



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

TVORBA 3D MODELU KOSTELA V UNKOVICÍCH

CREATION OF 3D MODEL OF CHURCH IN UNKOVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Iveta Pospíšilová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KALVODA, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3646 Geodézie a kartografie
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
PRACOVISŤE	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Iveta Pospíšilová
NÁZEV	Tvorba 3D modelu kostela v Unkovicích
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Petr Kalvoda, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016


.....
doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN 01 3411. Mapy velkých měřítek: Kreslení a značky. Praha: Vydavatelství norem, 1990. 108 s.
ČSN 01 3410. Mapy velkých měřítek: Základní a účelové mapy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 14 s.
URBAN, J. Digitální model terénu. 1.vyd. Praha: ČVUT, 1991. 60 s. ISBN 80-010-0553-4.
Mayer, P. Počítačové Modelování Krajiny, skripta ČVUT Praha, 1995
BŘEHOVSKÝ, M; JEDLIČKA, K. Úvod do geografických informačních systémů (GIS) [online]. [s.l.] : [s.n.], 1998, Jaro 2007 [cit. 2010-10-30]. Dostupné z WWW: <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/index1.htm>. [e-učební text]
Manuály a uživatelské příručky sw Atlas DMT dostupné z WWW:
<http://www.atlasltd.cz/main.php?hkey=sw&a=25>.
HUML, M.; MICHAL, J. Mapování 10. dotisk 2. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 320 s. ISBN 978-80-01-03166-7.
ČSN ISO 690. Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 40 s.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Zaměřte geodeticky kostel v Unkovicích. Dodržte kritéria přesnosti daná 3. třídou přesnosti dle ČSN 01 3410. Ke zpracování použijte vhodný software. Na základě získaných dat vyhotovte 3D model kostela. Výsledný model vhodně vizualizujte.

Přesnost modelu otestujte na reprezentativním výběru podrobných bodů dle ČSN 01 3410.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Petr Kalvoda, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na tvorbu 3D modelu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Unkovicích. Předpokládá se, že výsledný digitální model bude v budoucnu využit k prezentaci budovy kostela. 3D model je zpracován na základě tachymetricky zaměřených bodů v programu Autodesk Inventor. Testováním přesnosti dle ČSN 01 3410 [5] bylo prokázáno, že výsledný 3D model splňuje kritéria 3. třídy přesnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kostel, 3D model, Autodesk Inventor, Trimble SketchUp, Unkovice

ABSTRACT

My diploma thesis is focused on 3D model creation of a church of the Assumption of the Virgin Mary in Unkovice. The resulting digital model is supposed to be used for the church building presentation. 3D model is created on the basis of tacheometrically measured points in Autodesk Inventor. Accuracy testing according to ČSN 01 3410 [5] proved confirmed criteria of 3rd accuracy rating.

KEYWORDS

Church, 3D model, Autodesk Inventor, Trimble SketchUp, Unkovice

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Iveta Pospíšilová *Tvorba 3D modelu kostela v Unkovicích*. Brno, 2017. 46 s., 8 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Petr Kalvoda, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2017

Bc. Iveta Pospíšilová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu této práce Ing. Petru Kalvodovi, Ph.D. za odborné vedení, za cenné rady a připomínky v průběhu zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat svým rodičům a přátelům za podporu při studiu a za pomoc při terénních pracích. Děkuji Ing. Ladislavu Hlouškovi za půjčení přístrojového vybavení.

OBSAH

1	Úvod	9
2	Představení objektu	11
2.1	Lokalizace obce Unkovice	11
2.2	Obec Unkovice	12
2.3	Historie kostela v Unkovicích	12
3	Výběr softwaru pro tvorbu 3D modelu	14
3.1	Autodesk ReMake	14
3.2	Trimble SketchUp	16
3.3	Autodesk Inventor	19
4	Měřické práce	22
4.1	Přístrojové vybavení	22
4.1.1	Totální stanice Trimble S6	22
4.1.2	Trimble R4 GNSS	23
4.1.3	Digitální fotoaparát Nikon D90	24
4.2	Rekognoskace v terénu a geometrický základ podrobného měření	25
4.3	Měření podrobných bodů	26
4.4	Fotografické práce	27
5	Výpočetní práce	28
6	Tvorba 3D modelu	30
6.1	Vytvoření 3D modelu	30
6.2	Vytvoření fototextur	33
6.3	Vizualizace 3D modelu	34
6.4	Exportované formáty	35
7	Testování přesnosti 3D modelu	36
7.1	Ověření délek	36
8	Závěr	38
9	Seznam použité literatury	41
10	Seznam použitých zkratk	44
11	Seznam použitých obrázků a tabulek	45
11.1	Seznam obrázků	45
11.2	Seznam tabulek	45
12	Seznam příloh	46

1 ÚVOD

Předmětem diplomové práce je tvorba 3D modelu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Unkovicích. O unkovickém kostele lze nalézt jen velmi málo textových či obrazových dokumentací. Jelikož se jedná o jednu z nejstarších sakrálních budov v blízkém okolí mého bydliště, rozhodla jsem se pomoci propagaci chrámu Nanebevzetí Panny Marie vytvořením jeho digitálního 3D modelu.

Unkovický kostel se nachází v katastrálním území Unkovice a jeho majitelem je Římskokatolická farnost Židlochovice. Budova chrámu je přibližně orientována na východ oltářem a na západ věží. Původní stavba pochází ze 14. století. Současná pozdně barokní podoba, kterou zobrazuje Obrázek 1, je z roku 1767. Kostel Nanebevzetí Panny Marie je chráněnou nemovitou kulturní památkou České republiky. V současné době se zde konají pravidelné bohoslužby každý pátek a v neděli lichého týdne. Kostel tvoří důležitou kapitolu v historii vesnice. Svoji roli má také ve společenském životě obyvatel. Je to místo setkávání lidí, pořádají se zde koncerty, vystoupení žáků základní školy a jiné kulturní akce. Nejbližší víkend ke svátku Nanebevzetí Panny Marie, který připadá na 15. srpna, se zde konají tradiční unkovické hody. [7][19]



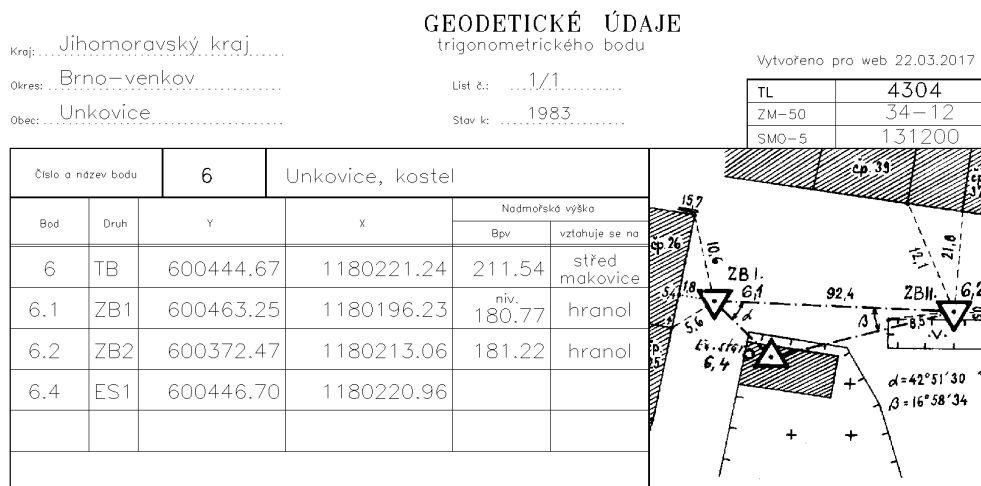
Obrázek 1: Současná podoba unkovického kostela.

3D model je schopen vystihnout skutečnou současnou podobu kostela. Součástí této práce je testování možností 3D modelování a výběr zpracovatelského softwaru. Pro tvorbu výsledného digitálního modelu byl zvolen program Autodesk Inventor, ve kterém byl 3D model vytvořen na základě zaměřených charakteristických bodů budovy prostorovou polární metodou. K následnému zpracování reálných fototextur digitálního modelu byl použit program Trimble SketchUp.

Přesnost 3D modelu byla ověřena kontrolním zaměřením délek přímých spojnic podrobných bodů výběru a jejich porovnáním s délkami odměřenými z modelu [5]. Výsledný digitální model může být v různých formátech výstupu dále využit k odborným i veřejným účelům. Předpokládá se využití 3D modelu k prezentaci kostela Nanebevzetí Panny Marie na webových stránkách.

2 PŘEDSTAVENÍ OBJEKTU

Kostel Nanebevzetí Panny Marie v Unkovicích má mimo jiné význam i pro geodézii – ve středu makovice věže je stabilizován trigonometrický bod číslo 6 (4304), jak je patrné z Obrázku 2.



Obrázek 2: Geodetické údaje trigonometrického bodu. [6]

2.1 LOKALIZACE OBCE UNKOVICE

Unkovice se nachází v Jihomoravském kraji v okrese Brno-venkov, asi 20 km jižně od Brna. Rozkládají se v Dyjsko-svrateckém úvalu na pravém břehu řeky Šatavy. Žije zde přibližně 700 obyvatel. Katastrální území Unkovice má výměru 3,72 km² a průměrná nadmořská výška obce je 180 m n. m. Unkovice jsou zařazeny do správního obvodu obce s rozšířenou působností Židlochovice. [22]

Lokalizaci obce Unkovice znázorňuje Obrázek 3.



Obrázek 3: Lokalizace obce Unkovice na slepé mapě ČR. [15]

2.2 OBEC UNKOVICE

Nejstarší písemná zmínka o Unkovicích pochází z roku 1278, kdy byl jejich majitelem Velehradský klášter. Asi okolo roku 1300 se vesnici říkalo Unišovice nebo také Hunkovice. Hlavní dominantou obce je kostel Nanebevzetí Panny Marie. Románský kalich znázorněný ve znaku obce darovali unkovickému kostelu hrušovanští farníci v roce 1593. Připomíná náboženskou toleranci místních obyvatel, z nichž většina se v 16. století přiklonila k protestantismu.

O počátek školství v obci se zasloužil Karel starší ze Žerotína. Současná budova školy byla vystavěna v roce 1893 a svůj účel plní dodnes.

Unkovice jsou vinařskou obcí Velkopavlovické vinařské oblasti. Z přírodních zajímavostí stojí za zmínku trvalé travní porosty Louky a Klínky. K významným krajinným prvkům patří dvě studánky a Unkovický rybník. [22][13]

Na Obrázku 4 je vyobrazen pohled na obec Unkovice ze západního směru.



Obrázek 4: Pohled na obec Unkovice.

2.3 HISTORIE KOSTELA V UNKOVICÍCH

Kostel se zde nacházel již ve 14. století. První zpráva o místní faře pochází z roku 1341. Unkovický kostel sloužil v raném období také okolním vesnicím Hrušovany, Žabčice, Přísnotice a dnes již zaniklým obcím Želízka a Koválov.

V roce 1630 byl dokončen chrám v Židlochovicích a roku 1633 sem byla přesunuta i unkovická farnost. Od té doby je kostel Nanebevzetí Panny Marie v Unkovicích filiálním kostelem římskokatolické farnosti Židlochovice. Jeho současná pozdně barokní podoba pochází z roku 1767, kdy jej nechal přestavět a rozšířit Karel Jan z Ditrichštejna.

Na hlavním oltáři můžeme spatřit obraz Panny Marie Nanebevzaté z roku 1849 od Killingra z Hunkovic, který je také autorem křížové cesty. V chrámové lodi je kopie unkovické madony. Ve věži jsou zavěšeny tři zvony. Největší z nich se jmenuje Urban a pochází z roku 1569. Další dva zvony jsou z let 1594 a 1700. Vnitřek kostela byl upraven v 70. letech dvacátého století. Varhany jsou původně ze zchátralého kostela v obci Údrč v Karlovarském kraji. Kostel Nanebevzetí Panny Marie je chráněnou kulturní památkou České republiky. Kolem chrámu se nachází hřbitov. [10][19][21]

Obraz Panny Marie Nanebevzaté na hlavním oltáři znázorňuje Obrázek 5.



Obrázek 5: Obraz Panny Marie Nanebevzaté.

3 VÝBĚR SOFTWARE PRO TVORBU 3D MODELU

Digitální model lze vytvořit více způsoby. V rámci této diplomové práce bylo testováno několik programů, které umožňují 3D modelování. Pro tvorbu výsledného 3D modelu bylo snahou vybrat softwary, které jsou bezplatné, volně dostupné nebo které umožňují studentskou časově omezenou licenci. Ovládání modelovacích softwarů je pro uživatele znalého prostředí CAD programů intuitivní a snadno pochopitelné. Případně lze na internetu nalézt velké množství videotutoriálů, které vysvětlují různé funkce těchto softwarů.

3.1 AUTODESK REMAKE

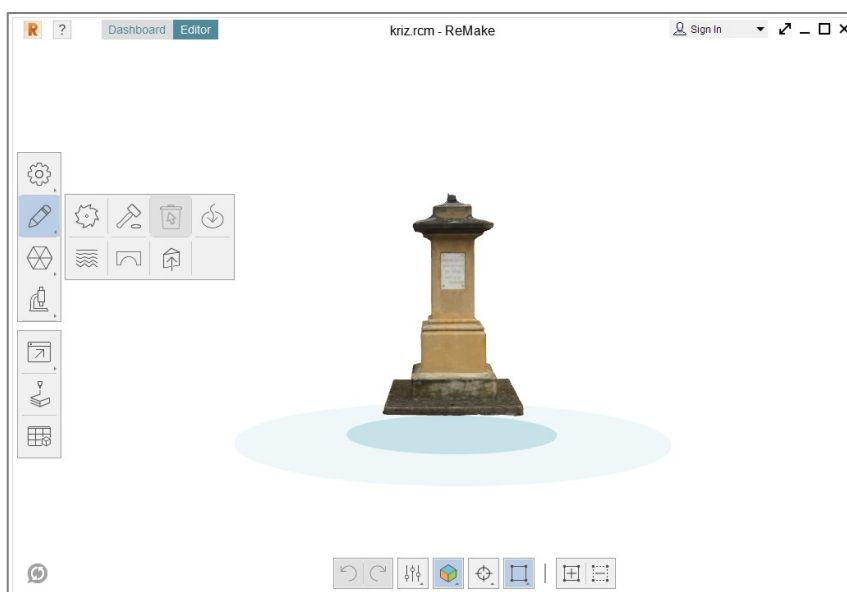
Jednou z variant bylo vyhotovení 3D modelu fotogrammetrickou metodou s využitím optické korelace. Program Autodesk ReMake vytvoří texturovaný 3D model ze série vhodně pořízených digitálních fotografií.

Aplikace Autodesk ReMake je kompletní nástroj pro převod reality reprezentované 3D laserovými skeny nebo fotografiemi na 3D modely s vysokým rozlišením. Výsledné síťové (mesh) modely lze funkcemi ReMake začišťovat, opravovat, zvětšovat, odměřovat, zjednodušovat, zarovnávat, porovnávat a optimalizovat. ReMake poskytuje reverse-engineering funkce pro stavebnictví i strojírenskou konstrukci, tvorbu modelů pro virtuální realitu, film, hry, umění, pro archivaci historického dědictví, pro digitální výrobu a publikování interaktivních scén pro web a mobilní platformy. ReMake zjednodušuje komplexní procesy, byl navržen pro uživatele pracující s vysoce přesnými digitálními modely objektů reálného světa bez potřeby speciálních znalostí 3D modelování.

ReMake nabízí širokou škálu funkcí pro práci s velmi rozsáhlými daty - např. převod mračen bodů a sérií fotografií na 3D otexturované mesh modely, import mesh modelů ze souborů *.RCM, *.OBJ, *.STL, *.PLY (mesh) a *.FBX, inteligentní editační nástroje pro úpravy povrchových sítí (zarovnání, opravy chyb, vyhlazení, lokální či globální zjednodušení) a export do souborů *.OBJ (Quads), *.STL, *.PLY, *.FBX nebo *.RCM. [4]

Program Autodesk ReMake je dostupný ve studentské 15 denní trial verzi. K vytvoření modelu je třeba kvalitní připojení k internetu. Z úložiště v počítači jsou na vzdálený server nahrány fotografie. Maximální počet digitálních snímků k vytvoření 3D modelu je 250. Výpočet modelu trvá dle vytížení serveru řádově v desítkách minut. Poté je možné uložit vypočtený model do počítače ve formátu *.rcm. V editoru Autodesk ReMake lze model použitím vhodných nástrojů dále upravovat.

Prostředí editoru je jednoduché a přehledné. V levé části jsou ikony hlavní nabídky, které otevírají další panely nástrojů. V hlavní nabídce lze nalézt panel nástrojů pro editaci rozměrů modelu a pro úpravu jeho orientace v prostoru. Další panel nástrojů slouží k dotvoření modelu, například oříznutí, vytažení, vyhlazení nebo vyplnění děr v modelu. Samostatný panel nástrojů je věnován vizualizaci modelu a jeho exportu. V dolní části jsou nástroje pro otočení a posun pohledu, ikona pro výběr a volby pro zobrazení typu modelu. Na Obrázku 6 je ukázka prostředí programu Autodesk ReMake.



Obrázek 6: Prostředí programu Autodesk ReMake.

Výhodou zpracování 3D modelu v programu Autodesk ReMake je nízká časová náročnost měřických prací. K umístění modelu v prostoru, jeho orientaci a přiřazení správného rozměru je třeba zaměřit pouze dostatečný počet vlíčovacích

bodů. Nevýhodou je, že do vypočteného 3D modelu nelze přidávat další fotografie a není možné některé snímky z výpočtu odebrat a nechat model přepočítat.

Pořídit digitální snímky dle požadavků uvedených v instruktážním videu publikovaném na webových stránkách softwaru Autodesk ReMake [3] nebylo možné. Z toho důvodu nebyl tento program použit k tvorbě výsledného modelu. Fotografie objektu kostela ze všech stran v různých výškových úrovních by bylo možné pořídit nejspíše dronem. Při použití digitální zrcadlovky bylo obtížné tento požadavek splnit, jelikož kostel s přilehlým hřbitovem z jižní i východní strany těsně navazuje na zástavbu a oplocené zahrady v soukromém vlastnictví.

Software Autodesk ReMake byl testován při modelování podstavce kříže. Tento objekt bylo možné vyfotografovat ze všech stran přibližně ze stejné vzdálenosti. Snímky byly pořízeny ve dvou výškových úrovních. Model podstavce kříže vytvořený ze série fotografií v prostředí programu Autodesk ReMake zobrazuje Obrázek 7.



Obrázek 7: Model podstavce kříže.

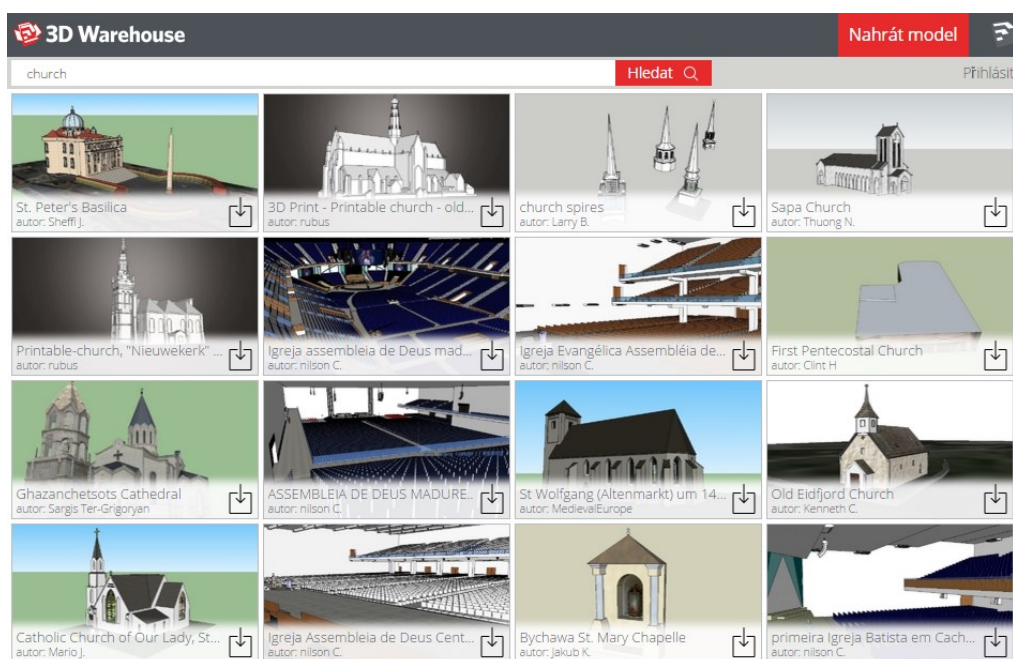
3.2 TRIMBLE SKETCHUP

Další variantou bylo vytvořit 3D model na základě měřených podrobných bodů v CAD softwaru. SketchUp je nástroj vyvíjený společností Trimble určený zejména pro návrh, skicování a design.

Svou jednoduchostí a intuitivním rozhraním je SketchUp vhodný pro každého. Lze v něm tvořit cokoliv, od interiérů přes strojírenské díly až po návrhy filmových scén. SketchUp lze také využívat k výuce na základních školách, k rychlému skicování nebo pro návrhy přímo v terénu. Vytvořené scény lze zároveň brát kamkoliv s sebou a prohlížet je na tabletu nebo mobilním zařízení. Protože je SketchUp volně programovatelný software, existují tisíce rozšiřujících pluginů, díky kterým lze pracovat se SketchUpem jiným způsobem nebo dokonce vytvářet fotorealistické vizualizace.

SketchUp byl vytvořen pro uživatele, kteří jsou ve světě 3D grafiky naprostými nováčky. Lze začít z nákresu, vytahovat plochy do prostoru, vytlačit v nich otvory, natahovat je, rotovat, ořezávat, apod. Nakonec stačí všemu přiřadit materiály. SketchUp má přímé napojení na knihovnu 3D modelů, které jsou k dispozici zdarma. V programu LayOut lze vytvářet okótované výkresy 3D modelu. LayOut má přímé napojení na model - cokoliv se změní v modelu, promítne se i do výkresu. V programu LayOut lze vytvářet PDF s obrázky modelu, popisem, výkresy i stylovou grafikou. [9]

Obrázek 8 znázorňuje knihovnu 3D modelů napojenou na software SketchUp dostupnou na internetu. Konkrétně se jedná o vyhledání 3D modelů kostelů.

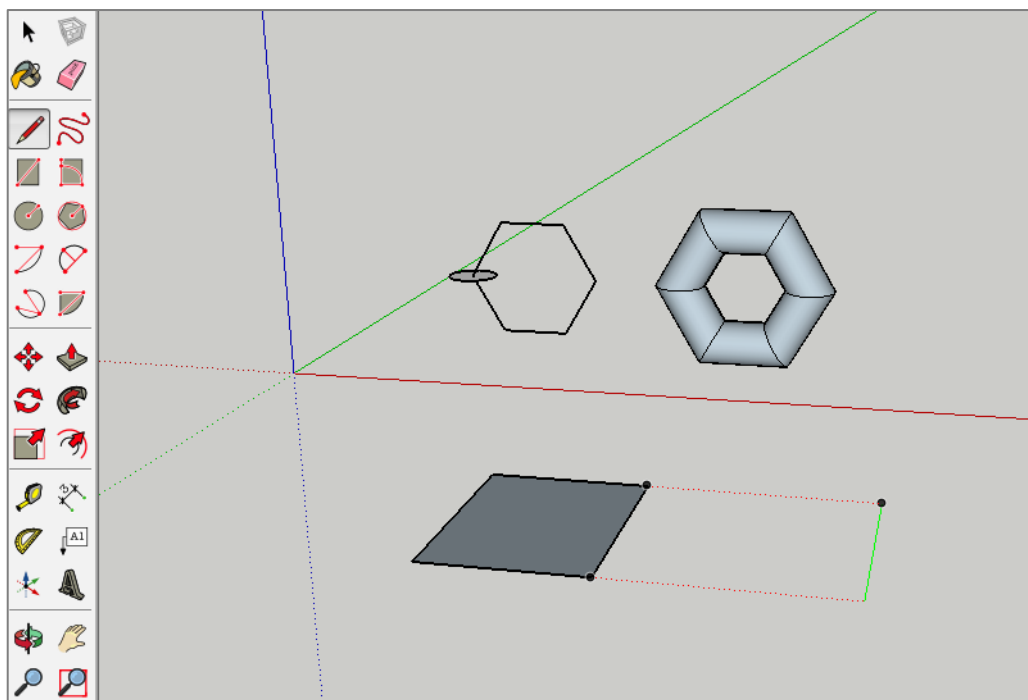


Obrázek 8: Knihovna 3D modelů. [2]

SketchUp umožňuje import a export celé řady formátů, například *.3ds, *.dwg, *.dxf, *.fbx, *.obj, *.xsi a *.wrl. V základní verzi lze nepodporované formáty importovat a exportovat po rozšíření pomocí pluginů. Nativní formát *.skp programu SketchUp lze vyexportovat ze softwarů MicroStation i Autodesk AutoCAD. Výhodou tohoto programu je velké množství videotutoriálů, blogů a návodů věnovaných softwaru SketchUp dohledatelných na internetu.

Program SketchUp je vhodný pro tvorbu modelů složených ze základních rovinných útvarů. Po spuštění programu vidí uživatel prázdný prostor ohraničený barevnými souřadnicovými osami. Nejjednodušší způsob jak začít modelovat je nakreslení půdorysu. K liniové kresbě slouží nástroj tužka, která se přichytává na koncové a středové body již nakreslených linií. Kreslení kolmých linií je zajištěno barevně rozlišeným trasováním ve směru souřadnicových os. Obecně umístěná linie se vykresluje černou barvou. Linie ve směru osy je dočasně zobrazena barvou, která odpovídá barvě dané souřadnicové osy. Další možností je kreslení uzavřených rovinných útvarů, například rovnoběžník, kruh, nebo mnohoúhelník s libovolným počtem vrcholů. Každý uzavřený rovinný útvar je automaticky převeden na plochu. Propojením libovolných dvou vrcholů pomocí tužky vznikne další uzavřený útvar, a tím lze definovat další plochy. Pro vytvoření tělesa z rovinné plochy je možné použít nástroj Push/Pull (Tlačit/Táhnout). Vytahovat či zatlačovat lze kteroukoliv plochu, například vytažením jedné strany krychle je možné vymodelovat kvádr. Dalším nástrojem je Follow Me (Tažení po křivce), kterým lze vytvořit těleso tažením útvaru po křivce. Nástroj Offset (Ekvidistanta) vytvoří obrazec odsazený o zadanou vzdálenost od řídicí křivky či plochy.

Obrázek 9 znázorňuje prostředí programu Trimble SketchUp. Konkrétně se jedná o nástroj Follow Me, který tažením kruhu po liniích šestiúhelníku vytvoří těleso. Z obrázku jsou také patrné barevně rozlišené souřadnicové osy. Trasování ve směru os znázorňují barevné linie u obdélníku. Zelená úsečka je rovnoběžná se zelenou osou a zároveň kolmá na červenou osu. Trasování ve směru červené osy zaručuje, že má zelená úsečka stejnou délku jako rovnoběžná strana obdélníku.



Obrázek 9: Prostředí programu Trimble SketchUp.

Vytvoření 3D modelu na základě souřadnic měřených bodů bylo v tomto programu komplikované a neefektivní. Vhodnější řešení bylo model částečně zpracovat v jiném CAD programu a poté ho importovat do prostředí SketchUpu k vytvoření reálných fototextur z digitálních fotografií. Snímky pro texturování není třeba speciálně upravovat ani ořezávat. Požadovaná část fotografie se po editaci pomocí čtyř nástrojů otiskne na vybranou plochu.

3.3 AUTODESK INVENTOR

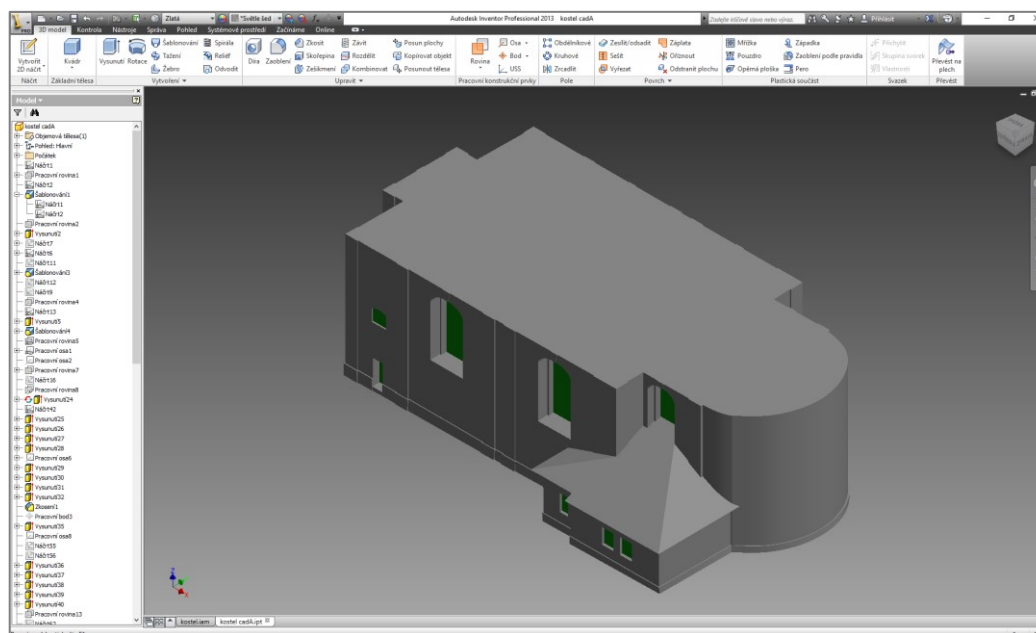
Dalším testovaným CAD softwarem byl Autodesk Inventor. Na rozdíl od programu Autodesk AutoCAD je tento software lépe uzpůsobený pro 3D modelování.

Základem tvorby modelu je náčrt, ve kterém lze definovat tvar konstruovaného prvku. Skica může být umístěna v půdorysu, narysu, bokorysu i v obecné rovině. Náčrt vzniká pomocí nástrojů pro liniovou kresbu. Rozměry linií a jejich protínací úhly lze upravovat prostřednictvím kót. Náčrt je možné definovat také určením geometrických vazeb. Například lze definovat totožnou, kolineární, pravoúhlou nebo rovnoběžnou vazbu. Určení prvků náčrtu kombinací

rozměrových kót a geometrických vazeb je barevně rozlišeno. Žlutá linie je definována rozměrovými kótami. Modrá linie je určena pomocí kót i geometrických vazeb. Zelená linie nemá určené žádné vazby ani kóty. Další nástroje pro vytvoření náčrtu jsou například ekvidistanta, kopírování polem a zrcadlení. Po vytvoření vhodně umístěných náčrtů lze modelovat 3D těleso. Mezi dvěma náčrtů je možné vytvořit těleso prostřednictvím nástrojů vytažení, zatlačení, rotace nebo šablonování. Uživatel přímo modeluje plné těleso a není nucen definovat jednotlivé dílčí plochy modelu. Důležitou výhodou je provázanost náčrtů a modelu. Po úpravě geometrického parametru v náčrtu se provedená změna automaticky projeví i na modelovaném tělese.

Autodesk Inventor je software pro 3D navrhování, vizualizace a simulace. Obsahuje komplexní nástroje pro generování přesné konstrukční a výrobní dokumentace přímo z 3D modelu. Autodesk Inventor umožňuje těžit z výhod digitálního modelování integrací 2D výkresů z aplikace Autodesk AutoCAD a 3D dat v jediném digitálním modelu. V Autodesk Inventoru lze generovat technickou a výrobní dokumentaci z ověřených digitálních modelů. Stačí jednoduše vyvolat výkresové pohledy včetně nárysů, půdorysů, bokorysů, pohledů ISO, detailních pohledů, řezů a pomocných pohledů a Autodesk Inventor následně promítne odpovídající geometrii. Inventor umožňuje vytvářet 2D a 3D výkresy v originálním formátu DWG prakticky z jakéhokoli CAD zdroje. Inventor nabízí širokou paletu nástrojů, které zjednoduší přechod od 2D ke 3D navrhování. Intuitivní skicování a modelování s přímými manipulacemi nabízejí nepřerušovaný pracovní postup a umožňují uživatelům soustředit se na konstrukční záměr místo ručního modelování geometrie. [1]

Nativní formáty softwaru Autodesk Inventor jsou například *.ipt, *.idw nebo *.dwg. Dalšími podporovanými formáty exportu jsou například *.dxf, *.3dm, *.sat, *.stl, *.sldprt a *.igs. Prostředí programu Autodesk Inventor je velmi podobné softwaru AutoCAD. Uživatel se základními znalostmi AutoCADu si rychle osvojí i ovládání Autodesk Inventoru. Ukázku prostředí programu Autodesk Inventor zobrazuje Obrázek 10.



Obrázek 10: Prostředí programu Autodesk Inventor.

Horní část pracovního prostředí tvoří pás karet, kde jsou logicky uspořádané jednotlivé nástroje. Další důležitou částí je vlevo umístěná stromová struktura modelu, pomocí které lze plynule přecházet mezi vytvářeným 3D modelem a jednotlivými náčrty. Dalším důležitým nástrojem je ViewCube navigace, který umožňuje rychlé natočení pohledů ISO.

Program Autodesk Inventor byl zvolen k tvorbě 3D modelu kostela. Hlavním důvodem byla možnost kontroly a úpravy geometrie dílčích částí modelu, aniž by bylo nutné upravené těleso znovu vytvářet. Všechny změny v náčrtech se do modelu promítnou automaticky bez poškození topologie původního tělesa.

4 MĚŘICKÉ PRÁCE

K vytvoření 3D modelu bylo nutné tachymetricky zaměřit charakteristické body na budově kostela. Měřické práce v terénu probíhaly od listopadu 2016 do února 2017.

4.1 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

Přístroje a příslušenství pro měřické práce byly vypůjčeny z firmy Hloušek, s.r.o., která disponuje převážně přístroji společnosti Trimble.

4.1.1 TOTÁLNÍ STANICE TRIMBLE S6

Při výběru totální stanice bylo důležité zvolit přístroj s vysokou úhlovou a délkovou přesností, včetně schopnosti bezhranolového měření délek. Pro geodetické zaměření objektu kostela byla použita totální stanice Trimble S6 v úpravě Robotic. Tato konfigurace umožňuje odpojit ovladač od přístroje a připnout ho k výtyčce. Měřič je tedy schopen měřické a vytyčovací práce provádět samostatně. Totální stanice má spoustu dalších klíčových vlastností, které usnadňují, zrychlují a zefektivňují měřické práce. Technologie MultiTrack kombinuje pasivní sledování hranolu s jeho aktivní identifikací pomocí Target ID. Přístroj se automaticky sám zacílí na správný cíl i při použití více hranolů najednou. MagDrive servo technologie spolu s úhlovými senzory rychle otáčí přístrojem a umožňuje i jemné ovládání při přesném cílení. Technologie Direct Reflex (DR) měří pasivním odrazem bez hranolu až do vzdálenosti několika set metrů. Maximální vzdálenost odrazu závisí na odrazivosti materiálu měřeného bodu. [18][17]

Vybrané parametry přístroje jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: Parametry totální stanice Trimble S6. [17]

Zvětšení dalekohledu	30x
Nejkratší měřitelná délka na hranol	0,2 m
Nejkratší měřitelná délka Direct Reflex	2 m
Dosah měření na hranol	5500 m
Dosah měření Direct Reflex na odraznou fólii 60 mm	1600 m
Přesnost měření úhlů	1"/0,3 mgon
Přesnost měření délek na hranol	±(3 mm + 2 ppm)
Přesnost měření Direct Reflex	±(3 mm + 2 ppm)

Totální stanice Trimble S6 Robotic komunikuje s controllerem TSC3 prostřednictvím radiomodemu s dosahem 500 – 700 m. Přípravu přístroje s příslušenstvím znázorňuje Obrázek 11.



Obrázek 11: Navazování spojení mezi ovladačem a totální stanicí.

4.1.2 TRIMBLE R4 GNSS

Pomocné měřické body byly polohově a výškově určeny bezkabelovým roverem Trimble R4 GNSS. RTK systém tohoto přijímače je založen na technologii Trimble a podporuje měření na frekvencích L1 a L2 s možností rozšíření na GLONASS. Dvoufrekvenční anténa se submilimetrovou stabilitou fázového centra poskytuje přesné výsledky i v náročných podmínkách. Trimble R4 GNSS s polním softwarem umožňuje práci v sítích referenčních stanic, například Trimble VRS Now CZ. Veškeré výpočty probíhají na controlleru. Polní software je schválen pro práci v katastru nemovitostí včetně transformace. [11]

Přesnost metody RTK je uvedena v Tabulce 2.

Tabulka 2: Parametry roveru Trimble R4 GNSS. [11]

Metoda RTK:	
Polohová přesnost	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$
Výšková přesnost	$\pm 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$

4.1.3 DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT NIKON D90

K vytvoření reálných fototextur 3D modelu byly použity fotografie pořízené vlastní digitální zrcadlovkou Nikon D90. Tento přístroj je vybaven CMOS snímačem o velikosti 23,6 x 15,8 mm a rozlišením 12,3 Mpx. Maximální rozměr obrazového výstupu je tak 4288 × 2848 obrazových bodů. Snímky lze ukládat ve formátech JPEG nebo NEF (RAW) na paměťovou kartu typu SD. Základní rozsah nastavitelné citlivosti je ISO 200 až 3200. Závěrka fotoaparátu pracuje s rozpětím expozičních časů v hodnotách 1/4000 až 30 vteřin. Na těle aparátu je 3" LCD display, který disponuje rozlišením 920.000 obrazových bodů. Velký LCD monitor usnadňuje manipulaci s menu, umožňuje zobrazení všech expozičních parametrů pořízených fotografií a kontrolu pořízených snímků přímo v terénu. [12]

Na zrcadlovku Nikon D90 lze nasadit jakýkoliv objektiv s bajonetem Nikon F. Digitální fotografie byly pořízeny s využitím ultrazoomového objektivu s optickou stabilizací Tamron 18-200mm f/3.5-6.3 Di II VC (B018N). Již z názvu vyplývá, že ohnisková vzdálenost objektivu činí 18 – 200 mm a rozsah světelnosti objektivu je f/3.5 - 6.3. Digitální fotoaparát znázorňuje Obrázek 12.



Obrázek 12: Digitální zrcadlovka Nikon D90. [12]

4.2 REKOGNOSKACE V TERÉNU A GEOMETRICKÝ ZÁKLAD PODROBNÉHO MĚŘENÍ

Před začátkem měřických prací byla provedena rekognoskace bodových polí v terénu. Geodetické údaje o bodech byly získány z webového portálu Databáze bodových polí provozované ČÚZK [6]. Nejvýznamnějším bodem v této lokalitě je trigonometrický bod číslo 6 (4304), který je stabilizovaný ve středu makovice věže kostela Nanebevzetí Panny Marie. Dva zajišťovací body tohoto trigonometrického bodu nebyly v terénu nalezeny. Pravděpodobně byly zničeny při rekonstrukci návsi v roce 2011. Informace o zničených zajišťovacích bodech byla zaslána Zeměměřickému úřadu prostřednictvím formuláře Hlášení o závadách bodů bodového pole. K částečně vyplněnému formuláři lze přejít hypertextovým odkazem z webové stránky geodetických údajů tohoto zničeného bodu [23]. Formulář Hlášení o závadách bodů bodového pole znázorňuje Obrázek 13.

ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD

CZEPOS BODOVÁ POLE Polohové bodové pole Přehledy KONTAKTY

Hlášení o závadách bodů bodového pole

Formulář slouží k zaslání informací o zničení nebo poškození bodu, příp. k nahlášení nesouladu mezi geodetickými údaji o bodu a skutečností.

Krok 1 - zadání čísla bodu a typu závady - Základní polohové bodové pole

číslo TL:

číslo bodu: .

typ závady:

Pozn.: Vyplnění všech položek je povinné. Polohové bodové pole: číslo TL (xxxx) se skládá z čísla ZTL (xx - 1-37, 39-47, 53-58, 79-82) a z čísla TL v rámci ZTL (yy - 1 až 25), číslo bodu (xxx.y) se skládá z čísla bodu (xxx) a čísla přidruženého bodu (y), pro centrum je poslední číslice většinou "0" (xxx.0), pokud nebude číslo přidruženého bodu vyplněno, bude dosazena "0". Výškové bodové pole: číslo bodu se skládá z označení nivelačního pořadí a čísla bodu (např: AB-2.2, Acd-7, Ac3-5.1, Bg09-8).

Obrázek 13: Hlášení o závadách bodů bodového pole. [23]

Ve vzdálenosti přibližně 100 m od kostela v jižním i západním směru je několik bodů podrobného polohového bodového pole (dále PPBP) stabilizovaných rohem budovy. Většina bodů PPBP v této lokalitě je znehodnocena zateplením rodinných

domů. Nejbližší bod výškového bodového pole se nachází ve vzdálenosti přibližně 1 km od objektu kostela.

Z důvodu neexistence dostatečného počtu použitelných bodů bodových polí byla síť pomocných měřických bodů připojena do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv prostřednictvím GNSS RTK. Touto metodou byly určeny pomocné měřické body č. 4001 – 4005. Byly dodrženy technické požadavky měření a výpočtu bodů určených technologií GNSS dle Vyhlášky č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením [14]. Pomocné měřické body č. 4006 – 4013 byly polohově určeny rajóny. Body č. 4014 – 4017 byly určeny jako volné polární stanoviště. Výšky pomocných měřických bodů byly určeny trigonometricky. Poloha všech stanovišť byla volena tak, aby byla zajištěna dobrá viditelnost a dostatečný počet orientací. Pomocné měřické body č. 4001 – 4011 byly stabilizovány nastřelovacím hřebem zvýrazněným reflexním sprejem. Body 4012 a 4013 byly v nepevném terénu stabilizovány roxorem. Na všech stanovištích byly úhlově i délkově zaměřeny minimálně dvě orientace. Byly dodrženy požadavky pro podrobné měření dle Návodu pro obnovu katastrálního operátu a převod [8].

Přehledný náčrt pomocné měřické sítě je v příloze č. 1. K bodům stabilizovaným na návsi a komunikaci přilehlé ke kostelu byly vyhotoveny geodetické údaje, které jsou součástí přílohy č. 2. Pomocný měřický bod číslo 4002 byl zničen při údržbě komunikace v zimních měsících. Body stabilizované na hřbitově byly po skončení měřických prací odstraněny.

4.3 MĚŘENÍ PODROBNÝCH BODŮ

Podrobné body byly měřeny prostorovou polární metodou. Zaměřeny byly charakteristické body, které definují dílčí plochy potřebné k vytvoření výsledného 3D modelu. Předmětem měření byly body na ostrých hranách, na zalomení ostění stavebních otvorů a jiné jednoznačně identifikovatelné body na budově kostela. Problematickým místem z hlediska podrobného měření byla střecha kostela. Ze stanovišť ve výškové úrovni podlahy chrámu nebylo možné zaměřit u některých dílčích ploch střechy všechny charakteristické body. U takových ploch

byly zaměřeny pomocné konstrukční body, které umožnily chybějící charakteristické body domodelovat.

Podrobné body v místě styku zdiva s terénem byly měřeny s využitím odrazné fólie. Ostatní body byly měřeny pomocí technologie Direct Reflex pasivním odrazem. Při bezhranolovém měření délek mohou laserové paprsky dálkoměru procházet v blízkosti překážek (například listy vegetace, drátěný plot) nebo dopadat pod nesprávným úhlem, což může být zdrojem chyb. Očekávaná délka záměry proto byla vizuálně kontrolována na displeji ovladače totální stanice. Naměřená data byla v terénu kódována.

4.4 FOTOGRAFICKÉ PRÁCE

Digitální fotografie pro vytvoření reálných textur 3D modelu byly pořízeny v březnu a květnu 2017. Při pořizování snímků byl kladen důraz zejména na jejich kvalitu, vyšší ostrost a nízký šum. Snahou bylo fotografovat za optimálních světelných podmínek, tedy při zatažené obloze, kdy slunce svítí přes mraky. Ostré kontrasty mezi osvětlenou a zastíněnou částí objektu jsou nežádoucí a vyžadují dodatečné odstranění. Některé fotografie byly pořízeny z větší vzdálenosti průhledy mezi domy. Snímky byly pořizovány v nativním formátu *.NEF vyvinutým společností Nikon pro digitální zrcadlovky. K následné úpravě fotografií a jejich převedení do formátu *.JPEG byl použit software Zoner Photo Studio 17.

5 VÝPOČETNÍ PRÁCE

Naměřená data byla v terénu ukládána do interní paměti controlleru. Z měření totální stanicí byly exportovány záznamy měření ve formátu *.asc. Z GPS byl exportován seznam souřadnic měřených bodů a protokol GNSS RTK měření ve formátu *.txt. Veškeré výpočetní práce byly provedeny v prostředí programu Geus.

Do výpočtu byly nejdříve naimportovány zprůměrované souřadnice pomocných měřických bodů určených metodou GNSS v souřadnicovém systému S-JTSK a jejich výšky ve výškovém systému Bpv. Dále bylo nutné zpracovat a upravit zápisníky měřených dat do požadované formy. Fyzikální korekce byly zavedeny při měření v terénu zadáním údajů o atmosférických podmínkách do ovladače totální stanice. Matematické korekce, tedy korekce z kartografického zobrazení a korekce z nadmořské výšky, byly zavedeny při výpočtu v programu Geus dle souřadnic a výšky bodu 4001. Souřadnice a výšky bodů pomocné měřické sítě a podrobných bodů byly určeny pomocí funkce polární metoda dávkou. Výsledné souřadnice a výšky pomocných měřických bodů v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Souřadnice a výšky pomocných měřických bodů.

Číslo bodu	Y [m]	X [m]	H [m]
4001	600459,734	1180218,640	180,949
4002	600487,359	1180249,926	180,501
4003	600459,208	1180191,360	181,015
4004	600444,132	1180191,206	180,996
4005	600400,448	1180211,501	181,332
4006	600445,038	1180229,446	181,370
4007	600443,072	1180213,358	181,318
4008	600424,029	1180204,717	181,212
4009	600369,530	1180205,826	181,300
4010	600415,675	1180215,598	181,629
4011	600422,897	1180234,461	181,602
4012	600420,707	1180241,996	181,717
4013	600451,661	1180234,579	181,591
4014	600423,961	1180237,900	183,153
4015	600450,700	1180223,882	182,824
4016	600450,214	1180217,388	182,678
4017	600469,048	1180227,682	182,354

Homogenita měření byla ověřena porovnáním souřadnic a výšek identických bodů. Dosažené odchylky na jednotlivých bodech jsou doloženy v protokolech.

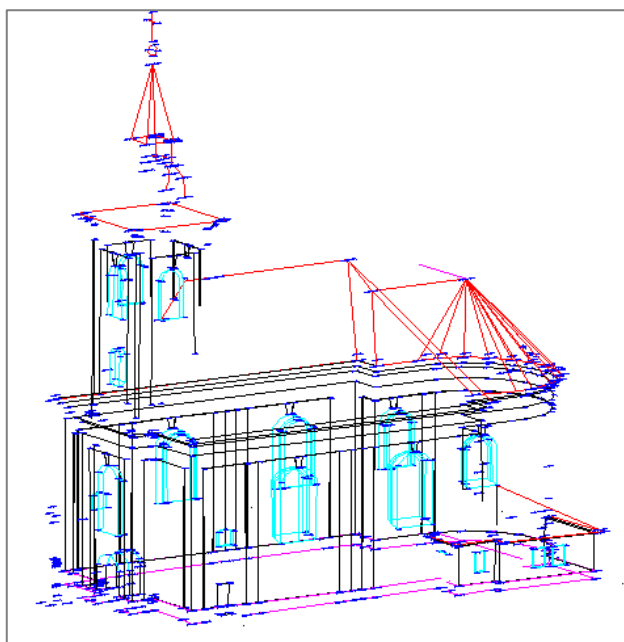
Exportované záznamy měření se nachází v příloze č. 3, seznamy souřadnic pomocných měřických bodů a podrobných bodů lze nalézt v příloze č. 5. Protokoly o výpočtech a protokol GNSS RTK měření jsou v příloze č. 4.

6 TVORBA 3D MODELU

Digitální model kostela Nanebevzetí Panny Marie v Unkovicích byl vytvořen na základě tachymetricky zaměřených charakteristických bodů.

6.1 VYTVOŘENÍ 3D MODELU

Před vlastní tvorbou 3D modelu byl vytvořen pomocný 3D výkres ve formátu *.dgn v programu MicroStation. Pomocí propojení softwaru MicroStation a výpočetního programu Groma byly do výkresu naimportovány souřadnice podrobných bodů. Následně byly nakresleny vazby mezi zaměřenými body. Tento pomocný výkres byl poté vyexportován do formátu *.dxf. Program MicroStation byl dále využíván k pomocným konstrukcím a k odměřování vzdáleností potřebných k vytváření 3D modelu. Na Obrázku 14 je ukázka pomocného výkresu z prostředí programu MicroStation.



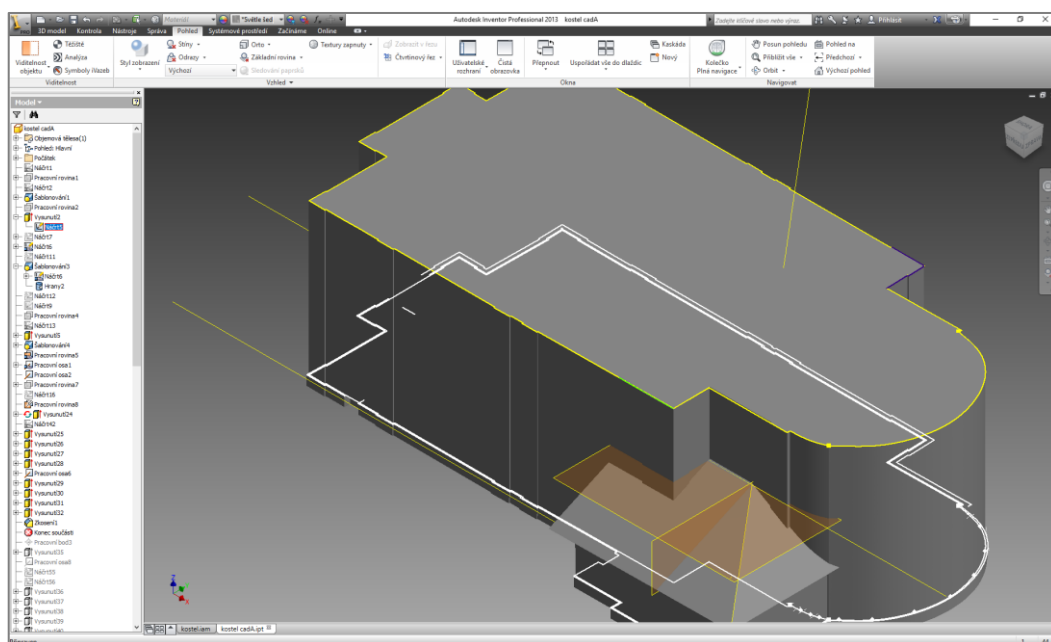
Obrázek 14: Pomocný výkres z prostředí programu MicroStation.

Liniová kresba ve formátu *.dxf byla naimportována do prostředí programu Autodesk AutoCAD. Z důvodu usnadnění následných modelovacích prací byla kresba přesunuta blíže k počátku souřadnicové soustavy a vhodně natočena. Severozápadní roh budovy kostela (konkrétně podrobný bod č. 755) byl umístěn do počátku souřadnicové soustavy. Severní boční stěna byla orientována ve směru

osy Y a západní stěna s vchodem do kostela byla orientována ve směru osy X. Poté stěny budovy kostela přibližně odpovídaly natočení pohledu ISO v programu Autodesk AutoCAD. Tato orientace kresby byla vhodnější k následné přípravě náčrtů v softwaru Autodesk Inventor. Upravený výkres byl v prostředí AutoCADu uložen do formátu *.dwg, se kterým lze pracovat i v programu Autodesk Inventor.

Modelování v programu Autodesk Inventor začalo konstrukcí dílčích náčrtů. Jednotlivé náčrty byly vytvářeny na základě průmětů geometrických parametrů převzatých z liniové kresby. Hrubý tvar tělesa chrámové lodi byl vymodelován na základě půdorysných skic. Jednotlivé náčrty byly umístěny ve výškových úrovních, ve kterých byly zaměřeny podrobné body. Tyto výškové úrovně odpovídají vodorovným prvkům zdiva. Konkrétně se jedná o průnik zdiva s terénem, horní část soklu, římsa nad okny a římsa pod střechou. Svislé prvky zdiva mezi dílčími náčrty vznikly pomocí funkce šablonování.

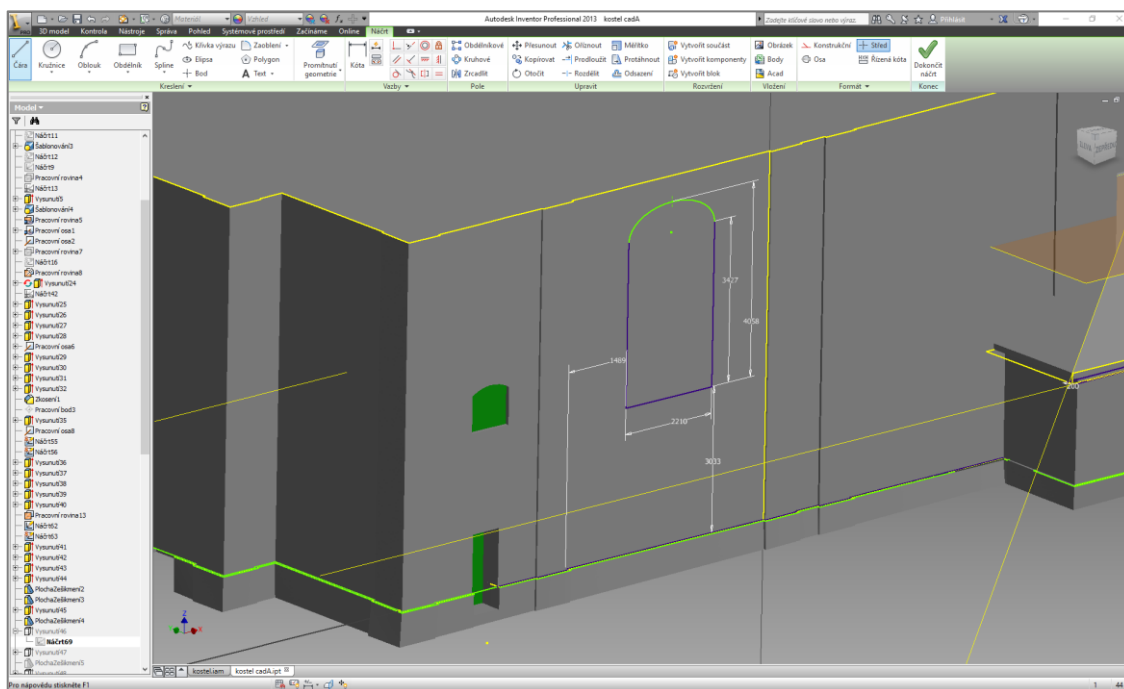
Vytváření chrámové lodi prostřednictvím náčrtů ve výškových úrovních měřených podrobných bodů znázorňuje Obrázek 15. Jednotlivé barvy linií představují určení náčrtu pomocí rozměrových kót či geometrických vazeb. Žlutá linie je definována rozměrovými kótami, modrá je určena pomocí kót i geometrických vazeb. Zelená linie nemá určené žádné vazby.



Obrázek 15: Modelování chrámové lodi.

Střechy byly vytvořeny vytažením profilu z náčrtu v nárysové rovině a jeho následným oříznutím. K modelování šikmých ploch střechy bylo třeba často využít pomocné náčrtu v obecných rovinách. Střecha věže byla částečně vymodelována na základě zaměřených bodů a částečně s využitím pomocných konstrukcí, viz podkapitola 4.3. Detaily střechy věže byly vytvořeny dle fotografií. Okna a dveře vznikly vytlačením otvorů do tělesa chrámové lodi. Tvar podchodné části budovy u vchodu do kostela byl vytvořen šablonováním. Na závěr byly na hrubém modelu dotvořeny detaily.

Vznikající model byl průběžně kontrolován porovnáváním vzdáleností odměřených na modelu se vzdálenostmi odměřenými v pomocném výkresu v MicroStationu. Případné úpravy modelu byly provedeny opravou dané kóty v náčrtu. Při úpravách bylo využito provázanosti náčrtu a modelu. Jednoduše provedené změně v náčrtu se daná část 3D modelu automaticky přizpůsobila. Úprava kót v náčrtu je patrná z Obrázku 16.

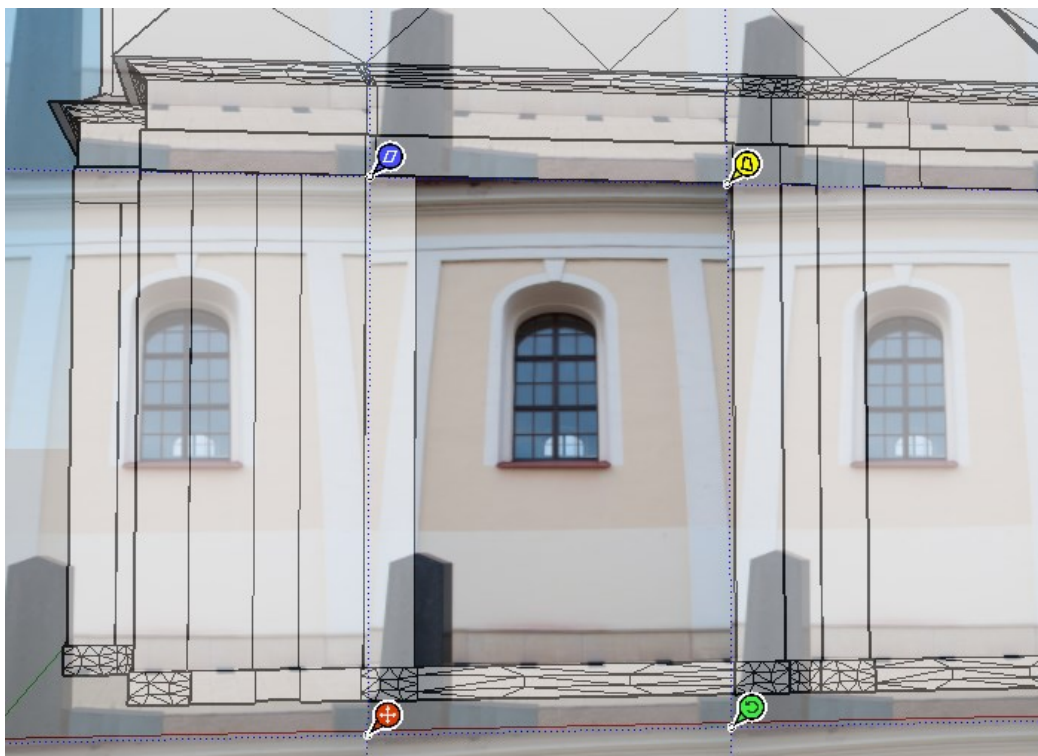


Obrázek 16: Úprava kót v náčrtu.

Vytvořený 3D model byl exportován ve formátu *.ipt a *.dwg. K vytvoření reálných fototextur byl použit program Trimble SketchUp.

6.2 VYTVOŘENÍ FOTOTEXTURY

Model ve formátu *.dwg byl naimportován do softwaru Trimble SketchUp. Fotografie ve formátu *.jpg byly do modelu vkládány pomocí funkce importovat obrázek jako texturu. Digitální snímek byl nejdříve přibližně umístěn na danou plochu. Přesnou polohu fotografie, která se poté zobrazí do požadované plochy, lze upravit pomocí čtyř ovladačů. Tyto nástroje umožňují posun, natočení i transformaci digitálního snímku. Po pečlivém přiřazení fotografie lze potvrdit zobrazení fototextury na dané ploše. Obrázek 17 znázorňuje nástroje pro úpravu fototextury.



Obrázek 17: Nástroje pro úpravu fototextury.

Po zobrazení fototextury na požadované ploše byla použita funkce vytvořit novou texturu. Tato funkce uloží do knihovny materiálů pouze část digitálního snímku, který tvoří texturu. Importovanou původní fotografii lze následně smazat. Odstraněním nepoužitých částí fotografií je možné snížit velikost souboru výsledného 3D modelu.

Pro některé plochy nebylo účelné vytvářet fototextury. Pro tyto plochy byly tedy na základě pořízených digitálních fotografií vytvořeny nové materiály. Tento

způsob texturování byl použit například pro střechu věže, střechu sakristie a obložení soklu.

Výsledný 3D model s fototexturami je dostupný v nativním formátu programu Trimble SketchUp *.skp. Dalším exportovaným formátem texturovaného modelu je *.dwg.

6.3 VIZUALIZACE 3D MODELU

K vytvoření renderovaných obrázků byl použit plugin V-Ray for SketchUp, který je volně dostupný v plně funkční verzi po dobu 30 dní.

V-Ray je celosvětově nejprodávanější program pro tvorbu fotorealistických 3D animací a vizualizací v oblasti designu, architektury, strojírenství, filmu, speciálních efektů i dalších oborech. V-Ray je k dispozici pro řadu populárních 3D grafických aplikací jako Autodesk 3ds max, Maya, Cinema 4D, SketchUp, Rhino, Revit a dalších. [20]

Rozšíření V-Ray je integrováno přímo do prostředí softwaru SketchUp. V-Ray obsahuje rozsáhlou knihovnu materiálů, kterými mohou být nahrazeny použité materiály ze SketchUpu pro dosažení realističtějšího vzhledu modelu. Této možnosti nebylo využito z důvodu použití vlastních materiálů a fototextur. Dále lze v prostředí V-Ray nastavit parametry kamery, například ohniskovou vzdálenost a hloubku ostrosti snímku. Samostatný panel nástrojů je věnován různým druhům osvětlení. Do modelu lze přidávat různá interiérová i exteriérová svítidla. Osvětlení 3D modelu sluncem bylo v prostředí programu SketchUp nastaveno přibližně na květnové odpoledne. Důležitou výhodou rozšíření V-Ray je možnost interaktivního náhledu. Pomocí náhledu lze před vlastním renderováním upravit detaily. Renderované obrázky jsou v příloze č. 8 ve formátu *.jpg.

Přímo v programu SketchUp lze exportovat obrázky, které odpovídají aktuálnímu natočení pohledu na monitoru počítače. Z obrázků je možné prostřednictvím scén sestavit animace. Novou scénu lze vytvořit pomocí manažeru scén. V jednotlivých scénách je možné nastavit natočení pohledu, polohu kamery, viditelné vrstvy, styly a stíny. Animace následně vzniká přechodem mezi dvěma

scénami automaticky. Nastavení jednotlivých scén je možné dle potřeby aktualizovat. Po vytvoření požadovaného počtu scén lze animaci v podobě videa uložit ve formátech *.avi nebo *.mp4. Animaci je možné také vyexportovat v podobě obrázků, které tvoří přechody mezi scénami. Obrázky lze získat ve formátech *.jpg, *.png, *.bmp nebo *.tif.

Animace pohledů ve formátu *.mp4 je součástí přílohy č. 8. Výsledná animace vznikla nastavením 21 scén, které tvoří celkem 1 009 obrázků.

6.4 EXPOROTOVANÉ FORMÁTY

Digitální model byl exportován do formátů, které umožňují jeho případné další zpracování. 3D model bez textur vytvořený v programu Autodesk Inventor je dostupný ve formátech *.ipt a *.dwg. Výsledný 3D model s reálnými fototexturami byl exportován ve formátu *.skp. Prohlížení 3D modelu ve formátu *.skp je možné v bezplatném programu Trimble SketchUp, který je dostupný na webových stránkách softwaru [16]. Import souborů ve formátech *.skp umožňuje pomocí pluginů software Autodesk AutoCAD verze 2013 a vyšší. Soubory s digitálním 3D modelem jsou v příloze č. 7.

7 TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI 3D MODELU

Na základě zadání diplomové práce bylo provedeno testování přesnosti výsledného 3D modelu dle ČSN 01 3410 Mapy velkých měřítek – Základní a účelové mapy. Dodržena měla být kritéria přesnosti pro 3. třídu přesnosti.

Dosažená přesnost se ověřuje testováním výsledků na výběru podrobných bodů v jedné třídě přesnosti. Testuje se statistická hypotéza, že výběr přísluší stanovené třídě přesnosti. Dosažení přesnosti určení souřadnic podrobných bodů výsledného modelu bylo ověřeno kontrolním zaměřením délek přímých spojníc podrobných bodů výběru a jejich porovnáním s délkami vypočtenými ze souřadnic (odměřenými z modelu).

Kritéria 3. třídy přesnosti jsou dána hodnotami $u_{XY} = 0,14 \text{ m}$ a $u_H = 0,12 \text{ m}$. Podrobné body pro ověření přesnosti byly zvoleny jako reprezentativní výběr jednoznačně identifikovatelných bodů rozmístěných po celém objektu. [5]

7.1 OVĚŘENÍ DÉLEK

Délky byly kontrolně zaměřeny laserovým dálkoměrem Leica Disto X310. K ověření délek přímých spojníc podrobných bodů byly určeny rozdíly délek

$$\Delta d = d_m - d_k \quad (7.1)$$

kde je d_m délka spojnice dvojic podrobných bodů odměřená z modelu a d_k je délka spojnice určená z přímého měření.

Přesnost se pokládá za vyhovující tehdy, když

- absolutní hodnoty všech rozdílů délek, vypočtených podle (7.1), vyhovují kritériu

$$|\Delta d| \leq 2u_d \cdot k \text{ [m]} \quad (7.2)$$

- kritérium

$$|\Delta d| \leq u_d \cdot k \text{ [m]} \quad (7.3)$$

Kritérium je splněno pro 60 % a více testovaných délek d , přičemž u_d se vypočte podle rovnice (7.4) a koeficient k má hodnotu 1,0.

$$u_d = 1,5 \frac{d+12}{d+20} u_{XY} \text{ [m]} \quad (7.4)$$

kde je d délka přímé spojnice bodů a u_{xy} kritérium přesnosti, pro 3. třídu přesnosti $u_{xy} = 0,14$ m. [5]

Testováno bylo celkem 115 kontrolních oměrných měr podle kritéria pro 3. třídu přesnosti. Absolutní hodnoty všech rozdílů délek vyhovují kritériu $|\Delta d| \leq 2u_d \times k$. Kritérium $|\Delta d| \leq u_d \times k$ je splněno pro 100 % testovaných délek. Přesnost výsledného 3D modelu lze považovat za vyhovující pro 3. třídu přesnosti. Vybrané výsledky testování délek jsou uvedené v Tabulce 4.

Tabulka 4: Výsledky testování přesnosti.

Kritérium přesnosti:	u_{xy}	0,14	m
Kritérium			
$ \Delta d \leq 2 \cdot u_d \cdot k$ [m]			
Vyhovuje pro:	100,00%		
Nevyhovuje pro:	0,00%		
Kritériu $ \Delta d \leq 2 \cdot u_d \cdot k$ [m] musí vyhovovat všechny rozdíly délek.			
SPLNĚNO:	ANO		
Kritérium			
$ \Delta d \leq u_d \cdot k$ [m]			
Vyhovuje pro:	100,00%		
Nevyhovuje pro:	0,00%		
Kritérium $ \Delta d \leq u_d \cdot k$ [m] musí být splněno pro 60% a více testovaných délek.			
SPLNĚNO:	ANO		

Testování přesnosti je v příloze č. 6.

8 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá tvorbou 3D modelu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Unkovicích. Digitální model byl vytvořen na základě tachymetricky zaměřených charakteristických bodů budovy. Při měřických pracích bylo použito běžné geodetické přístrojové vybavení. Ke zpracování naměřených dat byly využity neplacené, popřípadě studentské verze softwarů. V jednotlivých kapitolách této práce jsou popsány činnosti spojené s vyhotovením výsledného 3D modelu.

Práce začaly výběrem vhodného programu ke zpracování digitálního modelu. Původní myšlenkou bylo vyhotovit 3D model v softwaru Autodesk ReMake fotogrammetrickou metodou s využitím optické korelace. Protože nebylo možné pořídit fotografie dle požadavků softwaru, docházelo při výpočtu modelu z pořízených fotografií k neakceptovatelným chybám. Další možností bylo zpracovat digitální model na základě zaměřených podrobných bodů v CAD programu. Mým požadavkům nejlépe vyhověl software Autodesk Inventor.

Měřické práce začaly rekognoskací v terénu. Z důvodu nenalezení dostatečného počtu použitelných bodů bodových polí bylo měření připojeno do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv prostřednictvím GNSS RTK. Metodou RTK bylo určeno 5 pomocných měřických bodů. Prostorovou polární metodou bylo určeno celkem 12 dalších stanovisek. K tachymetrickému měření byla použita totální stanice Trimble S6 v úpravě Robotic. Celkem bylo zaměřeno 905 charakteristických podrobných bodů budovy. K výpočetním pracím byl použit program Geus.

Výsledný 3D model je vytvořen v softwaru Autodesk Inventor. K následnému zpracování reálných fototextur digitálního modelu byl použit program Trimble SketchUp. Rozměry modelu odpovídají skutečnosti. Výsledný 3D model je v prostoru umístěn v místním souřadnicovém systému. K případnému dalšímu využití byl model exportován do formátů *.ipt, *.dwg, *.skp. Renderované obrázky jsou dostupné ve formátu *.jpg. Animace pohledů byla exportována z programu Trimble SketchUp ve formátu *.mp4.

Přesnost 3D modelu byla ověřena kontrolním zaměřením délek přímých spojnic podrobných bodů výběru a jejich porovnáním s délkami odměřenými z modelu. Testováním přesnosti dle ČSN 01 3410 [5] bylo prokázáno, že výsledný 3D model splňuje kritéria 3. třídy přesnosti.

Digitální soubory výsledků této diplomové práce budou předány Obci Unkovice a Římskokatolické farnosti Židlochovice. Výstupy diplomové práce mohou v budoucnu sloužit k činnostem spojeným s péčí o tuto nemovitou památku. Vizualizace 3D modelu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Unkovicích mohou být umístěny na webových stránkách. Výsledný texturovaný 3D model v prostředí SketchUp zobrazuje Obrázek 18.



Obrázek 18: Výsledný texturovaný 3D model v prostředí SketchUp.

Pro mne byla tato práce přínosem v podobě prohloubení znalostí v oblasti 3D modelování. V současné době se rozvíjí různé technologie pro interpretaci trojrozměrného prostoru. V oblasti geodézie se jedná například o digitální modely terénu, 3D modely budov a aplikace GIS. Běžnému uživateli jsou dostupné nástroje pro tvorbu 3D modelu vlastního domu a jeho následné umístění do aplikace Google Earth. Nejsou modelovány pouze geografické objekty, ale dynamicky se rozvíjí také 3D tisk. Vytvoření navržených šachových figurek či originálních vykrajovátek na pečení perníčků na 3D tiskárně je dostupné široké veřejnosti.

3D modelování je často spjato i s koníčky a zálibami. Například hráči geocachingu mohou vytvářet 3D Open Street Mapy, které se k této hře využívají. Je pravděpodobné, že nabyté znalosti a dovednosti z oblasti 3D modelování v budoucnu dále využiji.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 1C PRO S.R.O.: *Autodesk® Inventor®*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://www.1cpro.cz/inventor.php>
- [2] 3D WAREHOUSE: *Church*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <https://3dwarehouse.sketchup.com/search.html?q=church&backendClass=both>
- [3] AUTODESK INC.: *Autodesk® Remake*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <https://remake.autodesk.com/resources>.
- [4] CAD STUDIO A.S.: *Autodesk ReMake (Memento)*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://www.cadstudio.cz/prod/remake.asp>.
- [5] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT: *ČSN 01 3410 Mapy velkých měřítek. Základní a účelové mapy*. Praha, 2014.
- [6] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ: *Geodetické údaje trigonometrického bodu TL 4304 Bod 6 – Unkovice, kostel*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://dataz.cuzk.cz/gu.php?1=43&2=04&3=006&4=a&stamp=JFI957HtNkiQd9vWI%2fvsgiGwS2uDDm6V>.
- [7] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ: *Informace o pozemku, parcela č. 1, katastrální území Unkovice*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=KNUQvNj0xQIH37N8lh1kw50W_RQfTfuEy80DO6EYA3k4t6TmdB62rPk4y4M2ijh67VzYgClveEiPAN-sgXALBBX5wmlQfIY8iXfZPAwR7OmqxaDG_qrtXrW6gWYt-M4O.
- [8] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ: *Návod pro obnovu katastrálního operátu a převod ve znění dodatků č. 1, 2 a 3*. Praha, 2013.[online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: http://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/Navod-pro-OKOP_ve-zneni-dod-c-1-2c2-2c3-%281%29.aspx.

- [9] DIGITAL MEDIA S.R.O.: *Trimble SketchUp*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL:
<http://www.digitalmedia.cz/produkty/trimble/sketchup/popis.aspx>.
- [10] FARNOST ŽIDLOCHOVICE: *Unkovice*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: http://farnostzidlochovice.cz/?page_id=19.
- [11] GEOTRONICS PRAHA, S.R.O.: *Trimble® R4 GPS*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://geotronics.cz/geodezie/gnss/trimble-r4-gnss-3-generace-2/>.
- [12] KUPSA, MICHAL: *Test fotoaparátu Nikon D90*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <https://www.fotoaparatur.cz/clanek/751/test-fotoaparatu-nikon-d90-10705/>.
- [13] OBEC UNKOVICE: *Oficiální web obce - O obci*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: http://www.obecunkovice.cz/dp/id_ktg=50&p1=52.
- [14] PORTÁL VEŘEJNÉ ZPRÁVY: *Vyhláška 31/1995 Sb. – Provedení zákona o zeměměřictví*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=31~2F1995&rpp=15#seznam>.
- [15] *Slepá mapa ČR*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://www.mapaceskerepubliky.cz/slepa-mapa-cr>.
- [16] TRIMBLE INC.: *Download SketchUp*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <https://www.sketchup.com/download>.
- [17] TRIMBLE NAVIGATION LIMITED: *Technický popis totální stanice Trimble S6*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: http://www.kellner.cz/images/stories/Obchod/TrimbleS6_DS_CZ.pdf.
- [18] TRIMBLE NAVIGATION LIMITED: *Totální stanice Trimble S6*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: http://www.kellner.cz/images/stories/Obchod/TrimbleS6_BRO_CZ.pdf.

- [19] VLÁČIL, LUDVÍK: *Kostel Nanebevzetí Panny Marie*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://www.hrady.cz/index.php?OID=12761&PARAM=11&tid=43771>.
- [20] V-RAY CZ HOMEPAGE: *3D vizualizační a simulační software*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://www.vray.cz/>.
- [21] WIKIPEDIE, OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIE: *Kostel Nanebevzetí Panny Marie (Unkovice)*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_Nanebevzet%C3%AD_Panny_Marie_\(Unkovice\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_Nanebevzet%C3%AD_Panny_Marie_(Unkovice)).
- [22] WIKIPEDIE, OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIE: *Unkovice*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Unkovice>.
- [23] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD: *Hlášení o závadách bodů bodového pole*. [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupné z URL: <http://dataz.cuzk.cz/oznameni.php?tl=4304&cislo=006>.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

2D	Dvojrozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
RMS	Root mean square
GPS	Globální polohový systém
ČÚZK	Český úřad zeměřický a katastrální
GNSS	Globální navigační družicový systém
ID	Identifikace
DR	Direct Reflex
GLONASS	Globální navigační družicový systém budovaný Ruskou federací
RTK	Real time kinematic
S-JTSK	Systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Balt po vyrovnání
PPBP	Podrobné polohové bodové pole
ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
LCD	liquid crystal display
SD	Secure Digital
TSC	Trimble Survey Controller
CAD	computer aided design
GIS	Geografický informační systém

11 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Současná podoba unkovického kostela.	9
Obrázek 2: Geodetické údaje trigonometrického bodu. [6]	11
Obrázek 3: Lokalizace obce Unkovice na slepé mapě ČR. [15]	11
Obrázek 4: Pohled na obec Unkovice.	12
Obrázek 5: Obraz Panny Marie Nanebevzaté.....	13
Obrázek 6: Prostředí programu Autodesk ReMake.....	15
Obrázek 7: Model podstavce kříže.	16
Obrázek 8: Knihovna 3D modelů. [2]	17
Obrázek 9: Prostředí programu Trimble SketchUp.	19
Obrázek 10: Prostředí programu Autodesk Inventor.....	21
Obrázek 11: Navazování spojení mezi ovladačem a totální stanicí.....	23
Obrázek 12: Digitální zrcadlovka Nikon D90. [12].....	24
Obrázek 13: Hlášení o závadách bodů bodového pole. [23].....	25
Obrázek 14: Pomocný výkres z prostředí programu MicroStation.	30
Obrázek 15: Modelování chrámové lodi.....	31
Obrázek 16: Úprava kót v náčrtu.....	32
Obrázek 17: Nástroje pro úpravu fototextury.....	33
Obrázek 18: Výsledný texturovaný 3D model v prostředí SketchUp.	39

11.2 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Parametry totální stanice Trimble S6. [17]	22
Tabulka 2: Parametry roveru Trimble R4 GNSS. [11].....	23
Tabulka 3: Souřadnice a výšky pomocných měřických bodů.....	28
Tabulka 4: Výsledky testování přesnosti.	37

12 SEZNAM PŘÍLOH

01_Přehled_PMS (*digitálně, analogově*)

02_Geodetické_údaje

02.1_GÚ_4001_4003_4004 (*digitálně, analogově*)

02.2_GÚ_4005_4008_4009 (*digitálně, analogově*)

03_Záznam_měření

03.1_Záznam_měření (*digitálně*)

03.2_Záznam_kontrolních_oměrných (*digitálně*)

04_Protokoly

04.1_Protokol_podrobné_měření (*digitálně*)

04.2_Protokol_GNSS_RTK_měření (*digitálně*)

05_Seznamy_souřadnic

05.1_Sezsou_YXH_pomocné_měřické_body (*digitálně*)

05.2_Sezsou_YXH_podrobné_měření (*digitálně*)

06_Testování_přesnosti (*digitálně, analogově*)

07_Digitální_3D_model_kostela (*digitálně*)

08_Vizualizace_modelu

08.1_Renderované_obrázky (*digitálně, analogově - ukázka*)

08.2_Animace_pohledů (*digitálně*)