

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PRAHA 2018

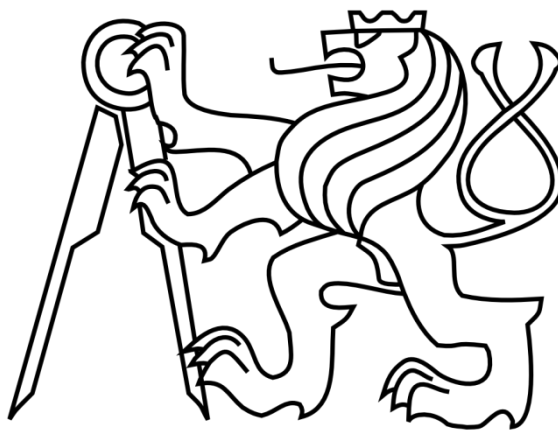
Bc. Petra Klimánková

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově a vyhotovení
části jeho výkresové dokumentace**

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Katedra speciální geodézie

Květen 2018

Bc. Petra Klimánková



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Klimánková	Jméno: Petra	Osobní číslo: 423986
Zadávací katedra: Katedra speciální geodézie		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie a kartografie		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově a vyhotovení části jeho výkresové dokumentace


Název diplomové práce anglicky: Measurement of the St. Spirit Church in Liběchov and Creation of the Drawing Documentation Part


Pokyny pro vypracování:
Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově 3D skenovacím systémem.
Zpracování a registrace naměřených dat.
Vytvoření části výkresové dokumentace kostela (vnitřní pohledy, vybrané půdorysy).

Seznam doporučené literatury:
Štroner, M. a kol.: 3D skenovací systémy. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20. 2. 2018 Termín odevzdání diplomové práce: 20. 5. 2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku



Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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“.

20.2.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje zaměření, zpracování naměřených dat a vyhotovení měřické dokumentace kostela sv. Ducha v Liběchově. V práci je komplexně popsán proces vyhotovení měřické dokumentace od tvorby bodového pole, přes zaměření objektu metodou laserového skenování až po tisk finálních výstupů. Výsledkem této práce je půdorys hrobky a dva podélné a dva příčné řezy celým objektem. Tato dokumentace vznikla na základě dohody se starostkou města Liběchov a v budoucím období bude městem Liběchov využita pro plánovanou rekonstrukci objektu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kostel sv. Ducha, Liběchov, laserové skenování, mračno bodů, měřická dokumentace, Leica Cyclone

ABSTRACT

This magister's thesis deals with measurement, processing of measured data and creation of drawing documentation part of the st. Spirit Church in Liběchov. In this thesis is complexly described proces of creation of drawing documentation since creation of point field, through the measurement of object using laser scannig method, till the print of final plans. The result of this work are ground plan of crypt, two longitudinal sections and two traverse sections of the whole object. This documentation originated as the agreement with the major of city Liběchov and it will be used for planning reconstruction in future.

KEY WORDS

St. Spirit Church, Liběchov, laser scanning, point cloud, as-built documentation, Leica Cyclone

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Bc. Petra Klimánková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Ing. Tomáši Křemenovi, Ph.D. za jeho čas, rady a pomoc při vypracování této diplomové práce.

Dále děkuji Bc. Karolíně Dvořákové a Bc. Daniele Valešové za vzájemnou pomoc a výměnu zkušeností při zpracování našich absolventských prací.

Také děkuji prof. Ing. Martinu Štronerovi, Ph.D. za poskytnutí dat z dronu potřebných ke zkompletování této práce a také za jeho cenné rady.

Poděkování patří také Ing. Mgr. Vladimíře Zralíkové, starostce Města Liběchov, bez níž by tato práce patrně nikdy nevznikla.

V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za jejich podporu během celého mého studia.

OBSAH

1.	ÚVOD	10
2.	HISTORIE LIBĚCHOVA A KOSTELA SV. DUCHA	11
2.1	Obec Liběchov	11
2.2	Kostel sv. Ducha	12
2.2.1	Kostel sv. Ducha v současnosti	14
3.	Použité technologie a přístroje	15
3.1	3D skenovací systémy	15
3.2	Klasické geodetické měření	18
3.3	GNSS	19
4.	MĚŘENÍ.....	20
4.1	Rekognoskace	20
4.2	Měřičská síť	21
4.2.1	Tvorba bodového pole	22
4.3	Kontrolní oměrné	23
4.4	Laserové skenování.....	23
4.4.1	Postup skenování	23
4.5	Fotografování objektu.....	26
5.	ZPRACOVÁNÍ	27
5.1	Výpočet měřičské sítě.....	27
5.1.1	Porovnání GNSS a TS souřadnic.....	28
5.1.2	Kontrolní měření.....	29
5.2	Zpracování dat získaných dronem	30
5.2.1	Přístroje a pomůcky použité pro měření:.....	30
5.2.2	Měření.....	32
5.2.3	Agisoft PhotoScan 1.2.6	32
5.2.4	Zpracování	33
5.3	Zpracování dat laserového skenování.....	34
5.3.1	Program Leica Cyclone	34
5.3.2	Vstupní úprava naměřených dat	34
5.3.3	Registrace mračen.....	35
5.3.4	Kontrola registrace	36
5.3.5	Místní souřadnicový systém	37
5.4	Porovnání mračen bodů	38
6.	Tvorba výkresové dokumentace.....	42
6.1	Příprava v programu Leica Cyclone	42
6.1.1	Volba referenční roviny.....	42
6.1.2	Kresba	43
6.1.3	Export	44
6.2	AutoCAD 2017	45
6.2.1	Editace	45
6.2.2	Finální výkres	45

7.	ZÁVĚR.....	48
8.	SEZNAM OBRÁZKŮ	49
9.	SEZNAM TABULEK.....	50
10.	SEZNAM ZDROJŮ	51
11.	SEZNAM PŘÍLOH	53
11.1	Seznam tištěných příloh.....	53
11.2	Seznam elektronických příloh	53

1. ÚVOD

Kostel sv. Ducha stojí na viničním kopci v městě Liběchov. Vlastníkem kostela je Národní muzeum (údaj ke dni 1. 4. 2018). Objekt, který je v dezolátním stavu, musel být z bezpečnostních důvodů uzavřen pro veřejnost. O získání kostela již léta usiluje město Liběchov, které by chtělo zchátralý objekt po získání do vlastnictví zrekonstruovat.

Před zahájením rekonstrukce je důležitá náležitá předprojektová příprava, která shromažďuje podklady pro stanovení koncepce a následně pro projekt obnovy. Součástí předprojektové přípravy je zaměření výchozího stavu, které slouží pro zjištění exaktních rozměrů stavby. Přesné zaměření stavby je poté základním plánovým materiálem pro jakékoliv další průzkumné i projekční práce. Z toho důvodu musí být zaměření provedeno v odpovídající kvalitě, důraz se klade na přesnost, podrobnost, věrohodnost zobrazení a úplnost v názorném měřítku.

Mezi starostkou města Liběchov Ing. Mgr. Vladimírou Zralíkovou a studenty ČVUT Fakulty stavební došlo k dohodě o spolupráci. V rámci diplomové práce bude kostel sv. Ducha zaměřen, bude vyhotovena výkresová dokumentace a 3D model objektu. Na oplátku starostka zajistí povolení ke vstupu do objektu u současného vlastníka.

Na základě rekognoskace bylo rozhodnuto, že objem prací na tomto rozsáhlém objektu překračuje rozsah jedné diplomové práce. Z toho důvodu byla práce rozdělena mezi tři studentky. Dvě studentky měly vyhotovit výkresovou dokumentaci a jedna se měla věnovat vytvoření 3D modelu. Pro zaměření objektu byla vybrána jako nejvhodnější metoda laserového skenování v kombinaci s fotogrammetrií, samotné zaměření pak mělo být pro všechny tři studentky společné.

V úvodní části této práce je souhrnně přiblížena historie města Liběchov a kostela sv. Ducha, včetně jeho současného stavu. Dále jsou zde uvedeny technologie a přístroje použité při zaměření objektu.

Hlavní část textu se věnuje popsání rekognoskace a tvorby měřičské sítě. Následně je zde popsán postup zaměření objektu metodou laserového skenování v kombinaci s fotogrammetrií. Dále se tato část textu zabývá zpracováním naměřených dat a tvorbou výsledných výstupů

V závěru této práce jsou shrnuty dosažené výsledky.

2. HISTORIE LIBĚCHOVA A KOSTELA SV. DUCHA

Následující kapitola souhrnně přibližuje historii města Liběchov a kostela sv. Ducha, jenž je předmětem této práce. Zároveň je v kapitole uveden současný stav této památky. Při tvorbě této kapitoly bylo čerpáno z [1],[2],[3] a [4].

2.1 Obec Liběchov

Město Liběchov ležící na pravém břehu řeky Labe, mezi Mělníkem a Štětím, se nachází v okrese Mělník ve Středočeském kraji. Pod působnost obce spadá také dříve samosprávná obec Ješovice. Žije zde přibližně 1100 obyvatel. Na obrázku (Obr. 2.1) je zobrazeno katastrální území města Liběchov



Obr. 2.1 Obec Liběchov [5]

První písemná zmínka o Liběchově pochází z roku 1311 (jiný pramen uvádí 1316), jedná se o zápis v zemských deskách o rytíři Dominikovi z Lubiechowa. Avšak historie obce sahá mnohem dále. První osídlení lze doložit až do období neolitu, mladší doby kamenné (5000 – 3500 př. Kr.)

Od počátku 15. století až do rozpadu Rakouska – Uherska vlastnilo panství Liběchov několik majitelů. Za zmínku stojí Pachtové z Rájova, kteří nechali v 18. století přestavět renesanční tvrz na své letní zámecké sídlo v barokním stylu.

S Liběchovem je také spojeno jméno sochaře Václava Levého, ten zde v okolních pískovcových skalách vytvořil množství kamenných plastik. Tyto jeho raná díla ze 40. let 19. století, jako jsou třeba Čertovy hlavy, Klácelka, či Máří Magdaléna, je stále možné v okolí Liběchova najít.

V říjnu roku 1938 byl Liběchov Mnichovským diktátem začleněn do Sudetoněmecké župy Velkoněmecké Říše (Reichsgau Sudetenland). V této době zde žilo národnostně smíšené obyvatelstvo, poměr Čechů a Němců byl 1:1. Židé byli deportováni do koncentračních táborů a Češi byli utiskováni a znevýhodňováni. V této době sloužil místní zámek jako lazaret německé armády.

Mezi lety 1945 - 1946 opustilo Liběchov německé obyvatelstvo, které v té době stále tvořilo přibližně polovinu obce.

2.2 Kostel sv. Ducha

Národní památkový ústav popisuje v Památkovém katalogu [6] zájmový objekt takto: „kostel stojící na viničním kopci jižně nad obcí, je jednolodní bazilika s věží v průčelí, orientovaná k JV. Obdélný půdorys s presbytářem uvnitř polygonálním, vně půlkruhovým. Lod' je kryta sedlovou (nad presbytářem valbovou) střechou s prejzy, věž na čtvercovém půdorysu má zvonovou mansardovou střechu krytou plechem a zakončenou lucernou. Fasády jsou členěny pilastry s toskánským tvaroslovím, nesoucím lizénové římsy. V polích mezi pilastry nad středovou římsou jsou na bocích lodě umístěna kruhová okna opatřená mřížemi. Hlavní průčelí je trojosé s obdélným vstupním portálem lemovaným kamenným ostěním, nad nímž je obloukové okno a výrazný štítový tympanon s kruhovým otvorem. Po stranách průčelí jsou v patře umístěny niky v konchami. Střední část kostela je klenuta českou plackou, boční části a podklenutí kruchty valeně. Pod kostelem je hrobka hrabat Veithů sklenutá valenou a křížovou klenbou. Předmětem památkové ochrany je kostel - stavba a pozemek st.p.56 a pozemek pp. 146/3.“



Obr. 2.2: Kostel sv. Ducha – exteriér

Kostel sv. Ducha nechal roku 1654 vystavět Karel Hyacint, hrabě Villani de Castello Pillonico. Kaple byla zasvěcena sv. Duchu, později také sv. Hrobu. Kromě samotné stavby zde nechal Karel Hyacint zřídit hrobku, ve které nakonec sám roku 1656 spočinul.

V roce 1730 došlo k renovaci, díky tehdejšímu vlastníkovi Liběchova Janovi Jáchymu, hraběti Pachtovi. Jeho syn Hubert Karel, hrabě Pachta vybudoval roku 1780 křížovou cestu o 14-ti zastaveních, kolem které nechal vysázet lipovou alej.

Další výraznou osobností, která zasáhla do současné podoby kaple sv. Ducha je svobodný pán Jakub Veith, průmyslník a obchodník s textiliemi, který panství Liběchov roku 1801 koupil. Ten nechal ke kostelíku přistavět věž se zvonící, zároveň rozšířil původní hrobku pro svou rodinu.

Po rozpadu Rakouska – Uherska a vzniku Československé republiky, panství včetně kostela sv. Ducha koupil Ing. František Homolka, jehož rodina do této doby panství spravovala v nepřítomnosti pruské hraběnky Lippe. Roku 1928 došlo k opravě exteriéru kaple, renovaci tehdy financoval právě Ing. František Homolka. Kaple byla znovu vysvěcena 9. července 1929.



Obr. 2.3: Kostel sv. Ducha - interiér

Po druhé světové válce kaple chátrala. Mezi lety 1954 - 1960 byla společně se zámekem zapůjčena Československému státnímu filmu. Došlo k zpusťování interiéru kaple, vybavení kaple včetně obrazů, varhan a oltáře, bylo poničeno nebo zmizelo úplně. Československý státní film zde plánoval uložení filmového materiálu. Za tímto

účelem zde nechal instalovat kovové regály po celé ploše kaple. Nakonec ale k zamýšlené depozici nedošlo.

Do správy Národního muzea v Praze připadla kaple roku 1960. K zařazení do seznamu chráněných památek došlo 29. 4. 1964, kdy ji pod registračním číslem 1340 začlenilo Středisko památkové péče a ochrany přírody. Národní památkový ústav uvádí datum, od kterého je objekt památkově chráněn, jako 3. 5. 1958.

V průběhu noci z 13. na 14. dubna roku 1966 věž kaple při požáru způsobeném úderem blesku vyhořela. K opravě věže a poničené střechy došlo až mezi lety 1968 - 69. Při renovaci byla původní střešní krytina z bobrovek nahrazena prejzovou krytinou, zároveň některé původní prvky střechy, již nebyly znovu obnoveny. Stěny kaple byly zpevněny pomocí železobetonové injektáže.

Samotná hrobka nebyla desítky let nijak udržována. Jedinou "opravou" ke které došlo, bylo zazdění větracích okének a vstupu do krypty. Tyto otvory zajišťovaly cirkulaci vzduchu v hrobce. Zazdění mělo zamezit vniknutí případných zlodějů a zvědavců do hrobky. Avšak mumifikované ostatky rodiny Veithů, které byly v té době v hrobce uloženy, nesly tento zásah těžce a začaly podléhat rozkladu. 14. prosince roku 1973 byla hrobka úředně vyklizena a ostatky 26 lidí byly neuctivě uloženy do dvou opuštěných hrobů na místním hřbitově.

V roce 1994 byly do obce navraceny dva původní zvony (Josef a Marie z roku 1919), které byly po požáru zapůjčeny do Petrovic na Sedlčansku. Do věže kostelíku se ale již nikdy nevrátily a jsou uloženy v depozitáři zámku Liběchov.

Během roku 1999 došlo k odcizení hodnotné opukové dlažby. Následně byla kaple a hrobka občanskou iniciativou vyklizena a uzamčena.

2.2.1 Kostel sv. Ducha v současnosti

Dne 30. 9. 2015 byl do spolkového rejstříku zapsán spolek Liběchov sobě – spolek pro záchranu kostelíčka. Jedná se o dobrovolný nepolitický spolek, jehož hlavním cílem je získat kapli sv. Ducha a sv. Hrobu do vlastnictví města Liběchov. V záměru města je také jeho oprava a údržba, včetně úpravy přilehlých pozemků a zeleně. Spolek pořádá společenské a kulturní akce. V minulosti proběhlo přímo v prostorách kaple či v kryptě několik koncertů, literární čtení nebo divadelní představení.

3. POUŽITÉ TECHNOLOGIE A PŘÍSTROJE

V následující kapitole jsou uvedeny přístroje použité při zaměření zájmového objektu. Nejprve je zde více přiblížena technologie statického pozemního skeneru FARO Focus 3D X 330 a dále jsou zde popsány další použité přístroje při měření. Tato kapitola je založena zejména na těchto zdrojích [7],[8] a [9].

3.1 3D skenovací systémy

Historie 3D skenování se začala psát v 90. letech 20. století. Dosavadní technologické postupy, jak v geodézii, tak v určité míře i ve fotogrametrii, umožňovaly pouze tzv. selektivní určování prostorových souřadnic objektu. Výsledné vybrané body dostatečně vystihovaly objekt, přesto zde vznikla snaha o jiný přístup, který by práci více zefektivnil. Tímto přístupem se stalo právě 3D skenování. Oproti klasickým metodám používaným v geodézii vyniká rychlostí sběru dat, přesností, vysokou automatizací při zpracování i bezpečností při práci.

Metoda 3D skenování je dnes již osvědčenou a propracovanou technologií, která nachází využití napříč mnoha obory. Využívá se pro 3D modelování složitých objektů, vizualizace či plánování. Pomocí této technologie se dokumentuje skutečný stav silnic, železnic nebo vodních toků. Své uplatnění najde při vytváření digitálního modelu terénu či reliéfu, také se využívá v geografických informačních systémech. V současnosti je laserové skenování dynamicky se rozvíjející technologií, která má do budoucna ještě co nabídnout.

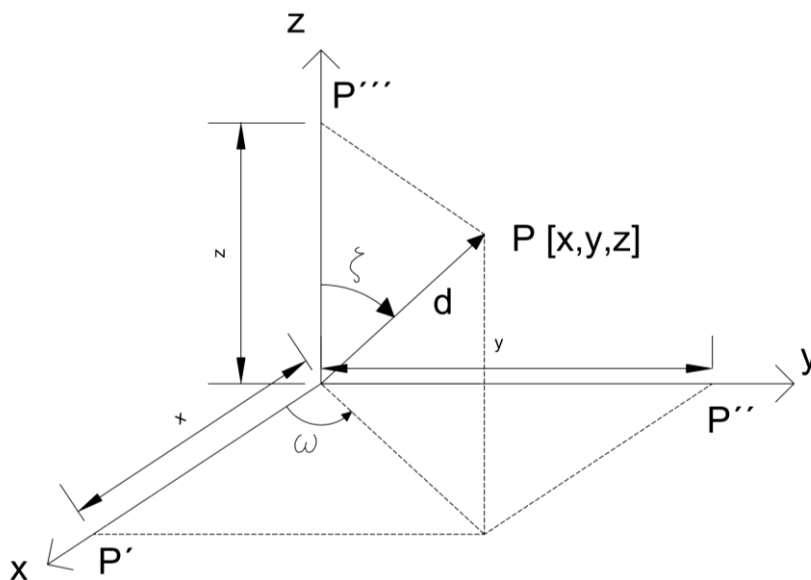
Obecně lze rozdělit skenovací systémy do několika kategorií, ale v této práci bude podrobně přiblížen pouze statický pozemní skener, který byl použit pro zaměření zájmového objektu. Konkrétně se jedná o 3D laserový skener FARO Focus 3D X 330 ID KA2WA13181 (Obr. 3.1), který byl pro měření zapůjčen společností Geotronics Praha, s.r.o.



Obr. 3.1: FARO Focus 3D X 330 [fotografie pořízená K. Dvořákovou]

Principiálně funguje tento skener tak, že vyšle infračervený laserový svazek do středu rotujícího zrcadla, kde se svazek odrazí do okolního prostředí, které je skenováno. Při kontaktu s okolními objekty se svazek odrazí a vrátí zpět do skeneru.

Vzdálenost určuje FARO Focus 3D X 330 na základě měření fázového rozdílu. Ze skeneru jsou vysílány svazky infračerveného světla, které jsou modulovány harmonickou vlnou. vzdálenost objektu od skeneru se pak přesně určí z fázového rozdílu mezi vyslanou a přijatou vlnou. Souřadnice xyz každého bodu jsou počítány za pomoci úhlového snímače, který měří úhel rotace zrcadla a horizontální úhel. Zorné pole skeneru pokrývá v horizontálním směru 360°, ve vertikálním 300°. Tento skener pracuje na principu prostorové polární metody, vzdálenost d , a úhly ζ a ω , tvoří polární souřadnice, které jsou poté transformovány do kartézských souřadnic. Na obrázku (Obr. 3.2) je schématické znázornění prostorové polární metody.



Obr. 3.2: Schématické znázornění prostorové polární metody

Souřadnice jsou vypočteny pomocí vzorce:

$$\begin{aligned}x &= d \cdot \sin \zeta \cdot \cos \omega \\y &= d \cdot \sin \zeta \cdot \sin \omega \\z &= d \cdot \cos \zeta\end{aligned}\tag{3.1}$$

kde d ... měřená délka (délka průvodiče)
 ω, ζ ... prostorové úhly

FARO Focus 3D X 330 je vysokorychlostní skener, za jednu sekundu dokáže změřit až 976 000 bodů. Objekty je možné skenovat až do vzdálenosti 330 m a to i na přímém slunečním světle. Výsledkem měření je mračno bodů, které může obsahovat miliony naskenovaných bodů. Mimo jiné má FARO Focus 3D X 330 integrován přijímač GPS, který umožňuje spojit jednotlivá měření do jednoho referencovaného projektu a zároveň tento projekt zpracovat do adekvátních výstupů.

Technické specifikace tohoto skeneru jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.1). Kromě samotného skeneru byly také použity kulové terče o průměru 200 a 145 mm.

Technické parametry FARO Focus 3D X 330	
Rozměr	240 x 200 x 100 mm
Hmotnost	5.2 kg
Dosah	0.6 m - 330 m
Zorné pole (vertikálně/horizontálně)	300°/ 360°
Třída laseru	I. třída
Trasovací chyba	± 2 mm
Divergence paprsku	0.19 mrad (0.011°)
Vlnová délka	1550 nm
Rychlost skenování	až 976 000 bodů/sek
Okolní teplota	5° - 40° C
Výdrž baterie	4.5 hod

Tab. 3.1: Technická specifikace FARO Focus 3D X 330 [10]

3.2 Klasické geodetické měření

Leica Flexline TS06 je totální stanicí vyvíjenou společností Leica. Tato totální stanice je vybavena elektronickým dálkoměrem (EDM), který umožňuje měřit jak na hranol tak v bezhranolovém módu. Byla použita při měření měřičské sítě, byly s ní zaměřeny kontrolní oměrné zvenku objektu a také vřícovací body, potřebné pro vyhodnocení dat v programu Agisoft Photoscan. Přesnost použité totální stanice Leica FlexLine TS06 v.č. 1342473 (Obr. 3.3) tak jak ji udává výrobce, je uvedena v tabulce (Tab. 3.2).



Obr. 3.3: LeicaFlexline TS06

Veličina	Hodnota
Úhlová přesnost	0.6 mgon
Přesnost měření délek na hranol (režim Standard)	1.5 mm + 2 ppm
Přesnost měření délek bez hranolu	2 mm + 2 ppm

Tab. 3.2: Přesnost Leica FlexLine TS06 [11]

3.3 GNSS

Pro kontrolní zaměření souřadnic polygonového pořadu a bodu 5003 byl použit GNSS přijímač Trimble Geoexplorer GeoXR (Obr. 3.4). Jedná se o ruční GNSS přijímač, který umožňuje sběr dat, v ruce dosahuje centimetrové přesnosti. Kromě toho je vybaven 5 megapixelovým fotoaparátem s automatickým ostřením, kterým je možné zachytit obrazové informace. Technické specifikace Trimble Geoexplorer GeoXR jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.3).



Obr. 3.4: Trimble Geoexplorer GeoXR

Přesnost kinematické metody	
Poloha	13 mm + 1 ppm
Výška	20 mm + 1 ppm
Doba trvání inicializace	typicky < 10 sekund
Spolehlivost inicializace	typicky > 99 %
typ	dvoufrekvenční

Tab. 3.3: Technická specifikace Trimble Geoexplorer GeoXR [12]

4. MĚŘENÍ

Měření, které proběhlo na této diplomové práci, zahrnovalo jak měření při tvorbě bodového pole, tak samotné laserové skenování. V této kapitole budou blíže přiblíženy obě tyto měření. Rozpis měření je uveden v tabulce (Tab. 4.1)

Harmonogram měření		
Etapa 1	Rekognoskace	19. 10. 2017
Etapa 2	Měření TS + GNSS	18. 11. 2017
Etapa 3	3D skenování	1. 2. 2018

Tab. 4.1: Harmonogram měření

4.1 Rekognoskace

Rekognoskace kostela sv. Ducha byla provedena 19. 10. 2017. Na rekognoskaci byl přítomen vedoucí práce Ing. Tomáš Křemen, Ph.D. a starostka Města Liběchova Ing. Mgr. Vladimíra Zralíková, která zde vystupuje v roli zadavatele.

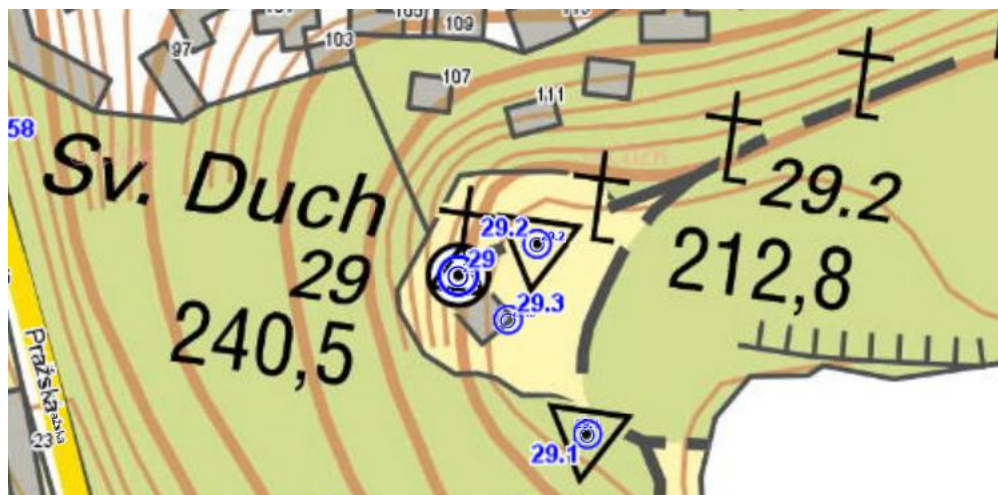
V rámci rekognoskace měl být stanoven cíl a rozsah diplomové práce. Představou zadavatele bylo vyhotovení výkresové dokumentace objektu a zpracování 3D modelu, který by mohl být promítán v místním infocentru. V budoucnu by město chtělo zavést do objektu vodovod, z toho důvodu bylo vyžadováno napojení na polohový i výškový souřadnicový systém.

Vzhledem k tomu, že objem prací na tomto rozsáhlém objektu překračuje rozsah jedné diplomové práce, byla práce rozdělena mezi tři studentky. Dvě studentky měly vyhotovit výkresovou dokumentaci a jedna se měla věnovat vytvoření 3D modelu. Pro zaměření objektu byla vybrána jako nejvhodnější metoda laserového skenování v kombinaci s fotogrammetrií, samotné zaměření pak mělo být pro všechny tři studentky společné.

Současně byl během rekognoskace posouzen stav státního bodového pole v okolí zájmového objektu (Obr. 4.2). Střed makovice kostela sv. Ducha odpovídá trigonometrickému bodu 29. V okolí objektu byly jednoznačně identifikovány jeho zajišťovací body 29.1, 29.2 a 29.3. Na obrázku (Obr. 4.1) je zobrazena stabilizace zajišťovacího bodu 29.2.



Obr. 4.1: Bod státního bodového pole 29.2 - stabilizace



Obr. 4.2: Státní bodové pole v okolí kostela sv. Ducha [13]

4.2 Měřičská síť

V první řadě bylo třeba kolem zájmového objektu vybudovat bodové pole. Bodové pole bylo napojeno na body Základního polohového bodového pole. Jedná se o zajišťovací body 29.1 a 29.2 k trigonometrickému bodu 29 (věž kostela). Kromě zmíněných bodů se zde nachází ještě bod SV1 29.3, ten však nebyl pro měření použit. Souřadnice těchto bodů jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4.2), geodetické údaje těchto bodů jsou součástí tištěných příloh (Příloha 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu).

Číslo bodu	Druh	Y (S-JTSK)	X (S-JTSK)	Z (Bpv)
29	TB	736027.92	1008168.41	240.50
29.1	ZB1	735995.61	1008207.97	213.15
29.2	ZB2	736008.20	1008160.49	212.79
29.3	SV1	736015.44	1008179.40	214.34

Tab. 4.2: Převzaté souřadnice

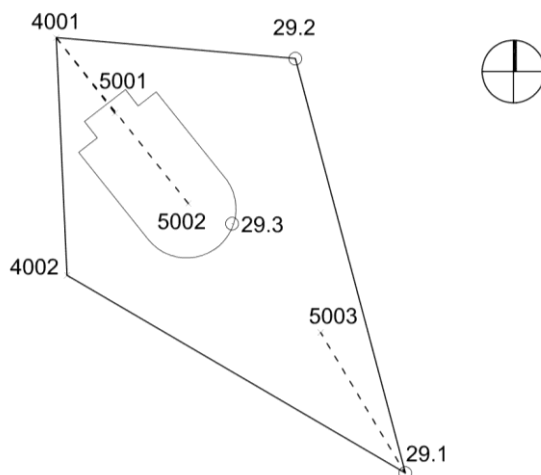
4.2.1 Tvorba bodového pole

Cílem této práce bylo zaměření kostela sv. Ducha nejen zvenku, ale i uvnitř. Stávající státní bodové pole v okolí objektu, konkrétně body 29.1 a 29.2, se ukázaly pro měření jako nedostačující. Proto bylo bodové pole rozšířeno okolo celého objektu a zároveň byly uvnitř kostela stabilizovány dva body pomocí nastřelovacích hřebů (Obr. 4.3).

Způsob stabilizace a signalizace vzniklých bodů je uveden v tabulce (Tab. 4.3).

Číslo bodu	Druh stabilizace	Druh signalizace
4001	roxor	dřevěný kolík
4002	roxor	dřevěný kolík
5001	nastřelovací hřeb	-
5002	nastřelovací hřeb	-
5003	dřevěný kolík	-

Tab. 4.3: Způsob stabilizace a signalizace nových bodů



Obr. 4.3: Náčrt situace v terénu

Z bodu 29.2 s orientací na bod 29.1 byl zaměřen oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad, který končil na bodě 29.1 s orientací na bod 29.2. Měřeny byly vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé délky v jedné skupině. Body 5001 a 5002 byly zaměřeny ze stanoviska 4001 rajónem, bod 5003 byl zaměřen

ze stanoviska 29.1 také rajónem. Z každého stanoviska byly také zaměřeny vlíčovací body, potřebné pro vyhodnocení dat pořízených kamerou dronu. Pro kontrolu byly body polygonu a bod 5003 zaměřeny pomocí GNSS přijímače metodou RTK. Observováno bylo dvakrát po 5 minutách s několika hodinovým odstupem.

4.3 Kontrolní oměrné

Pro kontrolu byly v terénu zaměřeny kontrolní oměrné. Zvenku byly oměrné zaměřeny pomocí totální stanice, uvnitř objektu bylo dodržení přesnosti kontrolováno pomocí pásma.

4.4 Laserové skenování

4.4.1 Postup skenování

Nejprve byl naskenován prostor hrobky. Před samotným skenováním zde byly rozmístěny kulové terče, 6 „malých“ terčů bylo umístěno na zemi, 2 velké terče byly umístěny na stativy.

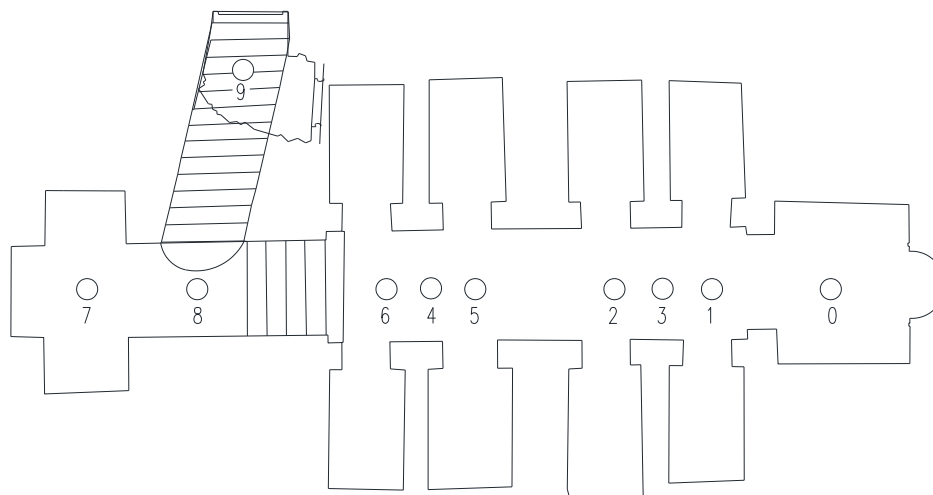
Dříve než začalo samotné skenování, bylo třeba nastavit parametry skenování. Jedná se o nastavení kvality a rozlišení, které umožňuje mezi těmito veličinami balancovat, pro získání optimálního výsledku. Zvyšování kvality přímo neovlivňuje přesnost výsledného skenu, pouze redukuje šum. Při zvyšování kvality, roste úměrně doba skenování. To samé platí i obráceně. Pro skenování byl zvolen skenovací profil Indoor do 10 m. Bylo skenováno bez barvy a mračna byla horizontována díky zapnutému kompenzátoru. Pro skenování bylo nastaveno rozlišení 1/8, které odpovídá vzdálenosti bodu 11 mm na 10 m. Parametry skenování jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4.4).

Nastavení parametrů skenování - uvnitř	
Rozlišení:	1/8
Kvalita:	4x
Doba trvání jednoho skenu cca [mm:ss]:	2:47
Velikost skenu [Pt]:	5120 x 2134
Velikost skenu v jednotkách Mega points [MPts]:	10.9
Vzdálenost bodu [mm/10 m]:	11.272

Tab. 4.4: Nastavení parametrů skenování - uvnitř

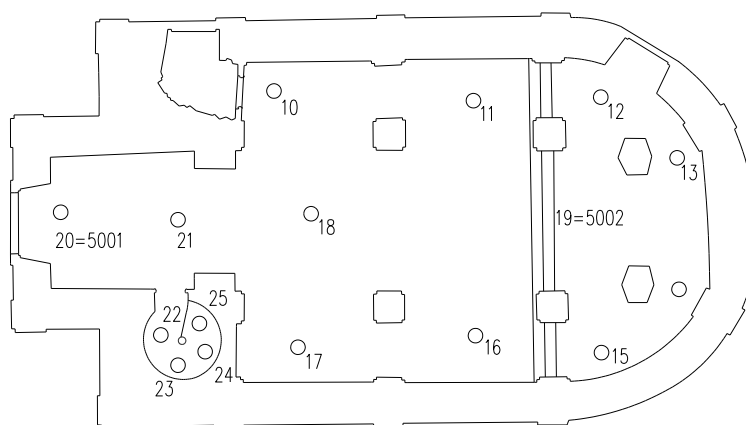
Postupně bylo v hrobce naskenováno celkem 9 skenů, pozice skeneru jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 4.4), poté byly malé kulové terče přemístěny nahoru do přízemí kaple

a jeden velký kulový terč (průměr 200 mm) byl přemístěn do přízemí kaple. Následně bylo naskenováno schodiště spojující hrobku s prostory kaple.

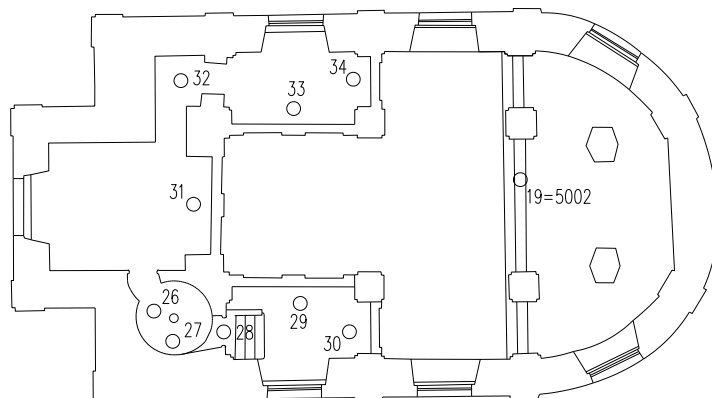


Obr. 4.4: Pozice skeneru – hrobka

Při skenování v přízemí byly využity jak velké kulové terče na stativech, tak malé kulové terče umístěné na zemi. Celkem bylo v přízemí naskenováno 13 skenů. Poté bylo naskenováno točité schodiště propojující přízemí s druhým nadzemním podlažím. Protože prostor točitého schodiště byl značně stísněný, nebyly zde kromě první a poslední pozice vůbec použity kulové terče. Na schodišti bylo dohromady naskenováno 6 skenů. Na obrázku (Obr. 4.5) jsou zobrazeny pozice skeneru v přízemí a také některé pozice na točitém schodišti. V patře pak byly opět využity velké kulové terče, kdy jeden byl záměrně ponechán na stanovisku 19 v přízemí, které odpovídá bodu 5002 bodového pole. Tato situace je zobrazena na obrázku (Obr. 4.6). Díky tomu byly skeny ve druhém patře dobře provázány se skeny v přízemí. Celkem bylo ve druhém patře naskenováno 7 skenů.



Obr. 4.5: Pozice skeneru 1NP – schéma vytvořené K. Dvořákovou



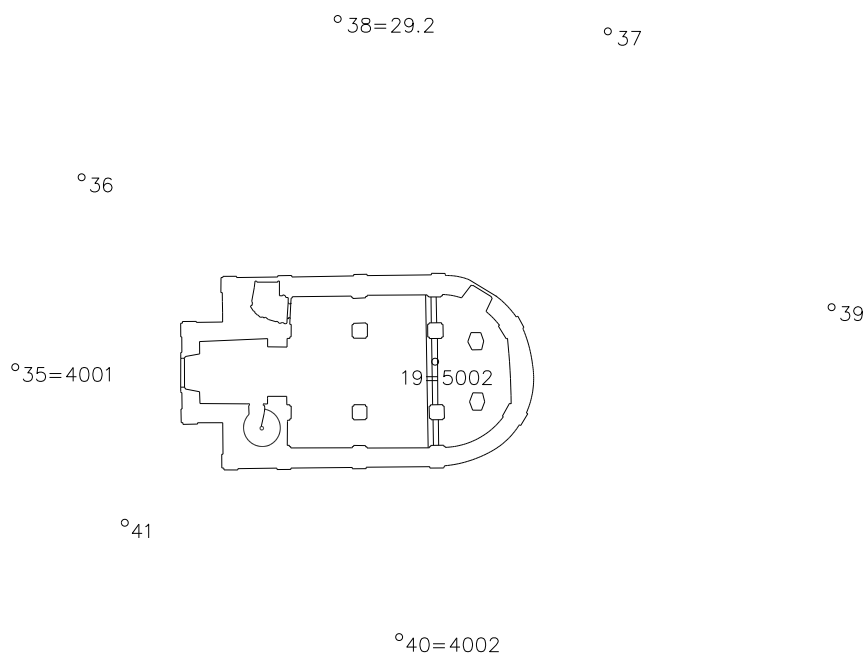
Obr. 4.6: Pozice skeneru 2NP – schéma vytvořené K. Dvořákovou

Po naskenování vnitřních prostor proběhlo skenování kaple zvenku. Protože bylo venku skenováno z větší vzdálenosti, bylo nutné změnit parametry skenování. Pro skenování byl použit skenovací profil Outdoor 20 m. Opět bylo skenováno bez barvy a mračna byla horizontována. Také bylo nastaveno rozlišení 1/4, které odpovídá vzdálenosti bodu 6 mm na 10 m. Nastavené parametry skenování jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4.5).

Při skenování na stanovisku 38, které odpovídá bodu 4001 bodového pole, byl stále ponechán jeden kulový terč uvnitř kostela na stanovisku 19 (bod 5002), což umožnilo napojení skenů zvenku na skeny uvnitř kostela. Venku bylo pořízeno 7 skenů, pozice skeneru venku jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 4.7).

Nastavení parametrů skenování - venku	
Rozlišení:	1/4
Kvalita:	4x
Doba trvání jednoho skenu cca [mm:ss]:	8:09
Velikost skenu [Pt]:	10240 x 4267
Velikost skenu v jednotkách Mega points [MPts]:	43.7
Vzdálenost bodu [mm/10 m]:	6.136

Tab. 4.5: Nastavení parametrů skenování – venku



Obr. 4.7: Pozice skeneru - vně objektu – schéma vytvořené K. Dvořákovou

Celkem bylo pořízeno 42 skenů, z toho 35 vevnitř a 7 venku. Tím bylo skenování dokončeno.

4.5 Fotografování objektu

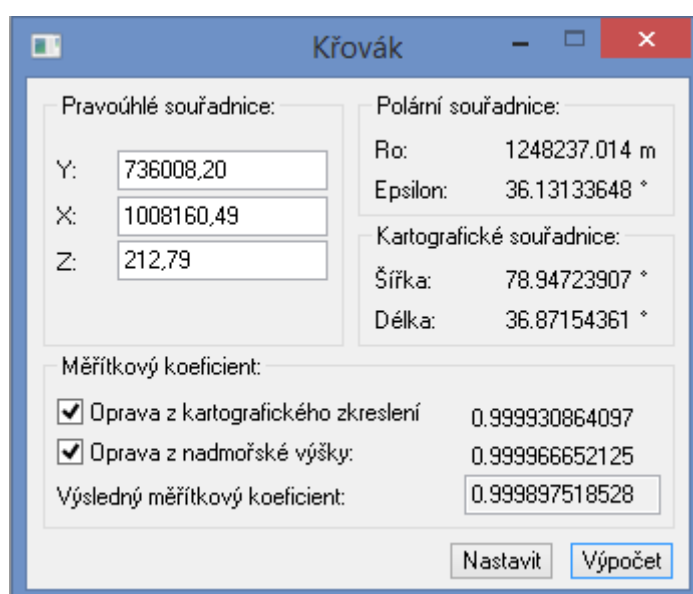
Během měření byla pořízena pracovní fotodokumentace kostela sv. Ducha. Tato dokumentace sloužila především při zpracování jako zdroj informací, nejedná se o profesionální fotodokumentaci vhodnou k archivaci. Pro pořízení snímků byl použit mobilní telefon.

5. ZPRACOVÁNÍ

5.1 Výpočet měřítkové sítě

Měření získaná měřením totální stanicí a GNSS přijímačem byla dále zpracovávána v programu Groma 8.

Před načtením zápisníku do Gromy, byl vypočten měřítkový koeficient, přičemž byla započtena oprava z kartografického zkreslení a také oprava z nadmořské výšky. Pro určení měřítkového koeficientu byl použit bod 29.2. Na obrázku (Obr. 5.1) je zobrazen výsledný měřítkový koeficient, který je roven 0.999898.



The screenshot shows a window titled "Křovák" with the following fields and values:

- Pravoúhlé souřadnice:**
 - Y: 736008,20
 - X: 1008160,49
 - Z: 212,79
- Polární souřadnice:**
 - Ro: 1248237,014 m
 - Epsilon: 36,13133648 °
- Kartografické souřadnice:**
 - Šířka: 78,94723907 °
 - Délka: 36,87154361 °
- Měřítkový koeficient:**
 - Oprava z kartografického zkreslení: 0,999930864097
 - Oprava z nadmořské výšky: 0,999966652125
 - Výsledný měřítkový koeficient: 0,999897518528

Buttons: "Nastavit" and "Výpočet".

Obr. 5.1: Výsledný měřítkový koeficient

V dalším kroku byl vypočten oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad vycházející z bodu 29.2 s orientací na bod 29.1 a končící na bodě 29.1 s orientací na bod 29.2. Parametry pořadu jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5.1).

Parametry polygonového pořadu	
Odchylka Y [m]	-0.009
Odchylka X [m]	0.013
Polohová odchylka [m]	0.016
Výškový uzávěr [m]	-0.019

Tab. 5.1: Parametry polygonového pořadu

Podrobné body a body rajónu byly vypočteny pomocí polárního výpočtu dávkou. V tabulce (Tab. 5.2) jsou pouze uvedeny souřadnice bodů polygonového pořadu a body

5001 až 5003, které tvoří bodové pole. Protokoly výpočtu a seznam vypočtených souřadnic jsou součástí elektronických příloh na přiloženém DVD v adresáři “vypocty”.

Č.b.	Y S-JTSK	X S-JTSK	Z - Bpv
291	735995.610	1008207.970	213.150
292	736008.200	1008160.490	212.790
4001	736035.590	1008158.070	212.104
4002	736034.354	1008185.310	211.822
5001	736028.861	1008166.725	213.250
5002	736020.449	1008177.085	213.549
5003	736005.303	1008191.878	213.374

Tab. 5.2: Bodové pole - souřadnice

5.1.1 Porovnání GNSS a TS souřadnic

Z měření v terénu byly získány souřadnice určené totální stanicí a také souřadnice určené metodou GNSS. Tyto souřadnice byly mezi sebou porovnány, výsledné odchylky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5.3). Souřadnice GNSS byly určeny pro ověření souřadnic bodového pole.

Č.b.	GNSS			TS (nebo převzaté)			Porovnání		
	Y [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]	X [m]	Z [m]	Δ Y [mm]	Δ X [mm]	Δ Z [mm]
292	736008.245	1008160.494	212.826	736008.200	1008160.490	212.790	-0.045	-0.004	-0.036
4001	736035.635	1008158.082	212.142	736035.590	1008158.070	212.104	-0.044	-0.012	-0.037
4002	736034.408	1008185.306	211.864	736034.354	1008185.310	211.822	-0.053	0.005	-0.041
291	735995.659	1008207.970	213.177	735995.610	1008207.970	213.150	-0.049	0.000	-0.027
5003	736005.364	1008191.885	213.442	736005.303	1008191.878	213.374	-0.061	-0.006	-0.068

Tab. 5.3: Porovnání souřadnic

Z tabulky jsou patrné výrazné odchylky v Y-ové a Z-ové souřadnici. Jednostranně orientované odchylky Y-ové a Z-ové souřadnici mohou ukazovat na posun souřadnic v poloze i ve výšce. Proto byly pro kontrolu vypočteny délky ze souřadnic mezi body bodového pole 29.1 a 29.2 dle vzorce:

$$d_{xy} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (5.1)$$

Prostorová délka pak byla určena ze vzorce:

$$d_{xyz} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2} \quad (5.2)$$

Číslo bodu		Vzdálenost TS (nebo převzaté) [m]	Vzdálenost GNSS [m]	Rozdíl [mm]
i	j			
29.2	29.1	49,121	49,115	5

Tab. 5.4: Porovnání délek určených ze souřadnic

Číslo bodu		Prostorová vzdálenost TS (nebo převzaté) [m]	Prostorová vzdálenost GNSS [m]	Rozdíl [mm]
i	j			
29.2	29.1	49,122	49,117	5

Tab. 5.5: Porovnání prostorových délek určených ze souřadnic

Vypočtené délky ze souřadnic jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 5.4) a (Tab. 5.5). Protože nebylo nutné zavádět nové souřadnice, bylo dále pracováno pouze se souřadnicemi získanými z měření totální stanicí, nebo se souřadnicemi převzatými ze státního bodového pole.

5.1.2 Kontrolní měření

V terénu byly zaměřeny kontrolní míry, které slouží k hodnocení dosažené přesnosti mračna bodů. Kontrolní oměrné byly uvnitř budovy zaměřeny pomocí pásma, venku bylo dodržení přesnosti kontrolováno pomocí měření totální stanicí. Kontrolnímu měření kostela Sv. Ducha se podrobně věnuje Bc. Karolína Dvořáková v kapitole 7 své diplomové práce: Zaměření a zpracování vybrané výkresové dokumentace kostela sv. Ducha v Liběchově [14].

Maximální rozdíl mezi vzdáleností získanou měřením a vzdáleností určenou z mračna bodů byl 39 mm. Tato hodnota byla naměřena venku, kde byla ztížená identifikace bodů. Vevnitř rozdíl nepřekročil hodnotu 18 mm.

5.2 Zpracování dat získaných dronem

V první řadě je nezbytné nutně poznamenat, že v rámci této diplomové práce neproběhlo ani měření dronem zájmového objektu ani následné zpracování do podoby mračna bodů. Měření i zpracování je dílem prof. Ing. Martina Štronera, Ph.D., který nám laskavě výsledná data poskytl pro naši potřebu. V této kapitole se pokusím nastínit, jakým způsobem postupoval. Při zpracování této kapitoly bylo čerpáno z těchto zdrojů [15],[16],[17],[18] a [19].

Hlavním důvodem celého zaměření zájmového objektu dronem bylo získání přesného mračna bodů střechy a horních partií kostela sv. Ducha, které nebylo možné v rámci pozemního laserového skenování zaměřit.

5.2.1 Přístroje a pomůcky použité pro měření:

Pro pořízení fotografií střechy potřebných pro vyhotovení mračna bodů byl použit dron DJI Spark (Obr. 5.2). Jeho technická specifikace je uvedena v tabulce (Tab. 5.6). Jedná se o malý dron, který i při své velmi malé hmotnosti 300 g dokáže vyvinout rychlost až 50 km/h. Maximální letový čas se při optimálních podmínkách může rovnat až 16 minutám. Dron DJI Spark má zabudovaný systém FlightAutonomy, který se skládá z obrazového pozičního systému (VPS), 3D vnímání, dvoupásmové GPS, vysoce precizní interní měřicí jednotky a 24 výkonných výpočetních jader. Dron se ovládá pomocí telefonu, vysílačem nebo gesty.



Obr. 5.2: DJI Spark [15]

Technická specifikace DJI Spark	
Rozměry	143 x 143 x 55 mm (nerozložitelný)
Hmotnost (včetně baterie a vrtulí)	300 g
Maximální rychlost	14 m/s (Sportovní režim, bezvětří)
Maximální letový čas	16 minut (bezvětří, konstantní rychlost 20 km/h)
Maximální vzdálenost letu	5.3 km (bezvětří)
Satelitní systém	GPS/GLONASS
Technická specifikace kamery	
Maximální rozlišení obrazu	3968 x 2976 px
Senzor	1/2.3" CMOS
Efektivní pixely	12 Mpx (11.8 Mpx)
Zorný úhel	81.9°
Ohnisková vzdálenost	25 mm (ekvivalent 35 mm formátu)
Clona	f/2.6
Dálkový ovladač	
Provozní frekvence	2.412 - 2.462 GHz, 5.745 - 5.825 GHz

Tab. 5.6: Technická specifikace DJI Spark [15]

Kromě fotografií pořízených pomocí kamery dronu, byl objekt také fotografován a to digitální zrcadlovkou Olympus E-300 (Obr. 5.3). Tato zrcadlovka používá pro ještě lepší výsledky ultrazvukový antiprachový filtr (Supersonic wave filter). Společně s ní byl použit také objektiv ZUIKO DIGITAL14-45 mm. Technické specifikace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5.7).

Technická specifikace Olympus E-300	
Typ snímače	CCD
Velikost snímače	17.3 x 13 mm
Rozlišení	8 miliónů pixelů
obrazový procesor	TruePic TURBO
Objektiv ZUIKO DIGITAL 14-45 mm	
Ohnisková vzdálenost	14 - 45 mm
Typ	S proměnlivým ohniskem (ZOOM)
Bajonet	4/3 standard

Tab. 5.7: Tech. specifikace Olympus E- 300 a ZUIKO DIGITAL 14-45 mm [16],[17]



Obr. 5.3: Zrcadlovka Olympus E-300 [20]

5.2.2 Měření

Při měření se vyskytly problémy, kdy z důvodu přítomnosti vysílače v blízkosti kostela, nebylo možné objekt z jedné strany patřičně dronem nafotit. Jako problematické se také ukázalo nafocení kostela zepředu zrcadlovkou Olympus E-300, kdy nebylo možné fotit z patřičné vzdálenosti přes vzrostlé stromy.

5.2.3 Agisoft PhotoScan 1.2.6

Program Agisoft Photoscan je profesionální software, který slouží pro automatické zpracování digitálních fotografií a pro tvorbu 3D prostorových dat. Své využití nachází v aplikaci GIS, dokumentaci památkové péče a v mnoha dalších odvětvích. Pro vytvoření mračna bodů střechy kostela sv. Ducha byl použit Agisoft Photoscan verze 1.2.6.

Program Agisoft PhotoScan pracuje na základě technologie *image based modeling*. Tato technologie vychází z principu pořízení dostatečného množství snímků okolo objektu, s velkým překrytem, ideálně 70 – 80 %. Kalibrace použitého fotoaparátu je přímo určována v rámci projektu a vychází z principu nadbytečného množství nalezených odpovídajících si spojovacích bodů. Právě to, že není nutná kalibrace, umožňuje práci v programu i širší veřejnosti, bez nutnosti rozsáhlých znalostí problematiky fotogrammetrie.

Nejprve je vypočteno řídké mračno, které obsahuje spojovací/klíčové body. Při výpočtu je využíváno technologie SIFT (Scale-invariant feature transform). Jedná se o automatické nalezení korespondencí mezi dvojicí obrázků. Nejprve jsou nalezena významná místa neboli features (body zájmu), každý bod zájmu je možné popsat pomocí deskriptoru. Deskriptory jsou neměnné vůči následujícím operacím: zvětšení/zmenšení, posun, 2D rotace, šum, změna kontrastu, jasu, osvětlení a jsou

částečně invariantní vůči prostorové změně úhlu pohledu. Stejně body na dalších snímcích pak budou mít stejné deskriptory. Na základě řídkého mračka jsou vypočteny prvky vnitřní a vnější orientace a v dalším kroku pak husté mračno bodů neboli *dense point cloud*.

5.2.4 Zpracování

V prvním kroku byl vytvořen Chunk (soubor snímků), do kterého byly importovány snímky z dronu DJI Spark i z digitální zrcadlovky Olympus E-300. Celkem bylo importováno 96 snímků. Jelikož snímky z dronu byly v souřadnicích WGS84, byly z projektu exportovány, přepočítány na S-JTSK a Bpv, a znovu do projektu nahrány.

Prvky vnitřní a vnější orientace byly určeny pomocí funkce *Align Photo*. Přesnost odhadu prvků byla zvolena MEDIUM, možnost *Pair Preselection* nebyla aktivována. Při aktivování této možnosti, jsou vypočteny podmnožiny snímků, ve kterých se poté počítají spojovací body. Další nastavené parametry jsou dostupné k nahlédnutí v protokolu z programu Agisoft Photoscan, který je součástí elektronických příloh na přiloženém DVD v adresáři "agisoft_photoscan".

Umístění v prostoru a rozměr byl určen pomocí vřícovacích bodů určených měřením totální stanicí. Varianta postupu přes překrytové území se ukázala jako nevhodná z důvodu odlišné barevnosti digitálních fotografií pořízených dronem a digitální zrcadlovkou. Vřícovací body na objektu byly určeny z měření Leica Flexline TS06, tyto body byly do Chunk importovány. Při importu byl zvolen souřadnicový systém Local Coordinates. Vřícovací body byly na snímcích označeny, vždy musel být každý jednotlivý vřícovací bod označen minimálně na dvou snímcích. Celkem bylo použito 57 vřícovacích bodů.

Následně bylo vytvořeno husté mračno bodů pomocí funkce *Build Dense Cloud*. Kvalita byla zvolena *High*. Proměnná Depth filtering, která filtruje data na základě jejich prostorové polohy, zde byla nastavena na hodnotu *Moderate*. Výsledkem je neočištěné obarvené mračno bodů (Obr. 5.4), celkem přes 16 miliónů bodů, které byly exportovány ve formátu TXT. Díky problémům při měření, které jsou popsány v kapitole 5.2.2, jsou ve výsledném mračnu hluchá místa ve snížených partiích. Mračno pořízené fotogrammetricky ale vhodně doplňuje mračno pořízené pozemním statickým skenerem v oblasti střechy.



Obr. 5.4: Mračno bodů - program Agisoft PhotoScan 1.2.6

5.3 Zpracování dat laserového skenování

5.3.1 Program Leica Cyclone

Program Leica Cyclone je software, který slouží pro zpracování 3D mračen bodů. Své uplatnění nachází napříč mnoha odvětvími, setkat se s ním můžeme v zeměměřictví, inženýrské geodézii, technologických a konstrukčních aplikacích. Software využívá pro práci databázovou strukturu.

5.3.2 Vstupní úprava naměřených dat

Naměřená data byla stažena ze skeneru ve společnosti Geotronics Praha, s.r.o., kde byla také zředěna na průměrnou vzdálenost/hustotu 5 mm a převedena do ASCII formátu. Takto upravená data byla následně převedena do formátu TXT, se kterým se dále pracovalo.

V programu Leica Cyclone byla vytvořena databáze Duch.imp, v níž byl vytvořen nový projekt. Do tohoto projektu byla importována data ve formátu TXT. Při importu byly importovány nejen souřadnice XYZ, ale i hodnota intenzity a hodnoty normály ve směru X, Y a Z. Následně byly importováno mračno bodů vytvořené v programu Agisoft PhotoScan prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D.

Při měření byly použity kulové terče o průměru 145 mm a 200 mm. Tyto terče bylo nutné v projektu vymodelovat pro následnou registraci. Průměr koule, v Cyclone označován jako Sphere, byl nastaven jako fixní přes funkci *Edit* → *Object Preferences*. Koule byly vytvářeny pomocí funkce *Create Object* → *Region Grow*. Přesnost vymodelovaného kulového terče byla kontrolována přes hodnotu *Maximum Absolute Error* (maximální absolutní odchylka), která je dostupná přes informace u každého objektu. Každé takto vymodelované kouli, reprezentující jeden vlíčovací bod, bylo přiřazeno ID a to pomocí funkce *Tools* → *Registration* → *Add/Edit Registration Label*. Označení ID kulových terčů muselo být ve všech ScanWorldech shodné.

5.3.3 Registrace mračen

Z důvodu velkého počtu skenů a odlišných způsobů registrace, byly použity dílčí registrace, které byly následně registrovány společně.

Při skenování točitého schodiště vedoucího z přízemí do druhé podlaží nebyly vůbec použity kulové terče. Proto bylo registrováno přes překrytové území. Jedná se o skeny č. 22 až č. 30 a kromě schodiště byl tímto způsobem připojen i jeden z balkónů v druhém patře. Pro registraci přes překrytové území byla využita funkce *Cloud Constraints Wizard*. Vždy je zvoleno jedno fixní mračno a jedno volné, které se transformuje do souřadnicového systému prvního mračna. Pro spojení dvou sousedících skenů postačí přibližně označit 3 identické body na obou mračnech. V tomto případě byla průměrná absolutní odchylka (*Absolute mean error*) dosažena 1 mm.

Při registraci mračen bodů v druhém podlaží (skeny č. 31 až č. 34), byla použita kombinace metody registrace přes kulové terče a přes překrytové území. Při registraci přes kulové terče byla použita funkce *Registration* → *Register*. Hodnota průměrné absolutní odchylky byla v tomto případě 1 mm.

V dalším kroku byla registrována veškerá mračna uvnitř zájmového objektu, jednalo se o skeny hrobky a přízemí č. 0 až č. 21 a již zaregistrovaná mračna schodiště a druhého podlaží. Při kontrole byly zjištěny odchylky na stanovisku 10 a 15. Byly rozpoznány chybně vymodelované koule č. 11 a č. 14, důvodem těchto odchylek mohlo být vymodelování koule z malého počtu bodů. Bohužel kouli č. 11 se nepodařilo adekvátně opravit, a proto byl celý sken č. 10 smazán a opětovně nahrán do programu Leica Cyclone. Nově vymodelovaná koule již splňovala požadavky na přesnost a registrace mohla být úspěšně dokončena. Hodnota průměrné absolutní odchylky byla v tomto případě 2 mm.

Poté, co byla mračna uvnitř úspěšně zregistrována, mohla být napojena na mračna zvenku objektu, konkrétně na skeny č. 35 až č. 41. Kromě již zmíněných skenů zvenku a zevnitř do registrace vstupoval také textový soubor se souřadnicemi stanovišek, které byly totožné s body bodového pole. Hodnota průměrné absolutní odchylky byla rovna 3 mm.

Protože každý bod mračna o souřadnicích x,y,z je orientován v obecně orientovaném souřadnicovém systému s počátkem v místě pozice skeneru, bylo nutné opravit Z-tové souřadnice o hodnotu výšky skeneru nad bodem. Díky tomu mohlo být celé mračno transformováno do S-JTSK a Bpv. Seznam souřadnic těchto stanovišek skenování je společně s označením výše zmíněných bodů uveden v tabulce (Tab. 5.8). Na levé straně je uvedena skutečná výška bodu, napravo jsou uvedeny výšky skeneru nad bodem.

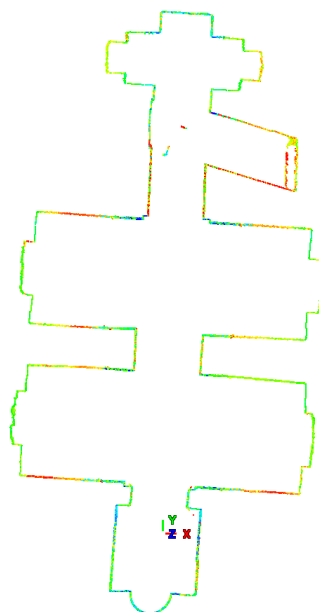
Měření TS				Laserové skenování	
Č. b.	Z - Bpv [m]	Y - S-JTSK [m]	X - S-JTSK [m]	Z - Bpv [m]	č. stan.
29.2	212.790	736008.200	1008160.490	214.015	038
4001	212.104	736035.590	1008158.070	213.514	035
4002	211.822	736034.354	1008185.310	213.128	040
5001	213.250	736028.861	1008166.725	214.552	020
5002	213.549	736020.449	1008177.085	214.929	019

Tab. 5.8: Souřadnice stanovišek laserového skenování

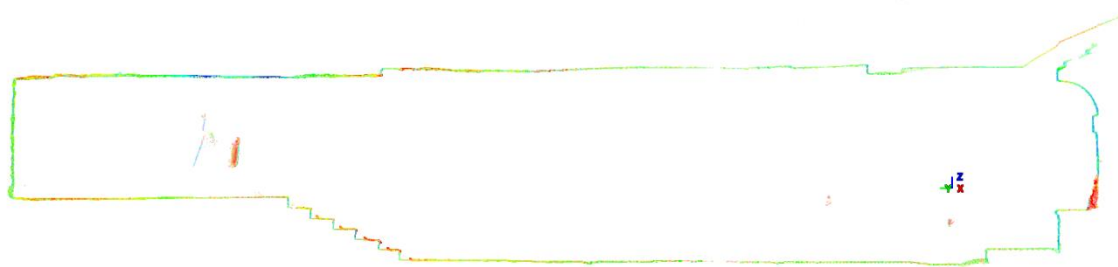
V neposlední řadě byla propojena mračna bodů z dat laserového skenování a z měření dronu. Nešlo však o registraci, obě mračna byla již napojena na S-JTSK a Bpv, pouze bylo mračno získané z dronu nakopírované do výsledného zregistrovaného mračna z měření laserovým skenerem.

5.3.4 Kontrola registrace

Při registraci byla napojená mračna kontrolována pomocí funkce *Registration* → *View Interim Result*. Díky této funkci bylo možné zobrazit a zkontrolovat návaznost mračen ještě před uzavřením registrace. Nepřesnosti byly určovány pomocí velmi tenkého horizontálního nebo naopak vertikálního řezu spojeným mračnem a jeho následným zobrazením. Z těchto řezů mohlo být jasně patrné, jestli mračna na sebe navazující a tvoří souvislou kresbu, nebo zda je kresba někde zdvojená. Tímto způsobem byla například odhalena nepřesnost v modelování kulového terče, která byla zmíněna v předešlé kapitole. Ukázky řezů jsou uvedeny na obrázcích (Obr. 5.5) a (Obr. 5.6).



Obr. 5.5: Horizontální řez hrobkou v pohledu shora



Obr. 5.6: Vertikální řez hrobkou v pohledu z boku

5.3.5 Místní souřadnicový systém

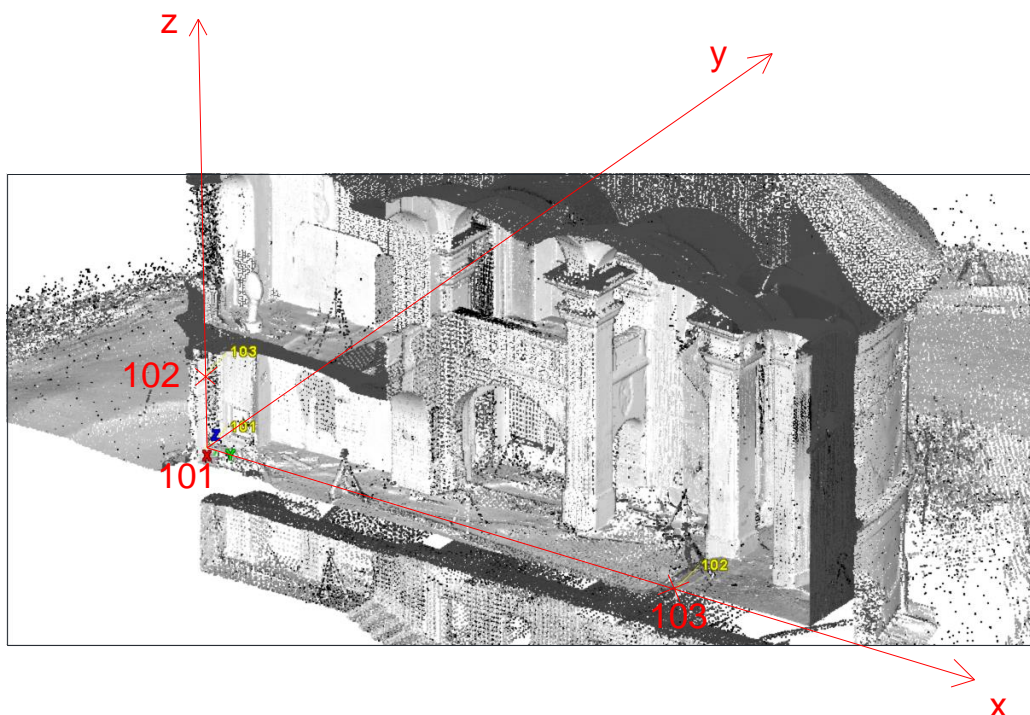
Místní souřadnicový systém byl v programu Leica Cyclone zvolen kvůli tvorbě výkresu. Počátek souřadnicového systému a srovnávací rovina se většinou volí na podlaze 1. nadzemního podlaží. To však nemohlo být v tomto případě uskutečněno, jelikož podlaha v přízemí je značně nerovná a dlažba nedrží pevně na svém místě. Proto byl pro počátek souřadnicové soustavy zvolen kamenný práh ve vstupních dveřích, jehož výška je snadno identifikovatelná.

Pro vytvoření místního souřadnicového systému byla zvolena metoda na základě 3 bodů, dostupná přes funkci View \rightarrow Coordinate System \rightarrow Set from points. Pro tuto metodu je potřeba si nejprve v prostoru jasně definovat 3 body, které budou budoucí souřadnicový systém náležitě reprezentovat. V tabulce (Tab. 5.9) jsou uvedeny souřadnice těchto tří bodů v S-JTSK a Bpv a také v místní soustavě.

Č.b	Y - S-JTSK [m]	X - S-JTSK [m]	Z - Bpv [m]	Y - místní [m]	X - místní [m]	Z - místní [m]
101	-736029,835	-1008165,935	213,300	0,000	0,000	0,000
102	-736029,835	-1008165,935	215,300	0,000	0,000	2,000
103	-736021,050	-1008177,233	213,300	14,308	0,000	0,000

Tab. 5.9: Souřadnice bodů pro tvorbu místního souřadnicového systému

Definování souřadnic těchto tří bodů, ale nestačí pro jednoznačné vymezení souřadnicového systému. Jako výchozí bod místního souřadnicového systému byl zvolen bod 101, který je na kamenném prahu při vstupu do objektu. Bod 103 byl zvolen mezi dvěma hlavními sloupy u malého schodiště. Osa x směřuje do bodu 103, osa z pak do bodu 102. Tento systém je pravotočivý. Náčrt situace je zobrazen na obrázku (Obr. 5.7).

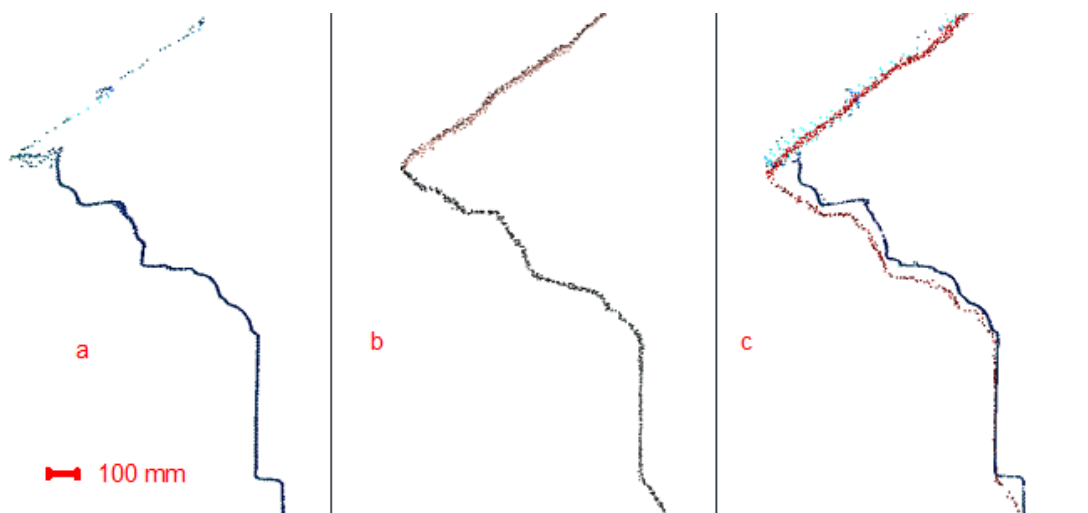


Obr. 5.7: Místní souřadnicový systém - náčrt situace

5.4 Porovnání mračen bodů

V rámci této diplomové práce bylo pořízeno mračno bodů nejen statickým pozemním skenerem FARO Focus 3D X 330, ale také pomocí kamery dronu DJI Spark a zrcadlovkou Olympus E-300. V následující kapitole budou obě tato mračna mezi sebou porovnána.

Pro porovnání byl využit tenký řez, který byl veden mračnem bodů střešní římsy zájmového objektu.

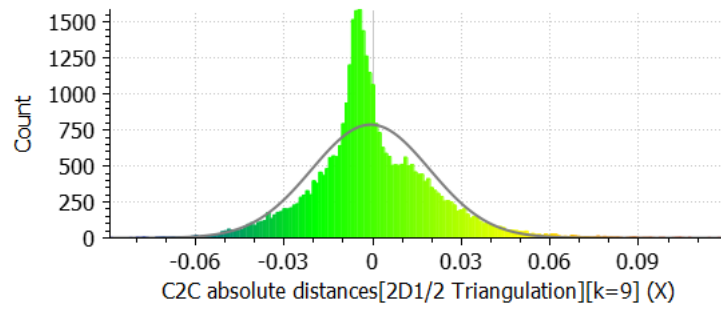


Obr. 5.8: Římse - řez mračnem - a) pozemní skener, b) fotogrammetricky c) překryt

Na obrázku (Obr. 5.8a) je zobrazen řez vedený mračnem pořízeným pomocí pozemního skeneru, detail skeneru byl 1 až 2 cm Na první pohled je zde možné pozorovat malé množství bodů na střeše, protože pozemní skener nebyl schopen střechu zaměřit. Oproti tomu mračno získané fotogrammetricky (Obr. 5.8b) pokrývá střechu dostatečným množstvím bodů, ale na rozdíl od pozemního skeneru nedosahuje na římsu pod střechou takové míry podrobnosti a je značně vyhlazené. To byl také důvod, proč byly tyto dvě metody spolu kombinovány. Na obrázku (Obr. 5.8c) jsou zobrazeny překrývající se řezy oběma mračny, červeně je zde zobrazeno mračno pořízené fotogrammetricky, modře pak mračno z pozemního skeneru. Zde je možné pozorovat výrazné rozdíly na podrobnostech římsy, naopak zdi a střecha na sebe sedí velmi dobře.

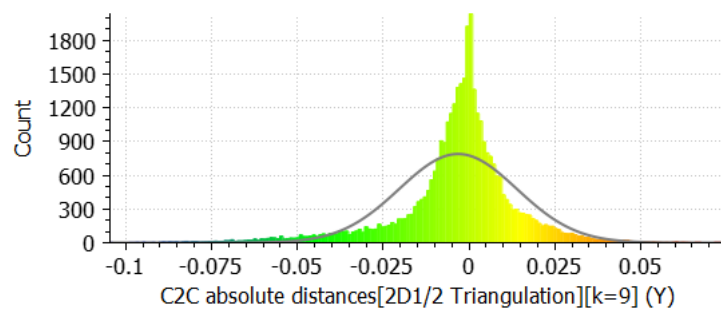
Další analýza byla provedena v programu CloudCompare. Zde byl porovnáván přibližně 1 m široký řez vedený střešní římsou. Pro porovnání byla použita funkce *Cloud-to-Cloud Distance*, která počítá odlehlost mezi dvěma mračny bodů. Jako referenční model bylo zvoleno mračno z pozemního skeneru, protože obsahuje více bodů. Při výpočtu bylo nastaveno rozdělení souřadnic X, Y a Z, které umožňuje po výpočtu pracovat s výsledky v jednotlivých souřadnicích. Vypočtené odlehlosti v souřadnicích X a Y byly oproti vzdálenostem v souřadnici Z zanedbatelné, průměrná odlehlost mezi mračny se pohybovala v řádech několika milimetrů. Histogramy odlehlosti v souřadnici X a Y jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 5.9) a (Obr. 5.10)

Gauss: mean = -0.000607 / std.dev. = 0.019805 [189 classes]



Obr. 5.9: Histogram odlehlosti v souřadnici X

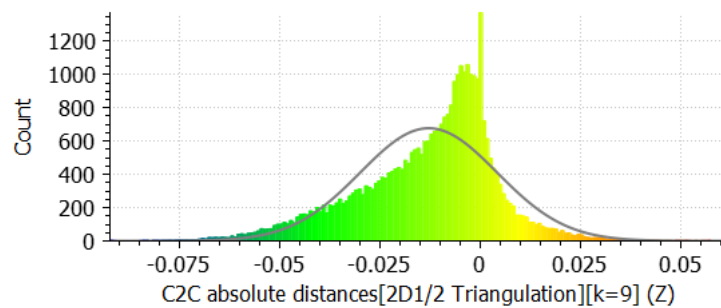
Gauss: mean = -0.003246 / std.dev. = 0.017023 [189 classes]



Obr. 5.10: Histogram odlehlosti v souřadnici Y

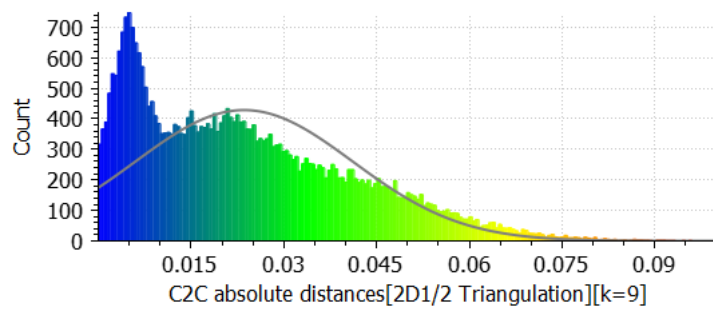
V souřadnici Z byla průměrná odlehlost mezi mračny rovna 12 mm (Obr. 5.11). Na obrázku (Obr. 5.12) je zobrazen histogram celkové odlehlosti, průměrná celková odlehlost byla rovna 24 mm, maximální dosažená odlehlost byla 10 cm. Celková odlehlost na římse je pak zobrazena na obrázku (Obr. 5.13).

Gauss: mean = -0.012959 / std.dev. = 0.016992 [189 classes]

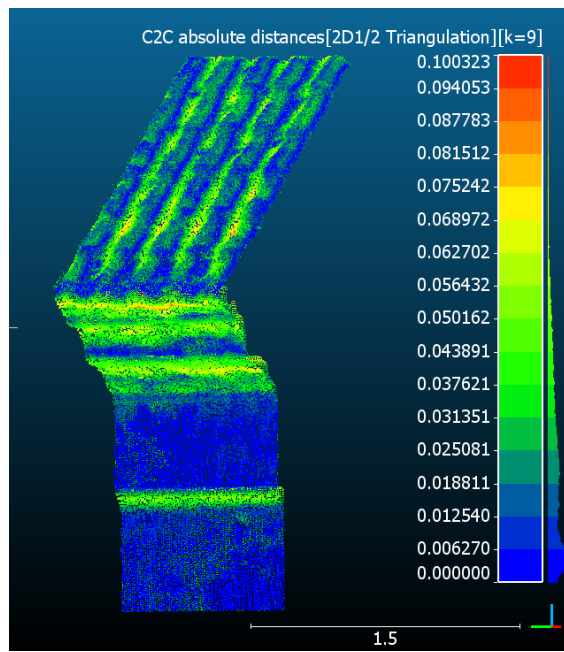


Obr. 5.11: Histogram odlehlosti v souřadnici Z

Gauss: mean = 0.023723 / std.dev. = 0.017483 [189 classes]



Obr. 5.12: Histogram odlehlosti modelu



Obr. 5.13: Celková odlehlost modelu

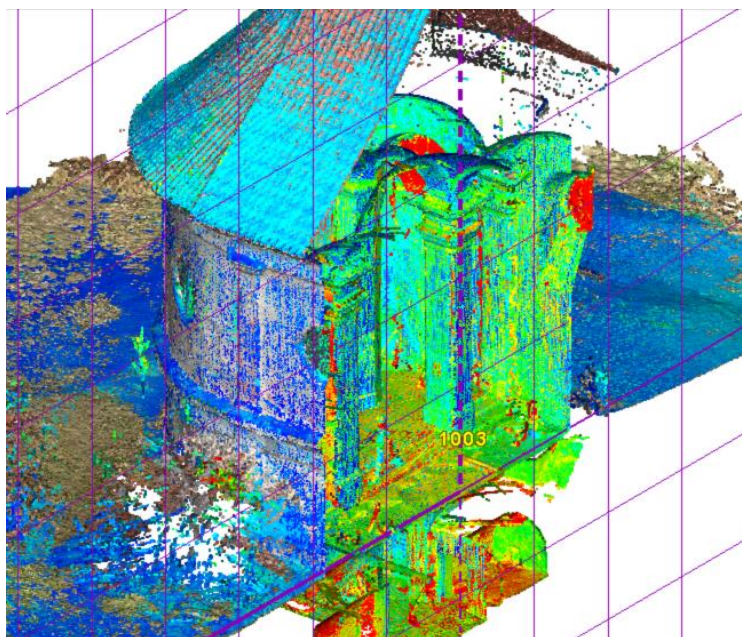
6. TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

6.1 Příprava v programu Leica Cyclone

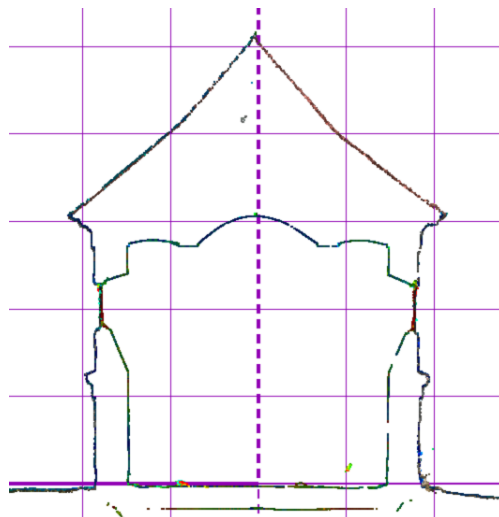
6.1.1 Volba referenční roviny

Pro tvorbu řezů i půdorysu byl zvolen stejný postup. Nejprve byla zvolena referenční rovina, což je rovina, ve které vzniká kresba. Nová referenční rovina se vytvoří přes funkci *Tools* → *Reference Plane* → *Set to (X-Y plane, X-Z plane, Y-Z plane)*. Zde byl využit místní souřadnicový systém, kdy rovina byla umísťována v rovině určené souřadnicovými osami, popřípadě byla vhodně odsazena. Odsazení roviny bylo možné měnit pomocí funkce *Tools* → *Reference Plane* → *Edit Active Plane*.

Po zvolení referenční roviny, byla vytvořena rovina řezu neboli *Cutplane*. Rovina řezu byla zvolena tak, aby byla zarovnána podél referenční roviny. Toho se docílilo pomocí funkce *Tools* → *Cutplane* → *Set from active ref plane*. *Cutplane* umožňuje pracovat ve dvou pohledech. První z nich, *View Half-Space*, umožňuje pohled na objekt, který je rozpůlen v rovině *Cutplane*, což bylo využito především při tvorbě řezů (Obr. 6.1). Druhou možností je funkce *View Slice*, díky které je možné zobrazit velmi tenký řez (Obr. 6.2).



Obr. 6.1: Leica Cyclone – View Half-Space



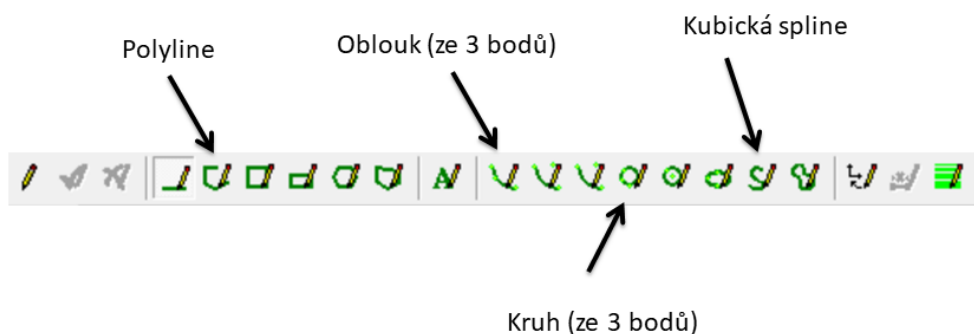
Obr. 6.2: Leica Cyclone - View Slice

6.1.2 Kresba

Vektorizace probíhala opět v programu Leica Cyclone. Pro vytvoření kresby bylo podstatné pracovat v ortografickém režimu, program nabízí také režim perspektivní, ten však není pro vektorizaci vhodný.

Pro zjednodušení práce bylo pracováno s vrstvami. Ty podobně jako v CAD programech umožňují vypínat/zapínat jednotlivé vrstvy, přiřadit jim vlastnosti (barvu) nebo je uzamknout pro editaci.

Kreslicí prvky jsou dostupné z funkce *Tools* → *Drawing*. Zde byly převážně využívány funkce pro tvorbu polyline, tvorbu oblouku na základě 3 bodů, tvorbu kruhu ze tří bodů a také byla výjimečně využita kubická spline. Paleta nástrojů pro kreslení je zobrazena na obrázku (Obr. 6.3).



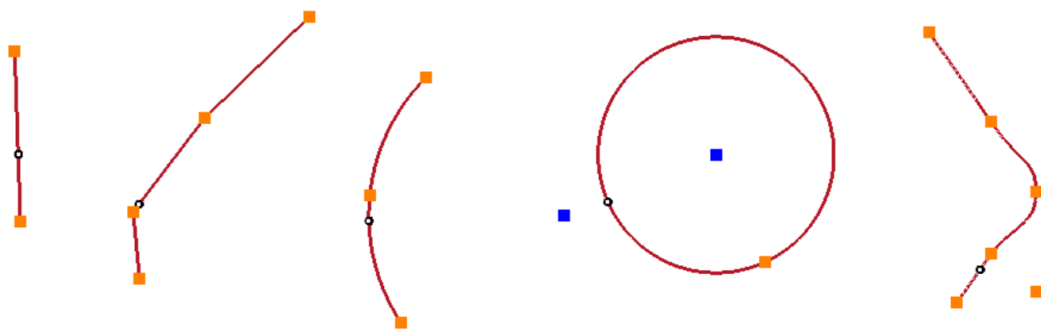
Obr. 6.3: Leica cyclone - Drawing tools

Komplikací se při práci ukázalo napojování kresby na sebe, aby linie byly uzavřené. Bohužel program Leica Cyclone nenabízí možnost úchopů (nájezdů), tak jak tomu je například v CAD programech. Pro napojení je nutné nejdříve vybrat obě linie, které chceme propojit, a po té tažením za uzlové body, s držením klávesy SHIFT linie na sebe

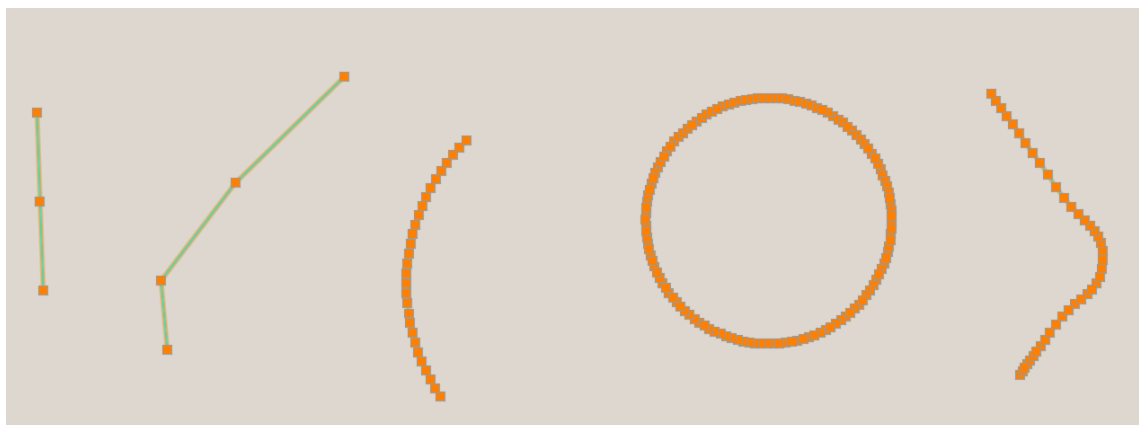
napojit. Pokud není v adekvátním místě uzlový bod k dispozici, lze ho vytvořit. To ovšem platí pouze u linií. U oblouků a potažmo kružnic není možné uzlové body jakkoliv vytvořit, a stávající tři body na oblouku a pouze jediný bod na kružnici se ukázali jako nedostačující. Ukázka uzlových bodů u objektů v programu Leica Cyclone je zobrazena na obrázku (Obr. 6.4). Jako vhodné řešení se ukázalo kresbu v tomto případě nenapojovat v Leica Cyclone, ale později ji editovat v AutoCADu.

6.1.3 Export

Vzniklá kresba byla z programu Leica Cyclone exportována ve formátu AutoCAD DXF R12 FORMAT. Takto vyexportovaná kresba byla otevřena v AutoCADu 2017 a uložena do formátu DWG. Již při exportu došlo k deformaci objektů, kromě linie, která se zobrazila jako úsečka, se všechny objekty zobrazily a chovaly jako 3D křivka. Ukázka objektů před exportem, a po exportu a následném otevření v AutoCADu je zobrazena na obrázcích (Obr. 6.4) a (Obr. 6.5). To, že se objekty chovaly jako 3D křivka, se ukázalo jako problematické, zejména, pokud se týká kótování. Z toho důvodu byla většina těchto křivek nakreslena v AutoCADu zcela znovu.



Obr. 6.4: Leica Cyclone - zleva line, polyline, oblouk, kružnice, kubická spline



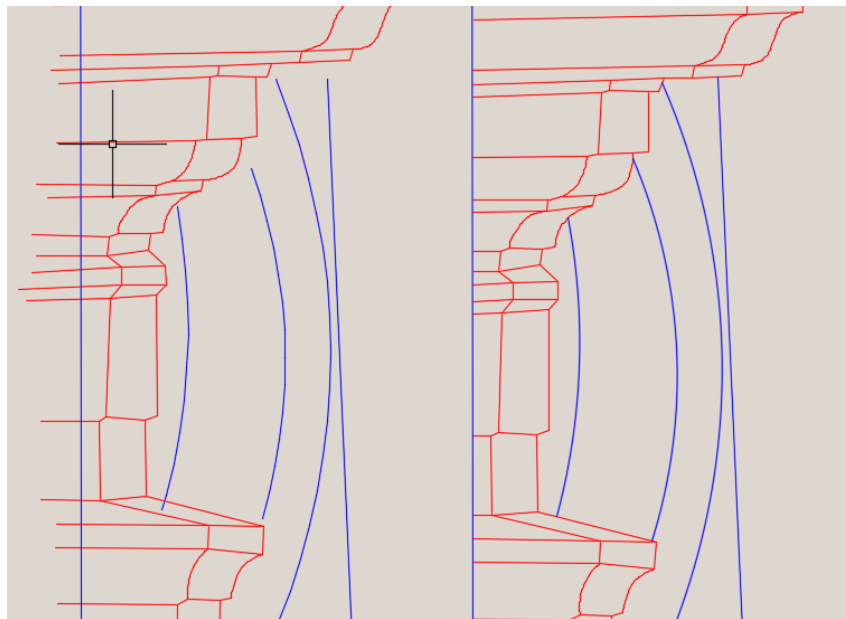
Obr. 6.5: AutoCAD 2017 - zleva původně line, polyline, oblouk, kružnice, kubická spline

6.2 AutoCAD 2017

AutoCAD 2017 je software, který se využívá pro 2D i 3D projektování a konstruování. Vyvíjen je společností Autodesk od roku 1982. Nejnovější dostupná verze je AutoCAD 2019, nicméně pro práci na této diplomové práci byla použita verze AutoCAD 2017.

6.2.1 Editace

Jak bylo zmíněno v kapitole 6.1.2, nebylo vždy možné na sebe linie v programu Leica Cyclone napojit. Z toho důvodu bylo nutné exportovanou kresbu v AutoCADu ještě upravit. Pro to byla použita funkce z palety *Modifikace* → *Oříznout*. Ukázka kresby před a po editaci je zobrazena na obrázku (Obr. 6.6).



Obr. 6.6: Kresba před a po editaci - AutoCAD 2017

6.2.2 Finální výkres

Poté, co byly dokončeny veškeré linie, mohly být výkresy okótovány. Veškeré kóty ve výkresu jsou uvedeny na milimetry, vždy byly ale zaokrouhleny na celé centimetry. Ve výkresech je tečkovanou čarou zobrazen pravděpodobný průběh prvků. Ke každému výkresu bylo doplněno rohové razítko, u půdorysu byla doplněna orientace na sever a byl zde vyznačen průběh řezů. Celkem vzniklo 6 tištěných výkresů, jejich seznam je uveden v tabulce (Tab. 6.1).

Název výkresu	Č. výkresu	Měřítko	Formát papíru
Půdorys hrobka	5	1:50	A1
Půdorys hrobka - klenby	6	1:50	A1
Řez A - A'	7	1:50	A1
Řez B - B'	8	1:50	A1
Řez C - C'	9	1:50	A1
Řez D - D'	10	1:50	A2

Tab. 6.1: Seznam tištěných výkresů

Rovina řezu byla v půdorysu hrobky vedena ve výšce -2,850 m (místní soustava). Klenby ve výkresu byly zobrazeny jako výškový rozdíl mezi patou klenby a jejím vrcholem. Tento výškový rozdíl byl pak vynesena ve výkresu, čímž byla klenba sklopena. Pro zobrazení sklopených klenb byla použita čerchovaná čára. Každá klenba byla okótována výškovou kótou. Tato výšková kóta se vztahuje k úrovni podlahy v každé konkrétní místnosti. V hrobce se nachází dvě atypické klenby, pro lepší představu o podobě klenb jsou v příloze (Příloha 2: Klenby v hrobce u schodiště - Recap - RealView) tyto klenby zobrazeny. Při kótování řezů byly na vhodných místech umístěny relativní kóty. Jelikož se v hrobce nachází velké množství klenb, byly pro přehlednost vyhotoveny dva výkresy půdorysu. V prvním půdorysu jsou okótovány rozměry hrobky, ve druhém výkrese jsou sklopeny a okótovány klenby. V tabulce (Tab. 6.2) je zobrazen seznam vrstev použitých ve výkresu půdorysu.

Název vrstvy	Typ čáry	Tloušťka čáry [mm]	Popis
KLENBY		0.02	klenby
KOTY_KLENBY	plná	0.09	kóty na klenbách
KOTY_ROZMEROVE	plná	0.09	rozměrové kóty uvnitř objektu
KOTY_ROZMEROVE_VENKU	plná	0.09	rozměrové kóty zvenku objektu
NAD_REZEM		0.02	prvky nad rovinou řezu
POD_REZEM	plná	0.02	prvky pod rovinou řezu
POPIS		0.09	popisné prvky
PREDPOKLADANY_PRUBEH	tečkovaná	0.02	prvky u nichž nemohl být průběh přesně nebo vůbec zaměřen
PUDORYS	plná	0.02	Půdorys INP
ROVINA_REZU	plná	0.04	prvky v rovině řezu
SKLOPENE_KLENBY		0.02	sklopené klenby

Tab. 6.2: Půdorys - rozdělení vrstev

Celkem byly vyhotoveny 4 řezy celým objektem. Řez A - A' a řez B - B' byly vedeny rovinou X-Z místní soustavy. Řezy C - C' a D - D' byly vedeny rovinou Y-Z místní

soustavy a byly v ose X odsazeny 12.5 m. Výkresy řezů byly rozděleny na tyto vrstvy (Tab. 6.3):

Název vrstvy	Typ čáry	Tloušťka čáry [mm]	Popis
DVERE	plná	0.02	dveře, zárubně
HRANY	plná	0.02	prvky za rovinou řezu
KLENBY	plná	0.02	klenby
KOTY	plná	0.09	kóty
MRIZ	plná	0.02	mříž (výplň okna)
POPIS	plná	0.09	popisné prvky
PREDPOKLADANY_PRUBEH	tečkovaná	0.02	prvky u nichž nemohl být průběh přesně nebo vůbec zaměřen
ROVINA_REZU	plná	0.04	prvky v rovině řezu
SLOUPY	plná	0.02	sloupy
TEREN	plná	0.02	terén

Tab. 6.3: Řez - rozdělení vrstev

7. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zaměření, zpracování naměřených dat a vyhotovení části měřické dokumentace kostela sv. Ducha v Liběchově. Tato práce souhrnně popisuje celkový proces tvorby měřické dokumentace od vytvoření měřické sítě až po tisk požadovaných výstupů.

Před samotným zaměřením kostela sv. Ducha, byla v okolí vytvořena měřická síť. Pro zaměření objektu byla na základě rekognoskace zvolena metoda laserového skenování v kombinaci s fotogrammetrií. Naměřená data byla zpracována v programu Leica Cyclone, byla provedena vstupní úprava dat a jejich registrace. K registrovaným datům bylo připojeno mračno bodů vytvořené fotogrammetricky v programu Agisoft Photoscan prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D.. V programu Leica Cyclone byla data vektorizována a exportována ve formátu .DXF. Následně byla kresba editována v programu AutoCAD 2017, kde byly také tištěny konečné výstupy. V rámci této práce vznikly dva podélné a dva příčné řezy celým objektem a jeden půdorys hrobky v měřítku 1:50. Míra detailu ve výkresech je 5 cm.

Dokumentace, která vznikla v rámci této práce, byla primárně určena pro účely města Liběchov, které již léta usiluje o získání objektu od původního vlastníka, kterým je Národní muzeum v Praze. Během tvorby této diplomové práce došlo k neočekávanému vývoji událostí, kdy Národní muzeum zájmový objekt prodalo třetí straně, a to bez vědomí města Liběchova. Přestože se třetí strana rozhodla nakonec od prodeje odstoupit a o koupi má stále zájem město Liběchov, k převodu nedošlo, a proto zůstává stále kostel Sv. Ducha ve vlastnictví Národního muzea v Praze (údaj k 1. 4. 2018).

8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Obec Liběchov [5]	11
Obr. 2.2: Kostel sv. Ducha – exteriér	12
Obr. 2.3: Kostel sv. Ducha - interiér	13
Obr. 3.1: FARO Focus 3D X 330 [fotografie pořízená K. Dvořákovou]	16
Obr. 3.2: Schématické znázornění prostorové polární metody	16
Obr. 3.3: LeicaFlexline TS06	18
Obr. 3.4: Trimble Geoexplorer GeoXR	19
Obr. 4.1: Bod státního bodového pole 29.2 - stabilizace	21
Obr. 4.2: Státní bodové pole v okolí kostela sv. Ducha [13]	21
Obr. 4.3: Náčrt situace v terénu	22
Obr. 4.4: Pozice skeneru – hrobka	24
Obr. 4.5: Pozice skeneru 1NP – schéma vytvořené K. Dvořákovou	24
Obr. 4.6: Pozice skeneru 2NP – schéma vytvořené K. Dvořákovou	25
Obr. 4.7: Pozice skeneru - vně objektu – schéma vytvořené K. Dvořákovou	26
Obr. 5.1: Výsledný měřítkový koeficient	27
Obr. 5.2: DJI Spark [15]	30
Obr. 5.3: Zrcadlovka Olympus E-300 [20]	32
Obr. 5.4: Mračno bodů - program Agisoft PhotoScan 1.2.6	34
Obr. 5.5: Horizontální řez hrobkou v pohledu shora	37
Obr. 5.6: Vertikální řez hrobkou v pohledu z boku	37
Obr. 5.7: Místní souřadnicový systém - náčrt situace	38
Obr. 5.8: Římsa - řez mračnem - a) pozemní skener, b) fotogrammetricky c) překryt ..	39
Obr. 5.9: Histogram odlehlosti v souřadnici X	40
Obr. 5.10: Histogram odlehlosti v souřadnici Y	40
Obr. 5.11: Histogram odlehlosti v souřadnici Z	40
Obr. 5.12: Histogram odlehlosti modelu	41
Obr. 5.13: Celková odlehlost modelu	41
Obr. 6.1: Leica Cyclone – View Half-Space	42
Obr. 6.2: Leica Cyclone - View Slice	43
Obr. 6.3: Leica cyclone - Drawing tools	43
Obr. 6.4: Leica Cyclone - zleva line, polyline, oblouk, kružnice, kubická spline	44
Obr. 6.5: AutoCAD 2017 - zleva původně line, polyline, oblouk, kružnice, kubická spline	44
Obr. 6.6: Kresba před a po editaci - AutoCAD 2017	45

9. SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Technická specifikace FARO Focus 3D X 330 [10].....	17
Tab. 3.2: Přesnost Leica FlexLine TS06 [11].....	18
Tab. 3.3: Technická specifikace Trimble Geoexplorer GeoXR [12].....	19
Tab. 4.1: Harmonogram měření.....	20
Tab. 4.2: Převzaté souřadnice	22
Tab. 4.3: Způsob stabilizace a signalizace nových bodů.....	22
Tab. 4.4: Nastavení parametrů skenování - uvnitř.....	23
Tab. 4.5: Nastavení parametrů skenování – venku.....	25
Tab. 5.1: Parametry polygonového pořadu.....	27
Tab. 5.2: Bodové pole - souřadnice	28
Tab. 5.3: Porovnání souřadnic	28
Tab. 5.4: Porovnání délek určených ze souřadnic	29
Tab. 5.5: Porovnání prostorových délek určených ze souřadnic	29
Tab. 5.6: Technická specifikace DJI Spark [15].....	31
Tab. 5.7: Tech. specifikace Olympus E- 300 a ZUIKO DIGITAL 14-45 mm [16],[17].....	31
Tab. 5.8: Souřadnice stanovisek laserového skenování.....	36
Tab. 5.9: Souřadnice bodů pro tvorbu místního souřadnicového systému	38
Tab. 6.1: Seznam tištěných výkresů	46
Tab. 6.2: Půdorys - rozdělení vrstev	46
Tab. 6.3: Řez - rozdělení vrstev	47

10. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] *Z historie Liběchova* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.libechov.cz/file.php?nid=856&oid=2677611>
- [2] *Liběchov sobě* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://kostelicek.eu/>
- [3] DAVID, Petr a Vladimír SOUKUP. 888 hradů, zámků, tvrzí České republiky: [historie, interiéry, zámecké parky, pověsti, praktické informace, atlas ČR 1:200 000]. Praha: Kartografie, 2002. ISBN 80-7011-709-5.
- [4] *Průvodce po Česku* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.pruvodce.com/>
- [5] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [6] *Památkový katalog* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.pamatkovykatalog.cz/>
- [7] ŠTRONER, Martin. 3D skenovací systémy. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [8] *E1474_FARO_Laser_Scanner_Focus3DX330HDR_Manual_EN* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://faro.app.box.com/s/dmoitd5263hiiwcitfs72v6ndkh0qvpj/file/66024819053>
- [9] PAVELKA, Karel. Laserové skenování - nová technologie sběru prostorových dat: Laser scanning - a new technology for spatial data collecting. V Praze: České vysoké učení technické, 2006. ISBN 80-010-3501-8.
- [10] *Firemní literatura: FARO Laser Scanner Focus 3D X 330*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: www.faro.com
- [11] *Firemní literatura: Leica FlexLine TS06* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: www.leica-geosystems.com
- [12] *Firemní literatura: Trimble Geoexplorer GeoXR* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: www.trimble.com
- [13] ČÚZK: Geoportál: Přístup k mapovým produktům a službám resortu [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [14] DVOŘÁKOVÁ, Karolína. *Zaměření a zpracování vybrané výkresové dokumentace kostela sv. Ducha v Liběchově*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.
- [15] *ROBOT WORLD* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/>
- [16] *Foto rádce* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.fotoradce.cz/olympus-zuiko-digital-14-45mm-1-3-5-5-6-ez-1445>

- [17] *Megapixel.cz* [online]. [cit. 2018-04-24].
Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/ol-e-system-e-300-telo>
- [18] PAVELKA, Karel, Jaroslav ŠEDINA, Eva MATOUŠKOVÁ, Martina FALTÝNOVÁ a Jan ŘEZNÍČEK. *Ověřená technologie nízkonákladové 3D fotogrammetrické dokumentace památkových objektů* [online]. ČVUT, v Praze, 2015 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://lfgm.fsv.cvut.cz/naki/pdf/Z%20tech%20-%20ov%C4%9B%C5%99en%C3%A1%20technologie%20IBM.pdf>
- [19] *SIFT: Scale Invariant Feature Transform* [online]. [cit. 2018-05-06].
Dostupné z: <http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/ref/SIFT.pdf>
- [20] *MALL.CZ* [online]. [cit. 2018-04-24].
Dostupné z: <https://www.mall.cz/digitalni-zrcadlovky/olympus-e-450-14-42-mm-40-150-mm>

11. SEZNAM PŘÍLOH

11.1 Seznam tištěných příloh

Příloha 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu	54
Příloha 2: Klenby v hrobce u schodiště - Recap - RealView.....	55

11.2 Seznam elektronických příloh

Příložené DVD je členěno následovně:

Adresář diplomova_prace obsahuje tyto soubory:

- diplomova_prace.pdf
- README.txt

Adresář vypocty obsahuje tyto soubory:

- protokol_groma_polygonovy_porad.txt
- protokol_groma_polarni_metoda_davkou.txt
- seznam_souradnic.txt
- geodeticke_udaje_trigonometrickeho_bodu.pdf

Adresář leica_cyclone obsahuje tyto soubory:

- protokol_registrace_schody.pdf
- protokol_registrace_2NP.pdf
- protokol_registrace_uvnitr.pdf
- protokol_registrace_celek.pdf

Adresář agisoft_photoscan obsahuje tyto soubory:

- protokol_agisoft_photoscan.pdf
- duch_moderate.txt

Adresář výkresy obsahuje tyto soubory:

- pudorys_hrobka_50_A1.pdf
- pudorys_hrobka_klenby_50_A1.pdf
- rezA_50_A1.pdf
- rezB_50_A1.pdf
- rezC_50_A1.pdf
- rezD_50_A2.pdf

Příloha 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu

21. 2. 2018

Polohové bodové pole - geodetické údaje o bodech základního polohového pole

Kraj: Středočeský kraj
 Okres: Mělník
 Obec: Liběchov

GEODETICKÉ ÚDAJE

trigonometrického bodu

List č.: 1/1
 Stav k: 1986

Vytvořeno pro web 01.02.2018

TL	1416
ZM-50	02-44
SMO-5	040744

Číslo a název bodu		29		Liběchov, kaple	
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška	
				Bpv	vztahuje se na
29	TB	736027.92	1008168.41	240.50	střed makovice
29.1	ZB1	735995.61	1008207.97	213.15	hranol
29.2	ZB2	736008.20	1008160.49	212.79	hranol
29.3	SV1	736015.44	1008179.40	214.34	svorník

$\alpha = 24^{\circ}23'14,5''$
 $\beta = 82^{\circ}57'59,2''$
 $\gamma = 19^{\circ}53'56,0''$
 $\delta = 35^{\circ}47'00,9''$

Orientace na body (ve stupních)						
Číslo		Jižník	Délka strany	Číslo	Jižník	Délka strany
29.1		320 45 39.0	51.078			
29.2		248 07 36.0	21.250			
	29.1-29.2		49.123			

Místopisný popis: Bodem je střed makovice věže kaple v Liběchově.

Bod	29	29.1	29.2	29.3
Stř. údaje	0,00	0,00	0,00	0,00
	střed mak. věže kaple	žula	žula	čep. zn., typ VI, 1,17 nad zemí
		20.20.84	16.16.90	
		.88	40.40.12	žula
		1.09	16.16.03	sklo
			16.16.03	
Označ. povrch. značky na bakce		Δ j.	Δ s. TP j.	
Ochranný znak: (druh, rok)				
Kat. území: Parcel. druh poz:	Liběchov	Liběchov 1186/12	Liběchov 146/3	Liběchov

Druh a výška signál, stavby nebo nárys trvalého cíle: 		Poznámky:
---	--	-----------

Zeměměřický úřad 2000

Příloha 2: Klenby v hrobce u schodiště - Recap - RealView

