

ČESKÉ VYSOvé UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA

KATEDRA GEOMATIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Geodeticko – geofyzikální průzkum hradu Rýzmburk

Autor: Bc. Vojtěch Goby

Vedoucí práce: Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Praha, 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval zcela samostatně pod odborným vedením vedoucího diplomové práce. Veškerá použitá literatura a další informační zdroje jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne

.....
Bc. Vojtěch Goby



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

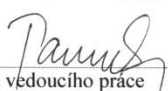

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE


I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Goby	Jméno: Vojtěch	Osobní číslo: 396875
Zadávající katedra: Katedra Geomatiky		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geomatika		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Geodeticko - geofyzikální průzkum hradu Rýzmburk	
Název diplomové práce anglicky: Geodetical and geophysical exploration of the Ryzmburk castle	
<p>Pokyny pro vypracování: Proveďte rešerši možností povrchové i podpovrchové dokumentace historických objektů obdobného charakteru, stručně popište objekt a uveďte vstupní informace a data. Pomocí geodetických metod zaměřte vybrané oblasti objektu, u vytipovaných lokalit proveďte geofyzikální průzkum. Proveďte sloučení naměřených dat do jednoho systému, popište měření i výsledky. Po závěru práce, kde budou stručně popsány dosažené výsledky, proveďte v diskusi rozbor výsledků práce, možné pokračování a vlastní úvahy nad výsledky práce.</p>	
<p>Seznam doporučené literatury: Hanzalová, K. - Pavelka, K.: Documentation and virtual reconstruction of historical objects in Peru damaged by an earthquake and climatic events. Advances in Geosciences. 2013, vol. 2013, no. 35, p. 67-71. ISSN 1680-7340. Pavelka, K. - Řezníček, J. - Bílá, Z. - Prunarová, L.: Non Expensive 3D Documentation and Modelling of Historical Object and Archaeological Artefacts by Using Close Range Photogrammetry. Geoinformatics. 2013, vol. 10, no. 1, p. 53-66. ISSN 1802-2669. Pavelka, K., Hodač, J.: Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6.</p>	
Jméno vedoucího diplomové práce: Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka	
Datum zadání diplomové práce: 22.2.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 22.5.2016	
<p> Podpis vedoucího práce</p>	<p> Podpis vedoucího katedry</p>

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<p><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></p>	
<p>22.2.2016 Datum převzetí zadání</p>	<p> Podpis studenta(ky)</p>

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Prof. Dr. Ing. Karlovi Pavelkovi za jeho čas a ochotu při konzultacích a pomoc při měření. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a známým za pomoc během celého studia.

Geodeticko – geofyzikální průzkum hradu Rýzmburk

Geodetical and geophysical exploration of the Ryzmbuk castle

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá geodeticko - geofyzikálním průzkumem hradu Rýzmburk a následným zpracováním naměřených dat. Část hradu byla podrobně zaměřena metodou laserového skenování, georadarem a magnetometrem. V práci je také uvedena teorie a rešerše možností dokumentace historických objektů. Dále jsou popsány jednotlivé metody měření a jejich zpracování v laboratoři. Výsledkem je dokumentace jednotlivých zkoumaných oblastí hradu.

Klíčová slova

Hrad Rýzmburk, laserové skenování, geofyzikální metody, georadar, GPR, magnetometr

Abstract

The master thesis describes measurement of the castle Rýzmburk and subsequent data processing. Part of the castle was measured by laser scanning, GPR and magnetometer. The work is also presented theory and research of opportunities documentation of historic buildings. Each method is described of measurement and processing in the laboratory. The result is the documentation of the particular areas of the castle.

Keywords

Rýzmburk castle, laser scanning, geophysical methods, georadar, GPR, magnetometer

OBSAH

1	Úvod	9
2	Historie hradu	10
3	Literární rešerše	12
4	Dokumentační metody	15
4.1	Jednosnímková metoda fotogrammetrie	15
4.2	Průseková metoda fotogrammetrie	16
4.3	Stereofotogrammetrie	18
4.4	Geodetické metody	20
4.5	3D skenování	20
4.5.1	Definice základních pojmů 3D skenování	21
4.5.2	Základní dělení 3D skenerů	22
4.5.3	Princip metody laserového skenování	24
4.6	Geofyzikální metody.....	25
4.6.1	Metoda GPR.....	25
4.6.2	Magnetometrie.....	26
5	Měření a použité přístroje	28
5.1	Měření georadarem SIR-3000.....	28
5.2	Měření laserovým skenerem Surphaser	29
5.3	Měření magnetometrem GSM - 19	31
6	Zpracování dat	33
6.1	Zpracování dat z laserového skenování	33
6.1.1	Geomagic Studio 12	33
6.1.1.1	Úprava mračen bodů v Geomagic Studio 12	33
6.1.1.2	Transformace modelu do S-JTSK.....	35
6.1.1.3	Vizualizace georadarových snímků na hlavním nádvoří	38
6.2	Zpracování měření v RADAN v. 6.6	38
6.2.1.1	Úprava georadarových dat v RADAN v.6.6.....	39
6.3	Zpracování dat měřených magnetometrem	41
6.3.1	Práce v programech Easy Transform v2.3 a ArcMap 10.3.....	41
7	Vyhodnocení výsledků	42
7.1	Vyhodnocení průzkumu kruhové věže.....	42
7.2	Vyhodnocení průzkumu bývalé budovy na dolním nádvoří	45
7.3	Vyhodnocení průzkumu na hlavním nádvoří.....	48
7.4	Vyhodnocení měření magnetometrem	49
8	Závěr	52
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek	54
	Citovaná literatura	55

1 Úvod

Rýzmburk je zřícenina hradu, která se nachází v Ústeckém kraji přibližně 5 km od města Duchcov. Ze středověkého hradního komplexu jsou zachovány některé vnější hradby, kruhová věž a zdivo vnitřního paláce. O provoz a údržbu hradu se starají členové Občanského sdružení pro záchranu hradu Rýzmburk. Na základě domluvy zástupců ČVUT a členů sdružení vznikl požadavek na tvorbu aktuální dokumentace a geofyzikálního průzkumu vybraných oblastí hradu.

K průzkumu byl použit georadar *SIR-3000*, kterým byly zjišťovány podzemní anomálie do hloubky 2,5 m. Dále byl použit magnetometr *GSM – 19 Overhauser verze 7.0*. Tento přístroj měří pasivně velikost magnetického pole, které je ovlivněno každým předmětem, který přirozeně vyzařuje. Pro jednodušší zobrazení bylo využito také metody laserového skenování přístrojem *Surphaser 25HSX*. Skenováno bylo prostranství hlavního nádvoří, ze kterého byl vytvořen 3D model.

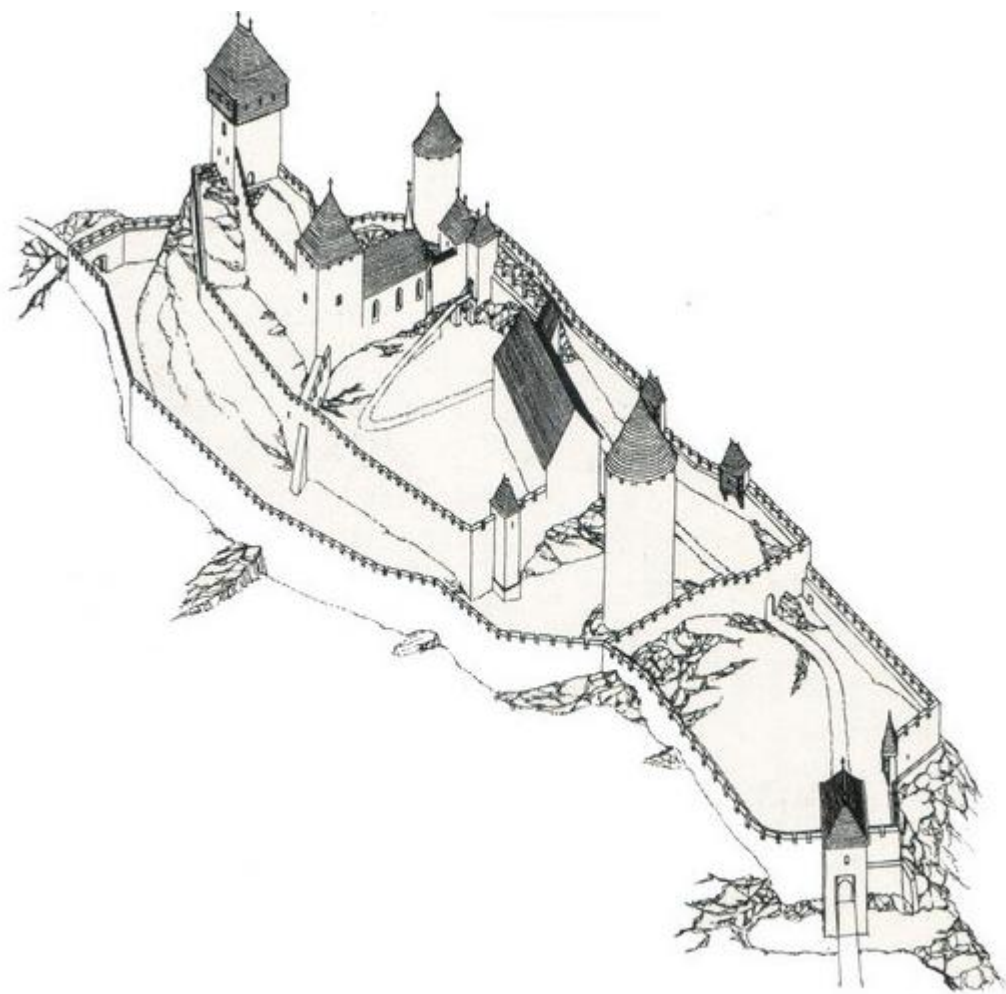
Průzkum byl proveden v kruhové věži, kde bylo místními podezření z jakési tajné, či únikové chodby vedoucí dolů pod hrad. Dále byl proveden průzkum na místě bývalé budovy na dolním nádvoří. Oba tyto průzkumy byly provedeny georadarem a výsledky jsou uvedeny kap. 7 Vyhodnocení výsledků. Dalším místem průzkumu bylo hlavní nádvoří hradu. Zde byl proveden průzkum jak georadarem, tak magnetometrem. Magnetometrem byla dále prozkoumána i oblast dolního nádvoří.

První část práce je věnována stručné historii hradu. Dále je zde uvedena rešerše podobných dokumentací historických objektů a také teorie fotogrammetrických, geodetických a geofyzikálních metod.

V druhé části jsou popsány použité přístroje a postup měření. Dále jsou uvedeny postupy při zpracování dat. Zpracování probíhalo ve specializovaných programech určených pro každou metodu. Zpracování laserového skenování proběhlo v programu *Geomagic Studio 12*, zpracování georadarových snímků v programu *RADAN* a měření magnetometrem v programu *ArcMap 10.3*. Všechny výstupy jsou součástí práce a jsou uloženy na uložišti Google Disk veřejně k nahlédnutí pod odkazem https://drive.google.com/folderview?id=0B8OIX3VS_z25Tm52dVY3S0J6UzA&usp=sharing

2 Historie hradu

Hrad Rýzmburk (též Osek, Riesenburg, Rysenburch) patří k nejrozsáhlejším hradním stavbám v Čechách. Byl umístěn ve strategické poloze na okraji Krušných Hor při důležité cestě z Čech do Saska, která byla využívána už od pravěku. Nejstarší zmínka o hradě se dochovala v listině z roku 1250 v přízvisku Boreše z Rýzmburka. Stavebně historické zkoumání potvrzují, že krátce před tímto datem (zima 1248/1249) byla vystavěna jedna z věží v horní části hradu (v roce 2013 bylo provedeno dendrologické datování dřeva z překladů před vstupem do válcové věže jádra hradu). Současný stav poznání vzniku hradu vede k domněnce, že hrad nebyl založen již s mohutným dnes patrným obvodovým opevněním. Předpokládá se, že objekt v celém rozsahu byl stavěn postupně v několika fázích.



Obrázek 1 Perspektivní rekonstrukce hradu [1]

Rýzmburk je postaven na dlouhém a úzkém skalnatém ostrohu, který je z východní a severní strany obtékán potokem. Z hlediska středověkého vojenství se jedná o velmi kvalitní pevnost, která nejspíše nikdy nebyla dobyta. Hrad je rozdělen do dvou základních částí. V nejvyšší části na skalnatém hřbetu se nachází jádro hradu s obytnými věžemi a kaplí. K němu z jižní a západní strany přiléhá mnohem rozsáhlejší areál ohraničený hradbou se střeleckými věžičkami, kterému dodnes dominuje masivní věž.

Hrad byl obýván a užíván přibližně 250 let (od poloviny 13. století do počátku 16. století) a patrně několikrát za toto období se vnějšími vlivy měnila i jeho funkce. V počátku sloužil jako reprezentační sídlo předního feudála, či dokonce jako královský hrad k posílení vlivu panovníka v pohraniční oblasti, ztrácí svůj význam spolu s poklesem významu hrabišického rodu, aby se stal oporou cílevědomého budování pozic v severozápadních Čechách míšeňskými markrabaty, bodem katolické opozice v husitském období a předmětem hospodářských zájmů v posledním období před opuštěním.

Původní majitelé hradu byli páni z Rýzmburka či “Hrabišici” (v erbu měli hrábě). Patřili mezi nejvýznamnější šlechtické rody středověkých Čech a měli velký vliv na vývoj celého regionu severozápadních Čech. Mimo jiné také v Oseku kromě hradu založili významný klášter cisterciáků. Někteří členové rodu navíc působili ve významných funkcích na královském dvoře.

Páni z Rýzmburka v roce 1398 prodali své majetky v Oseku míšeňskému markraběti, včetně hradu, a už se do regionu nikdy nevrátili. Hrad přestal sloužit jako sídelní a byl nadále pod správou pověřeného úředníka – purkrabího. Prodej panství Osek a Duchcov se však odehrál bez potřebného souhlasu krále, což zapříčinilo letité spory o vlastnictví, ukončené až roku 1459 jeho navrácením právě do rukou českého krále. V roce 1530 prodal král Ferdinand I. hrad pánům ze Sulevic. Ti se ale brzy poté (okolo roku 1538) usídlili na pohodlnějším zámku v Duchcově, zatímco hrad byl postupně opuštěn a začal chátrat.

V této kapitole bylo čerpáno z [1], [2], [3]

3 Literární rešerše

Historické objekty je potřeba z různých důvodů dokumentovat. Nejvíce používaným a nejkomplexnějším je zpracování pomocí fotogrammetrických metod. Uplatnění širokého spektra technologií pro fotogrammetrické dokumentace kulturního dědictví potvrzuje četnost vhodných možností pro dokumentaci objektu. Nicméně jediná metoda nemůže zaručit požadovanou přesnost a vždy existují překážky a problémy, které omezují různé technické možnosti.

Náklady, čas, složitost a velikost samotného objektu, dostupnost, dovednost, průzkumný tým atd. hrají důležitou roli při výběru metody průzkumu. Každá jednotlivá metoda má své specifické vlastnosti. Nicméně, ve většině případů, jedna metoda nemůže reagovat na požadavek projektu a je potřeba využít kombinace různých technik, aby se dosáhlo požadovaného výsledku. Tento hybridní přístup, pokud přidělený rozpočet dovolí, je nejlepším možným způsobem pro dokumentaci kulturního dědictví. Načež se musí provést studie dokumentačního procesu, aby byla zaručena užitečnost projektu. K tomuto účelu je důležitý expert znalý kulturního dědictví, který zná potřeby a požadavky projektu a bude spolehlivým a důvěryhodným poradcem pro vykonávajícího měřiče a IT specialistu. Výsledek této spolupráce má velký význam v tom, že se snižuje riziko plýtvání časem a rozpočtu a zajišťuje se použitelnost výstupu.

Geofyzikálnímu průzkumu v archeologii se u nás velmi věnuje především Archeologický ústav AV ČR pod vedením RNDr. Romana Křivánka.

Například zpracování Akropole Libického Hradiště [4] bylo provedeno kombinací letecké fotogrammetrie a geofyzikálních metod. V tomto případě bylo potřeba získat co nejlepší výškový model dané lokality, v němž budou zachyceny i minimální výškové rozdíly, které mohou pomoci identifikovat dochované části opevnění nebo jiné nadzemní relikty běžným pohledem nezachytitelné. Na základě 42 snímků pořízených z leteckého modelu z výšky 20–150 m bylo vypočteno celkem 31 100 geodetických bodů, které se staly základem výškového modelu. Přesnost této metody byla poté ještě ověřena běžným pozemním geodetickým zaměřením, které prokázalo polohopisnou odchylku menší než 1 cm a výškovou odchylku menší než 4 cm.

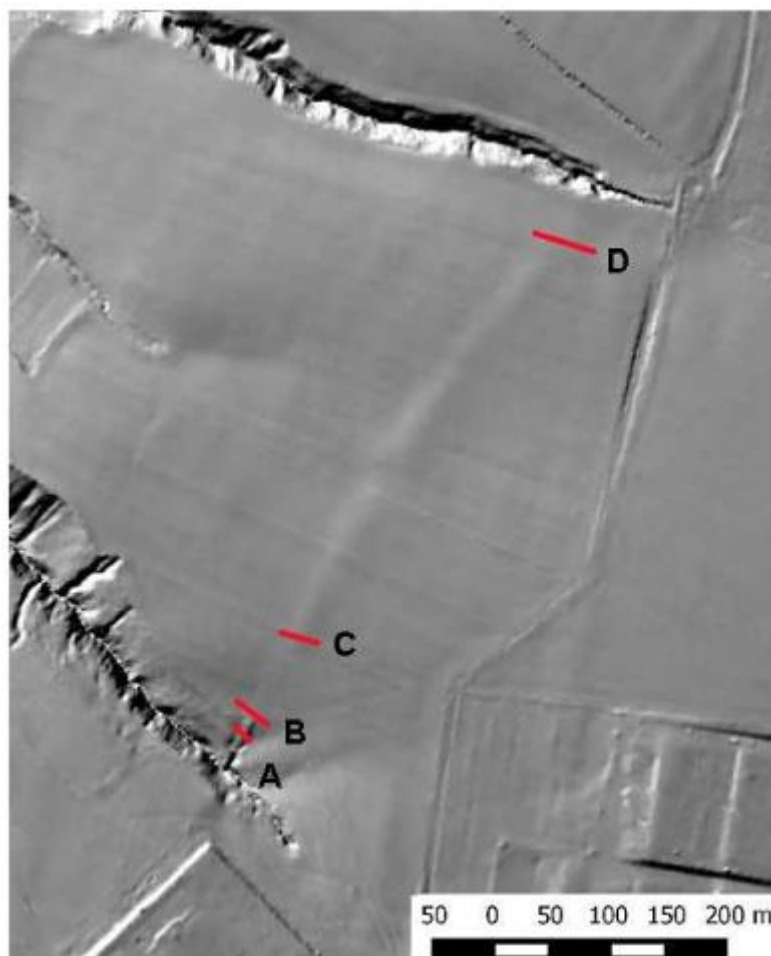
Při geofyzikálních průzkumech na akropoli hradiště Libice, na menších plochách předhradí i vybraných terénů nivy vně opevněné lokality bylo využito především magnetometrické metody průzkumu (*Smartmag SM-4 g, Scintrex*). V dílčích situacích na akropoli byly tyto průzkumy doplněny geoelektrickým odporovým měřením (*RM-15, Geoscan Research*). Magnetometrický průzkum akropole byl realizován ve čtvercové síti 50×50 m. Hustota měřených profilů orientovaných S – J byla 1 m, hustota měřených dat na jednotlivých profilech pak cca 0,2 až 0,25 m. Některé dílčí perspektivní plochy byly dále opakovaně verifikovány při hustotě měření 0,5×0,2 m.

Díky takto rozložené síti podle autorů [4] bylo jednoznačné vytvořit si ucelený obraz o rozsahu a podobě osídlení hradiště. Výzkum přinesl také závažná zjištění v oblasti památkové péče, když identifikoval místa, kde dochází vlivem zemědělské činnosti k narušování intaktních nálezových situací.

Kombinací staršími protonovými magnetometry *PM-2* (výrobek *Geofyzika a.s. Brno*) a novějšími gradiometry *PMG-1* bylo využito také v [5]. Zde se profilová měření realizovala na základních plochách o rozměrech 50 x 50 m v pravidelné síti profilů a bodů 2 x 2 m. resp. 2 x 1 m až 1 x 1 m. Účelem obou použitých forem magnetometrické prospekce bylo vysledovat různé antropogenní lineární i trojrozměrné objekty, které se odlišují svými fyzikálními vlastnostmi od okolního prostředí, což umožňuje jejich úspěšné lokalizování uplatněnými metodami.

Kombinaci geofyzikální metody, družicových snímků a povrchových sběrů bylo provedeno také v [6]. Zde byl použit magnetometr *Ferex 4.032 DLG Foerster* se čtyřmi sondami. Ve zkoumané ploše rozměrů 120 × 140 m (1,68 ha), byla hustota měřených bodů 0,25 x 0,5 m.

Kolektiv z Fakulty stavební ČVUT provedl roku 2015 komplexní archeologický průzkum historické lokality tzv. Čertovy brázdy [7]. Tato oblast se nachází severozápadně od města Kouřim, mezi vesnicemi Lipany a Chotouň. Dříve se mělo za to, že brázda sloužila jako stará cesta nebo administrativní hranice, což nebylo dosud potvrzeno. Autoři nejprve nashromáždili dostupné materiály, jako jsou historické vojenské a katastrální mapy, data z leteckého skenování a ortofoto. Pomocí RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*, bezpilotní systém) bylo vytvořeno detailní ortofoto a digitální model povrchu. Díky těmto výstupům byla zvolena místa pro detailní práci s georadarem *SIR 3000* ve 4 řezech kolmých na Čertovu brázdou.



Obrázek 2 Stínovaný digitální model povrchu se znázorněnými řezy georadarem [7]

Z georadarových dat bylo zřejmé, že příkopy jsou hluboké přibližně 1 m a jsou od sebe vzdáleny přibližně 9 m, což odpovídá i situaci na ortofotu. Autoři analyzovali průběh brázd využitím různých dat a geofyzikální metodou georadarem určili její průběh.

V roce 2013 I. Titomanlio z Katedry architektury a průmyslového designu univerzity v Neapoli provedl průzkum královského paláce ve městě Caserta [8]. Účelem zkoumání byla konverze kamenného obkladu na fasádě paláce. Autor pomocí metody georadaru odhalil některé degradující materiály na fasádě včetně kovových objektů poškozených vysokou korozí. Měření bylo navíc doplněno o termovizní analýzu kamerou *Thermascan SC3000*, pomocí které byly detekovány různé materiály z různých období výstavby a oprav.

Detailní 3D dokumentací budov Kanadského parlamentu se zabývá Kanadské ředitelství památkové péče ve spolupráci s Carleton Immersive Media Studio (CIMS) na Carletonské univerzitě [8]. Důvodem dokumentace je rekonstrukce ve třech ze čtyř budov.

V roce 2015 bylo zdokumentováno 600 z více než 2000 zděných sochařských elementů. Dokumentace probíhala pomocí kvalitního fotoaparátu a také ručním 3D skenerem. Tímto tedy vznikli pro každý element 2D a 3D digitální modely, které mohou být dále využívány.

Dále v této části práce budou uvedeny jednotlivé významné metody, které souvisí s fotogrammetrickým a geofyzikálním průzkumem historických objektů obdobného charakteru.

4 Dokumentační metody

4.1 Jednosnímková metoda fotogrammetrie

Jednosnímková fotogrammetrie má své využití jak v pozemní, tak i letecké a do jisté míry i družicové fotogrammetrii. K dokumentaci historických objektů se nejčastěji používá pozemní fotogrammetrie, proto bude této metodě věnován následující text. Jak už název napovídá, jedná se o metodu, při které se vychází z jednoho snímku. Neznamená to ovšem to, že by výsledkem měl být pouze jeden snímek. Tím je fotoplán, který se často skládá z více spojených překreslených snímků a tvoří takzvanou fotomozaiku.

Nejprve je ovšem potřeba objasnit pár základních termínů:

- *snímek* – obraz objektu nebo území bez přesného měřítka a orientace vůči danému souřadnicovému systému.

- *překreslený snímek* – obraz umístěný do souřadnicového systému s možností nastavení měřítka.

- *fotomozaika* – spojení několika překreslených snímků do jednoho celku. Přechod mezi snímky by neměl být patrný (jedná se o technologii maskování a mozaikování).

- *fotoplán* – fotomozaika upravená tak, aby splňovala atributy plánu (přesné měřítko, rámové údaje, vhodný výřez, apod.). Jde o výsledek jednosnímkové metody připravený k reprodukci.

Princip metody je založen na vztahu dvou rovin – roviny snímku a roviny objektu (území). Při jednosnímkové metodě se předpokládá, že zaměřovaný objekt (území) je

rovinný nebo co nejméně hloubkově členěný. Případná nerovinnost má zásadní vliv na dosaženou přesnost výstupu. Existují dvě základní možnosti vzájemné orientace roviny snímku a objektu.

V ideálním případě, kdy je osa záběru kolmá na rovinu objektu a objekt sám je rovinný, stačí pro vytvoření fotoplánu znát v rovině objektu pouze jednu délku a jejím prostřednictvím dodat snímku přesné měřítko. V tomto případě by se použila podobnostní transformace, ke které je potřeba dvou identických bodů (např. koncové body měřené délky).

V praxi se ovšem častěji setkáme s případem obecně skloněného snímku. Tudíž je měřítko snímku proměnné s polohou snímku z důvodu proměnné vzdálenosti k jednotlivým bodům a dochází tak k perspektivnímu pohledu. Matematickým vyjádřením této skutečnosti je kolineární transformace mezi snímkem a fotoplánem. Jedná se o transformaci ze 3D do 2D. K jejímu vyřešení je potřeba znát minimálně 4 identické body (ve fotogrametrii nazývané vlíčovací). Teoretický základ kolineární transformace je obsažen v Pappově větě. Ta pro ideální geometrický vztah mezi dvěma rovinami říká:

„Dvojpoměr čtveřice bodové nebo paprskové zůstává v rovině mapy i snímku zachován.“
[10]

Jak už bylo zmíněno, u jednosnímkové metody se musí počítat s vlivem hloubkového členění, resp. výškového členění, jedná-li se o leteckou fotogrametrii. U hloubkově členěných objektů by se projevoval rozdíl mezi středovým průmětem snímku a pravoúhlým průmětem a způsoboval by tzv. radiální posuny podrobných bodů. Je zřejmé, že zkreslení způsobené radiálním posunem bodů roste směrem od středu snímku, tudíž je tedy výhodné volit snímkování tak, aby největší výstupky či prohlubně byly umístěny do středu snímku. V případě, že je objekt dosti hloubkově členěný je vhodnější užít jinou fotogrammetrickou metodu.

4.2 Průseková metoda fotogrammetrie

Další ze základních metod fotogrammetrie je průseková metoda. Patří mezi vícesnímkové metody. Základní jednotkou při zpracování jsou dva a více snímků se vzájemným překryvem. Osy záběru sousedních snímků se vždy protínají. V rámci projektu je možné zpracovat společně desítky i stovky snímků. Oproti jednosnímkové metodě je výsledkem 3D model zaměřovaného objektu nebo jeho části. Jedná se tedy o metodu prostorovou.

Samotná metoda patří mezi jednu z nestarších fotogrammetrických metod. Historické řešení, dnes už prakticky nepoužívané, je v podstatě známým protínáním vpřed ze směrů řešené pomocí měřických snímků. Jsou-li známy geodetické souřadnice stanovisek a průsečíků os záběru, je možné vypočítat běžným postupem směrníky spojnic stanovisek a průsečíku os záběru. Přičtením nebo odečtením úhlu na levém a pravém stanovisku lze určit směry pro protínání vpřed ze směrů.

V současnosti je toto historické řešení modifikováno vzhledem k dnešním možnostem a při výpočtu se využívá analytického řešení. Důvodem je velký a rychlý nástup levné a kvalitní výpočetní techniky a s tím spojená možnost vyhodnocovat výstupy prakticky na libovolném počítači bez dalších doplňků.

Veškeré fotografické práce spočívají v pořízení vhodného počtu konvergentních snímků, které obklopují snímáný objekt. Snímky musí mít mezi sebou dostatečný překryv, aby bylo možno jednoznačně identifikovat spojovací body.

Odvození analytického řešení lze buď provést jednoduše geometricky za předpokladů pro pozemní fotogrammetrii, nebo obecně řešení, které se využívá v současnosti prakticky výhradně ze základních fotogrammetrických vztahů.

$$X - X_0 = (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x' - x'_0) + r_{12}(z' - z'_0) - r_{13}f}{r_{31}(x' - x'_0) + r_{32}(z' - z'_0) - r_{33}f} \quad (1)$$

$$Y - Y_0 = (Z - Z_0) \frac{r_{21}(x' - x'_0) + r_{22}(z' - z'_0) - r_{23}f}{r_{31}(x' - x'_0) + r_{32}(z' - z'_0) - r_{33}f} \quad (2)$$

Kde $\mathbf{R}_{\omega, \varphi, \kappa} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$ je matice prostorové rotace, ω, φ, κ jsou úhly rotace,

X, Y, Z jsou geodetické souřadnice bodů, X_0, Y_0, Z_0 jsou souřadnice projekčního centra, $x', z', (-f)$ jsou měřené snímkové souřadnice (platí pro pozemní fotogrammetrii) a x'_0, z'_0 jsou souřadnice tzv. hlavního bodu (paprsek středu výstupní pupily, počátek systému snímkových souřadnic). Výpočet neznámých $\omega, \varphi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$ se provádí pro každý snímek iterací pomocí souřadnic známých vřícovacích bodů a přibližných hodnot neznámých. To tedy znamená, že potřebujeme znát přibližné hodnoty neznámých před výpočtem. Do výpočtu je také možné zahrnout opravu o radiální distorzi.

Prostorové vyhodnocení lze učinit ze dvou snímků bez kontroly. Tři a více konvergentních snímků vyžaduje vyrovnání a zároveň poskytuje kontrolu. Ovšem

z hlediska přesnosti je potřeba dbát na poučku z protínání ze směrů. Více snímků znamená vyšší pracnost, ale také se tím zpřesňuje poloha určených bodů.

4.3 Stereofotogrammetrie

Nejmladší z klasických metod fotogrammetrie vznikla na přelomu 19. a 20. století s ohledem na vývoj technologických prostředků. Již od počátku se stala velmi používanou metodou a v letecké fotogrammetrii je dodnes nejpoužívanější. Velkou výhodou je, že dokáže vyhodnotit na základě stereoskopického vjemu i nesignalizované body. Stereoskopické pozorování a vyhodnocování fotogrammetrických snímků se nazývá *umělý stereoskopický vjem*. Člověk je obdařen *přirozeným stereoskopickým viděním*, které mu umožňuje současné pozorování předmětu oběma očima. [10]

Pro úspěšné určení stereoskopického vjemu je důležitá správná a současná akomodace a konvergence obou očí. Při zkoumání bodu P je nutné, aby se oční osy protínaly v pozorovaném bodě P. Oční osy poté svírají tzv. *konvergenční úhel* γ . Oči vnímají samozřejmě i body bližší a vzdálenější. Tyto body mají konvergenční úhly jiné. Rozdíl konvergenčních úhlů je značen $\Delta\gamma$ a nazývá se *úhlová paralaxa* (tj. rozdíl). Minimální hodnota tohoto úhlu se nazývá *prostorová rozlišovací schopnost* a pro každého jedince udává aktuální schopnost rozlišit vzájemnou prostorovou polohu bodů. Tato hodnota je individuální a mění se i v průběhu dne. Pro určení této hodnoty existují speciální stereoskopické testy. Při pozorování různě vzdálených bodů je nutné přeostrit optický systém – akomodovat oko, tj. pomocí očních svalů měnit poloměry křivosti oční čočky.

Přirozený stereoskopický vjem sám o sobě není možné ve fotogrammetrii přímo využít. Místo přímého pohledu na daný předmět se užívá pohledu na dva snímky předmětu. Jde tedy o metodu vícesnímkovou, kde základní jednotkou je dvojice snímků. Snímky jsou pořizeny z fotogrammetrické základny b. Pozorováním snímků se na sítnici v oku vytváří dva různé obrazy. Mozek je poté zpracuje a vyhodnotí jako jeden a vytvoří prostorový vjem, nyní nazývaný umělý.

K tomu, aby mohl tento vjem vzniknout, je potřeba, aby byly splněny následující 3 podmínky:

- a) Pozorovatel musí současně a odděleně sledovat oba snímky

b) Horizontální paralaxy musí být nenulové.

Horizontální paralaxa je definována jako rozdíl snímkových souřadnic x jednoho bodu na dvou snímcích. Snímky tedy musí být pořízeny ze dvou různých stanovisek.

c) Vertikální paralaxy musí být nulové.

Vertikální paralaxa je definována jako rozdíl snímkových souřadnic z jednoho bodu na dvou snímcích (v letecké fotogrametrii jde o rozdíly souřadnic y). Stanoviska snímkování by tedy měla být ideálně ve stejné výšce a osy záběru by měly být pod stejným výškovým úhlem. Tato podmínka se neřeší přímo v terénu, ale zprostředkovaně při určení relativní orientace při zpracování.

Vzhledem k tomu, že vyvolání umělého stereoskopického vjemu pouze za použití očí a ke krátké vzdálenosti oční základny je nutné používat pomůcky pro zlepšení nebo znásobení stereovjemu.

K neznámějším pomůckám patří stereoskop. Konstrukčně se stereoskopy dělí na čočkové, zrcadlové a hranolové. Čočkové stereoskopy mají nejjednodušší konstrukci. Základna přístroje je rovna oční základně a v místech středů očí jsou pouze pozorovací otvory či lupy. Přístroj nedokáže přeastřovat ani měnit oční rozestup. Zrcadlový stereoskop využívá soustavy optických zrcadel a excentricky pohyblivých okulárů pro přeastřování a změnu očního rozestupu. Hranolové stereoskopy jsou konstrukčně podobné jako zrcadlové, ovšem pro odraz se používá hranolů.

Dalším pozorovacím systémem jsou anaglyfické brýle. Používají se speciální brýle s barevnými skly, obvykle se jedná o modré a červené. Tedy barvy nejvíce spektrálně vzdálené tak, aby se obrazy co nejméně rušily. Jedná se o metodu nepřilíš kvalitní, ale zato jednoduchou a levnou.

K modernějším metodám pozorování patří použití polarizačních filtrů. Ty využívají polarizace světla a speciálních konstrukčních prvků. Často bývá před monitorem nasazen filtr z tekutých krystalů, měnící se v synchronizaci se zobrazováním levého a pravého snímku polarizací. Výsledek je pozorován brýlemi s polarizačními skly, kdy jedno propouští vertikálně a druhé horizontálně. Tyto brýle jsou jednoduché, levné a není potřeba zdroje elektrické energie.

4.4 Geodetické metody

Pro vyhodnocování zkoumaného objektu lze také samozřejmě použít klasických geodetických metod. V současnosti je nejčastěji k měření využívána prostorová polární metoda. Podle typu přístroje je možné měření provádět klasicky na odrazný hranol nebo měření provádět samoodrazným systémem. Zde je ovšem nutné brát v úvahu to, laserový paprsek může na rozích a hranách objektu měřit chybnou délku. Naměřené body jsou většinou ukládány do paměti přístroje a poté je při zpracování vytvořen výsledný objekt. Je také možné k měření použít klasických metod geodézie, jako například různé protínání z délek, směrů a dalších, ovšem tyto metody jsou pro měření zbytečně zdouhavé. K určení polohy bodů lze také zajisté použít metod GNNS. Ovšem tato metoda lze použít pouze v místech s dobrým výhledem na oblohu a je takřka nemožné měřit body na objektu.

Geodetické měření při mapování pozemní fotogrammetrií se využívá k zaměření geodetických souřadnic a výšek vlícovacích bodů. Dříve se se geodetické měření používalo také pro zaměření stanovisek fotografování, ovšem to už při dnešním způsobu zpracování není nutné. Někdy je potřeba geodeticky doměřit prostory, které není možné vyhodnotit na snímcích (např. z důvodu zákrytu). K zajištění přesnějších výsledků je výhodné geodetické měření kontrolovat dalšími měřeními. Pokud je možnost, je také dobré si vzdálenosti mezi vlícovacími body ověřit kontrolními oměrnými.

V této kapitole bylo čerpáno z [10] a [11].

4.5 3D skenování

Dosavadní geodetické technologie nebo většina fotogrammetrických postupů používá ke svému určení podrobných bodů vyhodnocovatele. Jedná se tedy o omezené množství bodů. Ty ale většinou dostatečně přesně charakterizují vybraný objekt. Jedná se o hrany, lomové body, rohy atd. S nástupem moderní techniky se začali prosazovat 3D skenery, které dokáží automaticky zpracovat velké množství prostorových bodů. Tato metoda měří automaticky podrobné body v pravidelném rastru, který pokrývá celý objekt.

Ještě před pár lety patřily 3D skenery spíše k exotickým zařízením, které sice byly ukazovány na výstavách, ale v jejich běžném používání je brzdil především faktor vysoké pořizovací ceny a také velké množství a struktura dat. Rychlejšímu rozvoji této technologie

napomohl vývoj ve zpracování těchto dat a také možnost exportu pro další použití, zejména v systémech CAD. V dnešní době je již metoda 3D skenování velmi oblíbenou zejména při dokumentaci složitých prostorových objektů.

Jelikož se v oblasti skenovacích systémů používá specifické terminologie, jejíž význam nemusí být vždy zřejmý, jsou v úvodu této kapitoly uvedeny definice základních pojmů.

4.5.1 Definice základních pojmů 3D skenování

3D skenovací systém – systém umožňující převést vybraný reálný objekt do podoby počítačového modelu. Tento systém bývá složen z 3D skeneru, řídicí jednotky, programu pro řízení skenování, programu pro zpracování změřených dat a příslušenství.

Statický skenovací systém – skenovací systém, který je pevně umístěn na Zemi.

Kinematický skenovací systém – skener je umístěn na pohybujícím se nosiči (letadle, autu, lodi, atd.).

3D skener – zařízení, které je schopné po nastavení parametrů skenování automaticky určit prostorové souřadnice bodů objektu.

Řídicí jednotka – počítač vybavený programem pro řízení skenování. Počítač může být připojen externě, nebo je do skeneru integrován.

Program pro zpracování naměřených dat – program sloužící ke zpracování naměřených dat. Výstupem bývá počítačový model objektu.

Mračno bodů – soubor naměřených bodů ve 3D na povrchu skenovaného objektu. Body jsou měřeny neselektivně (nereprezentují vybrané charakteristické body objektu, jako jsou hrany, vrcholy apod.).

Rozlišení – popisuje, jaký nemenší detail je možné získat ze zaměřeného mračna bodů.

Přesnost měření skeneru – je přesnost určení jednoho bodu na objektu.

Šum – šumem se rozumí chybně nebo nechtěně zaměřené body.

Čištění dat – čištění mračna bodů o nepotřebné (nežádoucí) body.

Registrace – proces transformace dat z jednotlivých stanovisek skeneru do jediného souřadnicového systému

Textura – funkce přiřazující bodům plochy barvy.

Nanášení textury na povrch – každému bodu z definičního oboru textury se přiřazuje bod na povrchu objektu. Barva tohoto bodu je pak definována hodnotou textury.

4.5.2 Základní dělení 3D skenerů

Obecně 3D skenování zahrnuje několik základních typů zařízení pracujících na různých principech a liší se využitím, které bývá dáno přesností, rychlostí a dosahem. Pozemní skenovací systémy se dělí na statické a kinematické. Dále jsou uvedena pouze kritéria pro rozdělení pozemních statických skenovacích systémů podle:

1. Měřicího principu

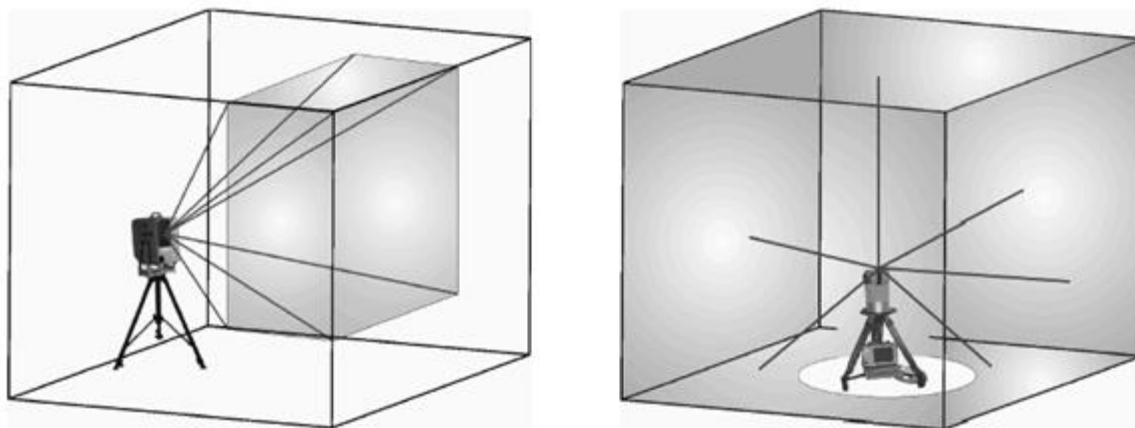
- a. Polární skenery
 - měření tranzitního času
 - měření fázového rozdílu
- b. Skenery se základnou
 - s jednou CCD kamerou
 - se dvěma CCD kamerami

2. Dosahu

- a. Systémy s velmi krátkým dosahem D1 (0,1 – 2,0 m)
- b. Systémy s krátkým dosahem D2 (2 – 10 m)
- c. Systémy se středním dosahem D3 (10 – 100 m)
- d. Systémy s dlouhým dosahem D4 (100- stovky m)

3. Přesnosti (přesnost je závislá na vzdálenosti, kterou je skenováno)
 - a. Skenery s malou základnou P1 (0,01 – 1 mm)
 - b. Skenery s velkou základnou a polární skenery s krátkým dosahem skenování P2 (0,5 – 2 mm)
 - c. Polární skenery se středním dosahem P3 (2 – 6 mm)
 - d. Polární skenery s dlouhým dosahem P4 (10 – 100 mm)
4. Rychlosti skenování
 - a. Systémy s velmi vysokou rychlostí R1 (více jak 1 000 000 bodů za sekundu)
 - b. Systémy s vysokou rychlostí R2 (100 000 – 1 000 000 bodů za sekundu)
 - c. Systémy se střední rychlostí R3 (10 000 – 100 000 bodů za sekundu)
 - d. Systémy s nízkou rychlostí R4 (do 10 000 za sekundu)

Skenery jsou také děleny podle jejich zorného pole. Tato vlastnost souvisí i s naváděním paprsku do bodu rastru. Skenery se tedy podle zorného pole rozdělují na panoramatické a kamerové.



Obrázek 3 Kamerový a panoramatický skener [12]

U kamerového skeneru je laserový paprsek rozmítán do malého zorného pole. Rozmítání je zajištěno dvojicí zrcadel nebo hranolů, jejichž osy otáčení jsou vzájemně kolmé.

Opačným případem jsou skenery panoramatické. Jejich zorné pole pokrývá celé okolí. Toto je zajištěno servomotory, které zajišťují otáčení celé měřicí soustavy.

Kamerový systém se uplatňuje spíše při skenování vzdálených objektů a panoramatický je zase výhodný pro měření interiérů. Proto se často využívá k vyhotovení dokumentace historických budov.

4.5.3 Princip metody laserového skenování

Princip metody spočívá v prostorové polární metodě. Pro určení souřadnic je potřeba znát délku průvodiče r a dva prostorové úhly φ , θ . Souřadnice určovaného bodu se poté dopočtou podle vzorce:

$$x = r \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

$$y = r \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

$$z = r \cdot \cos \theta \quad (5)$$

Jinou variantou určení polohy bodu je měření ze základny o známé délce a k ní přilehlých úhlů.

Měření vzdáleností je založeno na elektronickém způsobu měření. Skenery používají různého principu měření vzdálenosti. Buď se používají impulsní dálkoměry, měřicí tranzitní čas, nebo se používají fázové dálkoměry měřící fázový rozdíl.

Prostorové souřadnice měřeného objektu jsou měřené v místním souřadnicovém systému s případnou transformací do jiného systému. Následné zpracování spočívá v očištění jednotlivých mračen bodů od nepotřebných objektů (vegetace, stojící lidé, atd.). V případě měření z více stanovisek je nutné jednotlivá mračna bodů propojit. Propojení do jednoho mračna se nazývá registrace. Jedná se o transformaci dat z jednotlivých stanovisek do jednoho systému. Registrace je realizována pomocí identických bodů nebo překryvů.

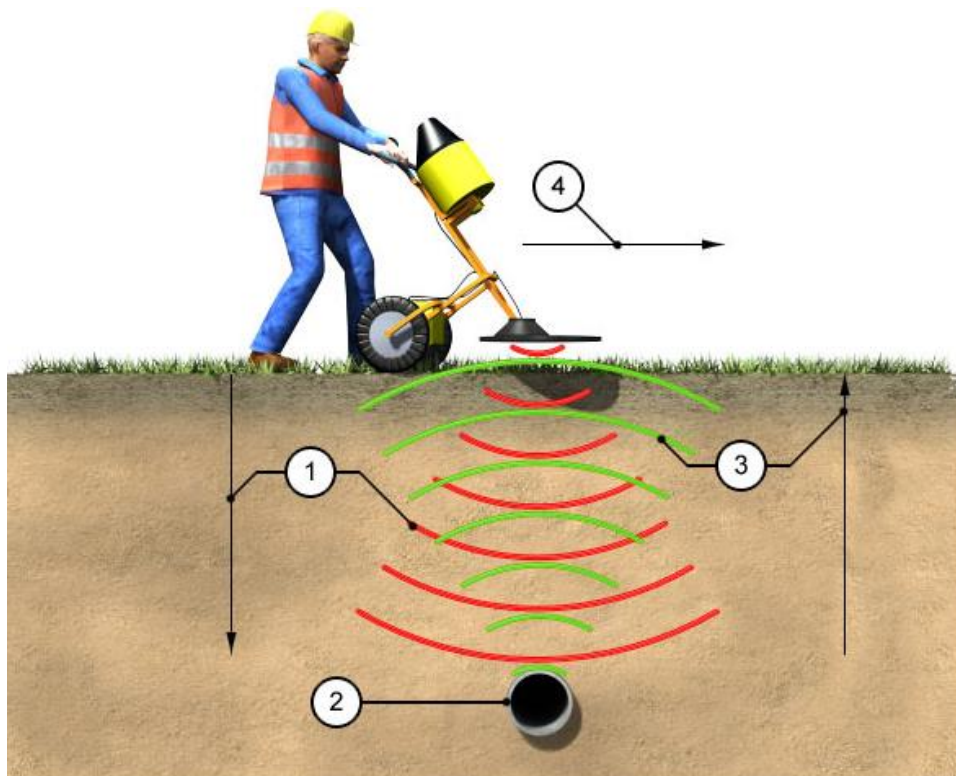
Podrobnější informace jsou uvedeny v [12] a [13].

4.6 Geofyzikální metody

4.6.1 Metoda GPR

GPR (Ground Penetrating Radar) nebo jinak řečeno georadar, je radarová technika určená ke geofyzikálnímu průzkumu. Nejčastěji pro vyhledávání podzemních dutin a objektů, ať už vodivých nebo nevodivých. Měření je prováděno nedestruktivní metodou měřením na povrchu, což je velmi výhodné v archeologii, památkové péči, či jim podobným oblastem.

Princip GPR je podobný jako u klasických radarů, které detekují objekty na nebi, zemském povrchu nebo v moři. Georadar využívá pro určení polohy podzemních objektů vysílání radiových vln v radiovém spektru VKV a UKV a detekuje odražené signály z podpovrchových struktur. Jde tedy o zařízení aktivní. GPR využívá vysokofrekvenční elektromagnetické vlny obvykle v rozmezí 10 MHz až 2,6 GHz, které vysílá do země. Pokud vlnění narazí na určitý předmět nebo na rozdílné prostředí, které mají různé dielektrické konstanty, může dojít k odrazu, lomu nebo rozptylu zpět na povrch. Přijímací anténa poté zaznamená změnu ve vráceném signálu.



Obrázek 4 Schematické znázornění principu georadaru [14]

1) vyslané vlny 2) cíl (v tomto případě trubka) 3) Odražené radarové vlny 4) Směr pohybu měření

Měřicí rozsah georadaru může dosti ovlivnit elektrická vodivost půdy a frekvence elektromagnetického vlnění, které ovlivňují účinnou hloubku. Zvýšená elektrická vodivost zeslabuje vyslanou elektromagnetickou vlnu, tudíž se snižuje zkoumaná hloubka. Vyšší frekvence vlnění nepronikají do stejných hloubek jako nižší frekvence, zato poskytují vyšší rozlišení. Velmi dobré výsledky poskytuje měření při nižších frekvencích skrz led, kde může být s výkonnými přístroji dosaženo hloubky až několika tisíc metrů, např. do podloží v Grónsku. Naopak ve vlhkých nebo jílovitých půdách nebo materiálech s vysokou elektrickou vodivostí může penetrační hloubka dosáhnout pouze několika centimetrů.

4.6.2 Magnetometrie

Magnetometrie se používá k měření magnetické indukce pole Země (jednotka Tesla, T). Toto pole pravděpodobně vzniká pohyby v tekutém jádru Země. Magnetické pole Země se mění v čase i prostoru. Ve Střední Evropě bychom naměřili hodnotu cca. 45 000 nT, na pólech cca. 70 000 nT. Velikost však závisí i na aktivitách jádra Země, na aktivitě Slunce a na magnetických bouřích v ionosféře, dále na materiálu zemské kůry a podobně. Magnetická indukce je vektorová veličina, tzn. má velikost a směr.

Praktické použití magnetometrie se objevuje v geologických průzkumech, archeologii, hledání ponořených těles a podobně. V praxi se pro měření magnetického pole používá například protonový magnetometr.

Principem protonového magnetometru je využití precese protonů s vyšší citlivostí. Protony neboli vodíková jádra, se v kapalině bohaté na vodík chovají jako maličké magnetické dipóly. Tyto magnety jsou dočasně polarizovány tím, že se vystavují působení silného magnetického pole, generovaného budicí cívkou. Když se polarizační proud vypne, protony se opět přizpůsobí vnějšímu magnetickému poli a generují v cívce malý signál, jehož frekvence je úměrná indukci tohoto magnetického pole. Tomuto jevu se také odborně říká *Overhaser efekt*. Nevýhodou protonového magnetometru je, že měří pouze velikost a celkový vektor. Nelze tedy měřit zvláště vertikální a horizontální složku geomagnetického pole. Ve většině případů je ale toto měření dostačující. Rozlišovací schopnost protonového magnetometru je asi 0,1 nT. Registrace geomagnetického pole trvá přibližně několik vteřin.

Protonový magnetometr neměří samotnou magnetickou indukci, nýbrž využívá měření vertikálního gradientu indukce magnetického pole. K vyhodnocovací jednotce jsou připojeny dvě sondy nad sebou tak, aby mezi nimi byla pevná vzdálenost. Rozdíl obou naměřených údajů umožňuje vypočítat průměrný vertikální gradient. Toto měření odstraňuje vliv časových variací magnetického pole, odstraňuje vliv anomálií velkých rozměrů a lépe definuje mělké zdroje, což je například pro archeologii velmi výhodné.

5 Měření a použité přístroje

Měření na hradě Rýzmburk bylo provedeno dne 4. 4. 2016. Celý den panovalo příznivé polojasné až jasné sluneční počasí, což bylo výhodné zejména pro měření s georadarem z důvodu objektivních výsledků.

5.1 Měření georadarem SIR-3000

Pro průzkum v rámci této práce byl použit přístroj *SIR-3000* od firmy Geophysical Survey Systems, Inc. (dále GSSI). Přístroj používá pro měření modulovaný impuls monostatické antény, to znamená, že vysílač a přijímač jsou spojeny v jednom zařízení.

Přístroj je poměrně malý a lehký a je ovladatelný jednou osobou. SIR 3000 obsahuje pokročilé zpracování signálu a umožňuje zobrazení pro 3D zobrazení přímo v terénu. Pro účely archeologie je výrobcem přístroje doporučeno používat anténu s frekvencí 400 MHz, která v této aplikaci představuje nejlepší kompromis mezi vertikálním rozlišením a penetrační hloubkou. S anténou je možné dosáhnout až decimetrového prostorového rozlišení a penetrační hloubky 2,5 m.

Pro měření georadarem byla vždy zkoumaná oblast rozdělena na pravidelnou síť profilů o pevné vzdálenosti, tak aby byla co možná nejlepší vizualizace výsledků.

Měření georadarem probíhalo ve třech lokalitách na území hradu. První byla zkoumána hliněná podlaha válcové věže. K měření vedla domněnka, že by z věže mohla vést tajná chodba dolů do údolí. Druhým objektem zájmu se stala bývalá budova na dolním nádvoří poblíž kruhové věže. I zde byla domněnka, že by se zde mohlo nacházet nějaké sklepení, či dokonce chodba. Třetím bodem zájmu se stalo hlavní nádvoří hradu. Zde byla zkoumána především celková struktura podloží.



Obrázek 5 Měření georadarem SIR 3000

5.2 Měření laserovým skenerem Surphaser

Pro skenování byl použit fázový skener *Surphaser 25HSX*. Přístroj pracuje v zorném poli $360^\circ \times 270^\circ$, principově se tedy jedná o panoramatický skener. Výrobce uvádí maximální dosah přístroje až 35 m, náhodnou směrodatnou odchylku 0,1 mm na 3 m a celkovou přesnost $< 0,5$ mm na 5 m. rychlost měření se pohybuje v rozmezí od 216 tisíc do 1,2 milionu bodů za sekundu v závislosti na nastavené hustotě skenovaných bodů.

Z hlediska bezpečnostního rizika je přístroj řazen do třídy 3R. Lze jej tedy považovat za bezpečný, ovšem při delším pohledu do laserového paprsku může dojít k trvalému poškození zraku.

Ovládání skeneru probíhá přes připojený notebook v softwaru *SurphExpress Standard v. 2.20*. Parametry pro zpracování byly nastaveny na kartě *Scan* hlavní nabídky. Po konzultaci s panem Prof. Pavelkou bylo ponecháno přednastavené nastavení programu kromě nastavení rozlišení a zorného pole.

Rozlišení bylo nastaveno na 8,7 mm pro nominální délku 10 m, což je pro výsledný model naprosto dostačující. Zorné pole bylo nastaveno na hodnotu *full volume*, tedy rozsah 360° x 270°, s tím, že jediné neskenované místo je pod skenerem.

Samotný proces skenování byl spuštěn tlačítkem *Scan* a délka jednoho měření se pohybovala kolem 2 minut.

Vybrané technické parametry	
Přesnost	submilimetry
Rychlost měření	216 tisíc až 1,2 milionu bodů za sekundu
Rozsah zorného pole	360° x 270°
Doporučená pracovní vzdálenost	0,4 m až 30 m

Tabulka 1 Laserový skener výběr z technické dokumentace

Měření laserovým skenerem probíhalo na hlavním nádvoří, tedy na stejné ploše jako bylo provedeno měření georadarem. Celkem zde bylo provedeno 14 měření na různých stanoviskách systematicky rozložených po celém prostranství. Na každém stanovisku bylo provedeno jedno měření – vzniklo tedy celkem 14 mračen bodů. Vzhledem k velkému množství dat získaného mračen bodů nejsou běžné grafické prostředky schopny data zobrazit a zpracovat. Existují proto speciální programy vytvořené přímo pro zpracování dat z laserového skenování.



Obrázek 6 Měření laserovým skenerem Surphaser

5.3 Měření magnetometrem GSM - 19

Přístroj *GSM – 19 Overhauser verze 7.0* je robustní vědecký nástroj schopný odolávat teplotám a vlhkosti. Přístroj se skládá z konzole pro příjem a ukládání dat, dvou antén pro příjem hodnot magnetického pole, GPS antény, externí baterie a batohu s konstrukcí pro uchycení antén a konzole. Systém obsahuje interní GPS přijímač s externí anténou pro registraci souřadnic v reálném čase při různých rozlišeních, samozřejmostí je i možnost zpřesnění výsledků pomocí diferenciální metody GPS.

Ovládání přístroje je umožněno konzolí, která obsahuje 16 alfanumerických kláves. Jedná se numerické klávesy 0-9 a klávesy A-F. Stisknutím klávesy *B* je přístroj uveden do provozu. Pokud je po zapnutí přístroje stisknuta klávesa *B* přibližně na 2 vteřiny, zobrazí se na displeji informační tabulka s údaji o společnosti, jako je adresa, telefon, fax, email a adresa webových stránek. Ve spodní části je poté uvedeno číslo verze softwaru a celková kapacita jednotky v bytech. Hlavní menu se zobrazí stiskem tlačítek *I* a *C* současně kdykoliv po zapnutí přístroje. Zobrazí se nabídka hlavního menu ve formě listu, z kterého

se stiskem požadované klávesy se lze přesunout do volitelných menu. Do pracovního menu se dostaneme stiskem klávesy *A-survey*. Změnu nastavení měření je možné provést klávesou *C- change*. Stiskem klávesy *A-strat* v pracovním menu lze zahájit proces měření.

Nastavení měření přístroje bylo ponecháno v módu *standard*, při kterém je ukládán záznam hodnot magnetického pole v pravidelném kroku po 2 vteřinách.

Výkon	
Citlivost	0,015 nT
Rozlišení	0,01 nT
Absolutní přesnost	0,1 nT
Rozsah	10.000 až 120.000 nT
Tolerance gradientu	>10.000 nT/m
Vzorkování	60; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,2 s
Provozní teplota	-40°C až +55°C

Tabulka 2 Specifikace GSM – 19 – Výkon



Obrázek 7 Měření magnetometrem GSM - 19

6 Zpracování dat

6.1 Zpracování dat z laserového skenování

Výstupem z laserového skenování je mračno bodů ve formátu *.c3d*. Tento formát bylo nutné převést na některý z formátů, které se dají otevřít v běžně dostupných softwarech. Proto byl export proveden v programu *Surphaser* do formátu *.xyz* (pro každý bod obsahuje informace o prostorových souřadnicích). Formát *.xyz* již lze otevřít v programu *Geomagic Studio 12*, ve kterém probíhaly úpravy mračen bodů.

6.1.1 Geomagic Studio 12

Geomagic Studio 12 je software, který byl vyvinut v USA společností *RaindropGeomagic Inc.* Řadí se na špičku mezi programy pro tvorbu digitálního modelu jakéhokoliv objektu, který je možné fotograficky zdokumentovat. *Geomagic Studio 12* automaticky dokáže vytvořit z mračen bodů polygonovou síť, která přesně kopíruje tvar objektu. V programu lze najít například funkce pro zjednodušení polygonové sítě, vyhlazování a plátování děr. *Geomagic* umožňuje výsledky exportovat do formátu OBJ nebo U3D, z kterého je pak možné vytvořit 3D PDF. Pro export je možné použít také funkci, která rovnou vytvoří 3D PDF. To se sebou ovšem nese nevýhodu, že na výstupním dokumentu bude zobrazeno logo *Geomagic Studio*.

6.1.1.1 Úprava mračen bodů v Geomagic Studio 12

Načtení jednotlivých mračen v prostorovém textovém formátu *.xyz* do programu *Geomagic* proběhlo pomocí záložky *File – Open*.

Po načtení mračen byla použita funkce *view – shade – shading points* pro lepší vizualizaci bodů.

Nevýhodou neselektivního sběru dat je to, že získáme i data, která jsou pro výsledný model přebytečná (např. koruny stromů, data získaná otevřenými okny, atd.) Proto byla po načtení jednotlivá mračna zbavena těchto přebytečných dat. K tomu byla použita funkce *Selection Tools* a v ní výběr pomocí polygonu, lása, obdélníku, či elipsy. Označené body lze jednoduše smazat pomocí tlačítka *delete*.

Důležitou funkcí při tvorbě 3D modelu je spojení všech mračen do jednoho matematického lokálního systému. Program Geomagic k tomu využívá dvou funkcí:

- *Manual registration* (manuální registrace) - zde se definuje pár odpovídajících si bodů přerývající dva skeny.

- *Global registration* (globální registrace) – v případě více skenů s překrývajícími se oblastmi je možné provést zpřesnění registrace, která je zde založena na minimalizaci vzdáleností překrývajícími oblastí.

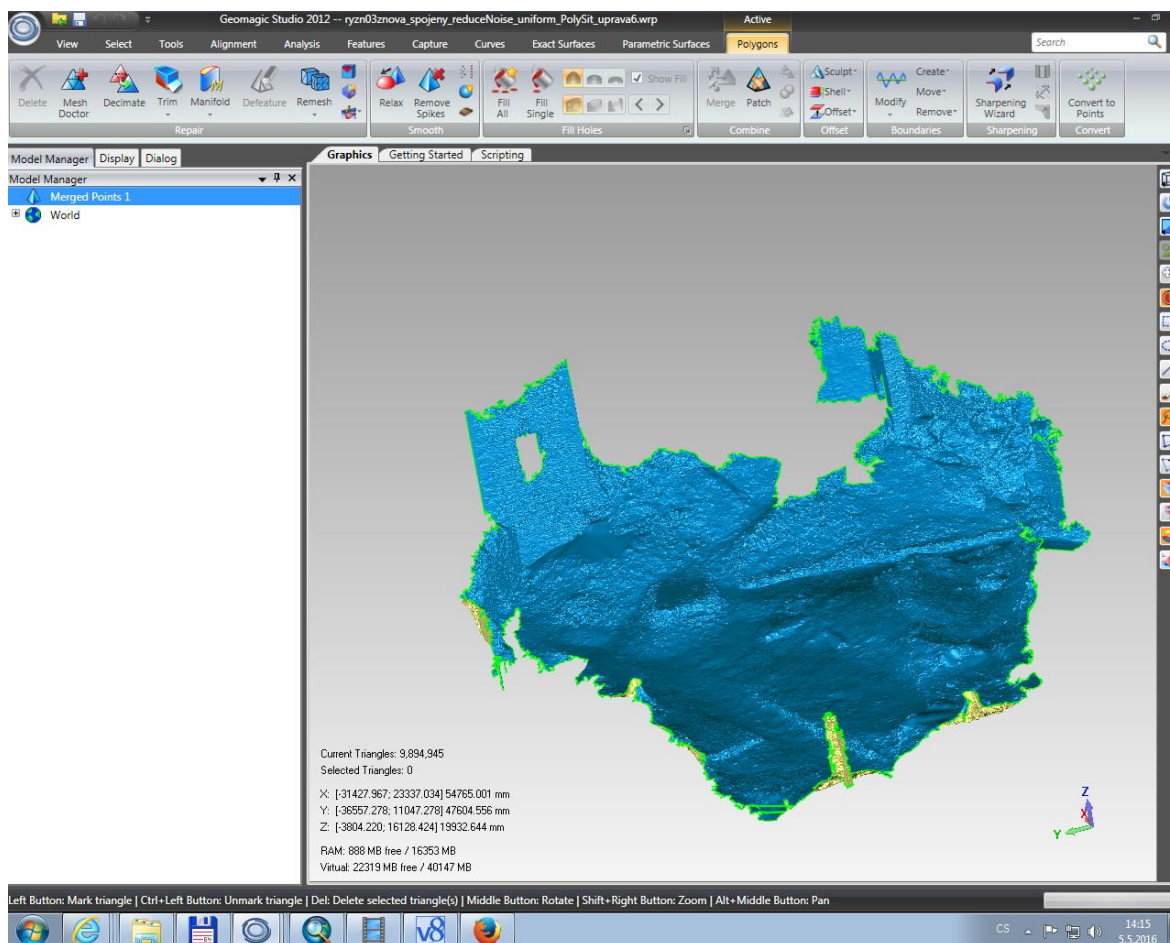
Manuální registrací se tedy spojují mračna pomocí definovaných párů bodů v překrývající oblasti. Funkci lze nalézt v menu *Tools – Registration – Manual Registration*. Po spuštění se nám pracovní plocha rozdělí na tři pracovní okna. V prvním se vybere sken, který bude považován za fixní, ve druhém okně se vybere sken, který se připojí k fixnímu mračnu. Ve spodní části se poté zobrazuje spojený model. Pro připojení je důležité vybrat na obou skenech minimálně 3 identické body, tak aby nebyly v jedné rovině objektu. Při tvorbě modelu bylo vždy použito minimálně 4 vřícovacích bodů pro lepší kontrolu.

Globální registrace zpřesňuje výsledky manuální registrace a spojí mračna do jednoho lokálního matematického systému. Funkce se nachází v položce *Tools – Registration – Global Registration*.

Další úpravou bylo spojení mračen bodů do jednoho mračna pomocí funkce *Merge Points Objects*. Spojením mračen do jednoho mračna totiž mohlo dojít ke zdvojení či ztrojení bodů na stejných místech. Ke snížení tohoto šumu byla použita funkce *Points – Reduce Noise*. Nakonec byla spojená mračna sjednocena funkcí *Uniform Sample* na 10 mm. Sjednocením na 10 mm byla snížena celková velikost modelu při jeho dalším zpracování.

Poté byly použity automatické funkce pro editaci modelu. Funkce *Select Disconnected* provádí výběr odlehlých oblastí, pokud bylo ruční mazání provedeno důsledně, funkce nenajde žádné oblasti. Další funkce *Select Outliers* vybere body, které jsou důsledkem hrubých chyb či velkým šumem odlehlé. V modelu se vyskytují drobné objekty, které je potom dobré tímto výběrem redukovat či zvyšovat v nastavení *sensitivity*.

Předešlými kroky byla smazáním nepotřebných dat snížena celková velikost mračen.



Obrázek 8 Ukázka práce v Geomagic studio 12

Pro další zpracování bylo nutné z mračen bodů vytvořit trojúhelníkovou síť. Tato síť se vygeneruje pomocí funkce *Points – Wrap*. Tímto vznikne nedokonalá síť s mnoha otvory, kterou je třeba dále upravovat.

K tomu slouží v menu záložka *Wrap*. Vzniklé otvory se vyplní funkcí *Fill Holes*.

6.1.1.2 Transformace modelu do S-JTSK

Jelikož ve zkoumané oblasti se nacházela mikro síť připojená do S- JTSK, byl tedy celý model transformován z lokálního systému. K tomu byla použita prostorová sedmiprvková transformace.

Prostorová sedmiprvková transformace

Pro transformaci vytvořeného modelu z místního systému do systému S-JTSK byla zvolena Helmertova sedmiprvková prostorová transformace s vyrovnáním koeficientů transformace podle metody nejmenších čtverců. Pro výpočet transformačního klíče je

potřeba minimálně tři identických bodů, jejichž souřadnice jsou známy v obou souřadnicových systémech. V tomto případě byly použity body tři. Sedmiprvková se nazývá proto, neboť je dána sedmi neznámými, a to:

- tři hodnoty úhlů otočení kolem os X,Y,Z
- tři posuny ve směru souřadnicových os X,Y,Z
- jeden měřítkový koeficient

Pro výpočet prvků transformačního klíče se nejdříve vypočítají přibližné hodnoty a dále se postupuje iterací. Po získání transformačního klíče se vypočtou souřadnice v S-JTSK podle následujícího vzorce:

$$X = M \times R \times x + T \tag{6}$$

Kde:

X vektor souřadnic v S-JTSK

$$X = \begin{pmatrix} X_x \\ Y_y \\ Z_z \end{pmatrix} \tag{7}$$

M měřítko

R matice rotace

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{8}$$

x vektor souřadnic v místní soustavě

$$x = \begin{pmatrix} x_x \\ y_y \\ z_z \end{pmatrix} \tag{9}$$

Tvektor translace

$$T = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \tag{10}$$

Sít' byla vytvořena předešlými měřeními provedené kolektivem pod vedením Ing. Jana Paciny, PhD. z Fakulty životního prostředí UJEP. Od něj byly dodány souřadnice 3 bodů, které byly použity jako identické body. Při měření byly tyto body vhodně signalizovány, tak aby byly viditelné i ve výsledném modelu. V něm byly v programu Geomagic sejmuty souřadnice v lokálním systému pomocí funkce *Point Coordinates* a poté uloženy do textového souboru.

bod	Y[m]	X[m]	Z[m]
4007	787502,7	975290,2	548,004
4001	787482,7	975304,3	547,155
5003	787483,8	975289	549,245

Tabulka 3 Souřadnice mikrosítě v S-JTSK

Pro výpočet transformačního klíče byl použit vlastní skript napsaný v programu Matlab R2012a. Skript byl převzat a upraven z dřívějších předmětů během studia. Kód skriptu je k nalezení v přílohách.

Při transformaci byly použity redukované souřadnice pouze na stovky metrů, tedy pouze tak, aby transformace dávala rozumné výsledky. Kdybychom použili původní souřadnice v řádech stotisíců, získali bychom tím velmi malé úhly stočení a naopak velmi velké posuny.

číslo bodu	modelové souřadnice			souřadnice S-JTSK			redukované souř. S-JTSK		
	x[m]	y[m]	z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	x[m]	y[m]	z[m]
4007	3419,357	1556,167	-1511,739	787502,736	975290,242	548,004	502,736	290,242	48,004
4001	-13120,636	-18834,376	-1167,396	787482,662	975304,278	547,155	482,662	304,278	47,155
5003	-15682,667	-3682,084	-180,904	787483,839	975289,023	549,245	483,839	289,023	49,245

Tabulka 4 Souřadnice pro transformaci modelu

posuny		úhly rotace		měřítko:
tx[m]	299,683	$\omega_x[^\circ]$	-21,478	-0,0884738
ty[m]	1166,971	$\omega_y[^\circ]$	-0,28769	
tz[m]	486,665	$\omega_z[^\circ]$	71,5552	

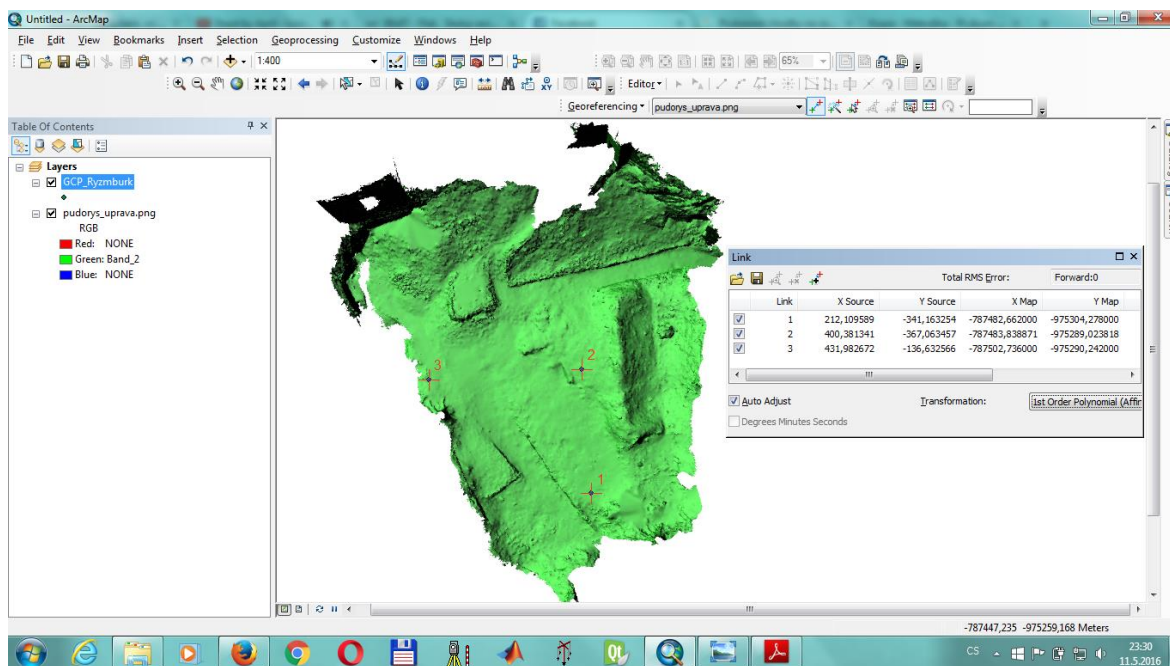
Tabulka 5 Výsledek transformačního klíče

Výsledný model byl uložen v klasickém formátu *.wrp*, který lze jednoduše otevřít v Geomagic a také ve formátu *.dxf*, který lze otevřít v jakémkoliv CAD systému a je tedy více univerzální. Dále také pro jednoduchou vizualizaci byl model exportován do

interaktivního PDF souboru. Ovšem i zde je nutné, aby uživatel, který si bude chtít model prohlédnout, měl nainstalovaný např. Adobe Acrobat XI a vyšší, nebo použit jiný prohlížeč pro vizualizaci 3D pdf.

6.1.1.3 Vizualizace georadarových snímků na hlavním nádvoří

Pro vizualizaci v ArcMapu byl pořízen půdorysný obraz modelu. Tento rastr byl nahrán do ArcMapu a zde byl georeferencován do JTSK. Georeferencování je v podstatě činnost, při které se přiřazují určitým místům na rastru souřadnice požadovaného výstupního systému. V tomto případě byly k dispozici 3 identické body v souřadnicích S-JTSK, na ně byl tedy model georeferencován. Výsledek georeferencování je uveden na obrázku níže.



Obrázek 9 Ukázka georeferencování rastrového modelu

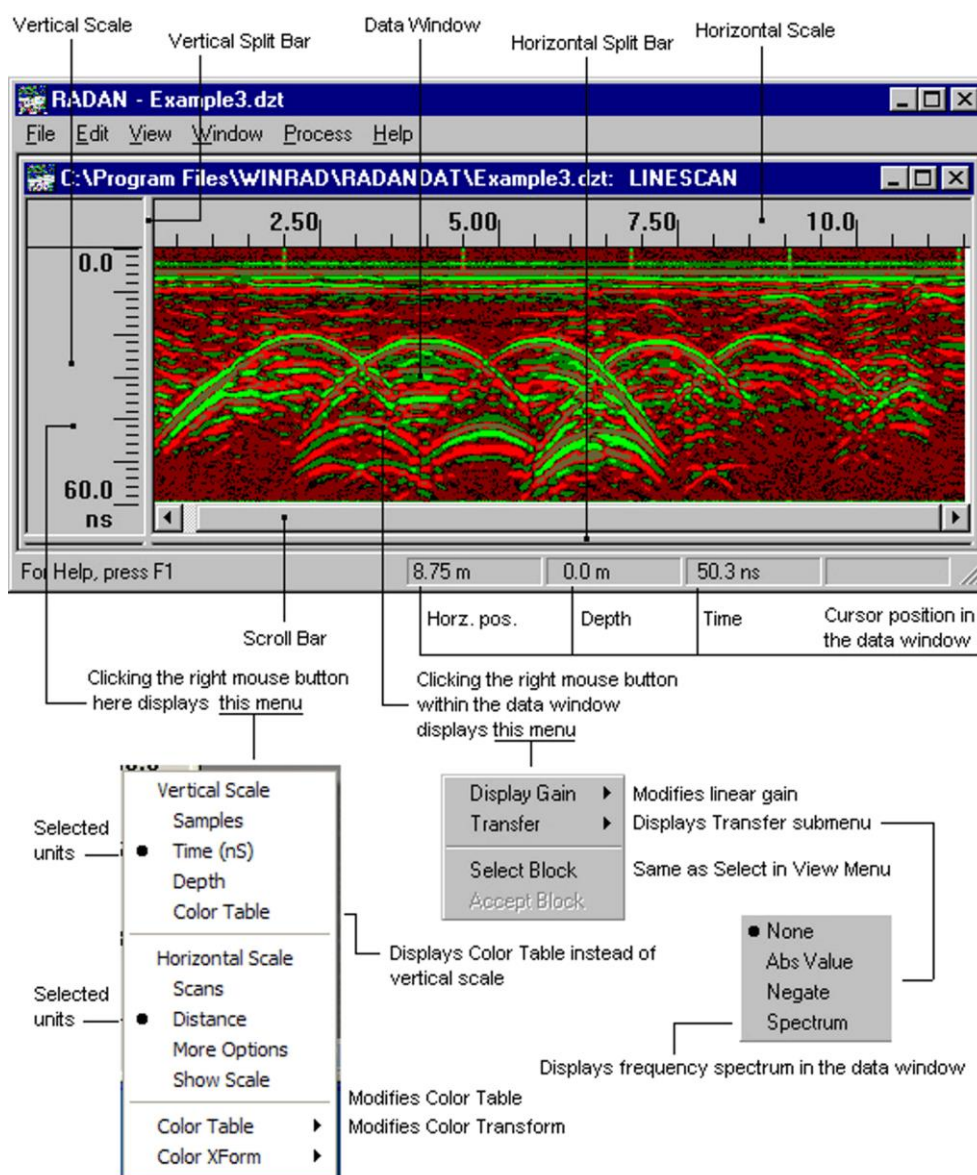
6.2 Zpracování měření v RADAN v. 6.6

Zpracování dat naměřených georadarem SIR – 3000 bylo provedeno v programu RADAN v.6.6. jde o post-processingový produkt společnosti GSSI (*Geophysical Survey Systems, Inc.*). Díky své modulární konstrukci, tento program umožňuje uživatelům vybrat nejvhodnější funkce pro zpracování, které nejlépe vyhovují jejich profesním potřebám. Mezi jeho výhody patří snadné a jednoduché prostředí na bázi Windows™. Intuitivní nastavení a práce v programu, aplikačně specifické moduly, srozumitelná nápověda. [15]

6.2.1.1 Úprava georadarových dat v RADAN v.6.6

Import dat měřených georadarem se v programu RADAN provede intuitivně pomocí známé ikonky *Open*, nebo přes záložku *File – Open*. Dále je vhodné si zkontrolovat nastavení v *File Header*. Tato tabulka doprovází každý soubor GPR dat a popisuje nastavení radarového systému v době sběru dat. Některé z těchto parametrů lze upravit tak, aby odpovídaly změnám postprocessingu. Tabulka lze otevřít přes záložku *Edit – File Header*.

Pořízená data lze v programu RADAN zobrazit různými způsoby v rozdílných formátech. Zobrazení dat lze nastavit ve *View – Display Options*.

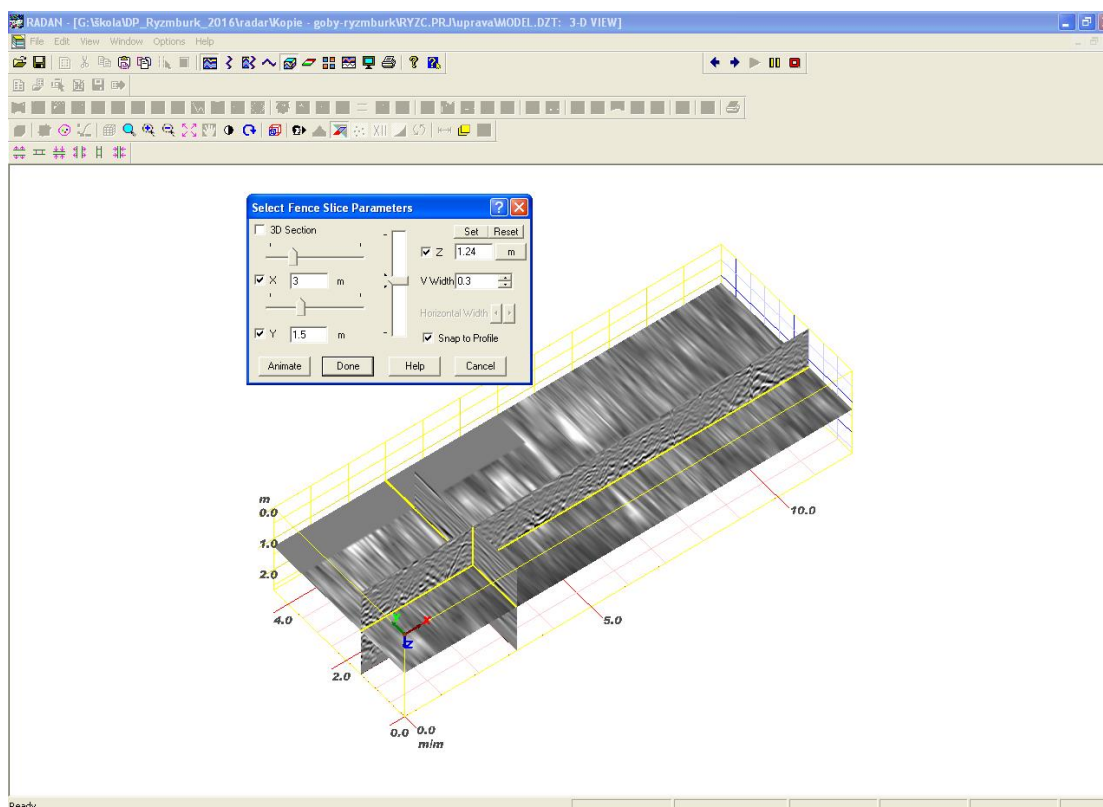


Obrázek 10 Interaktivní možnosti zobrazení v programu RADAN [15]

Nejprve bylo nutné data očistit o opravu výšky antény nad terénem. To bylo provedeno pomocí funkce *Running the Automatic Portion of the SI Module*. Zde se zároveň provedla filtrace dat v horizontálním směru a také se zde nastavil typ použité antény. V tomto případě bylo měřeno s anténou 400MHz. V rozšířeném nastavení byly dále zvoleny možnosti výškového vyrovnání a filtrace *Average of All Scans*. Výsledkem je nový radarogram s opravenou penetrační hloubkou a redukovaným horizontálním šumem.

Dále byla použita funkce *Distance Normalization*, která umožňuje zavést jednotné horizontální měřítko v radarogramu. Tato funkce dokáže délkově vyrovnat vzdálenost podle požadovaných kritérií. Výsledkem je nový radarogram s vyrovnanou délkou GPR profilu.

Poté byl vytvořen 3D model. Ten se vytvoří z menu I a v dialogovém okně se zaškrtně volba *Create 3DFile*. V dalším dialogovém okně se nastaví import vstupních dat, definuje se geometrie 3D souboru a provede se export výstupních dat. Po nahrání požadovaných vstupních profilů se provede výpočet 3D modelu. Po dokončení program zobrazí radarogram v tzv. režimu *Linescan*, kde jsou všechny profily řazeny za sebou. Prostorový náhled se spustí speciálním tlačítkem v panelu nástrojů.



Obrázek 11 Ukázka 3D modelu GPR dat

Obrázek 11 znázorňuje vytvořený 3D model. Pomocí dialogového okna vyvolaného stiskem tlačítka *3D Grid Density* lze modelem procházet ve všech třech osách, jak lze rovněž vidět z obrázku. Pro souřadnici *Z* lze nastavit šířku, s jakou bude modelem procházeno.

6.3 Zpracování dat měřených magnetometrem

Výstupem měření magnetometrem GSM – 19 je textový soubor ve formátu *.txt*. Na prvních třech řádcích je v hlavičce souboru uveden typ přístroje, název souboru a také popis jednotlivých sloupců pro snadnou orientaci. Níže je uvedena ukázka výstupního souboru s uvedením prvních třech bodů.

```
/Gem Systems GSM-19GW 7032263 v7.0 15 II 2011 M ew5fp1.v7s
/ID 1 file 33 .wg 19VIII96
/00056 sensor distance cm
/X Y elevation nT nT/m sq cor-nT sat time picket-x picket-y
line 000001
050.6334817 013.6648826 000596 49138.97 -0002.66 99 000000.00 07 141336.0 -3.00 -3
050.6334817 013.6648821 000596 49138.84 -0002.76 99 000000.00 07 141338.0 * *
050.6334817 013.6648826 000596 49138.65 -0002.82 99 000000.00 07 141340.0 * *
```

Obrázek 12 Ukázka dat z magnetometru

V prvních třech sloupcích jsou uvedeny informace o poloze měřeného bodu v systému WGS 84. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou uvedeny velikosti magnetického indukce a potenciálu v měřeném bodě. Dále jsou uvedeny hodnoty korelace *nT* a čas GPS. Poslední dvě hodnoty na prvním řádku ukazují začátek linie měření.

6.3.1 Práce v programech Easy Transform v2.3 a ArcMap 10.3

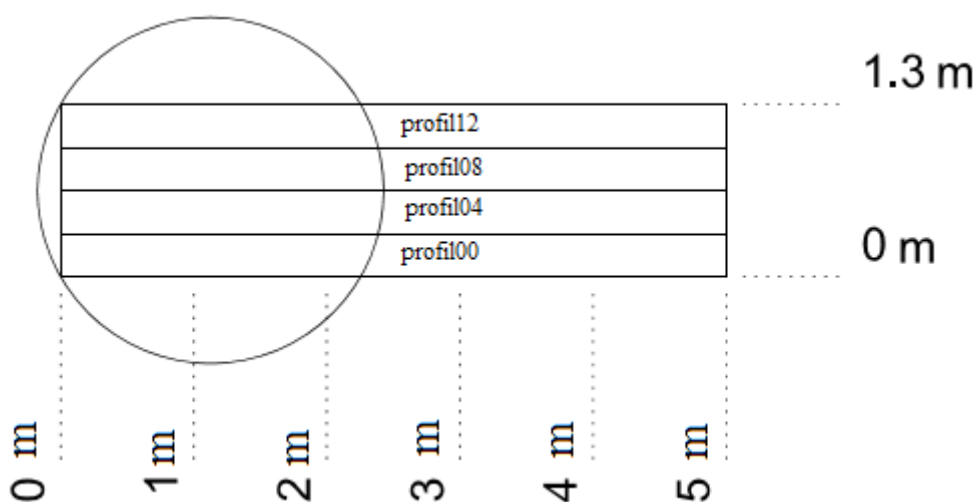
Nejprve byly body transformovány ze systému WGS 84 do systému S- JTSK pomocí programu *Easy Transform v2.3*, jehož autory jsou Doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D. a Ing. Pavel Třasák, Ph.D.

Další zpracování probíhalo v programu *ArcMap 10.3* od společnosti *ESRI*. Zde byly body importovány pomocí funkce *File – Add data – Add XY data*. Toto bylo provedeno dvakrát s tím, že jednou byla jako souřadnice *Z* zvolena hodnota magnetického pole a poté hodnota magnetického potenciálu. V dalším kroku byl vytvořen vektorový model terénu pomocí funkce z *ArcToolboxu 3D Analyst Tools – Data Management – TIN – Create TIN*. Výsledný rastr byl vytvořen pomocí funkce *3D Analyst tools – Conversion – From TIN – TIN to Raster*. Výsledný rastr už tedy dává představu o hodnotách magnetického pole ve zkoumané oblasti.

7 Vyhodnocení výsledků

7.1 Vyhodnocení průzkumu kruhové věže

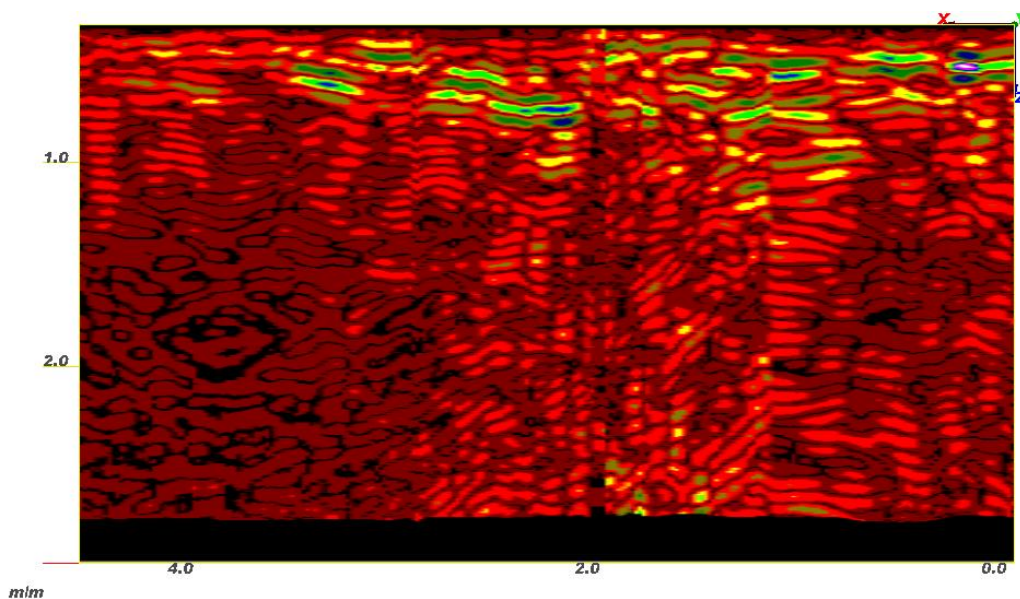
V kruhové věži bylo měřeno georadarem ve čtyřech podélných profilech. Chodba kruhové věže je široká 1,3 m a dlouhá 5 m. Profily byly tedy měřeny s rozestupem 0,4 m (dále budou značeny jako profil00, profil04, profil08 a profil12 tedy podle vzdálenosti od zvoleného počátku v dm). Osa X byla volena ve směru měření profilů a osa Y v příčném směru. Osa Z byla volena dolů do podzemí.



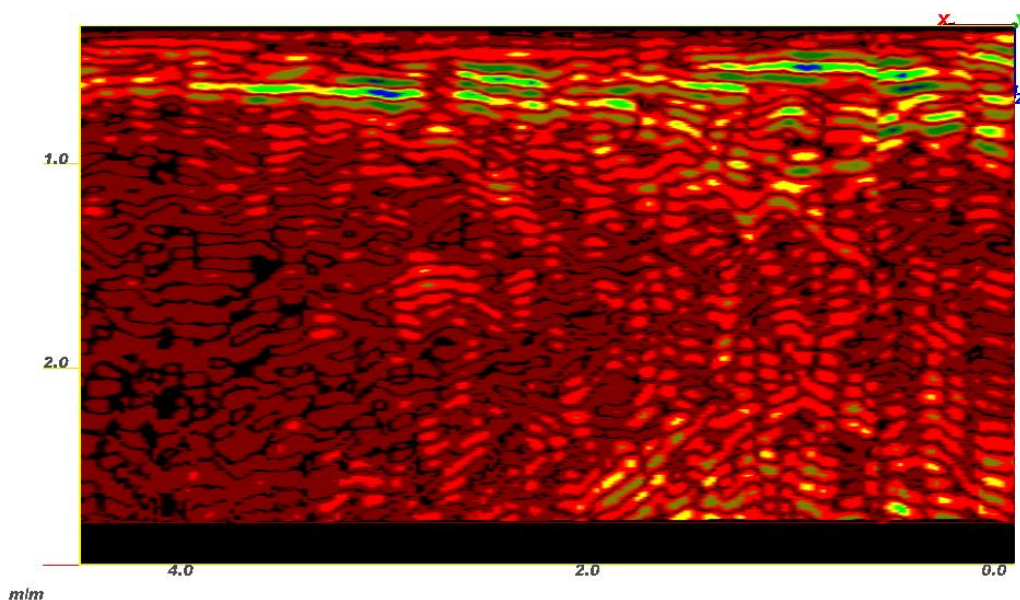
Obrázek 13 Schéma měřených profilů v kruhové věži

Na obrázku 14 jsou zobrazeny profily 04 08 s tím, že jako profily ležící uprostřed chodby nejlépe vykreslí dané území. Pro lepší přehlednost byla vybrána barevná škála, tzv. *color table: 1*. Podle této stupnice tmavé barvy představují místa s nízkým odrazem, zatímco světlé barvy zobrazují místa s vysokým odrazem signálu.

Z obrázku je patrné, že k nejsilnějšímu odrazu docházelo těsně pod povrchem. Je to celkem logické, neboť v chodbě je patrná kamenná podlaha a v prostoru samotné věže jsou taktéž pozůstatky po podlaze. Dále je také patrné, že na obou profilech je v levé dolní části prakticky minimální odraz, tedy v prostorách pod vstupní chodbou do věže. Toto se dá přisoudit právě kamenné podlaze, skrz kterou je většina elektromagnetického vlnění pohlcena a hlouběji je už signál málo silný. Naopak v prostorách kruhové věže, tedy v pravé části obrázků, jsou vidět také odrazy zhruba od 2 m hloubky. Zde by se mohlo jednat buď o nějakou suť či kamení, které tam bylo nasypáno, pokud zde doopravdy existovala úniková chodba z hradu, a nebo se může jednat pouze o trvalé podloží.



Obrázek 14 Kruhová věž – profil 04

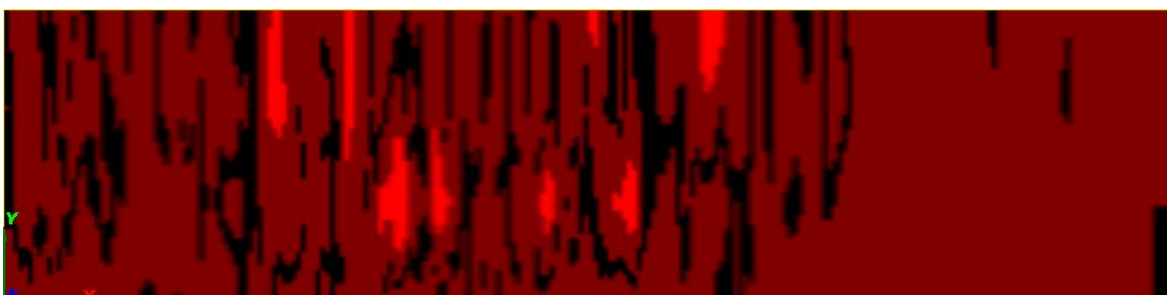


Obrázek 15 Kruhová věž – profil 08

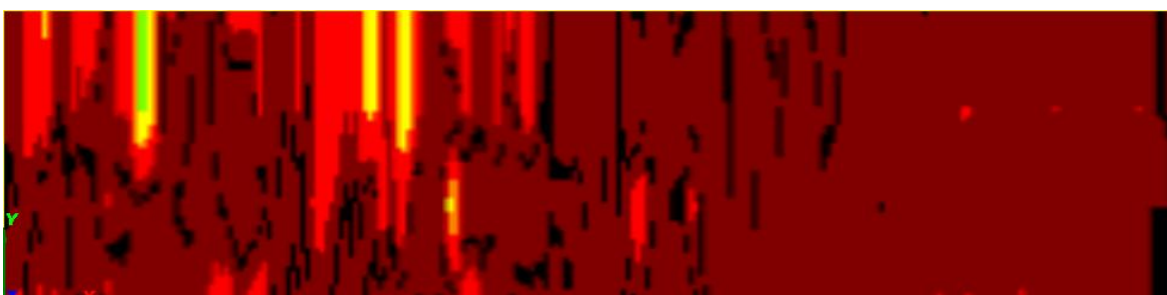
Pro lepší vizualizaci byly vytvořeny půdorysné řezy z 3D modelu v nepravidelném intervalu po 0,2 m a 0,25m. Při volbě tloušťky řezu bylo ponecháno standartních 0,26 m, tzn., že je-li například zobrazen řez v hloubce 0,5 m, jsou zde zachyceny anomálie ve vzdálenosti 13 cm na každou stranu.



Obrázek 16 Kruhová věž - půdorysný řez v hloubce 0,2m



Obrázek 17 Kruhová věž - půdorysný řez v hloubce 1,5 m



Obrázek 18 Kruhová věž - půdorysný řez v hloubce 2,5 m

Ze tří výše uvedených obrázků je opět patrná rozdílnost v jednotlivých hloubkách. Na Obrázek 16 je vidět silný odraz v levé části řezu. Jelikož se jedná o řez v hloubce 0,2 m je i z povrchu patrné, že se zde jedná o pozůstatek betonového sloupku, který zajišťoval točité schodiště po prvního patra věže. Na druhém obrázku není prakticky žádný odraz, je pravděpodobné, že v této hloubce bude podloží spíše písčité či sprašovitě. To na Obrázek 18 je už znatelný silnější odraz. Zde by se tedy mohlo jednat o skalnatější podloží nebo také o kamení, kterým mohla být chodba zasypána.

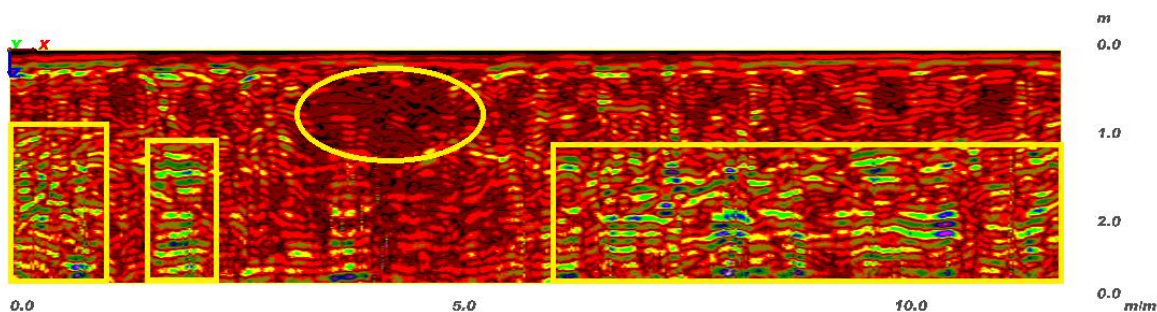
7.2 Vyhodnocení průzkumu bývalé budovy na dolním nádvoří

Dalším cílem byl georadarový průzkum bývalé budovy na dolním nádvoří. Důvodem měření byla domněnka, že povrchové podloží je na rozdíl od okolního terénu jiné, více měkké. Prostor je zobrazen na Obrázek 19. Celkem zde bylo naměřeno 10 profilů vedených od hlavní hradební zdi s rozestupem 0,5 m. Profily 1 až 8 byly dlouhé 12 m, profily 9 a 10 byly dlouhé 6 m. Počátek měření je zobrazen na obrázku červeným křížkem. Profily zde budou opět popsány jako profil00, profil05,... tedy dvojčíslicí označuje délku staničení od hlavní hradební zdi. Pro jednoduchost a přehlednost bylo toto měření v georadaru pojmenováno "ryzc" a bude se takto dále uvádět.

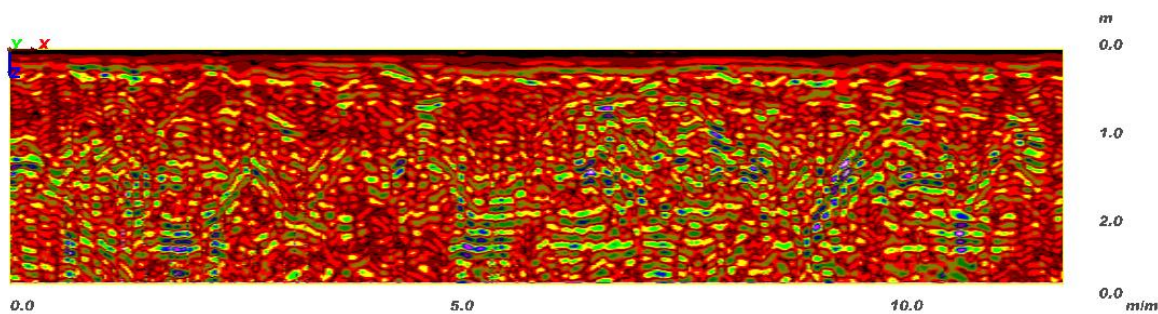


Obrázek 19 Bývalá budova na dolním nádvoří

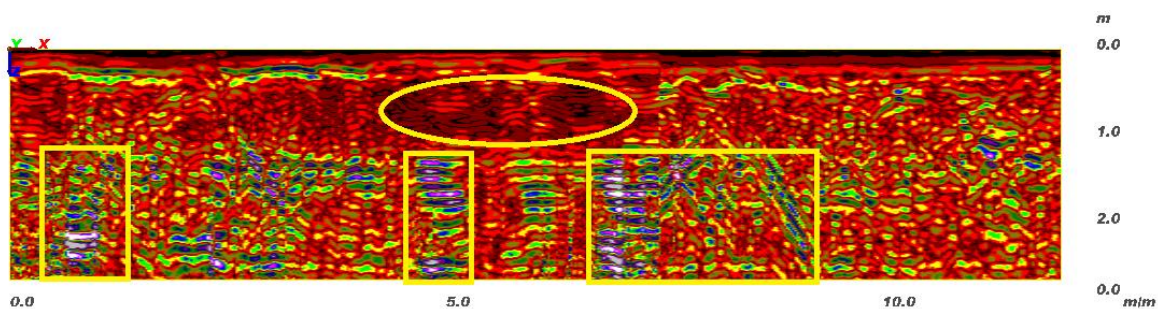
Na obrázcích 20 až 22 jsou zobrazeny některé profily. V prvním a třetím případě jsou žlutými obdélníky zobrazeny anomálie, které by mohly naznačovat staré zdi, pokud se jednalo o podsklepenou budovu. Bohužel na profilech 10 až 25 se tato domněnka nepotvrdila, jak je vidno z Obrázek 21.



Obrázek 20 "ryzc - profil00

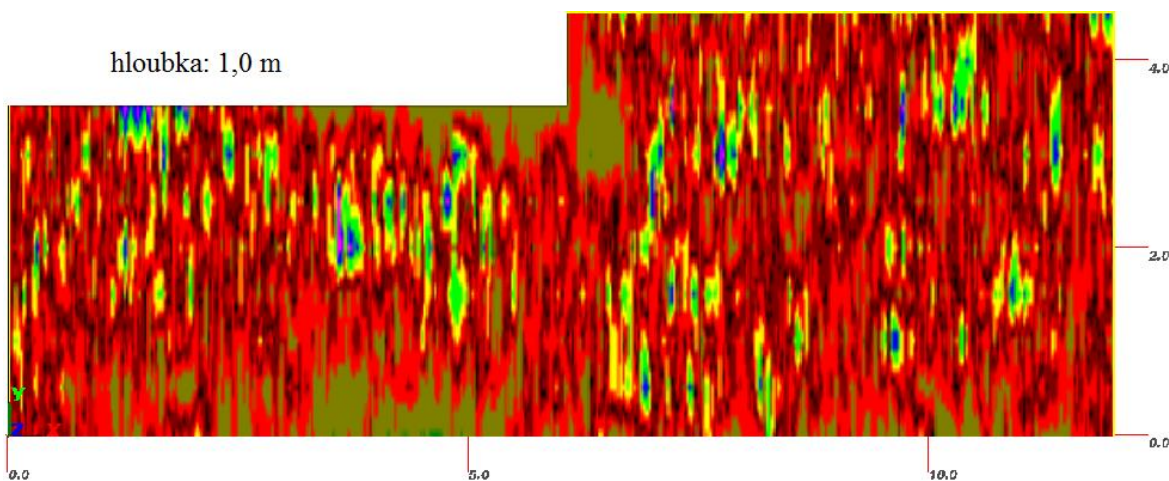


Obrázek 21 "ryzc" - profil10

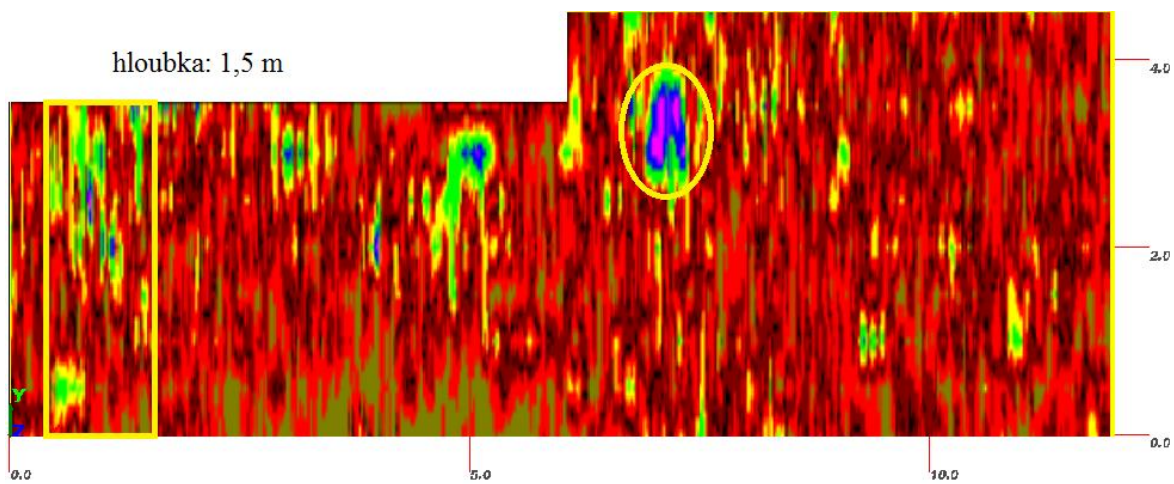


Obrázek 22 "ryzc" - profil30

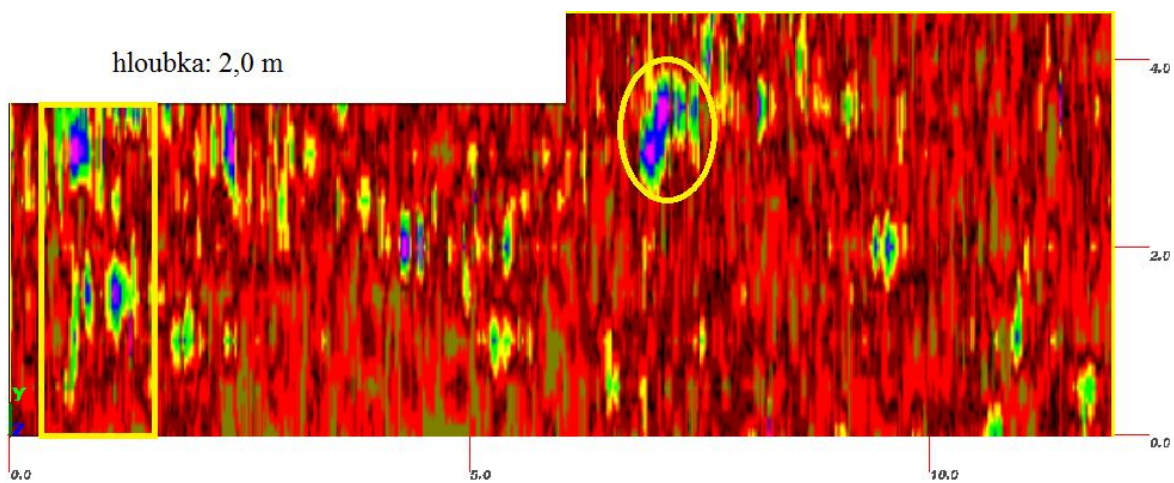
Další formou zobrazení jsou půdorysné profily, které by mohly ukázat ucelenější představu o celém podloží. Na ukázkou zde jsou zobrazeny 3 půdorysné řezy. Z těch lze usoudit, že domněnka o zdi v levé části zřejmě nebude správná. Spíše se dá říci, že jedná o lokální změnu podloží. Viditelná anomálie označená kroužkem u profilů v hloubce 1,5 až 2 m dává jistou naději, že se zde vyskytuje něco odlišného od okolního prostředí.



Obrázek 23 "ryzc"- půdorysný řez v hloubce 1 m



Obrázek 24 "ryzc"- půdorysný řez v hloubce 1,5 m

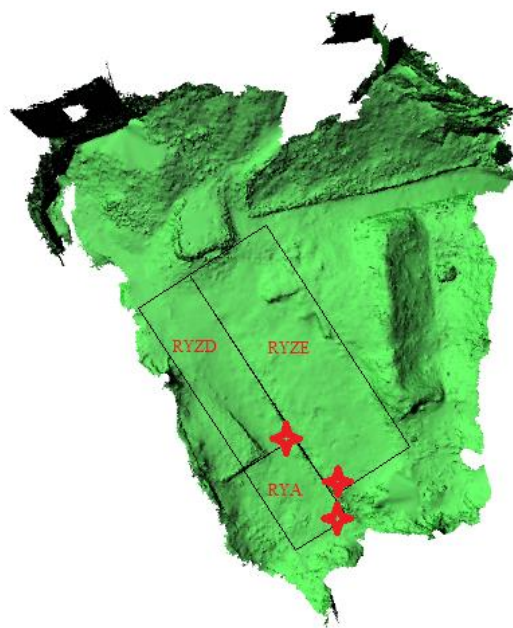


Obrázek 25 "ryzc"- půdorysný řez v hloubce 2 m

7.3 Vyhodnocení průzkumu na hlavním nádvoří

Mezi další průzkumnou lokalitu bylo zvoleno hlavní nádvoří hradu. Měření georadarem bylo pracovně rozděleno do tří obdélníkových polí. Tyto pole dostali každé své pracovní pojmenování pro ukládání dat při práci s georadarem .

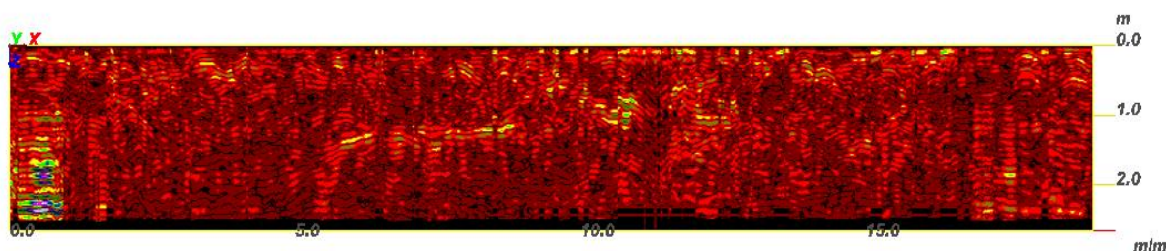
První a nejmenší zkoumaný prostor byl zaměřen sedmi profily o jednotné délce 9,5 m. Rozestupy mezi profily byly voleny po jednom metru. Tento prostor získal pracovní název "rya". Další navazující prostor byl dlouhý 19 m a bylo zde provedeno 7 podélných profilů s rozestupem jednoho metru. Pracovním názvem byl



Obrázek 26 Situace měření na hlavním nádvoří

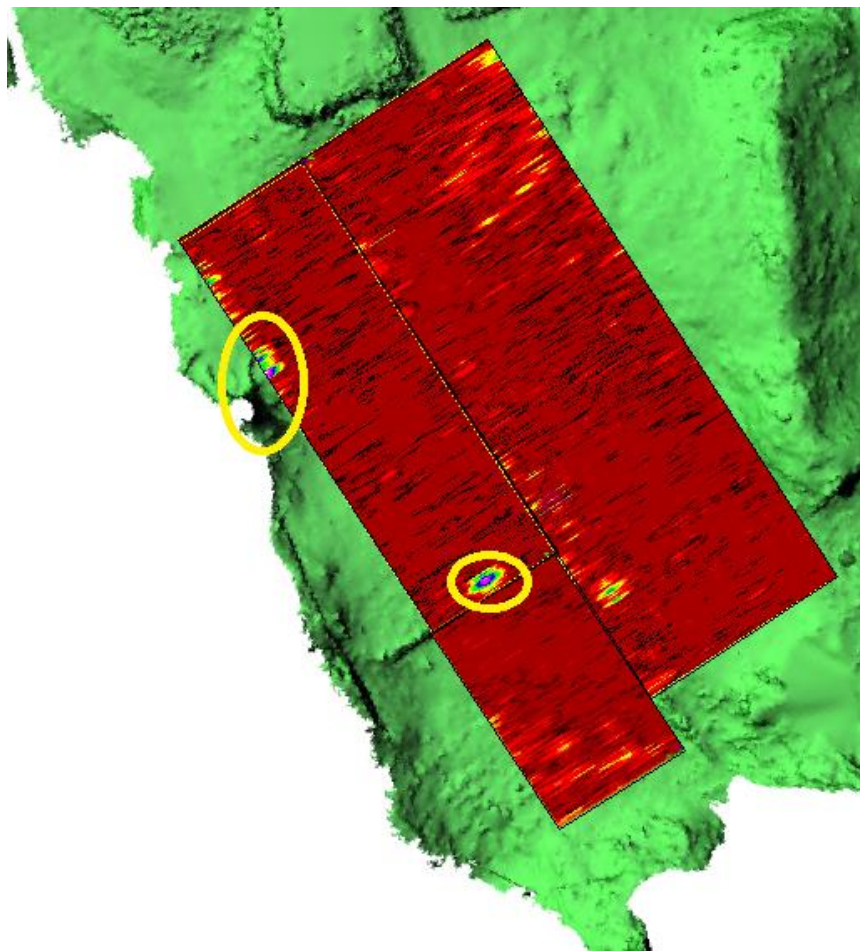
pojmenován "ryzd". Poslední prostor dlouhý 26 m s deseti profily po jednom metru byl pojmenován "ryze". Pro přehlednost je k dispozici Obrázek 26, kde jsou vyobrazeny všechny 3 jednotlivé měřické pole. Červený křížek v rohu jednotlivých polí značí počátek měření. Při zobrazení půdorysných řezů byl jako podklad použit snímek pořízený z 3D modelu vytvořeného laserovým skenováním.

Při podrobném prozkoumání jednotlivých profilů i vytvořených půdorysných řezů nebylo nalezeno nic konkrétního, co by se pod povrchem nádvoří mohlo ukrývat. Jedinou výjimkou je profil zobrazený na obrázku níže, tedy profil30 v měřickém poli "ryzd". Zde totiž hned z kraje profilu je patrná silná anomálie, která by mohla naznačovat pozůstatek zdi. Bohužel na žádném dalším profilu už tato anomálie není nikterak patrná. Zajímavostí je že tato anomálie odpovídá místu, kde ve skutečnosti jsou patrné základy jakési budovy. Proč ovšem tedy nejsou patrné základy zdi i na ostatních profilech je záhadné.



Obrázek 27 "ryzd" - profil30

Z Obrázek 28 je menším žlutým kolečkem zvýrazněna ona zmiňovaná anomálie. Dále je zde zvýrazněna další anomálie. V tomto případě se bude s největší pravděpodobností jednat o kořeny stromu, který je v těsném sousedství.



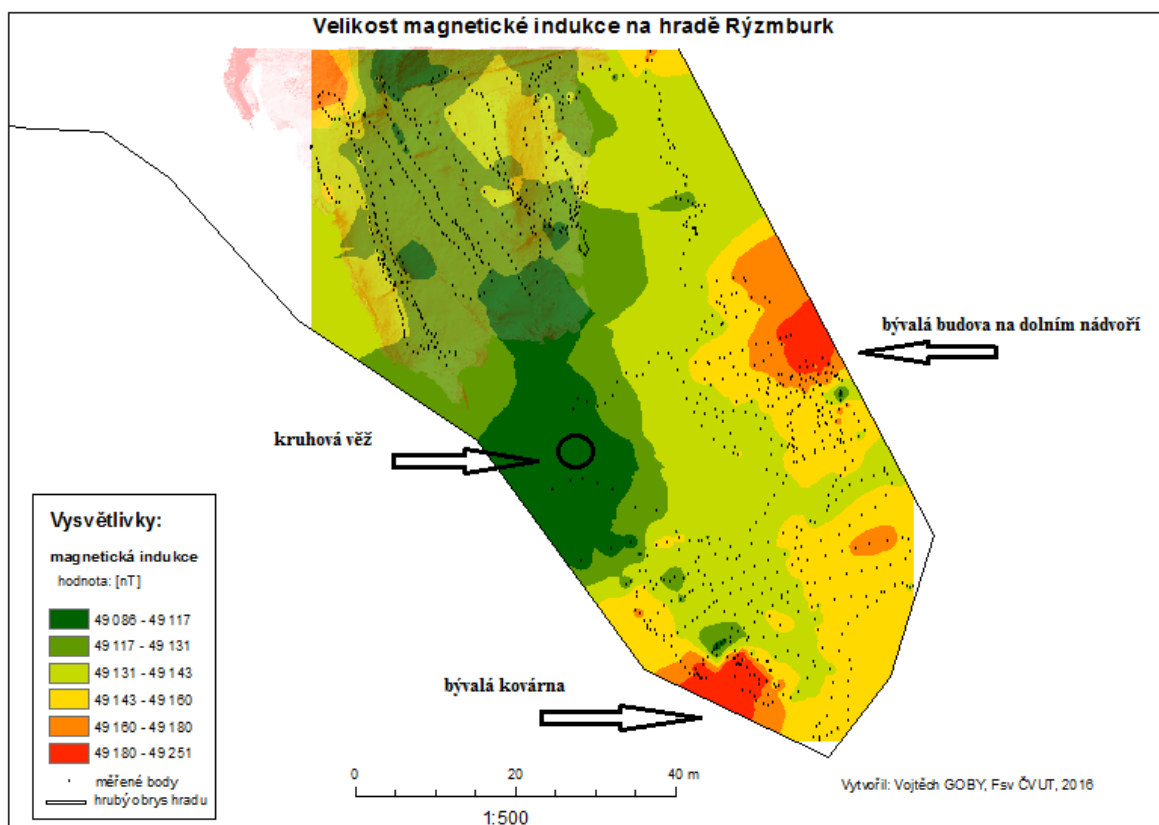
Obrázek 28 Hlavní nádvoří - půdorysný řez v hloubce 2,25 m

7.4 Vyhodnocení měření magnetometrem

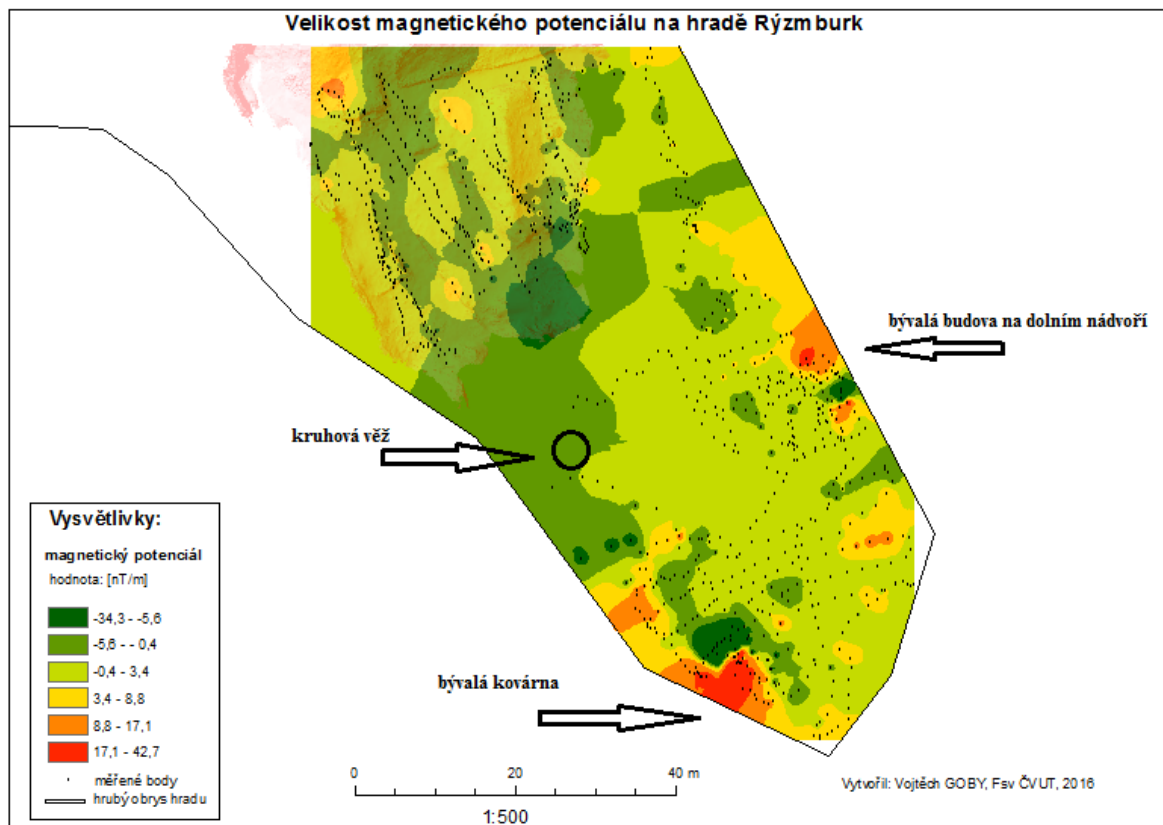
Na obrázcích níže jsou zobrazeny výsledky magnetometrického průzkumu. V legendě k obrázku jsou zobrazeny jednotlivé barevné škály. Malými tečkami jsou zobrazeny měřící body. Část bodů muselo být umazáno z důvodu špatných výsledků (Bylo měřeno v blízkosti osobního auta, které velmi výrazně měnilo magnetické pole v okolí). Celkem bylo změřeno 1094 bodů. Vyhodnocení a tvorba obrazových výstupů proběhla v programu ArcMap.

Jak je patrné z obrázků, tak hodnoty indukce a potenciálu se nepatrně liší. Vysoké hodnoty jsou patrné zejména v jihozápadní a východní části hradu. Anomálie ve východní části odpovídá místu měření georadarem, tedy v prostoru bývalé budovy na dolním

nádvoří. Ovšem při detailním prozkoumání Obrázek 19 zjistíme, že za vysokými hodnotami patrně stojí pomalu doutnající pařez v levé části, v těsné blízkosti hradeb. Zajímavější je tedy oblast v jihozápadní části. Zde byly hodnoty nejvyšší pro obě sledované veličiny. Při podrobném měření byly v této části hradu dokonce nalezeny zbytky strusky. A skutečně podle p. Kučery z Občanského sdružení pro záchranu hradu Rýzmburk zde opravdu dříve bývala kovárna, což odpovídá zbytkům nalezené strusky a také silným anomáliím magnetického pole.



Obrázek 29 Velikost magnetické indukce na hradě Rýzmburk



Obrázek 30 Velikost magnetického potenciálu na hradě Rýzmburk

8 Závěr

Diplomová práce je zaměřena na geodeticko – geofyzikální průzkum hradu Rýzmburk. Lokalita byla vybrána po domluvě zástupců ČVUT a Občanského sdružení pro záchranu hradu Rýzmburk a výsledky této práce mohou být využity při dalších historických a archeologických studiích této oblasti. Ze získaných dat byly vytvořeny jednoduché plány a mapy, které jsou součástí příloh na přiloženém CD. Z dat měřených georadarem byly vytvořeny plány s půdorysnými řezy v jednotlivých hloubkových úrovních s krokem 0,25 m. Z dat měřených magnetometrem byly vytvořeny mapy zobrazující místní magnetické pole. Data z laserového skenování byla především použita pro přehlednou vizualizaci georadarového průzkumu na hlavním nádvoří a také byl vytvořen 3D model hlavního nádvoří, který je k dispozici také v souřadnicích S-JTSK, do kterých byl transformován.

Při vyhodnocení georadarových měření je třeba nejprve připomenout, že data získána měřením nemusí dávat přesné výsledky. Dostí zde záleží na vlastnostech půdy, zejména na její vlhkosti. S tím také souvisí nastavení dielektrické konstanty, která byla v tomto případě ponechána na standardní hodnotě (tzv. hodnota DIELE = 8). Ovšem při předem známé struktuře půdy by mohlo být měření ještě zpřesněno.

Z výsledků měření v kruhové věži lze jen těžko s jistotou tvrdit, že by se zde mohla nacházet jakási tajná chodba. Téměř s jistotou se dá říci jen to, že zde není žádná jasně prokazatelná zeď, klenba či strop. Spíše se zde jedná usazený materiál či pravděpodobněji o obvyklé podloží.

Ani průzkum bývalé budovy na dolním nádvoří nepřinesl žádný poznatek. Ať už z profilů měření nebo z půdorysných řezů jsou zde patrné časté lokální anomálie. Pravděpodobněji zde budou právě lokální změny v podloží.

Opět podobně dopadl průzkum na hlavním nádvoří. Ani zde nebylo nalezeno nic, z čeho by se daly vyvozovat konkrétní výsledky.

To magnetometrický průzkum prokázal, že v jihozápadní části dolního nádvoří se skutečně dříve nacházela kovárna. Hodnoty magnetického pole zde byly jednoznačně nejvyšší. Dále tento fakt potvrdil také nález strusky právě v této lokalitě.

Jak už je zmíněno výše výsledky průzkumy ukázaly možnosti co očekávat pod povrchem. Ovšem aby bylo dosaženo relevantního výsledku, bylo by žádoucí zkoumanou oblast změřit ještě jednou nějakou jinou metodou. Přeci jen jsou všechny metody geofyziky částečně obestřeny nejistotou tím, že se jedná o nedestruktivní metody.

Tato práce se nezabývá průzkumem celého hradního komplexu. Je zde ještě velký prostor k dalšímu a hlubšímu bádání. A to jak metodami geofyziky nebo klasických metod geodézie, neboť si myslím, že by bylo správné hrad a okolí co nejvíce zdokumentovat a dozvědět se nové informace.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Perspektivní rekonstrukce hradu [1]	10
Obrázek 2 Stínovaný digitální model povrchu se znázorněnými řezy georadarem [7].....	14
Obrázek 3 Kamerový a panoramatický skener [12]	23
Obrázek 4 Schematické znázornění principu georadaru [14].....	25
Obrázek 5 Měření georadarem SIR 3000	29
Obrázek 6 Měření laserovým skenerem Surphaser	31
Obrázek 7 Měření magnetometrem GSM - 19	32
Obrázek 8 Ukázka práce v Geomagic studio 12.....	35
Obrázek 9 Ukázka georeferencování rastrového modelu.....	38
Obrázek 10 Interaktivní možnosti zobrazení v programu RADAN [15]	39
Obrázek 11 Ukázka 3D modelu GPR dat.....	40
Obrázek 12 Ukázka dat z magnetometru.....	41
Obrázek 13 Schéma měřených profilů v kruhové věži	42
Obrázek 14 Kruhová věž – profil 04	43
Obrázek 15 Kruhová věž – profil 08	43
Obrázek 16 Kruhová věž - půdorysný řez v hloubce 0,2m	44
Obrázek 17 Kruhová věž - půdorysný řez v hloubce 1,5 m	44
Obrázek 18 Kruhová věž - půdorysný řez v hloubce 2,5 m	44
Obrázek 19 Bývalá budova na dolním nádvoří	45
Obrázek 20 "ryzc - profil00.....	45
Obrázek 21 "ryzc" - profil10	46
Obrázek 22 "ryzc" - profil30	46
Obrázek 23 "ryzc"- půdorysný řez v hloubce 1 m.....	46
Obrázek 24 "ryzc"- půdorysný řez v hloubce 1,5 m.....	47
Obrázek 25 "ryzc"- půdorysný řez v hloubce 2 m.....	47
Obrázek 26 Situace měření na hlavním nádvoří.....	48
Obrázek 27 "ryzd" - profil30	48
Obrázek 28 Hlavní nádvoří - půdorysný řez v hloubce 2,25 m.....	49
Obrázek 29 Velikost magnetické indukce na hradě Rýzmburk	50
Obrázek 30 Velikost magnetického potenciálu na hradě Rýzmburk.....	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 Laserový skener výběr z technické dokumentace	30
Tabulka 2 Specifikace GSM – 19 – Výkon.....	32
Tabulka 3 Souřadnice mikrosítě v S-JTSK	37
Tabulka 4 Souřadnice pro transformaci modelu.....	37
Tabulka 5 Výsledek transformačního klíče	37

Citovaná literatura

- [1] D. Menclová, České hrady I., Praha: Odeon, 1976.
- [2] T. - K. J. Durdík, „Dva pohledy na počátky hradu Riesenburku,“ *Archeologické rozhledy*, 1992.
- [3] I. Lehký, Malý "Obří hrad" Rýzmburk. In: Hrady českého severozápadu: sborník k životnímu jubileu Tomáše Durdíka., Most: Ústav archeologické památkové péče severozápadních Čech, 2012.
- [4] M. Křivánek, „Nedestruktivní výzkum Akropole Libického Hradiště,“ Praha, 2012.
- [5] V. Hašek a J. Kovarník, „Letecká a geofyzikální prospekce při výzkumu pravěkých kruhových příkopů na Moravě,“ Brno, 1996.
- [6] P. Milo, J. Zeman a M. Kuča, „Geofyzikální průzkum lengyelského rondelu v Milovicích, okr. Břeclav,“ *Studia archaeologica Brunensia*, č. roč. 20, č. 1, pp. 55-67, 2015.
- [7] K. Pavelka, Fotogrammetrie 1, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2009.
- [8] J. Hodač, Pozemní fotogrammetrie, Ústí nad Labem, 2011.
- [9] M. P. J. Štroner, Terestické skenovací systémy, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008.
- [10] M. a. k. Štroner, 3D skenovací systémy, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2013.
- [11] UNITRACC, „unitracc.com,“ Knowledge Factory GmbH, 2016. [Online]. Available: <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/inspection/structural-investigations-en/external-inspection-en/geophysical-subsoil-exploration-en/geo-radar-en>. [Přístup získán 2 květen 2016].
- [12] GSSI, „Geophysical Survey Systems, Inc.,“ GSSI, 2015. [Online]. Available: <http://www.geophysical.com/software.htm>. [Přístup získán 4 květen 2016].
- [13] Ouimet, Gregg, Kretz, Chandle a Hayes, „Documentation and dissemination of the sculptural elements of Canada's Parliamentary Buildings: Methodology development and evolution, a case study,“ v *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W7, 347-352, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-347-2015, 2015..
- [14] I. Titomanlio, „CONSERVATION OF STONE CLADDING ON THE FAÇADE OF ROYAL PALACE IN CASERTA,“ v *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W2, 635-640, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-635-2013, 2013..
- [15] M. Faltýnová, K. Pavelka, P. Nový a J. Šedina, „Complex Archaeological Prospection Using Combination of Non-destructive Techniques,“ v *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W7, 141-146, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-141-2015.