

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Praha 2018

Bc. Karolína Dvořáková



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra speciální geodézie

**Zaměření a zpracování vybrané výkresové dokumentace
kostela sv. Ducha v Liběchově**

**Measurement and Creation of the Selected Drawing
Documentation of the St. Spirit Church in Liběchov**

Diplomová práce

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

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

Bc. Karolína Dvořáková

Praha 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dvořáková Jméno: Karolína Osobní číslo: 423985

Zadávací katedra: Katedra speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zaměření a zpracování vybrané výkresové dokumentace kostela sv. Ducha v Liběchově

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

Pokyny pro vypracování:

Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově 3D skenovacím systémem.

Zpracování a registrace naměřených dat.

Vytvoření části výkresové dokumentace kostela (vnější pohledy, 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)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Zaměření a zpracování vybrané výkresové dokumentace kostela sv. Ducha v Liběchově* vypracovala samostatně pod vedením Ing. Tomáše Křemena, Ph.D. a uvedla v ní všechny použité literární a jiné zdroje.

V Mělníku dne

Karolína Dvořáková

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Tomášovi Křemenovi, Ph.D. za poskytnuté rady, trpělivost a vstřícnost při zpracování mé práce. Dále bych chtěla poděkovat prof. Ing. Martinovi Štronerovi, Ph.D. za poskytnutí výsledných dat z fotogrammetrického zaměření objektu. Poděkování patří také firmě Geotronics Praha, s.r.o. za zapůjčení laserového skeneru FARO Focus 3D X 330. V neposlední řadě děkuji starostce města Liběchov Ing. Mgr. Vladimíře Zralíkové za vstřícnost a navázání spolupráce a Národnímu muzeu za umožnění přístupu do objektu. Dále děkuji Ing. Bc. Andreji Višňovskému za konzultace týkající se výkresové dokumentace. Poděkování patří také Bc. Petře Klimánkové a Bc. Daniele Valešové za spolupráci při tvorbě ucelené dokumentace kostela sv. Ducha. Děkuji také své rodině, příteli a kamarádům za podporu a trpělivost, nejen během psaní této práce, ale po celou dobu studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vytvořením vybrané výkresové dokumentace kostela sv. Ducha ve městě Liběchov. Náplní práce je představení daného objektu, popsání způsobu vybudování měřické sítě pro připojení modelu do systému S-JTSK a Bpv a postupu zaměření pomocí laserového skeneru. Dále je v práci popsán postup zpracování měření, což obnáší úpravu dat a registraci skenů ze všech stanovisek do jednoho souřadnicového systému. Nakonec je v práci popsán postup vytvoření výkresové dokumentace. Výsledkem práce jsou dva půdorysné výkresy a čtyři pohledové výkresy v měřítku 1 : 50. Dalším výstupem je model objektu tvořený mračnem bodů v systému S-JTSK a Bpv a místním systémem.

Klíčová slova

výkresová dokumentace, kostel sv. Ducha, laserové skenování, 3D model

Abstract

This thesis deals with the creation of the selected drawing documentation of the St. Spirit Church in the town Liběchov. The content of this thesis is introduction of the given object, method description of building survey network to connect the model to coordinate system S-JTSK and Bpv and procedure of measurement by a laser scanner. Further, the thesis describes a processing of the measurement, which involves editing of the data and the registration of the scans from all positions into the one coordinate system. Finally is described the procedure of drawing documentation. The result of this thesis are two ground plan and four view drawings in scale 1 : 50. Another output is the object model consisting of a point cloud in the S-JTSK and Bpv system and the local system.

Key words

drawing documentation, St. Spirit Church, laser scanning, 3D model

Seznam použitých zkratk

S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
GNSS	Globální navigační družicový systém (Global Navigation Satellite System)
CZEPOS	Síť permanentních stanic GNSS České republiky
TS	Totální stanice
PP	Polygonový pořad
GÚ	Geodetické údaje

Obsah

1. Úvod	9
2. Kostel sv. Ducha a město Liběchov	10
3. Metody zaměření používané pro dokumentaci historických objektů	13
3.1. Metoda oměrná	13
3.2. Ortogonální metoda	13
3.3. Polární metoda	14
3.4. Laserové skenování	14
3.5. Fotogrammetrická metoda	15
4. Měření	16
4.1. Rekognoskace terénu	16
4.2. Vybudování měřického bodového pole	16
4.3. Skenování	18
5. Použité přístroje a softwarové vybavení	22
5.1. Totální stanice Leica TS06	22
5.2. GNSS přijímač Trimble GeoXR	23
5.3. Laserový skener FARO Focus 3D X 330	23
5.4. Groma	25
5.5. Leica Cyclone	25
5.6. AutoCAD	25
6. Zpracování měřených dat	26
6.1. Výpočet souřadnic měřických a podrobných bodů	26
6.2. Zpracování měřených dat ze skenování	27
6.2.1. Registrace skenů	30
6.2.2. Kontrola spojení mračen	32
7. Kontrola	34

8. Tvorba výkresové dokumentace	40
9. Závěr	45
Seznam zdrojů	46
Seznam obrázků.....	47
Seznam tabulek.....	49
Seznam tištěných příloh.....	50
Seznam elektronických příloh	50

1. Úvod

Tato diplomová práce se svým obsahem věnuje zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově, zpracování naměřených dat a vytvoření vybrané části výkresové dokumentace. Vytvoření výkresové dokumentace objektu, který není zaznamenán pomocí žádné dokumentace z minulosti, je důležitým krokem před plánovanou rekonstrukcí objektu. Měřická dokumentace je nepostradatelná, ať už pro projektanta, který připravuje rekonstrukci objektu, nebo pro další odborníky podílející se na obnově objektu. V případě poničení či úplného zničení objektu je měřická dokumentace jediným a cenným podkladem pro obnovu.

Náplní této práce je zaměření objektu pomocí 3D skenovacího systému, zpracování naměřených dat a vytvoření části výkresové dokumentace. Metoda laserového skenování pro zaměření objektu byla zvolena, jelikož její velkou výhodou je vytvoření modelu objektu ve formě mračna bodů. Pomocí mračna bodů je možné podrobně zachytit průběh členitého, nepravidelného a často také poničeného objektu, kterým je i kostel sv. Ducha. Model tvořený mračnem bodů může být zdrojem pro vytváření dalších potřebných výstupů různého druhu, což je i tento případ.

Zadání práce vychází z navázání spolupráce s městem Liběchov. Této spolupráci předcházela komunikace s oddělením památkové péče v Mělníku za účelem nabídnutí geodetických služeb se zaměřením na laserové skenování v rámci diplomové práce. Město Liběchov je ve fázi koupě kostela sv. Ducha, který je majetkem Národního muzea. Proto požadavkem zadavatele, starostky města Liběchov Ing. Mgr. Vladimíry Zralíkové, je vytvoření výkresové dokumentace a 3D modelu, sloužící jako podklad pro plánovanou rekonstrukci objektu, bez dalších zvláštních specifikací. Jelikož vypracování výkresové dokumentace celého objektu a vytvoření 3D modelu vyžadovalo velké množství práce, bylo zpracování výstupů rozděleno do tří diplomových prací.

Úvod této práce je věnován přiblížení historie a současnosti objektu a lokality, ve které se nachází, a také metodám, které se používají v rámci zaměření historických objektů za účelem vytvoření výkresové dokumentace. Dále je práce rozdělena do tří hlavních částí, kterými jsou zaměření, zpracování naměřených dat a tvorba dokumentace. V první části je popsán postup vytvoření měřického bodového pole a samotného zaměření objektu pomocí laserového skeneru. Druhá část se věnuje zpracování měření a to určení souřadnic bodů měřické sítě a zpracování a registrace naměřených dat laserovým skenerem. Následovalo individuální zpracování dle zadání diplomových prací. Dle zadání byla zpracována výkresová dokumentace, kterou je pro tuto práci hlavní půdorysný výkres přízemí, půdorysný výkres prvního patra a čtyři pohledové výkresy zachycující průčelí a boční a zadní stěny kostela. Dále je obsahem této práce kontrola kvality výsledného mračna bodů pomocí dat měřených totální stanicí a oměrnými mírami.

2. Kostel sv. Ducha a město Liběchov

Město Liběchov leží na pravém břehu řeky Labe, do které zde ústí potok Liběchovka. Liběchov spadá do Středočeského kraje a okresu Mělník. Od města Mělník je Liběchov vzdálený zhruba sedm kilometrů. Pod město Liběchov spadá také obec Ješovice a dle zdroje [1] mají 1025 obyvatel. Výklad jména Liběchov je sporný, buď vznikl z krásné – libé polohy místa, anebo z konkrétního jména šlechtice či jiné osoby s městem spojené.

První lidé se zde usazovali již od doby kamenné, jak dokládají nálezy. Rovněž osídlení v následném období je doloženo nálezy vypíchané keramiky. První písemný zdroj dokládající existenci Liběchova je zmínka z roku 1316 o Dominovi, Lipoltovi, Vojslavovi, Juřatovi a Václavovi z Liběchova, kteří vlastnili majetek v Liběchově. Další informací je zmínka z 50. let 14. století o Nechvalovi a Zdislavovi z Liběchova, kteří byli příslušníky vládnoucího rodu v Liběchově. Z tohoto zdroje vyplývá, že Nechvalovi a Zdislavovi z Liběchova náleželo právo rozhodovat o výběru faráře v kostele sv. Havla.

Od poloviny 15. století se o majetky v Liběchově zřejmě dělilo více držitelů, přičemž dle zmínky z roku 1476 byl majitelem tvrze a většiny hospodářského zázemí Zikmund Liběchovský a většina ostatních usedlostí byla součástí jiných majetků. V tomto pramenu byla také vůbec první zmínka o tvrzi. Od roku 1513 vládl Liběchovu rytířský rod Beřkovských ze Šebířova, kteří byli původem z Táborska. Za vlády Radslava Beřkovského došlo nejspíše k přestavbě tvrze do stylu pozdní gotiky. Radslav Beřkovský také zřejmě vybudoval v Liběchově malé panství a nejpozději od 30. let 16. století existuje v Liběchově sladovna a také pivovar. V 60. a 70. letech 16. století převzal Liběchov Kašpar Belvic z Nostovic a přestavěl tvrz na renesanční zámek. Příjmy Belviců byly zejména z pivovaru a také z rozlehlých polností, na kterých se pěstovaly především obiloviny. Obilí bylo zpracováváno v mlýně sousedícím se zámkem, který se významně podílel na příjmech. Roku 1648 získal Liběchov Karel Hyacint Villani z Pillonica sňatkem s vdovou Dorotou Františkou, rozenou Belvicovou.

Kaple sv. Ducha a sv. Hrobu, zvaná Kostelíček, se nachází na vrchu po pravé straně při příjezdu do Liběchova. Kostelík je dominantou města a zároveň je v jeho okolí výhled na dalekou krajinu. Kostel je jednolodní bazilika s věží, která má uvnitř polygonový a vně půlkruhový presbytář. Pod kostelem se nachází krypta s pohřebními místy. Fasáda je dělena pilastry, mezi kterými se na bocích nachází kruhová okna s mřížemi. V průčelí nad vchodem se nachází obloukové okno a štítový tympanon.

Dle zdroje [2] byl kostelík postaven v roce 1654 Karlem Hyacintem Villani z Pillonica, který byl zakladatelem české linie svého rodu a majitelem liběchovského panství. V kostelíku byla vystavěna krypta, ve které byl také Karel Hyacint pohřben. Významným momentem v historii kaple byla renovace uskutečněná Janem Jáchymem, hrabětem



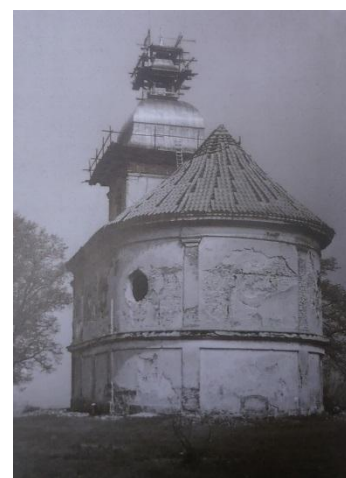
Obrázek 1: Pohlednice z r. 1928 [2]

Pachtou, jejíž rozsah ovšem není znám. Syn Jana Jáchyma, Hubert Karel, vybudoval křížovou cestu se čtrnácti zastaveními v podobě pozdně barokních kapliček, která propojila kapli s kostelem sv. Havla, a také lipovou alej, která celou křížovou cestu lemuje. V této době byla kaple zasvěcena sv. Hrobu.

Za vlády Josefa II., v období reforem, byl kostelík zrušen a pro bohoslužby sloužil kostel sv. Havla. Roku 1801 byla kaple prodána Jakubu Veithovi, který si ji vyhlédl za rodové pohřebiště. Na počátku 20. let 19. století byla kostelíku přistavěna věž, oltářní mensa a také došlo k rozšíření krypty v podzemí. Vrcholek makovice na věži byl opatřen znakem lebky se zkříženými hnáty. Do věže byly přemístěny tři zvony z nedaleké zvonice, která dnes již neexistuje. Roku 1828 byl kostelík s větší kryptou znovu vysvěcen.

Po první světové válce se stal majitelem zámku v Liběchově a tedy i Kostelíčku František Homolka, který se později stal i prvním starostou Liběchova. V roce 1928 provedl zatím poslední rekonstrukci interiéru a exteriéru na vlastní náklady. Dne 9. června byla kaple opět vysvěcena. V následujících letech byly tradičně během velikonočních svatodušních svátků a významných příležitostí uskutečňovány v Kostelíčku bohoslužby.

Po druhé světové válce nastalo opět, jako již poněkoličké, období ne příliš příznivé pro kostelík a ten začíná od poloviny 50. let chátrat. Roku 1960 se stává správcem zámku i Kostelíčku Národní muzeum Praha. Za další čtyři roky se kaple stává kulturní památkou. Další událost, která jistě přispěla k dosavadnímu stavu Kostelíčku, se stala v dubnu roku 1966. Díky jarní bouři a špatnému stavu hromosvodů došlo k vyhoření kaple po zásahu bleskem. Požár poškodil zejména věž a její oprava byla zahájena až v roce 1968. V rámci opravy byly také zpevněny stěny kaple a to pomocí železobetonové injektáže po celém obvodu objektu. Po požáru byly zvony z věže zapůjčeny do Petrovic. Zvony byly navráceny v roce 1994, ale do věže již nikdy umístěny nebyly.



Obrázek 2: Oprava po požáru kostelíku v letech 1968-69 [2]

Další významnou, ovšem velmi nešťastnou, událostí bylo vyklizení krypty v 70. letech. Stalo se tak po vyrabování většiny rakví a vyházení jejich obsahu po zemi. Následkem této události bylo třeba zabránit přístupu do krypty, a proto byl zazděn vstup a i větrací otvory. Tím byly narušeny dosavadní klimatické podmínky, ve kterých byly ostatky uchovávány, a tudíž začal probíhat jejich rozklad. Z toho důvodu muselo dojít k vyklizení krypty. To se ovšem událo velmi nedůstojně v prosinci roku 1973, kdy byly ostatky bývalých zámeckých pánů přeneseny do dvou opuštěných hrobů. Od té doby byl kostelík volně přístupný až do roku 1999, kdy došlo k odcizení opukové dlažby. Od této události je kostelík díky iniciativě občanů uzavřen a chráněn před zloději.

Dne 15. října 2016 došlo, díky úsilí spolku Liběchov sobě – Spolek pro záchranu kostelíčka, k opravě dvou hrobů, kde byly uloženy ostatky z krypty. Zároveň byly ostatky zesnulých uloženy do hrobů dle křesťanských zvyklostí. Oprava křížové cesty byla provedena v roce 1997 a to odstraněním náletových dřevin a obnovou obrazů v kapličkách. Poslední oprava křížové cesty proběhla v roce 2015 a 2016, a to ve dvou etapách. V roce 2015 byla obnovena polovina kapliček a v roce 2016 pak byla oprava dokončena.



Obrázek 3: Současný stav kostelíku

V současnosti se město snaží o odkoupení Kostelíčka od státu do svého vlastnictví. Jednání o převodu bylo zahájeno v roce 2015, kdy mělo jít o bezúplatný převod, od roku 2016 se jedná o odkoupení. Pokud by se Kostelíček stal majetkem města, tak by bylo usilováno o jeho obnovu a zpřístupnění veřejnosti s vidinou obnovení bohoslužeb a dalších příležitostných kulturních akcí.

V této kapitole bylo čerpáno ze zdrojů [3], [4] a [5].

3. Metody zaměření používané pro dokumentaci historických objektů

Základními metodami pro zaměření historických objektů se záměrem vytvoření dokumentace objektu jsou oměrná metoda, ortogonální metoda, polární metoda pomocí totální stanice, laserové skenování a fotogrammetrie. Ve většině případů zaměření probíhá různými kombinacemi těchto metod, nikoli výhradně jednou metodou. Ať už je to z důvodu členitosti či nedostupnosti částí objektů pro jednu danou metodu nebo pro její kontrolu. Metoda zaměření objektu se volí na základě požadovaného detailu a přesnosti zpracování a dále dle složitosti členění a velikosti objektu.

V této práci byly zkombinovány tři metody měření. Hlavní metodou pro zaměření objektu bylo laserové skenování. Další dvě metody, a to oměrná a polární metoda pomocí TS, byly použity jako kontrolní. Oměrné byly změřeny pomocí pásma pro kontrolu vnitřních rozměrů objektu. Zaměření polární metodou prostřednictvím TS bylo využito nejen v rámci kontroly vnějších rozměrů objektu, kdy ze zaměřených bodů byly vypočteny kontrolní délky, ale také pro zaměření měřického bodového pole pro připojení objektu do systému S-JTSK a Bpv.

3.1. Metoda oměrná

Jedná se o přímé měření vodorovné vzdálenosti mezi dvěma sousedními polohově určenými body objektu. Dále se zaměřují úhlopříčky pro kontrolu správnosti zaměření. Pokud je tato metoda jako hlavní, slouží jednotlivé záměry jako měřické přímky, ke kterým se vztahují menší doměrky. Měření se provádí pomocí pásma a laserového dálkoměru a podrobné body pod úrovní pásma se provažují olovnicí. Jako hlavní metoda se využívá zejména u menších staveb s jednoduchým a většinou pravidelným tvarem. Tato metoda se uplatňuje pro tvorbu zjednodušené dokumentace s nízkými požadavky na přesnost. Často je metoda využívána jako doplňující například pro kontrolní zaměření nebo jako doplňkové doměření částí objektu.

3.2. Ortogonální metoda

Jedna ze základních geodetických metod založená na měřických přímkách. Měření probíhá spuštěním kolmice od podrobného bodu na pomocnou přímku. Zaměří se délka kolmice a délka paty kolmice od počátku měřické přímky. Délky kolmic jsou omezeny požadovanou přesností a měřickými pomůckami. Délky se zaměřují pomocí pásma nebo laserového dálkoměru a kolmice se vytyčují od oka nebo prostřednictvím pentagonálního hranolu. Metoda je vhodná pro zaměření

nepravidelných objektů a společně s metodou zaměření pomocí totální stanice může sloužit pro zachycení složitých tvarů a i rozsáhlejších objektů. Zejména vhodná je tato metoda pro zaměření dlouhých liniových objektů.

3.3. Polární metoda

Zaměření pomocí totální stanice polární metodou je jedna ze základních metod a má využití u menších i větších a členitějších objektů. Využívá se pro dokumentace s vyššími požadavky na přesnost. Výhodou metody je výstup v podobě prostorového určení charakteristických bodů objektu. V dnešní době ovšem v případě rozlehlých a velmi členitých objektů nahrazuje tuto metodu laserové skenování, zejména z časové náročnosti zaměření takového objektu. Vyjma využití v podobě zaměření samotných podrobných bodů objektu se tato metoda využívá jako základ pro fotogrammetrickou metodu nebo laserové skenování v rámci zaměření vlícovacích a identických bodů nebo pro vybudování pomocného měřického bodového pole, které je potřebné pro připojení do souřadnicového systému.

3.4. Laserové skenování

Laserové skenování bylo v této práci hlavní metodou pro zaměření objektu. Metoda laserového skenování je založena na principu neselektivního určování prostorových souřadnic bodů dané oblasti o předem nastavené hustotě. Princip zaměření bodů funguje u většiny dnešních přístrojů používaných v geodézii, stavebnictví a architektuře na základě prostorové polární metody, kdy jsou zaměřovány horizontální a vertikální úhly a elektronicky určena vzdálenost. Elektronické určení vzdálenosti funguje na principu vyslání elektromagnetického vlnění z vysílače, odražení vlnění na daném bodě, v tomto případě vždy přímo od objektu, a přijmutí odraženého vlnění na začátku měření. Samotné určení délky se potom dělí na impulsní, které funguje na základě měření tranzitního času potřebného k průchodu impulsu dvojnásobku určované délky, a fázové, kde se určuje fázový rozdíl vzniklý mezi vyslaným a přijatým signálem. Důležitou vlastností skenerů je rozsah zorného pole určování bodů, což je dáno také způsobem rozmítání laserového svazku. U kamerových skenerů je rozmítání laserového svazku prováděno pomocí systému dvou zrcadel nebo hranolů, naopak u panoramatických skenerů je otáčeno celým dálkoměrem prostřednictvím servomotorů. Výsledkem měření jsou mračna bodů z jednotlivých vhodně rozmístěných stanovisek tak, aby mračno pokrývalo celý objekt. Tyto jednotlivé skeny je následně třeba propojit do jednotného souřadnicového systému. To je možné provést například pomocí kulových terčů, které jsou v rámci měření zaměřeny, anebo prostřednictvím překrytového území. Výsledné mračno bodů se dále zpracovává dle požadovaných výstupů, kterými mohou být výkresová dokumentace, 3D model objektu a další výstupy dle požadavků zadavatele.

Výhodou metody je využití pro dokumentaci rozsáhlých, členitých a nepravidelných území a objektů. Vhodná je tato metoda také pro obtížně dostupná místa nebo objekty. Oproti klasickým geodetickým metodám je přínosem získání velkého objemu detailních dat za krátký čas.

3.5. Fotogrammetrická metoda

Je založena na zpracování obrazového záznamu pořízeného fotografickou kamerou ze země nebo letadla či pomocí dronu. Dříve se více využívala stereofotogrammetrie, která se zpracovává na základě prostorového vnímání lidským zrakem. V dnešní době jsou více využívány průseková fotogrammetrie založená na prostorovém protínání a obrazová korelace, které umožňují zpracování většího množství snímků a výsledkem je mračno bodů. Výhodou této metody je kratší čas potřebný pro práci v terénu oproti základním geodetickým metodám. Metoda je vhodná díky podrobnému zachycení průběhu objektu pro zaměření složitějších a členitějších objektů nebo pro zaměření zdobené fasády, soch a podobně. Zároveň je metoda vhodná pro zaměření špatně dostupných míst pro klasické geodetické metody jako například zaměření střechy a jiných nedostupných míst. Nevýhodou této metody je méně přesné vyhodnocení zakrytých částí jako například oblasti zakryté přesahem střechy a podobně.

V této práci byly využity výsledky fotogrammetrické metody, která kombinovala snímky pořízené z dronu a doplňkové snímky pořízené ze země. Výsledkem je mračno bodů, které tvoří vnějšek kostela. Toto mračno bylo využito zejména z důvodů slepých míst v oblasti střechy, které nebylo možné zaměřit skenerem ze stanovisek v okolí kostelíku. Zaměření pomocí laserového skeneru nebylo možné provést, jelikož z jižní strany nebyl prostor pro umístění stanoviška v dostatečné vzdálenosti, aby byla střecha zachycena.

Více se metodě zpracování měření pomocí fotogrammetrické metody pro zaměření kostelíka sv. Ducha věnuje v kapitole číslo 5.2 diplomová práce Bc. Petry Klimánkové.

V této kapitole bylo čerpáno ze zdrojů [6] a [7].

4. Měření

V rámci měření byly provedeny celkem čtyři výjezdy do terénu. Nejprve byla provedena rekognoskace terénu pro zjištění rozsáhlosti objektu a podmínek pro měření, která proběhla 19. 10. 2017. Na základě rekognoskace terénu bylo měření následně naplánováno jako dva samostatné bloky a to nejprve měření pro vybudování měřického bodového pole a poté samotné skenování objektu. Měřické body byly vybudovány z důvodu připojení modelu do systému S-JTSK a Bpv. Měření pro vybudování měřických bodů v okolí i v samotném kostelíku bylo uskutečněno dne 18. 11. 2017. Následným měřením v terénu bylo skenování interiéru a exteriéru objektu, které proběhlo dne 1. 2. 2018. Poslední dodatečné měření proběhlo 10. 4. 2018 a to za účelem doměření potřebných oměrek laserovým dálkoměrem v částech kostelíku, kde při měření skenerem vznikla slepá místa. Jednalo se zejména o některé rozměry pohřebních míst v kryptě. Dále bylo třeba změřit oměrky na schodišti a v chodbičce, které spojují hlavní balkon s bočními. Zde vznikla slepá místa z důvodů stísněného prostoru.

4.1. Rekognoskace terénu

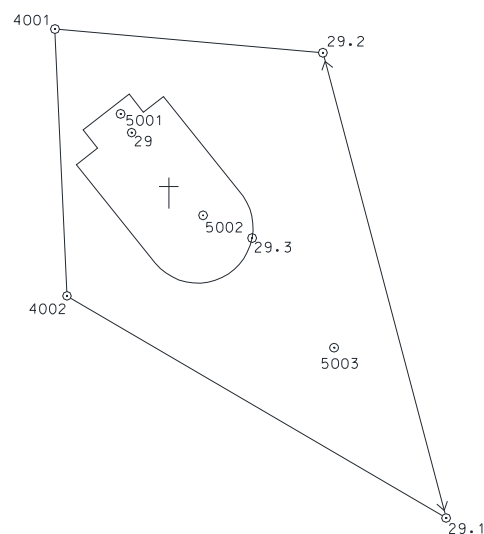
Dne 19. 10. 2017 byla provedena za doprovodu starostky obce rekognoskace terénu, jak veškerého interiéru samotného kostelíku, tak také jeho okolí. V blízkosti kostelíku byl nalezen jeden ze zajišťovacích bodů trigonometrického bodu geodetických základů České republiky. Trigonometrickým bodem je bod 29 a je jím střed makovice věže kaple. Na základě toho byly následně vyhledány geodetické údaje trigonometrického bodu, které jsou uvedeny v příloze č. 1. Dle GÚ byly body při měření pro vybudování měřického bodového pole nalezeny a dva zajišťovací body byly kontrolně zaměřeny metodou GNSS. Dle průzkumu terénu bylo následně rozvrženo a naplánováno měření.

4.2. Vybudování měřického bodového pole

Na základě rekognoskace terénu byla vytvořena představa o rozmístění měřických bodů. V terénu byly nalezeny veškeré body, které jsou uvedeny v GÚ trigonometrického bodu 29. Body 29.1 a 29.2 jsou v terénu stabilizovány žulovými kameny. Bod 29.3 je stabilizovaný na stěně kostela pomocí čepové značky.

V blízkosti kostela byl dle podmínek v terénu vytvořen oboustranně orientovaný a připojený polygonový pořad ze čtyř bodů, viz obr č. 4. Z toho pevnými body byly zajišťovací body trigonometrického bodu a dva body byly nově určované. PP začíná na pevném zajišťovacím bodě 29.2 s orientací na bod 29.1 a pokračuje na nově určované body 4001 a 4002. Čtvrtým bodem

polygonu je pevný zajišťovací bod 29.1 s orientací na bod 29.2. Pro připojení interiéru kostela na venkovní síť byly do podlahy kostela stabilizovány body 5001 a 5002, které byly pomocí rajonu ze stanoviska 4001 zaměřeny. Jelikož bod 29.1 nebyl vyhodnocen jako vhodný pro skenovací stanovisko z důvodu blízkosti křovin, byl z tohoto stanoviska určen pomocí rajonu bod 5003. V plánu bylo také zaměření orientace na kostel Mělník nebo Vliněves, případně rotundu na hoře Říp, ale z důvodu mlhavého počasí toto nebylo možné uskutečnit. Ze stanovisek 29.1 a 29.2 byl také kontrolně zaměřen bod 29.3. V rámci zaměření PP byly určeny podrobné body, sloužící pro výpočet kontrolních měř a vlícovací body pro vytvoření mračna bodů fotogrammetrickou metodou. Zápisníky z měření jsou uvedeny v příloze číslo 2.



Obrázek 4: Náčrt situace

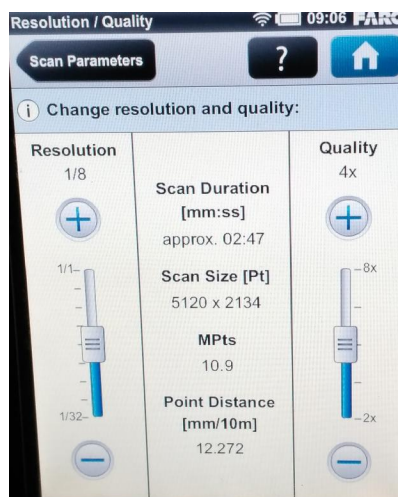
Nově určené body 4001 a 4002 byly v terénu stabilizovány kovovým roxorem s důlkem označujícím bod. Pro označení stanovisek byl v blízkosti bodu zatlučen dřevěný kolík, který se ani u jednoho bodu do následného měření nedochoval. Rajony 5001 a 5002 byly stabilizovány pomocí nastřelovacího hřebu do spáry v části dochované dlažby na podlaze kostela. Bod 5001 byl stabilizován u vchodu do kostela a bod 5002 do jednoho ze schodů, které vedou k bývalému presbytáři.

V rámci tohoto měření bylo také třeba kontrolně ověřit souřadnice zajišťovacích bodů a nově určovaných bodů. Kontrolní zaměření bylo provedeno metodou GNSS s připojením na referenční síť CZEPOS. Měření bylo uskutečněno opakovaně během jednoho dne s časovým odstupem, s observací o délce pět minut a s odlišnou výškou antény. Souřadnice byly transformovány pomocí softwaru v kontroleru prostřednictvím globálního transformačního klíče do systému S-JTSK a Bpv.

4.3. Skenování

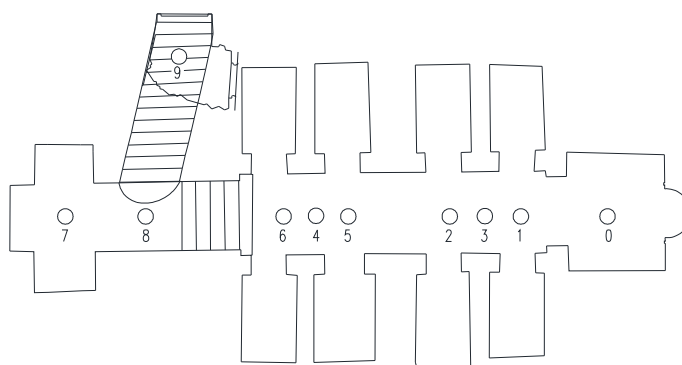
Skenování objektu proběhlo 1. 2. 2018 a byl naskenován jak interiér, tak exteriér kostelíku. Měření bylo zahájeno v kryptě a postupovalo dál do přízemí, přitom tato dvě patra byla propojena stanovisky na jednoduchém schodišti, které vede do krypty. Z přízemí se dál postupovalo do prvního patra, které je tvořeno ze tří balkonových částí ve tvaru písmene U. Tato dvě patra jsou propojena točitým schodištěm. Nakonec byl naskenován vnějšek kostelíku prostřednictvím sedmi stanovisek vhodně rozmístěných po celém jeho obvodu.

Začátku měření předcházelo vhodně zvolené nastavení přístroje a rozmístění stanovisek. Pro měření interiéru kostela byl v přístroji zvolen profil skenování *Indoor 10 m*, který je vhodný pro skenování objektů vzdálených zhruba 10 metrů od stanoviska. Hustota skenování byla vypočtena dle nastavení hodnoty kvality a šumu skenování na zhruba 12 mm. Tato hodnota hustoty je vzdáleností naměřených bodů ve vzdálenosti 10 metrů od stanoviska. Nastavení parametrů pro měření interiéru je zobrazeno na obrázku č. 5.



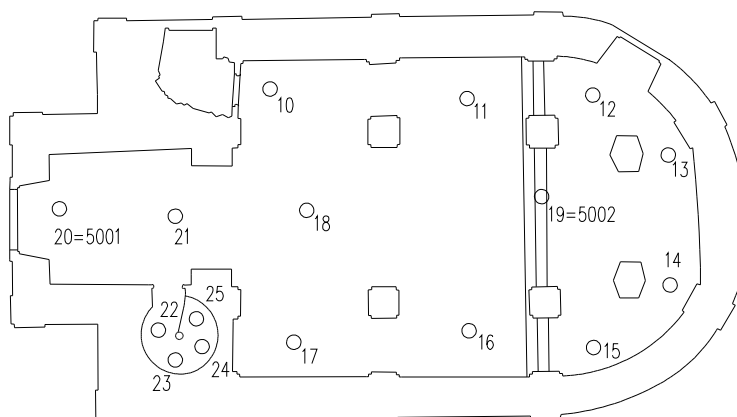
Obrázek 5: Nastavení parametrů pro skenování uvnitř objektu

Před začátkem měření byly rozestavěny na podlahu kulové terče o průměru 145 mm. Stanoviska v kryptě byla rozmístěna vždy před vstupem do jednotlivých pohřebních míst a dvě stanoviska byla zvolena v nejvyšší pozici tak, aby byl naskenován také horní výklenek nad pohřebním místem. Schematické rozmístění stanovisek v kryptě je zobrazeno na obrázku č. 6. Měření probíhalo prostřednictvím polygonu na trojpodstavcové soupravě, která obsahovala kulové terče o průměru 200 mm. Jelikož schodiště z krypty do přízemí je jednoduché a není úzké ani točité, bylo možné vést polygon přes schodiště až do přízemí. Celkem byla krypta i se schodištěm zaměřena z deseti stanovisek a jedenácté stanovisko se nacházelo již v přízemí u vstupu na schodiště.



Obrázek 6: Schéma rozmístění stanovišek v kryptě, převzato z DP Bc. Petry Klimánkové

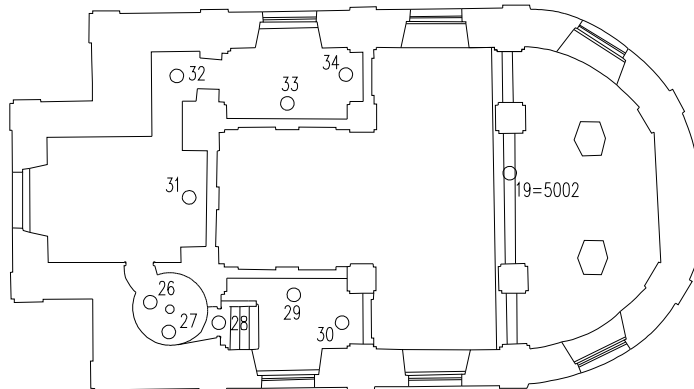
Přízemí bylo zaměřeno z osmi stanovišek rozmístěných po obvodu objektu a čtyř stanovišek vedených ve středu kostela. Dvě ze čtyř středních stanovišek byla zcentrována na měřické body 5001 a 5002, které byly určeny v předešlém měření pro vybudování měřického bodového pole. Rozmístění stanovišek v přízemí je znázorněno na obrázku č. 7. Stanovisko číslo 21 bylo zvoleno před vchodem na schodiště z důvodu propojení jednotlivých skenů z přízemí a prvního patra.



Obrázek 7: Schéma rozmístění stanovišek v přízemí

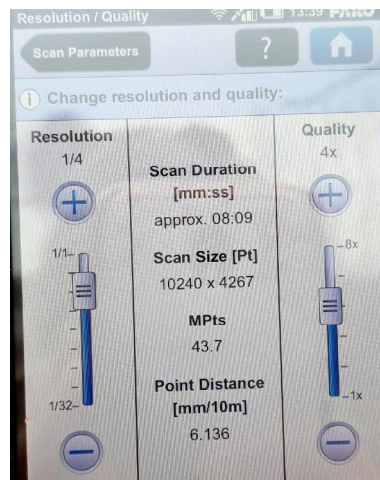
Jelikož přízemí a první patro jsou propojeny úzkým točitým schodištěm, nebylo možné zde vést polygon. Proto zde byla volena stanoviška vždy zhruba po třech schodech, aby bylo následně možné skeny propojit přes překrytové území. Celkově bylo pro zaměření schodiště z přízemí do prvního patra potřeba čtyř stanovišek. Jelikož je levý balkon (z pohledu od presbytáře) propojen s prostředním balkonem ještě další necelou otáčkou ve schodišti, pokračovalo se ještě dále třemi stanovisky na levý balkon. Schodiště vede až do podkroví kostela, to ale nebylo předmětem měření. Ze schodiště se pokračovalo dál na levý balkon, který byl zaměřen dvěma stanovisky. Prostřední a pravý balkon byl zaměřen celkově ze čtyř stanovišek, schéma rozmístění stanovišek v prvním patře je uvedeno níže, viz obr. č. 8. Během zaměření prvního patra, které již neprobíhalo pomocí polygonu, byl na bodě 5002 umístěn na stativu kulový terč s průměrem 200 mm. Z některých stanovišek v prvním patře bylo na tento bod vidět a kulový terč byl tudíž zaměřen,

což bylo později výhodné pro lepší propojení skenů. Tímto byl vnitřek kostela zaměřen a přešlo se k měření vnějšku.



Obrázek 8: Schéma rozmístění stanovišek v prvním patře

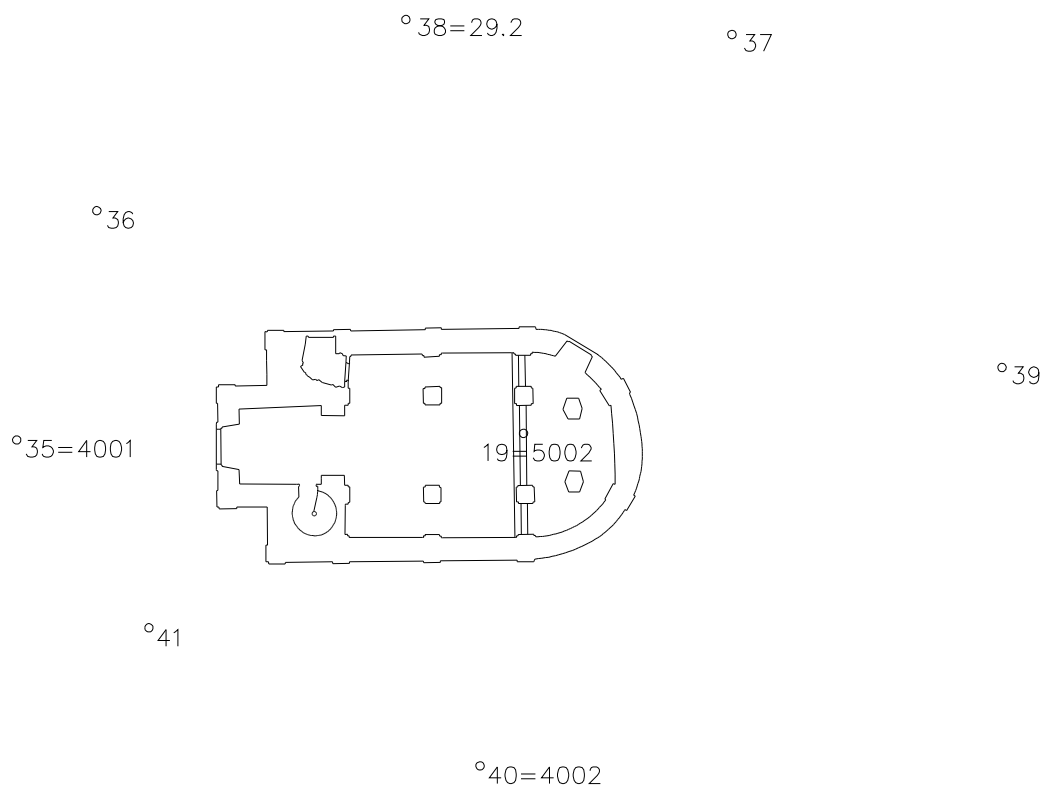
Před začátkem měření exteriéru objektu bylo třeba přenastavit parametry skenování. V rámci skenování exteriéru kostela byl zvolen profil skenování *Outdoor 20 m*, který je vhodný pro skenování objektů vzdálených zhruba 20 m od přístroje. Horizontální rozsah skenovacího pole byl nastaven od 0° do 360° a vertikální rozsah byl od 60° do 90°. Dialog nastavení šumu a kvality je zobrazen na obrázku č. 9.



Obrázek 9: Nastavení parametrů pro skenování vnějšku objektu

Měření vnějšku kostela bylo zahájeno ze stanoviška 4001. Z tohoto stanoviška bylo orientováno na bod číslo 29.2 a 5002. Pomocí orientace na bod 5002 byly propojeny skeny z vnitřku a vnějšku kostela. Dále bylo zvoleno volné stanoviško číslo 36 tak, aby byl zaměřen vnitřní roh věže. Toto stanoviško bylo orientováno na pevné body číslo 4001 a 29.2. Poté pokračovalo měření ze stanovišek rozmístěných kolem obvodu kostela. Následující stanoviško bylo opět volné s orientacemi na pevné body číslo 4001 a 29.2. Poté bylo provedeno měření z centrického stanoviška na bodě číslo 29.2 s orientacemi na bod číslo 4001 a předcházející stanoviško číslo 37. Dále mělo být měřeno z pevného bodu 5003. Tento bod byl ovšem bohužel v době od jeho

stabilizace do zaměření kostela skenerem zničen. Proto byl kostel z tohoto místa zaměřen z volného stanoviště číslo 39 s orientací na stanoviště číslo 37 a pevný bod číslo 4002. Od tohoto stanoviště již bylo měřeno opět metodou polygonu, tzn. s orientací na předcházející a následující stanoviště. Následovalo pevné stanoviště číslo 4002 a volné stanoviště číslo 41, které bylo zvoleno obdobně jako stanoviště číslo 36 tak, aby bylo možné zaměřit vnitřní roh věže. Rozmístění stanovišek pro zaměření vnějšku kostela je znázorněno na obrázku č. 10. Na veškerých centrických stanovišcích byla měřena výška přístroje. Celkem bylo provedeno měření ze 42 stanovišek.



Obrázek 10: Schéma rozmístění stanovišek v okolí objektu

Aby byla ověřena správnost měření pomocí skeneru, byly změřeny kontrolní oměrné. V interiéru kostela byly oměrné zaměřeny pomocí pásma a v exteriéru byly vypočteny kontrolní délky z podrobných bodů, které byly zaměřeny totální stanicí z PP. Podrobně se této kontrole věnuje kapitola číslo 7.

5. Použité přístroje a softwarové vybavení

Pro kontrolní zaměření zajišťovacích a nově určovaných bodů byl použit GNSS přijímač Trimble. Zaměření nově vybudovaných bodů měřického bodového pole bylo provedeno pomocí totální stanice Leica TS06. Samotné skenování interiéru a exteriéru kostelíku bylo uskutečněno prostřednictvím laserového skeneru FARO Focus 3D X 330, který pro tyto účely poskytla firma Geotronics Praha, s.r.o.

5.1. Totální stanice Leica TS06

Stejně jako totální stanici, tak i GNSS přijímač poskytla pro měření katedra speciální geodézie. Měření bylo uskutečněno totální stanicí, jejíž výrobní číslo je 1342473. Leica TS06 je vybavena laserovou olovní a operačním systémem Windows CE 5.0. Výsledná data je možné exportovat ve formátech GSI, DXF, LandXML, případně v uživatelsky definovatelných ASCII. Technické specifikace přístroje jsou uvedeny v tabulce č. 1.



Obrázek 11: TS Leica TS06 [8]

Tabulka 1: Technické specifikace TS Leica TS06 [8]

Měření délek na hranol	Dosah na hranol	3500 m
	Dosah na odrazný štítek	250 m
	Přesnost	1,5 mm + 2 ppm
Měření délek bez hranolu	Přesnost	2 mm + 2 ppm
Měření úhlů	Přesnost	0,6 mgon
	Kompenzace	ve čtyřech osách
Pracovní teplota		-20 °C až +50 °C

Dalšími pomůckami při měření totální stanicí byly stativ, minihranol od firmy Leica, kovové roxory s důlkem pro stabilizaci bodů, dřevěné kolíky pro viditelné označení bodů, teploměr, tlakoměr a mačeta s pilkou pro odstranění křovin v okolí zajišťovacích bodů.

5.2. GNSS přijímač Trimble GeoXR

Pro kontrolní zaměření metodou GNSS byl použit přijímač Trimble GeoXR s výrobním číslem 5143409804. Přijímač se skládá z ručního kontroleru, výtyčky a dvoufrekvenční antény. Transformace souřadnic proběhla v terénu pomocí softwaru Trimble General Survey SW verze 2.11. Technické specifikace GNSS přijímače jsou uvedeny v tabulce č. 2.



Obrázek 12: GNSS přijímač Trimble GeoXR

Tabulka 2: Technické specifikace GNSS přijímače Trimble GeoXR [9]

Operační systém		Microsoft Windows Mobile 6.5
Software		Trimble Acces
Počet kanálů		220
Sledované signály družic	GPS	L1C/A, L2C, L2E
	GLONASS	L1C/A, L1P, L2C/A, L2P
Přesnost měření v režimu RTK	Polohová	13 mm + 1 ppm
	Výšková	20 mm + 1 ppm
Pracovní teplota		-20°C až +50°C
Paměť		RAM 256 MB, FLASH 2 GB

Další pomůckou pro kontrolní měření byl z důvodu pěti minutových observací držák na výtyčku.

5.3. Laserový skener FARO Focus 3D X 330

Laserový skener umožňuje měření objektů vzdálených až 330 metrů. Je vybaven dvouosým kompenzátorem, elektronickým výškovým barometrem, pomocí něhož může určit výšku přístroje a elektronickým kompasem, který umožňuje získat orientaci skeneru. Dále je vybaven

integrovaným GPS přijímačem, díky němuž je schopen spojit jednotlivé skeny. Technické specifikace laserového skeneru jsou uvedeny v tabulce č. 3.



Obrázek 13: Laserový skener FARO Focus 3D X 330

Tabulka 3: Technické specifikace skeneru FARO Focus 3D X 330 [10]

Rozsah měření	0,6 m – 330 m
Rychlost snímání (bodů/s)	122 000/244 000/488 000/976 000
Rozsah (vertikální/horizontální)	300°/360°
Max. vertikální rychlost skenování	5820 ot/min
Třída laseru	1
Vlnová délka laseru	1 550 nm
Průměr paprsku laseru na výstupu	Standardně 2,25 mm
Archivace dat	SD, SDHC, SDXC, 32 GB paměťová karta
Dvouosý kompenzátor	Přesnost 0,015°, Rozsah $\pm 5^\circ$
Napájení	externí zdroj, baterie
Pracovní teplota	5°C až 40°C
Váha	5,2 kg

Dalším vybavením při skenování objektu byla trojpodstavcová souprava, která se skládala ze tří stativů, tří trojnožek a dvou kulových terčů o průměru 200 mm. Dále bylo použito ještě šest kulových terčů o průměru 145 mm, pásma a laserový dálkoměr pro zaměření kontrolních oměrných.

5.4. Groma

V programu Groma byl proveden výpočet bodů polygonového pořadu a všech zaměřených podrobných bodů z těchto stanovisek. Dále bylo v tomto programu provedeno porovnání souřadnic bodů z GÚ a určených metodou GNSS. Nakonec byl v programu proveden výpočet šikmých délek mezi podrobnými body, které sloužily pro kontrolu modelu. Program umožňuje řešení základních úloh geodetických výpočtů jednotlivě nebo dávkově. Umožňuje zpracování zápisníků a následný export souřadnic ve velkém množství formátů. Seznam souřadnic je možné zobrazit v oknu s jednoduchou grafikou, které lze exportovat do formátu DXF. V rámci všech výpočetních úloh se vytváří textový protokol, který lze editovat [11].

5.5. Leica Cyclone

V programu Cyclone bylo provedeno veškeré zpracování měřených dat z laserového skeneru. Nejprve hrubé pročištění dat, registrace a vytvoření místního systému a následně vektorizace mračna bodů v rámci tvorby výkresů. Vektorizovaná kresba byla rozdělena do několika vrstev a exportována z programu ve formátu DXF. Program Cyclone je software pro zpracování 3D mračna bodů nejen v oboru zeměměřičství. Veškerá data jsou uspořádána v jednotlivých databázích. Databáze obsahuje projekt, do kterého se importují naměřené skeny z jednotlivých stanovisek. Jedna skenovací pozice je zde prezentována jako ScanWorld, který obsahuje ControlSpace a jeden a více ModelSpace. V rámci ControlSpace jsou uloženy vytvořené objekty a ModelSpace obsahuje jednotlivé prvky. Databáze umožňuje práci s velkým objemem dat díky jejich komprimaci. Program umožňuje komplexní zpracování dat od prvotní úpravy dat, přes registraci jednotlivých skenů, až po výsledné modelování a tvorbu výstupů. Program nabízí několik modulů, od základního až po moduly specializované pro modelování apod. [12].

5.6. AutoCAD

V programu AutoCAD byla upravena hrubá kresba vyexportovaná z programu Cyclone do výsledné podoby. To obnášelo navázání linií, vytvoření stylů jednotlivých vrstev pro tisk a okótování výkresu vytvořeným kótovacím stylem. AutoCAD je software pro tvorbu 2D i 3D kresby. Zkratka CAD je odvozena od slovního spojení computer-aided design a je to technologie pro tvorbu projektové a technické dokumentace, která nahrazuje ruční kreslení automatizovanými nástroji. V programu lze vytvářet 2D dokumentaci a výkresy pomocí sady nástrojů pro kreslení a úpravy. Dále umožňuje také tvorbu 3D návrhů pomocí nástrojů pro 3D modelování a vizualizaci. Výměnnými formáty pro tento program jsou DWG a DXF.

6. Zpracování měřených dat

6.1. Výpočet souřadnic měřických a podrobných bodů

Kontrolní zaměření každého určovaného bodu metodou GNSS bylo provedeno vždy dvakrát, proto byl z přístroje stažen protokol o měření, jehož obsahem byly dvakrát určované souřadnice bodů. Protokol je přiložen v elektronické formě jako příloha č. 1. Souřadnice byly zprůměrovány v programu Groma a porovnány se souřadnicemi z GÚ. Souřadnice určené metodou GNSS v rámci zhruba pěti centimetrů odpovídají souřadnicím z GÚ. Ze souřadnicových rozdílů lze vyčíst posun v souřadnici Y u všech bodů zhruba o 4 cm a v souřadnici Z o zhruba 3cm. U všech bodů se jedná o posun jedním směrem. Protokol o porovnání souřadnic bodů určených metodou GNSS a souřadnic bodů z GÚ je přiložen v tištěné formě jako příloha č. 3. Tímto byly souřadnice z GÚ kontrolně ověřeny a tudíž byly použity jako závazné souřadnice, ze kterých byly dále určovány body PP.

Měřená data byla stažena z TS ve formátu GSI a následně zpracována v programu Groma. Při načtení měřených dat do programu proběhl přepočítání šikmých délek na vodorovné. Proto bylo třeba ještě před samotným načtením dat vypočítat měřítkový koeficient, ve kterém byla zahrnuta oprava z kartografického zkreslení a z nadmořské výšky pro dané území. Fyzikální redukce byla vypočtena v TS po předešlém nastavení teploty a tlaku, které byly změřeny v místě měření.

Před výpočtem souřadnic bodů PP byla ještě provedena úprava dat. Jednalo se například o nesprávné uložení výšky cíle, čísla bodu a podobně. Poté, co byly provedeny všechny potřebné úpravy dat, se přešlo k samotnému výpočtu souřadnic bodů PP. Výpočet probíhal prostřednictvím oboustranně připojeného a orientovaného PP, kde počátečním bodem byl bod 29.2 s orientací na bod 29.1 a koncovým bodem byl bod 29.1 s orientací na bod 29.2. Závazné souřadnice pevných bodů dle GÚ jsou uvedeny v tabulce č. 4. Protokol o výpočtu je uveden elektronicky jako příloha č. 2. Výsledné nově určené souřadnice jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka 4: Pevné souřadnice zajišťovacích bodů dle GÚ

Č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]
29.1	735995,61	1008207,97	213,15
29.2	736008,20	1008160,49	212,79
29.3	736015,44	1008179,40	214,34

Tabulka 5: Nově určené souřadnice měřických bodů

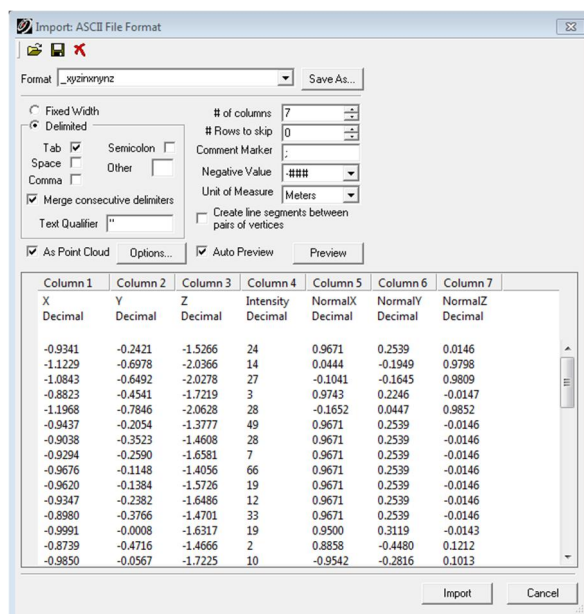
Č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]
4001	736035,59	1008158,07	212,10
4002	736034,35	1008185,31	211,82
5001	736028,86	1008166,73	213,25
5002	736020,45	1008177,09	213,55
5003	736005,30	1008191,88	213,37

Poté, co byly určeny souřadnice bodů polygonu, následoval výpočet souřadnic podrobných bodů, kterými byly body pro výpočet kontrolních měř na vnějšku kostela a vlíčovací body pro vytvoření mračna bodů fotogrammetrickou metodou. Výpočet byl proveden prostřednictvím polární metody dávkou v programu Groma. Protokol o výpočtu je uveden elektronicky jako příloha č. 3 a obsahuje kromě podrobností o výpočtu také porovnání společných bodů, které byly určeny z více stanovisek, případně porovnání s pevnými souřadnicemi.

6.2. Zpracování měřených dat ze skenování

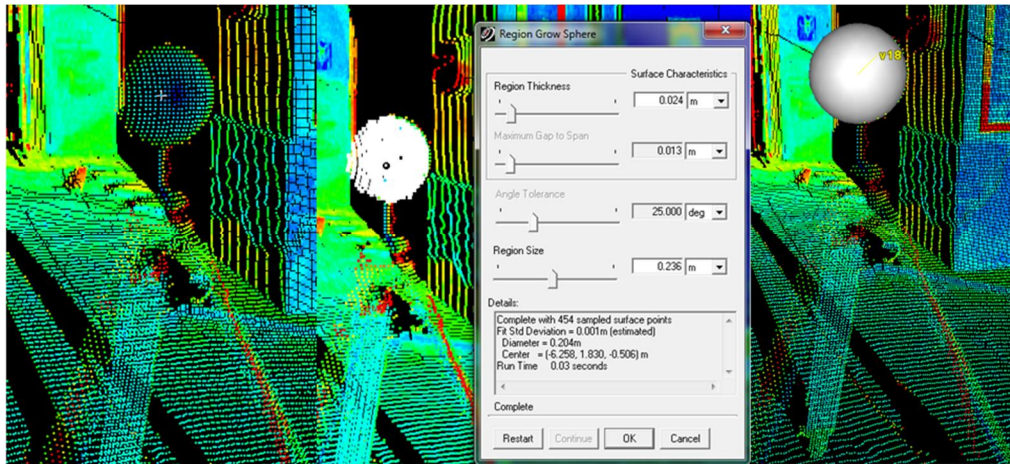
Zpracování naměřených dat probíhalo v programu Leica Cyclone. Samotné zpracování v tomto programu ještě předcházela úprava dat, kterou ochotně na naši žádost provedla Ing. Lucie Holíková z firmy Geotronics. Hlavními body této úpravy bylo zredukování dat na hustotu, při které je vzdálenost mezi body pět milimetrů. Redukce dat byla provedena z důvodu větší hustoty bodů při skenování bližších objektů. Tato hustota byla zvolena, jelikož je dostatečná a vhodná pro modelování kulových terčů. Jelikož byla naměřená data z každého stanoviště exportována z přístroje ve formátu FLS, který program nepodporuje, byla data v rámci úpravy převedena do formátu ASCII. Tento formát již bylo možné převést na textový soubor a poté importovat do programu. Výsledný textový soubor následně obsahoval souřadnice X, Y, Z, intenzitu a normály n_x , n_y , n_z . Normály sloužily pro lepší zobrazení dat, například bylo možné mračno bodů stínovat, což je vhodné pro snazší orientaci v prostoru.

Poté, co byla připravena data pro import, se mohlo přejít k samotnému zpracování mračen bodů. Nejprve byla vytvořena databáze a v té projekt, do kterého byly importovány vstupní textové soubory. Pro správný import dat bylo třeba nastavit obsah každého sloupce, formát jejich oddělení, jednotky a další informace. Dialog s nastavením pro import je uveden na obrázku č. 14



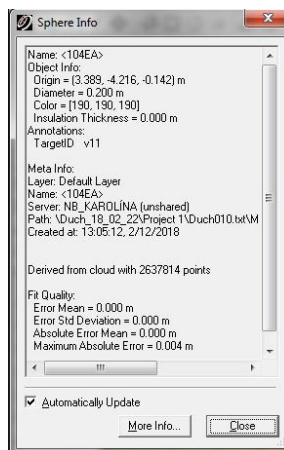
Obrázek 14: Dialog s nastavením pro import dat do programu Cyclone

Následně byla všechna data pro jednotlivá stanoviška načtena do projektu a bylo třeba pomocí registrace veškerá data spojit do jednoho mračna bodů. Propojení naměřených dat bylo provedeno pomocí registrace přes vymodelované objekty, v tomto případě kulové terče. Proto dalším krokem bylo vymodelování kulových terčů v každém skenu z jednotlivých stanovisek. Modelovány byly dva rozměry kulových terčů a to o průměru 200 mm a 145 mm. Koule o průměru 200 mm byly umísťovány na stativy na stanoviscích a kulové terče o průměru 145 mm sloužily jako společné body mezi jednotlivými stanovisky. Kulové terče byly modelovány prostřednictvím funkce *Region grow*, která z vybraných bodů v dané oblasti vytvoří kouli o průměru, který je předem třeba nastavit ve vlastnostech. Po spuštění funkce je možné v dialogu zvětšovat a zmenšovat velikost oblasti s naměřenými body. Tak je možné vybrat pouze body, které tvoří kouli a nikoli body šumu, které vznikly špatným odrazem nebo případně body v blízkém okolí kulového terče. Na obrázku č. 15 je zobrazen postup tvorby kulového terče. Problém s modelováním kulových terčů touto metodou nastal u venkovních stanovisek 35, 36 a 41, kde koule nešla vymodelovat pomocí funkce *Region grow*, jelikož funkce vybrala velmi malé množství bodů. Proto byly v těchto případech vytvořeny kulové terče pomocí funkce *Fit to Cloud*, kde byly ručně vybrány body tvořící kouli a těmi byla koule proložena.



Obrázek 15: Tvorba kulového terče z mračna bodů

Poté, co byla koule vymodelována, jí bylo přiděleno číslo dle vytvořeného číslování stanovisek. Informace o vymodelované kouli je možné zjistit z dialogu, ve kterém jsou uvedeny kromě označení dané koule také její průměr, přesnost proložení koule body daná směrodatnými odchylkami a další informace. Dialog s informacemi o objektu je zobrazen na obrázku č. 16. Označení daného bodu musí být stejné mezi všemi skeny, ve kterých se vyskytuje. Dále bylo také potřeba vytvořit bod v místě středu skeneru. Pro každý sken byl počátkem místní soustavy právě střed skeneru, proto byl bod s číslem příslušící stanovisku vložen do souřadnic [0,0,0]. Problém nastal u stanovisek, ze kterých se skenoval vnějšík kostela. Při změně nastavení parametrů skenování pro první venkovní stanovisko bylo zřejmě opomenuto vypnout GPS přijímač nebo elektronický barometr, a tudíž již nebyl sken v místní soustavě s počátkem ve středu skeneru. Tento problém byl vyřešen poskytnutím souřadnic stanoviska firmou Geotronics, která je získala z programu RealWorks. Poslední úpravou před samotnou registrací dat bylo ořezání jednotlivých mračen bodů. Odstraněny byly nepotřebné vzdálené body v okolí, body šumu vzniklé mezi objektem a skenerem nebo body naskenovaných stromů a křovin v blízkosti kostela. Ponechána byla pouze část zaměřeného terénu v blízkosti kostela.



Obrázek 16: Dialog s informacemi o vymodelované kouli

6.2.1. Registrace skenů

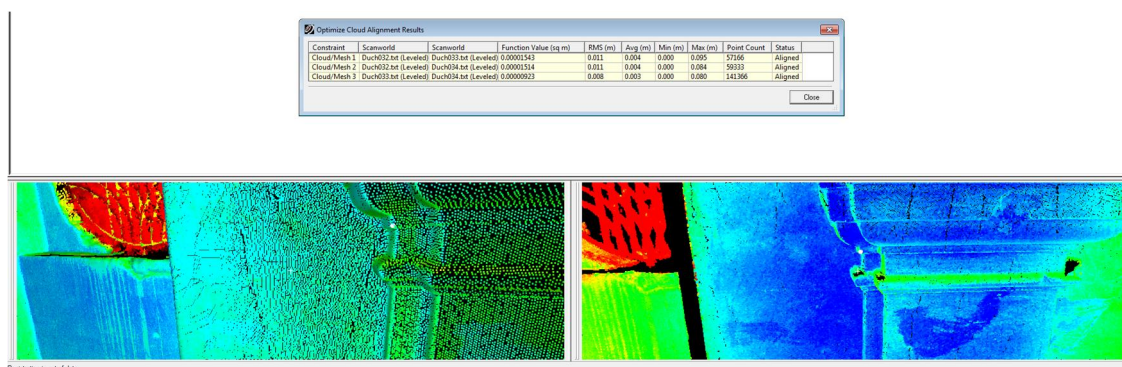
Dalším krokem při zpracování měření byla registrace měření z jednotlivých stanovisek, díky které vznikne celkové mračno bodů v jednotném souřadnicovém systému, v tomto případě v systému S-JTSK a Bpv. Celkovou společnou registraci všech stanovisek předcházela registrace menších částí. Tento postup byl zvolen z toho důvodu, aby v případě vyskytnutí se nějakého problému byl zdroj problému snadněji odhalitelný. Tento postup se později osvědčil. Nejprve byla provedena registrace stanovisek 0 až 9, které mapovaly kryptu i se schodištěm vedoucím k ní. Jelikož se v této části měřilo metodou polygonu, byl výpočet víceméně automatický. V založeném projektu v programu Cyclone byla vytvořena nová registrace. Do této registrace byly načteny skeny ze stanovisek 0 až 9. Následovalo zvolení domácího skenu, do kterého se ostatní skeny transformují. Dále byly pomocí funkce *Auto-Add Constrains* vytvořeny vazby pomocí kulových terčů mezi jednotlivými skeny. Pak následoval výpočet prostorové transformace jednotlivých skenů do systému domácího skenu. Registrace této části proběhla bez problému, maximální hodnota odchylky na bodu v jednom případě byla 5 mm. Průměrná odchylka této registrace byla 2 mm.

Další částí, která byla registrována, bylo přízemí, které bylo zaměřeno ze stanovisek 10 až 21. Postup zpracování registrace byl shodný jako při registraci mračen v kryptě. Při této registraci nastal problém, výsledná hodnota odchylek na některých bodech byla v řádech jednotek centimetrů. Nejprve bylo potřeba identifikovat problematické body. Nakonec bylo zjištěno, že problém nastal při modelování kulového terče, a to ve skenech ze stanoviště číslo 10 a 15. Jednalo se o kulové terče na bodech číslo 11 a 14. Špatně vymodelované koule byly identifikovány pomocí maximální odchylky bodu od koule, která se dá zobrazit pomocí informačního dialogu pro daný objekt v *ModelSpace*. K tomuto pochybení došlo pravděpodobně z důvodu nedostatečně zmenšené oblasti bodů, ze kterých se kulový terč vytvoří. Z toho důvodu byla koule vymodelována i z bodů v blízkém okolí a tudíž byl její střed excentrický a tím vznikly velké odchylky při výpočtu registrace. Chybné kulové terče byly vymodelovány nanovo a následně byl proveden nový výpočet. Průměrná odchylka nově vypočtené registrace vycházela 2 mm.

Dále byla provedena registrace schodiště spolu s levým balkonem z pohledu od presbytáře. Tuto naskenovanou část nebylo možné propojit automaticky přes kulové terče, jelikož na úzkém točitém schodišti nebylo možné měřit pomocí trojpodstavcové soupravy. Proto byla tato registrace provedena přes překrytové území. Tato metoda funguje na principu minimální vzdálenosti povrchů v překrytových oblastech a transformační rovnice jsou stejné jako v případě použití kulových terčů. Opět byla vytvořena nová registrace, do které byly načteny skeny ze stanovisek číslo 22 až 30. Následně byly ručně voleny vhodné přirozeně signalizované společné body mezi skeny, které byly pro jednotlivá stanoviště společné. Vždy byly určeny minimálně tři společné body mezi dvojicí skenů. Dvojice skenů, které měly společné překrytové území,

automaticky načítal program a ručně byly voleny pouze identické body. Poté, co byly určeny všechny potřebné identické body, byl proveden výpočet. Průměrná odchylka této registrace byla 1 mm.

Následovala registrace poslední části uvnitř kostela a to byly zbylé dva balkony. Postup byl obdobný jako u registrace schodiště s levým balkonem. Byla vytvořena nová registrace, která byla vypočtena prostřednictvím přirozeně signalizovaných identických bodů, které byly voleny v překrytovém území jednotlivých skenů. Na obrázku č. 17 je zobrazena tvorba identických bodů mezi skeny 31 až 34. Průměrná odchylka registrace skenů ze stanovisek 31 až 34 byla 1 mm.



Obrázek 17: Tvorba identických bodů při registraci pomocí překrytového území

Tímto bylo po jednotlivých částech uvnitř kostela ověřeno, že by v těchto skenech neměl při výpočtu celkové registrace interiéru nastat problém. Proto se přistoupilo k registraci skenů 0 až 34. Do této registrace vstupovaly jednotlivé skeny 0 až 21 a jednotlivé registrace vytvořené přes překrytové území, což byla registrace schodiště spolu s levým balkonem a registrace prostředního s balkonu společně s pravým balkonem. Do společné registrace vstupovaly již vytvořené registrace z překrytového území z toho důvodu, aby nebylo třeba opět ručně vybírat jednotlivé přirozeně signalizované identické body. Mezi jednotlivými skeny byly automaticky vytvořeny vazby přes kulové terče, a proto byly vytvořeny také vazby ze všech balkonů na centrické stanovisko číslo 19, kde byl z tohoto důvodu při měření umístěn kulový terč. Tímto bylo první patro propojeno s přízemím nejen ze stanoviska 21 přes schodiště, ale také ze stanovisek 30, 31 a 34 na pevný bod 5002, kterým bylo centrické stanovisko 19. Poté, co byly vytvořeny vazby, byl proveden výpočet. Hodnoty odchylek na jednotlivých bodech se pohybovaly u většiny bodů do 4 mm, v případě dvou bodů dosáhla odchylka hodnoty 5 mm. Průměrná odchylka této registrace byla 2 mm. Detailní protokol z této registrace je přiložen v elektronické formě jako příloha č. 4.

Následovala již konečná verze registrace a to registrace, ve které se spojí celková registrace vnitřku se stanovisky z vnějšku a zároveň se připojí celkového mračno bodů do S-JTSK a Bpv. Pro to, aby bylo možné připojit mračno bodů do systému S-JTSK a Bpv, bylo potřeba načíst do vytvořeného projektu v programu textový soubor se souřadnicemi stanovisek. Pevné body bylo

třeba očíslovat stejným označením, jakým jsou označeny v ostatních skenech. Zároveň byla upravena Z-ová souřadnice bodů a to přičtením výšky přístroje k původní výšce bodu. Takto upravený textový soubor byl načten do projektu a tím vznikl nový sken s pevnými body a jejich souřadnicemi v systému S-JTSK a Bpv. Následně byla opět vytvořena nová registrace, do které byly načteny venkovní skeny číslo 35 až 41, registrace vnitřních skenů a navíc byl do této registrace načten sken s pevnými body stanovisek a jejich souřadnicemi v systému S-JTSK a Bpv. Dále byly automaticky vytvořeny vazby mezi jednotlivými skeny číslo 35 až 41, venkovními a vnitřními skeny přes bod 5002 a také vazby s pevnými body se souřadnicemi v systému S-JTSK a Bpv. Hodnoty odchylek na jednotlivých bodech dosáhly ve třech případech maximální hodnoty 6 mm. To bylo způsobeno většími vzdálenostmi mezi stanovisky a tím pádem menší hustotou bodů na kulových terčích a menší přesností vymodelování koule. Nicméně u většiny bodů byla odchylka menší než 4 mm. Průměrná odchylka výsledné registrace byla 3 mm. Detailní protokol z této registrace je přiložen v elektronické formě jako příloha č. 5.

Dalším krokem bylo připojení mračna bodů vzniklých fotogrammetrickou metodou. Data byla do programu importována z textového souboru, stejně jako data naměřená laserovým skenerem. Tímto byl vytvořen samostatný sken, který byl k výslednému mračnu vzniklému z registrace nakopírován. Výsledný sken obsahoval mračno bodů vnějšku kostela vzniklé fotogrammetrickou metodou a mračno bodů vnějšku i vnitřku kostela naměřené laserovým skenerem, obě mračna jsou v systému S-JTSK a Bpv.

Posledním krokem bylo vytvoření místní souřadnicové soustavy. Důvodem k tomuto kroku byla následná snadná manipulace při tvorbě výstupů. Místní soustava byla vytvořena pomocí tří bodů. Hlavní bod byl zvolen uprostřed prahu ve vchodu. Tímto bodem byla určena nulová výšková hladina. Druhý bod byl zvolen ve středu vzdálenosti mezi sloupy před presbytářem tak, aby osa X procházela středem kostela. Třetí bod byl zvolen se stejnými souřadnicemi X a Y jako první bod, jen souřadnice Z byla zvětšena o 2 m. Těmito třemi body byla určena místní soustava pomocí funkce *Set Coordinate system from Pick Points*. Program umožňuje snadné přepínání mezi původní a nově určenou místní soustavou.

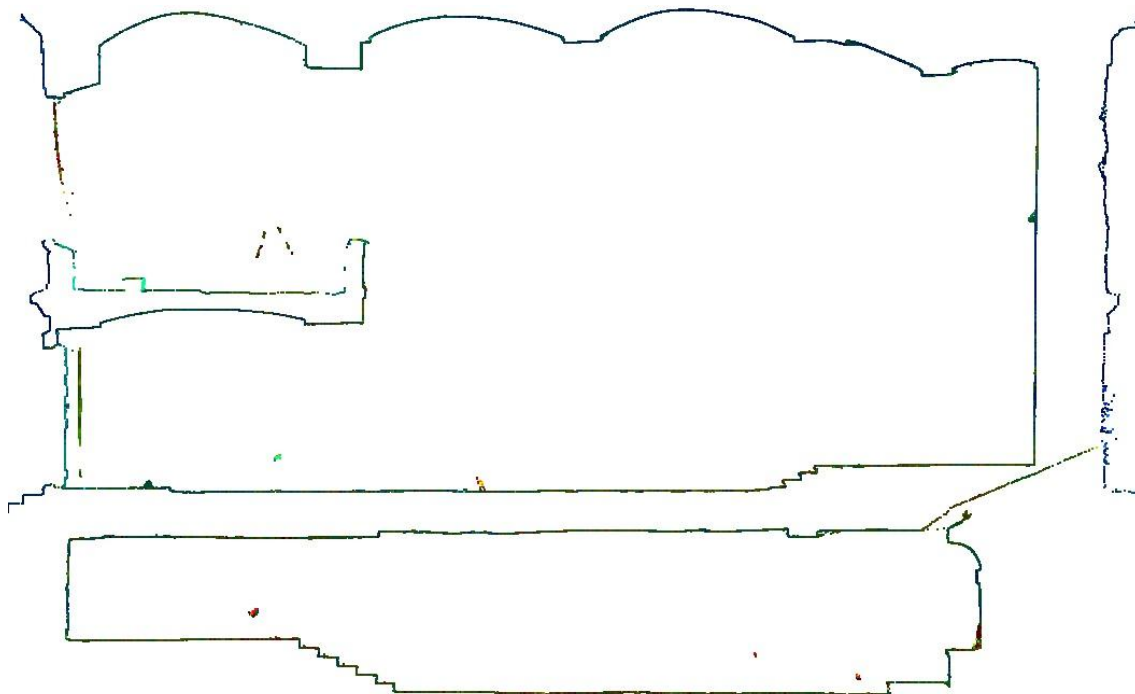
6.2.2. Kontrola spojení mračen

V průběhu výpočtů registrací bylo vždy kontrolováno spojení mračen. Kontrola byla prováděna pomocí řezů mračnem. Vždy bylo kontrolováno, zda na sebe mračna sedí pomocí vodorovných a svislých řezů v různých úrovních. Kontrolovány byly pohledově stěny a jiné svislé či vodorovné objekty. Bylo sledováno, zda jednotlivá mračna tvoří jednu linii stěny a nikoli dvě nebo více linií, které by byly výsledkem špatně spojených jednotlivých mračen do jedné soustavy. Na obrázku číslo 18 je zobrazen pro ukázkou kontrolní řez vedený vodorovně v přízemí kostela. Na obrázku

číslo 19 je zobrazen svislý řez vedený zhruba prostředkem kostela. Takto provedených řezů bylo vytvořeno více tak, aby byl zkontrolován celý objekt. Kontrola probíhala detailně v programu Cyclon, kde byly jednotlivé části dostatečně zvětšovány. Kontrola proběhla v pořádku a jednotlivá mračna na sebe dobře seděla, nikde nenastala hrubá chyba.



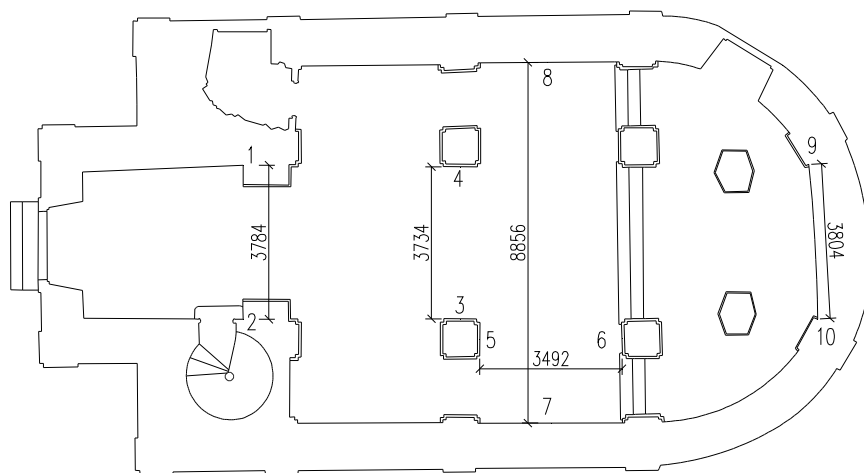
Obrázek 18: Kontrolní vodorovný řez kostelem v přízemí



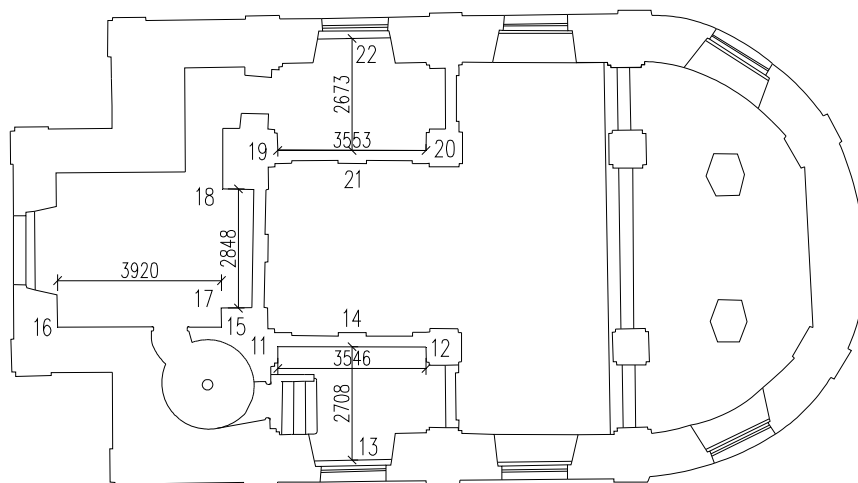
Obrázek 19: Kontrolní svislý řez kostelem

7. Kontrola

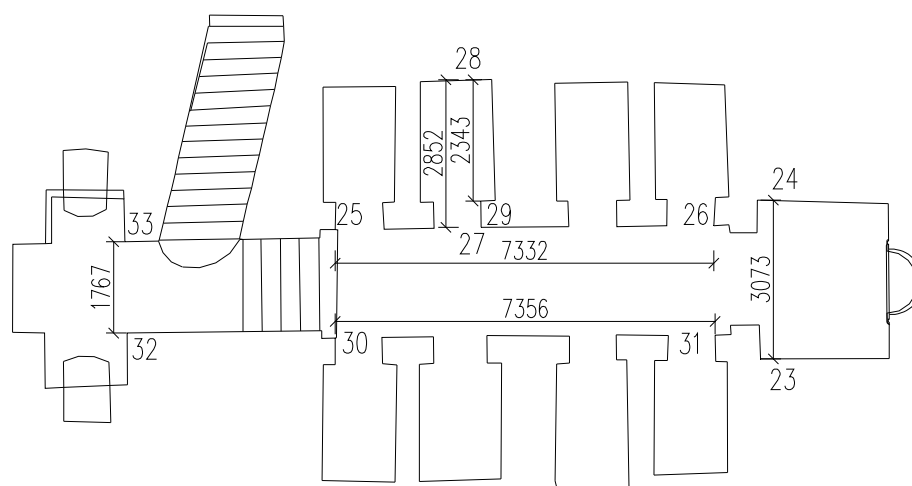
Jak plyne z předchozích kapitol, hlavní měřickou metodou pro tuto práci bylo laserové skenování. Aby byla ověřena správnost modelu z mračna bodů, byla naměřená data zkontrolována. Kontrola zaměření vnitřku objektu byla provedena prostřednictvím kontrolních oměrných změřených pásmem. Kontrolní oměrné byly v terénu zapsány do náčrtu a tyto hodnoty byly později porovnány se vzdálenostmi mezi dvěma body, kterými byly příslušné hrany a rohy objektů, mezi kterými byla vzdálenost změřena. Na obrázcích č. 20 až 22 jsou vyznačeny porovnávané délky označeny čísly bodů pro přehlednost a hodnota délek vypočtená z mračna bodů. V tabulce č. 6 je uvedeno číselné porovnání kontrolních měř uvnitř objektu. V tabulkách s porovnáním kontrolních délek je také vždy uvedeno číslo obrázku, na kterém lze nalézt příslušné body, ze kterých je vedena daná délka.



Obrázek 20: Náčrt s kontrolními délkami určenými z mračna bodů, přízemí



Obrázek 21: Náčrt s kontrolními délkami určenými z mračna bodů, první patro



Obrázek 22: Náčrt s kontrolními délkami určenými z mračna bodů, krypta

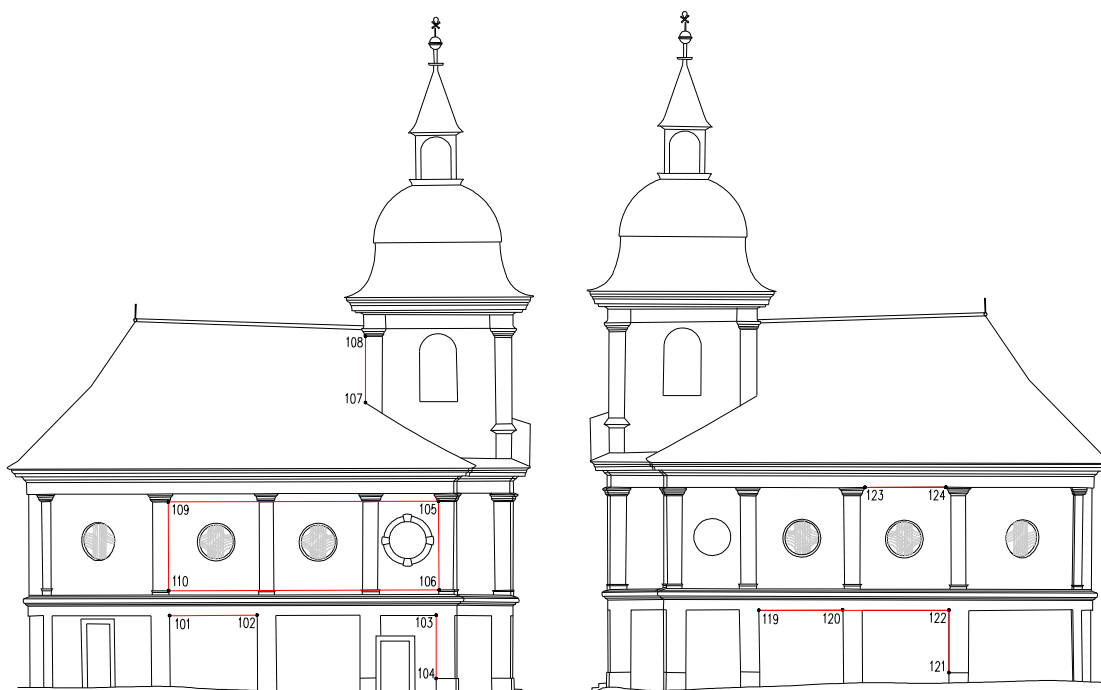
Tabulka 6: Porovnání kontrolních délek uvnitř objektu

Č. bodů	Obr. č.	Délka pásma [m]	Délka model [m]	Rozdíl [mm]
1-2	20	3,770	3,784	14
3-4		3,725	3,734	9
5-6		3,490	3,492	2
7-8		8,840	8,856	16
9-10		3,800	3,804	4
11-12	21	3,540	3,546	6
13-14		2,715	2,708	-7
15-16		3,915	3,920	5
17-18		2,850	2,848	-2
19-20		3,550	3,553	3
21-22		2,670	2,673	3
23-24	22	3,055	3,073	18
25-26		7,330	7,332	2
27-28		2,860	2,852	-8
28-29		2,345	2,343	-2
30-31		7,360	7,356	-4
32-33		1,780	1,767	-13

Délka z modelu byla vypočtena v programu Cyclone mezi body, které byly identifikovány. Přesnost porovnání délek obsahuje chybu z identifikace bodu v modelu. Jak je vidět v tabulce č. 6, hodnoty rozdílů délek dosahují hodnot od 2 mm do 18 mm a průměrný rozdíl je

7 mm. V rámci přesnosti porovnání délek je třeba uvážit chybu z identifikace bodu v modelu, která je ovlivněna v tomto objektu křivými stěnami s často zaoblenými, nepravoúhlými rohy. Z tohoto výsledku lze říci, že model vnitřku objektu byl ověřen a nenastala žádná hrubá chyba.

Kontrola zaměření vnějšku objektu byla provedena pomocí TS. V rámci měření pro určení bodů měřického bodového pole byly zaměřeny ze stanovisek polygonu podrobné kontrolní body. Na obrázcích č. 23 a 24 je zobrazeno umístění podrobných bodů a vyznačeny porovnávané délky. Na fasádě objektu byly vybírány pokud možno dobře viditelné znaky, avšak body číslo 115, 118, 129 a 130 byly zvoleny nevhodně, jelikož je následně nebylo možné v mračnu bodů identifikovat. Z toho důvodu nebyly použity pro další výpočty. Výběr těchto bodů byl celkem problematický zejména z důvodu velkého poškození fasády vnějšími vlivy. Tento fakt je třeba vzít v potaz při posuzování porovnání kontrolních měř. Ze souřadnic těchto podrobných bodů byla vypočtena šikmá délka v programu Groma, která byla dále porovnána s délkou určenou mezi dvěma body, které byly identifikovány z mračna bodů jako nejlépe vystihující dané dva přirozeně signalizované body. Vzdálenost určená z mračna bodů již obsahuje chybu z identifikace bodu, která je v tomto případě ovlivněna špatným stavem fasády a poškozenými hranami. Díky určení podrobných kontrolních bodů pomocí TS bylo možné provést také kontrolní míry vedené napříč kostelem. V tabulce číslo 7 je uvedeno porovnání kontrolních délek na fasádě. Rozdíly porovnávaných délek nabývají hodnot od 0 mm do 39 mm a průměr rozdílů je 14 mm.



Obrázek 23: Zobrazení podrobných bodů a porovnávaných délek na fasádě

Tabulka 7: Porovnání kontrolních délek na fasádě objektu

Č. bodů	Obr. č.	Délka TS [m]	Délka LSK [m]	Rozdíl [mm]
101-102	23	3,709	3,711	2
103-104		2,694	2,677	-17
105-106		3,738	3,745	7
107-108		2,782	2,814	32
109-110		3,733	3,735	2
112-113	24	2,674	2,650	-24
113-114		9,764	9,736	-28
116-117		2,148	2,166	18
119-120		3,562	3,558	-4
121-122		2,649	2,650	1
123-124		3,381	3,420	39
125-126		2,148	2,127	-21
127-128		4,988	4,966	-22
102-114	23, 24	13,409	13,413	4
103-122	23	15,778	15,762	-16
112-127	24	19,124	19,141	17
105-109	23	11,446	11,446	0
106-110		11,467	11,473	6
119-122		8,053	8,033	-20
101-122		11,281	11,287	6
109-124		11,296	11,285	-11



Obrázek 24: Zobrazení podrobných bodů a porovnávaných délek na fasádě

Pro zjištění přesnosti určení délky ze souřadnic podrobných bodů byl proveden rozbor přesnosti v programu *PrecisPlanner 3D*. V tomto programu byl vytvořen model měření, do kterého vstupovaly souřadnice bodů polygonu a čtyři podrobné body, ze kterých byly následně počítány délky vedené napříč kostelem. V *Mapě měření* byl vytvořen model měření spolu s přesnostmi měření. Přesnost pro měření úhlů byla zvolena 3,0 mgon a přesnost měření délek byla zvolena 2mm + 2ppm. Hodnota přesnosti úhlů nebyla převzata od výrobce. V rámci určení hodnoty přesnosti měření úhlů byla započítána příčná chyba v zacílení zhruba 1,5 mm pro dané vzdálenosti mezi polygonovými body. Vstupní souřadnice bodů pro výpočet rozboru přesnosti jsou uvedeny v elektronických přílohách jako příloha č. 6 a vstupní model měření jako elektronická příloha č. 7. Výstupní protokol z výpočtu je uveden v elektronických přílohách jako příloha č. 8. V tabulce číslo 8 je uvedeno porovnání kontrolních délek napříč kostelem. Postup výpočtu délek byl stejný jako u délek na fasádě. Rozdíly délek nabývají hodnot od 1 do 21 mm a průměrná hodnota rozdílu je 10 mm. V tabulce je kromě hodnot délek a jejich rozdílu uvedena také přesnost délky určené z podrobných bodů, která vychází z přesnosti bodů vypočtené v rozboru přesnosti. Z rozboru přesnosti délek vychází přesnost změřené délky do 3 mm. Na druhou stranu je třeba brát v úvahu,

že přesnost identifikace cíle se pohybuje zhruba mezi 1-2 cm. Proto lze z hodnot rozdílů mezi délkami z tabulek č. 7 a 8 usuzovat, že model vnějšku kostela byl ověřen a je v pořádku. Protokol o výpočtu délek z prodobných bodů v programu Groma je uveden v elektronických přílohách jako příloha č. 9.

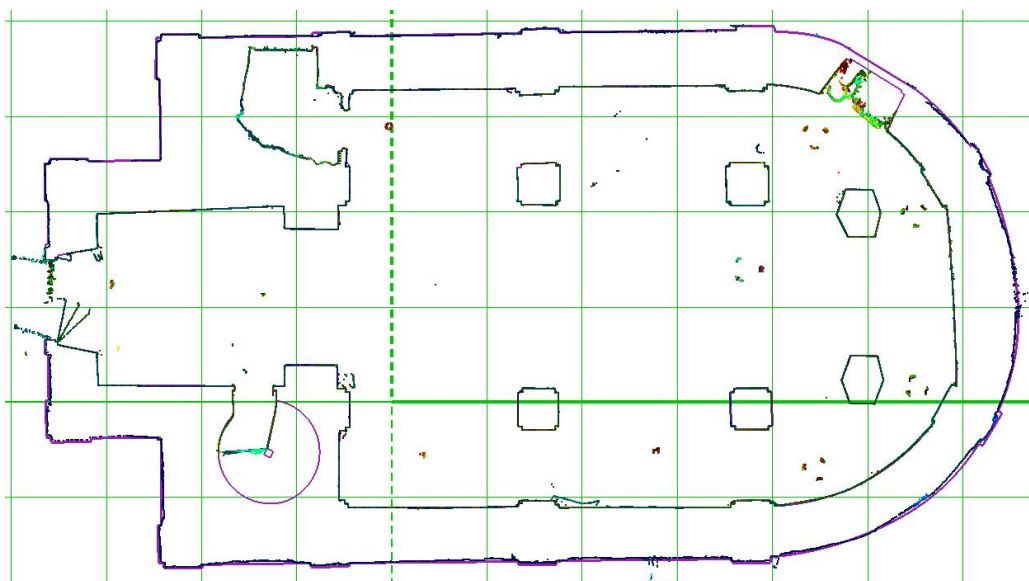
Tabulka 8: Porovnání kontrolních délek napříč kostelem s předpokládanou přesností určení délky

Č. bodů	Obr. č.	Délka TS [m]	Přesnost délky [mm]	Délka LSK [m]	Rozdíl [mm]
101-114	23, 24	16,039	1,9	16,050	11
101-119	23	13,957	2,1	13,956	-1
101-127	23, 24	9,861	3,0	9,853	-8
114-119	24, 23	4,104	2,7	4,112	8
114-127	24	17,882	3,0	17,903	21
119-127	23, 24	14,088	2,6	14,100	12

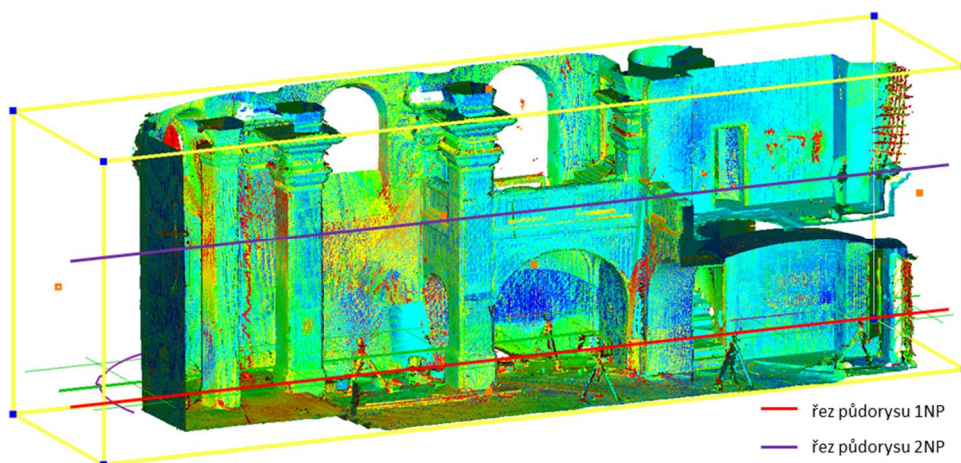
8. Tvorba výkresové dokumentace

Výkresy byly tvořeny v podstatě ve dvou etapách. Nejprve bylo zvektorizováno mračno bodů pomocí řezů v programu Cyclone a následně byla provedena další úprava v programu AutoCAD. Vektorizace v programu Cyclone probíhala z mračna v místní soustavě zvolené tak, aby bylo možné jednoduše přepínat mezi pohledy, které směřují kolmo na vektorizované stěny. Program Cyclone umožňuje vytvoření referenční roviny, na které se vytváří kresba. Tudíž je možné vektorizovat mračno a tvořit kresbu do jedné hladiny, nikoli napojovat kresbu přímo na měřené body.

Nejprve byl tvořen výkres hlavního půdorysu. Pro tento výkres byla zvolena referenční rovina ve výšce jeden metr, kdy nulovou hladinou je práh mezi dveřmi, a dále také podlaha v částech, kde byly zachovány zbytky dlažby. Nejprve byl zvektorizován obrys v hladině řezu. Pro vhodné zobrazení byla použita funkce *Cutplane*, která umožňuje oříznutí mračna a vytvoření řezu mračna v hladině referenční roviny dle nastavené tloušťky. Na obrázku č. 25 je zobrazena tvorba výkresu hlavního půdorysu. Referenční rovina je zde zobrazena jako zelená mřížka a fialová kresba je vektorizace mračna v hladině řezu. Dále je zde zobrazeno mračno bodů o tloušťce 5 cm, které je oříznuto pomocí funkce *Cutplane*. Následovala kresba prvků pod a nad hladinou řezu. Pro vhodné zobrazení v tomto případě byl využíván limit box, pomocí něhož bylo možné zobrazit objekty, které bylo třeba zakreslit, viz obrázek č. 26. Na obr. č. 26 je také znázorněn průběh řezů půdorysů v přízemí a prvním patře. Případně bylo využíváno zkopírování určité části mračna bodů a její zvektorizování v dalším ModelSpace a následně načtení kresby do původního ModelSpace.



Obrázek 25: Tvorba kresby hlavního půdorysu se zobrazením referenční roviny



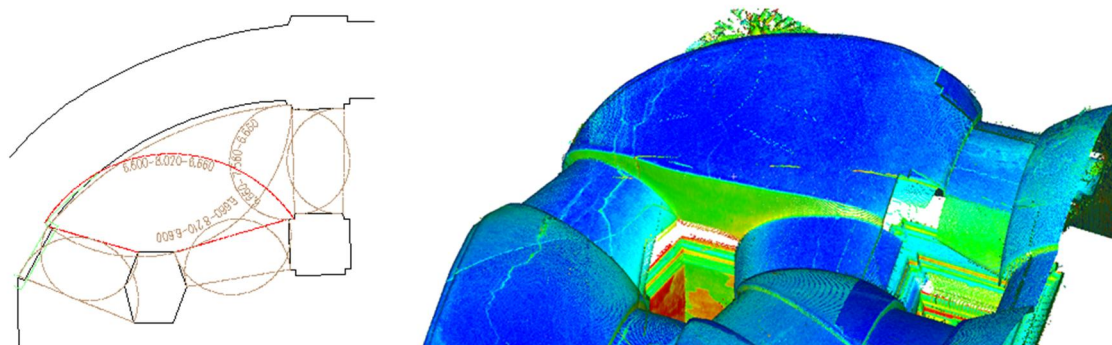
Obrázek 26: Zobrazení části kostela pomocí funkce Limit box

V tomto výkresu nastalo několik problematických míst. Největším problémem bylo zjištění, že jihovýchodní stěna kostela není v důsledku několika velkých prasklin ve zdech v těchto místech svislá, nýbrž nakloněná od svislice směrem ven z kostela. Praskliny v jihovýchodní zdi jsou zobrazeny na obrázku č. 27. Tento problém byl vyřešen v hlavním půdoryse zakreslením další linie, která tvoří hlavní stěnu v úrovni půdorysu prvního patra, který je veden ve výšce 4,2 m. Tato skutečnost je také uvedena v poznámkách výkresu. Dalším problematickým místem pro zakreslení byl vstup do krypty. Původní vstup do krypty byl nejspíše zvenku kostela, kde byl vchod, ze kterého vedlo jednoduché schodiště s klenutým stropem rovnou do krypty. Tento vchod byl zřejmě zazděn, a aby byl umožněn vstup do krypty z vnitřní části kostela, byl zde probourán otvor z boku schodiště, do kterého byly vloženy kovové zárubně. Tento vstup se nyní nachází pod pravým balkonem z pohledu od presbytáře. Otvor byl zvektorizován v hladině řezu dle aktuálního stavu narušeného zdiva.



Obrázek 27: Praskliny v jihovýchodní zdi kostela

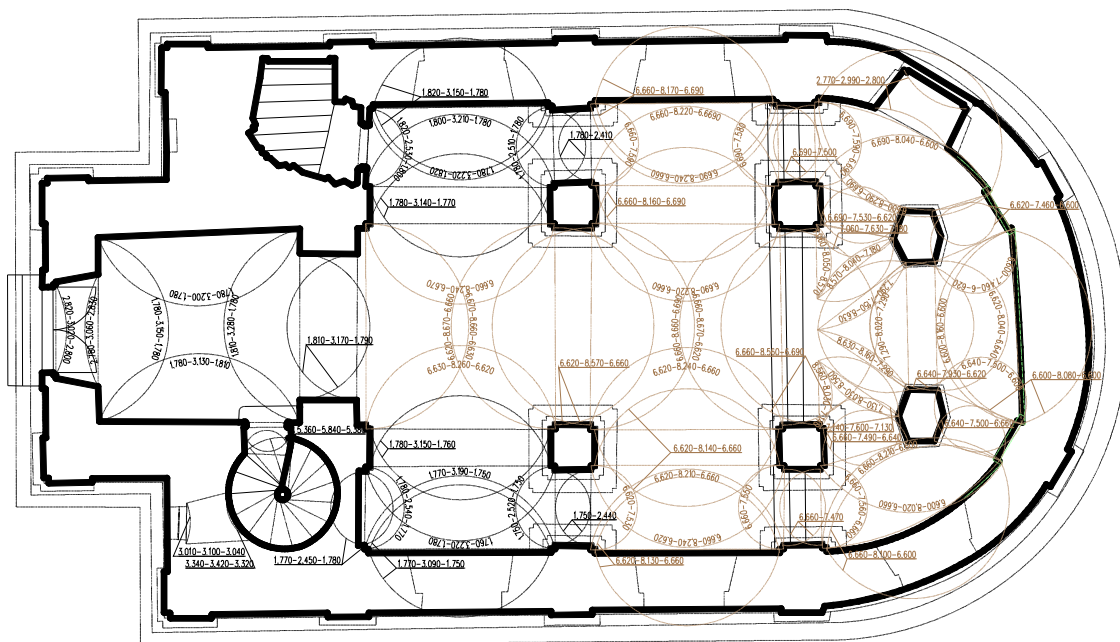
Problémové bylo také zakreslení klenby bočních kleneb v zadní části kostela. Dle fotografií a mračna bodů bylo zjištěno, že boční stropní část je půdorysně tvořena čtyřmi stěnami, strop ale tvoří pouze tři klenby. Jedna z kleneb má zakřivený půdorys a spojuje linii mezi dvěma sloupy a stěnou. Do výkresu byla zakreslena pouze sklopená část klenby. Průběh této klenby je zobrazen na obrázku č. 28.



Obrázek 28: Průběh problematické boční klenby

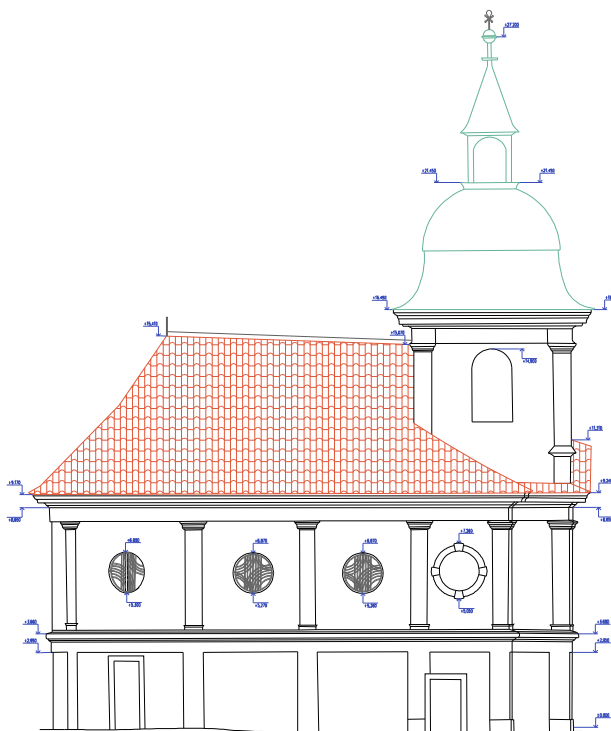
Problematické bylo také zakreslování kleneb do půdorysu. Jelikož strop je ve většině případů tvořen klenbami české placky, na které jsou navázány valené klenby, je půdorys klenbami značně zaplněn. Z tohoto důvodu byly vytvořeny dvě verze pro tisk. Jedna verze pro tisk obsahuje kóty rozměrů uvnitř kostela bez zobrazení kleneb. Druhá verze neobsahuje kóty rozměrů uvnitř kostela, ale pouze zobrazení kleneb s kótami. Pro větší přehlednost byly navíc v hlavním výkresu stropní klenby s kótami přesunuty do samostatné vrstvy. Jelikož stropní klenby jsou zobrazeny hlavně v půdorysu prvního patra, byla pro zobrazení těchto kleneb v přízemí zvolena světlejší barva. Každá klenba je okótována třemi výškovými kótami. Čísla ve výškových kótách znamenají výšku levé paty klenby, výšku vrcholu klenby a výšku pravé paty klenby. Výškové kóty kleneb jsou vždy vztaženy k nulové hladině. Ukázka výsledného půdorysu přízemí se zobrazením kleneb je uvedena na obrázku č. 29.

Dále následovala tvorba půdorysu prvního patra. Referenční rovina pro tento výkres byla zvolena ve výšce 4,2 m tak, aby procházela zhruba středem zděného zábradlí na balkonech. Postup tvorby výkresu byl obdobný jako u vytváření výkresu hlavního půdorysu. Kruhová okna, která se nachází ve výšce zhruba 5,20 m, byla zakreslena do tohoto výkresu a v hlavním výkresu byl zakreslen pouze jejich obrys, aby bylo patrné, kde se nachází i v hlavním výkresu. Problematickým místem v tomto výkresu byla opět jihovýchodní stěna, která je odkloněna od svislice. Pro názornost byla zachována linie znázorňující stěnu z hlavního půdorysu. Dále nastal problém v zakreslení schodiště, jelikož zde vznikla slepá místa. Jedna hrana stupnice schodu, která nebyla pomocí skenování zachycena, byla zkonstruována a zakreslena ze zaměřených délek. Z tohoto důvodu byly v rámci schodiště v prvním patře zakresleny pouze hrany schodů a nikoli podstupnice.



Obrázek 29: Ukázka výkresu půdorysu přízemí

Nakonec byly vytvořeny výkresy pohledů ze všech čtyř stran. Referenční rovina byla vždy zvolena pokud možno co nejbližže kostela, většinou těsně před přesahem střechy. Byly vektorizovány všechny důležité hrany vystihující průběh fasády. Tyto hrany bylo často těžké identifikovat, což bylo způsobeno velkým porušením fasády. Ukázka výsledného severovýchodního pohledu je zobrazena na obrázku č. 30.



Obrázek 30: Ukázka bočního pohledového výkresu ze severovýchodní strany

Kresba vytvořená v programu Cyclone byla vyexportována ve formátu DXF, který byl následně otevřen v programu AutoCAD a uložen do podporovaného formátu výkresů DWG. V programu AutoCAD byl vytvořen výsledný vzhled výkresů. Nejprve proběhla úprava linií tak, aby na sebe ve všech místech navazovaly. Také zde byly zvoleny styly vykreslování linií, které definují výsledný vzhled linií při tisku. Následně zde byly zakresleny veškeré sklopené klenby. Do půdorysů byly zakresleny sklopené klenby jedním obloukem. Jejich přesný průběh je vystižen v řezech, kde jsou tvořeny většinou z více oblouků tak, aby bylo možné lépe zachytit jejich průběh. Posledním krokem byla tvorba kót. Byl vytvořen vlastní kótovací styl, který byl nadefinován vhodně pro měřítko tisku 1 : 50. Kótovány byly pouze charakteristické rozměry místností a objektů. Toto rozhodnutí bylo provedeno zejména z důvodu čitelnosti výkresu, jelikož kdyby měly být okótovány veškeré rozměry, nebyl by výkres čitelný. V dnešní době již většina projektantů pracuje s digitální formou výkresů a veškeré potřebné míry si odměří přímo z digitální verze výkresu. Posledními úpravami už byla jen tvorba popisové tabulky, legendy a popisů.

Při zakreslování objektů do výkresů půdorysů (točitého schodiště, kleneb, dvěří, oken apod.) spolu s jejich okótováním bylo čerpáno ze zdrojů [13] a [14]. Typy čar byly zvoleny dle zdroje [6]. Při tvorbě výkresů byla využívána fotografická dokumentace pořízená při zaměření objektu zejména pro zakreslení různých výstupků, kleneb a míst, která nebyla na první pohled z mračna jednoznačně rozeznatelná. V příloze č. 5 jsou uvedeny fotografie objektu.

9. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvoření dvou půdorysných a čtyř pohledových výkresů kostela sv. Ducha v Liběchově. To obnášelo zaměření objektu pomocí laserového skeneru, zpracování a registraci naměřených dat a vytvoření výkresů.

Pro připojení modelu do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv bylo vytvořeno měřické bodové pole připojené na zajišťovací body trigonometrického bodu 29, kterým je střed makovice kostela. Zajišťovací body byly ověřeny metodou GNSS a měřické body byly určeny pomocí polygonového pořadu. Zaměření objektu bylo provedeno laserovým skenerem FARO Focus 3D X 330 zapůjčený firmou Geotronics Praha, s.r.o. V rámci měření pomocí laserového skeneru nebylo možné zaměřit celý průběh střechy, proto byly převzaty výsledky ze zaměření objektu fotogrammetrickou metodou od prof. Ing. Martina Štronera, Ph.D.

Výpočet souřadnic měřických a podrobných bodů byl proveden v programu Groma. Zpracování naměřených dat proběhlo v programu Leica Cyclone. Zpracování obnášelo hrubé pročištění nežádoucích dat a registrace všech 42 skenů, které zachycují vnitřek i vnějšek objektu, do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv. V rámci ověření správnosti modelu tvořeného mračnem bodů byly uvnitř objektu změřeny kontrolní míry pásmem a pro ověření vnějších rozměrů objektu byly zaměřeny podrobné body na fasádě, ze kterých byly následně vypočteny kontrolní vzdálenosti. Kontrolní délky byly porovnány s délkami určenými z modelu a z výsledků plyne, že měření z laserového skenování je v pořádku. Vektorizace mračna bodů byla provedena v programu Cyclone, který umožňuje snadnou manipulaci s objemnými mračny bodů a zároveň tvorbu jednoduché kresby. Tvorba výsledného vzhledu kresby proběhla v programu AutoCAD. Zde byly vytvořeny veškeré potřebné úpravy kresby, okótování kresby a výsledný vzhled pro tisk.

Výsledkem práce jsou hlavní půdorysný výkres přízemí, půdorysný výkres prvního patra a čtyři pohledové výkresy v měřítku 1 : 50. Výsledky z této práce spolu s výsledky prací Bc. Petry Klimánkové a Bc. Daniely Valešové tvoří ucelenou výkresovou dokumentaci spolu s vytvořeným 3D modelem. Přestože v polovině dubna 2018 došlo k náhlému a neočekávanému prodeji kostela do majetku pravoslavné církve, budou výsledky předány starostce města Liběchov. Prodej kostelíku je stále v jednání a církev po zjištění veškerých skutečností týkajících se dlouhodobé snahy o odkoupení kostelíku ze strany města odstoupila od kupní smlouvy (informace ze začátku května 2018).

Seznam zdrojů

- [1] Základní informace. *Město Liběchov* [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <http://www.libechov.cz/index.php?nid=856&lid=cs&oid=52131>
- [2] *Liběchov sobě - spolek pro záchranu kostelíčka* [online]. [cit. 2018-01-26]. Dostupné z: <http://kostelicek.eu/>
- [3] KILIÁN, Jan. *Dějiny Liběchova*. Liběchov: Liběchov, 2011. ISBN 978-80-254-9557-5.
- [4] ČERMÁK, Aleš, Marek PŘIKRYL a Jan TREJBAL, ed. *Resuscitace místa - kaple Liběchov*. Praha: Ausdruck Books, 2012. ISBN 978-808-7108-321.
- [5] Památkový katalog - 1000136011 - kostel sv. Ducha. *Památkový katalog* [online]. Národní památkový ústav, 2015 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: [http://pamatkovykatalog.cz/?element=14533955&sequence=10&mode=fulltext@ion\[0\]=St%C5%99edo%C4%8Desk%C3%BD%20kraj&county\[0\]=M%C4%9Bln%C3%ADk&municipality\[0\]=Lib%C4%9Bchov&order=relevance%3Adesc&action=element&presenter=ElementsResults](http://pamatkovykatalog.cz/?element=14533955&sequence=10&mode=fulltext@ion[0]=St%C5%99edo%C4%8Desk%C3%BD%20kraj&county[0]=M%C4%9Bln%C3%ADk&municipality[0]=Lib%C4%9Bchov&order=relevance%3Adesc&action=element&presenter=ElementsResults)
- [6] VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. Praha: Národní památkový ústav, 2014. ISBN 978-80-86516-79-0.
- [7] ŠTRONER, Martin a kol. *3D skenovací systémy*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [8] Firemní literatura.
- [9] Firemní literatura.
- [10] FARO Focus 3D X 330. *Geotronics Praha* [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <http://geotronics.cz/geodezie/3d-laserove-skenovani/faro-focus-3d-x-330/>
- [11] Groma - geodetický software v prostředí MS Windows. *Groma - Geodetický software* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.groma.cz/cz/groma>
- [12] GEFOS - Cyclone. *GEFOS* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produkty/84/cyclone>
- [13] NOVOTNÝ, Jan a Josef MICHÁLEK. *Pozemní stavitelství v kresbách: pro 1. až 4. ročník SPŠ stavebních*. Praha: Sobotáles, 2006. ISBN 80-868-1716-4.
- [14] DOSEDĚL, Antonín. *Čítanka výkresů ve stavebnictví*. 3. upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN 80-868-1706-7.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Pohlednice z r. 1928 [2]	11
Obrázek 2: Oprava po požáru kostelíku v letech 1968-69 [2]	11
Obrázek 3: Současný stav kostelíku	12
Obrázek 4: Náčrt situace.....	17
Obrázek 5: Nastavení parametrů pro skenování uvnitř objektu	18
Obrázek 6: Schéma rozmístění stanovisek v kryptě, převzato z DP Bc. Petry Klimánkové	19
Obrázek 7: Schéma rozmístění stanovisek v přízemí	19
Obrázek 8: Schéma rozmístění stanovisek v prvním patře.....	20
Obrázek 9: Nastavení parametrů pro skenování vnějšku objektu.....	20
Obrázek 10: Schéma rozmístění stanovisek v okolí objektu	21
Obrázek 11: TS Leica TS06 [8].....	22
Obrázek 12: GNSS přijímač Trimble GeoXR.....	23
Obrázek 13: Laserový skener FARO Focus 3D X 330	24
Obrázek 14: Dialog s nastavením pro import dat do programu Cyclone	28
Obrázek 15: Tvorba kulového terče z mračna bodů.....	29
Obrázek 16: Dialog s informacemi o vymodelované kouli	29
Obrázek 17: Tvorba identických bodů při registraci pomocí překrytového území	31
Obrázek 18: Kontrolní vodorovný řez kostelem v přízemí	33
Obrázek 19: Kontrolní svislý řez kostelem	33
Obrázek 20: Náčrt s kontrolními délkami určenými z mračna bodů, přízemí.....	34
Obrázek 21: Náčrt s kontrolními délkami určenými z mračna bodů, první patro	34
Obrázek 22: Náčrt s kontrolními délkami určenými z mračna bodů, krypta.....	35
Obrázek 23: Zobrazení podrobných bodů a porovnávaných délek na fasádě	36
Obrázek 24: Zobrazení podrobných bodů a porovnávaných délek na fasádě	38
Obrázek 25: Tvorba kresby hlavního půdorysu se zobrazením referenční roviny	40

Obrázek 26: Zobrazení části kostela pomocí funkce Limit box	41
Obrázek 27: Praskliny v jihovýchodní zdi kostela	41
Obrázek 28: Průběh problematické boční klenby.....	42
Obrázek 29: Ukázka výkresu půdorysu přízemí.....	43
Obrázek 30: Ukázka bočního pohledového výkresu ze severovýchodní strany.....	43
Obrázek 31: Severovýchodní pohled na kostel	56
Obrázek 32: Pohled na kostel z průčelí	56
Obrázek 33: Pohled od vchodu uvnitř kostela.....	57
Obrázek 34: Pohled na pravý balkon od presbytáře	57
Obrázek 35: Pohled na levý balkon od presbytáře	57
Obrázek 36: Krypta	57

Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické specifikace TS Leica TS06 [8].....	22
Tabulka 2: Technické specifikace GNSS přijímače Trimble GeoXR [9].....	23
Tabulka 3: Technické specifikace skeneru FARO Focus 3D X 330 [10]	24
Tabulka 4: Pevné souřadnice zajišťovacích bodů dle GÚ	26
Tabulka 5: Nově určené souřadnice měřických bodů.....	27
Tabulka 6: Porovnání kontrolních délek uvnitř objektu	35
Tabulka 7: Porovnání kontrolních délek na fasádě objektu.....	37
Tabulka 8: Porovnání kontrolních délek napříč kostelem s předpokládanou přesností určení délky	39

Seznam tištěných příloh

Příloha 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu 29	51
Příloha 2: Zápisník měření totální stanicí	52
Příloha 3: Protokol o porovnání souřadnic bodů z GÚ a určených metodou GNSS	54
Příloha 4: Seznam souřadnic podrobných bodů	55
Příloha 5: Fotografická dokumentace	56
Příloha 6: Výkres č. 1 - Půdorys přízemí (1NP)	
Příloha 7: Výkres č. 2 - Půdorys přízemí (1NP) se zobrazením kleneb	
Příloha 8: Výkres č. 3 - Půdorys prvního patra (2NP)	
Příloha 9: Výkres č. 4 - Půdorys prvního patra (2NP) se zobrazením kleneb	
Příloha 10: Výkres č. 11 - Severozápadního pohled	
Příloha 10: Výkres č. 12 - Severovýchodní pohled	
Příloha 10: Výkres č. 13 - Jihovýchodní pohled	
Příloha 10: Výkres č. 13 - Jihozápadní pohled	

Seznam elektronických příloh

Příloha 1: Protokol o zaměření bodů metodou GNSS	
Příloha 2: Protokol o výpočtu souřadnic bodů PP	
Příloha 3: Protokol o výpočtu souřadnic podrobných bodů	
Příloha 4: Protokol o registraci skenů uvnitř objektu	
Příloha 5: Protokol o registraci všech skenů	
Příloha 6: Vstupní souřadnice pro výpočet rozboru přesnosti	
Příloha 7: Vstupní model měření pro výpočet rozboru přesnosti	
Příloha 8: Protokol o výpočtu rozboru přesnosti	
Příloha 9: Protokol o výpočtu kontrolních délek z podrobných bodů	

Příloha 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu 29

GEODETICKÉ ÚDAJE trigonometrického bodu

Kraj: Středočeský kraj
Okres: Mělník
Obec: Liběchov

List č.: 1/1
Stav k: 1986

Vytvořeno pro web 10.11.2017

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

Číslo a název bodu		29		Liběchov, kaple		29	
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška		vztahuje se na	
				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	

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	
Stab. údaje	0,00	střed mak. věže kaple	0,00	žula 20.20.84	0,00	žula 16.16.90	0,00	čep. zn., typ VI, 1.17 nad zemí
			.88	žula 40.40.12	1.04	žula 30.30.13		
			1.09	sklo 16.16.03	1.24	sklo 16.16.03		
Označ. povrch. značky na boku:			△ j.		△ s. TP j.			
Ochranný znak: (druh, rok)								
Kat. území:	Liběchov		Liběchov 1186/12		Liběchov 146/3		Liběchov	
Parcel. Druh poz:								

Druh a výška signal. stavby nebo nárys trvalého cíle: Signallizace z roku:	29 	Poznámky:
---	---------------	-----------

Zeměměřický úřad 2000

Příloha 2: Zázpisníky měření totální stanicí

SEZNAM MĚŘENÍ						
Lokalita: Liběchov			Měřič: Dvořáková, Klimánková, Valešová			
Projekt: Kostel sv. Ducha			Stroj: Leica TS06			
Měřítko: 0.999897518528			Datum: 18.11.2017			
Číslo bodu	H_Z	Z	Vod. délka	Převýšení:	Signál:	Popis
292						1,340
291	0,0000	100,7397	49,115	-0,571		0,400
4001	122,1109	103,7605	27,501	-1,626		0,400
11	98,6779	97,0824	16,069	0,737		0,000
46	70,6185	99,3738	14,840	0,146		0,000
52	52,0608	91,4343	15,690	2,124		0,000
54	88,5806	63,3834	18,104	11,736		0,000
15	101,6016	65,4636	19,492	11,751		0,000
7	42,9284	75,6434	17,524	7,052		0,000
293	39,7826	98,0393	20,248	0,624		0,400
18	56,4115	79,3279	15,506	5,220		0,000
13	92,0623	87,8502	15,198	2,936		0,000
51	87,6008	65,1688	16,477	10,037		0,000
28	63,7988	71,8854	15,043	7,112		0,000
17	53,6942	61,5984	21,413	14,751		0,000
1	53,7561	60,5148	21,419	15,299		0,000
10	105,3816	68,9856	15,973	8,462		0,000
101	52,0615	91,4337	15,690	2,124		0,000
102	67,1752	90,9255	14,880	2,135		0,000
103	98,3827	91,5443	16,021	2,140		0,000
104	98,3020	102,1887	16,078	-0,553		0,000
105	98,6606	74,0074	16,086	6,959		0,000
106	98,6494	87,4402	16,112	3,221		0,000
107	87,2366	64,5981	17,966	11,166		0,000
108	87,3741	57,9301	17,941	13,948		0,000
109	51,7784	73,4896	15,697	6,943		0,000
110	51,7671	87,1831	15,730	3,210		0,000
4001						1,362
292	0,0000	100,6636	27,501	-0,287		0,400
4002	91,5008	102,1970	27,261	-0,941		0,700
5001	52,3213	97,1910	10,963	0,484		0,700
5002	51,5785	97,9492	24,307	0,783		0,700
55	30,2558	94,5313	12,735	1,097		0,000
22	70,0295	67,9402	9,999	5,509		0,000
10	21,5475	59,9695	12,567	9,140		0,000
19	65,8891	91,3764	9,883	1,347		0,000
21	47,1386	98,6963	8,945	0,183		0,700
111	81,4930	96,9791	13,634	0,647		1,300
112	30,2479	86,1910	12,670	2,792		0,000
113	30,1738	99,4114	12,713	0,118		0,000
114	77,7872	86,6219	12,999	2,773		0,000
115	77,7753	98,5748	13,073	0,293		0,000
116	47,3448	102,4628	9,240	-0,358		0,000
117	62,0882	102,4900	9,333	-0,365		0,000
118	53,0565	55,8286	9,584	7,972		0,000

4002					1,440
4001	0,0000	100,3828	27,261	-0,164	1,000
291	136,5740	98,7383	44,877	0,889	1,000
28	251,5007	331,2938	10,068	5,391	0,000
30	281,7445	306,8204	10,706	1,151	0,000
29	23,1019	98,2986	11,766	0,315	0,000
31	11,7671	97,1088	13,654	0,621	0,000
111	9,7764	98,8752	13,963	0,247	0,700
34	29,9514	42,0941	14,598	18,763	0,000
26	6,2389	52,5849	17,842	16,449	0,000
4	93,4076	96,8144	13,813	0,692	0,400
119	24,5694	84,1085	11,651	2,970	0,000
120	43,6283	81,9758	10,193	2,965	0,000
121	72,1496	98,0026	10,086	0,317	0,000
122	72,1301	81,6976	10,029	2,965	0,000
123	49,5986	56,3217	9,999	8,187	0,000
124	71,2074	56,3032	10,016	8,206	0,000
291					1,402
4002	0,0000	102,0517	44,877	-1,447	1,300
292	49,8094	102,1913	49,115	-1,691	0,100
293	27,6794	100,2157	34,770	-0,118	0,100
290	22,6881	69,9787	50,794	25,902	0,000
5003	31,7966	103,6505	18,786	-1,078	0,100
17	22,4171	77,2722	38,349	14,304	0,000
1	22,3966	76,4871	38,374	14,855	0,000
4	15,8349	101,8363	35,209	-1,016	0,000
2	17,4996	80,3353	47,464	15,146	0,000
3	27,6871	80,2803	47,311	15,142	0,000
34	19,3004	78,0544	48,622	17,458	0,000
35	25,9138	77,9850	48,456	17,458	0,000
5	27,3882	101,6373	34,675	-0,892	0,000
9	21,3840	86,7618	33,785	7,129	0,000
8	15,4502	87,3091	35,279	7,128	0,000
125	21,3170	75,6442	50,035	20,135	0,000
126	24,0493	75,6087	49,969	20,140	0,000
127	17,4590	96,9204	34,428	1,667	0,000
128	26,6865	96,9193	34,464	1,669	0,000
129	26,7927	96,5858	34,461	1,850	0,000
130	26,9709	87,0159	34,407	7,116	0,000

Příloha 3: Protokol o porovnání souřadnic bodů z GÚ a určených metodou GNSS

POROVNÁNÍ SEZNAMŮ SOUŘADNIC =====

Bod	Y Ref	X Ref	Z Ref	Y Test	X Test	Z Test	dY	dX	dZ	dP	up	Směrník
291	735995.610	1008207.970	213.150	735995.659	1008207.970	213.177	-0.049	0.000	-0.027	0.049	0.035	100.0000
292	736008.200	1008160.490	212.790	736008.245	1008160.494	212.826	-0.045	-0.004	-0.036	0.045	0.032	94.3560
4001	736035.590	1008158.070	212.104	736035.635	1008158.082	212.142	-0.045	-0.012	-0.038	0.047	0.033	83.4095
4002	736034.354	1008185.310	211.822	736034.408	1008185.306	211.864	-0.054	0.004	-0.042	0.054	0.038	104.7071
4003	735971.162	1008210.587	214.731	735971.212	1008210.599	214.793	-0.050	-0.012	-0.062	0.051	0.036	85.0047
5003	736005.303	1008191.878	213.374	736005.364	1008191.885	213.442	-0.061	-0.007	-0.068	0.061	0.043	92.7263
Posun těžiště:							-0.051	-0.005	-0.046	0.051		93.5305

STATISTIKA:

Počet bodů (n)	:	6
Požadovaná střední chyba (Uxy)	:	0.140m
Koeficient konfidence	:	2.0
Mezní střední odchylka v poloze (Up=2.0*Uxy)	:	0.280m
Počet bodů s uxy v intervalu <0, Uxy>	:	6 (100.0%)
Počet bodů s uxy v intervalu (Uxy, 2.0*Uxy)	:	0 (0.0%)
Počet bodů s uxy v intervalu (2.0*Uxy, +Nek.)	:	0 (0.0%)
Maximální dosažená střední odchylka v poloze (up)	:	0.043m
Výběrová střední souřadnicová chyba X (sx)	:	0.006m
Výběrová střední souřadnicová chyba Y (sy)	:	0.036m
Výběrová střední souřadnicová chyba (sxy)	:	0.026m
Použitý koeficient (k)	:	2.0
Počet nenalezených bodů	:	0
Počet bodů nalezených vícekrát	:	0

Příloha 4: Seznam souřadnic podrobných bodů

SEZNAM SOUŘADNIC			
Souř. systém: S-JTSK		Zakázka: Kostel sv. Ducha	
Výškový systém: Bpv		Lokalita: Liběchov	
Popis:			
Číslo bodu	Y	X	Z
101	736016,515	1008173,795	216,254
102	736018,832	1008170,899	216,265
103	736023,576	1008164,988	216,270
104	736023,625	1008165,024	213,577
105	736023,659	1008164,939	221,089
106	736023,683	1008164,949	217,351
107	736024,301	1008168,461	225,296
108	736024,295	1008168,415	228,078
109	736016,460	1008173,838	221,073
110	736016,475	1008173,867	217,340
111	736032,846	1008171,427	212,811
112	736024,877	1008164,835	216,258
113	736024,833	1008164,846	213,584
114	736032,238	1008170,629	216,239
115	736032,217	1008170,701	213,759
116	736029,366	1008164,900	213,108
117	736031,055	1008166,227	213,101
118	736029,796	1008165,704	221,438
119	736030,462	1008174,329	216,232
120	736028,267	1008177,134	216,227
121	736025,421	1008180,627	213,579
122	736025,473	1008180,651	216,227
123	736027,658	1008177,884	221,449
124	736025,552	1008180,529	221,468
125	736028,101	1008169,919	234,687
126	736026,397	1008168,612	234,692
127	736019,510	1008183,190	216,219
128	736015,702	1008179,969	216,221
129	736015,653	1008179,938	216,402
130	736015,543	1008179,926	221,668

Příloha 5: Fotografická dokumentace



Obrázek 31: Severovýchodní pohled na kostel



Obrázek 32: Pohled na kostel z průčelí



Obrázek 33: Pohled od vchodu uvnitř kostela



Obrázek 35: Pohled na levý balkon od presbytáře



Obrázek 34: Pohled na pravý balkon od presbytáře



Obrázek 36: Krypta