

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Fakulta stavební

DIPLOMOVÁ PRÁCE

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Katedra speciální geodézie
Obor: Geodézie a kartografie



Zaměření kostela sv. Jana Křtitele v Rochlicích

Measurement of st. John the Baptist in Rochlice

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Ondřej Buchar
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.
Rok: 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Buchar Jméno: Ondřej Osobní číslo: 460480
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. Jana Křtitele v Rochlicích

Název diplomové práce anglicky: Measurement of st. John the Baptist in Rochlice

Pokyny pro vypracování:

Rekognoskace kostela sv. Jana Křtitele.

Zaměření kostela metodou laserového skenování - exteriér a interiér.

Zpracování naměřených dat.

Vyhotovení účelové mapy kostela, 3D modelu vnější části kostela a části výkresové dokumentace.

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: 21.2.2020 Termín odevzdání diplomové práce: 18.5.2020
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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Tato diplomová práce popisuje geodetická měření a zpracování naměřených dat pro rekonstrukci kulturní památky kostela sv. Jana Křtitele v Rochlicích. Výsledkem této práce je vyhotovení účelové mapy, stavební výkres průčelí kostela, výkres půdorysu a 3D model budovy.

Výstupy této práce jsou vytvořeny pro firmu Valbek spol. s r. o., která je zhotovitelem geodetických prací. Tuto dokumentaci si dále převezme architektonický ateliér, který naprojektuje rekonstrukci kostela. Kostel sv. Jana Křtitele je ve správě Římskokatolické farnosti, Děkanství Liberec – Rochlice, což je objednavatel této zakázky.

KLÍČOVÁ SLOVA

geodetická měření, laserové skenování, stavební dokumentace, mapa, 3D model, rekonstrukce, kostel, Rochlice, Liberec

ABSTRACT

This diploma thesis describes surveying and processing of measured data for the reconstruction of the Church of St. John the Baptist cultural monument in Rochlice. The results of this work are a thematic map, a drawing of the church facade, a planometric drawing and a 3D model of the building.

The outputs of the thesis are created for Valbek spol. s r. o. company, that is a supplier of geodetic works. Afterwards the outputs will be obtained by a architectural studio, which will design a reconstruction of the building. Church of St. John the Baptist is managed by the Roman Catholic Parish, Dean's Office Liberec - Rochlice, which is the customer of the supplier's contract.

KEYWORDS

surveying, laser scanning, as-built documentation, map, 3D model, reconstruction, church, Rochlice, Liberec

BUCHAR, Ondřej. *Zaměření kostela sv. Jana Křtitele v Rochlicích*. Liberec, 2020, 78 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Zaměření kostela sv. Jana Křtitele v Rochlicích“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Liberec

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Tomáši Křemenovi, Ph.D., který tuto práci vedl, ochotně ji se mnou konzultoval a poskytl mi odborné poznatky a návrhy na zlepšení. Jsem rád, že jsme i ve ztížených podmínkách společně zdárně dotáhli tuto práci do konce, a i přes složité období pandemické krize jsme optimisticky pokračovali v jejím zpracování.

Rovněž bych chtěl poděkovat celé své rodině, která mě po dobu studia, zejména v jeho závěru, podporovala. Zvláště pak patří velké poděkování mé matce Mgr. Ivaně Bucharové, která mi i přes odbornou složitost textu provedla gramatickou korekturu.

Liberec

.....

podpis autora



Valbek, spol. s r.o.
středisko Liberec
Vaňurova 505/17
460 01 Liberec
<http://www.valbek.cz>
VALBEK-EU, a.s.
<http://www.valbek.eu>

PODĚKOVÁNÍ

Geodetická měření a jejich zpracování popsané v této diplomové práci byla realizována v rámci firemní zakázky liberecké společnosti Valbek, spol. s r. o., jejíž vyhotovení vedl Ing. Ladislav Jarůšek. Chtěl bych mu poděkovat za přístrojové a softwarové možnosti, které jsem díky němu a firmě Valbek měl pro zpracování této práce k dispozici. Dále mu děkuji za konzultace a jeho odborný pohled z praxe, zejména při tvorbě výkresů.

Také bych chtěl poděkovat Bc. Františku Hronovskému, který mi významnou měrou pomohl při laserovém skenování a při zpracovávání dat. Tvorbu modelu se mnou vždy ochotně konzultoval. Díky jeho zkušenostem jsem se naučil mnoho nového.

Děkuji oběma výše zmíněným za možnost spolupráce, která mě velmi profesně obohatila a naučila novým geodetickým metodám a počítačovým programům. Tyto znalosti mohu dále využít v budoucí praxi.

Liberec

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	12
1 OBJEKT ZAMĚŘENÍ	14
1.1 Lokalita kostela	14
1.2 Historie stavby	15
1.3 Aktuální využití kostela	16
1.4 Požadavky na zaměření	16
1.4.1 Stávající dokumentace	18
1.4.2 Požadavky na dokumentaci stávajícího stavu kostela	19
1.4.3 Rekognoskace okolí kostela	19
1.4.4 Zvolené metody	20
1.4.5 Použité přístroje	21
2 TEORIE LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ	22
2.1 Princip laserového skeneru	22
2.1.1 Zdroje záření	22
2.1.2 Princip měření délky	24
2.1.3 Metody rozmítání svazku	25
2.1.4 Základní typy skenerů	26
2.2 Teorie fungování laserových skenovacích systémů	26
2.2.1 Definice základních pojmů	26
2.2.2 Princip fungování skenovací stanice	27
2.2.3 Porovnání s měřením totální stanicí	28
2.2.4 Vliv geometrie a povrchu objektů na měření	28
2.2.5 Další vlivy působící na přesnost měření	29
2.3 Obecný postup zpracování dat	31
3 MĚŘICKÉ PRÁCE	33
3.1 Přípravná fáze	33
3.2 Vytvoření vztažné sítě	33
3.2.1 Stabilizace bodů vztažné sítě	33
3.2.2 Vztažný výškový bod	34
3.2.3 Měření vztažné sítě	34
3.2.4 Ověření výšky vztažného výškového bodu	35
3.2.5 Výpočet sítě a výškové vyrovnání	37
3.2.6 Přehledka vztažné sítě	38
3.2.7 Umístění identických bodů pro transformaci do S-JTSK	38

3.3	Zaměření půdorysu	39
3.4	Zaměření výškových bodů na průčelí	40
3.5	Skenování exteriéru i interiéru kostela	42
3.5.1	Rekognoskace budovy	42
3.5.2	Zaměření objektu laserovým skenováním	43
3.5.3	Zaměření účelové mapy kostela	45
4	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	48
4.1	Vyhotovení půdorysu kostela	48
4.2	Zasazení výkresu průčelí do Bpv	49
4.3	Vyhotovení účelové mapy okolí kostela	50
4.4	Vytvoření 3D modelu kostela	51
4.4.1	Založení databáze v Leica Cyclone	51
4.4.2	Import měřených dat	51
4.4.3	Tvorba registrace	51
4.4.4	Registrace Cloud-to-Cloud	52
4.4.5	Identifikace terčů pro transformaci	52
4.4.6	Transformace	53
4.4.7	Export z Leica Cyclone	54
4.4.8	Načtení mračna bodů do programu 3D Reshaper	54
4.4.9	Ředění dat	54
4.4.10	Ořezání mračna bodů	55
4.4.11	Vytvoření mesh modelu	55
4.4.12	Kopírování stejných částí kostela	55
4.4.13	Otáčení normál trojúhelníků	55
4.4.14	Propojení pomocí funkce Join 2 Contours	57
4.4.15	Vyhlazování modelu	58
4.4.16	Tvorba ostrých hran	58
4.4.17	Vytvoření hřbetu střechy	58
4.4.18	Vytvoření nové střechy v přístavku	59
4.4.19	Oprava děr v modelu	59
4.4.20	Odstranění nenapojených částí modelu	61
4.4.21	Detekce prolínajících se trojúhelníků funkcí Verify Integrity	62
4.4.22	Export modelu	62
4.5	Tvorba stavebního výkresu	62
4.5.1	Řez skenem	62
4.5.2	Kresba 1. nadzemního podlaží	62
5	Závěr	64

Literatura	65
Seznam symbolů, veličin a zkratk	67
Seznam příloh	68
A Ukázka účelové mapy	69
B Ukázka výkresu průčelí	70
C Ukázka výkresu 1. nadzemního podlaží	71
D Ukázka vytvořeného modelu kostela	72
E Kombinace modelu s 3D mapou	73
F Porovnání modelu a mračna bodů	74
G Zápisník z nivelace	75
H Geodetická zpráva	76
I Geodetický protokol	77
J Obsah přiloženého CD	78

Seznam obrázků

1.1	Mapa Liberce s umístěním kostela [23]	14
1.2	Rochlice v roce 1908 [15]	15
1.3	Kostel sv. Jana Křtitele [20]	17
1.4	Podrobnější mapa s lokací kostela [23]	20
1.5	Přístroj Leica RTC 360 [10]	21
2.1	Stimulovaná emise [4]	23
2.2	Obecný popis částí laseru [4]	23
2.3	Princip měření délky [4]	24
2.4	Zrcadlové rozmítání laseru [4]	25
2.5	Druhy skenerů [4]	27
2.6	Prostorová polární metoda [4]	28
2.7	Porovnání metod [4]	29
2.8	Rozptyl paprsku [4]	30
2.9	Odrazivost různých povrchů [4]	30
2.10	Kruhový terč. [10]	32
3.1	Místopis nivelačních bodů z ČUZK [21]	34
3.2	Parametry nivelačního pořadu	35
3.3	Nivelace na bodu CD-229.1	36
3.4	Přehledka bodů vztažné sítě	38
3.5	Ukázka rozmístění terčů v exteriéru kostela.	39
3.6	Měření půdorysu totální stanicí	40
3.7	Měření bodů na průčelí kostela	41
3.8	Skenování v interiéru kostela	42
3.9	Skenování exteriéru kostela	43
3.10	Rozmístění stanovisek skenování v exteriéru	44
3.11	Přehled rozmístění všech stanovisek pro skenování	45
3.12	Zaměření hřbitovní zdi	47
4.1	Schématické znázornění původního výkresu a zaměřeného půdorysu.	48
4.2	Porovnání vlevo starého a vpravo nového výkresu průčelí.	49
4.3	Ukázka tvorby výkresu průčelí v programu AutoCAD pomocí řezu.	50
4.4	Přesnost navázání jednotlivých mračen na sebe "cloud to cloud".	53
4.5	Přesnost transformace do S-JTSK.	54
4.6	Přenesení střechy z jednoho přístavku na druhý.	56
4.7	Okna kostela s opačnou normálou než zbytek budovy.	56
4.8	Krok 1 - nadefinovat spojované hrany.	57
4.9	Krok 2 - vybrat způsob vyplnění.	57
4.10	Vyhlazení okna od mříží.	58

4.11 Zvýraznění zlomu na střeše.	59
4.12 Nenaskenovaná střecha před opravou.	60
4.13 Po vytvoření nové střechy.	60
4.14 Chybné opravení děr na věžičce.	61
4.15 Program AutoCAD 2018 s podélným řezem skenu.	63

Úvod

Tato diplomová práce popisuje a prezentuje několikaletou pracovní akci liberecké projekční firmy Valbek, spol. s r. o., která byla zhotovitelem geodetických prací pro opravu kostela sv. Jana Křtitele v Rochlicích. Objednavatelem této zakázky byla Římskokatolická farnost, Děkanství Liberec – Rochlice. Zhotovitel následujících projekčních prací byl liberecký architektonický atelier Union Arch. Po celou dobu průběhu zakázky probíhala vzájemná komunikace mezi objednavatelem, geodety a architekty.

Celá tato akce sloužící k opravě významné sakrální památky v Liberci není brána jako standardní firemní zakázka, ale spíše jako charitativní pomoc na záchranu významné kulturně-historické budovy ve městské části Liberec – Rochlice.

Geodetické práce provedené firmou Valbek, spol. s r. o. byly zahájeny na podzim roku 2019 standardní rekognoskací terénu okolí kostela a proběhlo vyhotovení vztažné sítě. Při tvorbě sítě bylo provedeno výškové připojení na nivelační bod, který byl měřením technickou nivelací ověřen. Zbudovaná vztažná síť okolo kostela byla použita pro měření totální stanicí. Tou se prostorovou polární metodou zaměřila budova kostela s jeho okolím, včetně zaměření dat pro účelovou mapu. Významnou částí zakázky bylo zaměření kostela metodou laserového skenování, které proběhlo jak v exteriéru, tak i v celém interiéru kostela.

Po měření následovalo zpracování dat. Byla vyhotovena 3D účelová mapa okolí kostela, stavební výkres průčelí kostela a stavební výkres 1. nadzemního podlaží budovy. Mračno bodů ze skenování bylo zpracováno do podoby 3D mesh modelu kostela.

Tato publikace je rozdělena na čtyři části. Začátek detailněji představuje kostel sv. Jana Křtitele a popisuje jak budovu, tak její okolí. Rozebírá rekognoskaci terénu a představuje zvolené metody měření a přístroje použité v této zakázce.

Druhá kapitola popisuje obecnou teorii laserového skenování. Rozebírá fyzikální principy fungování laseru, způsoby měření úhlů a délek ve skenovacích přístrojích, dělení těchto přístrojů a jejich porovnání s klasickými geodetickými metodami.

Třetí kapitola je praktická. Popisují se v ní jednotlivá měření v průběhu celé akce. Obsahuje popis vyhotovení vztažné sítě a její výškové ověření. Uvádí měření bodů pro průčelí a půdorys kostela. Ve druhé polovině třetí části je popsán způsob zaměření kostela laserovým skenerem.

Závěrečná část obsahuje postup zpracování naměřených dat. Zejména podrobněji rozebírá způsob registrace mračna bodů naměřených skenerem. Následuje sepsání postupu způsobu vyhotovení 3D mesh modelu v programu 3D Reshaper.

Přestože se laserové skenování v české republice používá už téměř 18 let a ve světě dokonce o pár let dříve, zastáváme s Ing. Ladislavem Jarůškem názor, že stále není doceněna výhoda pozemních skenovacích systémů.

Pokud je budova celá naskenována, přináší to pak možnost projektantovi si cokoliv potřebného odměřit přímo z modelu. Tím odpadá nutnost vyjet s kapesním metrem z kanceláře a navštívit projektovaný prostor osobně. V minulosti se stávalo, že při zaměřování objektů klasickými geodetickými metodami projektant ne vždy přesně dokázal geodetovi popsat, co podstatného potřebuje na budově zaměřit. Často tak vznikala nedorozumění a bylo nutné místo navštěvovat i několikrát, a pak požadavky doměřovat.

Týká se to většinou projektantů, kteří jsou k takovýmto datům nedůvěřiví a raději stále pracují s výkresy ve 2D, než aby si celé objekty sami zobrazili a virtuálně procházeli ve 3D prostoru. I to byl jeden z důvodů, proč jsme se rozhodli kostel svatého Jana Křtitele kompletně naskenovat.

1 OBJEKT ZAMĚŘENÍ

1.1 Lokalita kostela

Kostel svatého Jana Křtitele v Rochlicích, který byl v této diplomové práci zaměřen, je sakrální stavba ve stotisícovém městě Liberec na severu České republiky v Libereckém kraji. Budova s parcelním číslem 1 se nachází v katastrálním území Rochlice u Liberce (682314). Barokní kostel svatého Jana Křtitele stojí v ulici Na Žižkově, nedaleko třídy Dr. Milady Horákové (obrázek 1.1).



Obr. 1.1: Mapa Liberce s umístěním kostela[23]

Rochlice, německy Röchlitz, je jedna z nejstarších Libereckých čtvrtí s označením Liberec – VI. Jedná se o nejhustěji obydlenou část města Liberce. Významně tomu také přispěla výstavba rozsáhlého sídliště umístěného nedaleko od zaměřované oblasti.

Jméno Rochlice, významem to samé jako Rokytnice, je odvozen od slova rokytí. Rokytí je křoví na břehu řeky, v tomto případě Nisy, která pramení v Jizerských horách. Z nich teče Jabloncem nad Nisou, dále přes liberecké čtvrtě včetně Rochlice, kde podtéká kostel, pak přes centrum města až dále na sever, kde u Hrádku nad Nisou opouští území České republiky a začíná tvořit hranici mezi Německem a Polskem.

Rochlice vznikly na konci 13. století nedaleko brodu přes Lužickou Nisu. První obyvatelé této podhorské vesnice byli původně němečtí osadníci. K dalšímu rozvoji

obce došlo v 19. století během průmyslové revoluce. Ke konci tohoto století byly Rochlice jedním z nejvýznamnějších průmyslových center Liberecka (obrázek 1.2).

Po první světové válce sláva Rochlic pomalu upadá a objevují se drobné konflikty mezi německým a českým obyvatelstvem obce. Po podepsání Mnichovské dohody se muselo místních jeden a půl tisíce Čechů vystěhovat do vnitrozemí. Za německé okupace byla obec Rochlice přičleněna ke stále se rozpínajícímu městu Liberec. Ten byl za období protektorátu, s jeho německých názvem Reichenberg, hlavním městem nově oddělující se oblasti Deutschböhmen (Německé Čechy). Po druhé světové válce nastal i odsun Němců. Důsledkem těchto opatření přišel Liberec o velkou část svých původních obyvatel. [17]



Obr. 1.2: Rochlice v roce 1908 [15]

1.2 Historie stavby

Kostel svatého Jana Křtitele v Liberci – Rochlicích je sakrální stavba chráněná jako kulturní památka České republiky.

Současný barokní kostel byl vystavěn na místě původního dřevěného evangelického kostela, který rochlíčí místní vybudovali na počátku 17. století. Ještě před tímto dřevěným kostelem, zde nejspíše stál starší kostelík, protože zmínky o obci se datují již od počátku 14. století.[17]

Mezi lety 1600–1624 působila při kostelu v Rochlicích luteránská církev. Po skončení třicetileté války v následující protireformistické době připadl kostel katolíkům a byl vysvěcen svatému Janu Křtiteli. V letech kolem 1658 byl dřevěný kostel nahrazen zděným, k němuž byla o několik let později přistavena hranolová věž s osmibokým zakončením, typickým pro pomezí Čech a Lužice. V ní pak byly zavěšeny tři zvony.

Rozsáhlá rekonstrukce se konala v letech 1708–1709, kdy byl obnoven celý interiér včetně oltáře, kazatelny a varhan. K předsíni této barokní stavby s jedinou věží byla roku 1746 přistavěna kaple rodiny Appeltů. Kostel naneštěstí v roce 1800 vyhořel a musela být postavena věž nová. [16]

U kostela se dochovala zeď bývalého hřbitova, který se spolu s růstem obce zvětšoval směrem do svahu nad ním. Po roce 1945 stavba značně zchátrala. V 80. letech 20. století byl při stavbě sídliště hřbitov zplanýrován. Kostel sv. Jana Křtitele dodnes představuje cennou vzpomínku na dávnou historii Rochlic.[17]

Sakrální stavba je prostá barokní, která je členěná lizénami, o třech osách, s půlkruhovým presbytářem. Dominantní hlavní věž (obrázek 1.3) je dole hranolová a bosovaná, s oktogonálním vrškem, dvojným zvonem a lucernou. V koutech věže jsou dva jednopatrové pětiboké přístavky. Přistavěný presbytář kostela v roce 1708 je valeně sklenut s lunetami. V interiéru kostela jsou v nikách sochy sv. Petra a Pavla. V lodi je plochý strop. Hrobka je obdélná, sklenutá kupolí a uzavřena vraty s ozdobnou kovanou mříží pocházející ze začátku 18. století. Boční oltář, kazatelna a varhany jsou pseudorenesanční z roku 1888. Umělecky zajímavá je křtitelnice s kamenným kalichem a s reliéfním révovím pocházející z 1. poloviny 18. století. [18][19]

1.3 Aktuální využití kostela

V současné době je kostel funkční. Má status děkanského kostela a spadá pod správu Římskokatolické farnosti – děkanství Liberec-Rochlice. Ta spadá do Libereckého vikariátu, který je součástí litoměřické diecéze.

Od 1.5.2013 je duchovní správce kostela kněz Mgr. Bartoloměj Pavel Černý. V rochlíckém kostele se slouží pravidelné mše každý den v týdnu kromě úterý. Sakrální stavba bývá hojně využívána i ke svatebním obřadům.

1.4 Požadavky na zaměření

Kostel svatého Jana Křtitele v Rochlicích je sice funkční a bohoslužby probíhají, nicméně potřebuje co nejdříve rozsáhlou rekonstrukci. Zatím se provádějí jen nejn nutnější opravy, aby byla zajištěna provozuschopnost budovy. V minulých letech byla vybudována v sakristii toaleta, ale jinak žádné výrazné stavební změny kostel od doby meziválečné nezaznamenal a pomalu chátrá.

Na opravu kostela se průběžně vybírá sbírka od návštěvníků kostela. Pro jakýkoliv stavební zásah do této sakrální stavby je potřeba kvalitní dokumentace stavu celého objektu. Jak pro projektanty, tak následně pro schválení na stavebním úřadu.



Obr. 1.3: Kostel sv. Jana Křtitele [20]

Objednatel celého tohoto projektu je Římskokatolická farnost, Děkanství Liberec – Rochlice. Oprava tohoto kostela však není standardní firemní zakázka. Jedná se spíše o charitativní akci, kdy většina financování je právě z příspěvků od věřících a projekční i geodetické práce jsou zdarma nebo za symbolickou cenu.

Do záchranu kostela a zhotovení projektové dokumentace k rekonstrukci kostela svatého Jana Křtitele v Rochlicích se zapojil liberecký architektonický ateliér Union Arch¹. Tito architekti už dříve na některých sakrálních stavbách spolupracovali, a tedy budou moci své zkušenosti využít i na restaurování takto kulturně významné náboženské stavby.

Pro své projektování však ateliér potřeboval aktuální geometrické zaměření stavby. Zhotovitelem zakázky na jeho provedení byla liberecká projekční firma Valbek, spol. s r. o.² se sídlem ve Vaňurově ulici v Liberci. Pro vyhotovování přesných geometrických podkladů má tato firma svou vlastní geodetickou sekci. Vedoucí tohoto oddělení, Ing. Ladislav Jarůšek, vyslal měřickou četou, která měla za úkol zaměření kostela v Rochlicích. Složení čety bylo jmenovitě Bc. František Hronovský, Bc. Ondřej Buchar a Vojtěch Černý.

1.4.1 Stávající dokumentace

Z již dříve uskutečněných projektů na budově kostela byla poskytnuta různá stavební dokumentace z let minulých, která se dala k budově dohledat. Byl to výkres pro vybudování toalety v sakristii od Ing. M. Šemeráka a výkres nově budovaných kabelových sítí k elektrifikaci kostela vyhotovený Ing. Dabrowskim. Oba tyto dokumenty jsou v místní souřadnicové soustavě, respektive místnosti byly pouze okótovány. Na žádném listu není uveden rok vyhotovení.

Novější dodaná dokumentace byl nárys kostelní věže v měřítku 1:100 od Ing. Jiřího Novotného. Výkres byl vyhotoven již na počítači, ale jeho elektronickou verzi

¹Ateliér Union Arch - ateliér vznikl v roce 1992, založen dvěma libereckými architekty - Pavlem Švancerem a Pavlem Vaněčkem. V ateliéru jsou zastoupeny všechny důležité profese a je-li třeba, úzce spolupracuje s jinými kanceláři v Liberci. Portfolio ateliéru zahrnuje rozmanitou škálu specifických budov a stavebních komplexů v Liberci i v celé České republice. [6]

²firma Valbek - Firma Valbek, spol. s r.o., která má mimo jiné své působící středisko v Liberci, je projektová kancelář se zaměřením na projektování pozemních komunikací, mostů, tunelů, kolejové dopravy, vodohospodářských staveb, pozemních staveb. Dále se zaměřuje na vizualizace, inženýring, geodézii, posuzování vlivu staveb na životní prostředí a dopravní inženýrství. V České republice má tři pobočky – v Liberci, v Ústí nad Labem a v Plzni. Byla založena roku 1990. Společnost Valbek, spol. s r.o. spadá pod koncern VALBEK-EU, a.s. se sídlem v Liberci. Tento holding pod sebou zahrnuje nejen projekční kanceláře po České republice, ale také firmy na Slovensku nebo v Rusku. Více jak polovina zakázek společnosti se týká pozemních komunikací nebo kolejové dopravy. [7]

jsme k dispozici neměli. Rok zaměření opět neznámý. Zde chyběly i výšky vstupů do objektu, které jsou pro některé druhy projektování nezbytné.

1.4.2 Požadavky na dokumentaci stávajícího stavu kostela

Děkanství římskokatolické farnosti v Liberci – Rochlicích žádalo o vyhotovení celkové dokumentace pro projektování rekonstrukce kostela. Požadovalo zaměření a vyhotovení účelové mapy, 2D plánů a také 3D dokumentaci celé stavby. V rámci 2D dokumentace bylo potřeba ověřit přesnost podkladů dřívějších výkresů kostela.

Dle obsahu jednotlivých částí celé zakázky a jejich priority vyhotovení byl společně s panem Ing. Ladislavem Jarůškem vytvořen časový harmonogram měření.

První z požadavků projektanta na zaměřování bylo vyhotovit půdorys kostela v S-JTSK a doplnit do výkresu kostelní věže výškové body v Bpv. Měření pro vyhotovení těchto počátečních parametrů pro projektování proběhlo na jaře v roce 2019.

Dalším krokem bylo zaměření skutečného stavu exteriéru i interiéru kostela. Z naměřených dat byla vyhotovena účelová mapa okolí kostela svatého Jana Křtitele v Rochlicích. Získávání dat pro tuto etapu proběhlo na podzim 2019.

Na jaře 2020 proběhlo měření pro účelovou mapu okolí kostela, která byla následně vyhotovena. Také se v neposlední řadě začalo pracovat na 2D dokumentaci. V rámci této diplomové práce bylo vyhotoveno průčelí budovy a stavební výkres interiéru budovy prvního nadzemního podlaží, tedy výkres hlavní lodi kostela.

1.4.3 Rekognoskace okolí kostela

Kostel svatého Jana Křtitele je v Liberci situován velmi dostupně (obrázek 1.4). Přímo až ke kostelu se dá před hlavní vstup dojet osobním automobilem. Nejkratší cesta ze středu města vede po třídě Dr. Milady Horákové. Na jejím konci se dáte vlevo do kopce dlážděnou ulicí Na Žižkově. Po zhruba sto metrech stoupání se do ulice napojuje vpravo příjezdová cesta k objektu.

Kostel je sám o sobě dosti vysoký a je obehnán z celé západní a jižní části vysokou kamennou hřbitovní zdí. Tento prostor částečně omezuje možnost zaměřovat objekt z větší vzdálenosti a tím pokrýt větší plochy, které nejsou kolmé a dobře viditelné. Jedná se převážně o střešní krytiny a dvě věžní kopule kostela.

Ze severovýchodní strany roste blízko kostelní zdi vysoké rododendronové křoví. To, a vzrostlé přilehlé stromy v okolí kostela, výrazně zkomplikovaly zaměření vnějších zdí pro vyhotovování modelu. Měření probíhalo v podzimních a jarních měsících, přesto mnoho větví z okolních porostů kvalitu dat a schopnost měření znesnadňovalo.

Celý severní prostor do svahu od kostela po bývalém hřbitově je otevřený a nyní slouží jako park pro obyvatele nedalekých panelových domů. Tato část exteriéru je



Obr. 1.4: Podrobnější mapa s lokací kostela [23]

protkaná dlážděnými chodníky, do kterých je vhodné zatlouci hřeby měřičské sítě. V těchto materiálech je umístění měřičských hřebů velice stabilní i na následujících několik let.

1.4.4 Zvolené metody

Pro zaměření půdorysu budovy kostela ve výšce 1 metru, zaměření jednoznačně identifikovatelných výškových bodů na věži kostela umístění výkresu do Bpv a pro vytvoření účelové mapy okolí kostela byla zvolena polární metoda.

Polární metoda byla též využita k zaměření terčů pro registraci mračen z laserového skenování celého kostela. Díky nim mohl být model budovy umístěn do národního souřadnicového systému JTSK.

Budova samotná byla jak z exteriéru, tak v interiéru podrobně zaměřena laserovým skenováním. Tato metoda byla zvolena z důvodu velkého rozměru sakrální stavby a možnosti zachycení velkého množství detailů. Těch je na kostelech velké množství, protože kostely byly pýchou obce a na jejich stavbu a zdobení byly vynakládány nemalé prostředky.

Pro ověření výšky nivelační značky CD-229.1 byla zvolena metoda technické nivelace digitálním nivelačním přístrojem. Byl veden nivelační pořad tam a zpět mezi body CD-229.1 a CD-228.1.

1.4.5 Použité přístroje

Měření účelové mapy a další polární měření byla realizována s totální stanicí Leica MS50 (v. č.: 370044) s úhlovou přesností 1" (0,3 mgon) a přesností měření délek 1 mm + 1,5 ppm (bez hranolu 2 mm + 2 ppm). [9]

Celý interiér a exteriér byl také naskenován skenerem Leica RTC 360 (v. č.: 3601624) (obrázek 1.5) s úhlovou přesností 18", délkovou přesností 1.0 mm + 10 ppm. Skener dosahuje 3D přesnosti bodu 1.9 mm/10 m, 2.9 mm/20 m. [10]

Pro měření bodů při tvorbě vztažné sítě byl využit přístroj na zjišťování polohy metodou GNSS Leica GS18T, (v. č.: 3601623) s kontrolérem Leica CS20 (v. č.: 2428522). [11]

K ověření výšky nivelačního bodu číslo CD-229.1 byl použit nivelační přístroj Leica LS15 (v. č.: 7049397). [12]



Obr. 1.5: Přístroj Leica RTC 360 [10]

2 TEORIE LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Teorie v této kapitole je čerpána převážně ze zdrojů [1], [2] a [3], pokud není uvedeno jinak.

Laserové skenovací systémy (LSS) dokážou určit velmi rychle velké množství prostorových souřadnic jednotlivých bodů na zaměřovaném objektu, a to s velmi velkou přesností. Vzhledem k plošnému snímání objektu je zaměření precizní a komplexní.

Naskenovaný objekt je interpretován mračnem bodů (point clouds), ze kterých lze dále vytvářet 3D model (trojúhelníkový mesh model), vizualizace složitých staveb a konstrukcí pomocí virtuální reality (VR) nebo modely terénů pro měření kubatur. Z mračna bodů se dají také odměřovat libovolné vzdálenosti mezi objekty, a to i ty nepřístupné, například výšku věže nebo tloušťku stěn¹.

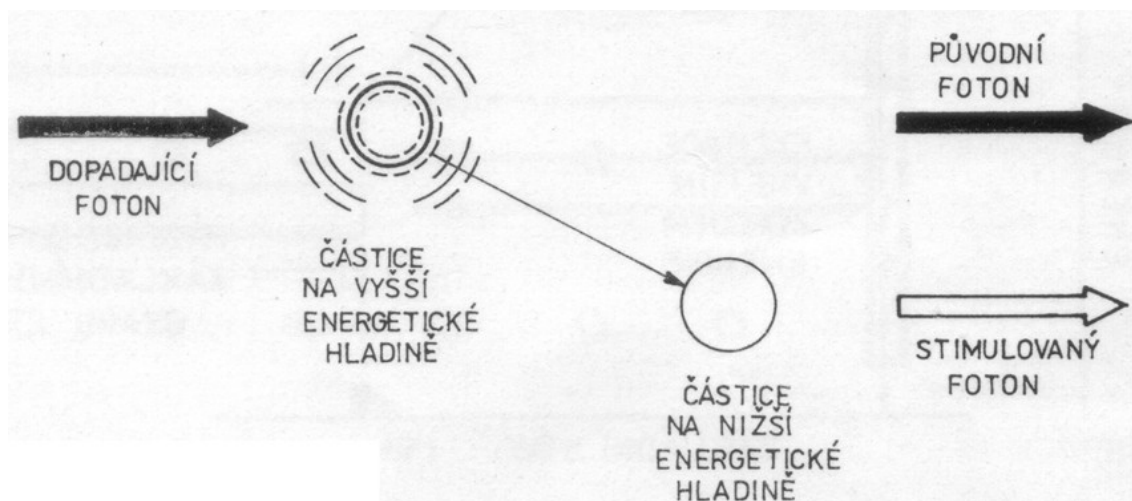
2.1 Princip laserového skeneru

Laserové skenovací systémy používané pro geodetická zaměřování určují polohu bodů prostorovou polární metodou. K tomu využívají digitální čtení úhlů a pro měření délek využívají nejčastěji pulsní laserovou technologii.

2.1.1 Zdroje záření

Nejvhodnějším zdrojem záření pro laserové skenovací systémy je laser. Z fyzikálního pohledu je laser kvantově elektronický zesilovač elektromagnetického záření nejčastěji v oblasti viditelného spektra světla. Laser je zdrojem monochromatického, časově a prostorově koherentního, velmi intenzivního a vysoce směrového záření. Princip laseru je založen na stimulované emisi fotonu v aktivním prostředí laseru. Aktivní prostředí laseru tvoří atomy, ionty nebo molekuly, které se za normálních podmínek nacházejí v nejnižším energetickém stavu. Pokud jsou však tyto částice excitovány do vyšších energetických stavů vnějším zdrojem energie, budou při přechodu do původního energetického stavu vyzařovat světelné záření. Vnějším zdrojem energie jsou například intenzivní světelné záblesky nebo elektrický výboj. Při průchodu fotonu kolem excitované částice dojde k její stimulaci a vyzáření fotonu stejné vlnové délky ve směru pohybu, jako původní foton (obrázek 2.1). Tímto způsobem dochází k postupnému zvyšování toku fotonů, které vytváří velmi intenzivní svazek.

¹Díky této možnosti byly například objeveny zapomenuté zadržované sklepní prostory. A to tak, že místo očekávané tloušťky zdi mezi vnitřním a vnějším skenováním, zde byl několikametrový prázdný prostor.

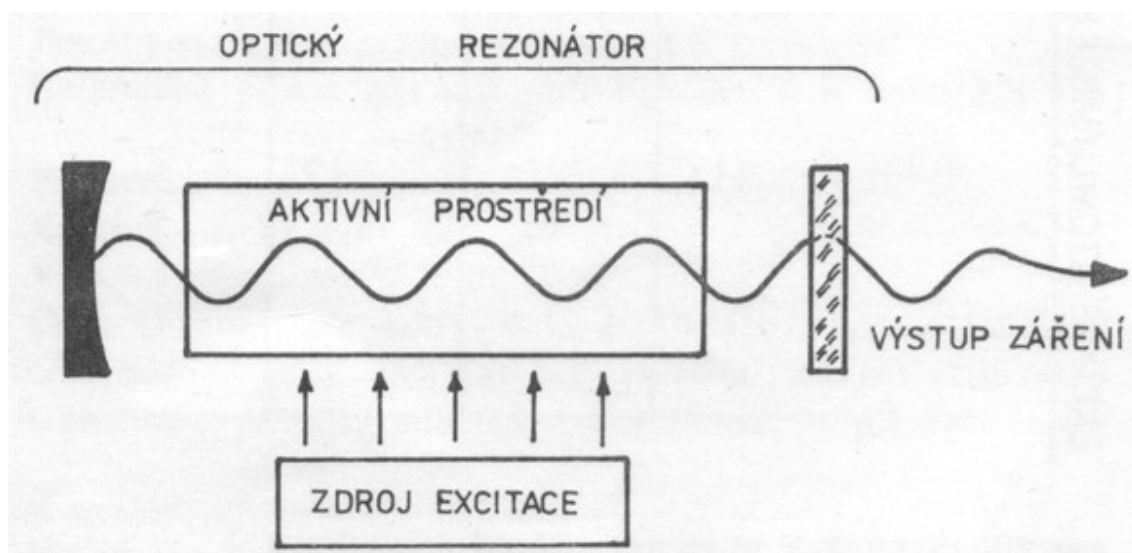


Obr. 2.1: Stimulovaná emise [4]

Každý laser se skládá ze tří základních částí (obrázek 2.2). Aktivní zesilovací prostředí, které obsahuje částice schopné excitace, dále zdroj energie, kterou tuto excitaci vyvolává a optický rezonátor, který zajišťuje zesilování laserového záření.

Lasery se nejčastěji dělí podle vlnové délky emitovaného záření nebo podle aktivního prostředí. Podle aktivního prostředí je možné lasery rozdělit na plynové, kapalinové, pevné, chemické a polovodičové. V dnešní době se využívají u LSS polovodičové lasery.

Funkce polovodičového laseru je založena na vzniku stimulované emise záření



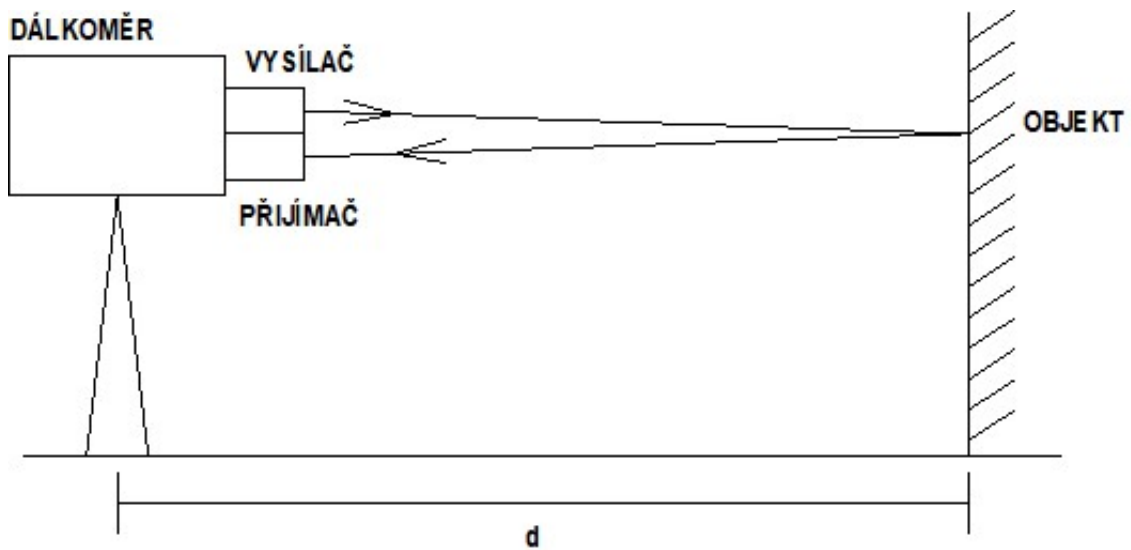
Obr. 2.2: Obecný popis částí laseru [4]

v aktivním polovodičovém materiálu při kvantových přechodech elektronů z vlastního do valenčního energetického pásu a excitaci nábojů.

Hlavní předností polovodičových laserů je jejich kompaktnost, možnost přeladění v širokém spektrálním pásmu a pomocí výběru aktivního prostředí generace záření vlnových délek v širokém spektru. Nevýhodou je rozbíhavost generovaného záření a velká závislost parametrů generovaného záření na teplotě aktivního polovodičového materiálu. Polovodičové lasery pracují v neviditelném spektru blízké infračervené oblasti i ve viditelné oblasti spektra červené a zelené barvy. Polovodičový laser má nízkou spotřebu elektrického proudu, vysokou účinnost, malé rozměry a nízkou citlivost na zacházení.

2.1.2 Princip měření délky

Měření vzdáleností v geodetických skenovacích systémech je založeno na elektromagnetickém způsobu. Elektromagnetický dálkoměr funguje tak (obrázek 2.3), že elektromagnetické vlnění vychází z vysílače, odrazí se na koncovém měřeném bodě a vrací se zpátky do přijímače umístěného na počátku měřené délky.



Obr. 2.3: Princip měření délky [4]

Elektronické dálkoměry využívané ve skenovacích systémech se dělí podle principu měření. A to na impulsní nebo fázové. Impulsní dálkoměr je založen na měření tranzitního času, který elektromagnetický impuls potřebuje k projití dvojnásobku měřené délky. Vysílač dálkoměru vyšle impuls, který zároveň spustí elektromagnetické měření času. Impuls se odrazí a dopadá na přijímač dálkoměru a tím ukončí měření času. Ze známé rychlosti šíření impulsu prostředím lze určit dvojnásobek

měřené vzdálenosti. Jelikož je rychlost elektromagnetický vln $3 \cdot 10^8 m/s$, je tranzitní čas malý a jsou kladeny vysoké nároky na přesnost měření tranzitního času. Například pro délku 15 m je tranzitní čas $0,1 \mu s$.

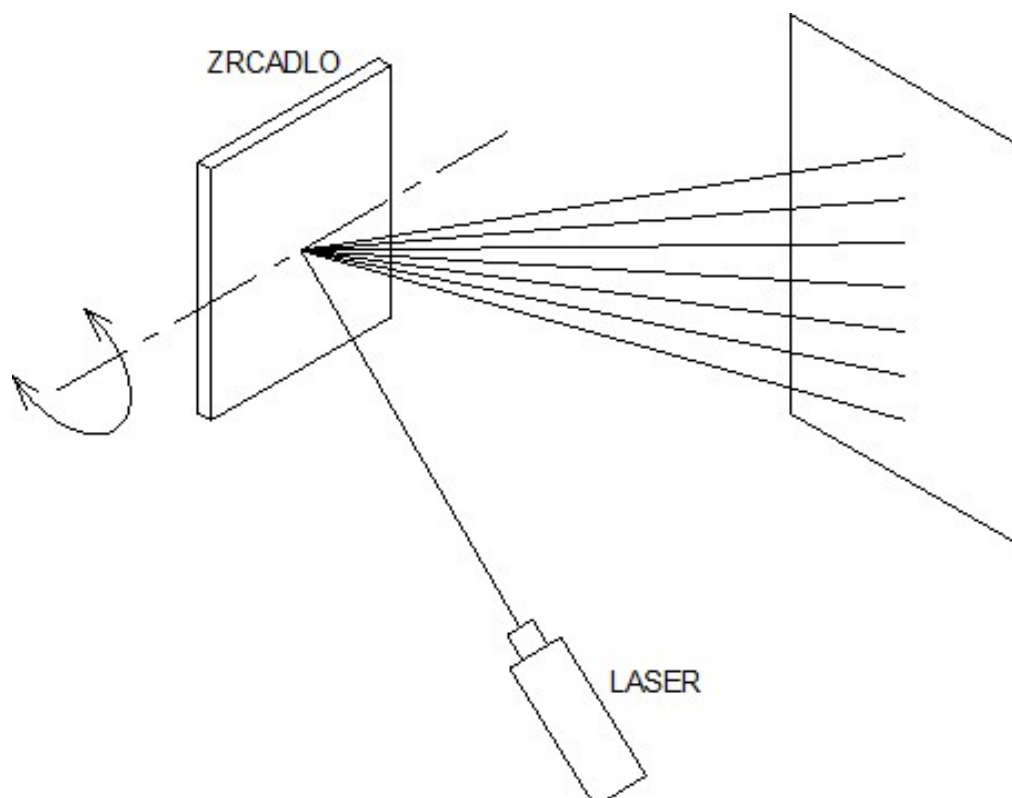
Fázový dálkoměr je založen na měření fázového rozdílu. Ten vzniká mezi vysílaným a přijímaným signálem. Z tohoto zjištěného fázového rozdílu se určí měřená délka.

Rychlost šíření elektromagnetických vln je v daném prostředí ovlivněna jeho indexem lomu. Jeho hodnota závisí na mnoha aspektech. Je to teplota, tlak, vlhkost, složení prostředí a použitá vlnová délka záření. Pro delší měřené délky mohou tyto parametry významně ovlivňovat přesnost měření.

2.1.3 Metody rozmítání svazku

V dnešní době se k rozmítání laserového svazku ve skenovacích systémech využívá pět různých metod.

Jednou z možností je vychylovat laserový svazek pomocí rotujícího zrcadla. Tímto způsobem se vytvoří svazek přímk, které leží v jedné rovině. Spojením dvou zrcadel lze svazek vychylovat do libovolného směru (obrázek 2.4).



Obr. 2.4: Zrcadlové rozmítání laseru [4]

Další možností je laserový svazek rozmítat pomocí rotujícího optického odrazného hranolu. Má obvykle tvar pravidelného n -úhelníku, jehož normála je osou rotace.

Využívaným systémem ve vychylování svazku je také využití rotace zdroje záření ve dvou osách. Využívá se podobného principu jako u laserového dálkoměru v motorizované totální stanici.

Čtvrtým využívaným systémem je rozmítání svazku pomocí rotujícího zrcadla, které směřuje laserový svazek do vstupů optických vláken, uspořádaných do kružnice. Optická vlákna slouží jako světlovody a kružnicové uspořádání je rozvinuto do roviny, v níž optická vlákna vytvářejí vějíř s požadovaným úhlem rozbíhavosti.

Poslední možností rozmítnutí svazku paprsku je využití statického optického elementu, který vytváří v prostoru výseč světelné roviny.

2.1.4 Základní typy skenerů

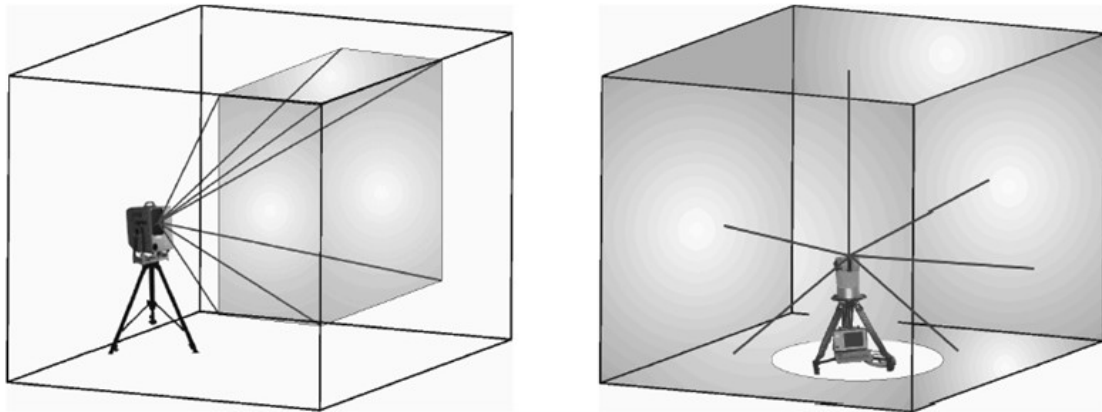
Mezi důležité vlastnosti 3D laserových skenovacích systémů patří takzvané zorné pole. Zorné pole je maximální úhlový rozdíl krajních výstupních laserových svazků paprsků. Udává se ve stupních v horizontálním a vertikálním směru. Tato vlastnost je úzce spojena s tím, jakým způsobem je naváděn laserový svazek bodů rastru.

3D laserové skenery obecně fungují tak, že laserový paprsek je naváděn podle programu na body v rastru ve sloupcích a řádcích, přičemž je měřen horizontální a vertikální úhel a vzdálenost. U některých modelů je tak činěno pomocí systémů dvou zrcadel nebo hranolů se vzájemně kolmými osami otáčení. Tento systém umožňuje rozmítat laserový svazek do relativně malého zorného pole. Tyto skenery se nazývají kamerové. U panoramatických skenerů je otáčeno celou dálkoměrnou součástí pomocí servomotorů, což umožňuje naskenovat téměř celé okolí. Tyto skutečnosti je potřeba brát v potaz při určování stanovisek. Kamerový systém se s výhodou uplatní při skenování vzdálených objektů, oproti tomu panoramatický skener nalezne uplatnění při skenování interiérů (obrázek 2.5).

2.2 Teorie fungování laserových skenovacích systémů

2.2.1 Definice základních pojmů

- **3D laserový skenovací systém** – je systém, umožňující převést vybraný reálný objekt do podoby počítačového virtuálního modelu CAD (computer-aided design). Takový systém se skládá z 3D laserového skeneru, software pro řízení (ovládání) a zpracovávání (modelování), příslušenství (stativ, baterie, atd.).



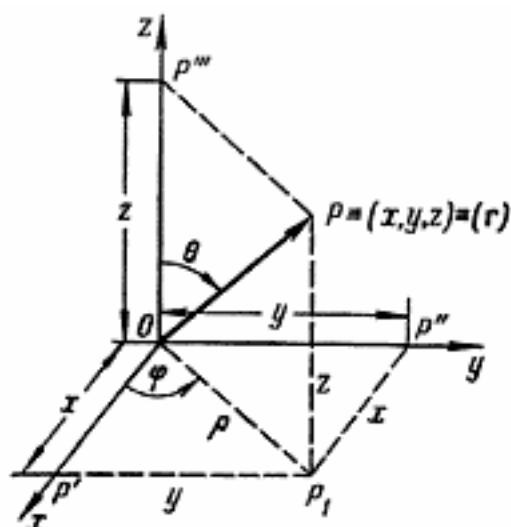
Obr. 2.5: Druhy skenerů [4]

- **3D laserový skener** – je takové zařízení, které je schopno po nastavení parametrů skenování obsluhující osobou automaticky provést 3D skenování.
- **Řídící počítač** – zařízení vybavené řídicím softwarem, které řídí práci skeneru a registruje měřené hodnoty. U některých výrobků je počítač integrován do skeneru v podobě ovládacího panelu.
- **Software pro zpracování** – programový systém sloužící pro zpracování naměřených mračen bodů. Výstupem bývá počítačový model objektu.
- **3D laserové skenování** – proces, při kterém laserový skener určuje prostorové souřadnice bodů a ukládá je do paměti. Některá laserová skenovací zařízení jsou navíc schopna měřit intenzitu přijatého záření.
- **Parametry skenování** – jsou velikost a poloha skenovacího pole a hustota skenování.
- **Mračno bodů** – soubor zaměřených bodů ve 3D.

2.2.2 Princip fungování skenovací stanice

Základním principem fungování geodetického laserového skeneru je prostorová polární metoda. Schéma této metody je znázorněno na obrázku (obrázek 2.6). K určení souřadnic bodu P je třeba znát délku průvodiče r (měřená délka) a úhly θ , φ . Úhly jsou získávány například z polohy zrcadel, které rozmítají laserový svazek a délka je získávána například impulsním dálkoměrem skeneru synchronizovaně s polohou zrcadel. Výsledkem výpočtu jsou 3D souřadnice měřeného bodu objektu v souřadnicovém systému skeneru, který je obecně umístěný a orientovaný.

Pro naskenování bodů objektu se používají již dříve zmíněné principy rozmítání laserového svazku, pomocí kterých jsou na povrchu objektu měřeny body v profilech ve zvolené hustotě.



Obr. 2.6: Prostorová polární metoda [4]

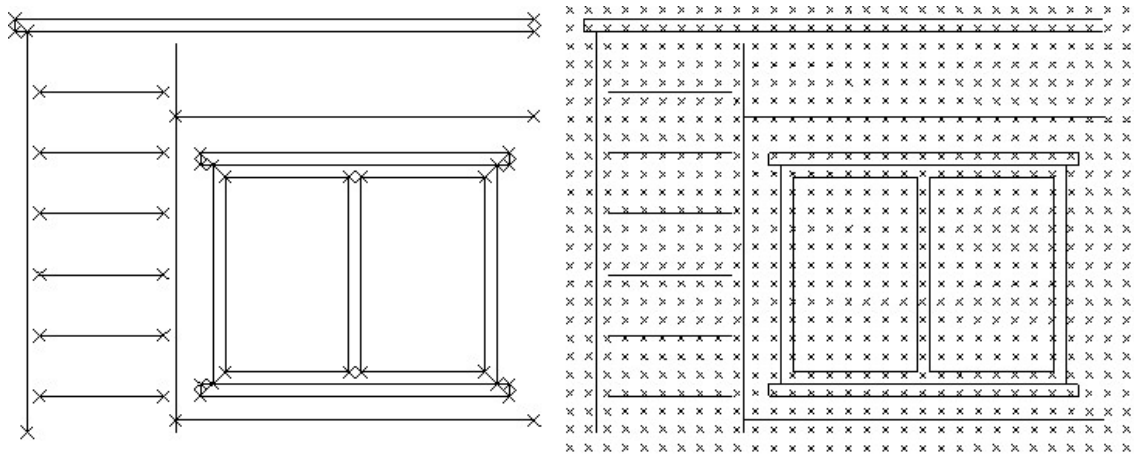
Takto zaměřené body tvoří tzv. mračno bodů. Pro zlepšení orientace uživatele při zobrazení je v některých systémech bod zobrazen nejen polohou, ale také barvou, která vyjadřuje intenzitu přijatého signálu při měření délek. Barevně jsou odlišeny povrchy různých materiálů, úprav a geometrické konfigurace.

2.2.3 Porovnání s měřením totální stanicí

V porovnání s geodetickými metodami je laserové skenování neselektivní metodou měření (obrázek 2.7). U geodetických metod včetně fotogrammetrie jsou pro následné modelování zjišťovány souřadnice vybraných charakteristických bodů objektu, jako jsou na příklad vrcholy, hrany apod. Oproti tomu u skenování jsou body rozmístěny neselektivně v pravidelném úhlovém rastru, a tedy obecně nejsou měřeny charakteristické body objektu. Ty je nutno získat modelováním. Před měřením je tedy nutno uvážit požadovanou přesnost modelování nepravidelných objektů vzhledem k pokrytí jejich povrchu podobnými body.

2.2.4 Vliv geometrie a povrchu objektů na měření

Při používání laserových skenovacích systémů může dojít ke stejnému efektu, jako při využití totálních stanic s pasivním odrazem. Jedná se například o problematiku měření na rovinu cíle, jejíž normála není rovnoběžná s dráhou paprsku. Pokud je odchylka normály a dráhy velká, nedochází k odrazu zpět směrem na skener nebo k němu dojde po vícenásobném odrazu.



Obr. 2.7: Porovnání metod [4]

Složka dopadajícího záření, která je odražena zpět ke zdroji, je pro měření pomocí LSS klíčová. Se zvyšujícím se úhlem dopadu hodnota intenzity této složky klesá. Může pak dojít k tomu, že vzdálenost není změřena nebo je změřena chybně po vícenásobném odrazu.

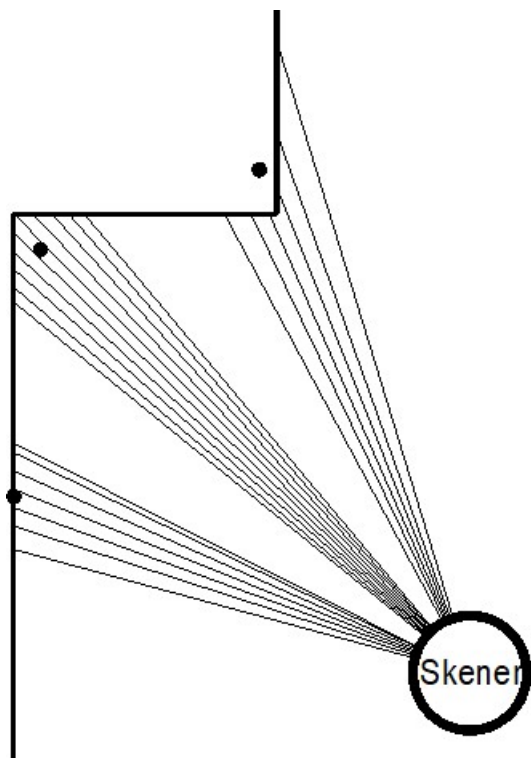
Při měření ostrých hran a rohů objektů může dojít k dalšímu typu nepřesnosti a to efektu, kdy skenovací laserový paprsek má v dané vzdálenosti určitý průměr z důvodu jeho rozptylu. Pokud takto rozptýlený paprsek dopadne na rozhraní ploch, určená vzdálenost je pak průměrnou hodnotou vzdáleností dopadu svazku (obrázek 2.8).

Povrch skenovaného objektu působí na měření skenovacím systémem prostřednictvím své schopnosti odrážet optická záření. Tato schopnost závisí na vlastnostech dopadajícího záření (vlnová délka, polarizace) a na materiálových a geometrických vlastnostech povrchu. Na barvě, odrazivosti a drsnosti.

Následující tabulka 2.9 ukazuje vybrané materiály a jejich reflektivitu (odrazivost).

2.2.5 Další vlivy působící na přesnost měření

Na přesnost měření pomocí laserových skenovacích systémů působí v první řadě přesnost určení vzdálenosti a přesnost určení úhlů. Tyto veličiny jsou ovlivňovány kvalitou a funkcí samotného skeneru, ale také vnějšími vlivy. Do nich můžeme zahrnout vliv změn atmosférických podmínek, které působí jednak na prostorovou trajektorii laserového svazku a jednak na vlastní přístroj. V případě, že je měření složeno z více mračen bodů, které jsou následně spojovány do jednoho celku, nepřesnosti v jejich určení se přenášejí do transformovaných bodů. Vliv má nejen přesnost



Obr. 2.8: Rozptyl paprsku [4]

MATERIÁL	REFLEKTIVITA / %
Bílý papír	do 100%
Stavební dřevo (borovice, čistá, suchá)	94%
Sníh	80-90%
Bílé zdivo	85%
Jíl, vápenec	do 75%
Potištěný novinový papír	69%
Listnaté stromy	typ. 60%
Jehličnaté stromy	typ. 30%
Plážový, pouštní písek	typ. 50%
Hladký beton	24%
Asfalt s oblázky	17%
Láva	8%
Černý neoprén	5%

Obr. 2.9: Odrazivost různých povrchů [4]

určení identických bodů pomocí skeneru, ale také jejich případné geodetické zaměření pro transformaci do souřadnicového systému.

Při určování geometrických charakteristik z modelu objektu je třeba si uvědomit, že plochy, útvary a obecně další objekty jsou určovány obvykle z velkého množství bodů, a tedy z nich určené hodnoty jsou vzhledem k náhodné složce úplně chyby přesnější, než samotné určení polohy bodu na objektu.

2.3 Obecný postup zpracování dat

Výsledkem měření laserového skenovacího systému je mračno bodů. Vzhledem k tomu, že souřadnicový systém skeneru je obecně orientován a umístěn, je většinou nutno provést transformaci bodů do požadovaného souřadnicového systému. Lze využít obdobného postupu známého z fotogrammetrie, kdy jsou na skenovaný objekt umístěny vlíčovací body o známých souřadnicích v požadovaném souřadnicovém systému. Souřadnice těchto bodů jsou získány jinou metodou, například měřením totální stanicí. Na základě znalosti souřadnic bodů v obou souřadnicových systémech se pomocí prostorové transformace mračno bodů natransformuje do požadovaného souřadnicového systému. V případě, že bylo pořízeno více mračen bodů, provede se stejný postup pro každý sken. Nebo se nejprve mračna zaregistrují metodou „cloud to cloud“ a následně se transformuje celá skupina mračen.

Jako identické body pro transformaci jsou obvykle používány polokulové nebo kulové cílové znaky, které umožňují přesný výpočet středu z naskenovaných bodů. Dále se využívají kruhové terče s vysokou odrazivostí ve směru opačném na směr dopadu, které lze snadno v mračnu bodů identifikovat (obrázek 2.10).

Dalším krokem zpracovávání mračna bodů je aproximace měřených bodů geometrickými entitami, křivkami a plochami, eventuálně geometrickými tělesy. I když se toto vyjádření zdá jednoduché, jedná se o nejnáročnější část zpracování. Geometrii drátových modelů používá mnoho kreslicích systémů. Zadané body prostorovými souřadnicemi jsou spojovány přímkovými segmenty nebo kruhovými oblouky. Tím vzniká model prostorového objektu, který vypadá, jako by byl vytvořen z drátů.

Druhou možností je modelování objektu přímo pomocí jednoduchých předdefinovaných objektů, tzv. primitiv. Tyto objekty jsou definovány svým matematickým vyjádřením parametricky. Jsou jimi například kvádr, koule, kužel nebo jehlan.

Další možností, jak objekt z mračna bodů vymodelovat, je polygonová síť². Polygonová síť je složena z ploch, hran a vrcholů, které definují tvar mnohostěnného objektu ve 3D prostoru. Plochy modelu se obvykle skládají z trojúhelníků (trojúhelníková síť), čtyřúhelníků nebo jiných jednoduchých konvexních polygonů, protože

²anglicky polygon mesh

to zjednodušuje vykreslování, ale může být také složeno z obecnějších konkávních polygonů nebo polygonů s otvory. [14]

Tímto způsobem vytvořený digitální model umožňuje měření, úpravy a další operace, ale z hlediska lidského vnímání může působit nepřehledně. Proto se přistupuje k vizualizaci, jejíž výsledek slouží pro prezentační účely, ale hlavně usnadňuje orientaci modelu a dále umožňuje rozšíření modelu o další údaje, jako jsou textury, materiály, osvětlení apod.

Dalším krokem zpracování modelu je jeho vizualizace. Ta spočívá hlavně v přiřazení materiálů a jejich textur, či osvětlení a vystínování objektu pomocí softwaru. Takto vytvořený model umožňuje mimo jiné virtuální procházení, kdy jsou jednotlivé snímky generovány fotografickou kvalitou a lze je využít například pro prezentaci modelu.



Obr. 2.10: Kruhový terč. [10]

3 MĚŘICKÉ PRÁCE

3.1 Přípravná fáze

Před samotným výjezdem do terénu za účelem měření probíhá fáze příprav. Obsahuje zhodnocení stávající dokumentace, zhodnocení požadavků objednavatelů, zvolení vhodného geodetického vybavení a zjištění umístění lokality. Lze si také v případě potřeby vytisknout podklady pro náčrty, ať už něco ze stávající dokumentace nebo místní katastrální mapu či ortofoto objektu a okolí. V neposlední řadě si geodet na webových stránkách Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČUZK) dohledá body polohových a výškových bodových polí v okolí zaměřované lokality.

3.2 Vytvoření vztažné sítě

Měření kostela svatého Jana Křtitele v Rochlicích započalo v zimě na začátku roku 2019. V tomto ročním období nebylo mnoho sněhu a byly veliké mrazy. I tyto přírodní podmínky se následně projeví na samotném měření a jeho realizaci.

3.2.1 Stabilizace bodů vztažné sítě

Pro potřeby prvního měření bylo v okolí kostela stabilizováno 5 bodů měřického bodového pole číslo 4001–4005. Z těchto bodů byl vytvořen uzavřený polygonový pořad okolo celé stavby.

Pro realizaci bodů vztažné sítě byly použity měřické hřeby ve zpevněném povrchu. Bod 4001 byl umístěn do chodníku se zámkovou dlažbou naproti hlavním vchodovým dveřím do kostela těsně před hřbitovní zeď, která vymezovala a velmi omezovala prostor pro vztažnou síť v západním a jižním sektoru okolo kostela.

Další body sítě 4002 a 4003 byly navrženy do nezpevněného terénu bývalého kostelního hřbitova jižně od samotné budovy. Stabilizace těchto bodů byla původně zamýšlena dřevěnými kolíky, nicméně jejich zatlučení znemožnila zmrzlá a ledem pokrytá půda. Nakonec bylo zvoleno alternativní řešení, a to zatlučení měřického hřebu jako dočasnou stabilizaci¹ přímo do ledu.

Bod 4004 byl realizován opět měřickým hřebem do kamenné dlažby pěší cesty, která východně od kostela spojovala třídu Dr. Milady Horákové a nedaleké sídliště Rochlice.

Poslední bod vztažné sítě číslo 4005 měl být původně také umístěn do chodníku vedoucího podél kostela. Avšak z důvodů uzavřenosti polygonu a viditelnosti na body

¹též „přechodné stanoviště“

4001 a 4004 byl posunut více severně, a to dále do parku ve svahu směrem k panelové zástavbě. Díky tomu bylo z bodu možné lépe zaměřit celý kostel a snížit tak velké zakrytí část kostela rododendronovým porostem. Vzhledem k velmi zmrzlé půdě byl bod dočasně stabilizován měřickým hřebem.

3.2.2 Vztažný výškový bod

Podle přehledky nivelačních bodů z internetového portálu ČUZK (obrázek 3.1) bylo zjištěno, že v blízkosti kostela svatého Jana Křtitele probíhá nivelační pořad CD Nymburk – Liberec I. řádu státní nivelační sítě. Bod CD-229.1 se nachází se skalním žulovým masivu 0,3 m nad zemí kousek pod kamennou zdí kostela v ulici Na Žižkově. Je stabilizován čepovou nivelační značkou.



Obr. 3.1: Místopis nivelačních bodů z ČUZK [21]

3.2.3 Měření vztažné sítě

Po realizování vztažné měřické sítě bylo provedeno její zaměření. To bylo realizováno s trojpodstavcovou soupravou² s totální stanicí Leica MS50. Měřeno bylo tam i zpět ze všech bodů prostorovou polární metodou. Všech pět bodů sítě bylo také zaměřeno systémem GNSS metodou RTK dvakrát s časovým rozestupem³.

²trojpodstavcová souprava – měření se třemi stativy – s jedním na stanovišti a i dalšími dvěma na orientacích

³funkčnost korekcí služby CZEPOS byl ověřen na stránkách <http://czeapos.cuzk.cz/serviceStatus.aspx>

Po zaměření polygonového pořadu kolem kostela bylo provedeno i výškové připojení k bodu státní nivelační sítě I. řádu bodu CD-229.1 pořadu CD Nymburk – Liberec. To bylo realizováno pomocí volného stanoviska číslo 5001 mezi nivelačním bodem a bodem polygonového pořadu číslo 4001. Orientace z bodu 5001 byly také zaměřeny kontrolně na body 4004 a 4005.

3.2.4 Ověření výšky vztažného výškového bodu

Bod CD-229.1, který sloužil k výškovému připojení celé vztažné sítě okolo kostela, bylo nutné ověřit. To bylo provedeno metodou technické nivelace z bodu CD-228.1. Nivelační pořad byl veden tam a zpět (obrázek 3.2).

Obecné	
Datum/čas	27.04.2020 10:43:10
Č.lať 1:	-
Č.lať 2:	-
Počáteční bod:	228.1
Koncový bod:	228.1
Výsledky	
Výškový rozdíl:	0,0000 m
Délka:	139,9367 m
Uzávěr:	-0,0001 m

Obr. 3.2: Parametry nivelačního pořadu

Výška bodu CD-229.1 udávána v geodetických podkladech je 379,338 m n. m. v systému Bpv. Výška bodu CD-229.1 zjištěná obousměrnou nivelací byla 379,3474 m n. m.. Rozdíl mezi uváděnou a skutečnou hodnotou je tedy 9 mm. Pro vztažnou síť, účelovou mapu i umístování naskenovaného modelu do referenčních systémů je tato odchylka přijatelná. Proto tedy budeme považovat bod CD-229.1 za stabilní (obrázek 3.3).



Obr. 3.3: Nivelace na bodu CD-229.1

3.2.5 Výpočet sítě a výškové vyrovnání

Výpočet výsledných souřadnic bodů vztažné sítě okolo kostela byl proveden v softwaru Groma v. 12. Při výpočtu byl použit měřítkový koeficient do kartografického zobrazení a redukce z nadmořské výšky. Byl spočten zaměřený polygonový pořad, volné stanovisko na bodu 5001 a výškové připojení trigonometrickou nivelací k výchozímu výškovému bodu ČSNS.

Polohové souřadnice vztažných bodů v S-JTSK byly vzaty z měření GNSS. Polygonový pořad, který má vyšší vnitřní přesnost měření, byl pro kontrolu spočítán v místní souřadnicové soustavě a následně shodnostně transformován přes identické body 4001 a 4005 do S-JTSK. Dosažený rozdíl souřadnic z měření totální stanice nepřekročil očekávanou přesnost RTK metody (tabulka 3.1).

číslo bodu	Y RTK[m]	X RTK[m]	Y PP[m]	X PP[m]	ΔY [cm]	ΔX [cm]
194001	687940,11	976055,85	687940,11	976055,85	0	0
194002	687935,80	976079,21	687935,82	976079,22	2	1
194003	687893,47	976102,48	687893,47	976102,50	0	2
194004	687884,63	976061,79	687884,63	976061,82	0	3
194005	687903,39	976048,84	687903,39	976048,84	0	0

Tab. 3.1: Porovnání polohových souřadnic bodů sítě.

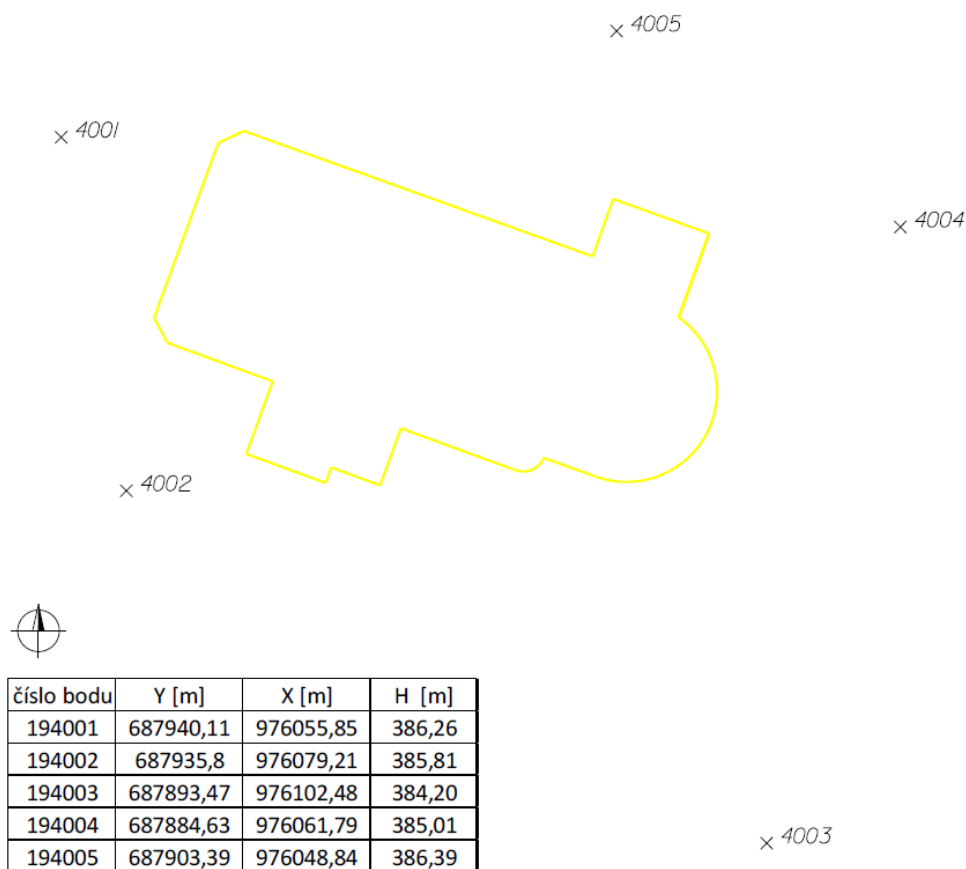
Výšky v Bpv byly určeny jak technologií GNSS, tak i z měřeného polygonového pořadu. Ten byl výškově připojen a vyrovnán na vztažnou výšku bodu CD-229.1, která je 379.338 m n. m. a která byla ověřena (tabulka 3.2). Výšky vztažené k bodu ČSNS jsou ověřené a obecně přesnější, tedy pro další výpočty byly užity ty.

Detailnější rozbor výpočtů lze nalézt v příložených protokolech.

číslo bodu	Y[m]	X[m]	H GNSS[m]	H vyrovnaná[m]	ΔH [cm]
194001	687940,11	976055,85	386,29	386,26	3
194002	687935,80	976079,21	385,84	385,81	3
194003	687893,47	976102,48	384,23	384,20	3
194004	687884,63	976061,79	385,04	385,01	3
194005	687903,39	976048,84	386,41	386,39	2

Tab. 3.2: Porovnání výšek bodů sítě před a po výškovém vyrovnání.

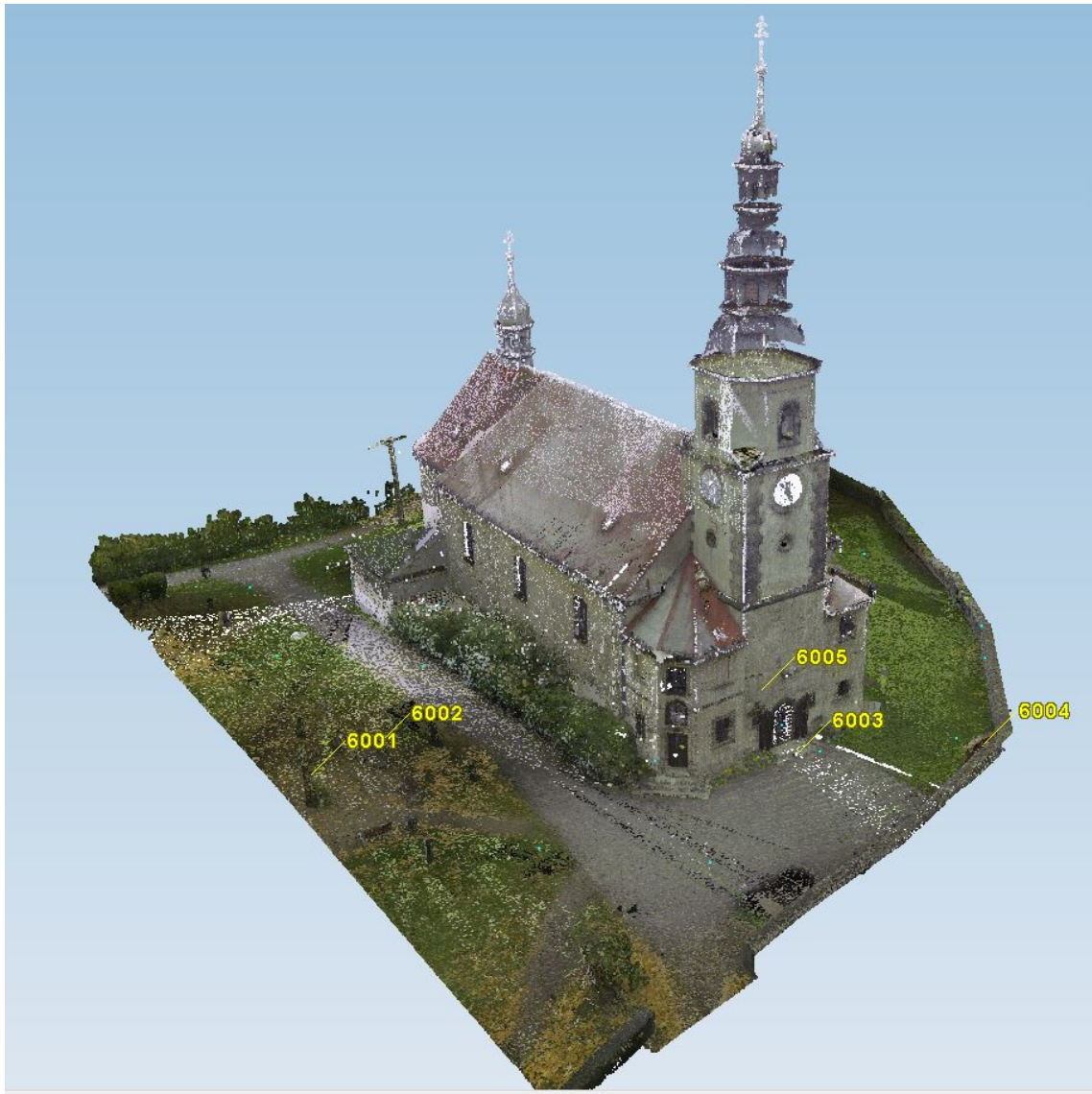
3.2.6 Přehledka vztážné sítě



Obr. 3.4: Přehledka bodů vztážné sítě

3.2.7 Umístění identických bodů pro transformaci do S-JTSK

Okolo hlavního vstupu do budovy kostela byly umístěny černobílé terče. Ty byly zaměřeny ze stanoviska číslo 4001 vztážní sítě. Rozmístěné terče byly použity pro umístění celého modelu kostela do souřadnicového systému JTSK a výškového systému Bpv. Celkem bylo rozmístěno 5 magnetických otočných terčů v exteriéru kostela (obrázek 3.5) a 5 nalepovacích terčů v interiéru kostela. Terče byly umísťovány tak, aby je bylo možné zaměřit polární metodou z již vytvořené vztážné sítě okolo kostela.



Obr. 3.5: Ukázka rozmístění terčů v exteriéru kostela.

3.3 Zaměření půdorysu

Hned při zahájení zakázky na dokumentaci stávajícího stavu kostela přišel z projekční kanceláře Union Arch požadavek, zda by se mohlo začít se zaměřením půdorysu a výšek vstupů do budovy. Chtěli také zaměřit výškové body na průčelí kostela. Díky tomuto měření lze ověřit přesnost původních dokumentů a mohou začít hrubé projekční práce na budově. První měření proběhlo dne 13. února 2019 společně s vytvořením a zaměřením vztažné sítě (obrázek 3.6).

Zaměření proběhlo z bodů 4001, 4002, 4003, 4004 a 4005. Proběhlo i doměření několika podrobných bodů z volného stanoviska 5001 při výškovém připojení geodetické sítě k bodu CD-229.1.

Měřeny byly body půdorysu budovy kostela polohově pokud možno jeden metr nad terénem. Společně s půdorysem byly zaměřeny i čtyři výšky vstupů do budovy a ke vstupům přilehlá schodiště.



Obr. 3.6: Měření půdorysu totální stanicí

3.4 Zaměření výškových bodů na průčelí

Společně se základním požadavkem na zaměření půdorysu byl přidán požadavek na rozšíření stávající dokumentace o geodetické měření stanovující základní rozměrové a výškové parametry stavby. To znamená doplnění výškových bodů do již hotového stavebního výkresu průčelí kostela. Nárys kostelní věže v měřítku 1:100 byl zkonstruován panem Ing. Jiřím Novotným v neznámém roce.

Výkres byl okótovaný, ale nebyla u něj uvedena žádná vztažná výška. Neobsahoval ani výšku vstupů do budovy kostela jak v relativních, tak ani v absolutních výškových jednotkách.

Proto bylo na průčelí věže kostela zvoleno 11 jednoznačně identifikovatelných bodů. Zaměřené body byly vybírány na základních stavebních prvcích objektu. To

jen například obvodové zdivo, otvory jako dveře nebo okna, střecha, hřeben nebo věž. Při vybírání bodů byla též ctěna zásada „z velkého do malého“, která co nejvíce zachovává rozměry celého objektu. Pro následnou transformaci do referenčních systémů je pak nejlepší užít shodnostní transformaci pro zamezení deformace.

Ze všech zaměřených bodů jich bylo nakonec do výkresu vybráno 7. Tyto body byly zaměřeny prostorovou polární metodou ve dvou polohách ze stanoviska polygonového pořadu číslo 4001 před věží kostela (obrázek 3.7). Délky k těmto nepřístupným bodům byly měřeny bezhranolově. Ze stejného místa byly také zaměřeny 3 výšky všech viditelných vstupů do budovy. Díky tomuto měření mohl být původní výkres umístěn do absolutního státního referenčního výškového systému Bpv.

Původně bylo také zamýšleno, že by se pro kontrolu zaměřila i poloha bodu pod samotnou makovicí na hlavní věži kostela. Střed věže tohoto kostela je totiž zhušťovací bod číslo 290 základního polohového bodového pole České republiky (ZPBP). Nicméně z důvodu špatné viditelnosti na vrchol věže, nízké kvalitě zhušťovacích bodů a příliš strmé záměře se od tohoto měření upustilo.



Obr. 3.7: Měření bodů na průčelí kostela

3.5 Skenování exteriéru i interiéru kostela

Pro další a podrobnější projekční práce na kostelu svatého Jana Křtitele bylo potřeba podrobnější zaměření, než mít jen jeho půdorys a výškové kóty. Vzhledem k rozsáhlosti, konstrukční složitosti a velkého množství zdobných detailů v celé budově, jsme s panem Ing. Ladislavem Jarůškem uvažili, že bude nejlepší, celou sakrální stavbu naskenovat. Jak z exteriéru, tak všechny místnosti v interiéru (obrázek 3.8).



Obr. 3.8: Skenování v interiéru kostela

3.5.1 Rekognoskace budovy

Při obchůzce kostela bylo zjištěno, že má celkem čtyři vchodové dveře. Tři od hlavní přístupové cesty, z nichž jedny jsou největší hlavní, ve středu kostelní věže. Čtvrté dveře jsou z druhé strany kostela a jsou orientované na severovýchod. Tento vstup slouží výhradně knězi do sakristie. Vstoupit do kostela se dá pouze hlavními dveřmi a těmito čtvrtými na opačném konci kostela. Skrz tyto dva vstupy bylo provázáno vnější skenování kostela se stanovisky uvnitř stavby.

3.5.2 Zaměření objektu laserovým skenováním

Pro zaměření celé budovy kostela byl použit skener Leica RTC 360 (výrobní číslo: 3601624). Ten dokáže měřit až 2 miliony bodů za vteřinu s 3D přesností bodu 1.9 mm/10 m. Při samotném skenování nelze nastavit zorné pole skeneru, protože samotné skenování je i tak velmi rychlé (obrázek 3.9).

Na každém stanovišti lze nastavit celkem tři parametry. Jeden z nich je hustota rastru bodů při skenování na vzdálenost 10 metrů. Zde lze volit mezi třemi různými hustotami. Další možností je nastavení fotografování celého okolí skenovaného prostoru a následné přiřazení jednotlivým bodům „true colors“⁴. Třetí funkcí při spouštění stanoviště je vypnutí nebo zapnutí VIS⁵ jednotky skeneru. Ta slouží ke snadnějšímu vzájemnému propojení stanoviště a orientaci skeneru v prostoru.



Obr. 3.9: Skenování exteriéru kostela

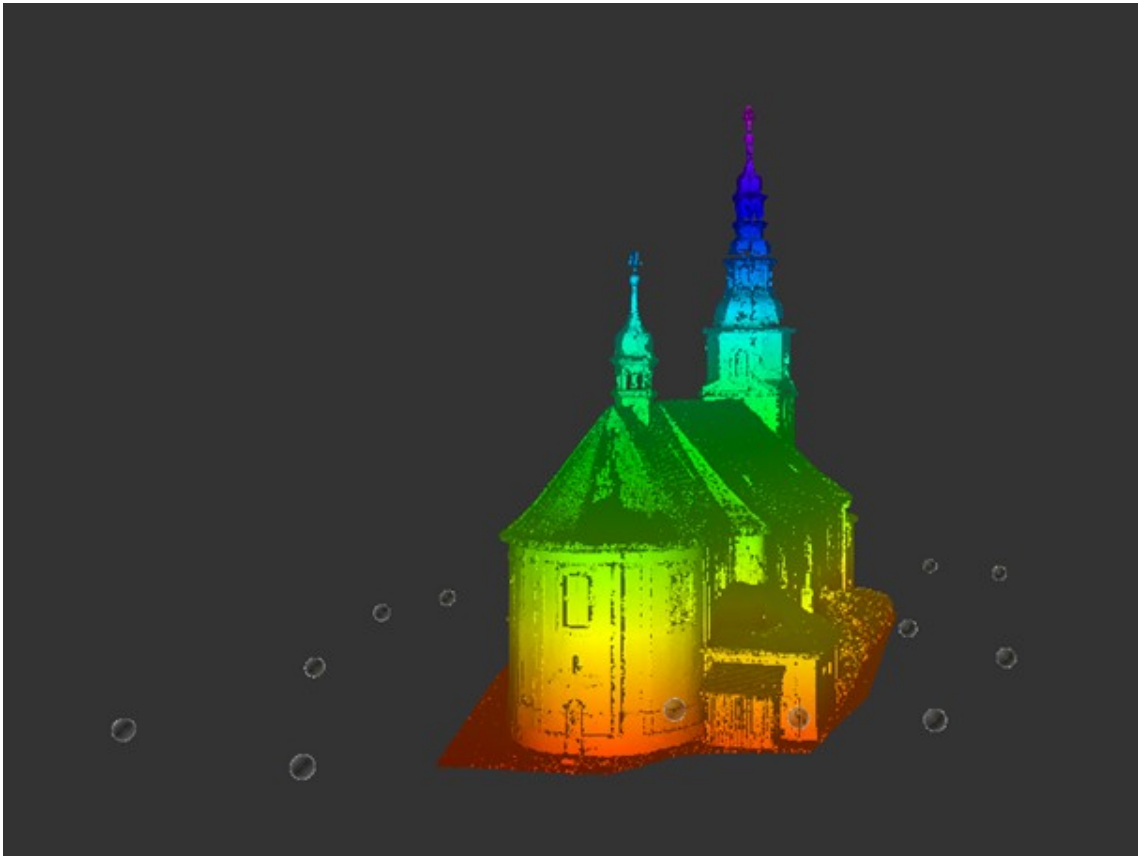
⁴ „true colors“ – přiřazení každému naskenovanému bodu jeho reálnou barvu ve skutečnosti

⁵ VIS jednotka – integrovaný VIS systém (Visual Inertial System), pracuje na základě 5ti kamer a jedné integrované IMU jednotky. Tento robustní systém umožní určení polohy mezi dvěma po sobě jdoucími stanovišti v reálném čase a tím výrazně zefektivní proces zpracování dat[10]

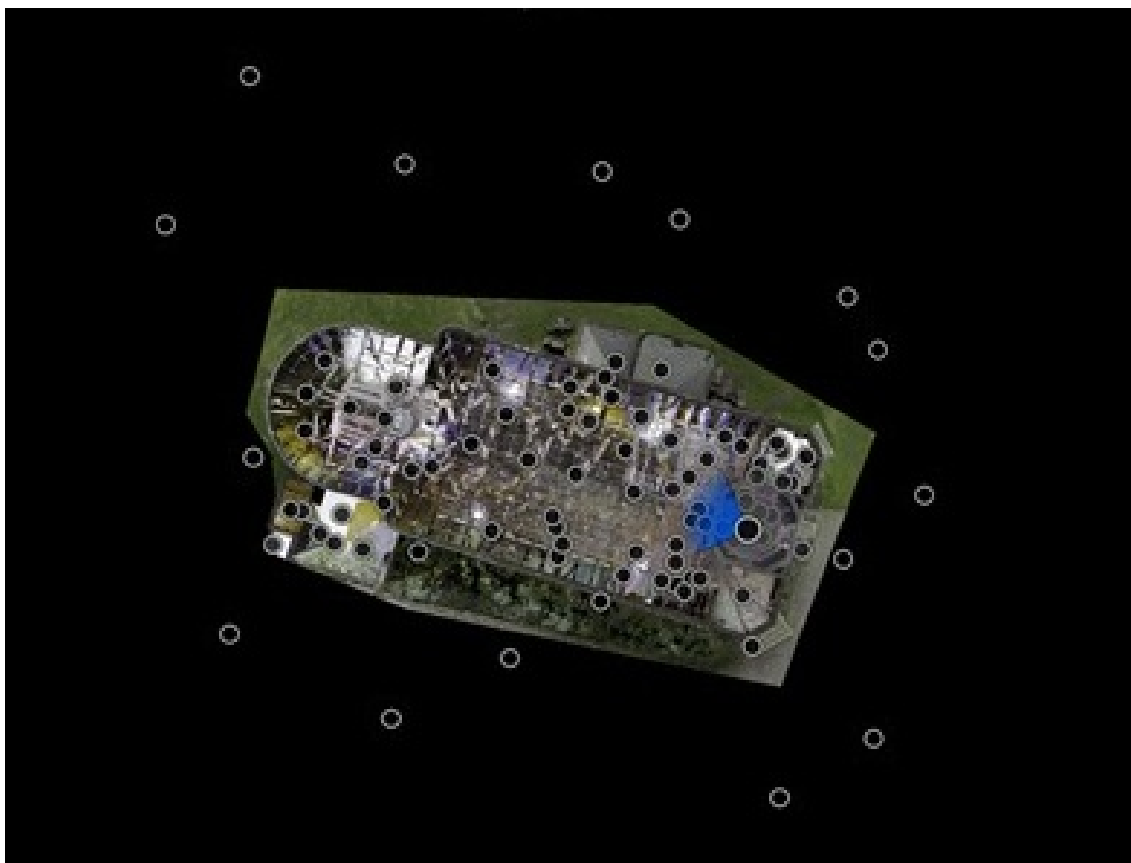
K tomuto přístroji byly k dispozici dva druhy stativů. Jeden menší, lehčí, s teleskopickými nohami, který se jednoduše přenášel do všech místností v kostele. Snadno se s ním měřilo i v prostorově velmi omezené kostelní věži. Tento model stativu umožňoval též umístit skener téměř do úrovně podlahy a tím zaznamenat i obvykle skryté části objektů.

Druhý stativ, který byl použit na zaměřování, byl robustnější. Hlava stativu se dala mechanicky pomocí kličky vytočit až do výšky 3,5 metru nad zemí. Použit byl ho zejména v exteriéru, protože tím se dala například lépe naskenovat střecha kostela. Uvnitř budovy byl stativ pak využit zejména v hlavní lodi kostela mezi lavicemi, aby se lépe daly zaznamenat všechny detaily a vybavení interiéru co nejméně omezovalo skenovací prostor.

Budova kostela byla dohromady naskenována z 98 stanovišek. Z toho 20 stanovišek bylo v exteriéru (obrázek 3.10) a zbylých 78 v rozsáhlém interiéru (obrázek 3.11).



Obr. 3.10: Rozmístění stanovišek skenování v exteriéru



Obr. 3.11: Přehled rozmístění všech stanovišek pro skenování

Mračna bodů z jednotlivých skenů se na sebe napojovala přímo v terénu metodou „cloud to cloud“⁶. Díky tomu si může zeměměřič přímo na místě zobrazit v tabletu celé již naskenované prostředí. Tak může jednodušeji vidět, co už naskenované má a na kterou další prázdnou část se ještě musí zaměřit. K přesnější orientaci skeneru ve skenovací lokalitě slouží také integrovaná GPS a VIS jednotka přímo se stroji.

3.5.3 Zaměření účelové mapy kostela

V neposlední řadě bylo dle zakázky potřeba vyhotovit i účelovou mapu okolí kostela. Účelová mapa je podstatná pro většinu projektování. Obsahuje podrobné zaznamenání polohové a výškové situace v dané lokalitě. Důležitá je zejména pro zajištění napojení inženýrských sítí, plánování omezení dotčených přilehlých komunikací při stavbě, řešení meliorace pozemku a řešení případných dalších potřebných terénních úprav.

⁶„cloud to cloud“ – způsob registrace mračen bodů metodou porovnávání jednotlivých mračen vůči sobě

Celá budova kostela byla již naskenována jak z exteriéru, tak i ve všech místnostech uvnitř kostela. Okolí kostela bylo sice na jednotlivých stanoviskách skenu také druhotně zaznamenáno, ale nebyla na nich zřetelná všechna potřebná data. Proto bylo nutné účelovou mapu kostela zaměřit. Toto měření proběhlo v únoru 2020.

Při zaměřování účelové mapy bylo zejména potřeba, jak uvedl projektant, zaměřit celou kamennou hřbitovní zeď. V datech samotného skenování byla však zaznamenána pouze vnitřní strana zdi orientovaná ke kostelu a její horní římsa. Z druhé jižní strany dosahovala pata zdi dokonce přes 5 metrů směrem k ulici Dr. Milady Horákové.

Zaměření této kamenné zdi bylo důležité zejména proto, že se plánovalo v kostele instalovat vytápění pomocí tepelného čerpadla. Ventilátorová jednotka tepelného čerpadla však nemohla být umístěna přímo za budovu kostela, jelikož je objekt památkově chráněn. Bylo tedy nutné vymyslet jiné řešení, respektive místo, kam rozměrné ventilátory umístit. V úvahu připadalo schovat je za hřbitovní zeď.

Účelová mapa okolo kostela byla zaměřena dne 30. ledna 2020. Měření se mělo napojit na body vztahné sítě, které byly již vyhotovené okolo kostela před zhruba rokem. Proběhla rekognoskace stávající vztahné sítě. Pomocí přístroje Leica GS18 byly vyhledány body sítě. Byly nalezeny však pouze bod 4001 před vstupem do kostela, bod 4002 a bod 4005. Bod 4003 a dokonce i bod 4004, který byl zatlučen do chodníku mezi kamennou dlažbu, za 12 měsíců zanikly. Bod z chodníku byl pravděpodobně vytržen při zimní mechanické údržbě.

Pro zaměřování účelové mapy ale 3 zachované body nestačily, a proto bylo nezbytné provést rozšíření vztahné sítě okolo kostela a vytvořit ještě další dva body sítě 4006 a 4007. Zhruba ve stejných místech jako náhradu za body 4003 a 4004. Poloha bodů 4006 a 4007 byla určena pomocí GNSS metodou RTK dvakrát s časovým rozestupem.

Zaměření proběhlo během jednoho dne standardně prostorovou polární metodou se strojem Leica MS 50. Schodiště ani budova kostela nebyla zaměřována, protože data byla převzata z již naměřeného půdorysu před jedním rokem. Nejkomplikovanější bylo zaměřování paty hřbitovní zdi. V některých místech totiž dosahovala výšky až 5 metrů (obrázek 3.12).



Obr. 3.12: Zaměření hřbitovní zdi

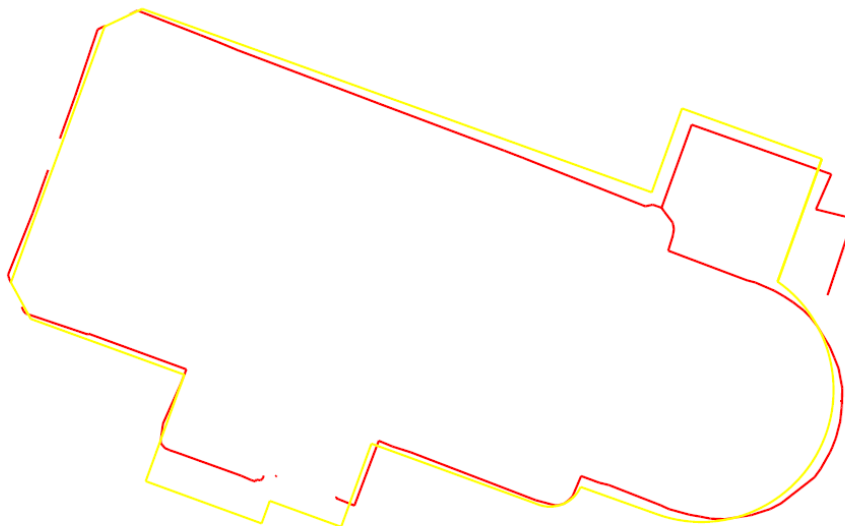
4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

4.1 Vyhotovení půdorysu kostela

Měření podrobných bodů půdorysu kostela, které byly zaměřeny na podzim 2019 byly vypočteny v softwaru Groma v. 12 funkcí *Polární metoda dávkou*. Při výpočtu byl použit měřítkový koeficient opravy do kartografického zobrazení a redukce z nadmořské výšky. Podrobné body obsahovaly body půdorysu, body přilehlého schodiště a 4 body, které charakterizovaly výšky všech vstupů do budovy.

Podrobné body byly načteny do grafického programu MicroStation PowerDraft V8i, ve kterém byl půdorys kostela se schodištěm a výškovými kótami vstupů vyhotoven. Následně k tomuto vektorovému výkresu byl externí referencí připojen naskenovaný původní výkres 1. nadzemního podlaží kostela formátu PDF. Byl transformován shodnostní transformací a porovnán se skutečným stavem. Na obrázku 4.1 je žlutě znázorněn původní výkres a červeně nově zaměřený půdorys kostela.

Při výpočtu souřadnic bodů v S-JTSK byl použit měřítkový koeficient $k = 0,99997584$. Koeficient zahrnuje jak opravu z kartografického zobrazení, tak redukci do nulové výškové hladiny. Tyto redukce se ve výsledku promítnou na měřených délkách hodnotou 2,4 mm/100 m. Takto malá hodnota při porovnání půdorysu nehraje téměř žádnou roli.



Obr. 4.1: Schématické znázornění původního výkresu a zaměřeného půdorysu.

4.2 Zasazení výkresu průčelí do Bpv

Společně s měřením půdorysu kostela byly na podzim roku 2019 ze stanoviska 4001 zaměřeny body na průčelí kostela. Tyto body sloužily k ověření přesnosti již stávajícího výkresu kostelní věže v měřítku 1:100 od Ing. Jiřího Novotného. Tento digitální výkres ve formátu PDF byl natransformován shodnostní transformací v programu AutoCAD 2018. V tomto programu bylo také do výkresu doplněno 7 výškových kót a 3 výšky vstupu do objektu ve výškovém systému Bpv.

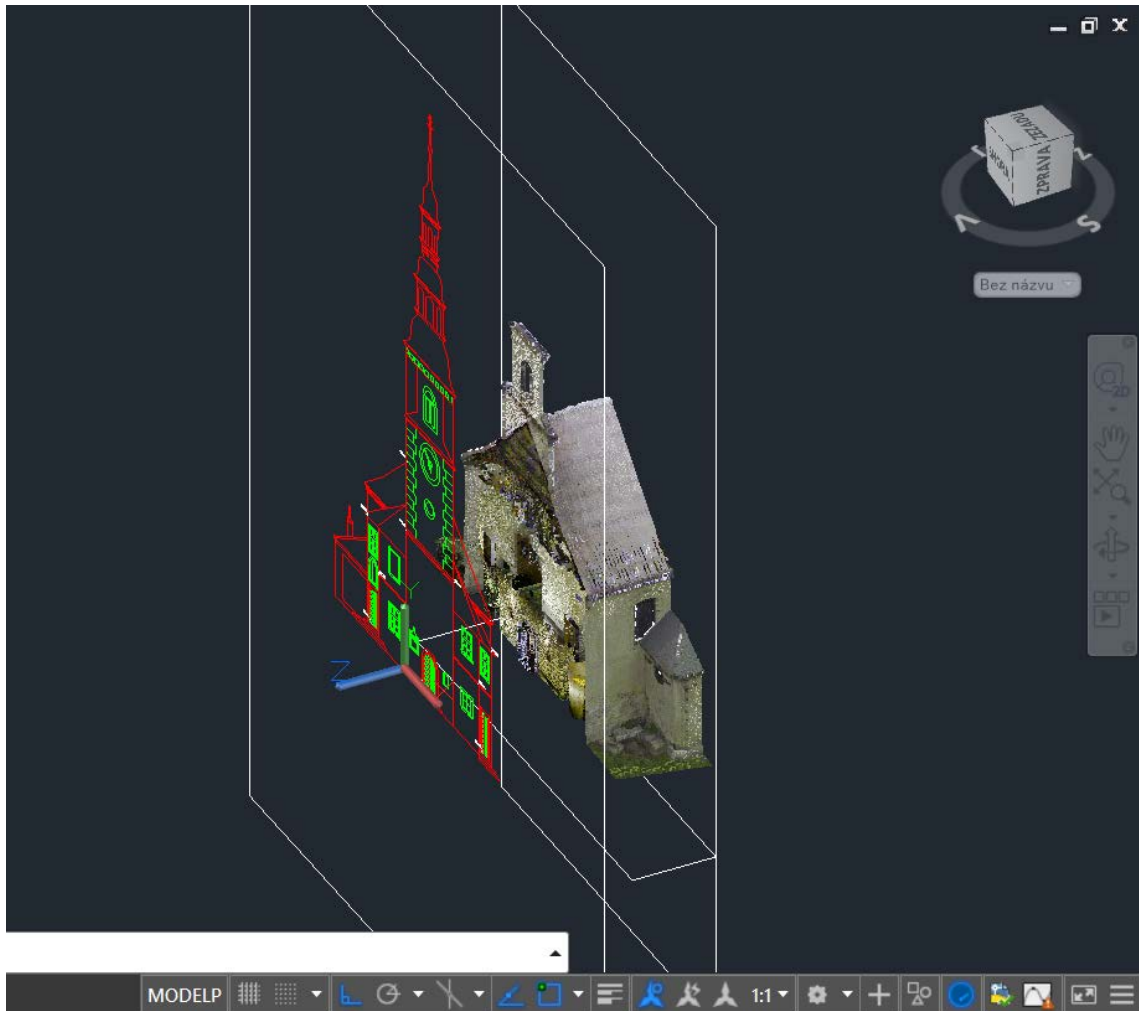
Při transformaci výkresu a přidání výškových kót do výkresu bylo zjištěno, že kostel na papíře zcela neodpovídá realitě (obrázek 4.2). Nesrovnalosti se objevily zejména u výšek vstupů do objektu. V původním výkresu jsou všechny schody a dveře kresleny od stejné roviny. Kdežto ve skutečnosti k jednotlivým vstupům vede různý počet schodů. Samotné prahy jsou také v různých výškách a nikoli tak, jak je znázorněno ve výkresu. Po zakreslení výškových kót to tedy vypadá, že pravý boční vstup je ve vyšší nadmořské výšce, než hlavní portál do kostela. Skutečná hodnota této výšky vstupu je ale naopak o něco menší.

Kvůli nepřesnosti původního výkresu bylo nutné výkres průčelí vyhotovit nově.



Obr. 4.2: Porovnání vlevo starého a vpravo nového výkresu průčelí.

Do programu AutoCAD 2018 bylo připojeno mračno bodů přes nástavbu Autodesk ReCap 360. Ta umožňuje pracovat s mračny bodů a vyhotovovat z nich řezy. Takovýto řez následně sloužil jako podklad pro tvorbu výkresu (obrázek 4.3). Do nově hotového výkresu bylo umístěno 7 výškových kót zaměřených polární metodou. Další 10 výškových kót horní části věže bylo zjištěno z naskenovaných dat.



Obr. 4.3: Ukázka tvorby výkresu průřelů v programu AutoCAD pomocí řezu.

4.3 Vyhotovení účelové mapy okolí kostela

Pro výpočet podrobných bodů účelové mapy z jara 2020 byl také použit software Groma v. 12. Při výpočtu byl použit měřítkový koeficient opravy do kartografického zobrazení a redukce z nadmořské výšky. Samotná mapa byla nakreslena v programu AutoCAD 2018. Účelová mapa byla vyhotovena ve 3D s bodovým vyjádřením výškopisu. Digitální 3D mapa je vhodná k lepšímu znázornění výškových prvků. V tomto

případě šlo hlavně o vykreslení prostorového tvaru hřbitovní zdi. Výkres je v měřítku 1:200 na formátu A2. Účelová mapa byla vyexportována z grafického programu jako vrstvené 3D PDF.

4.4 Vytvoření 3D modelu kostela

Následující kapitola shrnuje postup zpracování naskenovaných dat v programu Leica Cyclone UCM. [13] Po registraci měřených stanovisek a vytvoření jednotného mračna bodů následuje vyhotovení 3D modelu kostela v programu 3D Reshaper. Každá podkapitola shrnuje jednotlivé kroky, které postupně směřují k vyhotovení modelu. Tento model lze využít například pro propagační účely kostela či grafické znázornění nebo 3D tisk.

4.4.1 Založení databáze v Leica Cyclone

Naskenovaná data z měření na podzim 2019 byla zpracována v softwaru Leica Cyclone UCM. Po otevření programu se zobrazí okno *Cyclone – Navigator*. Zde se vybere ikona počítače, pravým tlačítkem se zobrazí možnosti a vybere se *Databases*. V dalším okně se databáze přidá, následně se zvolí její název a umístění. Tímto se databáze vytvoří.

4.4.2 Import měřených dat

V nabídce, kterou otevřeme pravím kliknutím na databázi, zvolíme možnost *import* pro nahrání mračen v obecných formátech (.PTX, .E57). Pro nahrání raw dat přímo z přístroje využijeme možnost importu uzpůsobeném danému přístroji, tedy *Import – RTC 360*. Tím se vytvoří konkrétní projekt pro zpracování.

Po nahrání dat se zobrazí v databázi složka, obsahující jednotlivá stanoviška, kde bylo skenováno (ScanWorld). Po rozkliknutí ScanWorldu je vidět adresářová struktura. Naskenované bodové mračno určené k práci se nachází ve složce *ModelSpace*.

4.4.3 Tvorba registrace

V úvodním okně se po označení projektu založí nová registrace. Po otevření nového okna registrace nahrajeme skeny, které chceme zaregistrovat, otevřením menu *ScanWorld – Add ScanWorld*. Po nahrání se zobrazí daná mračna, tučně se zobrazuje aktuální mračno, do jehož souřadnicové soustavy se budou ostatní mračna transformovat.

V případě naskenování více mračen na více stanoviscích se provádí vzájemná orientace mračen – registrace. Jde o transformaci mračen do jednoho souřadnicového systému, nejčastěji se jedná o souřadný systém jednoho z mračen.

4.4.4 Registrace Cloud-to-Cloud

Při použití tohoto druhu registrace není potřeba použití terčů, mračna se navzájem orientují pomocí překrytových částí. Po založení registrace a nahrání mračen do registrace označíme ty dvě, které chceme k sobě orientovat. V horní liště vybereme funkci *Visual Registration – Visual Alignment*. Pro dokončení registrace je nutné, aby byla mračna umístěna přes sebe tak, aby se překrývaly společné části. Toho se docílí přetažením jednoho mračna přes druhé. Pro co nejlepší registraci je vhodné přepínat horizontální a vertikální pohled a kontrolovat umístění mračen ve všech osách.

Pokud jsme s umístěním spokojeni, pokračuje se v roletovém menu *Tools – Optimize Constraints*. Poté lze okno zavřít. Vyberou se další dvě mračna, jedno z předchozí dvojice, další nové, a provede se další registrace. Tímto způsobem se spojí všechna mračna. Po dokončení se přepne do záložky *Constraint List*, a provede výpočet registrace (obrázek 4.4). Pokud je vše v pořádku, postupuje se dále na tvorbu registrace.

Pro kontrolu je lepší mít více vazeb mezi mračny. Zejména pak při přechodech mezi místnostmi. Při registraci kostela v této práci bylo vytvořeno okolo 840 vazeb. Cloud-to-Cloud registrace lze také kombinovat s registrací přes terče.

4.4.5 Identifikace terčů pro transformaci

Pro umístění těchto mračen do společného státního referenčního systému JTSK slouží identické body. Ty jsou rozmístěny různě po skenovací oblasti tak, aby byly ideálně vidět z co nejvíce skenů. Tyto identické body, které jsou na skenech jednoznačně identifikovatelnými body, mívají tvar koule nebo měřických terčů.

Měřické terče, které byly použity při skenování objektu kostela, jsou vhodné pro další geodetická zaměřování. Jejich zaměření totální stanicí polární metodou umožnilo výpočet souřadnic těchto terčů a určení jejich polohy v S-JTSK a Bpv. Nevýhodou těchto otočných terčů je ta, že při natočení přední plochy terče se o několik milimetrů změní jeho střed. Tato drobná odchylka při skenování velkého objektu nevádí, nicméně bychom na ni měli brát zřetel.

Je nezbytné, aby v mračnech, které chceme transformovat, byly nalezeny a identifikovány terče, a značeny odpovídajícím číslem. Naskenované měřické terče se dají vyhledat softwarově automaticky nebo je lze definovat ručně v každém modelu přes záložku *Model space – create object – fit to cloud – target*. Algoritmus v programu

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	208033	0.002 m	aligned [0.029 m]	0.114 m	aligned [0.029 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	224500	0.001 m	aligned [0.028 m]	0.086 m	aligned [0.028 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	186666	0.002 m	aligned [0.023 m]	0.110 m	aligned [0.023 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	147500	0.002 m	aligned [0.024 m]	0.212 m	aligned [0.024 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	205233	0.002 m	aligned [0.033 m]	0.173 m	aligned [0.033 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	224433	0.001 m	aligned [0.032 m]	0.176 m	aligned [0.032 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	315400	0.004 m	aligned [0.027 m]	0.113 m	aligned [0.027 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-004	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	391033	0.003 m	aligned [0.026 m]	0.092 m	aligned [0.026 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	355000	0.001 m	aligned [0.031 m]	0.096 m	aligned [0.031 m]	Group 1
4 [3 [Regist...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	367500	0.002 m	aligned [0.024 m]	0.076 m	aligned [0.024 m]	Group 1
4 [3 [Regist...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	616466	0.002 m	aligned [0.023 m]	0.065 m	aligned [0.023 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	255633	0.001 m	aligned [0.030 m]	0.225 m	aligned [0.030 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	186633	0.003 m	aligned [0.034 m]	0.167 m	aligned [0.034 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	177100	0.003 m	aligned [0.033 m]	0.175 m	aligned [0.033 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	385766	0.002 m	aligned [0.027 m]	0.095 m	aligned [0.027 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	180566	0.002 m	aligned [0.032 m]	0.231 m	aligned [0.032 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	368400	0.001 m	aligned [0.032 m]	0.234 m	aligned [0.032 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	214600	0.005 m	aligned [0.030 m]	0.113 m	aligned [0.030 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-004	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	381133	0.002 m	aligned [0.031 m]	0.106 m	aligned [0.031 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	161033	0.004 m	aligned [0.029 m]	0.116 m	aligned [0.029 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	194033	0.005 m	aligned [0.033 m]	0.175 m	aligned [0.033 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	114766	0.004 m	aligned [0.033 m]	0.185 m	aligned [0.033 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	125333	0.005 m	aligned [0.032 m]	0.242 m	aligned [0.032 m]	Group 1
4 [3 [Regist...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	407633	0.003 m	aligned [0.027 m]	0.039 m	aligned [0.027 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	133433	0.002 m	aligned [0.031 m]	0.241 m	aligned [0.031 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	174666	0.002 m	aligned [0.032 m]	0.257 m	aligned [0.032 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-004	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	136600	0.004 m	aligned [0.034 m]	0.112 m	aligned [0.034 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	137666	0.005 m	aligned [0.031 m]	0.121 m	aligned [0.031 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	89200	0.002 m	aligned [0.035 m]	0.188 m	aligned [0.035 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	69900	0.001 m	aligned [0.034 m]	0.141 m	aligned [0.034 m]	Group 1
4 [3 [Regist...]	191011KOST...	191011KOST...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	232466	0.001 m	aligned [0.011 m]	0.040 m	aligned [0.011 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-007	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	496633	0.000 m	aligned [0.008 m]	0.047 m	aligned [0.008 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-008	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	478600	0.000 m	aligned [0.010 m]	0.037 m	aligned [0.010 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-009	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	453800	0.000 m	aligned [0.009 m]	0.028 m	aligned [0.009 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-010	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	249300	0.000 m	aligned [0.009 m]	0.036 m	aligned [0.009 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-011	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	126300	0.000 m	aligned [0.013 m]	0.039 m	aligned [0.013 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-012	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	66500	0.001 m	aligned [0.014 m]	0.026 m	aligned [0.014 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-006	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	504466	0.000 m	aligned [0.008 m]	0.012 m	aligned [0.008 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-016	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	193933	0.000 m	aligned [0.011 m]	0.031 m	aligned [0.011 m]	Group 1
4 [Cloud/M...]	191011KOST...	Job 032-017	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	354566	0.000 m	aligned [0.009 m]	0.030 m	aligned [0.009 m]	Group 1

Obr. 4.4: Přesnost navázání jednotlivých mračen na sebe "cloud to cloud".

sám z naskenovaného mračna určí střed terče. Je nutné ho jednoznačně identifikovat na všech skenech jeho číslem.

Případě, že není možné automatizovaně najít střed terče, lze vytvořit střed terče kliknutím na příslušný bod v mračnu. Poté se otevře roletové menu *Create Object – From Pick Points – Vertex*. Dále je nutno přiřadit číslo bodu. To se provede v záložce *Tools – Registration – Add/Edit Registration Label*, kde lze přiřazená čísla také editovat.

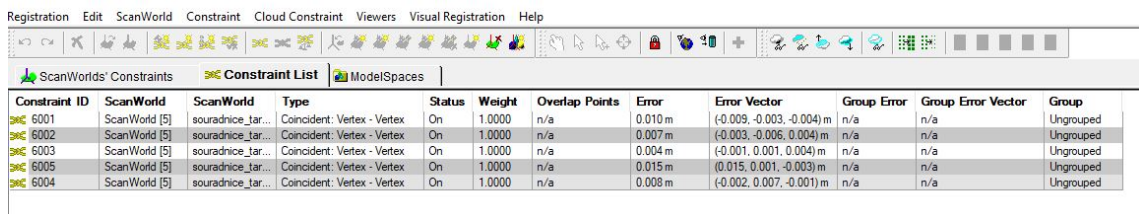
4.4.6 Transformace

Výsledné mračno lze také transformovat do námi zvoleného souřadnicového systému. Transformaci lze provést buďto přímo při registraci jednotlivých mračen, nebo můžeme transformovat až výsledné registrované mračno. K tomu je nutné znát souřadnice bodů, které byly naskenovány a jsou v mračnu jednoznačně identifikovatelné. Často se k tomuto účelu používá terčů. Tyto terče musí být identifikovány a očíslovány v daném mračnu, přesně podle čísel, které mají v seznamu souřadnic.

Souřadnice terčů v S-JTSK a Bpv je potřeba do programu Cyclone UCM nahrávat jako textový dokument se zápornými a prohozenými souřadnicemi XY, aby byl zachován třetí kvadrant souřadnicových os. Toto nahrávání se provede přes *database – import – .txt*.

Potvrdíme nahrání, do projektu se vytvoří nový ScanWorld obsahující nahrané body. Založíme novou registraci. Do ní nahrajeme ScanWorld, obsahující čísla a souřadnice terčů, a ScanWorld, který chceme transformovat. Tučně musí být označen ten, do jehož soustavy chceme transformovat mračna, tedy ten s čísly a prohozenými zápornými souřadnicemi terčů. Funkce *Set home ScanWorld*.

Následně se příkazem *Register* provede výpočet. V dalším kroku se zafixuje registrace funkcí *Create ScanWorld – Freeze Registration*. Na závěr vytvoříme nový ScanWorld. Po otevření nového ScanWorldu bude výsledné mračno umístěno v námi požadované souřadnicové soustavě (obrázek 4.5). Celková chyba transformace byla 9 mm. Při transformaci byla použita translace $Y = -687941.187$ m, $X = -976064.415$ m, $H = 388.808$ m a rotace 176.317° .



Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group
6001	ScanWorld [5]	souradnice_tar...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.010 m	(-0.009, -0.003, -0.004) m	n/a	n/a	Ungrouped
6002	ScanWorld [5]	souradnice_tar...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.007 m	(-0.003, -0.006, 0.004) m	n/a	n/a	Ungrouped
6003	ScanWorld [5]	souradnice_tar...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(-0.001, 0.001, 0.004) m	n/a	n/a	Ungrouped
6005	ScanWorld [5]	souradnice_tar...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.015 m	(0.015, 0.001, -0.003) m	n/a	n/a	Ungrouped
6004	ScanWorld [5]	souradnice_tar...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.008 m	(-0.002, 0.007, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped

Obr. 4.5: Přesnost transformace do S-JTSK.

4.4.7 Export z Leica Cyclone

Takto upravená data lze buďto dále upravovat v programu Cyclone, nebo je exportovat do dalších výměnných formátů (např. .E57, .PTX, .PTS atd.). Export se provede *File – Export*. V případě této práce byl použit export do formátu .E57.

4.4.8 Načtení mračna bodů do programu 3D Reshaper

Další zpracování dat a samotné vyhotovení modelu bylo provedeno v programu 3D Reshaper. Po spuštění programu lze otevřít mračno bodů následovně. V menu programu pokračujeme *File – Import – Import cloud(s)*. Následně se objeví dialogové okno, kde zvolíme *Add*. Lze načíst jedno nebo i více mračen najednou. To následně vytvoří *Cloud Group*.

4.4.9 Ředění dat

Při skenování celého kostela bylo zaznamenáno okolo 5 miliard bodů. Před samotným tvořením modelu bylo nutné naměřená data charakterizovaná mračnem bodů zredukovat. To se dělo způsobem chytrého ředění dat, které zachovává charakteristické rysy naskenovaného objektu. Body, které jsou příliš nahusto, nebo automaticky

detekovaný šum (noisy points), se odstraní. Lze nastavit minimální vzdálenost mezi body, absolutní počet zachovaných bodů, nebo určit procentuální redukci mračna. Byla nastavena minimální vzdálenost mezi bodu 5 mm. Tímto procesem zůstala v mračnu přibližně 1 miliarda bodů.

4.4.10 Ořezání mračna bodů

Po úspěšném načtení a nařazení dat naskenovaného kostela následovala další redukce. Proběhlo odstranění celého exteriéru kostela až na samotnou budovu. Tím zůstalo v mračnu 400 milionů bodů. Jelikož se vytvářel pouze vnější model kostela, bylo potřeba vyřezat vnitřní místnosti. Tento proces také významně zredukoval množství bodů na celkový počet 94 milionů.

4.4.11 Vytvoření mesh modelu

Z konečného upraveného významně zredukováného mračna bodů budovy kostela byl následně vytvořen mesh model. Jedná se o trojúhelníkovou síť, která vytvoří plochy mezi body z mračna. Tyto trojúhelníky jsou normálově orientované, takže tvoří i takzvaný rub a líc modelu. Vzhledem k velikosti modelu se stalo, že byly některé části modelu vygenerovány normálově invertně.

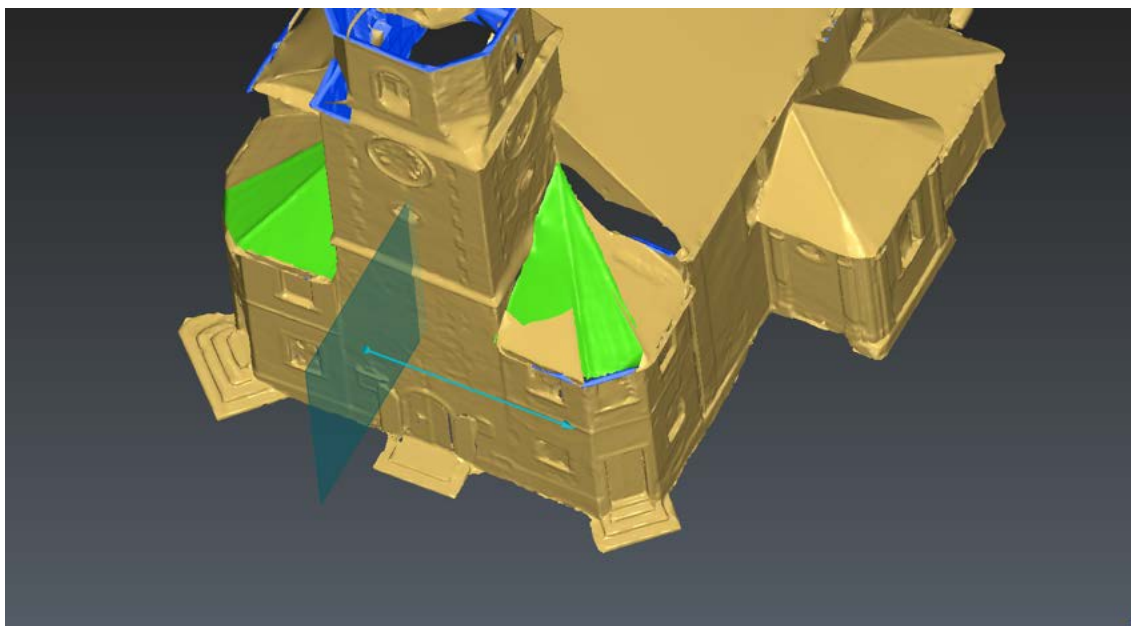
4.4.12 Kopírování stejných částí kostela

Vzhledem k omezenému prostoru před vstupem do kostela, který byl limitován hřbitovní zdí, nebylo možné ideálně naskenovat střechu východního jednopatrového pětibokého přístavku koutu věže. Střecha do modelu byla tedy převzata z totožného přístavku z druhé strany věže, kde přilehlý park ve svahu umožňoval kvalitní naskenování střechy (obrázek 4.6).

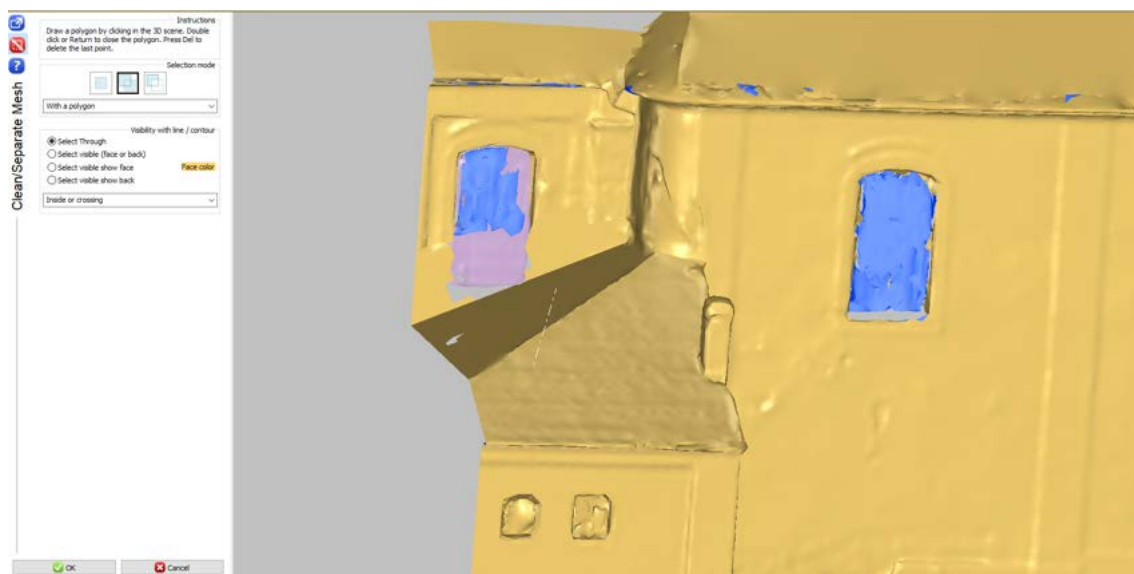
4.4.13 Otáčení normál trojúhelníků

Zejména vrchní části věží a některá okna mesh modelu kostela měly otočeny normály trojúhelníků¹ (obrázek 4.7). Bylo potřeba model sjednotit a tyto části kostela invertovat. K tomu bylo zapotřebí jednotlivé chybné části vyříznout. Pak tento samostatný model invertovat funkcí *mesh group - mesh - reverse* a samostatnému modelu změnit charakteristickou barvu na stejnou jako hlavní model funkcí *mesh*

¹normála trojúhelníku – Je to přímka kolmá na daný trojúhelník. Vektor určující směr normály se nazývá normálový vektor. Orientace takového vektoru určuje vnější nebo vnitřní stranu trojúhelníku.



Obr. 4.6: Přenesení střechy z jednoho přístavku na druhý.

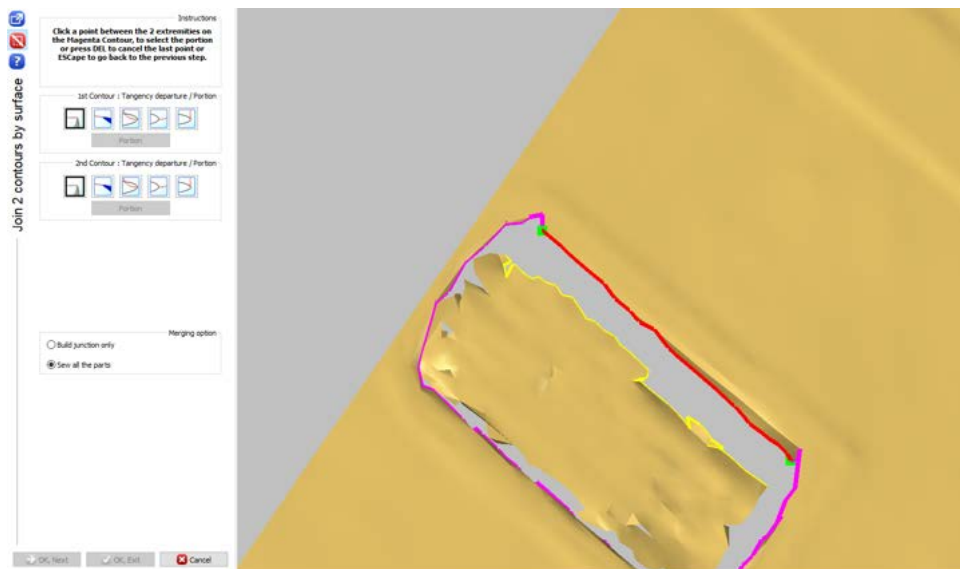


Obr. 4.7: Okna kostela s opačnou normálou než zbytek budovy.

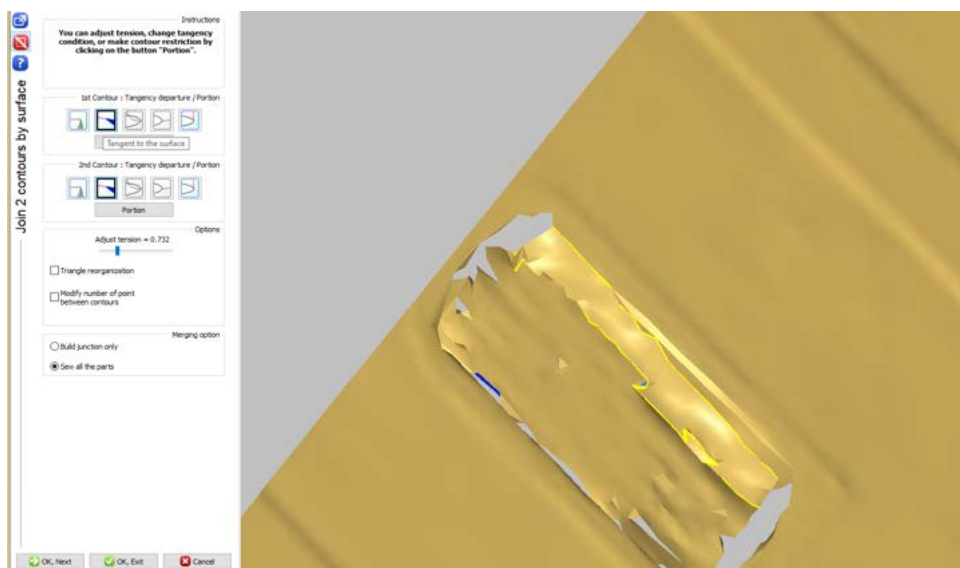
group – mesh – color – gold. Bylo potřeba obě části modelu správně provázat vytvořením mostu (bridge) mezi nimi. Tím bylo zajištěné správné napojení trojúhelníků a jejich správná normálová orientace. [22]

4.4.14 Propojení pomocí funkce Join 2 Contours

Dvě nezávislé části modelu po srovnání normál trojúhelníků bylo nejvhodnější spojovat funkcí Join 2 Contours pod záložkou Mesh. Zde lze zvolit způsoby napojení obou kontur na sebe trojúhelníkovou sítí. Po značení linie na jednom modelu a následně na druhém (obrázek 4.8), se vybraným způsobem (obrázek 4.9) mezi nimi vytvořila trojúhelníková síť. Nejvhodnější typ propojení bylo nastavení *Tangency departure/Portion a Merging option – Sew all the parts*.



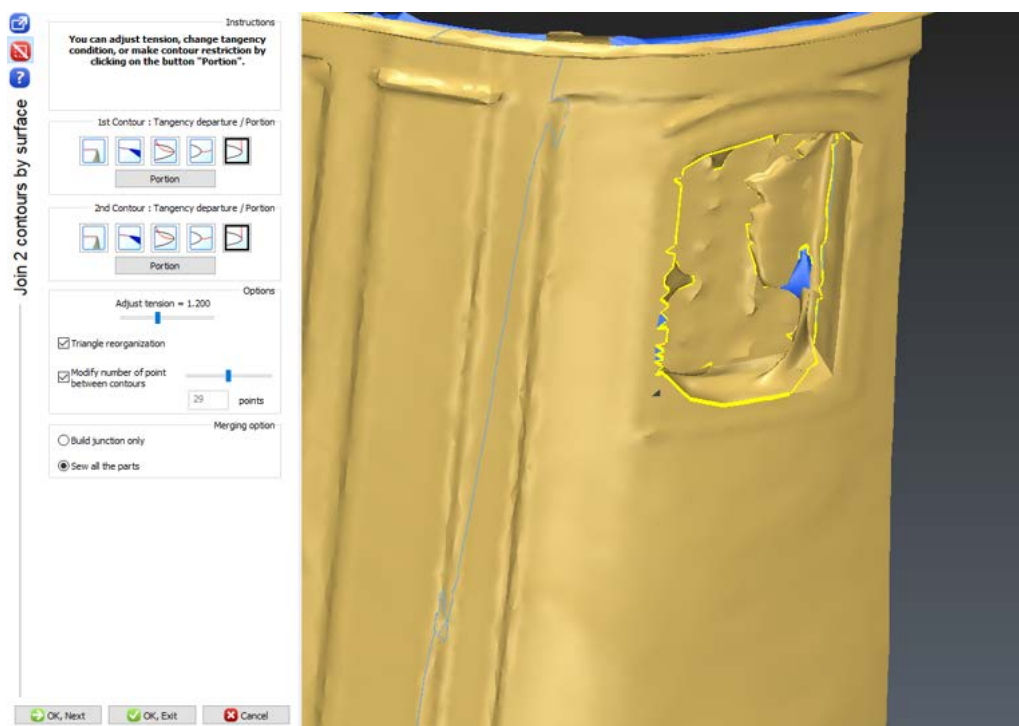
Obr. 4.8: Krok 1 - nadefinovat spojované hrany.



Obr. 4.9: Krok 2 - vybrat způsob vyplnění.

4.4.15 Vyhlazování modelu

Kostel je odjakživa považován za významnou budovu v obci, proto bývá velmi zdoben jak v interiéru, tak i z venkovní části. Tyto detaily je potřeba generalizovat. Bylo určeno, že dostatečná kvalita pro plánované využití modelu bude postačující při zanedbání detailů menších než 10 cm. Pro potřeby modelu je nutné jednotlivá zdobení vyhladit. Bylo také nutné odstranit naskenované mříže v oknech kostela (obrázek 4.10). To bylo prováděno funkcí *Mesh – Smooth*.



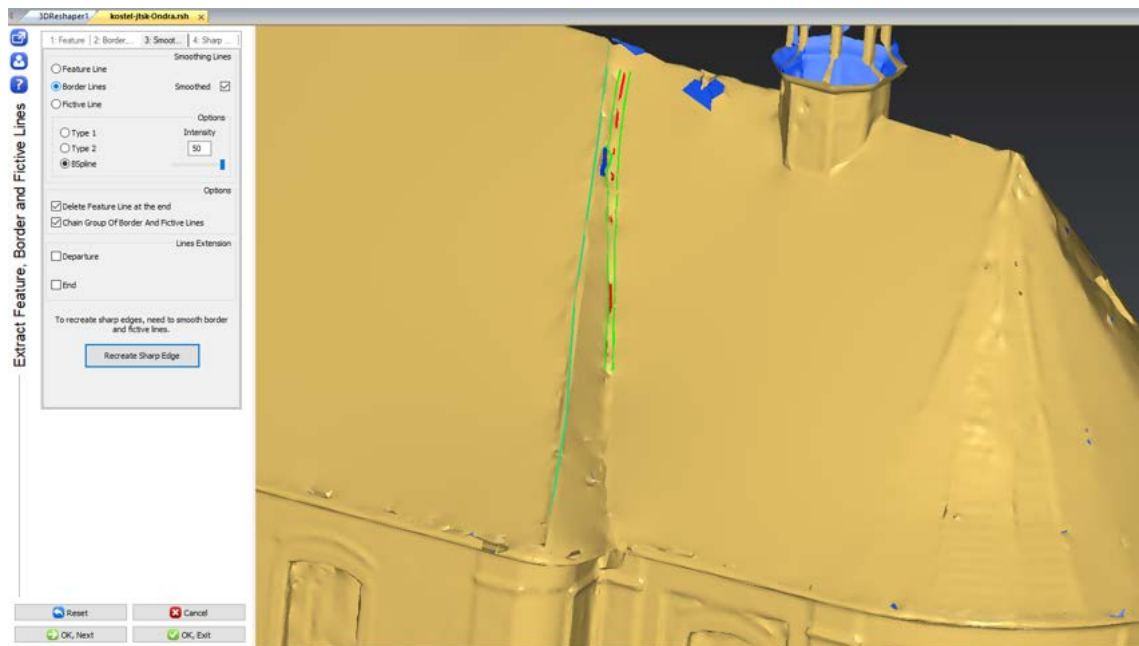
Obr. 4.10: Vyhlazení okna od mříží.

4.4.16 Tvorba ostrých hran

Některé hrany kostela však generalizací a vyhlazováním modelu mohou zaniknout. Ty zlomově významné, jako jsou rohy budovy nebo zlomy na střeše, lze zachovat a obnovit jejich ostrost (obrázek 4.11). Nejprve je nutné nadefinovat jednotlivé hrany funkcí *Polyline – Feature lines/Border line/Fictive line*. Pak lze roh vytvořit v *Mesh – Sharp Edges*.

4.4.17 Vytvoření hřbetu střechy

Střecha kostela byla jedním z míst, ve kterém byla obava o kvalitu naskenování. Zvažovalo se nechat střechu kostela nasnímat pomocí dronu a dodělat ji fotogram-



Obr. 4.11: Zvýraznění zlomu na střeše.

metricky. S výsuvným stativem na skener byla nakonec střecha naskenována dostatečně. Bylo jí však potřeba domodelovat. Především hřbet střechy, který byl navíc narušen hromosvodem.

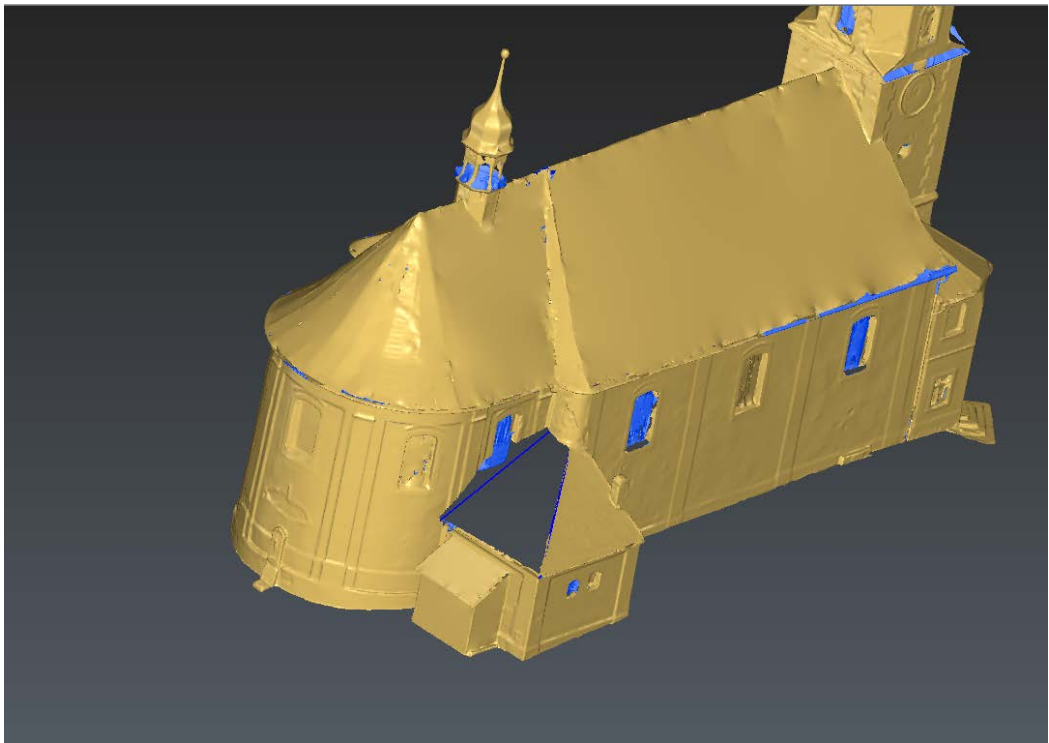
Postupovalo se tedy tak, že oběma stranami sedlové střechy byla proložena rovina. Vytvořila se průsečnice těchto dvou rovin. Pak se obě roviny ořízly tak, že se všechny trojúhelníky v modelu nad průsečnicí vymazaly. Pro zachování lokálních propadů střechy se namodeloval hřbet dokonale podle průsečnice.

4.4.18 Vytvoření nové střechy v přístavku

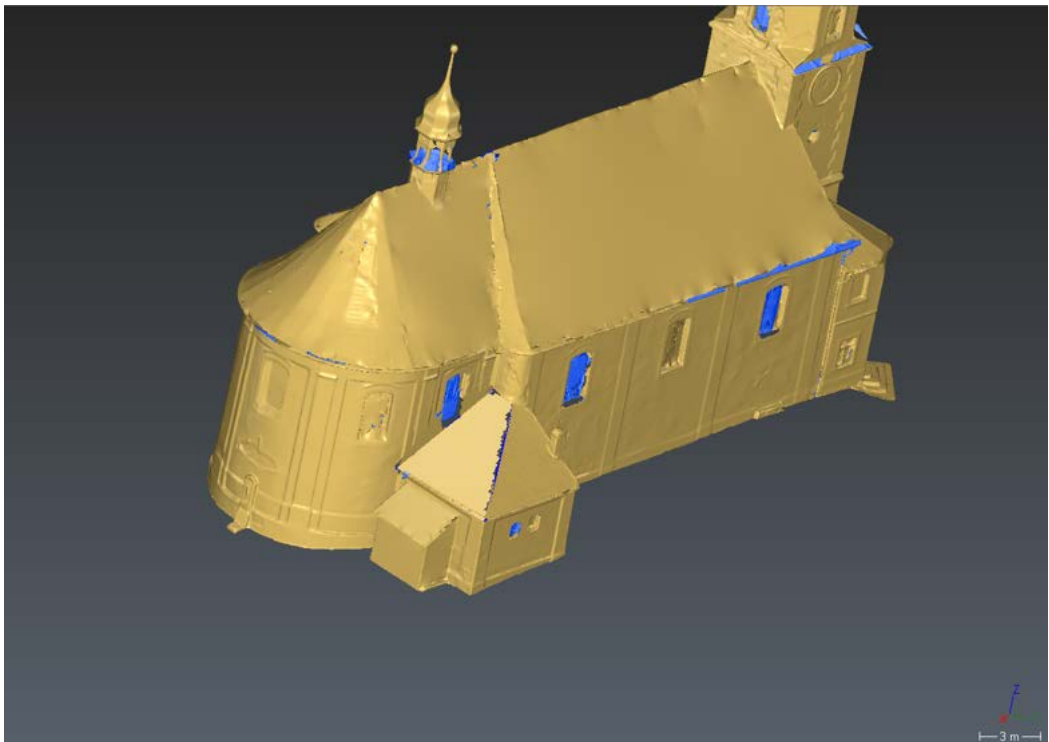
Na jednom místě modelu nebyla část střechy přístavku ke kostelu vůbec naskenována (obrázek 4.12). V tomto případě se postupovalo tak, že se využila část naskenované střechy. Tou se proložila obdélníková plocha, která se ořezala podle hřbetu střechy a přiléhající kostelní zdi. Následně se z této plochy vytvořilo mračno bodů o nastaveném rastru a pak se z tohoto mračna vytvořil trojúhelníkový mesh model, který se nakonec k celému modelu kostela připojil (obrázek 4.13).

4.4.19 Oprava děr v modelu

Program 3D Reshaper má pro tvorbu mesh modelů několik automatických funkcí, které pomáhají uživateli rychleji a někdy i lépe opravit generovaný model. Mesh model, který se vytvoří z mračna bodů, obsahuje zpočátku chyby. Jsou to například



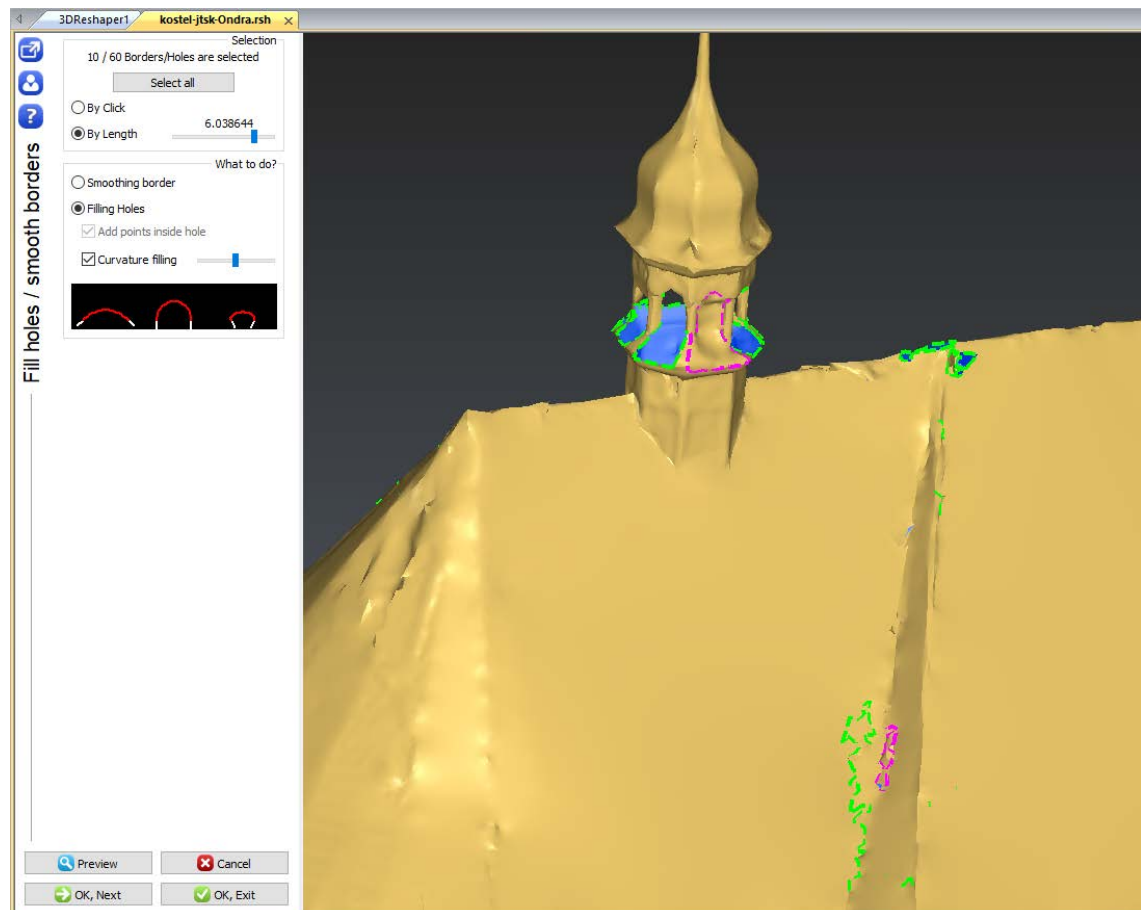
Obr. 4.12: Nenaskenovaná střecha před opravou.



Obr. 4.13: Po vytvoření nové střechy.

i mezery mezi vygenerovanými trojúhelníky. Ty se dají buď ručně nebo automaticky zaplnit.

U automatického opravování lze nastavit maximální velikost vyplňovaného otvoru. Definovat, zda otvor zcela zaplnit nebo jen vyhladit hrany, nebo také jak moc zaoblené mají být nově doplněné plochy. Touto funkcí lze opravit většinu drobných chyb v modelu, ale je potřeba sledovat, co vše se automaticky opravuje. V případě budovy kostela se při zvětšování kritéria velikosti díry, začaly zaplňovat i mezery mezi sloupky v obou jeho lucernách (obrázek 4.14).



Obr. 4.14: Chybné opravení děr na věžičce.

4.4.20 Odstranění nenapojených částí modelu

Při vyřezávání a odstraňování interiéru modelu kostela tak, aby zůstal jen jeho plášť, vzniklo mnoho drobných zbytkových výřezků. Ty se daly odstranit tak, že se celý model funkcí *Explode Compound Mesh* rozdělil na několik modelů. Následně byla vypnuta vrstva s hlavním modelem a všechny zbylé drobné kusy původního modelu se vymazaly.

4.4.21 Detekce prolínajících se trojúhelníků funkcí Verify Integrity

Funkci Verify Integrity je vhodně použít na závěr tvoření modelu. Ta detekuje trojúhelníky, které se navzájem protínají, a tedy dělají model chybným. Automaticky se vyhledají a automaticky vymažou. Poté je ještě vhodné na model aplikovat automatické vyplňování děr s rozumným nastavením velikosti.

4.4.22 Export modelu

Když byl mesh model kostela hotový, byl vyexportovaný do 3D PDF. K modelu se také připojil DGN výkres s účelovou mapou pro lepší znázornění celé situace. Program také nabízí možnost porovnání odchýlení vytvořeného modelu kostela od výchozího naskenovaného mračna bodů. Lze vygeneruje porovnávací report. Výsledný mesh model obsahuje 700 000 trojúhelníků s celkovou plochou 2 330 m^2 .

4.5 Tvorba stavebního výkresu

Pro tvorbu stavebního výkresu byl použit program AutoCAD 2018. Naskenované mračno bodů bylo z programu Leica Cyclone vyexportováno ve formátu RCP. Tento formát lze otevřít v nastavbě softwaru AutoCAD s názvem Autodesk ReCap 360, který slouží ke zobrazování mračen.

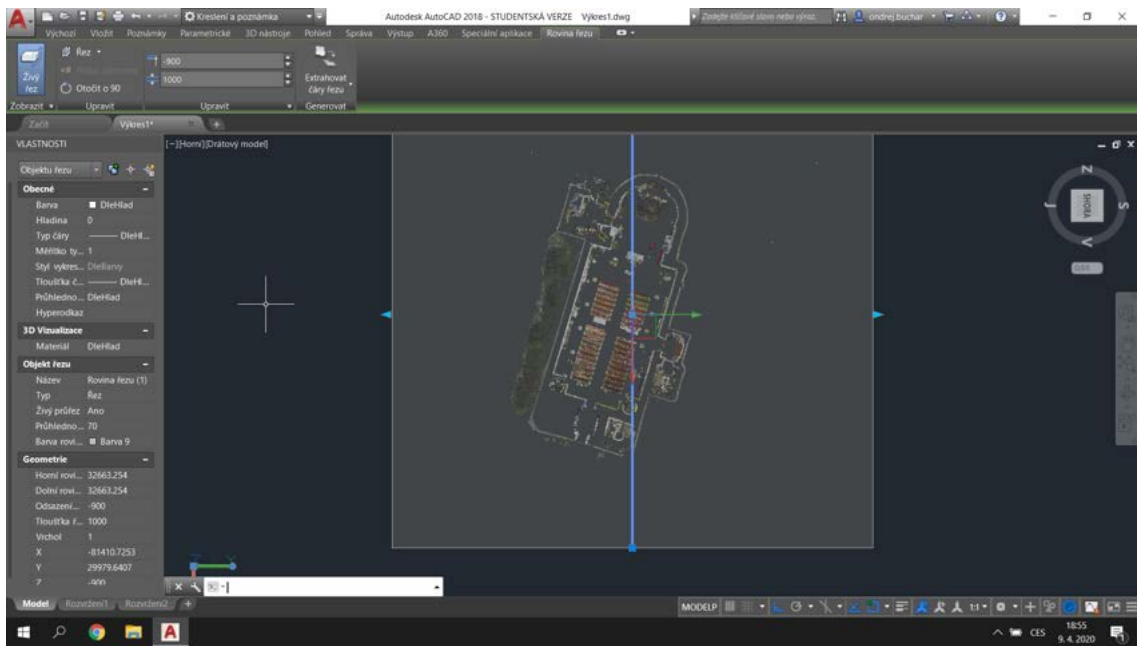
4.5.1 Řez skenem

Mračno bodů naskenovaného kostela, které bylo naimportováno přes nastavbu Autodesk ReCap 360 do programu AutoCAD, bylo potřeba pro tvorbu výkresu zpřehlednit. Proto se z daného mračna vytvořil pouze řez v potřebné výšce, aby byly viditelné pouze významné prvky stavby.

Tímto způsobem bylo vyhotoveno několik vodorovných řezů celého kostela. Řezy procházející zdmi, schodištěm, stavebními otvory (dveře a okna) nebo stropní klenbou pomohly dále v tvorbě celého výkresu 1. nadzemního podlaží (obrázek 4.15).

4.5.2 Kresba 1. nadzemního podlaží

Pomocí zvýrazněných kontur kostela jednotlivými řezy byl následně celý výkres 1. nadzemního podlaží zpracován. Výsledný výkres byl na závěr okótován, přidána rozpiska, legenda a severka. Veškerá 2D dokumentace byla vyhotovována podle publikace Čítanka stavebních výkresů. [5] Výsledný výkres byl vytištěn na formát A1 v měřítku 1:50, které je standardní pro stavební výkresy budov.



Obr. 4.15: Program AutoCAD 2018 s podélným řezem skenu.

5 Závěr

Cílem pracovní zakázky firmy Valbek, spol. s r.o., kterou tato diplomová práce popisuje, bylo vyhotovení dokumentace současného stavu Kostela sv. Jana Křtitele v Rochlicích ve městě Liberec. Při geodetickém zaměřování skutečného stavu kostela pro zamýšlenou rekonstrukci byly použity různé geodetické metody. A to prostorová polární metoda na zaměření situace okolo kostela pro vyhotovení účelové mapy. Ta byla ještě doplněna měřením pomocí GNNS a nivelace při tvorbě vztážné sítě v zájmové lokalitě. Samotná sakrální stavba byla celá zaměřena jak z exteriéru, tak interiéru metodou laserového skenování přístrojem Leica RTC 360. Bylo naskenováno v rámci 98 stanovisek celkem zhruba 5 miliard bodů.

Výsledkem této práce bylo z naměřených dat vyhotovit 2D a 3D dokumentaci skutečného stavu kostela. Výkresová dokumentace zahrnovala vyhotovení průčelí kostela s výškovými body v měřítku 1:100 na formátu A2 a nakreslení stavebného výkresu 1. nadzemního podlaží kostela v měřítku 1:50 formátu A1. Oba dokumenty jsou přílohami této práce.

V neposlední řadě byla zpracována situace okolí budovy kostela jako 3D účelová mapa, která měla postihnout polohopisný a výškopisný charakter obklopujícího prostředí. Důležitý prvek v této mapě je hřbitovní zeď, kterou si architekti projektující rekonstrukci výslovně vyžádali. Pro její správné vykreslení byla tedy účelová mapa vyhotovená prostorově jako 3D PDF. To lze nalézt na CD, které je přiložené k této diplomové práci. Účelová mapa je také vyhotovena v tištěné formě na A2 v měřítku 1:200, která je také přílohou tohoto dokumentu.

Data, která byla získána naskenováním kostela, byla jako další výstup této diplomové práce zpracována do podoby 3D mesh modelu. Ten byl vytvořen v programu 3D Reshaper. Model kostela lze nalézt v příloze na CD jako soubor 3D PDF. Tento model může být následně využit pro prezentaci kostela nebo pro případný 3D tisk. Byla také vytvořena kombinace 3D modelu kostela a 3D účelové mapy pro lepší vizualizaci budovy a místa.

Výsledky této diplomové práce budou odevzdány objednavateli zakázky. Tou je Římskokatolická farnost, Děkanství Liberec – Rochlice, která následně podklady předá architektonickému ateliéru Union Arch. Ateliér využije tyto podklady k na-projektování rekonstrukce kostela.

Tato diplomová práce měla mimo jiné za cíl, pomoci zachránit a opravit významnou kulturně-historickou památku ve městě Liberec. K záchraně této sakrální budovy se významně pomohla firma Valbek, spol. s r.o., která tuto zakázku vyhotovila pro Římskokatolickou farnost, Děkanství Liberec – Rochlice jako charitativní projekt zdarma.

Literatura

- [1] KAŠPAR, Milan, Jiří POSPÍŠIL, Martin ŠTRONER, Tomáš KŘEMEN a Miloš TEJKAL. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví*. Hradec Králové: Vega, 2003, 112s. ISBN 80-900860-3-9.
- [2] ŠTRONER, Martin, Jiří POSPÍŠIL, Bronislav KOSTKA, Tomáš KŘEMEN, Rudolf URBAN, Václav SMÍTKA a Pavel TŘASÁK. *3D skenovací systémy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [3] KAŠPAR, Milan, Jiří POSPÍŠIL, Martin ŠTRONER, Tomáš KŘEMEN a Miloš TEJKAL. *Laser scanning in civil engineering and land surveying*. Hradec Králové: Vega, 2004, 103 s. ISBN 80-900860-7-1.
- [4] ŠTRONER, Martin. *Laserové skenování - prezentace - 154LSK_pred_1_2008.ppt*. Praha, 2008.
- [5] DOSEDĚL, Antonín. *Čítanka výkresů ve stavebnictví*. 3. upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN 80-86817-06-7.
- [6] UNIONARCH. *Něco o nás* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <http://www.unionarch.cz/about>.
- [7] VALBEK-EU, A. S. *23 Profil společnosti 2013: 23. rok našeho podnikání*. Liberec, 2014, 23 s.
- [8] JARŮŠEK, Ladislav. *Geodetický protokol – Kostel sv. Jana Křtitele v Rochlicích – Geodetické zaměření skutečného stavu*. Liberec, 2020.
- [9] GEFOS a.s.. *Multistanice Leica NOVA MS50*. [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/ftp/Totalni_stanice/NOVA/Leica_Nova_MS50_letak_CZ.pdf.
- [10] GEFOS a.s.. *Leica RTC360*. [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/3d-laserove-skenery/rtc360>.
- [11] JARŮŠEK, Ladislav. *Geodetická zpráva – Kostel sv. Jana Křtitele v Rochlicích – Geodetické podklady pro projekt stavby*. Liberec, 2020.
- [12] Leica Geosystems AG. *Leica LS Digital Levels*. Heerbrugg, Switzerland, 2015.
- [13] GEFOS a.s.. *Leica Cyclone - Návod na registrování a transformaci bodových mračen*. Verze 9.2.1.

- [14] ScienceDirect. *Polygonal Mesh*. [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/polygonal-mesh>.
- [15] ZDŠ Rochlice. *Historie Rochlice*. [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: http://zds-rochlice.webz.cz/soubory_rochlice/historie_rochlic.htm.
- [16] Krajský úřad Libereckého kraje. *Kostel sv. Jana Křtitele* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.liberecky-kraj.cz/dr-cs/6463-kostel-sv-jana-krtitele.html>.
- [17] GRISA Ivan. *Kostel sv. Jana Křtitele* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.hrady.cz/index.php?OID=9393&PARAM=11&tid=30436&pos=800>.
- [18] DAVID, Petr a Vladimír SOUKUP. *777 kostelů, klášterů, kaplí České republiky*. Praha: Kartografie, 2002. ISBN 80-7011-708-7.
- [19] POCHE, Emanuel. *Umělecké památky Čech K/O, sv. II.*. Praha: Academia, 1978.
- [20] MAŠEK, Martin. *Průčelí rochlického kostela sv. Jana Křtitele*. 10.07.2012 [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_svat%C3%A9ho_Jana_K%C5%99titele_\(Liberec\)#/media/Soubor:Liberec,_Rochlice,_kostel.JPG](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_svat%C3%A9ho_Jana_K%C5%99titele_(Liberec)#/media/Soubor:Liberec,_Rochlice,_kostel.JPG).
- [21] ČUZK. *Nivelační údaje*. [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://bodovapole.cuzk.cz/_nbOutput_ws_n.aspx?id=kZIoQzV8ABfu0EgOSRBv30HWM96UEpHPPzDQUPI13eaPSM7lfsW0xi74h0Fv53D7.
- [22] Leica Cyclone 3DR. *Tips & Tricks #20 - Mesh with reversed parts*. 21.01.2018 [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Bhwq4IoRo1U>.
- [23] Mapy.cz: © Seznam.cz, a.s. © Přispěvatelé OpenStreetMap [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz/>.

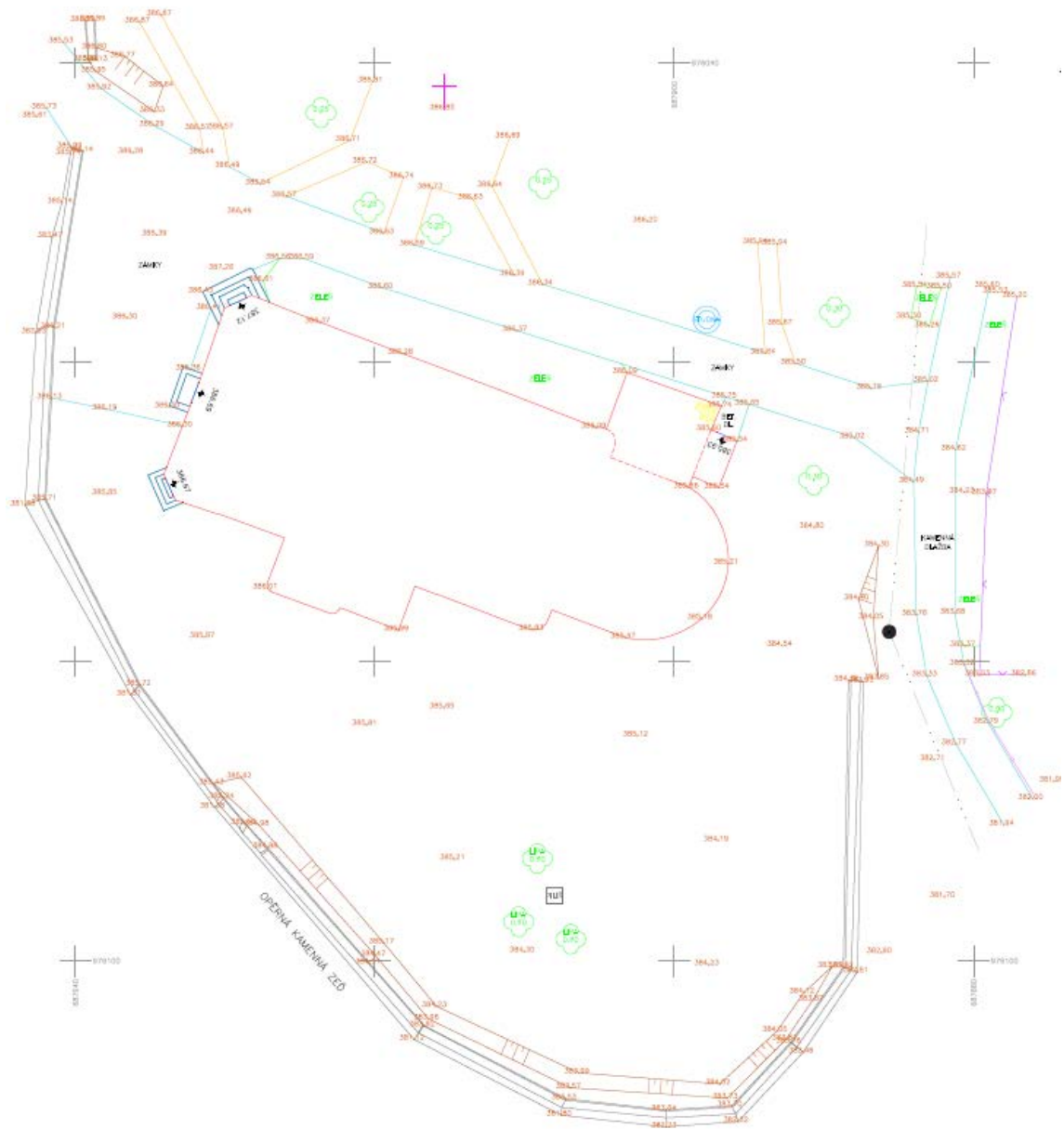
Seznam symbolů, veličin a zkratek

2D	Dvourozměrný – obraz je zobrazen v jedné rovině
3D	Trojrozměrný – objekt se zobrazuje prostorově
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
GNSS	Globální navigační satelitní systémy
LSS	Laserový skenovací systém
VR	Virtuální realita
CAD	Computer-aided design – česky Počítačem podporované projektování
ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
RTK	Real time kinematic – druh metody měření pomocí technologie GNSS. Rychlé získání informací o poloze s pomocí CZEPOS
CZEPOS	Sít permanentních stanic České republiky
ČSNS	Česká státní nivelační síť
ZPBP	Základní polohové bodové pole
VIS	Visual Inertial System – česky Vizuální inerciální systém
IMU	Inertial measurement unit – česky Inerciální měřická jednotka
GPS	Global position system – globální družicový polohový systém provozovaný USA
PDF	Portable document format – česky Přenosný formát dokumentů

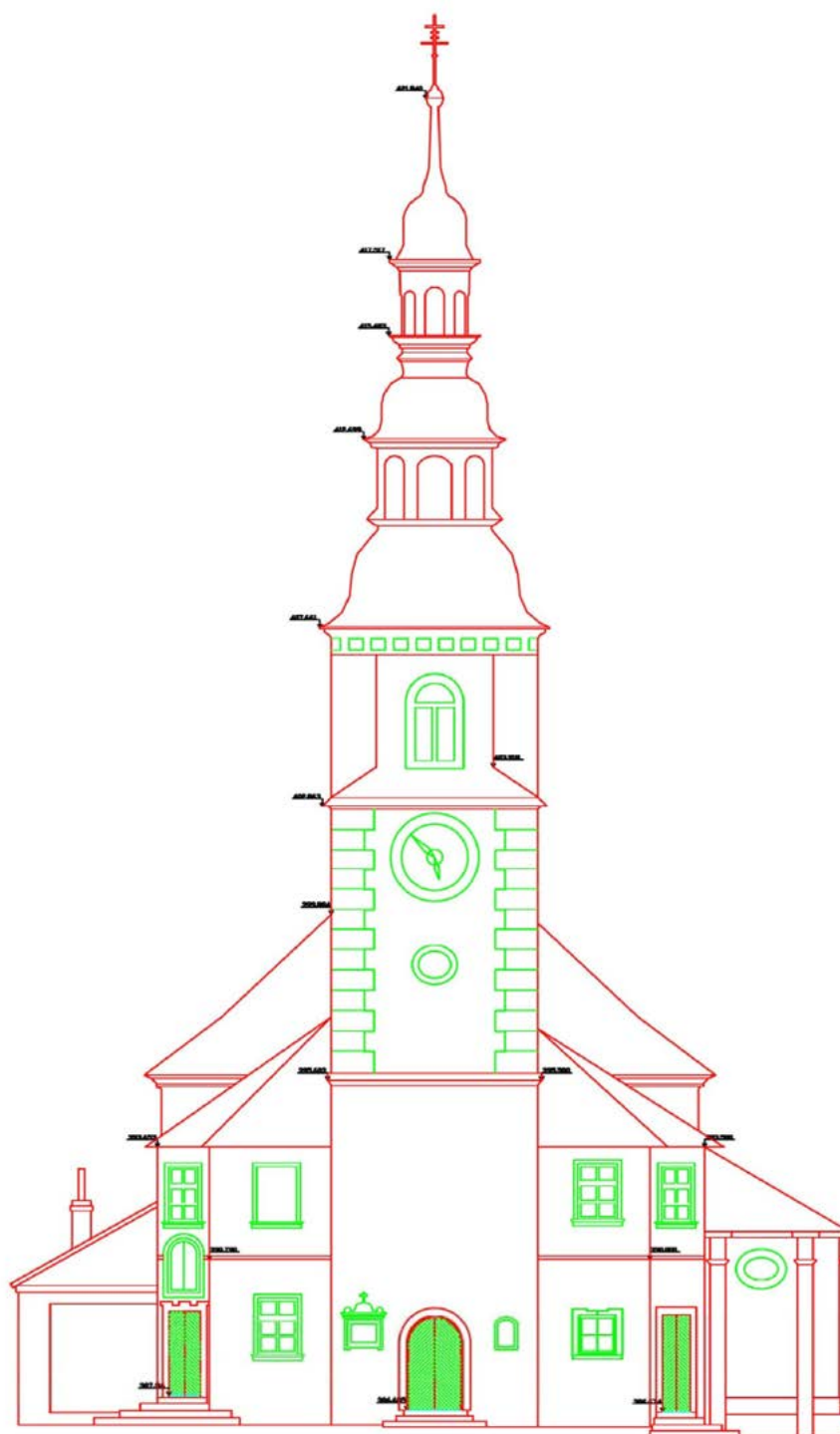
Seznam příloh

A Ukázka účelové mapy	69
B Ukázka výkresu průčelí	70
C Ukázka výkresu 1. nadzemního podlaží	71
D Ukázka vytvořeného modelu kostela	72
E Kombinace modelu s 3D mapou	73
F Porovnání modelu a mračna bodů	74
G Zápisník z nivelace	75
H Geodetická zpráva	76
I Geodetický protokol	77
J Obsah přiloženého CD	78

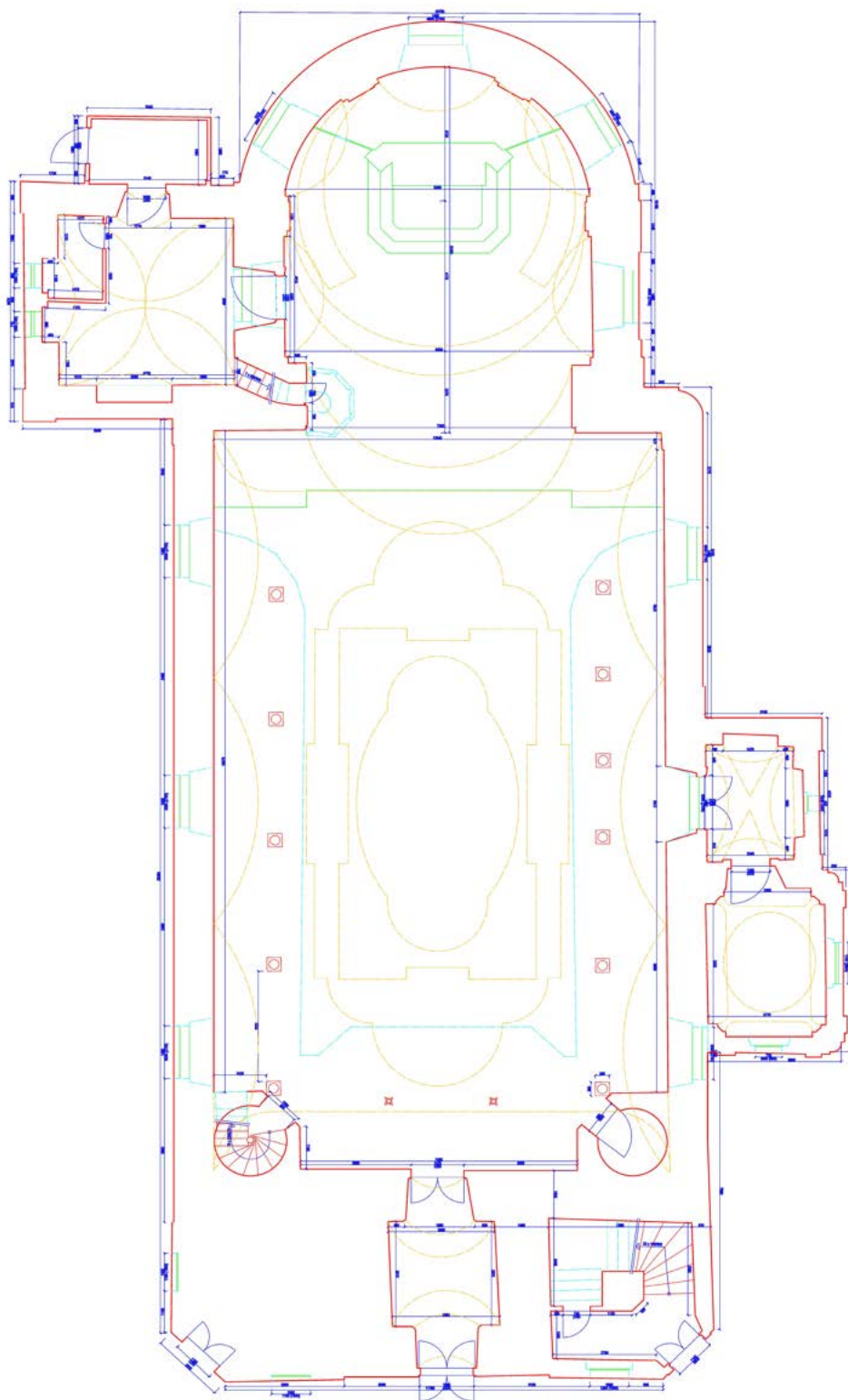
A Ukázka účelové mapy



B Ukázka výkresu průčelí



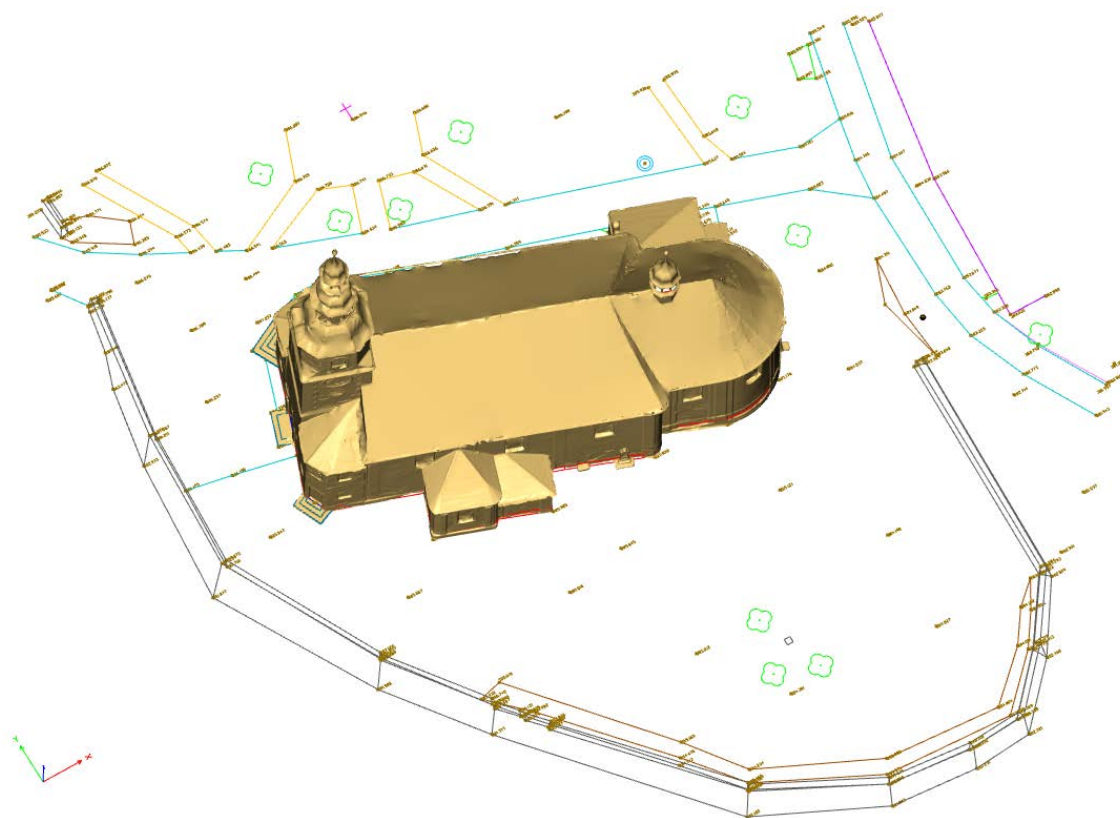
C Ukázka výkresu 1. nadzemního podlaží



D Ukázka vytvořeného modelu kostela



E Kombinace modelu s 3D mapou



F Porovnání modelu a mračna bodů

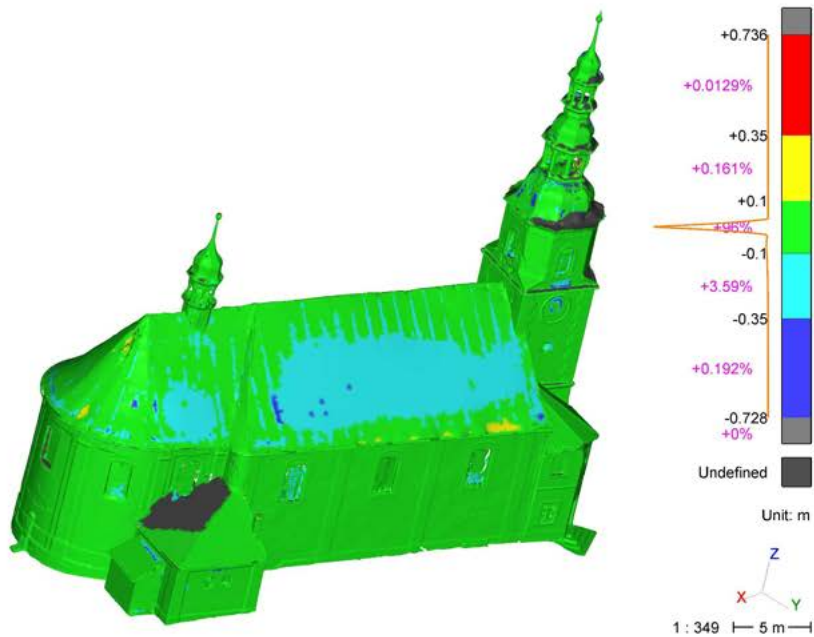


REPORT

Customer: Ondřej Buchar
Date: 20.05.2020

Kostel - Rochlice

Reference: kostel - point cloud
Measure: kostel - mesh



G Zázpisník z nivelace

Zázpisník pro technickou nivelaci

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavového	bočního	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
228.1		0.2004				377.6260		
1			0.3945			377.4319		
229.1		2.9185						
229.1		1.0030	1.0030			379.3474		
2			1.0030					
229.1		1.0030				379.3474		
229.1		1.0030				379.3474		
1			2.9184			377.4320		
1		0.4992						
228.1			0.3053			377.6259		
		6.6271	6.6272		L = 0.140			
		-6.6272						
		-0.0001						

H Geodetická zpráva

GEODETICKÁ ZPRÁVA



Název zakázky:	Kostel sv. Jana Křtitele v Rochlicích
Geodetické práce:	Účelová mapa okolí kostela
Lokalita:	Česká republika, Liberecký kraj, okres Liberec
Katastrální území:	682314 Rochlice u Liberce
Objednatel:	Římskokatolická farnost, Děkanství Liberec-Rochlice, Vrchlického 328/81, Liberec XIV-Ruprechtice, 460 14 Liberec
Zhotovitel zaměření:	Valbek, spol. s r.o., Vaňurova 505/17, 460 07 Liberec 3
Datum zaměření:	01-02/2020
Zaměřil:	Bc. Ondřej Buchar, Vojtěch Černý
Použité přístroje:	Leica GS18T, výrobní číslo: 3601623, Leica CS20, výrobní číslo: 2428522 Leica MS50, výrobní číslo: 370044
Souřadnicový systém:	S-JTSK
Výškový systém:	Bpv
Metoda zaměření:	Geodetické zaměření bylo provedeno v podrobnosti odpovídající měřítku 1:200. Poloha a výška podrobných bodů byla určena polární metodou z dočasně stabilizovaných bodů určených metodou GNSS v síti CZEPOS. Výškové zaměření dočasně stabilizovaných bodů je připojeno na ČSNS v bodě č. 229.1 z nivelačního pořadu CD Nymburk-Liberec.
Přesnost zaměření:	Přesnost geodetického zaměření charakterizuje střední chyba v poloze podrobného bodu polohopisu $m_p=0,02/0,05$ m a ve výšce podrobného bodu výškopisu $m_h=0,02/0,05$ m, pro zpevněný/nezpevněný povrch.
Popis lokality:	Upravená a přehledná lokalita s dominantní sakrální stavbou.
Popis prací:	Geodetické zaměření polohopisu, výškopisu a vyhotovení mapového podkladu. Výškopis znázorněn bodovým modelem terénu. Geodetické zaměření obsahuje viditelné a přístupné prvky polohopisu a výškopisu, zejména obvod budovy kostela, přilehlé pěší komunikace, kamennou opěrnou zeď v jižní části kostela a terén v okolí kostela.
Formát souborů:	Geodetická zpráva /PDF/, Výkres účelové mapy /DWG, PDF/

Ověřil	: Ing. Ladislav Jarůšek
Datum ověření	: 07.03.2020
Číslo ověření	: 43 / 2020
Kontakt na ověřovatele: tel: +420 778 403 044, e-mail: ladislav.jarusek@valbek.cz	
Náležitostmi a přesností odpovídá právním předpisům a podmínkám písemně dohodnutým s objednatelem.	

I Geodetický protokol

GEODETICKÁ ZPRÁVA



Název zakázky:	Kostel sv. Jana Křtitele v Rochlicích
Geodetické práce:	Geodetické zaměření skutečného stavu stavebního objektu
Lokalita:	Česká republika, Liberecký kraj, okres Liberec
Katastrální území:	682314 Rochlice u Liberce
Objednatel:	Římskokatolická farnost, Děkanství Liberec-Rochlice, Vrchlického 328/81, Liberec XIV-Ruprechtice, 460 14 Liberec
Zhotovitel zaměření:	Valbek, spol. s r.o., Vaňurova 505/17, 460 07 Liberec 3
Datum zaměření:	01-02/2020
Zaměřil:	Bc. Ondřej Buchar, Bc. František Hronovský
Použité přístroje:	Leica RTC360, výrobní číslo: 3601624 Leica GS18T, výrobní číslo: 3601623, Leica CS20, výrobní číslo: 3109196, Leica MS50, výrobní číslo: 370044
Souřadnicový systém:	S-JTSK
Výškový systém:	Bpv
Metoda zaměření:	Laserové skenování Vlícovací body (terče) pro transformaci do S-JTSK a Bpv, zaměřeny polární metodou z dočasně stabilizovaných bodů, zaměřených metodou GNSS RTK, v síti CZEPOS, služba VRS3-IMAX-CG. Výškové zaměření je ověřeno na bodě č. 229.1 z nivelačního pořadu CD Nymburk-Liberec.
Přesnost zaměření:	Laserové skenování – střední chyba v poloze podrobného bodu $m_p=0,02/0,02$ m a ve výšce podrobného bodu výškopisu $m_h=0,02/0,05$ m, pro zpevněný/nezpevněný povrch.
Popis lokality:	Budova kostela byla zaměřena laserovým skenerem. Exteriér kostela byl skenován v oblasti vymezenou hřbitovní zdí. V interiéru kostela byly skenovány všechny prostory. Hlavní loď, zpovědnice, zákristii, ochozy, kostelní věž, kazatelna, kaple rodiny Appletů, a další příslušné místnosti.
Popis prací:	Všechny vnitřní i vnější prostory kostela, včetně věže, zaměřeny metodou laserového skenování, počet pozic skeneru: 98 registrace cloud to cloud a pomocí terčů, počet terčů pro registraci: 10, terče určeny polární metodou z dočasně stabilizovaných bodů zaměřených metodou GNSS v S-JTSK a Bpv., počet terčů použitých pro transformaci do S-JTSK a Bpv: 5, registrace v sw Leica-Cyclone.
Formát souborů:	PDF, LAS, E57, RCP

Ověřil	: Ing. Ladislav Jarůšek	
Datum ověření	: 07.03.2020	
Číslo ověření	: 44/2020	
Kontakt na ověřovatele: tel: +420 776 403 044, e-mail: ladislav.jarusek@valbek.cz		
Náležitosti a přesnosti odpovídá právním předpisům a podmínkám písemně dohodnutým s objednatelem.		

J Obsah přiloženého CD

- /
- Diplomová práce Buchar 2020.pdf
- geodetické zprávy
 - priloha-protokol.pdf Technická zpráva k laserovému skenování
 - priloha-zprava.pdf Technická zpráva k účelové mapě
- mračno bodů
 - kostel-jtsk.rsh.....Soubor s modelem kostela programu 3D Reshaper
 - LBC-Rochlice-kostel.rcp Mračno bodů do programu AutoDesk ReCap
 - Rochlice-kostel-mistni.lgs.....Soubor ve formátu pro softwary Leica
- protokoly
 - nivelace
 - nivelace - protokol.xlsx.....Protokol z měření nivelace
 - nivelace - zápisník.pdf Zápisník měření nivelace pro ověření výšky
 - průčelí
 - 190213LBCKOSTEL.txt Zápisník z měření dne 13.2.2019
 - body_průčelí.txt Seznam souřadnic bodů na průčelí kostela
 - protokol.pro Protokol výpočtu bodů na průčelí kostela
 - skenování
 - registrace
 - cloud-to-cloud.txt ... Protokol registrace metodou "cloud to cloud"
 - jtsk.txt Protokol transformace registrovaného mračna
 - targets
 - 191011KOSTELz.txt Zápisník z měření dne 11.10.2019
 - prot-targets.pro Protokol výpočtu souřadnic zaměřených terčů
 - jtsk.txt Souřadnice terčů pro transformaci
 - účelová mapa
 - 200130KOSTEL.txt Zápisník z měření dne 30.1.2020
 - podrobne-ucelova mapa-zaporne.txt Souřadnice bodů pro mapu
 - vypocet-mapa.pro Protokol výpočtu bodů účelové mapy
 - vztažná síť
 - 190213LBCKOSTEL.txt Zápisník z měření dne 13.2.2019
 - 190213LBCKOSTELs_vysky.txt . Souřadnice bodů sítě s vyrovnanou výškou
 - protokol.pro Protokol výpočtu výškového vyrovnání vztažné sítě
 - prot-sit-mistni-4005.pro Výpočet polygonu v místní soustavě
 - trans z 4005 do jtsk.pro Transformace polygonu do S-JTSK
 - výkresy DWG
 - Rochlice-kostel-nové průčelí.dwg
 - Rochlice-kostel-stavební výkres.dwg
 - Rochlice-kostel-účelová mapa.dwg
 - výstupy PDF
 - Rochlice-kostel-3D-model.pdf
 - Rochlice-kostel-pruceli-A2-100.pdf
 - Rochlice-kostel-ucelova mapa-A2-200.pdf
 - Rochlice-kostel-stavebni vykres 1NP-A1-50.pdf