozápadním směrem na 2,5 km vzdálený vrch Kobylí hlava. Několik místních prý spatřilo rychleji tající snůh na poli směrem na Kobylí hlavu, a to přispělo k jejich domněnce.

Prvotní průzkum chodby tyto domněnky nepotvrdil. Chodby na koncích nejsou zazděné, vždy končí na skále. Také směr hlavní chodby neodpovídá možnosti, že chodba byla únikovou cestou od kostela a fary. Jako pravděpodobnější výklad se jeví, že podzemní objekt sloužil jako proviantní sklepení vojska za třicetileté války. Vojsko bylo utábořené poblíž Staré Boleslavi a hned u Skorkova se nacházel strategický most, kde se vybíralo clo přes řeku Jizeru do Lysé nad Labem. Dalšími možnostmi je, že podzemní objekt sloužil

jako klasické sklepení pro mlýn nebo později od 18. století jako sklepení pro hostinec. Pravý i levý trakt se skládá z více výklenků, které naznačují, že se opravdu mohlo jednat o skladiště. Otázkou zůstává, proč je sklepení tak rozsáhlé a proč k výklenkům vede dlouhá 20 m chodba pod povrchem.



Obrázek 32: Levý trakt se spadaným stropem. [vlastní foto]

7.1 Sběr dat

Pro představu o území a jako podkladová data pro měření bylo od Českého úřadu zeměměřičského získáno ortofoto s rozlišením 0,25 m na pixel v souřadnicovém systému S-JTSK. Konkrétně byly získány mapové jednotky BRAN64, BRAN65 a BRAN74 ve formátu JPG. Dále byla získána data katastrálního území č. 748382 ve formátu VFK. Data byla spojena v programu QGIS 2.8.2. Wien.

7.2 Zaměření podzemního objektu

Změření podzemního objektu probíhalo dne 14. 7. 2015.

7.2.1 Geodetické zaměření

Nejprve bylo stabilizováno bodové pole. Bylo stabilizováno 5 bodů tak, aby z nich bylo možné zaměřit většinu podzemního objektu i polohopis a výškopis nad objektem. Body byly zaměřeny metodou RTK GNSS s připojením do permanentní sítě CZEPOS ve dvou na sobě nezávislých etapách, které se časově lišily o více než 1 hodinu. Polohově se souřadnice získané z obou etap lišily do 0,05 m. Souřadnice bodu 4002, který se nachází v podzemním objektu, nemohly být změřeny metodou GNSS, a tudíž byly změřeny rajonem z bodu 4001.

Tabulka 2: Souřadnice bodů bodového pole v souřadnicovém systému S-JTSK a Bpv.

číslo bodu	Y [m]	X [m]	Z [m]
4001	717246,27	1030011,31	180,79
4002	717283,43	1030021,96	180,09
4003	717254,66	1030069,15	181,39
4004	717269,23	1030008,92	184,44
4005	717304,27	1029986,75	190,52
4006	717311,86	1029971,35	193,10



Obrázek 33: Bodové pole. [QGIS]

Z bodu č. 4002 byl polární metodou totální stanicí Topcon DSseries zaměřen podzemní objekt. Chodby byly zaměřeny v profilech po cca 3 m 5 body. Z ostatních bodů byl měřen výškopis a polohopis objektů nad terénem. Celkově bylo změřeno 201 bodů.

7.2.2 Tvorba 3D modelu

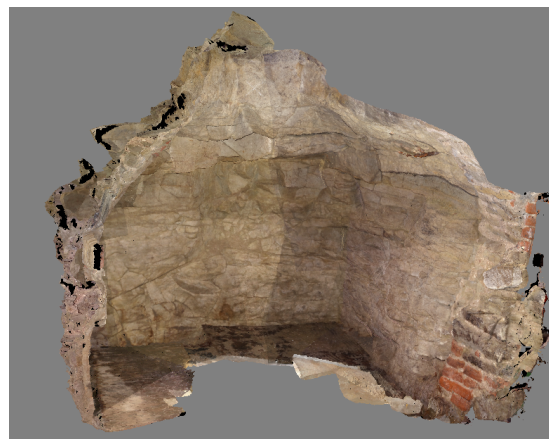
Některé části sklepení nebylo možné zaměřit ze stanoviska č. 4002 a nebo pro některé části byla jako vhodnější metoda pro dokumentaci zvolena obrazová korelační metoda. Byly nasnímkovány 2 výklenky v podzemním objektu a pravý zadržný trakt kompaktním fotoaparátém SONY DSLR-A-100 ve schématu vhodném pro pozdější zpracování v software Agisoft Photoscan. V programu Agisoft Photoscan bylo vypočítáno mračno bodů, zhuštěné mračno bodů a následně trojúhelníková síť (Mesh), která byla otexturována.

Na výklencích byly zaměřeny 3 křížové míry laserovým dálkoměrem, pomocí kterých byly modely v programu Agisoft Photoscan nastaveny do měřítka. U pravého traktu nebylo možné přesně identifikovat koncové body jednotlivých měř, a proto výsledná odchylka je vyšší než u zbylých modelů. Následně byly modely exportovány do formátu OBJ a impor-

továny do programu Rhinoceros 3D, kde byly orientovány na geodetické měření pomocí 3 vybraných identických bodů.

Tabulka 3: Výsledné odchylky nastavení do měřítka modelů v Agisoft PhotoScan.

model	RMS [m]
výklenek č. 1	0,01
výklenek č. 2	0,01
pravý trakt	0,28



Obrázek 34: 3D model výklenku č. 1 a výklenku č. 2. [Agisoft Photoscan]



Obrázek 35: 3D model pravého traktu se spadáným stropem. [Agisoft Photoscan]

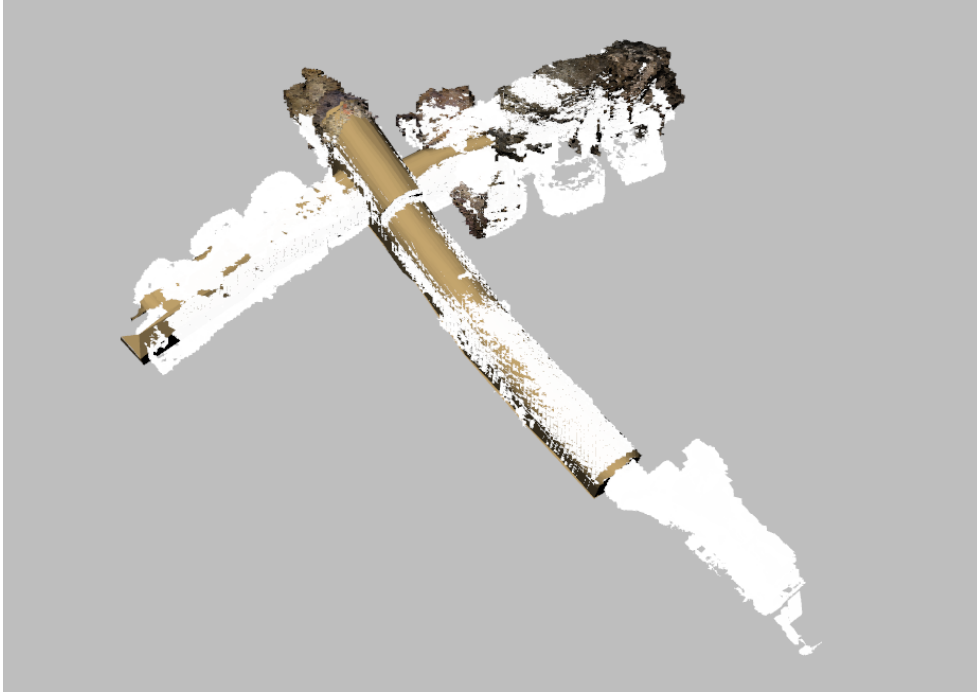
Následně byl vytvořen 3D model ze zaměřených dat v programu Rhinoceros3D. Nejprve byla vytvořena čárová 3D kresba spojením bodů z geodetického zaměření, ze kterých byly vytvořeny plochy typu Surface, jež byly spojeny s modely výklenků v jeden model a model byl převeden na typ Mesh. Tím byl vytvořen první 3D model z geodetického zaměření.



Obrázek 36: Soukres ortofota, katastrálních dat a 3D modelu z geodetického zaměření.
[ČÚZK, QGIS]

7.2.3 Laserové skenování

Fázovým laserovým skenerem Surphaser 25HSX byl zaměřen podzemní objekt. Celkově bylo změřeno 11 skenů, které byly zpracovány v programu Geomagic. Nejprve byly skeny na sebe postupně navazovány manuální registrací. Princip manuální registrace spočívá v označení identických bodů v překrývající se oblasti dvou mračen bodů. Tím se přibližně dvě překrývající oblasti ztotožní. Pro dokonalejší splynutí překrytových oblastí byla použita globální registrace, kdy software automaticky spojí dvě mračna na základě minimalizace rozdílů mezi nimi. Byla vygenerována trojúhelníková síť (Wrap) a bylo provedeno čištění a zpravování sítě funkcemi Fill a Relax. Trojúhelníková síť byla vyexportována a nahrána do programu Rhinoceros 3D, kde byla georeferencována třemi body na geodetické zaměření.



Obrázek 37: Soukres dat z laserového skenování (bílá barva) a model vytvořený z geodetického zaměření (hnědá). [Rhinoceros3D]

Na předchozím obrázku lze vidět, že laserové skenování (bílá barva) se s modelem z geodetického zaměření (hnědá barva) věrně shoduje. Geodeticky byly zaměřeny pouze některé fragmenty z levé chodby. Laserovým skenováním byla zdokumentovaná celá levá část včetně sklepních výklenků. Pravá část se spadáním stropem nebyla geodeticky zaměřena, ale byla vytvořena v Agisoft Photoscan. Některé části ale nebyly nasnímkovány a proto laserovým skenerem byla i tato část chodby lépe zdokumentována. Laserový skener zaznamenal i některé předměty (bedny, náradí atd.), a proto model v některých místech nereprezentuje přesný tvar chodby.

7.2.4 Průzkum georadarem

Byl proveden průzkum georadarem SIR-3000 od americké firmy GSSI. Protože se na základě geodetického měření hlavní chodba nachází přibližně 2 m pod místní komunikací,

byla zvolena anténa s frekvencí 200 MHz. K měřicímu zařízení bylo připojené záznamové kolečko, které měřilo vzdálenost po profilu. Jediné vhodné místo pro měření georadarem se nacházelo nad místní komunikací, další část podzemního objektu se nachází pod zástavbou a záhonem u rodinného domu. Na silnici byly zvoleny tři profily (A, B, C), které se polohově nacházely nad podzemní chodbou a jež byly zaměřeny v předchozím geodetickém zaměření.



Obrázek 38: Zvolené profily pro měření georadarem nad hlavní chodbou. [ČÚZK, QGIS]

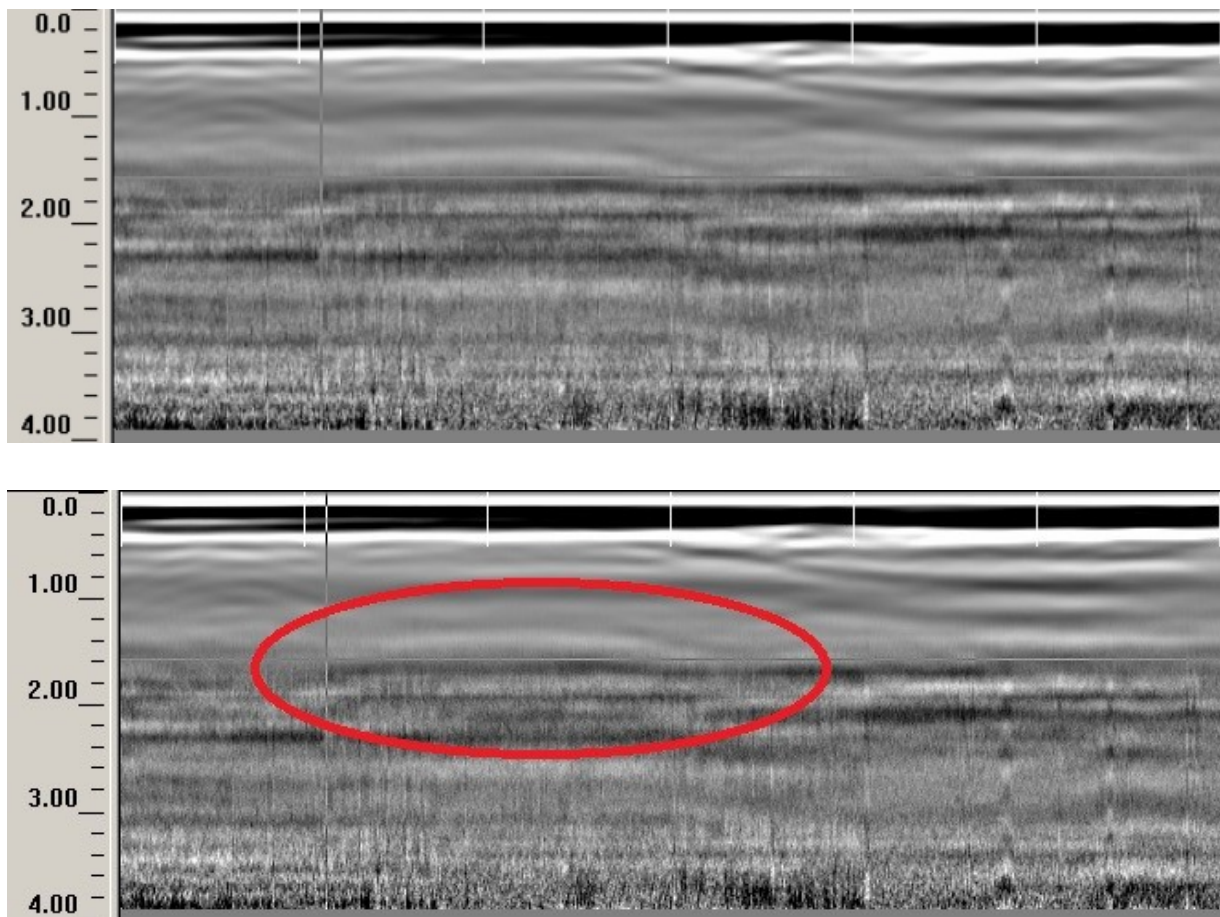
Před měřením je nutné zadat fyzikální parametry geologického podloží, například dielektrickou konstantu, která ovlivňuje výpočet hloubky. Bohužel v tomto místě byl přesný typ podloží neznámý, a byly tedy zadány doporučené univerzální parametry. Pravděpodobně se pod asfaltovou vrstvou nalézal štěrk nebo navážka a z toho důvodu mohl být georadarový signál tříštěn.

Tabulka 4: Parametry zadané do georadaru před měřením.

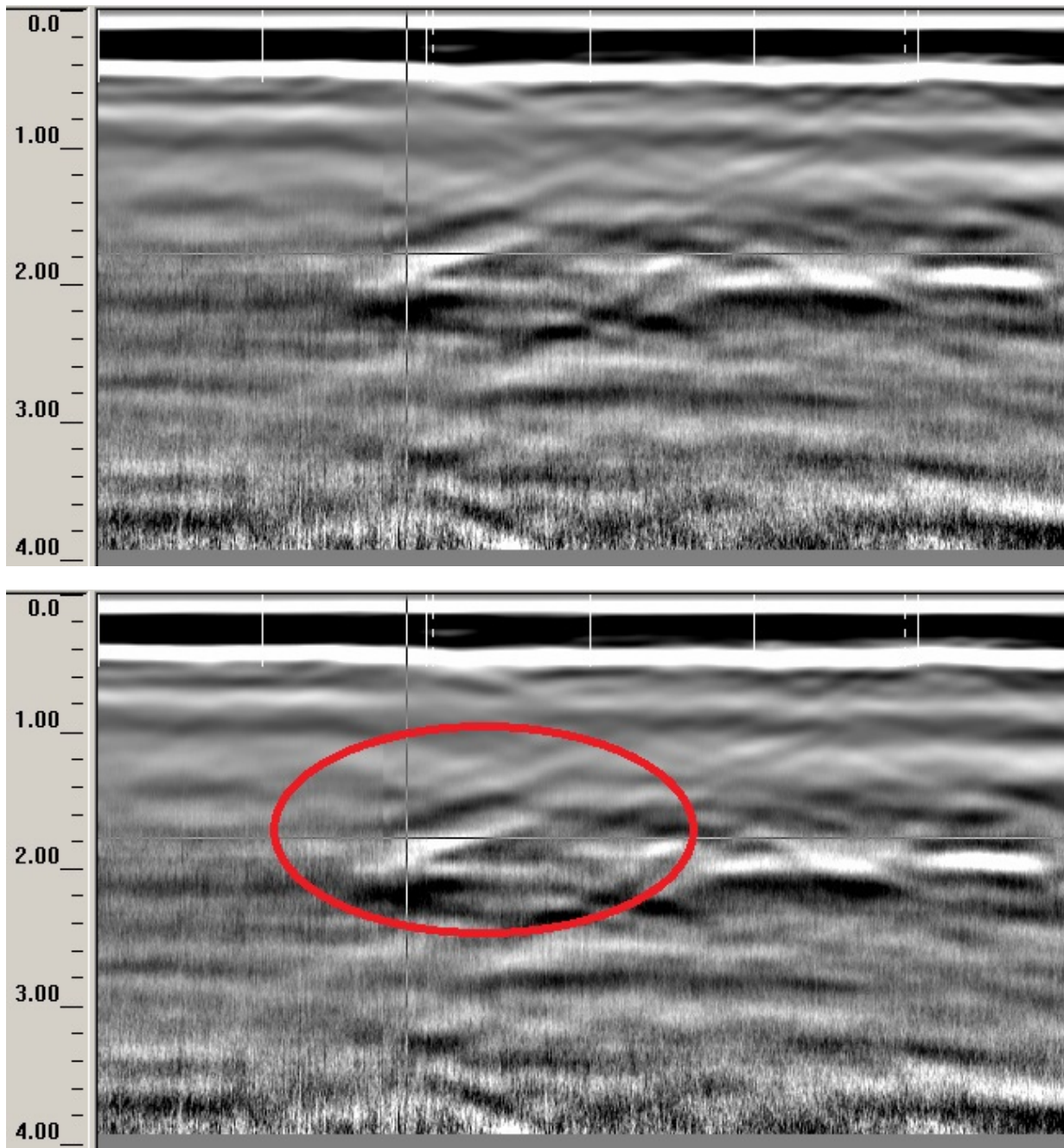
Anténa	200 MHz
Dielektrická konstanta	8
Počet skenů na 1 m	100
Měřená hloubka	4,25 m

Relevantní výsledky byly získány pouze z opakovaného měření na profilu A a C. Na těchto radarových skenech byla chodba identifikována, i když výsledek není příliš průkazný. Ve výsledcích

ze zbylého profilu B nebyla chodba identifikována. Důvodem může být i to, že přibližně podél osy vozovky se nachází vodovodní potrubí, což prokázalo i měření georadarem v profilu kolmém na všechny řezy.



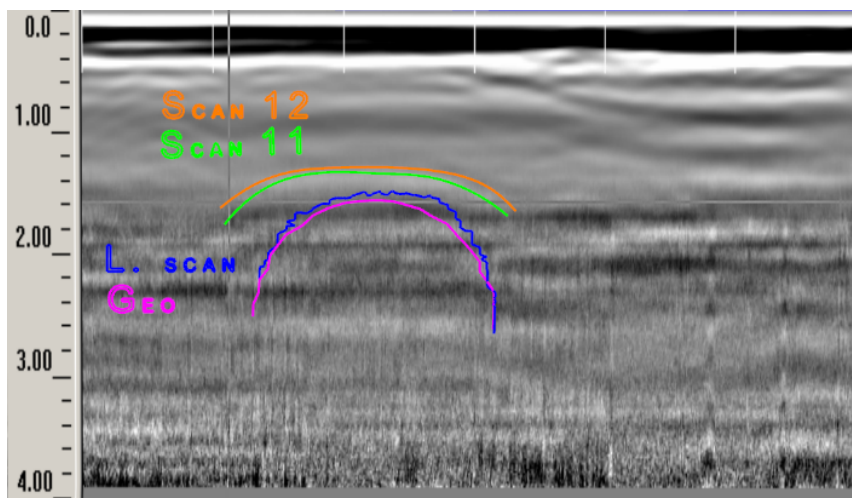
Obrázek 39: Georadarový sken v profilu A s označením pravděpodobného průběhu klenby.



Obrázek 40: Georadarový sken v profilu C s označením pravděpodobného průběhu klenby.

Georadarový sken byl importován do programu Rhinoceros3D, byl orientován na geodetické zaměření a upraveno jeho měřítko, tím byl vložen do již vytvořeného 3D modelu

z geodetického zaměření a z laserového skenování. Identifikovaná klenba na skenu z profilu A opravdu odpovídá průběhu 3D modelu u obou zaměřených georadarových skenů. Byl proveden řez modelem a identifikací na skenech byla vytvořena křivka pro porovnání využitých metod.



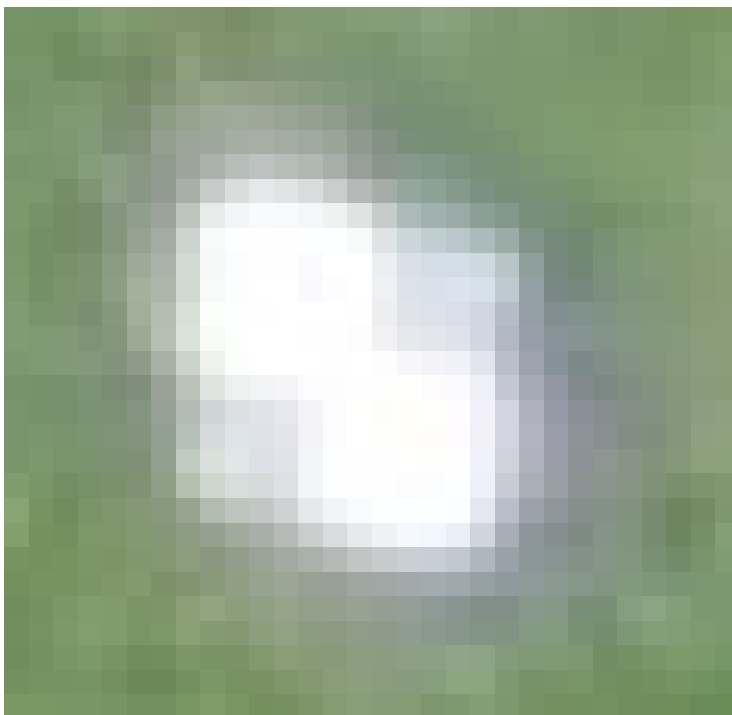
Obrázek 41: Georadarový sken na profilu A v měřítku a s označením pravděpodobného průběhu klenby.

Dle obrázku polohové měření klenby georadarem odpovídá geodetickému zaměření a laserovým skenerem. Výškově se měření georadarem od ostatních metod liší okolo 0,2 m až 0,3 m. To je pravděpodobně způsobeno neznalostí podloží a jeho fyzikálních vlastností. Výslednou hloubku ovlivňuje předem zadaný parametr dielektrikum, který byl nastaven na univerzální hodnotu 8. Pro přesnější měření hloubek by musel být nejprve proveden geologický průzkum a nebo by hodnota musela být nakalibrována na známý průběh podzemního objektu.

7.2.5 Snímkování lokality ve Skorkově

Dne 1. 4. 2016 bylo provedeno nasnímkování zájmové lokality ve Skorkově nad sledovaným podzemním objektem. Nejprve byly signalizovány vlčovací body pěti černobílými terči, které byly zaměřeny metodou RTK GNSS s připojením do permanentní stanice

CZEPOS v jedné etapě. Terče byly rozmístěny do tvaru čtverce s jedním terčem uprostřed. Souřadnice pro zpracování v programu Agisoft Photoscan byly převedeny do matematického systému.



Obrázek 42: Výřez terče ze snímku pořízeného z letounu eBee. Z obrázku je patrné, že je z důvodu špatného počasí při snímkování, jsou detaily na snímku rozmazané.

Tabulka 5: Souřadnice zaměřených vlíčovacích bodů v souřadnicovém systému S-JTSK a Bpv.

číslo bodu	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	-717310,69	-1030005,56	190,16
2	-717356,58	-1030050,39	190,71
3	-717330,36	-1029961,46	194,16
4	-717228,29	-1030076,05	177,40
5	-717215,78	-1029982,93	176,08

Pro snímkování byl použit bezpilotní letoun eBee se záznamovým zařízením kompaktním fotoaparátém Canon IXUS 127 HS, který snímkuje v klasickém schématu RGB. Nálet probíhal za nepříznivého počasí. Z důvodu mírného deště se získané snímky jeví jako nekvalitní a mírně rozmazané. Celkově bylo pořízeno 126 snímků se zadaným rozlišením 4 cm/pixel nad lokalitou o rozloze okolo 50 ha.



Obrázek 43: Průběh letu letounem eBee nad zájmovým územím ve Skorkově.

Snímky byly importovány do programu Agisoft Photoscan, kde byly nejprve spočítány jejich prvky vnější orientace krokem Align Photos. Tím bylo i vypočítáno mračno spojovacích bodů. Na snímcích byly identifikovány vlíčovací body, model byl georeferencován pomocí vlíčovacích bodů a provedena filtrace bodů.

Tabulka 6: Tabulka RMS rozdílů zadaných a vyrovnaných hodnot vlíčovacích bodů.

RMS X [m]	RMS Y [m]	RMS Z [m]	Total RMS [m]
0,04	0,04	0,15	0,16

Polohově je model poměrně přesný a odpovídá zadané hodnotě pixelu při snímkování. Výškově je hodnota RMS čtyřnásobná.

Po georeferencování modelu bylo krokem Build Dense Cloud vytvořeno mračno bodů, následně byl spuštěn krok Build Mesh, kterým byla vytvořena trojúhelníková síť (Mesh), jež byla otexturována krokem Build Texture. Na závěr bylo vytvořené ortofoto krokem Build Orthomosaic s rozlišením 5 cm/pixel. Na první pohled je zjevné, že trojúhelníková síť je v některých místech (zejména střechy a části zdiva domů) mírně deformována. Barvy otexturovaného modelu se jeví jako neostré. To bylo pravděpodobně způsobeno špatným počasím v době náletu.



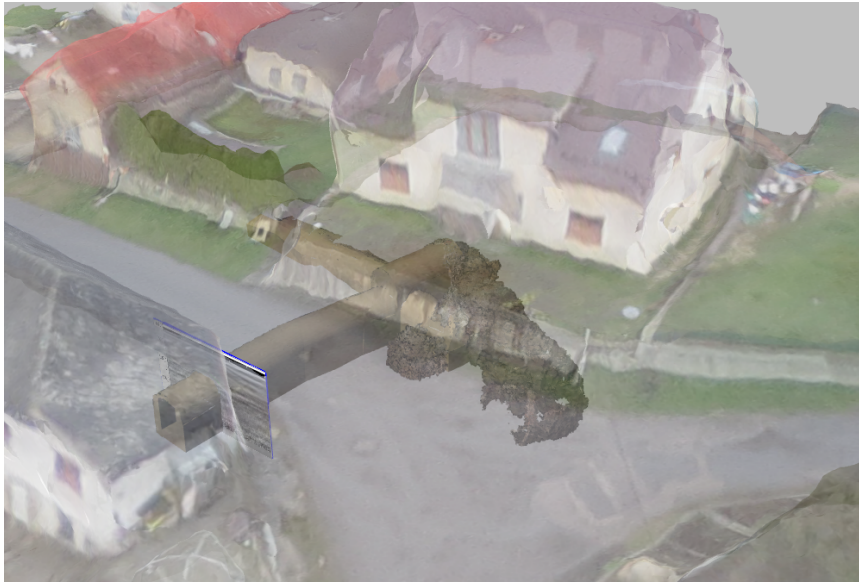
Obrázek 44: Vytvořený otexturovaný 3D model s rozmístěním vlčovacíků bodů.

7.3 Spojení dat

Dokumentací podzemního objektu ve Skorkově bylo pořízeno množství různých 3D dat. Byl vytvořen 3D model na základě geodetického zaměření v kombinaci s některými částmi vytvořenými metodou obrazové korelace v Agisoft Photoscan. Byl vytvořen také 3D model z laserového skenování a otexturovaný 3D model povrchu nad zájmovým objektem ze snímků z provedeného náletu. Také bylo provedeno měření georadarem v řezech nad hlavní chodbou.

Veškerá data byla sloučena v programu Rhinoceros3D, který se autorovi jeví jako velmi dobrý nástroj pro spojování velkého množství dat. Rhinoceros3D podporuje velké

množství 3D a 2D formátů, vhodně vizualizuje textury a mračna bodů. Mimo vizualizování dat umožňuje software také editaci veškerých prvků. Bohužel editace podrobných trojúhelníkových sítí vytvořených v programu Agisoft Photoscan nebo laserovým skenováním je v tomto software velmi náročná. V Rhinoceros 3D je také možné provádět řezy veškerými importovanými prvky.



Obrázek 45: Sloučení modelu podzemní části, radarového skenu v profilu A a otexturovaného digitálního modelu povrchu nad podzemním objektem. Další výstupy jsou uvedeny v příloze. [Rhinoceros3D]

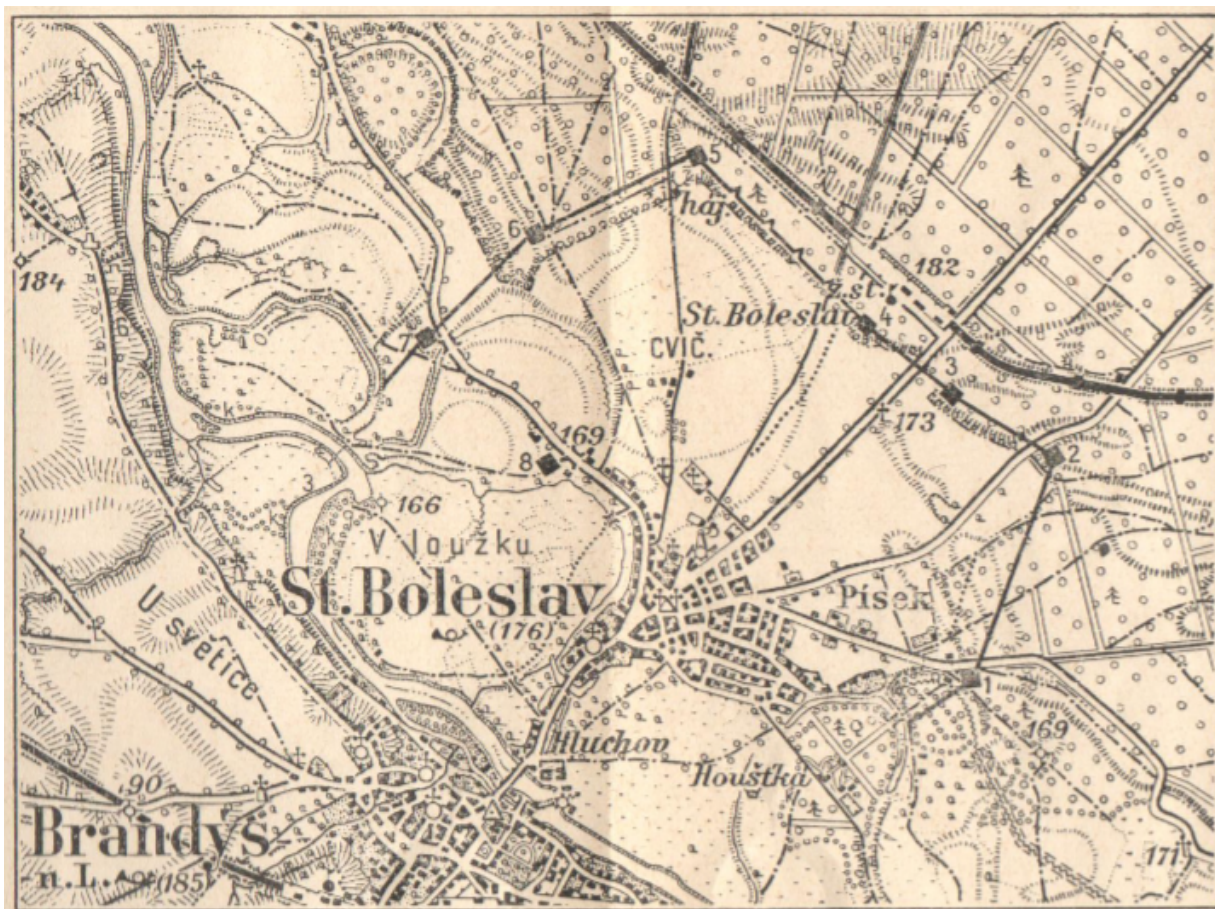
8 Švédský tábor ve Staré Boleslavi za třicetileté války

Během třicetileté války se území Brandýsa nad Labem, Staré Boleslavi a přemostění přes řeku Labe směrem k Praze stalo strategickým územím pro obsazení Prahy. Na tomto území se střídavě nacházela vojska císařské armády i švédské armády, která víceméně pustošila přilehlá okolí. Roku 1639 se tohoto území zmocnil švédský generál Jan Bannér, který zde začal budovat hlavní sídlo pro svá vojska, které plánoval opevnit na pravém břehu Labe. Jako své sídlo zvolil místní zámek, který opevnil z materiálu ze zbořených domů v Brandýse nad Labem. Pro vnější opevnění na pravém břehu Labe nechal Jan Bannér zbořit domy i ve Staré Boleslavi a Čelakovicích. Projektant tábora navrhl opevnění tak, aby u každé z přístupových cest stály reduty, které spojil zákopovou čarou. Průběh opevnění zobrazil na rytině inženýr Carlo Cappel. [36][37]



Obrázek 46: Kresba inženýra Carla Cappiho vojenského tábora z roku 1640.[36]

Tato rytina se stala základem pro zkoumání opevnění. Kresba je orientována na jih a dle této rytiny lze dnes určit, kudy pravděpodobně opevnění vedlo. Opevnění začíná u vodního toku ramena Labe, které je na kresbě mylně označeno jako řeka Jizera a přes mokřady pokračuje k první redutě, která hlídala cestu na Lysou nad Labem. Opevnění dále pokračuje severovýchodním směrem k tehdy důležité Sojovické cestě, jež vede k mostu přes řeku Jizeru ve Skorkově a je další přístupovou cestou k Lysé nad Labem. Směr opevnění se stáčí na severozápad ke třetí redutě, která stála u silnice směrem na Liberec. Stejným směrem val pokračoval i ke čtvrté a páté redutě a poté se stočil nazpět jihozápadním směrem k šesté a sedmé redutě.



Obrázek 47: Opevnění zakreslené na podkladu Speciální mapy.[36]

Poslední reduta (v pořadí č. 8) nebyla s ostatními spojena valem a nacházela se na vyvýšeném místě poblíž silnice směrem k Mělníku a místního potoka. Tato reduta byla předmětem dalšího zkoumání v diplomové práci.

Reduty byly čtvercového tvaru, který strážili vojáci s houfnicemi a děly. Strana reduty měřila 32 m na horním náspu. Každá reduta měla po obvodu příkop a byla chráněna palisádami.[36][37]

8.1 Průzkum reduty

Nejprve byla zvolena vhodná lokalita pro provedení průzkumu. Jako nejvhodnější se zdál průzkum reduty č. 8. Reduta č. 8 pravděpodobně stála na dnešním poli podél Mělnické ulice a místního potoka na p.č. 1939/4 v k.ú. 609170. Ostatní reduty se nacházely buď v lese, nebo jsou již zastavěny.

Byl proveden průzkum ortofotomap na mapových portálech a na ortofotu z roku 2012 na serveru mapy.cz je mírně patrný obrys ve tvaru kosočtverce, který by rozměrově odpovídal pravděpodobnému rozměru reduty (cca 32 m x 32 m). Snímkování bylo pravděpodobně prováděno náhodně ve vhodném vegetačním období, protože obrys nebyl na žádném jiném ortofotu dohledán.



Obrázek 48: Kontrastně upravený obrázek ortofota. V označeném kruhu je mírně patrný kosočtverec, který odpovídá rozměrům reduty.[mapy.cz]

8.2 Snímkování lokality

Dne 22. 4. 2016 bylo provedeno snímkování lokality bezpilotním letounem eBee a kompaktní kamerou Canon S110 NIR, která snímkuje v infračervené, červené a zelené složce. Cílem tohoto snímkování bylo získat digitální model povrchu lokality a z výškových anomálií

vyčíst možný průběh reduty a také vytvořit NDVI. Pomocí NDVI lze detekovat rozdíly v rychlosti růstu plodiny, které mohou být způsobeny například podzemním objektem.

Letový plán zahrnoval plochu o přibližné rozloze 0,5 m. Celkově bylo pořízeno 50 snímků, které byly zpracovány v programu Agisoft Photoscan. Bylo vytvořené mračno bodů, které bylo georeferencováno na souřadnice středů snímků v souřadnicovém systému WGS84, které byly získány jednotkou INS v letounu eBee.

Tabulka 7: Tabulka RMS rozdílů zadaných a vyrovnaných hodnot souřadnic středů snímků.

RMS E [m]	RMS N [m]	RMS Z [m]	Total RMS [m]
0,37	0,39	0,67	0,86

Bylo vytvořeno zhuštěné mračno bodů, trojúhelníková síť a textura. Byl vyexportován rastrový digitální model povrchu s rozlišením 8 cm/pixel a vyexportováno ortofoto s rozlišením 4 cm/pixel.

8.3 Měření lokality magnetometrem

Magnetometrem s ferosondou od kanadské firmy Gemsystems byla prozkoumána lokalita, kde pravděpodobně dříve stála reduta. Magnetometr byl připojen k GNSS jednotce a společně se souřadnicemi bodů v souřadnicovém systému WGS84 odečítá hodnotu elektromagnetické indukce a její gradient.

Měření s magnetometrem bylo prováděno v přibližně pravidelném rastru po 3 m. Celkově bylo odečteno 757 bodů. Tyto body byly importovány do programu QGIS a pomocí extenze programu SAGA GIS byly vyinterpolovány rastry pro indukci a gradient interpolační metodou Ordinary Kriging.



Obrázek 49: Měření magnetometrem nad zájmovou oblastí (každý bod odpovídá jednomu měření).[mapy.cz]

8.4 Měření lokality georadarem

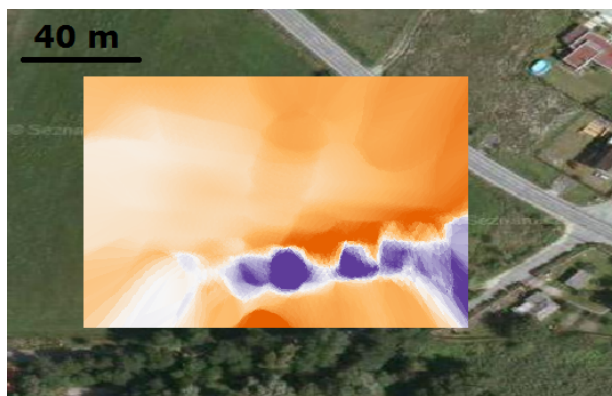
Na závěr byl proveden i průzkum georadarem SIR - 3000 americké značky GSSI. K měření byla použita anténa o frekvenci 400 MHz. Byly měřeny 4 podélné profily a jeden profil kolmý s parametry uvedenými v tabulce. Soukres georadarových skenů a ortofotomapy z portálu mapy.cz jse uveden v příloze.

Tabulka 8: Parametry zadané do georadaru před měřením.

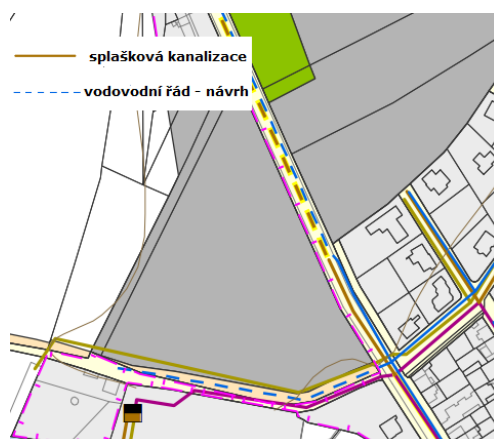
Anténa	400 MHz
Dielektrická konstanta	8
Počet skenů na 1 m	50
Měřená hloubka	2,40 m

8.5 Analýza získaných dat

Rastry, které byly vyinterpolovány z dat měření magnetometrem odhalují velikou anomálii v liniovém tvaru podél místní komunikace směrem ke sběrnému dvoru. Podle podkladů města Brandýs nad Labem - Stará Boleslav se podél místní komunikace nachází rozvody inženýrské sítě. Jestli tyto sítě vedou pod místní komunikací nebo podél komunikace v poli, kde magnetometr vykazuje silné anomálie, není zjistitelné. Autor se kloní k variantě, že zjištěné silné anomálie jsou způsobeny inženýrskou sítí.

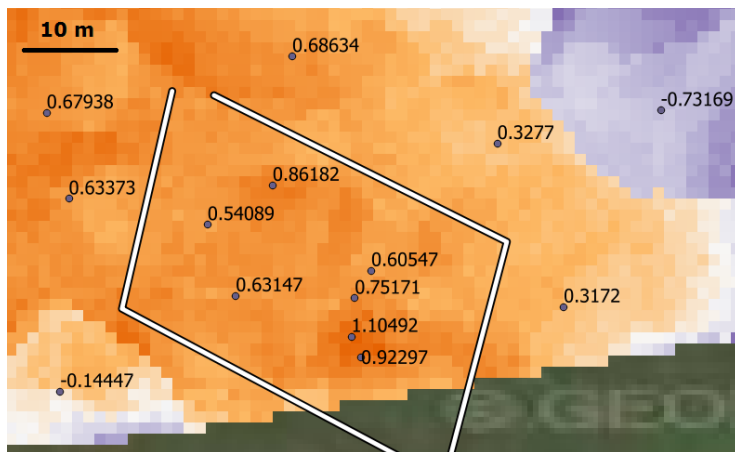


Obrázek 50: Soukres interpolovaného rastru a ortofotomapy, ze kterého je patrná anomálie podél místní komunikace.[mapy.cz]



Obrázek 51: Schéma inženýrských sítí ve sledované lokalitě. [4]

Z ortofotomapy na serveru mapy.cz, kde byl mírně patrný kosočtverec na vegetaci, byla vytvořena křivka, která možná reprezentuje studovanou redutu. K této křivce jsou ostatní výsledky porovnávány a v textu je uvažována jako referenční. Po odfiltrování části s pravděpodobnou inženýrskou sítí se v pravděpodobném místě reduty nachází mírná magnetická anomálie. Na obrázku je znázorněn interpolovaný rastr z měření gradientu elektromagnetické indukce.



Obrázek 52: Hodnoty gradientu na pravděpodobném místě reduty.

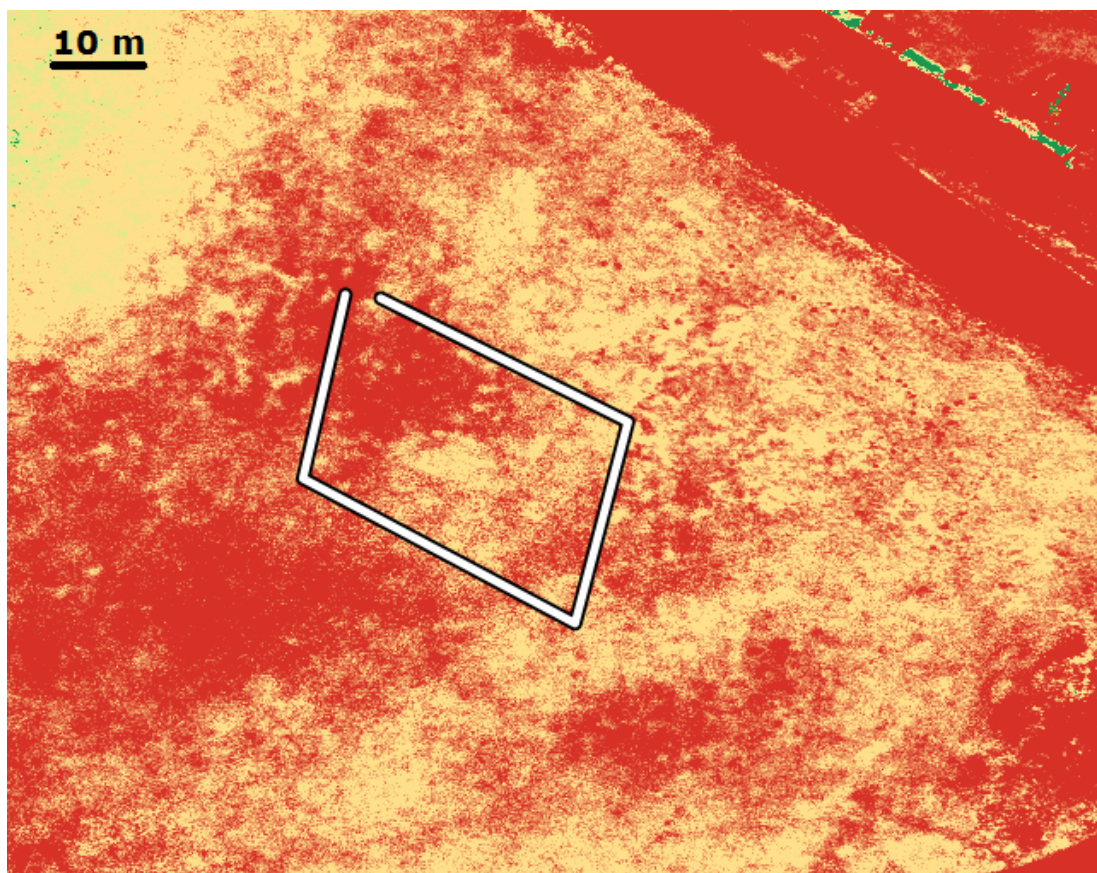
Ze zpracování snímků získaných z letounu eBee byl vytvořen digitální model povrchu v rastrové podobě s rozlišením 8 cm/pixel pro sledování místních výškových anomálií. Byla provedena silná filtrace digitálního modelu filtrem, který potlačuje relativně velké výškové rozdíly tak, aby mohly vizuálně vyniknout menší výškové anomálie. Digitální model byl vizualizován v programu QGIS. Světlejší pixely odpovídají vyvýšeninám, tmavší nižším polohám.



Obrázek 53: Vizualizovaný digitální výškový model. Originál je přiložen v příloze.

Digitální model neodhalil výškové anomálie, které by potvrdily, že se na místě nacházela dělostřelecká reduta. Na předchozím obrázku lze vidět dvě rovnoběžné prohlubeniny vedoucí přes celou sledovanou lokalitu. Tyto prohlubeniny vedou místem, kde byl identifikován kosočtvercový tvar, ale pravděpodobně s redutou nijak nesouvisí.

Dalším objektem pro analýzu bylo vytvořené NDVI vypočítané v programu QGIS, ze snímků pořízených letounem eBee. Na obrázku je NDVI snímané lokality. červená barva znázorňuje nízké hodnoty NDVI, žlutá vyšší a zelená nejvyšší hodnoty. V místě referenční křivky (bílá barva) nelze pozorovat některé vegetační anomálie, které by přímo odpovídaly poloze reduty. Celkový NDVI rastr je uveden v příloze.



Obrázek 54: Vytvořené NDVI ke dni 22. 4. 2016 a odečtená křivka pravděpodobné reduty.

Vyhotovené georadarové profily byly interpolovány do 3D obrazce v programu Radan. 3D obrazcem byl proveden řez v hloubce 1,08 m pod povrchem, tento řez byl barevně vizualizován a vložen do ostatních podkladů. Bohužel profily měřené georadarem nebyly geodeticky zaměřeny, a proto byl řez 3D obrazcem zasazen do souřadnicového systému pouze přibližně.

Z obrázku je patrné, že se zde objevují některé anomálie, které se nachází přibližně pod severní a jižní stranou křivky, která byla v analýze určena jako referenční. V budoucnu by bylo vhodné provést další doplňující měření georadarem i s anténou o jiné frekvenci a jednotlivé georadarové profily připojit do souřadnicového systému.



Obrázek 55: Řez 3D obrazem vyinterpolovaného z měření georadarem v hloubce 1,08 m pod povrchem.[mapy.cz]

9 Průzkum možného pravěkého sídliště ve Skorkově

Byl proveden výzkum v Městském muzeu v Čelakovicích, kde se autor setkal s kurátorkou muzea PhDr. Katalin Almassy kvůli vyhledávání historických lokalit v okolí Skorkova. Katalin Almassy doporučila prozkoumání lokality kolem kostela sv. Jana Křtitele. Tato lokalita se jevila jako nevhodná, protože kostel se nachází uvnitř obce a cílem bylo provést měření magnetometrem, kde by magnetometr silně reagoval na místní kovové předměty. Proto byla navrhována druhá lokalita.

Podle PhDr. Katalin Almassy je teoreticky možné, že na území Skorkova se nacházelo pravěké sídliště. Na území Skorkova byly již nalezeny některé předměty, pravděpodobně z období neolitu a mohylové kultury. Výzkum v této oblasti prováděl Jaroslav Špaček. Jeden z těchto předmětů byl i nalezen na území za skorkovským hřbitovem, kde se dnes nachází pole.

Na tomto místě bylo provedeno měření magnetometrem s ferosondou od firmy Gemsystems. Měření bylo prováděno v rastru po cca 3 m o celkové ploše 1 ha. Celkově bylo pořízeno 1248 záznamů s hodnotou elektromagnetické indukce, gradientu a souřadnic v souřadnicovém systému WGS84. Ze získaných bodů byl vyinterpolován rastr metodou Ordinary Kriging v programu QGIS s rozšířením SAGA GIS.

Měření bohužel nevykazuje výrazné anomálie v lokalitě a tomu odpovídá i výsledný vyinterpolovaný rastr, který neodhaluje, že by lokalita mohla skrývat některé archeologické předměty. Výsledek je uveden v příloze.

10 Závěr

Diplomová práce měla za cíl představit geofyzikální metody, které se dnes využívají pro archeologické účely. Mezi nejznámější metody patří průzkum magnetometrem. K této metodě se jako další doplňkové metody používají měření georadarem v zadaných profilech a také měření odporu.

Všechny geofyzikální metody mají své výhody i nevýhody a také poskytují odlišné výsledky, proto je vhodná jejich kombinace. Magnetometr umožňuje mapovat velmi rozsáhlé území za krátkou dobu. Měření ale není vhodné provádět v obcích, kde magnetometr reaguje na veškeré kovové předměty, a měření se tak může stát nepoužitelné. Měření georadarem je metoda, která oproti jiným umožňuje měřit i hloubku předmětů a měřené profily interpolovat či provést řezy interpolovanými daty. Výsledky z měření georadarem může být složité interpretovat a také georadar není vhodné použít v některých místech. Například nad navážkou se signál georadaru rychle třístí, a výsledek není kvalitní. Měření odporu poskytuje alternativní výsledky k měření magnetometrem, ale ve srovnání je pomalejší a nemělo by být prováděno za deště nebo když je půda podmáčená.

V diplomové práci byly také popsány další metody, které se využívají v archeologii nebo pro dokumentaci historických objektů. Laserové skenování umožňuje získat přesná data za krátký čas a je vhodné pro dokumentaci současného stavu. Další alternativou je RPAS. Z leteckých snímků nebo zpracovaného ortofota lze identifikovat některé objekty, které ze země nejsou okem patrné. Zároveň pomocí RPAS lze získat data, ze kterých se zpracováním vytvoří přesný digitální model povrchu nebo terénu, na kterém lze sledovat výškové anomálie.

Dále autor vypracoval literární rešerši na téma využití geofyzikálních metod v kombinaci s ostatními metodami pro archeologické účely nebo dokumentaci historických objektů. Autor čerpal z archivů ISPRS, kde je například publikován i článek Romana Křivánka, který na několika příkladech demonstroval využití geofyzikálních vhodně se doplňujících metod.

Součástí diplomové práce bylo provedení tří měřičských projektů. Nejprve byl doku-

mentován rozsáhlý podzemní objekt ve Skorkově několika metodami. Dále bylo zaměřeno pravděpodobné místo bývalé reduty opevnění za třicetileté války a také oblast ve Skorkově, kde byla možnost, že se v místě nacházelo pravěké sídliště. Veškeré měření provedl autor sám pod dozorem prof. Dr. Ing. Karla Pavelky a data zpracoval samostatně.

Podzemní objekt ve Skorkově byl dokumentován geodetickým zaměřením společně se situací nad podzemním objektem. Objekt byl dokumentován také laserovým skenováním. Nad částí podzemního objektu bylo provedeno měření georadarem a výsledek byl porovnán s jinými metodami. V georadarovém profilu A a C byla identifikována klenba a po spojení tohoto profilu s podzemním měřením byla nalezena korelace mezi výsledky. Polohově se výsledky ze zaměření a z georadarového skenu nelišily. Ve výšce se výsledky lišily okolo 0,2 m vůči geodetickému zaměření a zaměření laserovým skenerem. Byla tedy prokázána korelace mezi zaměřením pod povrchem a zaměřením nad povrchem. Na závěr bylo území nad podzemním objektem nasnímáno z RPAS eBee a byl vytvořen otexturovaný 3D model. Veškerá měřená data byla spojena v programu Rhinoceros3D, který umožňuje spojovat mnoho formátů včetně výsledků z georadaru a autor diplomové práce hodnotí tento program jako nejvhodnější nástroj pro spojování dat a vizualizaci. Zaměření podzemního objektu ve Skorkově je součástí interního výzkumu firmy EuroGV s.r.o. a autor bude prezentovat tento projekt na kongresu ISPRS 2016 v Praze.

Dalším projektem bylo zaměření území, kde se pravděpodobně nacházela dělostřelecká reduta. Na ortofotomapě z roku 2012 na serveru mapy.cz byl detekován kosočtvercový obrazec, který by rozměrově mohl odpovídat redutě. Toto území bylo nalétnuto RPAS eBee a vytvořen digitální model terénu a NDVI, ze kterého byly vyhledávány korelace s kosočtvercovým tvarem. Bylo provedeno měření magnetometrem, které pravděpodobně odhalilo liniový průběh rozvodu inženýrských sítí. Měření georadarem bylo interpolováno do 3D a v řezu v hloubce 1,08 m byly odhaleny korelace mezi kosočtvercovým obrazcem a anomáliemi detekovanými georadarem. Autor diplomové práce soudí, že výsledky některých měření opravdu odpovídají teorii o nalezení polohy reduty a bylo by vhodné v budoucnu na místě provést i měření odporu, které by poskytlo další nezávislé výsledky, a další měření georadarem s anténou o jiné frekvenci.

Posledním projektem bylo provedení měření magnetometrem v oblasti, kde se mohlo nacházet pravěké sídliště ve Skorkově. Lokalita byla zvolena po diskuzi s kurátorkou Katalin Almassy z Městského muzea v Čelakovicích. Měření magnetometrem neodhalilo zajímavé anomálie. Pro další zkoumání by autor doporučil provést měření odporu.

Geofyzikální metody jsou dnes již často používanou metodou pro provádění průzkumů v archeologii. Jedná se o metody, pomocí kterých je možné získat základní povědomí o rozsáhlých lokalitách. V kombinaci s klasickými metodami, laserovým skenováním a využití leteckých snímků se stávají silným nástrojem pro důkladný průzkum vybrané lokality.

Použitá literatura

- [1] Archaeo-geophysics: Geophysical Survey Methods. [online], cit. 2014-03-28.
URL <http://www.archaeophysics.com/methods/methods.html>
- [2] BARBER, D.; MILLS, J.: *3D Laser Scanning for Heritage*. Swindon: English Heritage Publishing, 2011, 41 s.
- [3] Borchert, O.: *Receiver Design for a Directional Borehole Radar System*. Dizertační práce, Bergischen Universität, Wuppertal, 2008, 170 s.
- [4] Brandýs nad Labem - Stará Boleslav, oficiální stránky města, O.3. Zásobování vodou a odkanalizování území . [online], cit. 2014-05-20.
URL http://brandysko.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=904&id_dokumenty=26828
- [5] ÚCL: Provoz ostatních letadel bez pilota na palubě. [online], cit. 2014-04-11.
URL <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube>
- [6] Christoph Hoppe and Dominik Ducati: Meshing Point Clouds from 3D Laser Scans. [online], cit. 2014-04-10.
URL <http://pille.iwr.uni-heidelberg.de/~laserscan01/>
- [7] DANIELS, J. J.: *Ground Penetrating Radar Fundamentals*. Department of Geological Sciences, The Ohio State University, 2000, 21 s.
- [8] DAVID, A.; LINFORD, N.; LINFORD, P.; aj.: *Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation*. Swindon: English Heritage Publishing, 2008, 41 s.
- [9] EISENBEIß, H.: *UAV Photogrammetry*. Dizertační práce, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Wolfgang-Pauli-Strasse 15, 8093 Zürich, 2009, 237 s.

- [10] I. J. Won and Haoping Huang, Geophex, Ltd., Raleigh, North Carolina, U.S.:Magnetometers and electro-magnetometers. [online], cit. 2014-04-17.
URL http://www.geophex.com/Pubs/mag_emag.pdf
- [11] FALTÝNOVÁ, M.; PAVELKA, K.; NOVÝ, P.; aj.: *Complex Archaeological Prospection Using Combination of Non-destructive Techniques*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W7, 141-146, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-141-2015, 2015.
- [12] GENECHTEN, B. V.; CANER, H.; POELMAN, R.; aj.: *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning—Training material based on practical applications*. Universidad Politecnica de Valencia Editorial, 2008, ISBN 978-84-8363-312-0, 241 s.
- [13] Bryan S. Haley: Introduction to Ground Penetrating Radar. [online], cit. 2014-03-26.
URL <http://www.slideshare.net/AmirKhan181/gpr-47925469>
- [14] World Leader in Ground Penetrating Radar and Electromagnetic Induction Instruments. [online], cit. 2014-03-26.
URL <http://www.geophysical.com/>
- [15] History of Ground Penetrating Radar Technology. [online], cit. 2014-03-26.
URL <http://www.obonic.de/en/history-ground-penetrating-radar-technology/>
- [16] How geophysical methods can help the archaeologist. [online], cit. 2014-03-26.
URL <http://ldolphin.org/Geoarch.html>
- [17] Ing. Radek Matula: Georadar a možnosti jeho využití při kontrole a odhalování skrytých poruch. [online], cit. 2014-03-27.
URL http://invenio.nusl.cz/record/151545/files/nusl-151545_1.pdf
- [18] KŘIVÁNEK, R.: *Application of geophysical methods for monitoring of surface and subsurface changes of origin archaeological terrains - case studies of sites in the Czech Republic*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W7, 257-262, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-257-2015, 2015.

- [19] Konstrukce protonového magnetometru. [online], cit. 2014-03-28.
URL http://jirihajda.zdechov.net/projekt_beke/42.htm
- [20] Geofyzika. [online], cit. 2014-03-28.
URL <http://www.geofyzika.webz.cz/mermagn.php>
- [21] MALÁ Borehole Antenna System. [online], cit. 2014-04-11.
URL <http://www.malags.com/products/mala-borehole-antenna-system>
- [22] The Multi Discipline Ground Penetrating Radar (GPR) Solution. [online], cit. 2014-04-16.
URL <http://www.malags.com/mala-gpr-user-success-stories/multi-discipline-ground-penetrating-radar-solution>
- [23] NEUBAUER, W.; DONEUS, M.; TRINKS, I.: *ADVANCING THE DOCUMENTATION OF BURIED ARCHAEOLOGICAL LANDSCAPES*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XXXIX-B5, 547-552, doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B5-547-2012, 2012.
- [24] PAVELKA, K.: *Fotogrammetrie 2*. Praha: České vysoké učení technické, 2011, ISBN 978-80-01-04719-4, 160 s.
- [25] Xplorer. [online], cit. 2014-03-26.
URL <http://www.xplorer.fr/radar-de-sol-georadar-gpr/253-georadar-gpr-radar-sol-rd1000.html>
- [26] Indiana University–Purdue University Fort Wayne: Resistivity. [online], cit. 2014-04-16.
URL <https://www.ipfw.edu/centers/archaeology/Geophysics/resistivity.html>
- [27] SALA, R.; GARCIA, E.; TAMBA, R.: *Archaeological Geophysics - From Basics to New Perspectives, Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques*. Dr. Imma Ollich-Castanyer (Ed.), 2012, ISBN 978-953-51-0590-9, 35 s.

- [28] Terrain surveys. [online], cit. 2016-04-04.
URL <http://www.terrainsurveys.co.uk/3d-laser-scanning/>
- [29] Oficiální internetové stránky obce Skorkov. [online], cit. 2014-03-26.
URL <http://www.skorkov.cz/>
- [30] Wikipedie: Skorkov (okres Mladá Boleslav). [online], cit. 2014-03-26.
URL [http://cs.wikipedia.org/wiki/Skorkov_\(okres_Mlad%C3%A1_Boleslav\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Skorkov_(okres_Mlad%C3%A1_Boleslav))
- [31] SMEKALOVA, T. N.; VOSS, O.; SMEKALOV, S. L.: *Magnetic surveying in archaeology*. Publishing House of the Polytechnical University, St. Petersburg, 2005, ISBN 978-87-89531-29-8, 68 s.
- [32] TAKAHASHI, K.; Jan IGEL, H. P.; KURODA, S.: *Basics and Application of Ground-Penetrating Radar as a Tool for Monitoring Irrigation Process, Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management*. Dr. Manish Kumar (Ed.), 2000, ISBN 978-953-51-0117-8, 27 s.
- [33] TITOMANLIO, I.: *CONSERVATION OF STONE CLADDING ON THE FAÇADE OF ROYAL PALACE IN CASERTA*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W2, 635-640, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-635-2013, 2013.
- [34] Rotary Wing Vs Fixed Wing UAVs. [online], cit. 2014-04-11.
URL <http://www.uavinsider.com/rotary-wing-vs-fixed-wing-uavs/>
- [35] WARDEN, R.; TOZ, T.; EVERETT, M.; aj.: *RECORDING AND ANALYSIS OF THE REC YARD AT ALCATRAZ ISLAND*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W2, 679-684, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-679-2013, 2013.
- [36] ZUMAN, F.: *Průvodce po bojištích a vojenských památkách Československé republiky, sešit 6. Švédský tábor v Brandýse n.L. a v St. Boleslavi*. Kruh pro studium ČS. dějin vojenských při Vědeckém ústavu vojenském, 1934.

- [37] ČERMÁK-IRMA, J.: *Ročenka Okresní jednoty musejní v Brandýse n. L.* Josef Voctář, Brandýs n. L., 1931.
- [38] ŘEHÁK, M.: *Využití bezpilotních prostředků ve fotogrametrii.* Diplomová práce, České vysoké učení technické, Praha, 2012, 91 s.

Seznam obrázků

1	Georadar RD1000 s vozítkem.[25]	3
2	Měření georadarem.[14]	4
3	Jeden z prvních georadarů využívaný pro archeologii.[13]	5
4	Princip georadaru.[17]	5
5	Sken georadaru s detekovanými hroby.[14]	6
6	Princip borehole radaru. [3].	8
7	Spouštění borehole radaru do vrtu. [22].	8
8	Intenzita magnetického pole Země. V ČR bychom mohli naměřit magnetickou indukci okolo 45 000 nT a na pólech 70 000 nT [19]	9
9	Protonový magnetometr PM-2.[20]	11
10	Měření atomovým magnetometrem v archeologické oblasti.[31]	11
11	Magnetometr s ferosondou. [1]	12
12	Měření magnetometrem v řezech. [31]	13
13	Magnetická mapa archeologické oblasti. [31]	13
14	Část A znázorňuje konfiguraci sond na měřícím aparátu a průběh šíření elektrického proudu. Na části B je měřič, který měří odpor podloží. [27]	14
15	Mračno bodů získané laserovým skenerem. [28]	16
16	Příklad staršího impulsního laserového skeneru Callidus CP3200. [6]	17
17	Princip triangulační metody. [12]	18
18	Fázové laserové skenery. [12]	19
19	Hexakoptéra a bezpilotní letadlo (fixed wing). [34]	21
20	Měření georadarem nad podzemními chodbami.[35]	23
21	Řez měřením georadaru nad bývalým římským táborem v hloubce 1,58 m pod povrchem.[23]	24
22	Výsledné mapy měření geofyzikálními metodami v Praze-Vinoři.[18]	25
23	Plán části zahrady zámku Červený dvůr s výřezem, ve kterém bylo prováděno měření (cca 0,2 ha). [18]	26

24	Měření rozária magnetometrem (nahore) a měření odporu (dole). [18]	27
25	Stínovaný digitální model povrchu se znázorněnými řezy georadarem (nahore) a sken georadaru v řezu B.[11]	29
26	Poloha obce Skorkov. [www.mapy.cz]	30
27	Kostel sv. Jana Křtitele. [29].	30
28	Kostnice ve Skorkově. [29].	30
29	Historické foto ze Skorkova.[29]	31
30	Historické pohledy hostince nad podzemním objektem.	32
31	Hlavní chodba podzemního objektu. [vlastní foto]	33
32	Levý trakt se spadaným stropem. [vlastní foto]	34
33	Bodové pole. [QGIS]	36
34	3D model výklenku č. 1 a výklenku č. 2. [Agisoft Photoscan]	37
35	3D model pravého traktu se spadaným stropem. [Agisoft Photoscan]	38
36	Soukres ortofota, katastrálních dat a 3D modelu z geodetického zaměření. [ČÚZK, QGIS]	39
37	Soukres dat z laserového skenování (bílá barva) a model vytvořený z geode- tického zaměření (hnědá). [Rhinoceros3D]	40
38	Zvolené profily pro měření georadarem nad hlavní chodbou. [ČÚZK, QGIS]	41
39	Georadarový sken v profilu A s označením pravděpodobného průběhu klenby.	42
40	Georadarový sken v profilu C s označením pravděpodobného průběhu klenby.	43
41	Georadarový sken na profilu A v měřítku a s označením pravděpodobného průběhu klenby.	44
42	Výřez terče ze snímku pořízeného z letounu eBee. Z obrázku je patrné, že je z důvodu špatného počasí při snímkování, jsou detaily na snímku rozmazané.	45
43	Průběh letu letounem eBee nad zájmovým územím ve Skorkově.	46
44	Vytvořený otexturovaný 3D model s rozmístěním vlíčovacích bodů.	47
45	Sloučení modelu podzemní části, radarového skenu v profilu A a otexturo- vaného digitálního modelu povrchu nad podzemním objektem. Další výstupy jsou uvedeny v příloze. [Rhinoceros3D]	48

46	Kresba inženýra Carla Cappiho vojenského tábora z roku 1640.[36]	49
47	Opevnění zakreslené na podkladu Speciální mapy.[36]	50
48	Kontrastně upravený obrázek ortofota. V označeném kruhu je mírně patrný kosočtverec, který odpovídá rozměrům reduty.[mapy.cz]	52
49	Měření magnetometrem nad zájmovou oblastí (každý bod odpovídá jednomu měření).[mapy.cz]	54
50	Soukres interpolovaného rastru a ortofotomapy, ze kterého je patrná anomálie podél místní komunikace.[mapy.cz]	55
51	Schéma inženýrských sítí ve sledované lokalitě. [4]	55
52	Hodnoty gradientu na pravděpodobném místě reduty.	56
53	Vizualizovaný digitální výškový model. Originál je přiložen v příloze.	57
54	Vytvořené NDVI ke dni 22. 4. 2016 a odečtená křivka pravděpodobné reduty.	58
55	Řez 3D obrazcem vyinterpolovaného z měření georadarem v hloubce 1,08 m pod povrchem.[mapy.cz]	59
56	Měření laserovým skenerem v pravém trakturu podzemní chodby.	I
57	Výškové poměry podzemní chodby a situací nad podzemní chodbou. Výšky jsou uvedeny v metrech, ve výškovém systému Bpv.	II
58	Model vytvořený z geodetického zaměření s georadarovými skeny a zprůhledněnou hlavní chodbou podzemního objektu. [Rhinoceros3D]	III
59	Otexturovaný 3D model s modelem z geodetického zaměření. Kvalita 3D modelu je negativně ovlivněna špatným počasím při snímání lokality. [Rhinoceros3D]	IV
60	Mračno bodů nalétnutého území s polohami pořízených snímků a vlčovacími body. [Agisoft Photoscan]	IV
61	3D otexturovaný model v nepravých barvách s polohami pořízených snímků. [Agisoft Photoscan]	V
62	Georadarové skeny s pravděpodobnou polohou reduty (červená křivka) se zprůhledněným ortofotem. [mapy.cz, Rhinoceros3D]	VI

63	Geodarové skeny s pravděpodobnou polohou reduty (červená křivka) se zprůhledněným ortofotem. [mapy.cz, Rhinoceros3D]	VI
64	NDVI nad sledovanou oblastí. [QGIS]	VII
65	Digitální model povrchu lokality. [QGIS]	VIII
66	Interpolovaný rastr magnetické indukce. [QGIS]	IX
67	Interpolovaný rastr gradientu magnetické indukce s ortofotem z portálu mapy.cz. [mapy.cz, QGIS]	X

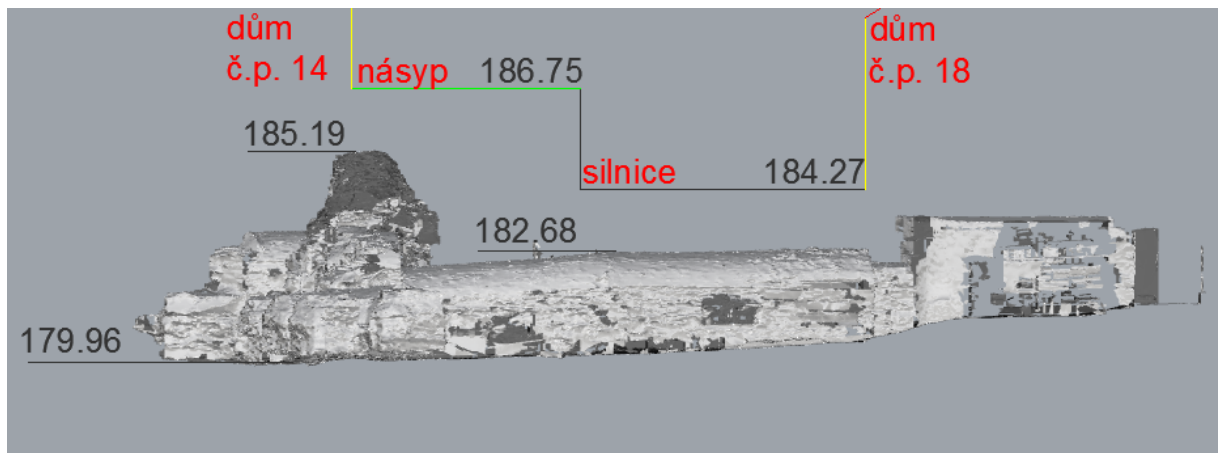
Seznam tabulek

1	Typy antén nabízené americkou firmou GSSI. [14].	7
2	Souřadnice bodů bodového pole v souřadnicovém systému S-JTSK a Bpv. .	35
3	Výsledné odchylky nastavení do měřítka modelů v Agisoft PhotoScan. . . .	37
4	Parametry zadané do georadaru před měřením.	41
5	Souřadnice zaměřených vlíčovacích bodů v souřadnicovém systému S-JTSK a Bpv.	45
6	Tabulka RMS rozdílů zadaných a vyrovnaných hodnot vlíčovacích bodů. .	46
7	Tabulka RMS rozdílů zadaných a vyrovnaných hodnot souřadnic středů snímků.	53
8	Parametry zadané do georadaru před měřením.	54

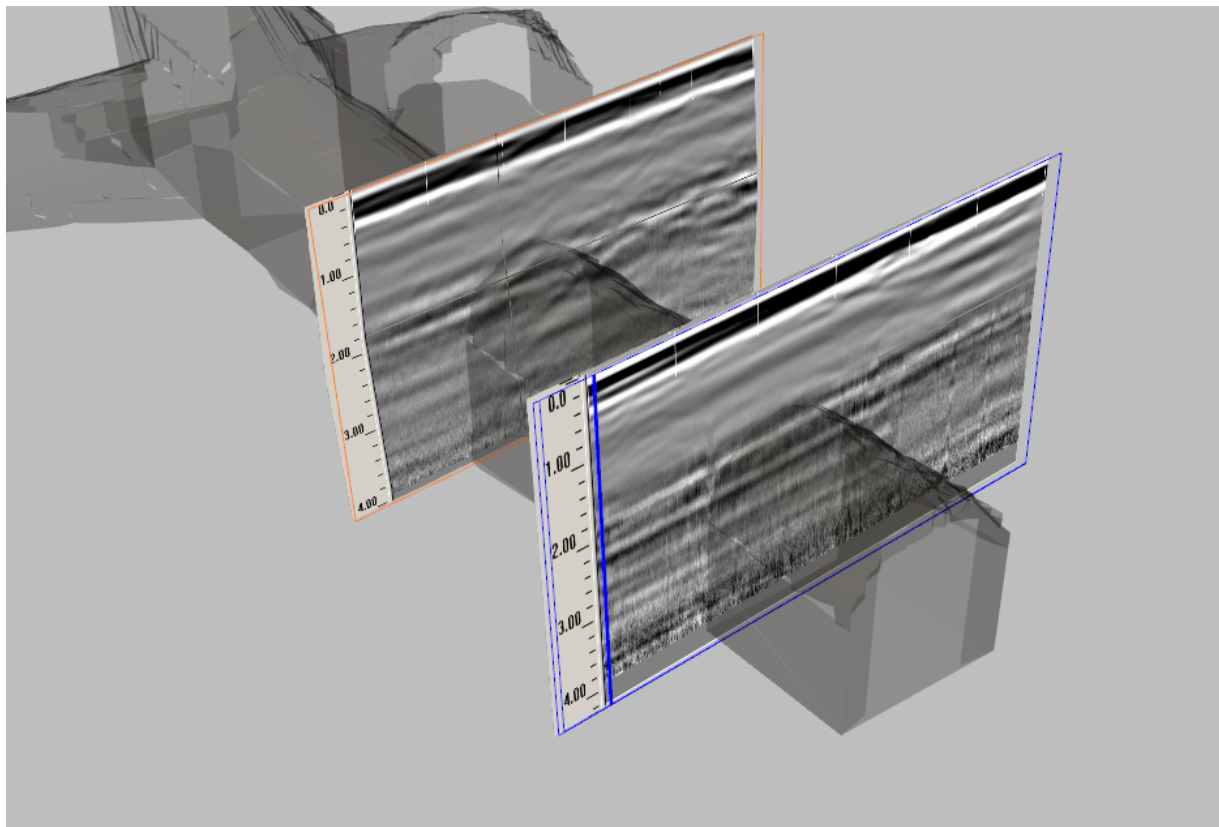
A Zaměření podzemního objektu ve Skorkově



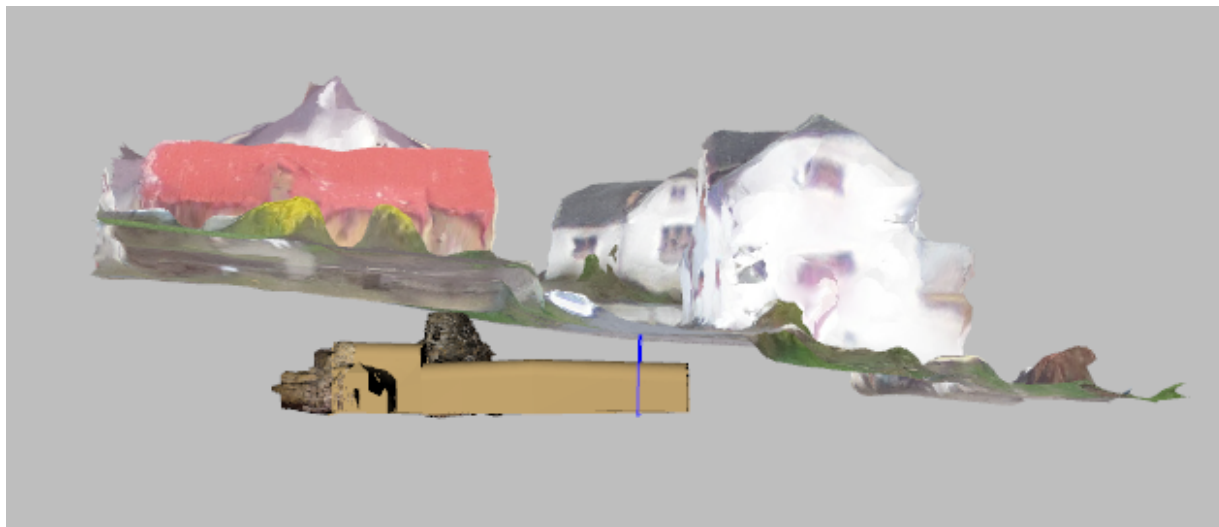
Obrázek 56: Měření laserovým skenerem v pravém traktru podzemní chodby.



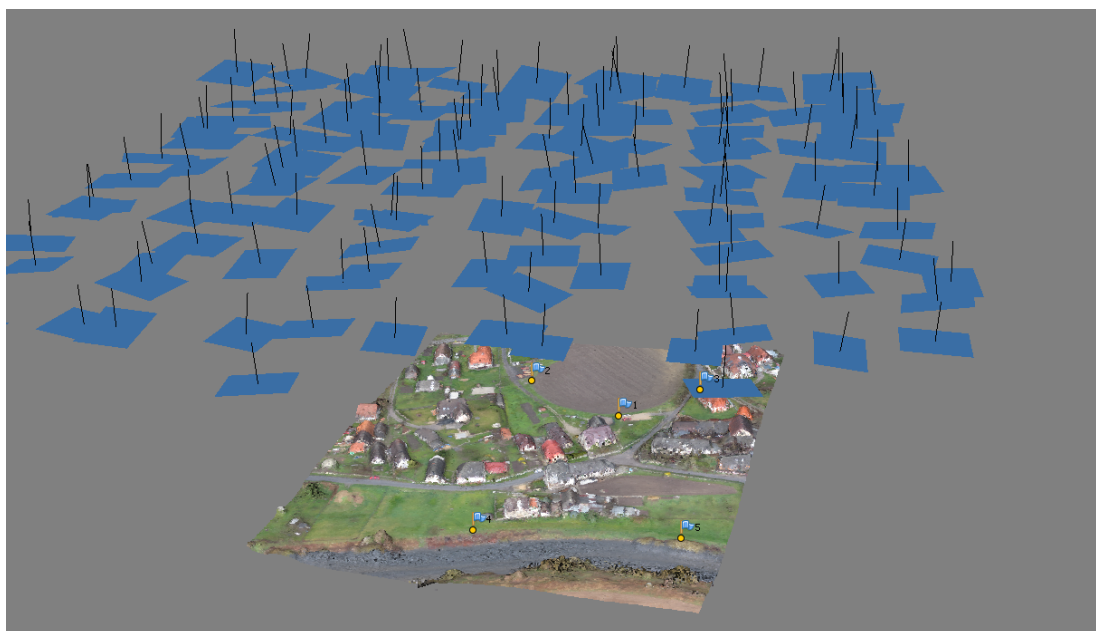
Obrázek 57: Výškové poměry podzemní chodby a situací nad podzemní chodbou. Výšky jsou uvedeny v metrech, ve výškovém systému Bpv.



Obrázek 58: Model vytvořený z geodetického zaměření s georadarovými skeny a zprůhledněnou hlavní chodbou podzemního objektu. [Rhinoceros3D]

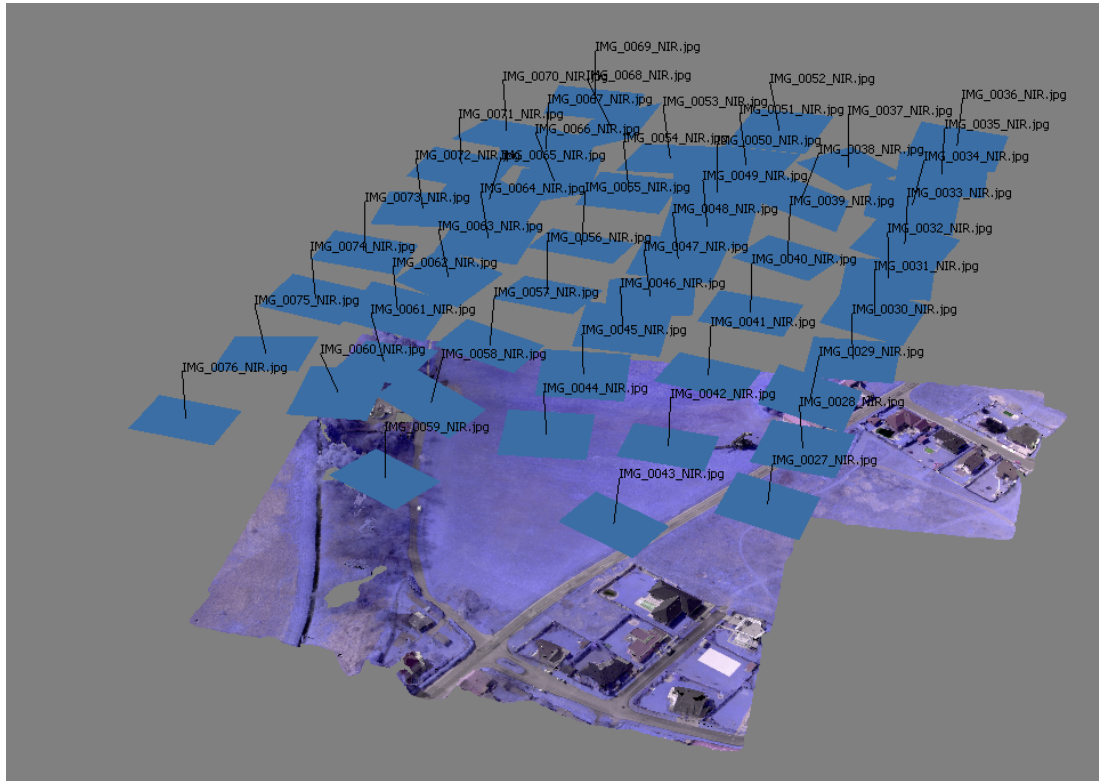


Obrázek 59: Otexturovaný 3D model s modelem z geodetického zaměření. Kvalita 3D modelu je negativně ovlivněna špatným počasím při snímkování lokality. [Rhinceros3D]

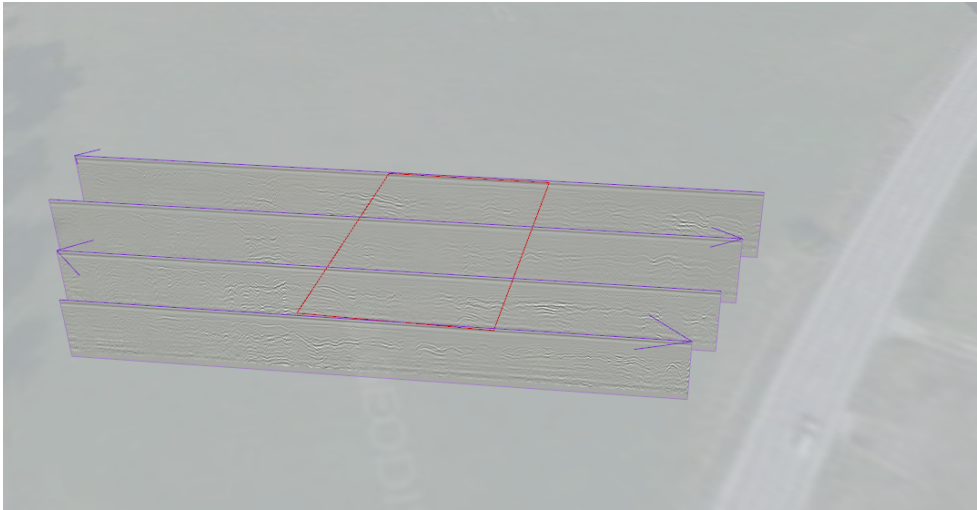


Obrázek 60: Mračno bodů nalétnutého území s polohami porízených snímků a vlíčovými body. [Agisoft Photoscan]

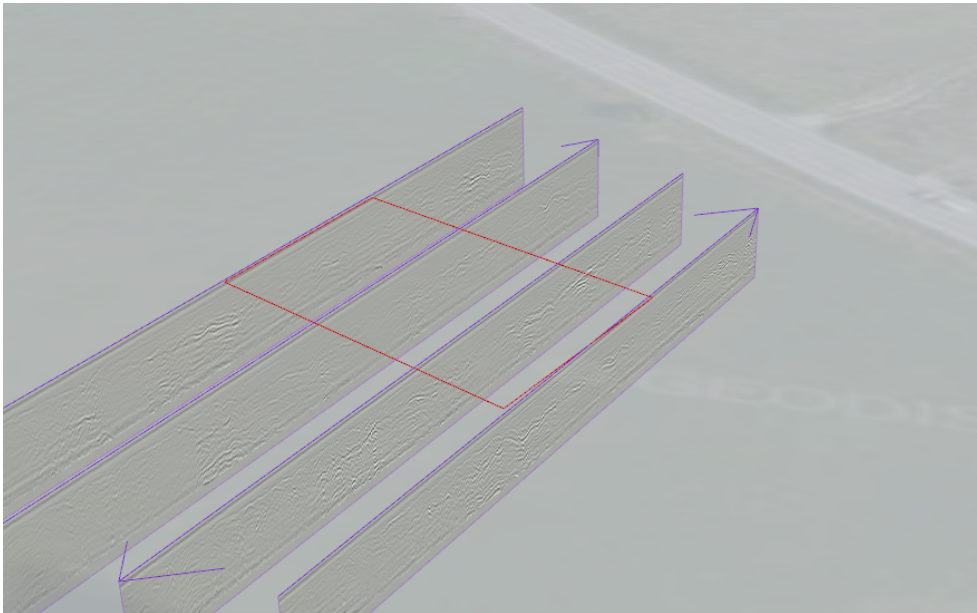
B Zaměření lokality, kde se dříve nacházela dělostřelecká reduta



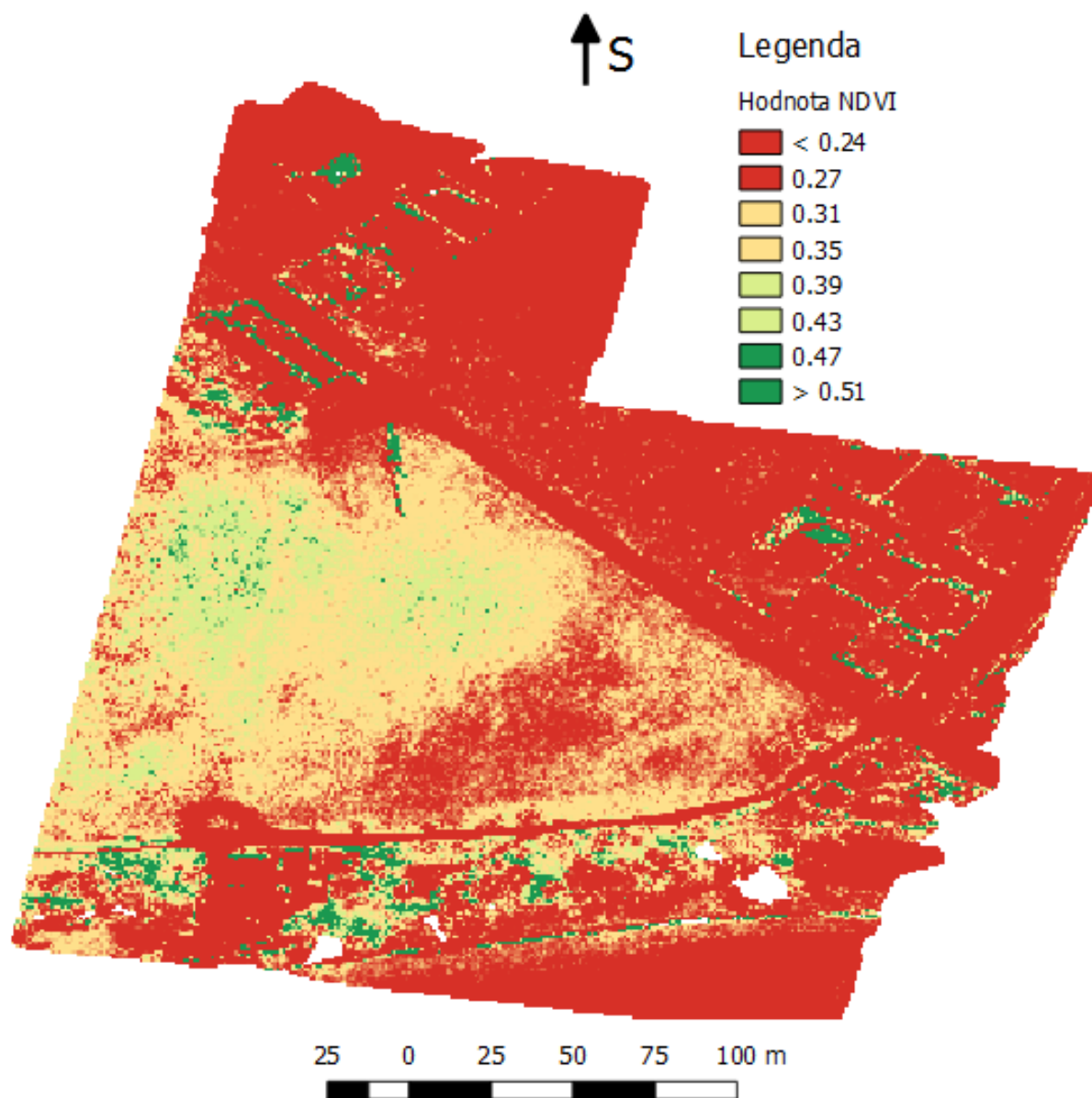
Obrázek 61: 3D otexturovaný model v nepravých barvách s polohami pořízených snímků.
[Agisoft Photoscan]



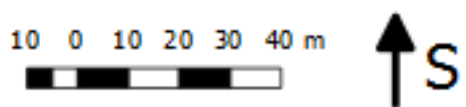
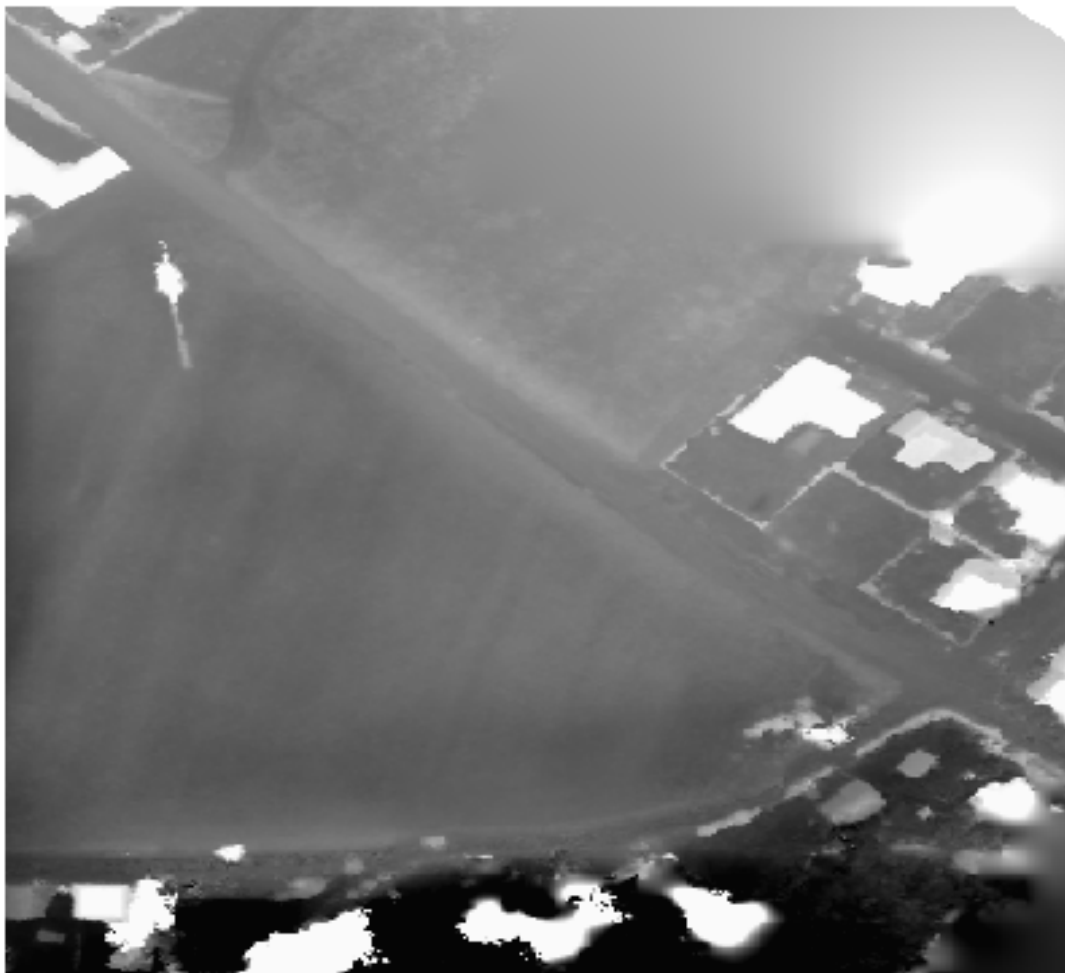
Obrázek 62: Geodarové skeny s pravděpodobnou polohou reduty (červená křivka) se zprůhledněným orfototem. [mapy.cz, Rhinoceros3D]



Obrázek 63: Geodarové skeny s pravděpodobnou polohou reduty (červená křivka) se zprůhledněným orfototem. [mapy.cz, Rhinoceros3D]

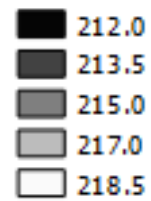


Obrázek 64: NDVI nad sledovanou oblastí. [QGIS]

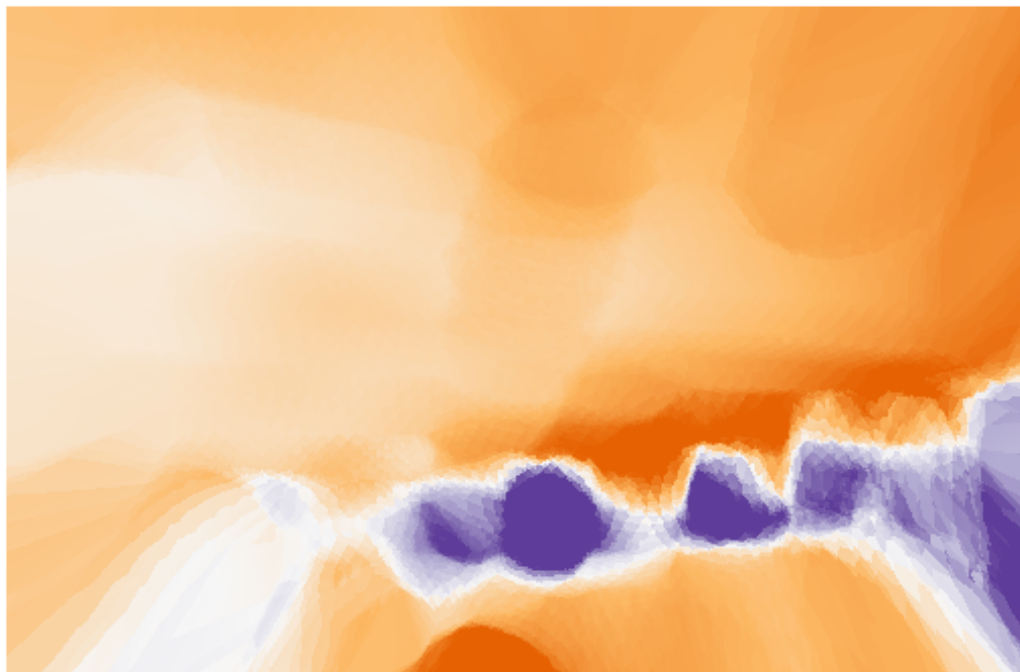


Legenda

Výška [m]








Obrázek 65: Digitální model povrchu lokality. [QGIS]



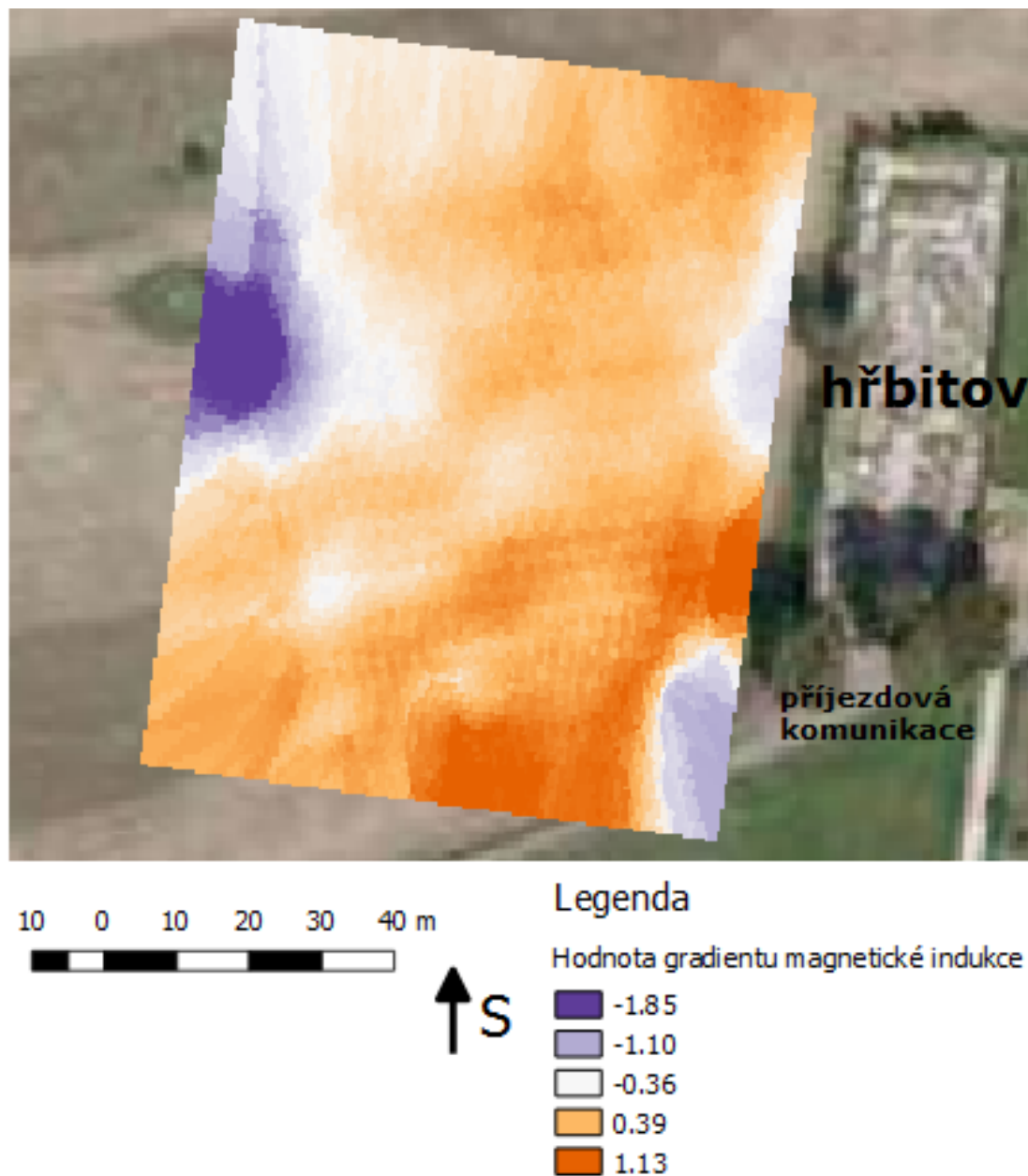
Legenda

Magnetická indukce [nT]

-  48947
-  48975
-  49004
-  49032
-  49061

Obrázek 66: Interpolovaný rastr magnetické indukce. [QGIS]

C Pravěká lokalita ve Skorkově



Obrázek 67: Interpolovaný rastr gradientu magnetické indukce s ortofotem z portálu mapy.cz. [mapy.cz, QGIS]