

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**

**OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA**  
**PROGRAM GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA**



**KAPLE BOŽÍHO HROBU VE SLANÉM –**  
**FOTOGRAMMETRICKÁ DOKUMENTACE**

**HOLY SEPULCHRE CHAPEL IN SLANÝ –**  
**PHOTOGRAMMETRIC DOCUMENTATION**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.  
Katedra geomatiky

květen 2019

Michal Zíma



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


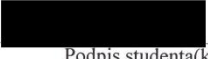
Příjmení: Zima	Jméno: Michal	Osobní číslo: 468494
Zadávající katedra: Katedra geomatiky - K155		
Studijní program: Geodézie a kartografie - B3645		
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika - 3646R011		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:	Kaple Božího hrobu ve Slaném - fotogrammetrická dokumentace		
Název bakalářské práce anglicky:	Holy Sepulchre chapel in Slaný - photogrammetric documentation		
Pokyny pro vypracování: - ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekognoskaci objektu a definujte typ a parametry výstupů projektu, - navrhnete vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů, - proveďte měřické práce v terénu v nezbytném rozsahu s důrazem na možnosti kontroly přesnosti, - zpracujte pořízená data do podoby výstupů, - shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem.			
Seznam doporučené literatury: JÁKL, Martin. Dům U Sixtů Kamzíkova 7 (Praha 1) - fotogrammetrická dokumentace vybrané části. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019. VESELÝ, Jan. Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči. V Praze: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s Národním památkovým ústavem, generálním ředitelstvím, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav).			
Jméno vedoucího bakalářské práce:	Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.		
Datum zadání bakalářské práce:	19. února 2019	Termín odevzdání bakalářské práce:	26. května 2019
		<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
			
Podpis vedoucího práce		Podpis vedoucího katedry	

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.*

	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vyhotovením fotogrammetrické dokumentace historického objektu kaple Božího hrobu ve Slaném. Je v ní popsán pracovní postup jak terénních, tak i kancelářských prací. Dále popisuje a porovnává použité výpočetní programy a výsledné výstupy. Výsledná dokumentace se zpracovává pro budoucí využití Vlastivědného muzea ve Slaném. Sběr dat a následné zpracování probíhalo pod záštitou geodetické firmy H.C.M. s.r.o. Výstupem této práce je mračno bodů, texturovaný 3D model objektu a z něj vytvořená ortofota.

# Klíčová slova

Fotogrammetrie, měřická dokumentace, kaple Božího hrobu ve Slaném, 3D model, dron, totální stanice, Reality Capture

# Abstract

This bachelor thesis focuses on the completion of a photogrammetric documentation of the historical object named Holy Sepulchre chapel in Slaný. In the thesis, both working procedure and office work are described. It also describes and compares the computational programme and final outputs. The final documentation is processed for the future use in Vlastivědné museum in Slaný. A data collection and subsequent processing was done under the patronage of the geodetic company called H.C.M. s.r.o. As a result of the thesis, it is considered a cloud of points, textured 3D model of the object and ortophotos.

# Keywords

Photogrammetry, surveying documentation, Holy Sepulchre chapel in Slaný, 3D model, dron, total station, Reality Capture

# Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Kaple Božího hrobu ve Slaném – fotogrammetrická dokumentace“ jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne .....

.....

(podpis autora)

# Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Jindřichovi Hodačovi, Ph.D. za odborné rady při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. arch. Janu Studenému za pomoc s tiskem výkresů a Petru Müllerovi a kolektivu firmy H.C.M. s.r.o. za věcné rady a poskytnutí praxe během studia, za zapůjčení přístrojů a výpočetních programů. Na závěr chci poděkovat mé rodině a přátelům za podporu při studiu.

# Obsah

Úvod.....	9
1. Lokalita.....	10
1.1 Slaný.....	10
1.2 Kaple Božího hrobu ve Slaném.....	11
1.2.1 Historie objektu.....	12
1.2.2 Rekonstrukce objektu .....	13
2. Fotogrammetrie .....	14
2.1 IMBR.....	15
2.2 Měřická dokumentace .....	15
3. Použité přístroje a pomůcky .....	17
3.1 Apple iPhone 7.....	17
3.2 Totální stanice Trimble S5Robotic .....	18
3.3 GPS Aparatura Trimble R4.....	19
3.4 Kvadroptéra DJI Phantom 4.....	20
4. Použitý software .....	21
4.1 GROMA 12.....	21
4.2 Pix4Dmapper.....	22
4.3 Reality Capture.....	22
4.4 Bentley MicroStation V8i .....	23
5. Terénní práce .....	24
5.1 Příprava měření .....	24
5.2 Měření GPS.....	25
5.3 Měření totální stanicí.....	25
5.4 Pořizování snímků dronem .....	26
6. Kancelářské práce.....	28
6.1 Zpracování naměřených dat .....	28
6.2 Fotogrammetrická tvorba 3D modelu .....	31
6.2.1 Výpočet spojovacích bodů (Tie points) .....	32
6.2.2 Identifikace vlíčovacích bodů .....	34
6.2.3 Vytvoření mračna bodů a síťového modelu (mash) .....	35
6.2.4 Úpravy modelu .....	35
6.3 Tvorba výstupů.....	36
6.3.1 Model.....	36

6.3.2	Ortofoto.....	37
6.3.3	Výkres.....	37
7.	Zhodnocení přesnosti.....	39
	Závěr .....	40
	Použité zkratky .....	41
	Seznam použité literatury a zdrojů .....	42
	Seznam obrázků.....	43
	Seznam tabulek.....	44
	Seznam tištěných příloh.....	45
	Obsah DVD.....	46





## Úvod

Motivací zpracovat bakalářskou práci na toto téma pro mě bylo odpovědět si na několik otázek, které jsem si kladl v rámci studia fotogrammetrie, pochopit a naučit se základní metody a práce při zpracování dat do požadovaných formátů a pomoci svojí činností k ochraně a zachování historických objektů. Výsledky práce budou poskytnuty Vlastivědnému muzeu ve Slaném a poslouží dalším lidem v jejich pracích. Dále se data využijí v projektu města Slaného, které chce vypracovat a následně vytisknout pomocí 3D tiskárny historické centru města s památkami v okolí.

Cílem této práce je vyhotovení měřické dokumentace kaple Božího hrobu ve Slaném. Práce nejprve popisuje danou lokalitu, zaměřovaný objekt a jeho historii. V další části se věnuje fotogrametrii jako takové, popisuje použitou metodu a strukturu měřické dokumentace. Dále popisuje použité přístroje, pomůcky a software. Následuje část popisující terénní práce včetně rekognoskace terénu, měření totální stanicí, měření GPS a pořizování snímků pomocí dronu. Nedílnou součástí práce je i popis kancelářských prací, včetně přehledu výstupů a porovnání jednotlivých programů. Na závěr informuje o dosažené přesnosti měření a výpočtů.

Tato práce může sloužit jako pomůcka pro uživatele fotogrammetrických výpočetních programů, pro vyhotovitele dokumentací objektů nebo pro další osoby zabývající se geodézií nebo oborem jí podobným.



## 1. Lokalita

### 1.1 Slaný

Město Slaný leží ve Středočeském kraji v okrese Kladno asi 29 km severozápadně od Prahy. Město se skládá celkem z 10 částí: Slaný, Blahotice, Dolín, Kvíc, Kvíček, Lotouš, Netovice, Otruby, Trpoměchy a Želevčice. V roce 2018 ve městě žilo 15 613 obyvatel. Ve městě či okolí města se zachovalo několik historických objektů. Historické centrum zahrnuje objekty jako je pozdně barokní, později upravená novorenezanční radnice, bývalá piaristická kolej, renezanční Modletický dům, kostel sv. Gottharda, synagoga a pozůstatky středověkého opevnění včetně jediné dochované Velvarské brány. V okolí centra můžeme nalézt bývalý Okresní dům, původně františkánský klášter, dnes klášter řádu bosých karmelitánů při kostele Nejsvětější Trojice či novorenezanční Wiehlův dům. V blízkém okolí města se nachází kostel sv. Václava a zaměřovaný objekt kaple Božího hrobu. [1]



Obrázek 1 - Zobrazení území města Slaný



## 1.2 Kaple Božího hrobu ve Slaném

Název: Kaple Božího hrobu ve Slaném

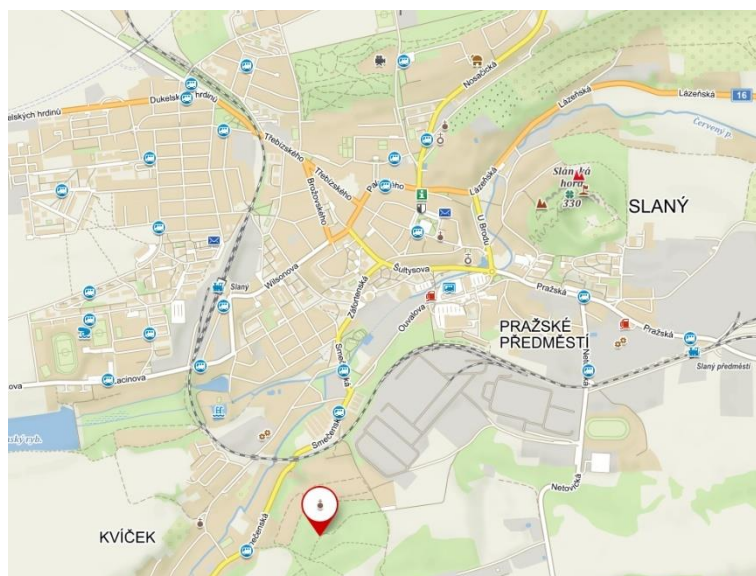
Obec: Slaný [532819]

Katastrální území: Slaný [749362]

Parcelní číslo: st. 595

Vlastnické právo: Město Slaný

Číslo LV: 10001



Obrázek 2 - Zobrazení polohy objektu v rámci města Slaný

Kaple Božího hrobu se nachází na okraji města Slaný nedaleko města Kladna. Jedná se o kopii Božího hrobu v Jeruzalémě. Tento objekt se nachází v katastrálním území Slaný. Na přední stěně objektu se nachází stabilizovaný nivelační bod SC-124-90. Okolí objektu tvoří dlažba kopírující tvar půdorysu.





### *1.2.1 Historie objektu*

Kapli nechal postavit hrabě Bernard Ignác z Martinic roku 1665. Kaple je často považována za nejznámější a nejstarší svého druhu. Toto tvrzení lze opřít o roli inspiračního zdroje pro další pozdější stavitele i o pečlivý výtvarný projev. Na kapli se začalo pracovat již roku 1664, kdy hrabě obdržel od pražského arcibiskupství povolení ke stavbě. 10. srpna roku 1665 byla kaple, při návštěvě pražského arcibiskupa Arnošta Vojtěcha hraběte z Harrachu, vysvěcena. [2]



*Obrázek 3 - Kaple Božího hrobu ve Slaném*



### 1.2.2 Rekonstrukce objektu

V roce 2006 rozhodlo vedení města Slaný o obnově Kaple Božího hrobu. Tato obnova byla rozdělena do několika částí.

- *2006*  
Byla odstraněna náletová vegetace z objektu a okolí, byly odhaleny základy objektu. Byl vyhotoven podrobný restaurátorský záměr včetně odebrání vzorků a vyhodnocení průzkumu. Byl přeosazen vychýlený kamenný oblouk severní strany obvodového pláště, přilehlé části střešních desek a prahu lucerny. Restauované části byly ošetřeny proti biologickému znečištění.
- *2007*  
Byl přeosazen vychýlený obklad severní strany předsíně, jižní strany kaple a zbývajících střešních desek. Bylo provedeno vyztužení a zpevnění kaple. Proběhlo očištění kamenných desek střechy, vysekání spár, cementových spár a odstranění asfaltového nátěru.
- *2008*  
Proběhly restaurátorské práce na plášti a střeše pod dohledem akad. Soch. Jarmila Plachého. Byly vyměněny vyzděné vysprávky na pravé straně vstupního portálu za kamennou vložku včetně profilace osazené na nerezové trny. Byly vyrobeny uměleckořemeslné truhlářské a kovářské části – mříže, vstupní dveře a okno.
- *2010 – 2011*  
Byl snížen a upraven terén v okolí objektu. Byla položena žulová dlažba a vyhotoven odvodňovací rigol. Interiér objektu byl restaurován akademickým malířem Miroslavem Slavíkem. [2]



## 2. Fotogrammetrie

Pro vyhotovení dokumentace byla vybrána metoda fotogrammetrie. Tato metoda zkrátí dobu strávenou pracemi v terénu. Další výhodou je bezkontaktní měření (hůře dostupné či nebezpečné objekty) a menší finanční náročnost. Fotogrammetrie je část oboru geodézie a kartografie. Zabývá se zpracováním snímků do podoby 2D/3D výstupů. Spolu s DPZ a laserovým skenováním poskytuje informace a data oboru GIS. [3]

### Definice GIS:

- Geografický informační systém (GIS) (anglicky: Geographic information system) je na počítačích založený informační systém pro získávání, ukládání, analýzu a vizualizaci dat, která mají prostorový vztah k povrchu Země. (zdroj: wikipedia)
- Informační systém zabývající se informací, jež se týká jevů přidružených k místu vztaženému k Zemi (zdroj: ISO 19101)

### Metody fotogrammetrie:

- Jednosnímková fotogrammetrie
- Průseková metoda
- Stereofotogrammetrie
- Metoda obrazové korelace

### Dělení fotogrammetrie podle polohy základny:

- Pozemní
- Letecká
- Družicová

### Digitální obraz

Definice: Digitální obraz je obrazová informace převedená do číslicové formy.

Digitální obraz vzniká vstupem fotonů do optického systému a následně do detektoru. To způsobuje vznik elektrického náboje. Binární informace vzniká převedením elektrického náboje, převedeným ve formě elektrického napětí předzesilovačem. [4]



## 2.1 IMBR

IMBR (Image Based Modeling and Rendering) je metoda, která extrahuje prostorové informace ze snímků stejného objektu pořízených z různých stanovisek. Pracuje na principu obrazové korelace. Metoda využívá předpoklad, že každé jedno blízké okolí pixelu je jedinečné. Software tedy postupně vyhodnotí identické body na všech dalších snímcích na základě nejbližšího okolí. Zpracování většinou probíhá automaticky, bez zásahu uživatele. Výhodou této metody jsou nižší nároky na techniku, automatický výpočet kalibrace fotoaparátu a možnost vyhotovení barevného mračna bodů. Nevýhodou je, že model nemá měřítko. Měřítko je nutné při zpracování definovat alespoň jednou naměřenou vzdáleností. [5]

Software Reality Capture (RC), použitý v této práci, využívá tuto metodu ke zpracování dat. Pro definici měřítka vypracovaného modelu byla použita identifikace zaměřených vřícovacích bodů.

## 2.2 Měřická dokumentace

„Měřickou dokumentaci v památkové péči můžeme rámcově rozdělit na dvě skupiny – celkovou (komplexní) a dílčí. Pro první skupinu lze stanovit poměrně jednoznačný obvyklý obsah a rozsah (povinné části, základní části a doplňkové části), u dílčí dokumentace lze stanovit pouze rozsah minimální (povinné součásti). Skutečná podoba i rozsah pak vyplývají ze samostatného účelu pořizované dokumentace. Komplexní dokumentace by měla zajistit přehledné a dostatečně podrobné zobrazení celého dokumentovaného objektu. Každá odevzdaná dokumentace musí být opatřena přehledně uspořádanými identifikačními údaji dokumentované stavby, zadavatelem a zpracovatelem.“ [6]

Výstupy pořízené fotogrammetrií či skenováním mohou být různorodé. Důležitou roli hraje výpočetní vybavení objednavatele a jeho další záměry. Výstupy mohou být náročné na paměť počítačů a zobrazovací schopnosti jednotlivých programů. Výstupem může být prosté mračno bodů, mesh, 3D otexturovaný model, ortofoto či řezy. Za minimum se považuje odevzdání originálních dat, základního výstupu a odvozeného



(konečného) vstupu. Data se mohou předat ve formátech jako je X3D, VRML, OBJ, PLY, STD, 3DS, 3D PDF a další. [6]

Tato práce se zabývá vyhotovením dílčí dokumentace. Dokumentace nezahrnuje vnitřní prostory a řezy.





### 3. Použité přístroje a pomůcky

Ke snímání fotografií, které je popsáno v kapitole 5.4, byl použit dron s kamerou. Dron byl vybrán kvůli jednoduché přístupnosti vyšších částí objektu a menšímu časovému zatížení celého měření. Při snímání se zhoršili povětrnostní podmínky a znemožnili nasnímání vnitřních prostor věže. Tato místa a další bližší detaily byly proto improvizovaně nafoceny mobilním telefonem. Dnešní fotoaparáty mobilních telefonů dokáží vyhotovit kvalitní snímky a lze s nimi nahradit fotoaparáty v případě nouze. Pro dosažení vyšší přesnosti byly místní souřadnice vlíčovacích bodů vypočteny z dat naměřenými totální stanicí. Pro kontrolu a připojení do systému S-JTSK byly dostupné – čtyři vlíčovací body a tři stanoviště měřické sítě – zaměřeni metodou GNSS. Měření totální stanicí a metodou GNSS je popsáno v kapitole 5.3, resp. 5.2.

Pracovní pomůcky: dron DJI Phantom 4, totální stanice Trimble S5 Robotic, hranol s výtyčkou, stativ, malý (papírový) a velký (dřevěný) signalizační terč (12 ks), roxory, GPS aparatura Trimble R4, mobilní telefon Apple iPhone 7.

#### 3.1 Apple iPhone 7

Mobilní telefon Apple iPhone 7 je moderní výkonné zařízení disponující fotoaparátem s optickou stabilizací a šestičlenným objektivem se světelností  $f/1.8$ . Velikost snímače je 4,8 mm x 3,6 mm a rozlišení zadního fotoaparátu je 12 Mpx. Zařízení dokáže ukládat snímky s údaji o poloze. Telefon se ovládá pomocí dotykového 4,7“ RETINA HD displeje.



### 3.2 Totální stanice Trimble S5Robotic

Totální stanice Trimble S5 Robotic je moderní totální stanice od firmy Trimble. Tato totální stanice obsahuje automatický centrovaný dvojosý kompenzátor, dálkoměr DR Plus a software Trimble Access. Délky lze měřit několika způsoby (viz tabulka). Výhodou tohoto přístroje je funkce autolock, kdy software automaticky detekuje hranol a přizpůsobuje se pohybu hranolu. Tato stanice se vyrábí i ve variantě Robotic. Tato verze dělá z přístroje tzv. one-man station. K měření stačí jen jedna osoba, která přístroj ovládá na dálku přes ovladač umístěný na výtyčce.



Obrázek 4 - Totální stanice Trimble S5 Robotic

Technické parametry přístroje:

režim	Standard		Treking	
měření	Měření na hranol	Bezhranolové měření	Měření na hranol	Bezhranolové měření
čas	1.2 s	1 - 5 s	0.4 s	0.4 s
přesnost	1 mm + 2 ppm	2 mm + 2 ppm	4 mm + 2 ppm	4 mm + 2 ppm

Tabulka 1 - Parametry dálkoměru DR Plus

Typ senzoru	Absolutní snímač s diametrálním čtením
Přesnost senzoru	3“
Směrodatná odchylka	1.0 mgon
Čtení úhlu (nejmenší dílek)	0.01 mgon
Automatický kompenzátor	Centrovaný dvojosý
Přesnost kompenzátoru	0.5“
Směrodatná odchylka	0.15 mgon
Rozsah	$\pm 5.4'$

Tabulka 2 - Úhlová přesnost totální stanice Trimble S5

### 3.3 GPS Aparatura Trimble R4

GPS aparatura Trimble R4 se skládá z roveru s přijímačem, výtyčky, kontroleru a modemu. Díky této sestavě je uživatel schopný měřit a vytyčovat body v několika režimech a metodách. Jednotlivé části aparatury spolu komunikují pomocí technologie Bluetooth. Společnost Trimble poskytuje svou vlastní síť referenčních stanic VRS



Obrázek 5 - GPS aparatura Trimble R4

NOW CZ. RTK systém Trimble R4 je založen na osvědčené GPS technologii Trimble a podporuje měření na frekvencích L1 a L2 s možností rozšíření na GLONASS. [7]

Přesnost	diferenční kódové měření	statická a rychlá statická metoda GNSS	kinematická metoda
poloha	0,25 m + 1 ppm RMS	3 mm + 0,1 ppm RMS	10 mm + 1 ppm RMS
výška	0,5 m + 1 ppm RMS	3,5 mm + 1 ppm RMS	20 mm + 1 ppm RMS

Tabulka 3 - Přesnost měření Trimble R4

### 3.4 Kvadrokoptéra DJI Phantom 4

Kvadrokoptéra DJI Phantom 4 je moderní bezpilotní letoun vybaven 4K kamerou s třísosou stabilizací pomocí gimbalu. K ovládání dronu slouží ovladač připojený k tabletu či mobilu. Dron disponuje několika senzory, které zabraňují srážce s překážkami. Veškerá data se zaznamenávají na MicroSD kartu vloženou do dronu. Dron má zdvojený kompas i řídicí jednotku, aby bylo zabráněno případnému pádu způsobeného nefunkčností systému. DJI Phantom 4 dokáže létat až po dobu 28 minut na jednu plně nabitou baterii. Dron lze ovládat až na dosah 5 km.



Obrázek 6 - Kvadrokoptéra DJI Phantom 4

kamera:	20 MPx, f/2.8 – f/11
snímač:	CMOS – 6.17 mm x 4.55 mm
režimy fotografie:	1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p) 3840×2160(3840×2160 24/25/30/48/50/60p) 2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60p) 1920×1080(1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p) 1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)
podporované foto formáty:	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
maximální rozlišení videa	4K, 4 096 x 2 160 pixelů
podporované video formáty:	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
váha:	1 388 g

Tabulka 4 - Technické specifikace DJI Phantom 4

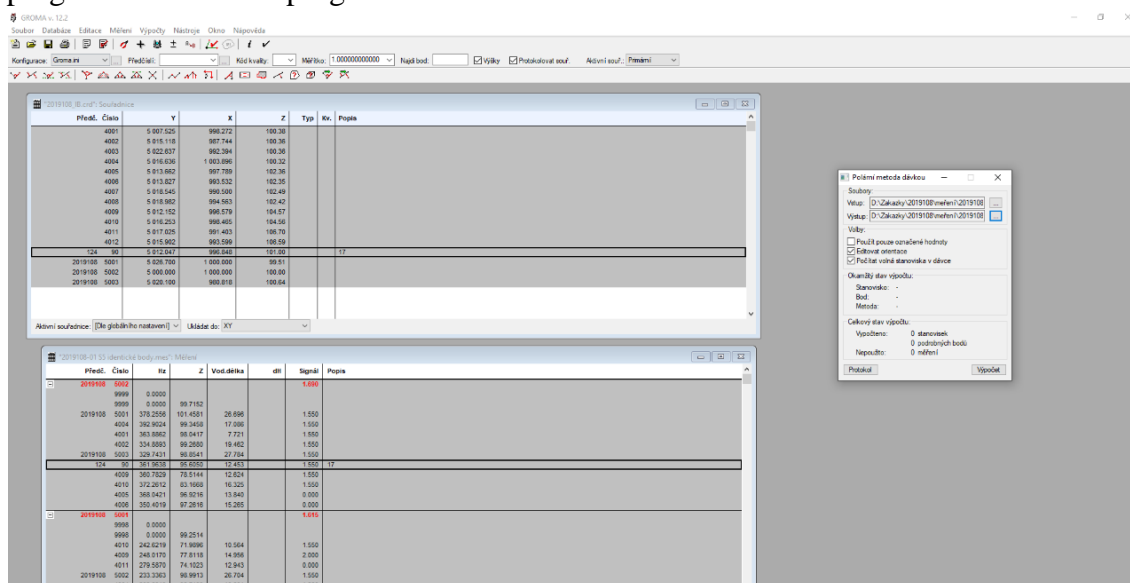


## 4. Použitý software

Pro zpracování měření totální stanicí byl použit software GROMA 12. Tvorba 3D modelu objektu, která je popsána v kapitole 6.2, nejdříve probíhala v programu Pix4Dmapper. Díky neuspokojivé kvalitě výstupu byl následně využit software Reality capture. Výkresy pak byly vyhotoveny v programu MicroStation. O zpracování výkresů pojednává kapitola 6.3.

### 4.1 GROMA 12

„Program GROMA je určen ke geodetickým výpočtům. Lze v něm řešit všechny základní geodetické úlohy. Navíc obsahuje jednoduchou grafiku a možnost digitalizace rastrových dat. Umí zpracovávat data ve formátech všech běžných záznamníků, dávkově i jednotlivými výpočty. Při všech výpočtech vznikají automaticky textové protokoly o výpočtu. Tyto protokoly lze přímo v programu GROMA editovat, tisknout nebo dále zpracovávat libovolným textovým editorem. Dílčí protokoly z jednotlivých výpočtů se neukládají automaticky, není tedy třeba ve výsledném protokolu pracně hledat a odstraňovat pozůstatky nezdařených výpočtů.“ [8] Program zvládne otevřít seznam souřadnic i měřické zápisníky různých formátů jako je .txt, .csv, .dat a .stx, respektive .sdr, .mes, .map, .gre, .gsi a další. Existují moduly, které umožňují přímou komunikaci programu GROMA s programem MicroStation.



Obrázek 7 - Prostředí programu GROMA

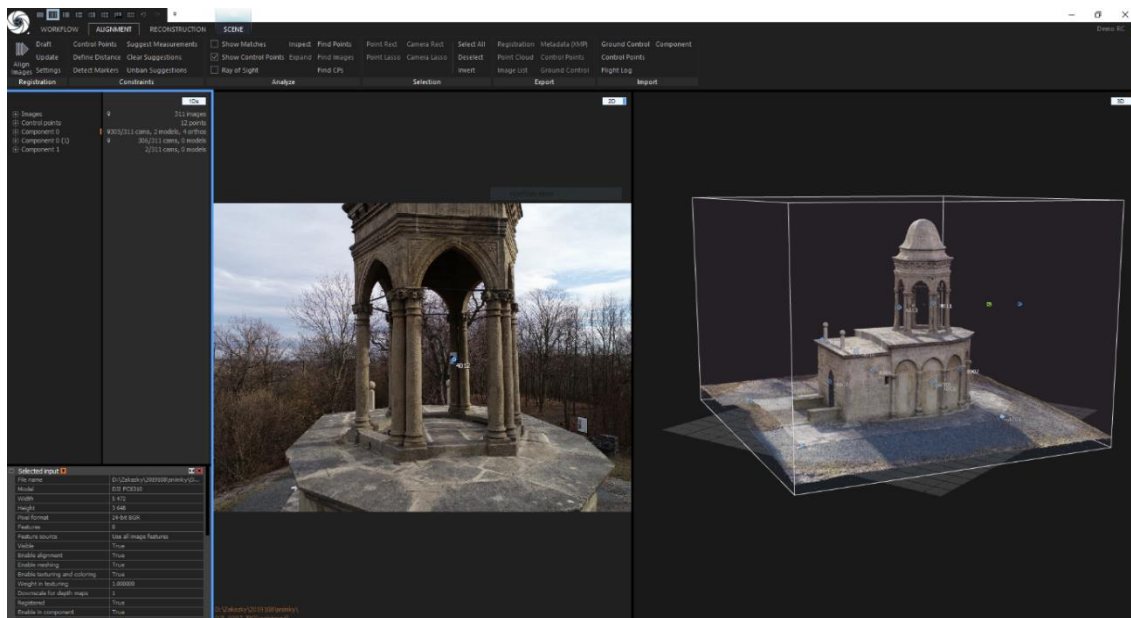


## 4.2 Pix4Dmapper

Pix4Dmapper je výpočetní program od švýcarské firmy Pix4D, vhodný k vyhotovení fotogrammetrických výstupů. Program dokáže z nahraných fotografií vytvořit vysoce přesné georeferencované 2D mapy a 3D modely. Možné výstupy z tohoto programu jsou mračno bodů, ortofoto snímky, DMT a DMP, 3D texturovaný model, 2D mapy.

## 4.3 Reality Capture

Software Reality Capture je moderní výpočetní program vhodný ke zpracování 3D modelu. Jako vstupní data zde mohou vstupovat fotografie, naskenované snímky či kombinace těchto dvou vstupů. Výstupem jsou mračno bodů, síťový model (mesh), ortofoto a také animace a vizualizace modelu. Program zvládne větší množství vstupních dat rozdělit na menší segmenty, a tím šetřit čas i náročnost výpočtů. Program dokáže pracovat jak se souřadnicovými systémy označenými kódem EPSG, tak i v lokálním souřadnicovém systému.

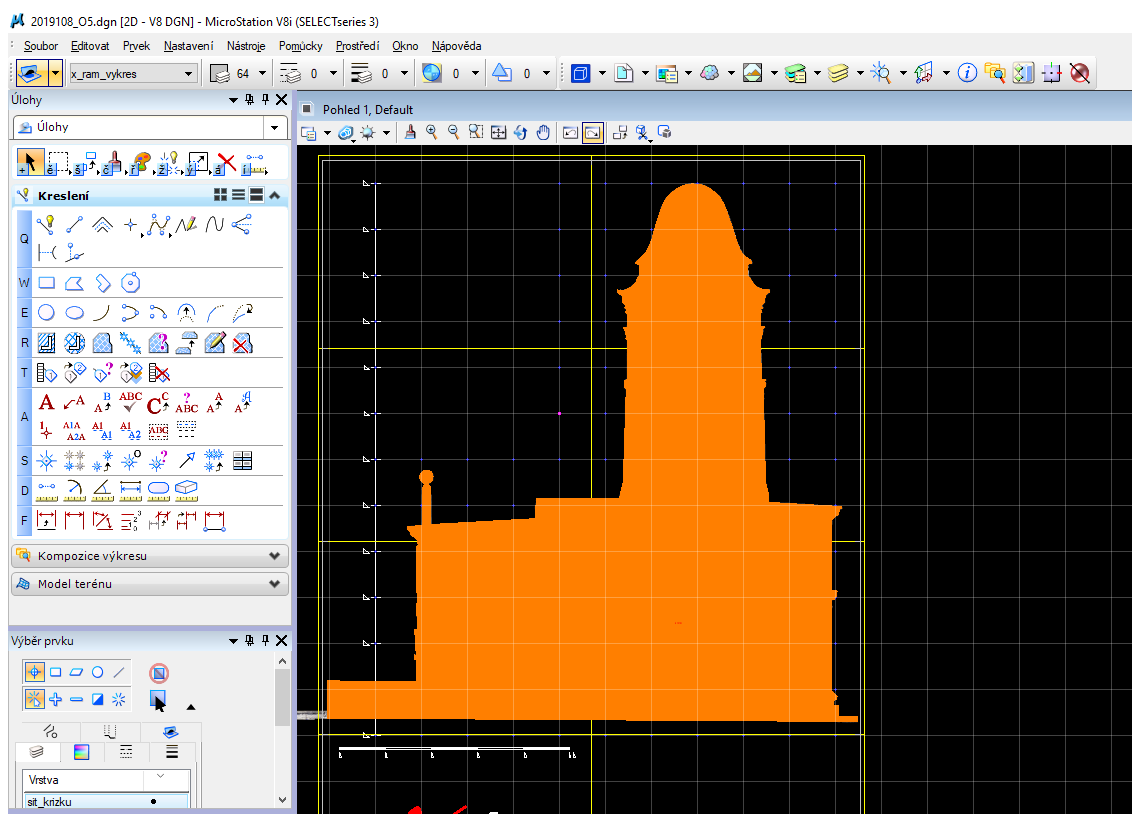


Obrázek 8 - Prostředí programu Reality Capture



## 4.4 Bentley MicroStation V8i

„MicroStation je softwarová platforma nejen pro geodety ale i další profese, které využívají ke své činnosti projekční a kreslicí programy. S integrovaným balíkem snadno použitelných a univerzálních nástrojů pomáhá MicroStation zlepšovat práci ve fázi návrhu, modelování, vizualizace, dokumentace nebo na mapových projektech různého zaměření a velikostí. MicroStation umí plně integrované 2D a 3D pracovní procesy, umožňuje využívání znalostí a opakování současně je kooperativní CAD platforma pro projektování.“ [9]



Obrázek 9 - Prostředí programu MicroStation V8i



## 5. Terénní práce

### 5.1 Příprava měření

Před samotným měřením byla provedena rekognoskace terénu. Při rekognoskaci byl zaměřovaný objekt prozkoumán. Byl kladen důraz na velikosti jednotlivých částí objektu, na dutiny a otvory, které svojí velikostí a polohou mohou ovlivnit následné zpracování dat. Kvůli provádění leteckých prací bylo potřeba ověřit stav okolí objektu, vymezit případné překážky. V závislosti na velikosti objektu byla zvolena měřická síť pevně stabilizovaných bodů. V případě této práce byly stabilizovány 3 body (5001, 5002, 5003) pomocí roxorů, které následně vytvořili uzavřený polygonový pořad. Na portále ČUZK byly nalezeny parcely, zasahující do plánovaných leteckých prací. Zjištění vlastníků těchto pozemků je důležité k poskytnutí povolení leteckých prací. Před prováděním leteckých prací musí každý vlastník pozemku, na kterém se práce konají, podepsat *Souhlas osoby jejíž majetek se nachází v prostoru provádění leteckých prací a Pravidla bezpečnosti a ochrany zdraví a majetku při provádění leteckých prací*. Přílohou této dokumentace je kopie pojištění bezpilotní letounu a osvědčení firmy k leteckým pracím. Jediným dotčeným vlastníkem pozemků bylo Město Slaný, které práce povolilo. Také bylo potřeba zjistit, zda zaměřovaný objekt neleží v bezletové zóně pro drony. Osoba provádějící letecké práce musí splňovat podmínky, které mu udává zákon.



Obrázek 10 - Ukázka dočasné stabilizace vlicovacích bodů





Na objektu bylo potřeba dočasně stabilizovat několik vlícovacích bodů. Počet a poloha těchto bodů je závislá na velikosti a členitosti objektu. V této práci bylo stabilizováno 13 fotogrammetrických terčů. Jeden terč, díky povětrnostním podmínkám, ke konci měření změnil svoji polohu a z měření byl vyřazen. Vlícovací body se skládaly celkem ze 4 dřevěných fotogrammetrických terčů 300 mm x 300 mm a 9 papírových terčů, které byly nalepeny na objekt.

Terénní práce byly vyhotoveny 4. 3. 2019. Před a během měření byl vyhotoven měřický náčrt, který je součástí této práce (viz příloha Náčrt měření). Použité přístroje jsou popsány v kapitole 3.

## 5.2 Měření GPS

Před měřením byla sestavena aparatura. Rover byl našroubován na výtyčku a přes rozhraní Bluetooth byl připojen ke kontroleru. V kontroleru byl zapnut program Trimble Access. V záložce *Joby – Nový job* byla založena nová zakázka. Tato práce je ve firemní databázi zakázek definován názvem 2019108. Následně přes tlačítko *Měření* a *Spustit měření* byla vybrána metoda *VRS NOW 2 pausal*. Po připojení k síti referenčních stanic byla výtyčka umístěna na stabilizovaný bod. Měření probíhalo za stálého urovnávání krabicové libely umístěné na výtyčce. Doba observace byla 5s.

Metodou GNSS byly zaměřeny pevně stabilizované body 5001, 5002 a 5003 a 4 velké fotogrammetrické terče (4001, 4002, 4003, 4004), viz příloha 2019108-02-R4.job

## 5.3 Měření totální stanicí

Totální stanice byla umístěna na stativ nad daným bodem. Následně byla pomocí stavěcích šroubů provedena hrubá centrace přístroje. Prodlužováním a zkracováním nohou stativu byla provedena hrubá horizontace přístroje. V dalším kroku byla pomocí stavěcích šroubů urovnána krabicová libela a tím provedena jemná horizontace přístroje. V posledním kroku se posouváním totální stanice po hlavě stativu jemně docentroval



přístroj nad daný bod. Takto zhorizontovaná a zcentrovaná totální stanice byla připravena k měření.

Po zapnutí totální stanice byl spuštěn software Trimble Access. V záložce *Joby – Nový job* byla založena nová zakázka s názvem 2019108. Nastavila se hodnota měřítka na 1. V záložce *Měření – Určení stanoviska* bylo založeno stanovisko. Bylo vloženo číslo bodu, změřena výška přístroje. Číslo orientace bylo zvoleno 9999 (počáteční bod), s každým dalším stanoviskem o číslo méně, azimut zvolen 0 a byl změřen směr na jasně daný prvek (pata hromosvodu, roh budovy atd.). Po založení stanoviska byl přístroj přepnut na režim STANDARD a byly zaměřeny orientace. Po zaměření orientací byl zvolen režim TREKING a zaměřeny viditelné vlíčovací body. Měření probíhalo jen v jedné poloze. Tento postup se opakoval na všech třech stanoviskách 5001, 5002 a 5003. Jako orientace sloužily vždy dva zbylé body měřické sítě. Bylo zaměřeno dvanáct vlíčovacích bodů (4001-4012) a jeden nivelační bod (SC-124-90). Na konci měření byl ověřen vodorovný úhel na počáteční bod. Touto kontrolou byla ověřena stabilní poloha přístroje během měření. Zápisník měření – příloha 2019108-01-S5.sdr

#### *5.4 Pořizování snímků dronem*

V případě této práce snímkování probíhalo dronem. Dron dokáže pořídit snímek z jakékoliv polohy a nafotit i nedostupná místa. Před focením neproběhlo automatické naplánování snímání. Veškeré snímky byly pořízeny při manuální ovládání pilotem. Focení se účastnily dvě osoby. Jedna řídila dron a pořizovala snímky, druhá dozorovala okolí a v případě vstupu osob na území snímání osoby varovala a zamezila jejich vstupu pod dron. Dron obsluhoval Petr Müller z firmy H.C.M. s.r.o., který je oprávněnou osobou dle leteckého zákona provádět letecké práce. Při snímání byly provedeny dvě přistání k výměně baterií. Snímání trvalo 45 min.

Polohy dronu a záběry se volily takto:

- Kolmý pohled k zemi
- Kolmý pohled na stěny
- Zachycení celého objektu z větší vzdálenosti
- Zachycení spodní části objektu z blízka



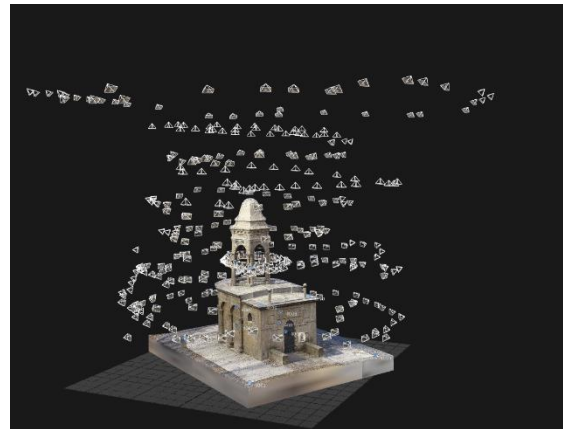
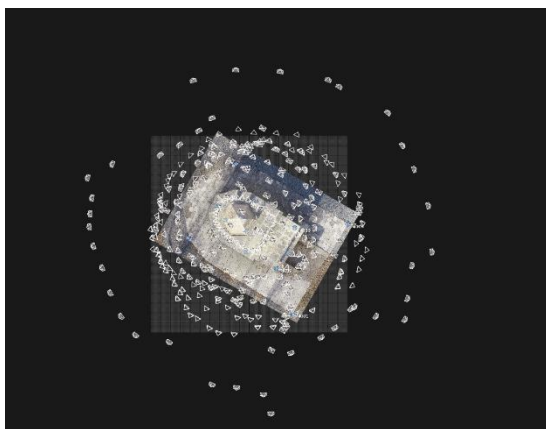
- Zachycení věže objektu z blízka
- Případně dofocení detailů objektu

Kamera dronu byla nastaven na automatický režim snímání s hodnotou ISO 100.

Celkem bylo nasnímáno 311 fotografií pomocí dronu. Ke konci snímkování se zhoršily povětrnostní podmínky a nebylo možné s dronem nasnímkovat vnitřní část věže. Tato oblast byla improvizovaně dofocena mobilním telefonem.

Všeobecně při pořizování snímků pro potřeby fotogrammetrie bychom se měli řídit těmito zásadami:

- Dbát na vysokou kvalitu snímku
- ISO nastavit v interiéru max. 1000, v exteriéru max. 800
- Výhodnější fotit na prioritu clony, tu nastavit na střední hodnoty (9 – 11)
- Automatické ostření, při focení kontrolovat
- Nastavit takovou dobu expozice, u které zajistím stabilitu (při vyšších hodnotách si pomoci stativem)
- Nastavit co nejvyšší kvalitu snímku dle kamery, kterou používám
- Zamyslet se nad formátem, do kterého se fotí (RAW, JPG)
- Zachovávat překryvy jednotlivých sousedících fotografií
- Nefotografovat osoby, které mohou svojí polohou překrýt důležité informace na snímku

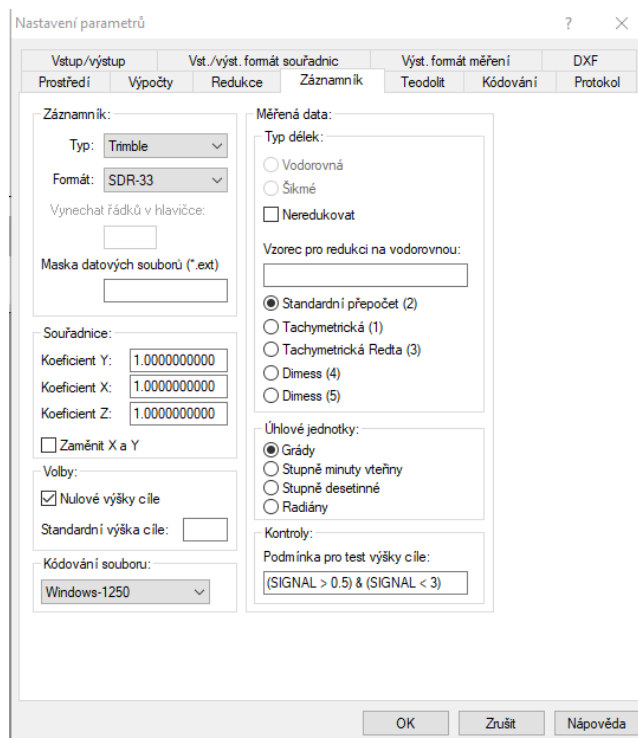


Obrázek 11 - Pozice kamery dronu

## 6. Kancelářské práce

### 6.1 Zpracování naměřených dat

Výpočet souřadnic vřícovacích bodů v místním systému byl proveden v programu Groma. Tento program popisuje kapitola 4.1. Zápisník měření byl vyexportován do formátu .sdr a nahrán do výpočetního programu. Zde bylo potřeba nastavit program na čtení tohoto formátu. V menu *Soubor* v záložce *Nastavení* bylo nastaveno pole *Zápisník Typ* na *Trimble* a *Formát* na *SDR-33*. *vzorec pro redukci na vodorovnou* byl nastaven na *Standardní přepočít (2)*.



Obrázek 12 - Nastavení programu GROMA

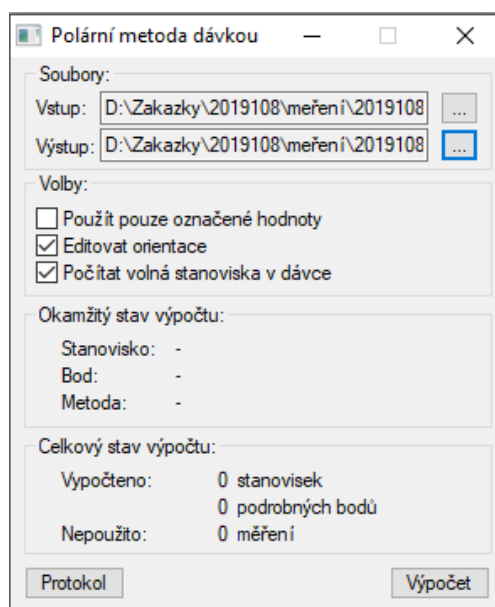
Byl založen nový seznam souřadnic. Do něho byly vloženy dva body polygonu o souřadnicích v místním systému. Jako počátek byl zvolen bod 5002 (viz Příloha Náčrt měření). Osa X byla vložena do směru z tohoto bodu na bod 5001. Osa Y je kolmá na osu X. X-ová souřadnice bodu 5001 se tedy rovnala součtu Y-ové souřadnice bodu 5002 a vodorovné délky mezi body 5001 a 5002. Souřadnice X zůstala stejná.



ČB	Y	X	Z
5001	1000.000	5026.700	100.00
5002	1000.000	5000.000	99.51

Tabulka 5 - Souřadnice počátečních bodů místního systému

V menu *Výpočty* byl spuštěn výpočet *Polární metoda dávkou*. V dialogovém okně tohoto výpočtu byly zaškrtnuty možnosti *Editovat orientace* a *Počítat volná stanoviska v dávce*. Do výpočtu vstupoval měřický zápisník a vystupoval založený seznam souřadnic.



Obrázek 13 - Nastavení výpočtu Polární metoda dávkou

Výsledkem tohoto výpočtu byly souřadnice tří stanovisek (5001, 5002 a 5003), dvanácti vřícovacích bodů (4001 - 4012) a jednoho nivelačního bodu (SC-124-90). Po dokončení výpočtu byl v programu vyhotoven protokol o výpočtu, který je přílohou této práce (příloha 2019108\_protokolGROMA.pro).



ČB	Y [m]	X [m]	Z [m]	STABILIZACE
5001	1000.000	5026.700	99.51	Roxor
5002	1000.000	5000.000	100.00	Roxor
5003	980.818	5020.100	100.64	Roxor
4001	998.272	5007.525	100.38	Dřevěný terč
4002	987.744	5015.118	100.36	Dřevěný terč
4003	992.394	5022.637	100.36	Dřevěný terč
4004	1003.896	5016.636	100.32	Dřevěný terč
4005	997.789	5013.662	102.36	Samolepící papírový terč
4006	993.532	5013.827	102.35	Samolepící papírový terč
4007	990.500	5018.545	102.49	Samolepící papírový terč
4008	994.563	5048.982	102.42	Samolepící papírový terč
4009	996.579	5012.152	104.57	Samolepící papírový terč
4010	998.465	5016.253	104.56	Samolepící papírový terč
4011	991.403	5017.025	106.70	Samolepící papírový terč
4012	993.599	5015.902	106.59	Samolepící papírový terč
SC-124-90	996.848	5012.047	101.00	Čepová značka

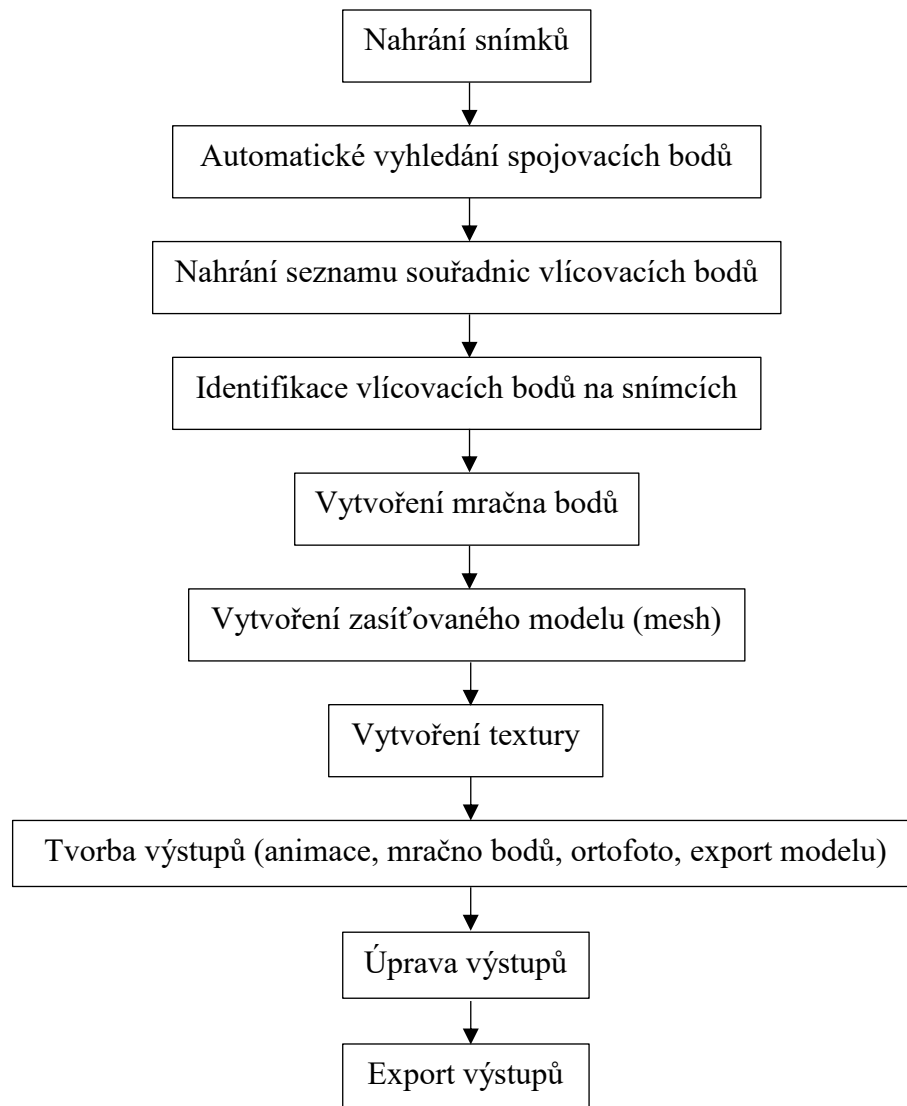
Tabulka 6 - Seznam souřadnic měřených bodů

Po zpracování zápisníku měření vřícovacích bodů bylo zpracováno měření metodou RTK. Do paměti kontroleru se měření uložilo ve formátu *.job*. Tento soubor byl nahrán do počítače a pomocí programu *AsciiFile Generator* byl z měření vytvořen *Kompletní protokol měření GPS* a *Měřené body XYZ*. Oba soubory byly vytvořeny ve formátu *.txt*. Počet desetinných míst byl nastaven na 2 – zaokrouhlení na cm.

Protokoly, vstupní i výstupní data jsou přílohou této práce. (Příloha DVD1)

## 6.2 Fotogrammetrická tvorba 3D modelu

Schéma fotogrammetrické tvorby modelu:



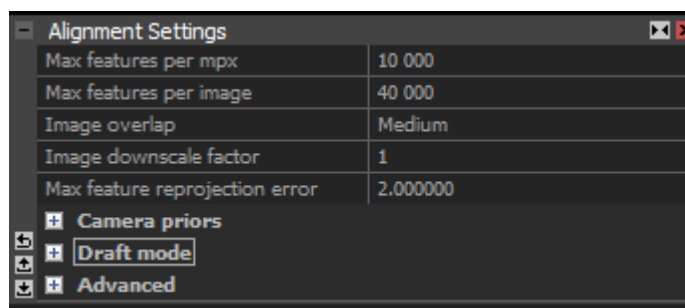
Vyhotovené snímky byly nahrány na disk a v prohlížeči obrázků zkontrolovány. V případě této práce nebylo třeba snímky mazat ani upravovat. Kontrola také prověřila snímky z mobilního telefonu, které byly vyhovující. Kontrola se týkala hlavně zaostření, dostatečného překrytu snímků a správné expozice snímků. V případě focení do formátu RAW by bylo potřeba snímky upravit a následně vyexportovat do formátu jako je .jpg nebo .png. Vyhotovené snímky byly nasnímány do formátu .jpg a tento krok nebylo potřeba udělat.

Pro tvorbu 3D modelu byl nejdříve použit program Pix4Dmapper. Výstup z tohoto programu byl nevyhovující. Výsledný model obsahoval velké množství chybně vypočtených ploch. Tento model by musel projít úpravou v dalším programu. Při hledání jiných výpočetních programů mi byl doporučen program Reality Capture (RC). Postupy v jednotlivých programech se od sebe tolik neliší (viz schéma výše). RC vykazuje kvalitnější výstupy za kratší čas (viz kapitola 7).

Při postupu v programu RC jsem narazil na několik problémů, které jsem musel vyřešit. První věc, co jsem musel udělat, bylo vypnout exif data ze snímků. Program totiž počítal souřadnice WGS84 nahraných v metadatech snímků z dronu a hlásil velké odchylky. Výsledný model byl tedy špatně orientován. Výchozí souřadnicový systém byl nastaven na lokální. Změna nastavení programu neměla na výpočty žádný vliv. Vymazáním cash paměti a restartováním programu byl tento problém vyřešen a nastavení definitivně změněno. V průběhu zpracovávání jsem se s program RC seznamoval a zdlouhavě jsem hledal konkrétní funkce. Grafické prostředí se velmi lišilo od prostředí programů, které jsem doposud využíval. Problémy jsem konzultoval se zaměstnanci firmy H.C.M. s.r.o. a na hledání příslušných kroků využíval oficiální fórum programu RC.

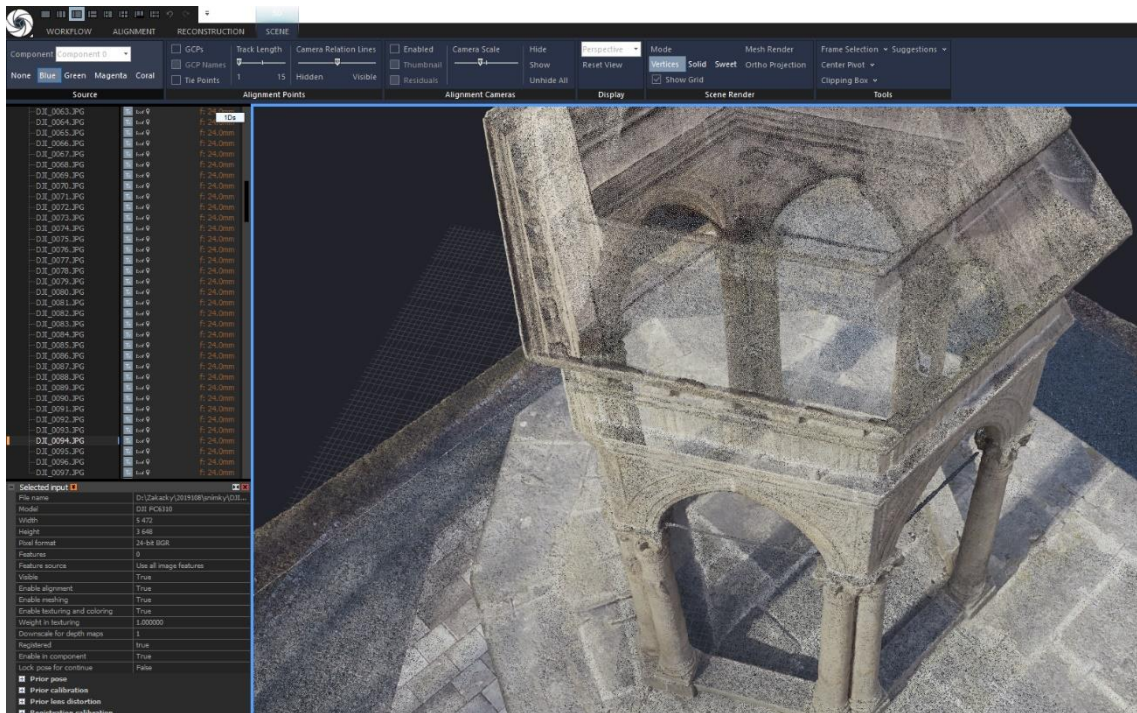
### 6.2.1 Výpočet spojovacích bodů (Tie points)

Před vyhotovením mračna bodů bylo potřeba snímky spojit. K tomu slouží spojovací body, tzv. *tie points*. Ty program RC vyhledal sám. Bylo potřeba nahrát zkontrolované snímky, funkce WORKFLOW-Add Imagery-Inputs. a vyplnit hodnoty nastavení výpočtu. Při tomto nastavení jsem se řídil radami zveřejněnými na oficiálním fóru RC. Výpočet spojovacích bodů byl spuštěn funkcí *ALIGNMENT-Align Images*.



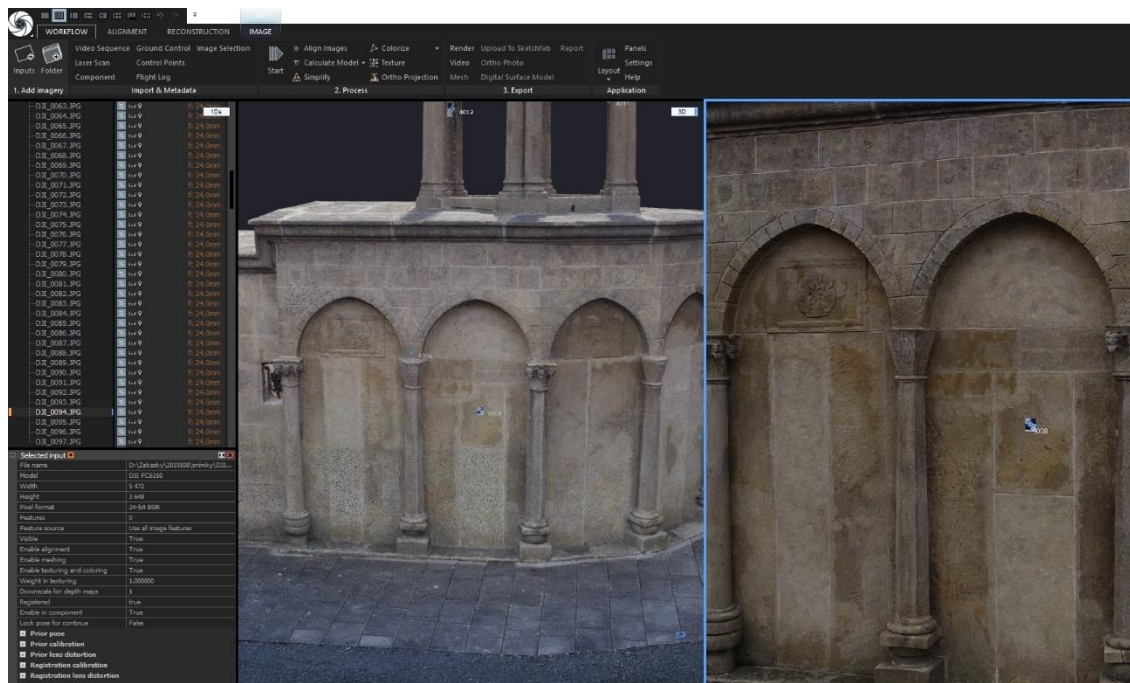
Obrázek 14 - Nastavení výpočtu spojovacích bodů v RC





Obrázek 15 - Zobrazení vypočtených spojovacích bodů

Po automatickém výpočtu může uživatel identifikovat další spojovací body ručně a výpočet opakovat. V seznam *Control points* lze kliknutím vytvořit nový spojovací bod. V menu *ALIGNMENT-Control points* (klávesa F3) se zapne kurzor na vytvoření bodů. Uživatel identifikuje bod na fotografii. Po kliknutí na číslo bodu v tomto seznamu může uživatel identifikovat stejný bod na jiném snímku. V případě chybné identifikace lze bod přesunout držením levého tlačítka na požadovanou pozici nebo jej smazat klávesou *Delete*. V případě této práce nebylo potřeba využít ručně identifikovaných spojovacích bodů. Snímky byly nasnímány po celé ploše objektu a bylo nalezeno mnoho spojovacích bodů. Automatický výpočet byl dostačující.

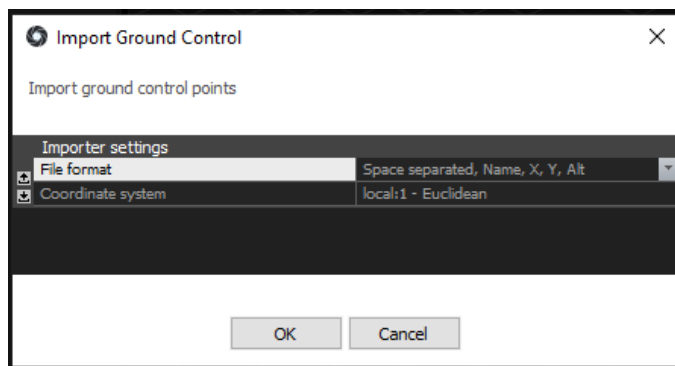


Obrázek 16 - Ukázka identifikace bodu v RC

### 6.2.2 Identifikace vřícovacích bodů

Po přepočítání spojovacích bodů bylo potřeba model georeferencovat. K tomu sloužily vřícovací body. Do programu byl nainportován seznam souřadnic přes menu *WORKFLOW-Import-Ground control*. V nastavení importu se definoval formát seznamu souřadnic a souřadnicový systém (viz Obrázek 17).

Po načtení seznamu souřadnic vřícovacích bodů byly tyto body identifikovány na snímcích stejně jako body spojovací (viz kapitola 6.2.1) a znovu spuštěna funkce *ALIGNMENT-Align Images*.



Obrázek 17 - Nastavení importu seznamu souřadnic vřícovacích bodů



Vlčovací body byly identifikovány na snímcích stejně jako body spojovací (viz kapitola 6.2.1). Vlčovací body byly identifikovány jen na několika snímcích. Identifikace na zbylých snímcích proběhla přes automatickou výpočetní funkci *ALIGNMENT-Constraints-Suggest Measurements*. RC automaticky našel polohy vlčovacích bodů a uživateli je nabídl. Polohy vlčovacích bodů byly zkontrolovány, upraveny (viz kapitola 6.2.1) a tlačítkem plus potvrzeny. V poslední fázi byly zkontrolovány odchylky vlčovacích bodů. Maximální odchylka činila 1 cm. O přesnosti výpočtů pojednává kapitola 7.

### 6.2.3 Vytvoření mračna bodů a síťového modelu (*mash*)

Pro tvorbu mračna bodů a *mash* slouží v programu RC okno RECONSTRUCTION. V tomto okně byla funkcí *RECONSTRUCTION-Model Alignment-Set Recontruction region* vyznačena oblast modelování. Modelování bylo zahájeno funkcí *RECONSTRUCTION-Process-Normal Detail*. Hustota mračna bodů byla nastavena na 1 mm. Po uplynutí doby výpočtu byl model uložen v okně 1Ds pod danou komponentu. Výpočet modelu byl rozdělen do několika částí. Program tím zkrátil dobu výpočtů a snížil nároky na hardware počítače (viz kapitola 7).

### 6.2.4 Úpravy modelu

Funkcí *RECONSTRUCTION-Selection-Lasso* byla vybrána oblast modelu, která byla potřeba odstranit (část přilehlého stromu). Funkcí *RECONSTRUCTION-Tools-Filter Selection* byla tato vybraná oblast vymazána. RC ponechal v paměti původní model a vytvořil nový ořezaný. Úpravy se týkaly vymazání vymodelovaného stromu poblíž objektu a dalších zbytečných mračen bodů netýkajících se objektu. Použitím funkce *RECONSTRUCTION-Procces-Texture* byla vytvořena textura pro daný model. Export modelu s texturou proběhl zapnutím funkce *RECONSTRUCTION-Export-Mesh*. Model byl vyexportován do formátu .obj (příloha DVD 2, složka Model). Mimo formát .obj bylo možné model vyexportovat i do dalších formátů (např. .ply, .fbx, .dxf, c3d a další).



### 6.3 Tvorba výstupů

Finální zpracování dokumentace využívalo kombinaci několika programů. Exporty modelu, mračna bodů, textury a ortofot proběhlo v programu RC. K vyhotovení výkresů byl využit program MicroStation. Po dokončení práce byly některé výstupy vytištěny a následně zkompletovány. Tato práce obsahuje jak vytištěné, tak i digitální přílohy (DVD). Seznam těchto příloh je uveden v kapitole Obsah DVD a Seznam tištěných příloh. Informace o použitých výpočetních programech jsou uvedeny v kapitole 4.

#### 6.3.1 Model

Export modelu do příslušného formátu proběhl v RC pomocí funkce *RECONSTRUCTION-Export-Mesh*. Model byl vyexportován do formátu .obj.

Velikost souboru se pohybovala kolem 600 MB. Model byl složen z 6 283 204 trojúhelníků (viz příloha 2019108\_protokolRC). Načítání v některých prohlížečích trvalo dlouho, proto byl vytvořen model zjednodušený a menší. Tato verze modelu vznikla použitím funkce *RECONSTRUCTION-Tools-Simplify Tool*. Byla použita metoda procent. Nastaveno bylo 5% velikosti původního modelu. Tímto postupem byl vyexportován model o daleko menší velikosti a byla zachována dostatečná kvalita k prohlížení. Velikost souboru zjednodušeného modelu se pohybovala kolem 30MB. Tento zjednodušený model byl složen z 314 160 trojúhelníků (viz příloha 2019108\_protokolRC).

Výsledný model byl z důvodu nevhodně nastavených souřadnic vstupního seznamu souřadnic špatně orientován. Tato chyba byla napravena načtením souboru .obj do prohlížeče Blender a zde byly osy X a Y prohozeny. Již správně orientovaný model byl znovu vyexportován do formátu .obj.



### 6.3.2 Ortofoto

Ortofoto bylo vytvořeno pomocí funkce *WORKFLOW-Process-Ortho Projection*. Tato funkce spustila box okolo modelu a uživatel vybral, manuálně od oka, příslušnou stěnu a stěnou definoval rovinu promítání. V nastavení vykreslení byl zvolen typ *Arbitrary* a velikost pixelu byla zvolena 5 mm a to s ohledem na měřítko výkresu. Tlačítkem *Render* byl snímek uložen do 1Ds panelu pod výchozí model. Funkcí *WORKFLOW-Export-Ortho Photo* byl snímek vyexportován do formátu *.png*. Součástí ortofota je georeferenční soubor ve formátu *.pgw*.

### 6.3.3 Výkres

Výkresy byly vyhotoveny v programu Bentley MicroStation V8i. Nejdříve bylo potřeba nadefinovat tabulku vrstev výkresů (příloha *Vrstvy.csv*), měřítko a formát papíru. Po dohodě s vedoucím práce bylo měřítko zvoleno 1:20 a formát papíru A1. U výkresu O1 kvůli velikosti plochy rastru byly tyto hodnoty změněny na měřítko 1:50 a velikost papíru A2. Linie byly kresleny funkcí *Kreslení-Umístit úsečku*. Pravoúhlé obrazce byly vykresleny funkcí *Kreslení-Umístit pravoúhlý útvar*. Text a číselné hodnoty byly vkládány funkcí *Kreslení-Umístit text*. Oprava výkresu proběhla spuštěním funkce *Kreslení-Editovat text*. Zapnutím *Mřížky* v okně *Atributy pohledu* program automaticky dochytil kurzor do celých souřadnic v metrech. Toho bylo využito pro vytvoření sítě křížků. Pomocí dvou protnutých linií byl vytvořen jeden křížek a ten pak byl rozkopírován do příslušných souřadnic. Pro zobrazení vyplněných ploch byla zapnuta funkce *Vyplnění plochy v Atributech pohledu*.

Po vytvoření výkresu bylo uloženo nastavení (*ctrl + F*). Výkres se vždy otevře v tomto nastavení. Výkres byl vyexportován pomocí ovladače *pdf*, který byl upraven do hodnot poskytnutých vedoucím práce. Vrstvy, které bylo třeba tisknout, byly identifikovány v seznamu vrstev. V menu *Nastavení-Výkres-Pracovní jednotky* byly hlavní a vedlejší jednotky nastaveny na metry a přesnost nastavena na 0.123. Funkcí *Soubor-Tisk (ctrl + P)* byl výkres vtištěn do formátu *.pdf*, v příslušném měřítku a na příslušnou velikost papíru. Výkresy byly vtištěny a složeny podle skladových značek. Výkresy také byly vyexportovány do formátu DWG verze 2013



Popis vrstev:

- ortofoto – obsahuje připojený rastr
- koty\_vyskove – grafické znázornění výškových kót
- meritko\_graficke – grafické měřítko, zobrazení po metru, 1-5 m
- popiska+situace – obsahuje popisku, severku, poznámky a situační nákres s výrazněním roviny promítání ortografické projekce
- sit\_krizku – zobrazuje síť křížků v přesných hodnotách souřadnic po 1 m (výkres O1 – po 2 m)
- x\_body\_vlicovaci – obsahuje vřícovací body viditelné na připojeném rastru
- x\_ram\_vykres – rám výkresu, obsahuje skladové značky
- x\_ram\_tisk – zobrazuje oblast tisku, strukturu formátu papíru
- linie\_pomocna\_obrys – zobrazuje obkreslený obrys, jen ve výkresu O1
- x\_plocha – obsahuje obkreslenou plochu připojeného rastru

Název vrstvy	Aktivní barva
ortofoto	0 bílá
koty_vyskove	0 bílá
meritko_graficke	0 bílá
popiska+situace	0 bílá
sit_krizku	1 modrá
x_body_vlicovaci	3 červená
x_ram_tisk	64 šedá
x_ram_vykres	4 žlutá
linie_pomocna_obrys	0 bílá
x_plocha	6 oranžová

*Tabulka 7 - Seznam vrstev*

## 7. Zhodnocení přesnosti

Při výpočtu souřadnic zaměřených vlíčovacích bodů v programu GROMA byl vyhotoven protokol o výpočtu. V protokolu byla vypočtena střední jednotková chyba  $m_0$ . Protokol je přílohou této práce – 2019108\_protokolGROMA.pro.

Maximální odchylka vlíčovacích bodů modelu je 1 cm. Střední chyba zarovnání snímků je 0.38 pixelu. Průměrná chyba činí 0.53 pixelu. Ortofoto bylo exportováno s nastavenou velikostí pixelu 5 mm. RC tuto hodnotu nezachoval. V souborech .pgw lze zjistit hodnoty blízké 5 mm. Tato chyba při exportu ovlivňuje přesnost vyhotovených ortofoto snímků. O výpočtu v programu RC byl vyhotoven protokol (viz příloha 2019108\_protokolRC\_celkovy.html, 2019108\_protokolRC\_spojovacibody.html, ).

Control points		12 points
4001	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 7 images
4002	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 9 images
4003	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 3 images
4004	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 7 images
4005	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 13 images
4006	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 3 images
4007	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.00 m 13 images
4008	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.00 m 11 images
4009	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 11 images
4010	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.01 m 8 images
4011	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.00 m 6 images
4012	<input checked="" type="checkbox"/>	e: 0.00 m 7 images

Obrázek 18 - Odchylky vlíčovacích bodů modelu.

Proces vyhledávání spojovacích bodů trval 5 min 47 s. Tvorba síťového modelu trvala 1hod 26min 19s. Podrobné informace jsou uvedeny v protokolu, který je přílohou této práce (viz příloha 2019108\_protokolRC\_model.html).



## Závěr

V rámci zpracování zadání byla provedena rekognoskace okolí zaměřovaného objektu. Totální stanicí byly zaměřeny vřícovací body dočasně stabilizované na objektu. Dronem byly nafoceny snímky. Pro kontrolu bylo metodou RTK zaměřeno několik vřícovacích bodů a všechny stanoviště měřické sítě. Dle požadavků objednavatele nebylo toto měření nakonec použito. Zadavatel nepožadoval umístění objektu v systému S-JTSK. Převod z místního systému do systému S-JTSK by zhoršil přesnost celého modelu a z něho tvořených výstupů. K vytvoření výstupů byl využit program Reality Capture. Byl vytvořen 3D model s texturou v plné velikosti i ve velikosti menší. Zjednodušený model slouží k prezentaci modelu a k jednodušší práci se souborem. Z modelu byly vyexportovány ortofota, která byla připojena do výkresů. Výkresy byly vytištěny ve formátech A1, resp. A2 a to v měřítku 1:20, resp. 1:50.

Kladené cíle byly splněny. Vyhotovení práce mě obohatilo o zkušenosti s tvorbou dokumentace jako takové a s prací s výpočetními programy. Nabrané vědomosti a zkušenosti mi doplnily informace získané během studia.

Prostředí programu RC pro mě bylo v některých fázích nevyhovující. Při nastavování výpočtů jsem se ztrácel v zobrazení tabulkou, kterou bylo možné vypnout jen manuálně a při každém dalším nastavení se shromažďovaly v 1D okně a působily jednotně. Při užívání programu jsem si na to zvykl a vytvořil postup, jak zamezit zbytečným nepozornostem. Při tvorbě ortofota jsem narazil na problém, kdy RC sám opravil hodnotu rozlišení ortofota na hodnotu blízkou hodnotě zadané. Z pohledu uživatele, bych chtěl mít kontrolu nad těmito zadanými hodnotami. Tato změna se odráží na kvalitě vyexportovaného ortofoto snímku. Ocenil bych možnost otevření okna Help, kde jsou od tvůrců programu vypsány základní postupy a další odkazy na oficiální fórum.

Výsledky práce budou sloužit k dalšímu využití Vlastivědného muzea ve Slaném a jako podklady k vytištění modelu Kaple Božího hrobu ve Slaném na 3D tiskárně. Výkresy mohou sloužit k budoucím restaurátorským pracím a rekonstrukcím.

Další využití může mít model ve vykreslení památky do webových mapových prohlížečů jako Google Earth či režimu 3D pohled portálu Mapy.cz.





## *Použité zkratky*

RC – Reality Capture

EPSG – Euroean Parameter Set

GPS – Global Positioning System

GNSS – Global Navigation Satellite System

RTK – Real-Time Kinematic

LV – List Vlastnictví

GIS – Geografický Informační Systém

S-JTSK – Systém Jednotné Trigonometrické Sítě



## *Seznam použité literatury a zdrojů*

[1] *Slaný* [online], Wikipedia [cit. 16. 5. 2019]

Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Slan%C3%BD>

[2] *Kaple božího hrobu u Slaného* [online], Město Slaný © 2011 [cit. 16. 5. 2019]

Dostupné z: [http://www.kpufo.cz/wkd/obraz/bh\\_slany.pdf](http://www.kpufo.cz/wkd/obraz/bh_slany.pdf)

[3] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 1*, V Praze: České vysoké učení technické, 2009, ISBN 978-80-01-04249-6.

[4] PERNEROVÁ, M. *Tvorba a vizualizace 3D bodového mračna z neměřických snímků*, Praha, 2014, Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

[5] CARDA, J. *Možnosti kombinace dat 3D skenerů a IBMR*, Praha, 2018, Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

[6] VESELÝ, J. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. V Praze: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s Národním památkovým ústavem, generálním ředitelstvím, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-86516-79-0.

[7] *Trimble R4 GPS TECHNICKÉ SPECIFIKACE* [online] Geotronics Praha

[cit. 16. 5. 2019]

Dostupné z: [http://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/DS\\_R4\\_CZ\\_GTR.pdf](http://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/DS_R4_CZ_GTR.pdf)

[8] *Groma* [online], Groma [cit. 16. 5. 2019]

Dostupné z: <https://www.groma.cz/cz/groma>

[9] RADOSTA, J. *Zaměření a zpracování geodetické dokumentace stavebního objektu v katastrálním území Bystrc*, Brno, 2009, Bakalářská práce, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta



## *Seznam obrázků*

Obrázek 1 - Zobrazení území města Slaný .....	10
Obrázek 2 - Zobrazení polohy objektu v rámci města Slaný.....	11
Obrázek 3 - Kaple Božího hrobu ve Slaném .....	12
Obrázek 4 - Totální stanice Trimble S5 Robotic .....	18
Obrázek 5 - GPS aparatura Trimble R4.....	19
Obrázek 6 - Kvadrokoptéra DJI Phantom 4.....	20
Obrázek 7 - Prostředí programu GROMA.....	21
Obrázek 8 - Prostředí programu Reality Capture .....	22
Obrázek 9 - Prostředí programu MicroStation V8i .....	23
Obrázek 10 - Ukázka dočasné stabilizace vlíčovacích bodů .....	24
Obrázek 11 - Pozice kamery dronu.....	27
Obrázek 12 - Nastavení programu GROMA .....	28
Obrázek 13 - Nastavení výpočtu Polární metoda dávkou.....	29
Obrázek 14 - Nastavení výpočtu spojovacích bodů v RC .....	32
Obrázek 15 - Zobrazení vypočtených spojovacích bodů.....	33
Obrázek 16 - Ukázka identifikace bodu v RC .....	34
Obrázek 17 - Nastavení importu seznamu souřadnic vlíčovacích bodů.....	34
Obrázek 18 - Odchyšky vlíčovacích bodů modelu. ....	39



## *Seznam tabulek*

Tabulka 1 - Parametry dálkoměru DR Plus .....	18
Tabulka 2 - Úhlová přesnost totální stanice Trimble S5 .....	19
Tabulka 3 - Přesnost měření Trimble R4.....	19
Tabulka 4 - Technické specifikace DJI Phantom 4 .....	20
Tabulka 5 - Souřadnice počátečních bodů místního systému.....	29
Tabulka 6 - Seznam souřadnic měřených bodů .....	30
Tabulka 7 - Seznam vrstev.....	38



## *Seznam tištěných příloh*

- Výkres O1 – formát A2, měřítko 1:50
- Výkres O2 – formát A1, měřítko 1:20
- Výkres O3 – formát A1, měřítko 1:20
- Výkres O4 – formát A1, měřítko 1:20
- Výkres O5 – formát A1, měřítko 1:20
- Náčrt měření



## *Obsah DVD*

### DVD 1 - Vstupní data:

#### Složka Měření:

- 2019108-01-S5.sdr – zázpisník měření totální stanicí
- 2019108-02-R4.job – soubor o měření GPS
- 2019108\_VB.txt – seznam souřadnic vlíčovacích bodů YXZ
- 2019108-02-R4 stan.txt – vypočtené souřadnice měřených bodů
- 2019108\_snímky – pořízené snímky

#### Složka Protokol:

- 2019108\_protokolGROMA.pro
- 2019108\_protokolRC\_celkovy.html
- 2019108\_protokolRC\_model.html
- 2019108\_protokolRC\_spojovacibody.html
- 2019108-02-R4 stan\_protokol

### DVD 2 - Výstupní data:

#### Složka Text

- Bakalářská\_práce\_Michal\_Zíma.pdf

#### Složka Ortofoto:

- 2019108\_O1.png
- 2019108\_O1.pgw
- 2019108\_O2.png
- 2019108\_O2.pgw
- 2019108\_O3.png
- 2019108\_O3.pgw
- 2019108\_O4.png
- 2019108\_O4.pgw
- 2019108\_O5.png
- 2019108\_O5.pgw

#### Složka Model:

- 2019108\_model\_full.obj
- 2019108\_model\_full\_u1\_v1 – textura



Složka Výkres:

- Složka 2019108\_O1
  - 2019108\_O1.dgn
  - 2019108\_O1\_ver2013.dwg
  - 2019108\_O1\_tisk.pdf
  - 2019108\_O1.png
  - 2019108\_O1.pgw
  - 2019108\_rez.png
  - 2019108\_rez.pgw
- Složka 2019108\_O2
  - 2019108\_O2.dgn
  - 2019108\_O2\_ver2013.dwg
  - 2019108\_O2\_tisk.pdf
  - 2019108\_O2.png
  - 2019108\_O2.pgw
- Složka 2019108\_O3
  - 2019108\_O3.dgn
  - 2019108\_O3\_ver2013.dwg
  - 2019108\_O3\_tisk.pdf
  - 2019108\_O3.png
  - 2019108\_O3.pgw
- Složka 2019108\_O4
  - 2019108\_O4.dgn
  - 2019108\_O4\_ver2013.dwg
  - 2019108\_O4\_tisk.pdf
  - 2019108\_O4.png
  - 2019108\_O4.pgw
- Složka 2019108\_O5
  - 2019108\_O5.dgn
  - 2019108\_O5\_ver2013.dwg
  - 2019108\_O5\_tisk.pdf
  - 2019108\_O5.png
  - 2019108\_O5.pgw
- Vrstvy.csv