

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
KATEDRA GEOMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**PREZENTACE VYBRANÝCH HISTORICKÝCH OBJEKTŮ S
VYUŽITÍM MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek ČINČERA**
Osobní číslo: **A15N0015P**
Studijní program: **N3602 Geomatika**
Studijní obor: **Geomatika**
Název tématu: **Prezentace vybraných historických objektů s využitím moderních technologií**
Zadávací katedra: **Katedra geomatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

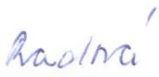
1. Proveďte rešerši dostupných pramenů a literatury.
2. Zvolte vhodné datové zdroje pro tvorbu 3D modelů vybraných objektů.
3. Navrhněte vhodný postup tvorby 3D modelů vybraných objektů s ohledem na jejich plánované využití (webová prezentace, 3D tisk).
4. Navrhněte vhodný způsob prezentace pro koncového uživatele.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **cca 45 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

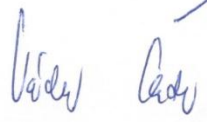
- HÁJEK, P., JEDLIČKA, K., KEPKA, M., FIALA, R., VICHROVÁ, M., JANEČKA, K., ČADA, V. 3D Cartography as a Platform for Reminding Important Historical Events: The Example of the Terežín Memorial. In Modern Trends in Cartography. Springer International Publishing, 2015. s. 425-437. ISBN: 978-3-319-07925-7, ISSN: 1863-2246.
- BELAI, Elena. Příprava geografických dat pro 3D tisk podrobného modelu budovy. Plzeň, 2015. Diplomová práce (Ing.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd. Vedoucí práce Karel Jedlička.
- STREJCOVÁ, Jana. Dynamická vizualizace rozsáhlého 3D modelu. Plzeň, 2013. Diplomová práce (Ing.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd. Vedoucí práce Radek Fiala.
- VICHROVÁ, M., ČADA, V., JEDLIČKA, K., JANEČKA, K., FIALA, R., HÁJEK, P., KEPKA, M., STREJCOVÁ, J. Vybrané 3D modely objektů projektu „Krajina paměti, Drážďany a Terežín jako místa vzpomínek na ŠOA“. Národní technické muzeum, Praha, 2013.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martina Kepka Vichrová, Ph.D.**
Katedra geomatiky

Datum zadání diplomové práce: **2. října 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2018**


Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka




Doc. Ing. Václav Čada, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 2. října 2017

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a následné obhajobě diplomovou práci zpracovanou na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucí práce a s použitím pramenů a literatury uvedených v závěru práce.

V Plzni, dne 25. 5. 2018

.....

Poděkování

Zde bych rád poděkoval své vedoucí práce Ing. Martině Kepka Vichrové Ph.D., za ochotu a odborné vedení. Dále děkuji Ing. Pavlu Hájkovi, Ing. Michalu Kepkovi a Ing. Radku Fialovi Ph.D. za poskytnuté konzultace. V neposlední řadě děkuji také mé rodině za její podporu a trpělivost.

Abstrakt:

Cílem práce je analýza procesu tvorby virtuálních 3D modelů a jejich následné prezentace s ohledem na zdroj dat a zamýšlený účel prezentace. V práci jsou popsány současné možnosti tvorby a prezentace virtuálních 3D modelů. Dále jsou v práci popsány jednotlivé postupy tvorby a prezentace virtuálního 3D modelu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov. V závěru práce je sestrojen diagram aktivit možností tvorby a prezentace virtuálních 3D modelů. Analýzou diagramu lze určit optimální postup tvorby virtuálního 3D modelu vzhledem ke zdroji dat a požadovanému typu prezentace.

Klíčová slova:

3D model, prezentace, 3D tisk, kostel, Týnec u Klatov, diagram aktivit

Abstract:

The aim of the thesis is to analyze the process of creation of virtual 3D models and their subsequent presentation with respect to the data source and the intended purpose of the presentation. The thesis describes current possible ways of creation and presentation of virtual 3D models. The selected procedures of creation and presentation of virtual 3D models of the Church of the Assumption of the Virgin Mary in Týnec near town Klatovy are described in the paper. At the end of the thesis a workflow diagram of the possible ways of creation and presentation of virtual 3D models was created. By analyzing the diagram, it is possible to determine the optimal procedure of creating a virtual 3D model with respect to the data source and the desired presentation type.

Key words:

3D model, presentation, 3D print, church, Týnec u Klatov, workflow diagram

Obsah

Použité zkratky	9
Úvod	10
1 Současný výzkum a projekty.....	11
1.1 Současný výzkum a projekty v ČR	11
1.2 Současný výzkum a projekty v zahraničí	14
2 Dostupné metody a technologie.....	15
2.1 Virtuální 3D model.....	16
2.1.1 Vstupní data získaná klasickým geodetickým měřením.....	17
2.1.2 Vstupní data získaná laserovým skenováním	18
2.1.3 Vstupní data získaná z fotografií	20
2.1.4 Vstupní data získaná z technické dokumentace.....	21
2.1.5 Možnosti prezentace virtuálních 3D modelů.....	22
2.2 Možnosti 3D tisku	25
2.3 Panorama a virtuální procházka	28
2.4 Rozšířená realita	30
2.5 Virtuální realita	31
2.6 Multimediální průvodce.....	33
2.7 Shrnutí	35
3 Tvorba virtuálních 3D modelů	36
3.1 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných geodetickým měřením.....	37
3.2 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných laserovým skenováním	41
3.3 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných z fotografií.....	45
3.4 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných z technické dokumentace.....	49
4 Prezentace virtuálních 3D modelů kostela	52
4.1 Prezentace virtuálních 3D modelů na lokálním zařízení	52
4.2 Prezentace virtuálních 3D modelů na webu.....	55
4.2.1 Prezentace virtuálních 3D modelů ve v aplikaci <i>Sketchfab</i>	55
4.2.2 Prezentace virtuálních 3D modelů na virtuálním glóbu <i>Cesium</i>	57
4.3 Prezentace virtuálního 3D modelu pomocí 3D tisku	60
5 Zhodnocení použitých metod a diagram aktivit	62
Závěr	66

Seznam pramenů	67
Přílohy	72
Příloha 1: Struktura přiloženého CD	72
Příloha 2: Diagram aktivit	74

Použité zkratky

ABS – AkrylonitrilButadienStyren
API – Application programming Interface
CityGML – City Geography Markup Language
COLLADA – COLLABorative Design Activity
EPSG – European Petroleum Survey Group
GeoTIFF – GEOreferenced Tagged Image File Format
GIS – Geografický Informační Systém
glTF – gl Transmission Format
GNSS – Global Navigation Satellite System
HSDV – Horizontal Standard Deviation
IMU – Inertial Measurement Unit
JSON – JavaScript Object Notation
LAS – LASer file format
LOD – Level Of Detail
LOM – Laminated Object Manufacturing
OGC – Open Geospatial Consortium
OpenMVG – Open Multiple View Geometry
OpenMVS – Open Multiple View Stereovision
PC – Personal Computer
RANSAC – Random Sample Consensus
RTK – Real Time Kinematic
SDK – Software Development Kit
SLAM – Simultaneous Localization And Mapping
STL – STereoLithography
TIN – Triangulated Irregular Network
VSDV – Vertical Standard Deviation
VR – Virtuální Realita
WebGL – Web Graphics Library

Úvod

Vizualizace a následná prezentace historických objektů je velmi aktuální téma. Může např. posloužit pro zachování kulturního dědictví, zatraktivnit výstavy pro veřejnost, nebo pomoci zpřístupnit jinak nepřístupné objekty.

Motivací k řešení tématu prezentace historických objektů byl zájem o atraktivní formy moderní prezentace. Dalším důvodem byla existence různých projektů týkajících se tvorby a prezentace historických objektů avšak bez uceleného návodu, jak k problému přistupovat. Cílem předkládané diplomové práce je prozkoumat dostupné moderní technologie umožňující prezentaci historických objektů a vybrané technologie otestovat na zvoleném modelovém objektu (kostel Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov). Každá použitá technologie bude hodnocena podle několika kritérií. Na základě provedené rešerše a hodnocení získaného praktickým použitím vybraných metod bude navržen diagram, jehož analýzou bude možné určit optimální postup pro prezentaci historických objektů.

V první kapitole je proveden průzkum řešených projektů na téma tvorby a prezentace historických objektů v České republice i v zahraničí. Dostupné technologie, umožňující prezentaci historických objektů s využitím moderních technologií jsou popsány v druhé kapitole. Testování vybraných metod tvorby a prezentace virtuálních 3D modelů na modelovém objektu je popsáno ve třetí a čtvrté kapitole. V páté kapitole je popsána tvorba a princip fungování diagramu aktivit možností tvorby a prezentace virtuálních 3D modelů.

1 Současný výzkum a projekty

Dokladem toho, že prezentace historických objektů je perspektivním odvětvím, je existence výzkumných týmů a počet řešených projektů na univerzitách, či výzkumných ústavech po celé České republice i v zahraničí. V následující kapitole je uvedeno několik příkladů projektů, které ilustrují značný zájem o toto téma.

1.1 Současný výzkum a projekty v ČR

Na katedře geomatiky Západočeské univerzity v Plzni je aktuálně řešen projekt *Peregrinus Silva Bohemica - Multimediální a digitální turistický průvodce pro přeshraniční historické cesty v Bavorském lese a na Šumavě* (dále též *Peregrinus Silva Bohemica*), který si klade za cíl zvýšit atraktivitu příhraničního regionu mezi Šumavou a Bavorským lesem a přispět k zachování významných a historicky velmi cenných stavebních památek v regionu. Zvýšení atraktivity regionu a vybraných památek plánuje dosáhnout pomocí „moderních prezentačních prostředků (mapový průvodce, 3D modely...) a vytváření multimediálního uživatelského prostředí (web, chytré telefony), které odpovídajícím způsobem prezentují kulturní a přírodní bohatství.“ (řešitelský tým projektu *Peregrinus Silva Bohemica* 2017) V minulosti byl na katedře geomatiky řešen projekt *Krajina paměti. Drážďany a Terežín jako místa vzpomínek na ŠOA*. V rámci projektu byla vytvořena virtuální prezentace vybraných objektů v Drážďanech a Terežíně (Velká i Malá pevnost). Výstup z projektu slouží jak v Terežíně, tak v Drážďanech návštěvníkům daných měst pro lepší představu o tehdejší době a atmosféře. V prezentaci byly použity virtuální 3D modely vizualizované na virtuálním glóbu. (Čada aj. 2012) Snímek z webové aplikace je na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Snímek 3D scény Terežína (Čada aj. 2012)

Katedra geomatiky spolupracuje i s dalšími institucemi. Probíhá spolupráce se Státním zámekem Kozel na „prostorové identifikaci nemovitých i movitých kulturních památek, chráněných území i ochranných pásem, spravovaných Národním památkovým ústavem (NPÚ), a to ve všech úrovních prostorové podrobnosti.“ (Jedlička, Bobek 2005) Stále též probíhá spolupráce s Muzeem jižního Plzeňska v Blovicích na prezentaci zámku Hradiště, kde muzeum sídlí. Více informací o řešených projektech na katedře geomatiky Západočeské univerzity v Plzni lze nalézt na: <https://kqm.zcu.cz/aktualni-projekty/>.

Na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci byl řešen projekt *Kulturní dědictví krajiny Arcidiecéze olomoucké - výzkum, prezentace a management*, který má přispět k udržitelnému rozvoji regionální kulturní identity na území Arcidiecéze olomoucké a prezentovat vybrané typy drobných sakrálních a technických památek v krajině prostřednictvím vzdělávací softwarové aplikace a výstavy. (Pechanec aj. 2016) Mezi úspěšně řešené projekty patří též *3D model zaniklé obce čistá a jeho hodnocení metodou eye-trackingu*. Srovnání Dobové fotografie a virtuální rekonstrukce je na obr. 1.2. V rámci projektu byla vytvořena webová aplikace, která zahrnuje interaktivní 3D model zaniklé obce Čistá. Interaktivní 3D model byl vytvořen za použití dobového obrazového materiálu a map stabilního katastru a zhodnocen technologií eye-tracking. (Dědková, Popelka 2015) V rámci projektu *TouchIt3D* byly vytvořeny interaktivní fyzické 3D modely. Modely byly vytištěny na 3D tiskárně. Technologie *TouchIt3D* je systém pro přenos signálu z 3D dotykové plochy na detektor registrující elektrické impulsy (tablet, smartphone..). Zařízení po dotyku provádí předdefinované akce. Modely slouží pro výuku a prezentaci objektů. Výhodou této prezentace je mimo jiné i její dostupnost pro zrakově postižené. (Vědeckotechnický park Univerzita Palackého v Olomouci 2018) Více informací o řešených projektech na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci lze nalézt na: <http://www.geoinformatics.upol.cz/veda-vyzkum/projekty>.



Obr. 1.2 Srovnání dobové fotografie a vytvořeného virtuálního 3D modelu obce Čistá
(Dědková, Popelka 2015)

Prezentací historických objektů se zabývá i katedra geomatiky Českého vysokého učení technického. V rámci projektu NAKI byl vytvořen webový mapový portál aplikace *Hrady a zámky na starých mapách a fotografiích*. Portál „zpřístupňuje pomocí internetu řadu historických mapových podkladů, které se vážou k 60 vybraným zámeckým (či hradním) areálům. Kromě mapových podkladů je k dispozici řada historických fotografií. K dispozici je také aplikace zobrazující genealogii šlechtických rodů. Pro vybrané objekty jsou k dispozici detailní 3D scény zobrazující historický stav okolí objektů v trojrozměrných modelech. Pro všech 60 panství, do nichž objekty spadají, jsou pak k dispozici jednoduché 3D scény s význačnými objekty v rámci panství.“ (ČVUT v Praze, Fakulta stavební 2017). Ukázka jedné z 3D scén je na obr. 1.3. Na téma prezentace historických objektů bylo na katedře geomatiky zpracováno též několik desítek kvalifikačních prací. Více informací o řešených projektech na katedře geomatiky Českého vysokého učení technického lze nalézt na: <http://geomatrics.fsv.cvut.cz/vyzkum/>.



Obr. 1.3 Snímek 3D scény Bečova nad Teplou (ČVUT v Praze, Fakulta stavební 2017)

1.2 Současný výzkum a projekty v zahraničí

Prezentací historických objektů se zabývají univerzity nejen v Čechách ale samozřejmě i v zahraničí. Na projektu *Peregrinus Silva Bohemica* se podílí kromě katedry geomatiky Západočeské univerzity také Technologie Campus Freyung, který je součástí Technische Hochschule Deggendorf. Technologie Campus Freyung vyvíjí aplikaci pro rozšířenou realitu, ve které budou zobrazovány vytvořené 3D modely. Technologie Campus Freyung též spolupracuje s přírodovědeckou fakultou Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Společně řeší projekt *Photostruk*, který si klade za cíl rekonstrukci zaniklých vesnic a osad na Šumavě z dobových plánů a fotografií. V rámci projektu *Photostruk* bude vytvořena interaktivní mapa zaniklých míst s 3D modely vybraných významných objektů. Pro georeferencování a orientaci dobových snímků plánuje projekt využít i *crowdsourcingových* metod. *Crowdsourcing* je proces, jehož pomocí je možné řešit zadaný úkol skrze skupinu neoficiálních a geograficky rozptýlených účastníků (Janalta Interactive 2018d). S projektem tak mohou pomoci například dobrovolníci z řad pamětníků, nebo vysídlených obyvatel. (Mlsová 2017) Více informací o řešených projektech v Technologie campus Freyung lze nalézt na: <https://www.th-deg.de/en/tc-freyung-en/research-development/geoinformatics>.

Na univerzitě NC State University v Severní Karolíně byly řešeny projekty dotýkající se modelování historických objektů. Byl například řešen projekt *Victoria's Lost Pavilion*. V rámci tohoto projektu byl vytvořen 3D model Viktoriina Ztraceného pavilonu v zahradách Buckinghamského paláce, kde byla vystavena díla nejtalentovanějších umělců poloviny devatenáctého století. Budova byla zničena roku 1928 a nyní byla vytvořena její virtuální rekonstrukce. Pavilon lze projít virtuální procházkou, nebo prohlédnout interaktivní 3D model ve virtuální realitě. (Fyfe aj. 2017) Na obr. 1.4 je snímek z průletového videa 3D modelem. Více informací o řešených projektech na NC State University lze nalézt na: <https://news.ncsu.edu/2018/>.



Obr. 1.4 Snímek z průletového videa 3D modelem Viktoriina Ztraceného pavilonu (Fyfe aj. 2017)

Na University of Reading ve Velké Británii byl řešen ambiciózní projekt *Virtual Rome*, který se věnoval tvorbě virtuálního 3D modelu Říma v roce 345 našeho letopočtu. V rámci projektu byl vytvořen detailní model celého města s tisíci budovami a rekonstrukcemi historických monumentů. Nyní je model využíván pro plánování tras, řešení linií pohledu nebo osvětlení historického města. Dnes výzkumný tým pokračuje tvorbou dalších modelů měst, jako je například římské město Silchester ve Veliké Británii. Dalším směrem výzkumu je tvorba mobilní aplikace pro již existující modely. (University of Reading 2018) Více informací o řešených projektech na University of Reading lze nalézt na: <http://www.reading.ac.uk/research/theme-heritage-creativity.aspx>.

2 Dostupné metody a technologie

Rozvoj informačních technologií v poslední době umožnil zdokonalení zavedených a vznik zcela nových postupů pro prezentaci historických objektů. Rychle se rozvíjející oblastí je pak šíření reprezentací získaných těmito metodami prostřednictvím internetu a mobilních aplikací.

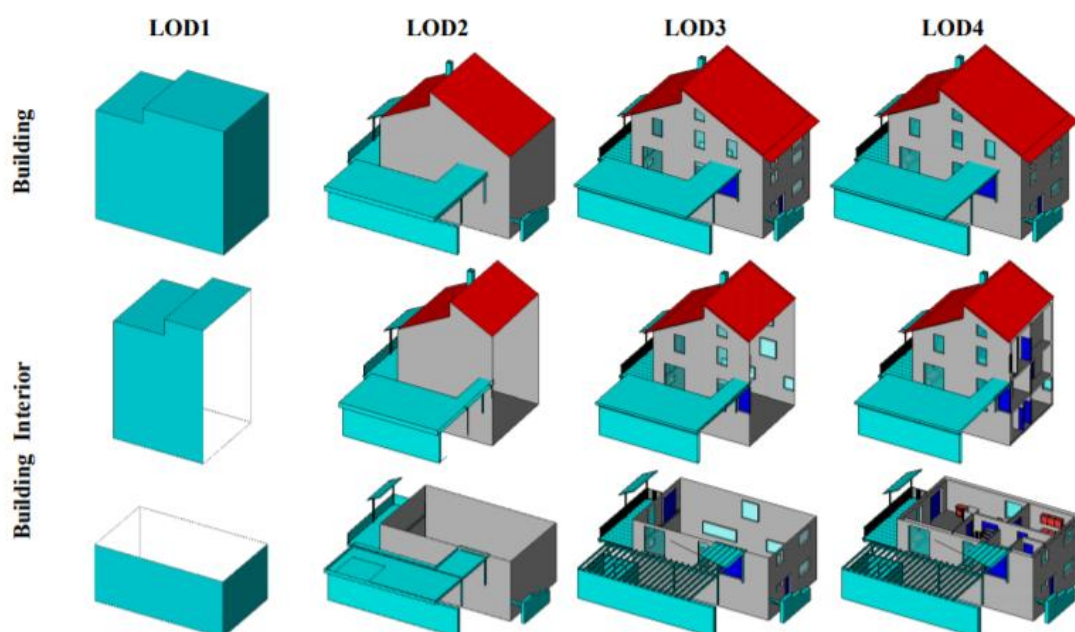
Využití moderních technologií a postupů umožní zvýšit atraktivitu prezentace. Přirozeným důsledkem pak je zvýšený zájem uživatelů. Přínos pro atraktivitu prezentace mají různé formy 3D prezentací. Jedná se o přehledné prezentační formy, blízké skutečnému lidskému vnímání světa. Díky tomu nekladou nároky na prostorovou představivost uživatele, který si pak může zcela přirozeně objekty prohlédnout a seznámit se s nimi. Příklady 3D prezentací jsou virtuální 3D modely, panoramata, virtuální procházky, 3D tisk, rozšířená realita nebo virtuální realita. Další možností, jak zvýšit

atraktivitu prezentace, je doplnění o multimédia. Kombinací výše uvedených metod a multimédií pak vznikají ucelení multimediální průvodci.

2.1 Virtuální 3D model

Virtuální 3D model je základem pro většinu digitálních 3D forem prezentací historických objektů. Virtuální 3D model je „produkt 3D modelování, který může být zobrazen jako dvojrozměrný obraz pomocí speciálních procesů (např. 3D rendering) nebo použit k počítačové simulaci fyzického objektu.“ (Slovník VÚGTK 2017c)

V závislosti na plánovaném využití jsou virtuální 3D modely vytvářeny v několika úrovních detailu (LOD), specifikovaných standardem CityGML (City Geography Markup Language), který byl vytvořen OGC (Open Geospatial Consortium). Přehledné znázornění LOD je na obr. 2.1. (Open Geospatial Consortium 2012)



Obr. 2.1 Úrovně detailu LOD1 až LOD4 dle (Open Geospatial Consortium 2012)

Pro potřeby prezentace jednotlivých historických objektů jsou virtuální 3D modely zhotovovány zpravidla v LOD3, případně LOD4, pokud jsou modelovány i interiéry.

Vstupní data potřebná pro tvorbu virtuálního 3D modelu jsou získávána zpravidla z různých zdrojů. Na typu zdroje vstupních dat dále závisí metody zpracování dat, tvorby i výsledné formy prezentace virtuálních 3D modelů.

2.1.1 Vstupní data získaná klasickým geodetickým měřením

Geodetická měření jsou přesnou metodou sběru dat. Při správném měřickém postupu a použití vybavení odpovídající přesnosti lze běžně dosáhnout milimetrové přesnosti měření (Chekole 2014). Pro měření historických objektů je nejvhodnější použít totální stanici s bezhranovým dálkoměrem. Součástí geodetických měření mohou být též kontrolní měření (například kontrolní oměrné objektu získané měřením objektu pásmem).

Bez použití předzpracování jsou výstupem z geodetických měření provedených totální stanicí data v podobě měřených vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek.

Zpracování dat a tvorba virtuálních 3D modelů

Z naměřených úhlů a délek jsou, za použití specializovaného softwaru (např. *Kokeš*), vypočteny souřadnice podrobných bodů na měřeném objektu. Spočtené souřadnice je možné importovat do programu pro tvorbu 3D modelů (např. *SketchUp*) a vytvářet objekt přímo z vypočtených souřadnic. Druhou možností je použít souřadnice vstupních bodů k výpočtu úhlů a vzdáleností potřebných k tvorbě virtuálního 3D modelu a vytvářet model ze zjištěných veličin. Zde mohou posloužit například i provedená kontrolní měření objektu pásmem.

Programů pro tvorbu virtuálních 3D modelů je více. Liší se podporovanými formáty, uživatelským prostředím i cenou. Licence profesionálních programů jako jsou *3DS Max* nebo *Rhino* jsou finančně náročné a pro tvorbu virtuálních 3D modelů historických objektů uživatel jejich plný potenciál pravděpodobně nevyužije. Robustní bezplatnou alternativou je software *Blender*, pro většinu virtuálních 3D modelů však postačí i jednodušší software jako je *SketchUp*, který je ve verzi *Make* též zdarma. (Easy Render 2017)

Pokud je vytvářen virtuální 3D model rozsáhlejšího území, např. celého města a postačí menší úroveň detailu (LOD1), je vhodné využít procedurální modelování. Takový virtuální 3D model pak nevzniká interakcí s uživatelem, ale podle definovaného

systemu pravidel. Procedurální modelování nabízí např. program *CityEngine*. Tvorba podrobnějších virtuálních 3D modelů je však pomocí tohoto postupu velmi náročná.

Výhody

Výhodou virtuálních 3D modelů vytvářených z dat získaných klasickými geodetickými metodami je kromě výše zmíněné přesnosti též relativně malá souborová velikost. S virtuálními 3D modely s malou souborovou velikostí se dobře pracuje při tvorbě i prohlížení a jejich přenos po internetu je relativně rychlý. Virtuální 3D modely vytvořené z dat získaných klasickými geodetickými metodami jsou proto vhodné k webovým prezentacím a tvorbě virtuálních a rozšířených realit.

Nevýhody

Proces tvorby virtuálního 3D modelu nelze jednoduše automatizovat. Zpracování dat je třeba provést manuálně za cenu větší časové náročnosti. Časově náročný je též samotný sběr dat. S rostoucí mírou podrobnosti zaměřovaných detailů na objektu narůstá doba měření. Proto je tato metoda méně vhodná k zaměřování nepravidelných a hodně zdobených objektů. Měření totální stanicí je též náchylné k hrubým měřickým chybám a lidským omylům (např. opomenutí zaměření bodu podstatného pro tvorbu virtuálního 3D modelu, chyba v cílení, nesprávná horizontace přístroje apod.).

2.1.2 Vstupní data získaná laserovým skenováním

Laserové skenování (dále též skenování) se i díky rozvoji technologie a rychlosti pořízení dat těší stále větší popularitě. Laserové skenování je „způsob detekce objektu pomocí pohyblivého laserového paprsku, jehož stopy na povrchu objektu jsou uspořádány v řádcích nebo rastru (tzv. mračno bodů)“ (VÚGTK, 2018)

Laserové skenování je další z přesných metod získávání dat. Výsledné souřadnice jsou srovnatelně přesné jako souřadnice získané měřením totální stanicí. Pozemním laserovým skenováním tak lze též dosáhnout milimetrové přesnosti výsledných souřadnic. (Oleksyuk, Sankey 2014)

Laserový skener může být umístěn na zemském povrchu, kde může být i součástí totální stanice. Další možností je umístění skeneru na pohybující se objekt a to včetně létajících objektů. Nosičem skeneru může být například automobil, dron, nebo letadlo. Pohyblivé nosiče je nutné vybavit aparaturou GNSS (Global Navigation Satellite System),

případně IMU (Inertial Measurement Unit). Při umístění skeneru na pohybující se objekt však klesá přesnost naměřených dat.

Výstupem z měření laserovým skenerem je mračno bodů. V závislosti na zvolené hustotě skenování a velikosti objektu se liší počet bodů v mračnu. Počet bodů v mračnu vzniklém skenováním budovy se obvykle pohybuje v řádu statisíců až milionů.

Zpracování dat a tvorba virtuálních 3D modelů

Mračno bodů je možné využívat přímo, ať už v originální diskrétní podobě, nebo v podobě rekonstruovaného povrchu objektu vygenerovaného z původních diskrétních dat. Přímé využití je však pro reprezentaci budov zpravidla méně vhodné. Důvodem je velký počet zobrazovaných bodů a s tím související náročnost na hardware a datové přenosy při práci s mračnem bodů. Je proto vhodné mračno bodů dále filtrovat a generalizovat. Zpracování mračna bodů lze do určité míry automatizovat, stále je však třeba zásahu operátora. Počet bodů v mračnu lze snížit filtrováním blízkých a duplicitních bodů. Dalšími příklady částečné automatizace zpracování mohou být RANSAC (Random Sample Consensus) algoritmus, používaný pro detekci segmentů koplanárních bodů (Arachchige aj. 2012), nebo automatické rozpoznávání hraničních bodů a geometrických primitiv na fasádách staveb. (Arachchige, Perera 2014)

Uživatelsky přívětivým programem pro spojování a zpracování mračen bodů je například program *ReCap Pro*. Pro operace s mračny bodů, jako je filtrace bodů nebo rekonstrukce povrchu lze využít například programy *MeshLab*, nebo *CloudCompare*, které jsou k dispozici zdarma.

Výhody

Již zmíněnými výhodami laserového skenování jsou rychlost měření a přesnost pořízených dat. Další výhodou je hustota naměřených bodů. Laserovým skenováním lze mnohem lépe vystihnout tvarově složité a nepravidelné objekty, než měřením pomocí klasických geodetických metod. Úroveň detailu je též mnohem větší. Laserové skenování je též méně náchylné k hrubým chybám a lidským omylům. Pokud lze s ohledem na zamýšlenou formu prezentace použít virtuální 3D model v podobě originálního mračna bodů, či rekonstruovaného povrchu, lze zpracování dat automatizovat.

Nevýhody

Nevýhodou dat získaných laserovým skenováním je velký počet bodů. S velkým počtem bodů souvisí náročnost a délka zpracování. Problematický je též šum v datech nebo

nekompletnost dat, způsobená vzájemnými zákryty některých částí objektu. Důsledkem nekompletních dat jsou „díry“ ve výsledném virtuálním 3D modelu.

2.1.3 Vstupní data získaná z fotografií

Vstupní data mohou být též obrazová. Pokud je možné pro objekt pořídit odpovídající fotodokumentaci, lze při zpracování fotografií využít fotogrammetrických metod.

Pro dosažení optimálních výsledků při tvorbě virtuálního 3D modelu historického objektu z fotografií je třeba dodržet několik pravidel pro pořizování fotografií. Je podle (Blizard 2014) třeba:

- aby byl zdokumentován celý objekt,
- zajistit, aby snímky měly dostatečné překryty,
- mít dobře zaostřené snímky,
- zajistit, aby každá část objektu byla zachycena alespoň na 3 snímcích pořízených z různých úhlů s dostatečnou paralaxou,
- omezit zákryty objektu jinými objekty,
- Vyvarovat se zachycení i jiných objektů na snímcích,
- používat objektivy s malým zkreslením; výsledky například zhoršuje použití čočky typu „fish eye“,
- nepoužívat vysokou míru komprimace snímků,
- zajistit rovnoměrné osvětlení objektu,
- zajistit, aby některé části objektu nebyly ukryty ve stínu,
- nepoužívat přeexonované nebo nedostatečně exponované snímky,
- vyvarovat se pořizování snímků proti zdroji světla.

Historické objekty jsou zpravidla fotografovány v terénu s přírodním osvětlením. Pro dosažení optimálních výsledků je ideální zatažená obloha s lehce prosvítajícím Sluncem, které dostatečně osvětluje objekt, ale zároveň nevrhá stíny. Tyto podmínky však nenastávají příliš často. Taktéž je někdy obtížné dodržet i jiné podmínky ideálních snímků. V závislosti na poloze objektu může být obtížné zachytit veškeré části objektu, nebo pořídit snímky s dostatečnou paralaxou. (Blizard 2014)

Zpracování dat a tvorba virtuálních 3D modelů

Z kompletní fotodokumentace je možné automaticky vypočítat „mračno bodů“. Z polohy fotoaparátu v prostoru jsou odvozovány 3D souřadnice každého pixelu fotografie.

Výsledek výpočtu se velmi podobá datům pořízeným laserovým skenováním. Z mračna bodů lze rekonstruovat povrch objektu. Dále se při zpracování a tvorbě virtuálních 3D modelů postupuje podobně, jako při zpracování mračna bodů z laserového skenování viz kapitola 2.1.2 – Vstupní data získaná laserovým skenováním.

Dobrým nástrojem s intuitivním ovládáním i pro začátečníky je *Autodesk Recap 360*, online platforma, ke které lze přistupovat přes internetový prohlížeč s WebGL (Web Graphics Library) podporou. Pro profesionální uživatele je vhodný například program *Agisoft PhotoScan*. Má dobré grafické prostředí a nabízí užitečné funkce a možnosti exportu. Open-source variantou může být použití knihoven *OpenMVG* (Open Multiple View Geometry) nebo *OpenMVS* (Open Multiple View Stereovision). (Moraes 2016)

Výhody

Výhodou tvorby virtuálních 3D modelů z dat získaných fotogrammetrickými metodami je menší cenová náročnost na potřebné vybavení než u předchozích metod. Pro pořízení snímků lze použít i fotoaparáty z nižších cenových kategorií (Případné zkreslení způsobené vlastnostmi objektivu lze do určité míry kompenzovat určením jeho prvků vnitřní orientace při zpracování dat). Jinak mají data podobné výhody, jako naskenované mračno bodů.

Nevýhody

Kvalita virtuálního 3D modelu je ovlivněna kvalitou pořízených snímků. Pro dosažení optimální kvality snímků je třeba dodržet některé podmínky, které jsou však v praxi často obtížně dosažitelné. Nevýhodou je též obtížnost tvorby velmi tenkých částí modelovaného objektu. Fotogrammetrické programy zpravidla nejsou schopny dobře zrekonstruovat příliš tenké objekty. Jinak mají data získaná z fotografií podobné nevýhody, jako naskenované mračno bodů.

2.1.4 Vstupní data získaná z technické dokumentace

Jediným případem, kdy není nutné objekt, pro který je vytvářen virtuální 3D model, fyzicky navštívit a pořizovat data přímo na místě, je využití technické dokumentace. Tato se většinou sestává z různých plánů, výkresů, řezů objektem apod. Technickou dokumentaci lze zpravidla získat od majitele nemovitosti, nebo od firmy, která technickou dokumentaci vytvářela, případně v archivech či muzeích. Rychlost pořízení technické

dokumentace pak velmi závisí na ochotě a rychlosti, s jakou jsou tyto subjekty schopny technickou dokumentaci poskytnout.

Zpracování dat a tvorba virtuálních 3D modelů

Pokud je v technické dokumentaci uveden dostatečný počet kót, je možné virtuální 3D model vytvářet přímo s využitím odečtených hodnot, tj. pomocí softwaru pro tvorbu virtuálních 3D modelů podobným způsobem, jako je popsáný v kapitole 2.1.1 – Vstupní data získaná klasickým geodetickým měřením.

Výhody

Hlavní výhodou možnosti využití technické dokumentace je, že není třeba fyzického sběru dat v terénu, čímž je možné ušetřit mnoho času i finančních prostředků.

Nevýhody

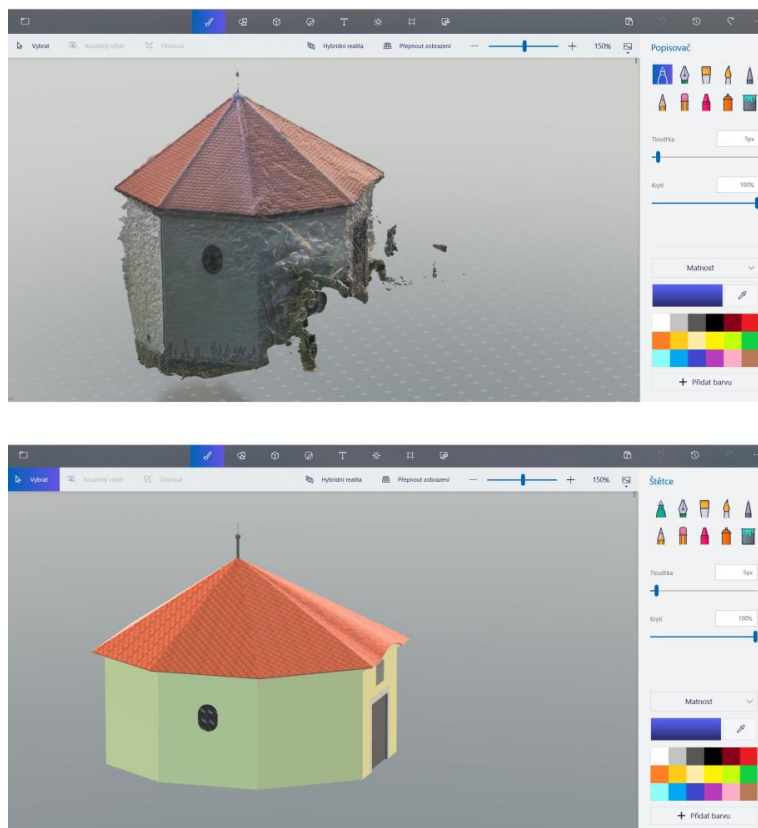
Technická dokumentace může být neúplná, nebo nemusí být k dispozici. Dalším problémem může být i zastaralost, nedostatečná detailnost, nebo nedostatečná přesnost technické dokumentace. Stejně, jako u dat pořízených totální stanicí, je třeba virtuální 3D model tvořit manuálně.

2.1.5 Možnosti prezentace virtuálních 3D modelů

Prezentace virtuálních 3D modelů na lokálním zařízení

Vytvořené virtuální 3D modely lze prohlížet lokálně na PC (Personal Computer). K prohlížení lze využít přímo program, ve kterém byl virtuální 3D model vytvářen. Další možností je virtuální 3D model exportovat do odpovídajícího výměnného formátu a využít k prohlížení některou z dalších aplikací. Snadno dostupným nástrojem pro zobrazování a základní úpravy virtuálních 3D modelů je *Paint 3D*. *Paint 3D* lze zdarma stáhnout v *Microsoft Store* a bývá součástí balíku předinstalovaných aplikací operačního systému Windows. *Paint 3D* podporuje několik formátů virtuálních 3D modelů, včetně glTF (gl Transmission Format, specifikace viz <https://github.com/KhronosGroup/glTF>). glTF je nový výměnný formát pro virtuální 3D scény a virtuální 3D modely, který využívá standardu JSON (JavaScript Object Notation, specifikace viz <https://www.json.org/>). glTF byl vyvinut firmou Khronos Group. (Khronos Group 2018) Virtuální 3D model kaple sv. Barbory – hrobky Kolowratů Krakovských zobrazený v aplikaci *Paint 3D* (Microsoft 2016) je na obr. 2.2. V horní části obrázku je virtuální 3D model v podobě povrchové rekonstrukce vytvořené z fotodokumentace a ve spodní části obrázku je virtuální 3D

model vytvořený v programu *SketchUp Make* (Trimble 2016) z dat pořízených klasickými geodetickými metodami.



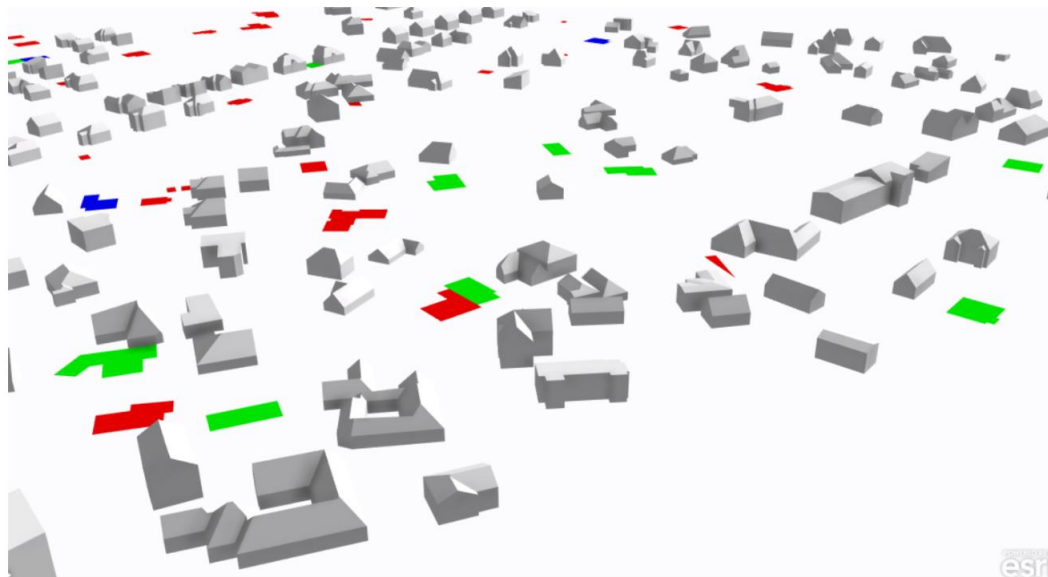
Obr. 2.2 Kaple sv. Barbory – hrobka Kolowratů Krakovských zobrazená v *Paint 3D*

Prezentace virtuálních 3D modelů na webu

V současné době lokální prohlížení ustupuje do pozadí, více je využíváno možnosti internetu. Internet umožňuje sdílení virtuálních 3D modelů s dalšími uživateli bez nutnosti instalace dalšího softwaru, pro prohlížení postačí internetový prohlížeč. Úskalím sdílení virtuálních 3D modelů prostřednictvím internetu je velikost dat. Optimalizací úrovně detailu virtuálního 3D modelu a rozlišení jeho textur lze dosáhnout takové velikosti dat, která je vyhovující pro většinu internetových připojení.

Příklady aplikací, které lze pro prohlížení a sdílení virtuálních 3D modelů prostřednictvím internetu využít, jsou aplikace *GrabCAD*, nebo *Online 3D Viewer*. Široké možnosti prezentace virtuálních 3D modelů nabízí například i *Sketchfab*. Umožňuje virtuální 3D modely nejen staticky prohlížet, ale též vytvářet 3D animace virtuálních 3D modelů nebo je prohlížet prostřednictvím VR headsetů (Investintech.com 2012). Virtuální 3D modely lze do aplikace *Sketchfab* nahrávat též prostřednictvím pluginů z různých programů pro tvorbu virtuálních 3D modelů. Například plugin *Sketchfab*

Uploader umožňuje přímé nahrání virtuálního 3D modelu z prostředí programu *SketchUp* do aplikace *Sketchfab*. Pro prezentaci virtuálních 3D modelů vytvořených v *CityEngine* pomocí procedurálního modelování slouží aplikace *CityEngine Web Viewer*. Ukázka virtuálního modelu sdíleného prostřednictvím aplikace *CityEngine Web Viewer* je na obr. 2.3.

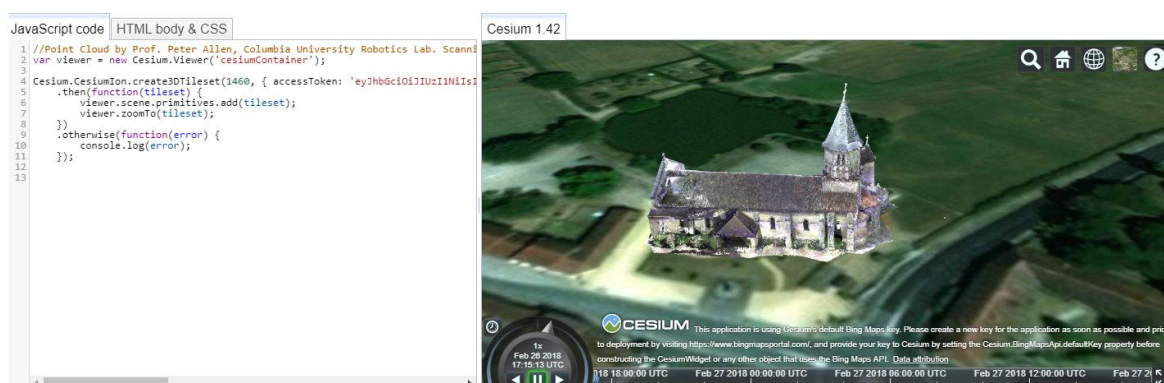


Obr. 2.3 Ukázka virtuálního 3D modelu města vytvořeného v *Esri CityEngine* (Činčera, Kolovský 2016)

Další možností prezentace virtuálních 3D modelů prostřednictvím internetu jsou online virtuální glóby. Virtuální glóbus je virtuální 3D model Země. Populárním virtuálním glóblem je aplikace *Google Earth*. Ta umožňuje georeferencovaný virtuální 3D model zobrazit na virtuálním glóbu, potaženém družicovými snímky a dalšími tematickými vrstvami. *Google Earth* umožňuje zobrazit virtuální 3D modely uložené ve formátu KMZ (kompromovaný Keyhole Markup Language, specifikace viz <https://developers.google.com/kml/documentation/kmzarchives>).

Jedním z nejstarších úspěšných projektů virtuálního glóbu je *NASA World Wind*. *World Wind* není aplikace, jedná se o SDK (Software Development Kit). *World Wind* obsahuje open-source API (Application Programming Interface) pro vizualizaci prostorových dat (NASA WorldWind 2018). SDK je soubor nástrojů používaný pro vývoj aplikací. Zpravidla sestává z API, vzorů kódu, dokumentace apod. (Janalta Interactive 2018c). API je set protokolů, funkcí a příkazů, který je využíván programátory při vývoji softwaru a usnadňuje interakci mezi odlišnými systémy (Janalta Interactive 2018b).

Novějším projektem virtuálního glóbu je *Cesium*. Virtuální glóbus *Cesium* je open-source JavaScriptová knihovna pro 3D glóby vyvinutá firmou *Analytical Graphics, Inc.* Virtuální glóbus *Cesium* nabízí mnoho možností, jak vizualizovat 3D data v nejrůznějších formátech a to včetně nezpracovaného mračka bodů. Pro optimalizaci poskytování masivních heterogenních 3D dat na virtuálním glóbu *Cesium* je užíváno specifikace *3D Tiles* (specifikace viz <https://github.com/AnalyticalGraphicsInc/3d-tiles>), která funguje na principu prohlížení vektorových 3D dlaždic (dále jen 3D dlaždice), které je nutné předem vytvořit (Cozzi 2018). Ačkoliv fáze tvorby 3D dlaždic je relativně složitá, samotné prohlížení virtuálního 3D modelu je rychlé a plynulé. Na obr. 2.4 je ukázka virtuálního 3D modelu v podobě mračka bodů zobrazeného v prostředí virtuálního glóbu *Cesium*.



Obr. 2.4 Virtuální 3D model v podobě mračka bodů zobrazený na virtuálním glóbu *Cesium* (Cesium 2018a)

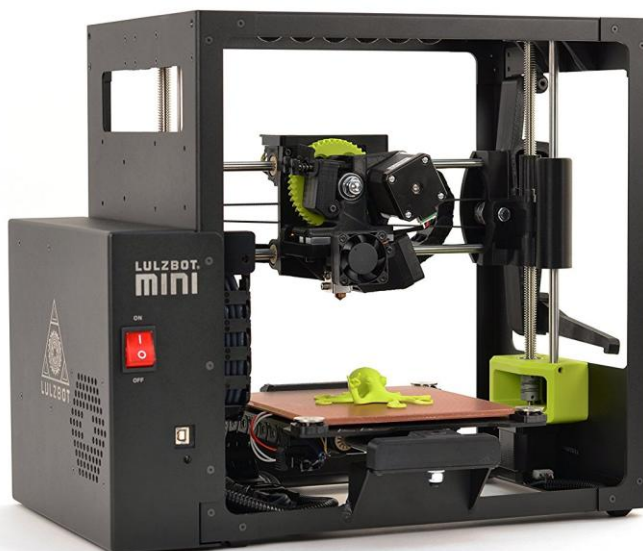
2.2 Možnosti 3D tisku

Fyzické 3D modely jsou zřejmě nejpřirozenější reprezentací objektu. Virtuální modely, ač vytvořené ve 3D, jsou stále promítány na 2D obrazovky, což může vést ke snížení reálného vnímání objektu. Fyzický 3D model je možné prohlížet pomocí zraku i hmatu, což je člověku nejpřirozenější a tedy i nejbližší. Přínosem fyzických 3D modelů je i jejich dostupnost pro zrakově postižené.

Moderní metodou zhotovování fyzických 3D modelů je 3D tisk. Je to „proces, při němž se prostřednictvím tisku po vrstvách, který je řízen podle programové předlohy ovládací elektronikou, vytvářejí z vhodného materiálu (např. plastu) trojrozměrné objekty.“ (Slovník VÚGTK 2017a)

Principem 3D tisku je postupné přidávání tenkých vrstev materiálu 3D tiskárnou. Příklad 3D tiskárny je na obr. 2.5. Technologie 3D tisku se liší užitým materiálem,

systémem přidávání materiálu a samozřejmě velikostí výsledného fyzického 3D modelu. V závislosti na užití technologii 3D tisku se liší například minimální tloušťka stěn fyzického 3D modelu, nejmenší možný vytisknutelný detail nebo mechanické vlastnosti. Některé 3D tiskárny umožňují barevný tisk, jiné tisknou pouze jednobarevně.



Obr. 2.5 3D tiskárna (Amazon 2018)

Virtuální 3D modely určené pro 3D tisk musí splňovat určité parametry a zpravidla je třeba virtuální 3D model vytvořený ve zvoleném modelovacím programu před tiskem upravit. Je nutné, aby byl virtuální 3D model topologicky čistý a „vodotěsný“ (při teoretickém naplnění virtuálního 3D modelu vodou, z něj nesmí žádná vytékat). (Belai 2015)

Mezi topologické chyby virtuálních 3D modelů dle (Belai 2015) patří:

- **Hustota topologie** – Příliš vysoká hustota topologie znesnadňuje převody a výpočty.
- **Geometrické prvky, nacházející se volně v prostoru** – Křivky a plochy bez vnitřních bodů ve smyslu tělesa nelze vytisknout.
- **Otvory** – Porušení „vodotěsnosti“ virtuálního 3D modelu neumožňuje 3D tisk.
- **Chybná tloušťka stěny objektu** – Nelze vytisknout nekonečně tenkou stěnu. Je třeba určit optimální tloušťku stěny v závislosti na požadované stabilitě a spotřebě materiálu.
- **Průniky** – Bodové a přímkové průniky objektů jsou v praxi nerealizovatelné.

- **Orientace normály plochy** – Všechny plochy objektu musí být správně zorientované. Všechny normály ploch musí mířit ven z tělesa, z důvodu správného vyplnění tělesa materiálem.
- **Překryty** – Překrývající se geometrie, např. dvě překrývající se plochy, či přímky.
- **Ostré hrany** – Příliš ostré hrany jsou obtížně tisknutelné a nestabilní.

Některé topologické chyby lze detekovat a opravovat automaticky, některé je třeba upravit manuálně. Dobrým nástrojem pro detekci a korekci topologických chyb je například plugin *Solid Inspector²* programu *SketchUp*.

Existují různé technologie 3D tiskáren. Liší se použitým materiálem, technologií nanášení materiálu nebo maximální dosažitelnou přesností výsledného fyzického 3D modelu. Každá technologie má své výhody i nevýhody, proto je třeba vždy zvážit, pro jaké účely je fyzický 3D model určen a podle toho technologii zvolit.

Ve 3D tiskárně mohou být dle (Belai 2015) použity materiály na bázi:

- **Tekutých materiálů** – Tiskovou hlavou jsou postupně nanášeny tenké vrstvy tekutého materiálu, které jsou postupně vytvrzovány. Nejčastěji se používají fotocitlivé pryskyřice vytvrzované UV světlem. Kromě pryskyřic lze použít též fotopolymery.
- **Práškových materiálů** – Na pracovní desku jsou postupně nanášeny tenké vrstvy práškového materiálu. Každá vrstva je po nanesení natavena a spečena laserem. Z materiálů lze použít například práškové formy polyamidů, polykarbonátů, nylonu, různých kovů, ale i sádro, či písek.
- **Tuhých materiálů** – Tuhý materiál je vytlačován po vláknech, která po vytlačení tuhnou a vytvářejí jednotlivé vrstvy fyzického 3D modelu. Vlákna mohou být tvořena ABS plasty, polykarbonáty, elastomery, ale i voskem, či cukrem. Další možností je postupné laminování jednotlivých vrstev. Tyto vrstvy jsou z jedné strany napuštěny přilnavou hmotou a ořezávány nožem, či laserem. Materiálem pro vrstvy mohou být různé plasty nebo papír. Při použití papíru je tisk relativně levný. Ukázka fyzického 3D modelu vytištěného papírovou 3D tiskárnou je na obr. 2.6.

Pro tisk fyzických 3D modelů geoobjektů určených k prezentačním účelům lze využít téměř všechny metody 3D tisku, avšak nejvhodnější jsou metody *Inkjet 3D printing* a LOM (Laminated Object Manufacturing). Výhodou metod *Inkjet 3D printing* a LOM je možnost plnobarevného tisku. Metoda *Inkjet 3D printing* je založena na použití směsi práškového

pojiva a inkoustu vytlačovaného z tiskových hlav. Metoda LOM je založena na postupném laminování vrstev pevného materiálu. (Belai 2015)



Obr. 2.6 Papírový fyzický 3D model vytištěný na 3D tiskárně Mcor IRIS HD (Mcor 2015)

2.3 Panorama a virtuální procházka

Nejrozšířenější formou prostorové vizualizace jsou sférické panoramatické snímky. Vznikají sešíváním překrývajících se fotografií promítnutých na vnitřní stranu vzdálené sféry. Všechny snímky by měly mít stejnou expozici a fotoaparát by měl být při pořizování jednotlivých snímků ve stejné výšce. Vytvořené panorama lze prohlížet z jediného bodu a zabírá 360° v horizontálním i vertikálním úhlu s výjimkou oblasti přímo pod fotoaparátem, kde se obvykle nachází stativ, nebo jiný nosič fotoaparátu. Je tedy možné prohlížet téměř celou oblast viditelnou z daného bodu. Spojením více panoramatických snímků za sebou přes tzv. aktivní body vznikají virtuální procházky. (Douban 2012)

Pro sešívání fotografií je možné využít některý z komerčních programů jako je *Kolor Autopano*, které nabízí intuitivní prostředí a různé možnosti importu snímků a exportu panoramat. Pro plně automatizované zpracování je vhodný program *Autostitch*,

který nabízí možnost zpracování snímků i bez nutnosti manuálního výběru identických bodů. Výkonnou open-source variantou je *Hugin*. Nabízí pokročilé funkce pro optimalizaci výsledku, ale za cenu menší uživatelské přívětivosti. (Arjunan 2017)

Mezi nejznámější virtuální procházky patří *Street View* (Google 2007), případně jeho česká alternativa *Panorama* (Seznam.cz 2013). Tyto produkty mapují pomocí virtuálních „procházek“ silniční síť. Fotografie pro virtuální procházky jsou nejčastěji pořizovány během jízdy pomocí kamer umístěných na střeše automobilu.

Prezentace objektů pomocí panoramat a virtuálních procházek jsou velmi populární pro relativní rychlost a nenáročnost jejich tvorby, která je automatizovaná. Kromě statických panoramat lze také vytvářet panoramatická videa. Panoramatická videa, mohou být pořizována ze země pomocí automobilů, nebo ze vzduchu pomocí dronů, helikoptér a letadel. Panoramatická videa, statické panoramatické snímky a procházky jsou k dispozici například na stránkách AirPano (AirPano 2018).

Pro potřeby prezentace historických objektů vzniká mnoho virtuálních procházek interiéry nejrůznějších objektů a jejich okolí, jako jsou hrady, zámky, muzea apod. Snímek ze služby Panorama od firmy Seznam.cz je na obr. 2.7.



Obr. 2.7 Panoramatický snímek okolí hradu Loket (Seznam.cz 2013)

2.4 Rozšířená realita

Moderní formy prezentace mohou pomoci umocnit a obohatit skutečný zážitek. Možností, jak zážitek obohatit je několik a jednou z nich je tzv. rozšířená realita.

Rozšířená realita je „reálný obraz světa v propojení s prvky, které jsou virtuální, vytvořené počítačem“ (Slovník VÚGTK 2017b).

Rozšířenou realitu je možné naprogramovat za užití funkcí specializovaných SDK. SDK obsahují funkce rozpoznávání a sledování obrazu, identifikace tvarů a objektů, geolokace apod. Robustním SDK pro vývoj rozšířené reality je *Wikitude*. Nabízí velmi dobré funkce pro rozpoznávání a sledování obrazu, práci s georeferencovanými daty nebo technologie 3D sledování založené na SLAM (Simultaneous localization and mapping). SLAM řeší problém simultánní lokalizace (pozice a orientace) senzoru vzhledem k jeho okolí, zároveň s mapováním struktury prostředí (Haines 2016). Dalšími dobře hodnocenými SDK jsou např. *Vuforia*, či *Kudan*. K těmto komerčním produktům lze nalézt i open-source alternativy, jako je např. *ARToolKit*, nebo *EasyAR*. Open-source řešení jsou většinou o trochu méně spolehlivá, ale lze je vyvíjet pro širší výběr platform. Rozšířenou realitu lze pomocí pluginů integrovat do virtuální reality (více v kapitole 2.5 – Virtuální realita). (Schmidt 2018)

Příkladem rozšířené reality je aplikace *Pokemon Go*. Aplikace *Pokemon Go* za pomoci GPS modulu a kamery mobilního zařízení na display zařízení promítá skutečné okolí uživatele, obohacené o virtuální prvky, Pokémony, které může uživatel pomocí aplikace „chytat“ a „sbírat“. Propojením rozšířené reality s GIS (Geografický Informační Systém) vznikají aplikace, které na podkladě standardních mapových GIS dat zobrazují vrstvy, které jsou jinak lidskému oku skryté. Například se může jednat o vrstvy podzemní infrastruktury, jako je vodovodní potrubí, kabely apod. (Geomares Publishing 2016)

V kontextu prezentace historických objektů vznikají podobné aplikace. Například existuje rozšířená realita francouzského kláštera Cluny, která obsahuje vrstvu již zničených částí klášterních budov. Na obr 2.8 je fotografie zařízení, které je instalováno přímo na místě. Zařízení je možné naklápět i natáčet a rozhlížet se po klášteře v rozšířené realitě. (Petty aj. 2014) Dalším příkladem je Alt Segeberger Bürgerhaus muzeum, jež si mohou návštěvníci pomocí rozšířené reality prohlížet v několika historických etapách. (Geomares Publishing 2016)



Obr. 2.8 Zařízení zobrazující rozšířenou realitu kláštera Cluny (Petty aj. 2014)

2.5 Virtuální realita

Moderní technologie hrají významnou roli i ve zpřístupnění historických objektů nebo jejich částí veřejnosti, aniž by tam veřejnost měla možnost fyzicky vstoupit. Důvodem může být například havarijní stav objektu, neochota majitele objektu umožnit vstup veřejnosti, nebo překážky na straně návštěvníka (zdravotní stav, finance, omezené možnosti cestovat apod.). Moderní technologie a zejména internet tak umožní zážitek zprostředkovat na obrazovce počítače.

Nejpokročilejší technologií je v tomto směru tzv. virtuální realita (VR). Technologie virtuální reality vytvářejí iluzi skutečného světa. Jde o tvorbu vizuálního, sluchového, hmatového či jiného zážitku budícího subjektivní dojem skutečnosti pomocí zobrazovacího zařízení počítače, speciální audiovizuální helmy nebo brýlí viz obr. 2.9. Virtuální realita navíc umožňuje uživateli interagovat se simulovaným prostředím. (Dictionary.com Unabridged 2018, The Verge 2018).

Principem vývoje virtuální reality je integrování vytvořených virtuálních 3D modelů do prostředí speciálního software frameworku, nejčastěji se jedná o Game Engine. Software framework je abstraktní design sestávající z abstraktních tříd, či rozhraní API. Definuje, jak spolu instance tříd mají pracovat. Je to univerzální, obecně použitelné softwarové prostředí, obsahující kód s generickou funkcionalitou, který může být specializován nebo přepsán vývojářem s ohledem na budovanou aplikaci. (Riehle 2000, Janalta Interactive 2018a) Game Engine je software framework specializovaný pro vyvíjení videoher. Funkcionalitou důležitou pro virtuální realitu je vykreslování grafiky. (Ward 2008)

Pro účely vývoje virtuální reality lze využít například *Unreal Engine*, který umožňuje vytvářet širokou škálu herních prostředí a podporuje nejnovější technologie. Výhodou je též široká komunita vývojářů sdílející návody a inspirace. Další populární Engine je *Unity 3D*. Obě zmíněné možnosti jsou bezplatné. Bohaté vizuální možnosti nabízí *Cryengine*. Hry vytvořené v tomto prostředí bývají považovány za vizuálně nejkvalitnější. Nově lze *Cryengine* též pořídit bezplatně. (Kraft 2016)



Obr. 2.9 Virtuální realita (ESA 2017)

Při prezentaci muzea Alt Segeberger Bürgerhaus, zmíněného v kapitole 2.4 – Rozšířená realita, bylo využito též možností VR. Pomocí ovladačů je možné se volně pohybovat ve virtuální realitě muzea, interagovat s menu, či přehledovou mapou a užívat si volnosti perspektivy. (Deggim aj. 2017) Z obr. 2.10 lze získat představu o tom, jak virtuální realita muzea vypadá.



Obr. 2.10 Virtuální realita muzea Alt Segeberger Bürgerhaus (Deggim aj. 2017)

Virtuální realita se netýká pouze speciálního vybavení, ale je možné ji využít i na mobilním zařízení. V internetovém obchodě Google Play je k dispozici aplikace Sites in VR (Gigi 2017), která umožňuje pomocí naklápění a natáčení mobilního zařízení prohlížet 3D scény turistických míst v normálním i stereoskopickém módu. Po připojení speciálního vybavení pak lze místa navštívit v plnohodnotné virtuální realitě.

2.6 Multimediální průvodce

Nejkomplexnější a nejúplnější formou prezentace historických objektů jsou tzv. multimediální průvodce. Tradičně jsou multimédia vnímána jako „digitální prostředky integrující různé formáty dokumentů, resp. dat (např. text, tabulky, animace, obrazy, zvuk, video apod.), zprostředkující nebo napodobující realitu, napomáhající větší názornosti.“ (Dostál 2009)

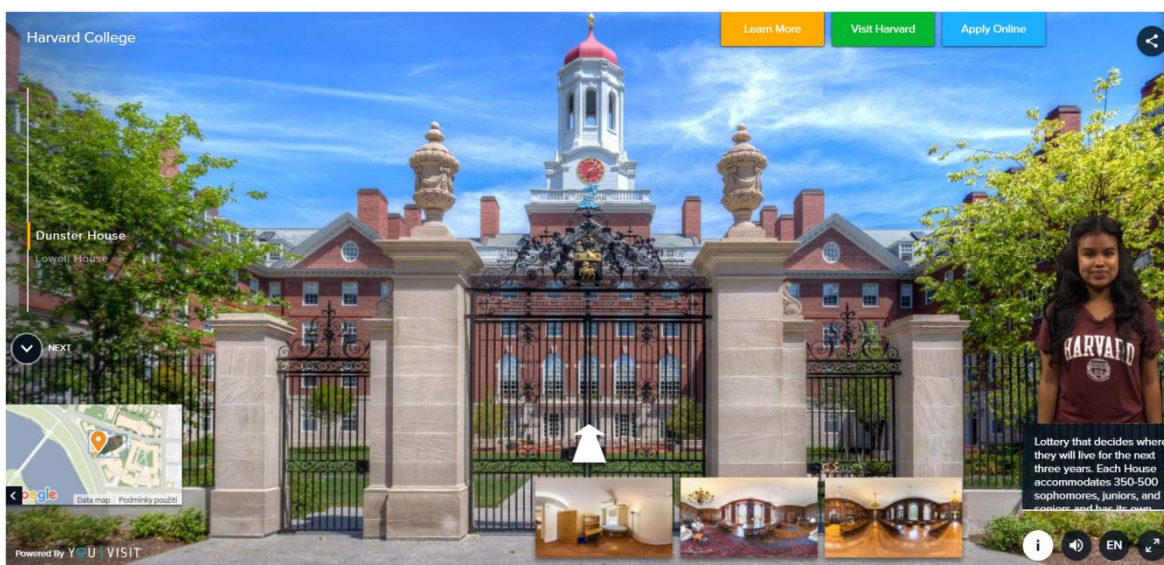
Multimediální průvodce historického objektu kombinuje metody zmíněné v kapitolách 2.1 až 2.5 (Virtuální 3D model, Možnosti 3D tisku, Panorama a virtuální procházka, Rozšířená realita, Virtuální realita) a navíc je doplňuje o multimediální obsah, jako je např. hudba, mluvené komentáře, obrázky, plány nebo videa a tím zvyšuje atraktivitu a opravdovost zážitku.

Existují různé projekty, které lze nazvat multimediálními průvodci. Mohou se lišit mírou použitých technologií a multimediálních prvků. Od jednoduchých audiovizuálních

průvodců až po komplexní interaktivní řešení ve 3D s virtuální, či rozšířenou realitou. Některé průvodce je možné používat pouze na PC, některé nabízí i aplikace pro mobilní zařízení.

Příkladem multimediálního průvodce je soubor průvodců *Travel Guide* (Triposo 2017). Aplikace nabízí velmi široký obsah tříděný podle států. Například fotografie, informace o počasí, poloze, vzdálenosti, ubytování, doporučených aktivit, zajímavostech či hodnocení ostatních cestovatelů. Výhodou *Travel Guide* je možnost používat jej offline.

Desktopové multimediální průvodce nejsou tolik vhodné na cesty, mají však větší možnosti. Příkladem podařeného průvodce je multimediální průvodce Vatikánem (InternetDominion.com 2013), který kromě mnoha různorodých informací, fotografií a videí nabízí komentované, interaktivní 3D prohlídky vybraných míst ve Vatikánu. Dalším jsou prohlídky univerzitních kampusů na webu *YouVisit* (YouVisit 2010). Jde o prohlídky ve VR, nebo interaktivní virtuální prohlídky s multimediálním obsahem, panoramatickými snímky a vloženým videozáznamem komentujícího průvodce viz obr 2.11.



Obr. 2.11 Snímek z multimediálního průvodce kampusem Harvardu (YouVisit 2010)

2.7 Shrnutí

Z výše uvedeného je zřejmé, že prezentace historických objektů je aktuální a rychle se rozvíjející téma. Existují různé technologie pro prezentaci historických objektů a neustále vznikají nové a nové projekty pro jejich tvorbu. Nicméně kvalitních, ucelených a přehledných multimediálních průvodců, které by těchto technologií plně využily a poskytly všechna dostupná data a informace atraktivní formou je stále relativně málo. I proto je jedním z cílů projektu *Peregrinus Silva Bohemica* vytvoření plnohodnotného multimediálního průvodce. Pro účely multimediálního průvodce bude použito technologií tvorby virtuálních 3D modelů, prezentace virtuálních 3D modelů na internetu a 3D tisku. Partnerskou institucí Technologie Campus Freyung bude též vytvořena mobilní aplikace s rozšířenou realitou virtuálních 3D modelů historických podob vybraných objektů. V předchozích kapitolách byly prozkoumány možnosti těchto technologií a v následujících kapitolách budou tyto metody otestovány na vzorovém objektu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov. Poté bude zhodnocena vhodnost použití jednotlivých metod vzhledem ke vstupním datům a požadovanému typu prezentace. Výsledky tohoto zhodnocení budou uvažovány při navrhování optimálního postupu pro prezentaci historických objektů v rámci projektu *Peregrinus Silva Bohemica*.

3 Tvorba virtuálních 3D modelů

Z důvodu porovnávání efektivity různých metod a vhodnosti typů vstupních dat byly vytvořeny čtyři různé virtuální 3D modely v LOD3 jednoho zvoleného objektu, kostela Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov (dále též kostel).

Kostel Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov je původem středověká sakrální budova s dochovaným gotickým presbytářem, upravená ve dvou barokních etapách. U kostela se nachází areál hřbitova s barokní kaplí sv. Barbory, ve které byla ve 30. letech 19. století zřízena hrobka rodu Kolowratů. Kostel byl původně vystavěn v gotickém stylu v polovině 14. stol. Ve 2. polovině 17. stol. byla přistavena věž, sakristie a oratoř. Hlavní loď kostela byla barokně upravena roku 1738. Byla změněna okna, zřízeny dvě předsíně, kruchta a strop lodi. V roce 1798 byla upravena a zvýšena věž kostela. Kostel s areálem hřbitova se nachází na JZ okraji vesnice Týnec. (Národní památkový ústav 2015) Na obr. 3.1 je fotografie kostela.



Obr. 3.1 Fotografie kostela Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov
(Foto: Ing. Radek Fiala Ph.D.)

3.1 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných geodetickým měřením

Pořízení dat

Před samotným zaměřením kostela bylo třeba zhustit bodové pole a vybudovat měřickou síť. Poloha bodů byla navržena tak, aby body byly co nejdále od hlavní budovy kostela a minimalizovaly se tak zákryty satelitů pro měření GNSS (Global Navigation Satellite System). Dalším požadavkem byla viditelnost alespoň čtyř bodů bodového pole z jakéhokoli místa v okolí zaměřovaného objektu. Souřadnice bodů byly určeny měřením pomocí GNSS, konkrétně metodou RTK (Real Time Kinematic). Pro měření byla použita aparatura South S82 GNSS Rover (výrobní číslo: S82348117115274GEM, inventární číslo: 52494). Dosaženou přesnost satelitního měření udávají hodnoty standardních odchylek HSDV (Horizontal Standard Deviation) a VSDV (Vertical Standard Deviation), které jsou pro určované body uvedeny v tabulce 3.1. Uvedené hodnoty byly převzaty z protokolu o měření, který se nachází na přiloženém CD v adresáři 3 -> 3.1 -> *Měření GNSS*.

Číslo bodu	HSDV [m]	VSDV [m]
GNSS1	0.014	0.022
GNSS2	0.035	0.069
GNSS3	0.014	0.024
GNSS4	0.014	0.022
GNSS5	0.014	0.021
GNSS6	0.016	0.027
GNSS7	0.015	0.023
GNSS8	0.015	0.023

Tab. 3.1 Hodnoty odchylek HSDV a VSDV pro určované body

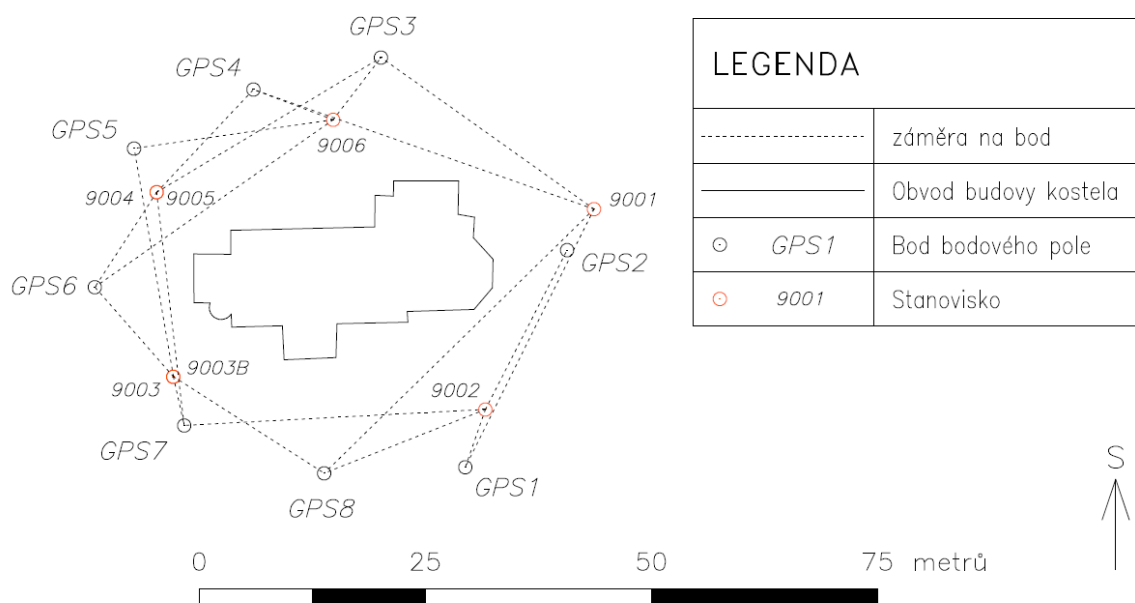
Přesnost zaměřených bodů byla pro dané účely měření dostačující. Nižší přesnost vykazuje měření pouze na bodě GNSS2. Příčinou byl zřejmě menší počet dostupných satelitů, způsobený patrně polohou bodu, který se nacházel v blízkosti budovy kostela a vegetace. Při dalších měřeních byla nižší přesnost určení bodu GNSS2 brána v úvahu a v případě, že byla negativně ovlivněna přesnost určovaného stanoviska, byla orientace na bod GNSS2 z výpočtu stanoviska odstraněna.

Následoval sběr geodat. Měření bylo provedeno totální stanicí Leica MS50 1" R2000 (inventární číslo: 52593, sériové číslo: 369328). Uváděná přesnost totální stanice

pro měření úhlů je 0.3 mgon. Uváděná přesnost totální stanice pro bezhranolové měření vzdáleností je 2 mm + 2 ppm. Tato hodnota platí za ideálních podmínek a pouze pro body, které nejsou od totální stanice vzdáleny více než 500 m (Leica Geosystems AG 2013). V tabulce 3.2 je uvedena střední polohová odchylka M_{xy} a střední výšková odchylka M_z spočtených stanovisek měření. Uvedené odchylky byly převzaty ze seznamu souřadnic a jejich chyb spočteném vnitřním softwarem totální stanice. Seznam souřadnic a jejich chyb se nachází na přiloženém CD v adresáři 3 -> 3.1 -> *Podrobná měření*. Na obr. 3.2 je zobrazeno bodové pole a schéma sítě stanovisek.

Číslo bodu	M_{xy} [m]	M_z [m]
9001	0.014	0.019
9002	0.017	0.006
9003	0.006	0.004
9003b	0.006	0.005
9004	0.019	0.008
9005	0.019	0.008
9006	0.019	0.010

Tab. 3.2 Střední polohová a střední výšková odchylka na určovaných stanoviscích



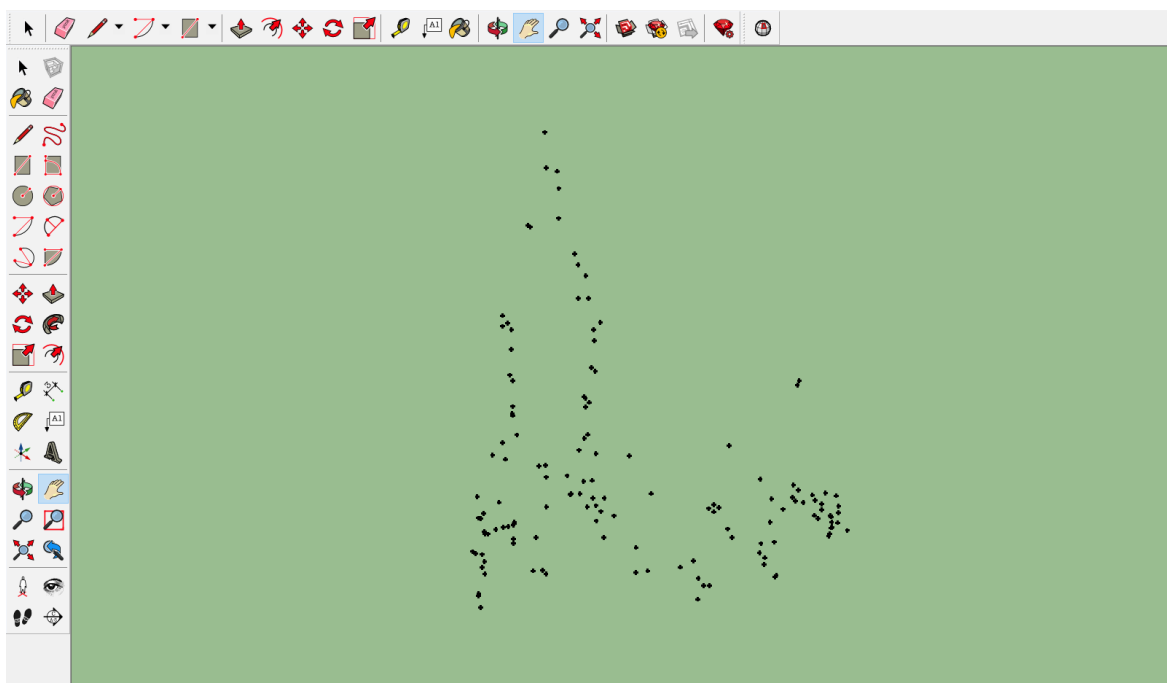
Obr. 3.2 Měřická síť v okolí kostela

Přesnost určení podrobných bodů na budově kostela vzhledem ke spočteným stanoviskům se pak pohybovala v řádu jednotek milimetrů. Uvedené odchylky byly zjištěny v seznamu souřadnic a jejich chyb spočteném interním softwarem totální stanice.

Seznam souřadnic a jejich chyb se nachází na přiloženém CD v adresáři 3 -> 3.1 -> *Podrobná měření*.

Tvorba virtuálního 3D modelu

Určené souřadnice podrobných bodů byly importovány do programu *SketchUp Make* (Trimble 2016). Pro import bylo použito rozšíření *Total Station Point Importer* (CMD 2013), které umožňuje import 3D souřadnic v textových formátech, např. TXT, CSV. Po importu souřadnic byl upraven počátek souřadnicového systému modelovacího prostředí, aby se předešlo chybám vykreslování geometrie, které jsou způsobeny omezeným počtem platných cifer čísel, které je možné uchovávat v počítači (Činčera 2015). Na obr. 3.3 je ukázka polohy podrobných bodů importovaných do prostředí programu *SketchUp*.



Obr. 3.3 Poloha podrobných bodů importovaných do programu *SketchUp*

Tvorba virtuálního 3D modelu pak probíhala za využití importovaných bodů, případně veličin odměřených z jejich souřadnic. Z důvodu dosažení topologické čistoty a snadnější práce se vytvářený virtuální 3D model v některých místech trochu (řádově jednotky centimetrů) odchyluje od změřených souřadnic. Virtuální 3d model budovy byl upraven tak, aby byl pravidelný (aby rohy budovy svíraly pravé úhly, protější zdi byly rovnoběžné, střechy nebyly prohnuté apod.) Nejmenší detaily na budově kostela, které byly pro virtuální 3D model brány v úvahu, měly rozměry 5 cm.

Vytvořený virtuální 3D model byl opatřen texturami. Textury vybraných detailů (okna, dveře) byly v zájmu autentičnosti pořízeny z fotografií kostela. Zbývající části budovy kostela jsou pokryty výchozími texturami, které poskytuje *SketchUp*. Výsledný virtuální 3D model vytvořený v programu *SketchUp* opatřený texturami je na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Finální podoba virtuálního 3D modelu kostela z dat získaných geodetickým měřením

Všechna zdrojová data i soubor s finální podobou virtuálního 3D modelu ve formě projektu programu *SketchUp* se nachází na přiloženém CD v adresáři 3 -> 3.1.

Zhodnocení

Manuální modelování je časově náročné, ale jeho výsledkem je virtuální 3D model tvořený minimálním počtem ploch. Datové přenosy spojené s jeho prezentací by tak neměly být příliš velké. Takto vytvořený virtuální 3D model je topologicky čistý a jeho eventuelní úprava pro 3D tisk by neměla být příliš náročná. Nevýhodou může být nepatrné odchýlení virtuálního 3D modelu od reálné podoby budovy (zanedbání průhybů segmentů střechy, zanedbání nepravidelnosti budovy, zanedbání detailů na budově menších než 5 cm apod.).

3.2 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných laserovým skenováním

Pořízení dat

Pro laserové skenování bylo využito bodového pole a měřické sítě (blíže je popsáno v kapitole 3.1 – Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných geodetickým měřením). Skenování bylo provedeno totální stanicí Leica MS50 1" R2000 (inventární číslo: 52593, sériové číslo: 369328). Na každém ze sedmi stanovisek byl proveden sken celé viditelné části budovy. Výhodou tohoto postupu bylo skenování ve známém souřadnicovém systému ze stanovisek o známých souřadnicích. Jednotlivá dílčí mračna bodů pak bylo možné bez problémů automaticky spojit do výsledného mračna bodů, které obsahovalo celou budovu. Skenování bylo prováděno s hustotou 1 bod na 2x2 cm. Uváděná absolutní polohová přesnost skenování použitého skeneru je 2 mm + 2 ppm. Tato hodnota platí za ideálních podmínek a pouze pro body, které nejsou od skeneru vzdáleny více než 500 m (Leica Geosystems AG 2013).

Tvorba virtuálního 3D modelu

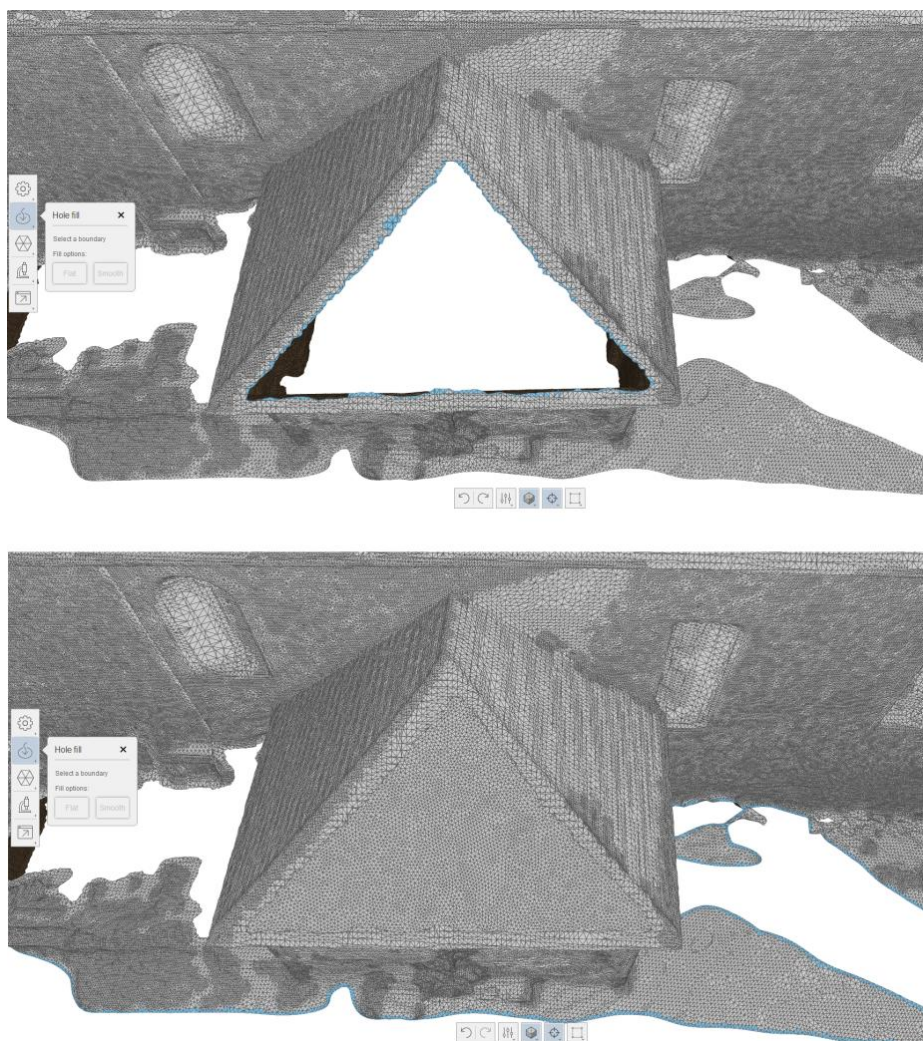
Editace mračna bodů probíhala v programu *ReCap Pro* (Autodesk 2018). Nejprve byly vymazány body, které patřily ostatním objektům a chybně zaměřené body. Poté byl zrekonstruován povrch budovy kostela. Pro rekonstrukci povrchu nabízí *ReCap Pro* funkci *Object Mesh*. Použití funkce je velmi jednoduché, stačí pouze nastavit úroveň kvality

a stisknout *start*. Ukázalo se, že pro rekonstrukci naskenovaného mračna bodů kostela bylo výhodné zvolit nízkou přesnost rekonstrukce povrchu. Algoritmus pak rekonstruoval povrch kostela i tam, kde mělo mračno nižší hustotu bodů. Ta byla patrně způsobena skenováním budovy pod příliš velkým úhlem. Po spuštění funkce *Object Mesh* nahrál program mračno bodů na server *Autodesk* a po zrekonstruování povrchu jej bylo možné stáhnout zpět. Pro použití funkce *Object Mesh* a dalších pokročilejších funkcí *ReCap Pro* bylo nutné mračno bodů do programu importovat v jednom z tzv. strukturovaných formátů. Strukturovaný formát je způsob, jakým jsou data uspořádána na pevném disku. Primárně strukturovanými formáty jsou FLS, PTQ, PTX, ZFS, CLR, RSP, RDBX a některé typy binárního formátu E57 (Vidanovski 2015). Mračno bodů kostela bylo po exportu z programu *Infinity* (Leica Geosystems 2014) dostupné ve formátu E57 (specifikace viz <http://www.libe57.org/documentation.html>).

Textury ploch jsou při tvorbě virtuálního 3D modelu prostřednictvím funkce *Object Mesh* automaticky přejímány z hodnot bodů mračna. Nevýhodou funkce *Object Mesh*, je požadavek, aby se mračnou bodů, ze kterého je rekonstruován povrch objektu, vešlo do obálky o maximální velikosti 30 m x 30 m x 30 m. Proto bylo nutné mračno bodů tvořící kostel rozdělit do tří menších překrývajících se mračen bodů, zrekonstruovat jejich povrch zvlášť a posléze získané dílčí virtuální 3D modely spojit.

Spojení dílčích virtuálních 3D modelů v programu *ReCap Pro* však nebylo možné provést. Pro zarovnání dílčích virtuálních 3D modelů byl tedy použit program *MeshLab* (Visual Computing Lab aj. 2016). Program *MeshLab* umožňuje přes funkci *Align* zarovnání překrývajících se povrchů přes manuálně zadané identické body. Program *MeshLab* umožňuje zarovnání dílčích virtuálních 3D modelů, ale už je neumožňuje spojit do jednoho virtuálního 3D modelu bez ztráty textur. Spojení dílčích virtuálních 3D modelů tedy proběhlo v programu *Blender* (Blender Foundation 2017). Program *Blender* umožňuje dílčí objekty spojit jejich prostým označením a stisknutím kombinace *CTRL+J*.

Spojený virtuální 3D model byl poté nahrán do programu *ReCap Photo*, který je součástí *ReCap Pro*. V programu *ReCap Photo* byly opraveny některé chyby vytvořeného virtuálního 3D modelu. Byly odebrány plochy, které nepatřily budově kostela a byly uzavřeny některé díry. Pro uzavírání děr ve virtuálním 3D modelu poskytuje *ReCap Photo* funkci *Fill holes*. Použití této funkce je opět velmi jednoduché, stačí označit jeden bod hranice díry a spustit funkci. Na obr. 3.5 je ilustrováno uzavření jedné z děr.



Obr. 3.5 Ukázka vyplnění díry virtuálního 3D modelu v programu *ReCap Photo*

Finální podoba virtuálního 3D modelu je na obr. 3.6. Všechna zdrojová data i soubor s finální podobou virtuálního 3D modelu ve formě projektu programu *ReCap Photo* se nachází na přiloženém CD v adresáři 3 -> 3.2.



Obr. 3.6 Finální podoba virtuálního 3D modelu kostela vytvořeného z dat laserového skenování v programu *ReCap Photo*

Zhodnocení

Virtuální 3D model vytvořený z dat laserového skenování je věrný své předloze. Podařilo se zachytit všechny potřebné detaily. Některé části budovy však nebylo možné naskenovat a tyto části ve výsledném virtuálním 3D modelu chybí. Jedná se například o část střechy budovy, nebo některé části kostelní věže. Program měl též potíže s modelováním částí budovy o malých rozměrech. Například se nepodařilo vymodelovat kříž na hřebenu střechy nebo špičku kostelní věže. Takto vytvořený virtuální 3D model je tvořen velkým počtem ploch a obsahuje velký počet topologických chyb. Prezentace takto

vytvořeného virtuálního 3D modelu v prostředí internetu bude náročná na datové přenosy. Jeho eventuelní úprava pro 3D tisk by byla též náročná.

3.3 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných z fotografií

Pořízení dat

Fotografie byly pořízeny kamerou Fujifilm X-T20 s objektivem Fujifilm XF 18-55mm f/2,8-4,0 R LM OIS. Bylo dbáno na to, aby byly nasnímány všechny části budovy, u kterých to bylo možné. Fotografie byly pořizovány tak, aby měly v rámci možností dostatečný překrytí i paralaxu. Autor fotografií: Ing. Radek Fiala Ph.D.

Tvorba virtuálního 3D modelu

Pro zpracování pořízených snímků byl použit program *PhotoScan* (Agisoft LLC. 2018). Do programu *PhotoScan* lze nahrát fotografie ve většině běžných formátů. Pro tvorbu virtuálního 3D modelu byly použity fotografie ve formátu JPEG (specifikace viz <https://www.w3.org/Graphics/JPEG/jfif3.pdf>).

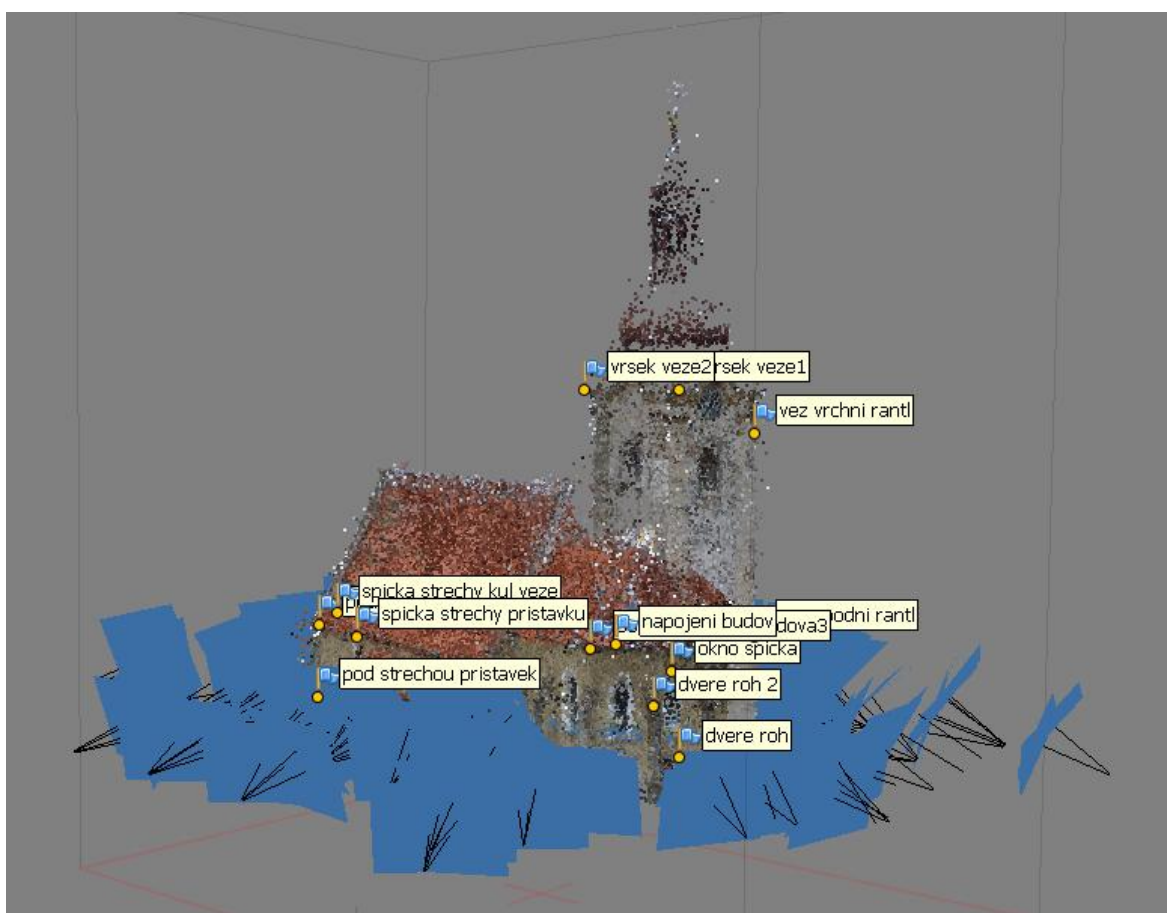
Tvorba virtuálního 3D modelu v programu *PhotoScan* probíhala ve 3 hlavních etapách.

1) Vyrovnání fotografií a tvorba řídkého mračka bodů

Nejprve byly načtené fotografie vyrovnány a byla spočtena jednotlivá stanoviska fotoaparátu, z nichž byly fotografie pořízeny. Dále byly vygenerovány tzv. „Tie Points“, řídké mračko bodů spočtených z vyrovnaných fotografií. K tomu slouží funkce *Align Photos* v menu *Workflow*. Funkce *Align Photos* nabízí několik úrovní přesnosti vyrovnání fotografií. S rostoucí přesností však narůstá výpočetní složitost a čas, který algoritmus potřebuje pro zpracování fotografií. Fotografie kostela byly vyrovnávány s vysokou přesností.

V některých případech algoritmus nedokáže sám správně fotografie vyrovnat a některé fotografie nemusí být vyrovnány s dostatečnou přesností. Program proto nabízí možnost ručně přidat tzv. „Markers“. Jde o manuální označení identických bodů na jednotlivých fotografiích. Pokud je vytvořený *Marker* vkládán do již hrubě vyrovnaných

fotografií, program sám identifikuje místo pravděpodobného výskytu *Markeru* na fotografii a je třeba ho pouze posunout na přesnou pozici. Po umístění všech potřebných *Markerů* lze vyrovnat i snímky, které se nepodařilo vyrovnat automaticky. Pro tvorbu virtuálního 3D modelu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov bylo vybráno 13 dobře identifikovatelných bodů na budově, z nich byly vytvořeny *Markery* a pomocí *Markerů* byly všechny fotografie opakovaně vyrovnány. Řídké mračno bodů se spočtenými stanovisky fotografií a *Markery* je na obr. 3.7. Barva spočtených bodů řídkého mračna bodů byla programem *PhotoScan* automaticky převzata z hodnot pixelů původních fotografií.



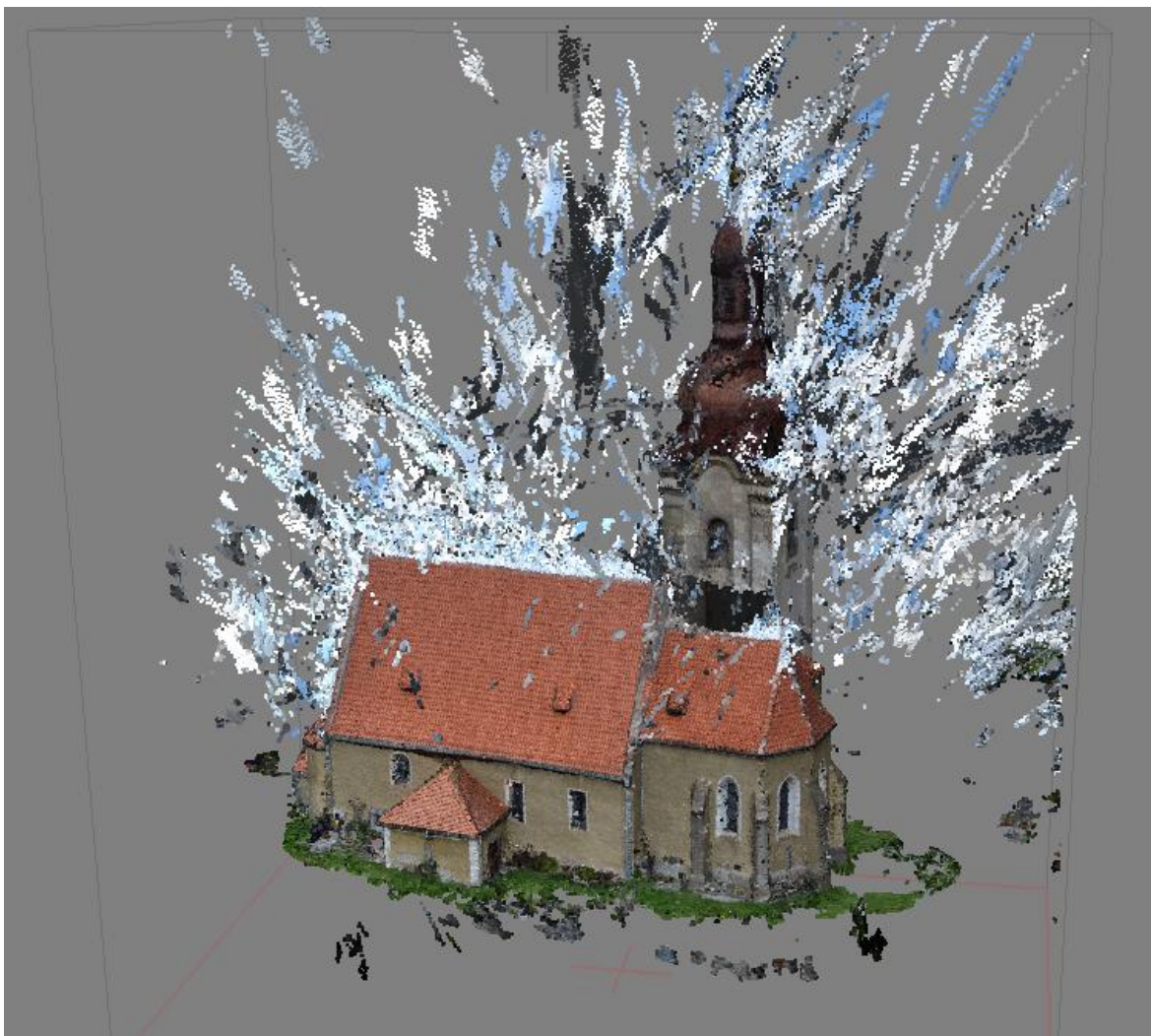
Obr. 3.7 Řídké mračno bodů s *Markery* a ilustracemi poloh jednotlivých snímků v programu *PhotoScan*

Po vyrovnání všech fotografií bylo třeba vygenerované řídké mračno bodů vyfiltrovat. Řídké mračno bodů obsahovalo množství bodů nenáležících budově kostela. Tyto body byly z mračna odstraněny.

2) Tvorba zahuštěného mračna bodů

Zahuštění mračna bodů zajišťuje funkce *Build Dense Cloud* v menu *Workflow*. Zahuštěné mračno bodů spočtené z vyrovnaných snímků obsahuje řádově miliony bodů a z toho

důvodu je zahuštění mračna bodů časově náročné. V parametrech funkce lze opět zvolit úroveň přesnosti počítaného mračna bodů. Pro tvorbu virtuálního 3D modelu kostela byla zvolena střední úroveň přesnosti. Zahuštěné mračno bodů je na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Zahuštěné mračno bodů

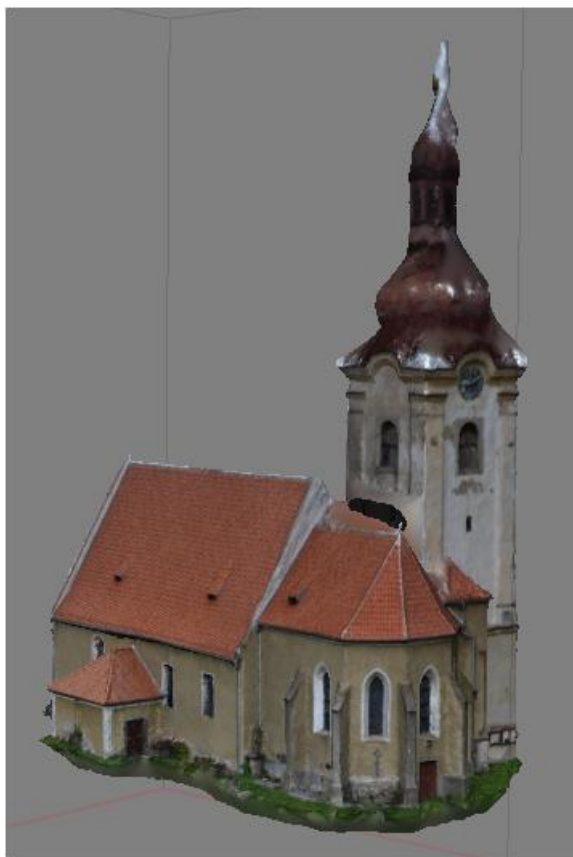
Před zahájením výpočtu je třeba se ujistit, že je správně nastaven tzv. *Region*. Jde o hranici prostoru uvažovaného pro výpočet hustého mračna bodů. Pokud je část řídkého mračna bodů mimo *Region*, nebude pro tuto část husté mračno bodů spočteno.

Spočtené husté mračno bodů je nutné opět manuálně editovat, zpravidla obsahuje chybně spočtené body, které nejsou vhodné pro rekonstrukci povrchu.

3) Rekonstrukce povrchu objektu

Rekonstrukci povrchu zajišťuje funkce *Build Mesh* v menu *Workflow*. Funkce *Build Mesh* vytvoří z bodů hustého, nebo řídkého mračna bodů povrch v podobě TIN (Triangulated

Irregular Network). Funkce umožňuje volbu mezi rekonstrukcí plnohodnotného 3D povrchu a rekonstrukcí tzv. 2,5D povrchu. Je též možné zvolit počet ploch, kterými bude výsledný virtuální 3D model tvořen. Povrch kostela byl rekonstruován do podoby plnohodnotného 3D povrchu. Virtuální 3D model tvořený povrchovou rekonstrukcí je na obr. 3.9. Textura, kterou je povrch virtuálního 3D modelu kostela pokryt, byla programem *PhotoScan* automaticky převzata z hodnot pixelů původních fotografií.



Obr. 3.9 Virtuální 3D model v podobě TIN

Všechna zdrojová data i soubor s finální podobou virtuálního 3D modelu ve formě projektu programu *PhotoScan* se nachází na přiloženém CD v adresáři 3 -> 3.3.

Zhodnocení

Virtuální 3D model vytvořený z fotografií je velmi věrný originální budově. Podařilo se zachytit všechny potřebné detaily. Některé části budovy však nebylo možné vyfotografovat, proto tyto části ve výsledném virtuálním 3D modelu chybí. Jedná se například o část střechy budovy, nebo některé části kostelní věže. Program měl též potíže s modelováním špičky kostelní věže. Ačkoliv byla špička věže zachycena na dostatečném počtu snímků, byla příliš tenká pro věrnou rekonstrukci povrchu. Na obr. 3.10 jsou

zobrazeny nepřesnosti ve vytvořeném virtuálním 3D modelu. Takto vytvořený virtuální 3D model je tvořen velkým počtem ploch a obsahuje velký počet topologických chyb. Při prezentaci takto vytvořeného virtuálního 3D modelu budou třeba značné datové přenosy. Jeho eventuální příprava pro 3D tisk by byla též náročná.

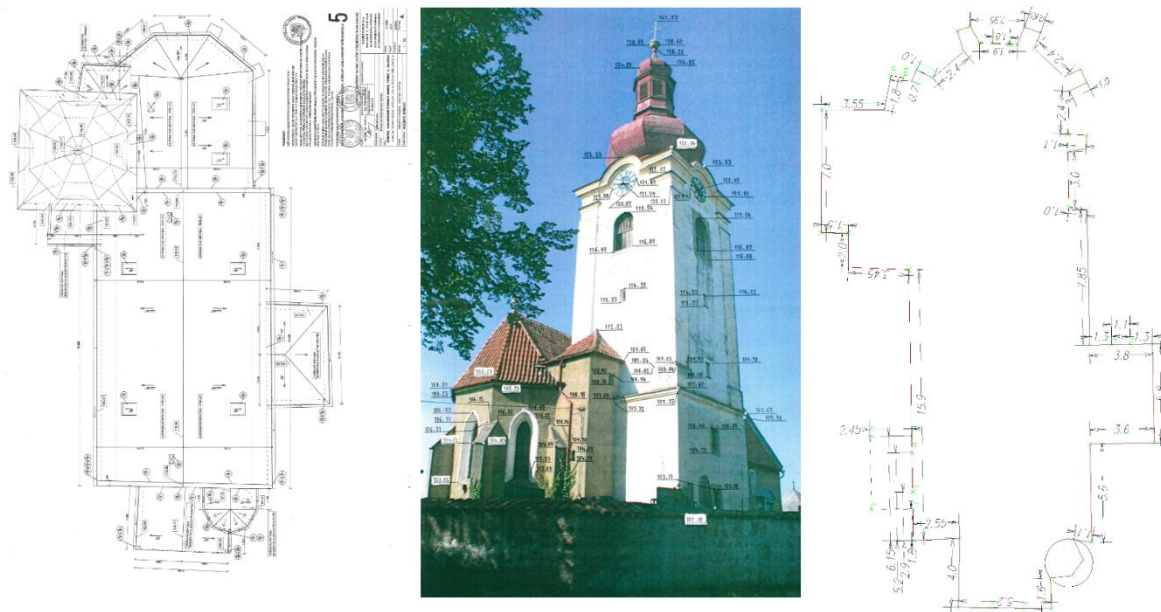


Obr. 3.10 Chyby ve virtuálním 3D modelu vytvořeném z fotografií

3.4 Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných z technické dokumentace

Pořízení dat

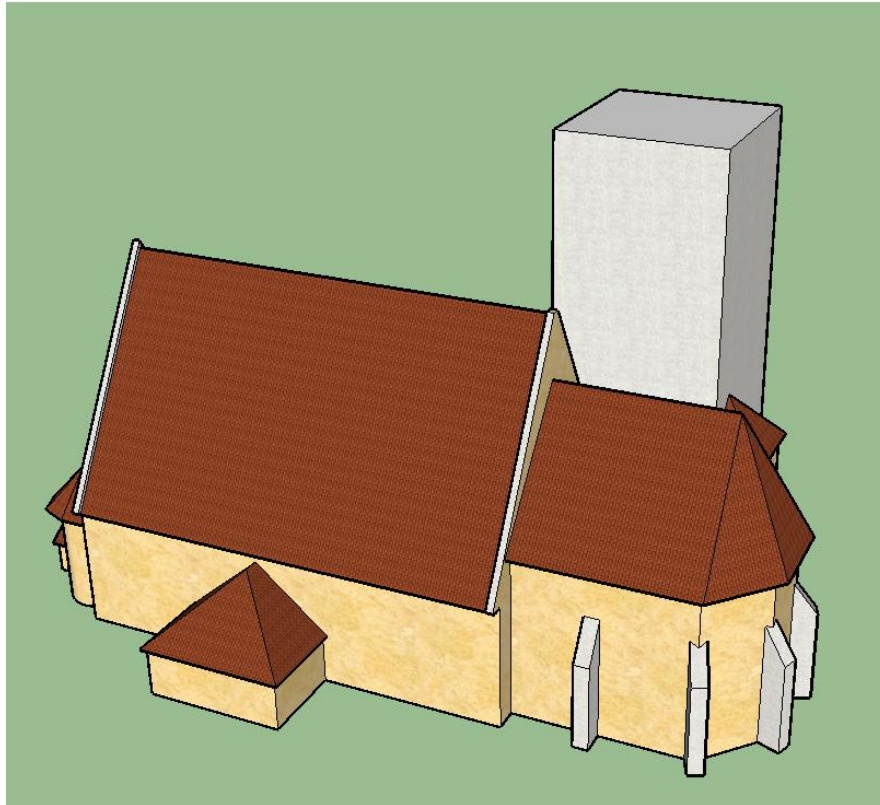
Kostel Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov náleží Římskokatolické farnosti Nýrsko, která spadá pod Plzeňské biskupství. Technická dokumentace byla získána ze stavebního oddělení Plzeňského biskupství, které mimo jiné spravuje technickou dokumentaci budov v jeho majetku. Získaná technická dokumentace sestávala z půdorysu budovy s oměrnými mírami budovy, fotografií budovy s výškovými kótami a výkresu půdorysu střechy viz obr. 3.11.



Obr. 3.11 Dostupná technická dokumentace kostela (Plány v plném rozlišení jsou na příloženém CD v adresáři 3 -> 3.4)

Tvorba virtuálního 3D modelu

Tvorba virtuálního 3D modelu probíhala opět v programu *SketchUp*. V průběhu tvorby bylo zjištěno, že dostupná dokumentace nebyla kompletní a dostatečně podrobná. Bylo možné vytvořit pouze virtuální 3D model hlavních rysů budovy a střechy budovy viz obr. 3.12. Například pro věž kostela, okna, dveře, či ozdobné prvky na fasádě kostela dokumentace neobsahovala dostatek informací. Pro většinu tvarů byly dostupné výškové kóty, ale horizontální a obecné rozměry chyběly. Dalším problémem byly časté rozpory ve výkresech. Například nebylo možné sestavit nad půdorysem daných rozměrů střechu s uvedeným sklonem. Rozdíly měly na podobu virtuálního 3D modelu vliv v řádu jednotek až desítek centimetrů a pouhým okem tedy patrně téměř nejsou, nicméně je zřejmé, že podrobnost a přesnost technické dokumentace nebyla dostačující.



Obr. 3.12 Virtuální 3D model kostela vytvořený z dat získaných z technické dokumentace

Všechna zdrojová data i soubor s finální podobou virtuálního 3D modelu ve formě projektu programu *SketchUp* se nachází na přiloženém CD v adresáři 3 -> 3.4.

Zhodnocení

Takto vytvořený virtuální 3D model má podobné vlastnosti jako virtuální 3D model vytvořený v kapitole 3.1 – Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných geodetickým měřením. Výhodou využití technické dokumentace pro tvorbu virtuálního 3D modelu oproti postupu z kapitoly 3.1 byla nenáročnost pořízení dat a větší rychlost tvorby virtuálního 3D modelu přímo z odečtených kót. Nicméně z důvodu nekompletnosti a nedostatečné podrobnosti dokumentace nebylo možné vytvořit virtuální 3D model v takové úrovni detailu, jako v kapitolách 3.1 až 3.3 (Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných geodetickým měřením, Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných laserovým skenováním, Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných z fotografií). Nevýhodou byly též rozporuplné údaje vyskytující se v technické dokumentaci.

4 Prezence virtuálních 3D modelů kostela

4.1 Prezence virtuálních 3D modelů na lokálním zařízení

Pro prezentaci virtuálních 3D modelů bylo využito aplikace *Paint 3D* (Microsoft 2016). *Paint 3D* umožňuje import, prohlížení a základní úpravy virtuálních 3D modelů ve většině běžných formátů virtuálních 3D modelů. Výhodou *Paint 3D* je možnost bezplatného pořízení programu v *Microsoft Store*.

Prezence virtuálních 3D modelů vytvořených v programu SketchUp

V programu SketchUp byly vytvořeny virtuální 3D modely z dat získaných klasickými geodetickými metodami a z dat získaných z technické dokumentace. Tyto virtuální 3D modely byly do programu *Paint 3D* importovány ve formátu GLB (binární verze glTF). Pro export virtuálních 3D modelů z programu *SketchUp* do GLB bylo využito externího pluginu *glTF Export* (Centaur 2018). Pro správný export uživatelsky vytvořených textur (textur vyříznutých z fotografií) bylo třeba definovat každou takovou texturu jako unikátní (příkaz *make unique texture* v programu *SketchUp*). Bez definování unikátních textur se při exportu do glTF resetuje jejich poloha, měřítko i orientace. Virtuální 3D modely vytvořené v programu *SketchUp* prezentované v *Paint 3D* jsou na obr. 4.2 a) a 4.2 b).

Prezence virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných laserovým skenováním

Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných laserovým skenováním byl ve formě rekonstruovaného povrchu exportován z programu *ReCap Photo* do formátu FBX (specifikace viz <https://code.blender.org/2013/08/fbx-binary-file-format-specification/>) a otevřen v programu *Paint 3D*. Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných laserovým skenováním prezentovaný v *Paint 3D* je na obr. 4.2 c). Naskenované mračno bodů lze prezentovat též v jeho surové diskretní formě. Pro prezentaci mračna bodů byl použit program *CloudCompare* (CloudCompare 2018), kam bylo mračno bodů nahráno ve formátu PTS (specifikace viz <http://w3.leica-geosystems.com/kb/?quid=5532D590-114C-43CD-A55F-FE79E5937CB2>) exportovaném z programu *Infinity*. Prezence kostela ve formě surového naskenovaného mračna bodů je na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Lokální prezentace naskenovaného mračka bodů v programu *CloudCompare*

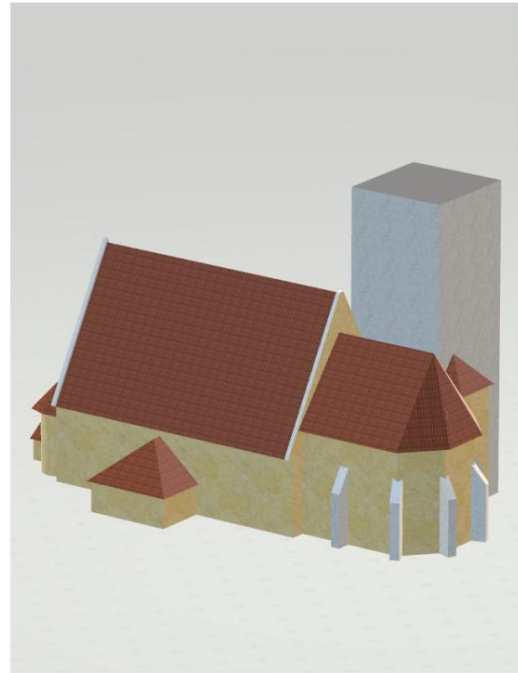
Prezentace virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných z fotografií

Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných z fotografií byl ve formě rekonstruovaného povrchu exportován z programu *PhotoScan* do formátu FBX a otevřen v programu *Paint 3D*. Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných z fotografií prezentovaný v *Paint 3D* je na obr. 4.2 d).

a)



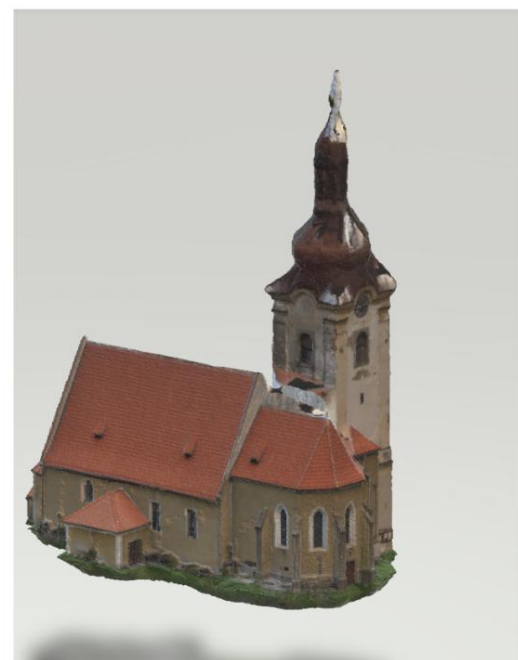
b)



c)



d)



Obr. 4.2 Lokální prezentace virtuálních 3D modelů v programu *3D Paint*: virtuální 3D model z dat získaných a) klasickými geodetickými metodami, b) z technické dokumentace, c) laserovým skenováním, d) z fotografií.

4.2 Prezentace virtuálních 3D modelů na webu

Pro prezentaci vytvořených virtuálních 3D modelů bylo použito webové prohlížečské aplikace *Sketchfab* (Sketchfab 2018) a virtuálního glóbu *Cesium* (Cesium Consortium 2018b).

4.2.1 Prezentace virtuálních 3D modelů ve v aplikaci *Sketchfab*

Prezentace virtuálních 3D modelů vytvořených v programu *SketchUp*

Virtuální 3D modely vytvořené v programu *SketchUp* (3D modely z dat získaných klasickými geodetickými metodami a z dat získaných z technické dokumentace) byly exportovány přímo z programu *SketchUp* do webové aplikace *Sketchfab* pomocí pluginu *Sketchfab Uploader* (Schreyer 2018). Virtuální 3D model z dat získaných klasickými geodetickými metodami je prezentovaný na adrese:

<https://sketchfab.com/models/674406fc03394fa9b4f40265c592b03e>, virtuální 3D model

z dat získaných z technické dokumentace je prezentovaný na adrese:

<https://sketchfab.com/models/c685068c334a4b4992b9644804ac646d>.

Ukázky virtuálních 3D modelů vytvořených v programu *SketchUp* jsou na obr. 4.3. a) a 4.3 b).

Prezentace virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných laserovým skenováním

Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných laserovým skenováním byl ve formě rekonstruovaného povrchu exportován z programu *ReCap Photo* do formátu FBX a nahrán do aplikace *Sketchfab*. Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných laserovým skenováním je prezentovaný na adrese:

<https://sketchfab.com/models/89ed77b8dc4543aa92bd462421b2120a>.

Ukázka prezentace virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných laserovým skenováním je na obr. 4.3 c). Opět byla vytvořena prezentace ve formě surového naskenovaného mračna bodů. Naskenované mračno bodů je prezentováno na adrese:

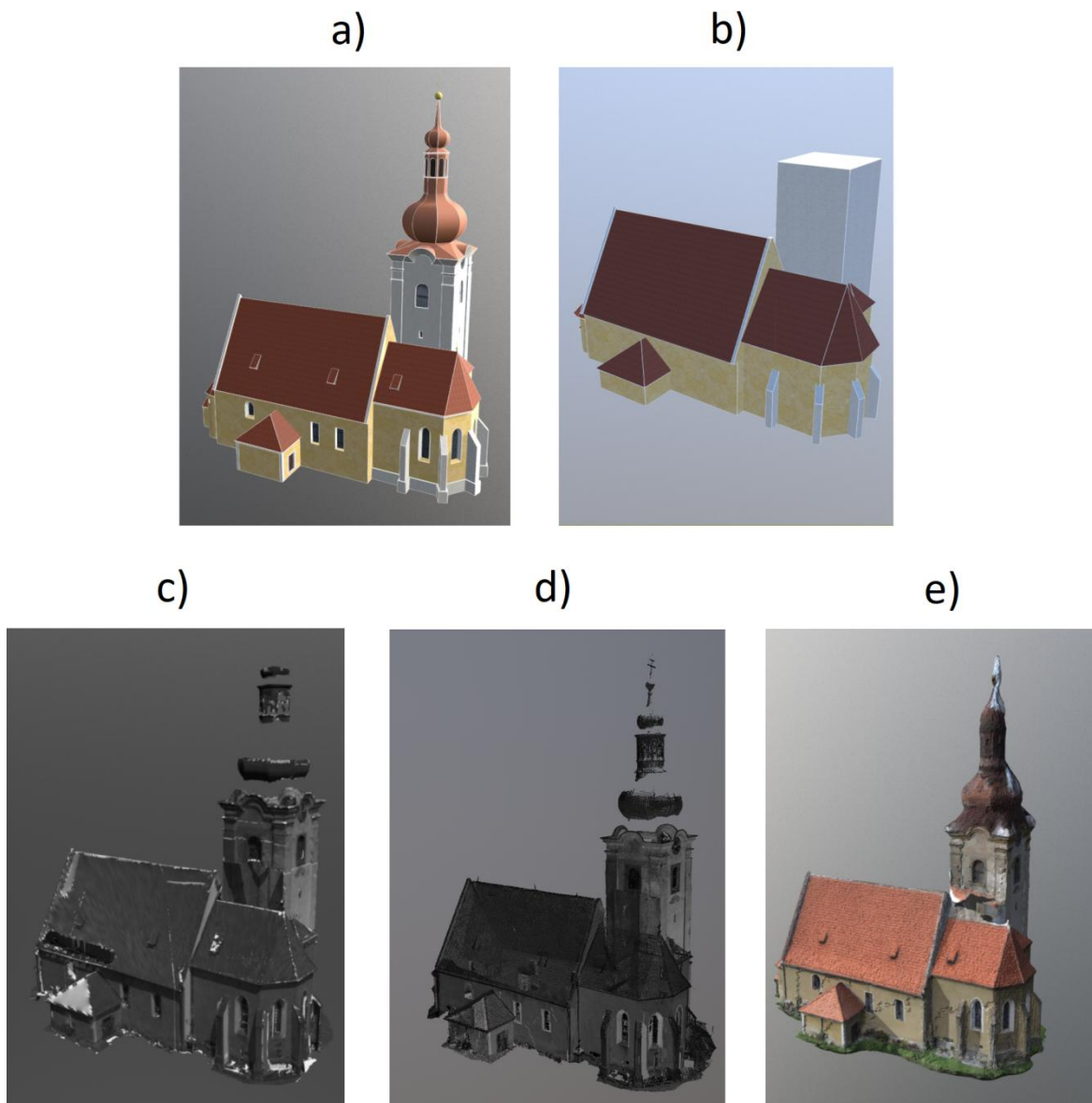
<https://sketchfab.com/models/e8eb894383964a629a0cc9911a181f3d>. Ukázka prezentace

naskenovaného mračna bodů je na obr. 4.3 d).

Prezentace virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných z fotografií

Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných z fotografií byl ve formě rekonstruovaného povrchu exportován z programu *PhotoScan* do formátu FBX a nahrán do aplikace *Sketchfab*. Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných z fotografií je prezentován na adrese: <https://sketchfab.com/models/ff6a5c7f322146f892cfbb6796a0cd59>. Ukázka

prezentace virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných z fotografií je na obr. 4.3.e).



Obr. 4.3 Webová prezentace virtuálních 3D modelů v programu *Sketchfab*: a) virtuální 3D model z dat získaných klasickými geodetickými metodami, b) virtuální 3D model z dat získaných z technické dokumentace, c) virtuální 3D model z dat získaných laserovým skenováním, d) naskenované mračno bodů, e) virtuální 3D model z dat získaných z fotografií.

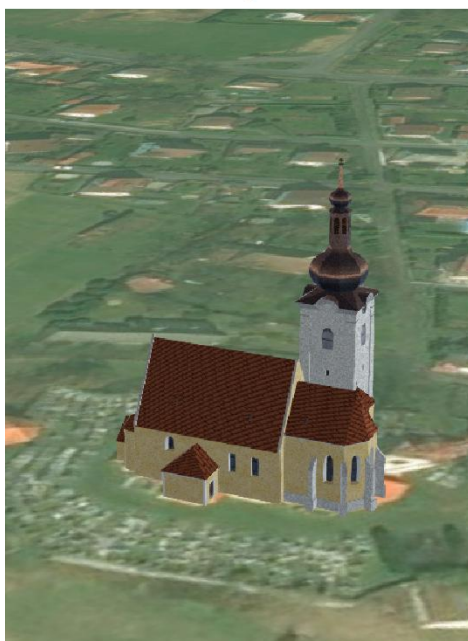
4.2.2 Prezentace virtuálních 3D modelů na virtuálním glóbu *Cesium*

Pro prezentaci virtuálních 3D modelů na virtuálním glóbu *Cesium* byl využit editovaný kód z galerie kódů *Sandcastle* (Cesium Consortium 2018a). *Sandcastle* je aplikace, která umožňuje pomocí webového rozhraní modifikovat a v reálném čase testovat kód poskytnutý vývojáři virtuálního glóbu *Cesium*.

Pro prezentaci kostela prostřednictvím virtuálního glóbu *Cesium* byly využity virtuální 3D modely ve formátu glTF. Virtuální 3D modely vytvořené v programu *SketchUp* (z dat získaných klasickými geodetickými metodami a z dat získaných z technické dokumentace) byly z programu *SketchUp* exportovány prostřednictvím pluginu *glTF Export*. Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných laserovým skenováním byl z programu *ReCap Photo* exportován do formátu FBX a prostřednictvím pluginu *SimLab FBX Importer* (SimLab Soft 2018) importován do programu *SketchUp*. Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných z fotografií byl z programu *PhotoScan* exportován do formátu COLLADA (COLLABorative Design Activity, specifikace viz https://www.khronos.org/files/collada_spec_1_5.pdf) a importován do programu *SketchUp*. Pro export virtuálních 3D modelů vytvořených z dat získaných laserovým skenováním a z dat získaných z fotografií z programu *SketchUp* do formátu glTF byl opět využit plugin *glTF Export*.

Pro správné fungování virtuálního glóbu *Cesium* je třeba jej hostovat na serveru. Pro účely prezentace virtuálních 3D modelů bylo virtuální glóbus *Cesium* nainstalován na server home.zcu.cz. Virtuální 3D modely jsou prezentovány na adrese: http://home.zcu.cz/~mcincera/DP/Cesium-1.45/Apps/Sandcastle/gallery/Prezentace_Cesium.html. Ukázky prezentací virtuálních 3D modelů prostřednictvím virtuálního glóbu *Cesium* jsou na obr. 4.4.

a)



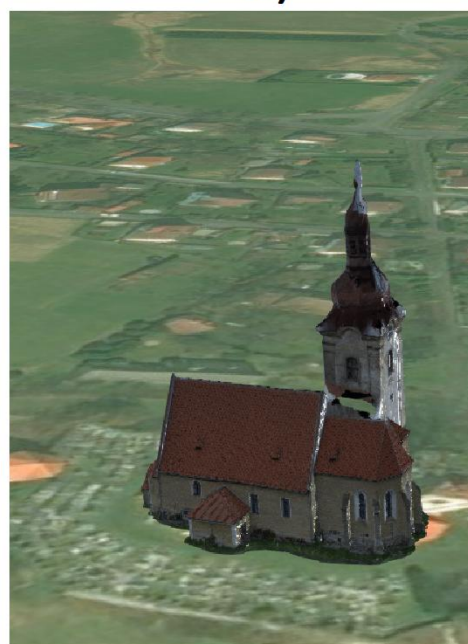
b)



c)



d)



Obr. 4.4 Prezentace virtuálních 3D modelů prostřednictvím virtuálního glóbu *Cesium*: virtuální 3D model z dat získaných a) klasickými geodetickými metodami, b) z technické dokumentace, c) laserovým skenováním, d) z fotografií.

Prezentace mračna bodů kostela pomocí vektorových 3D dlaždic

Prostřednictvím virtuálního glóbu *Cesium* bylo prezentováno též naskenované mračno bodů. Pro prezentaci mračna bodů byla využita technika 3D dlaždic generovaných pomocí skriptů, které vytvořil (Shaxted 2016). Tyto skripty s využitím knihovny *libLas* (Butler 2016) umožňují z dat ve formátu LAS vytvořit 3D dlaždice splňující specifikaci *3D Tiles* (specifikace viz <https://github.com/AnalyticalGraphicsInc/3d-tiles>). Formát LAS (LASer file format, specifikace viz https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf) je otevřený výměnný formát pro data pořízená laserovým skenováním (ASPRS 2013).

Prostřednictvím použitého skriptu byly provedeny následující kroky:

1. **Rozdělení dat do několika samostatných souborů** ve formátu LAS o velikosti v MB definované uživatelem.
2. **Přiřazení RGB barvy všem bodům v souboru.** Barva je extrahována z poskytnutého souboru ve formátu GeoTIFF (GEOreferenced Tagged Image File Format, specifikace viz <https://cdn.earthdata.nasa.gov/conduit/upload/6852/geotiff-1.8.1-1995-10-31.pdf>).
3. **Transformace dat** ze souřadnicového systému zadaného kódem EPSG (European Petroleum Survey Group) do systému WGS84.
4. **Generování 3D dlaždic ve formátu PNTS** (specifikace viz <https://github.com/AnalyticalGraphicsInc/3d-tiles/blob/master/TileFormats/PointCloud/README.md>) a souborů ve formátu JSON, které určují, jak se budou 3D dlaždice načítat.

Naskenované mračno bodů kostela bylo z formátu PTS konvertováno do formátu LAS pomocí knihovny *libLAS*. Pro správný výsledek bylo třeba dbát na to, aby bylo nastaveno správné měřítko os (maximální přesnost souřadnic, která zůstane během výpočtu zachována). Pro extrakci barev byl použit georeferencovaný snímek z ortofota (ČÚZK 2018). Pro bezchybné zobrazování 3D dlaždic bylo třeba ve vytvořených souborech ve formátu JSON správně nastavit hodnoty *geometricError* a *boundingVolume*, které určují, za jakých podmínek se budou 3D dlaždice vykreslovat. Pro prezentaci mračna bodů bylo opět využito kódu, který vytvořil (Shaxted 2016). Ukázka prezentace mračna bodů kostela je na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Ukázka prezentace mračna bodů kostela pomocí 3D dlaždic prostřednictvím virtuálního glóbu *Cesium*

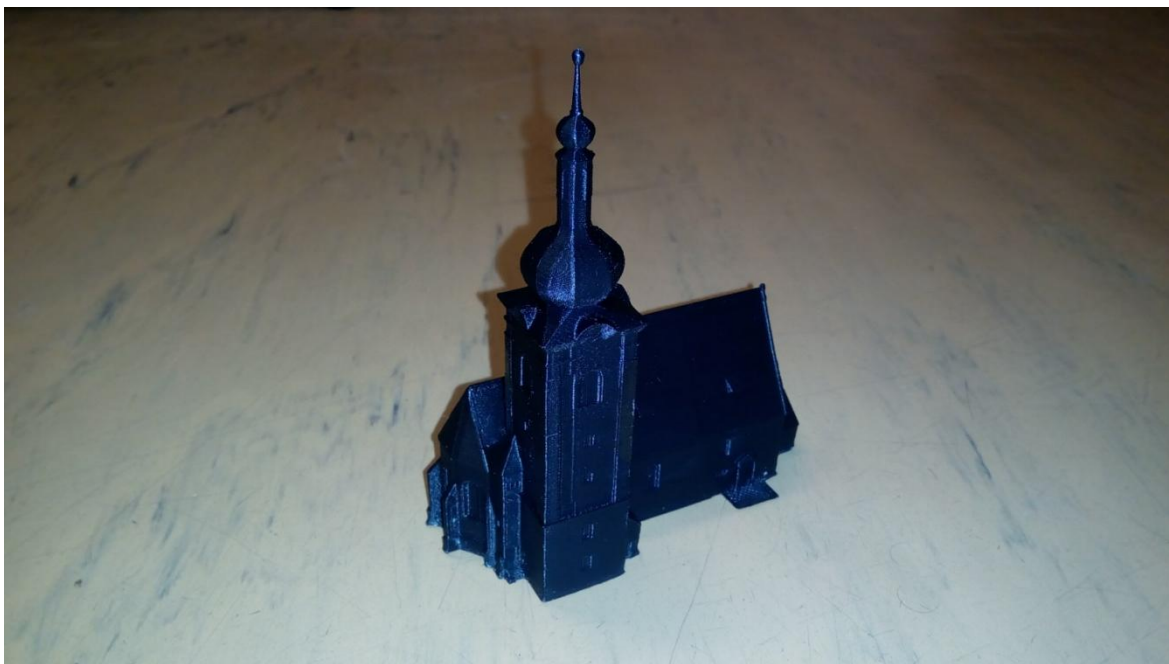
4.3 Prezentace virtuálního 3D modelu pomocí 3D tisku

Prezentace prostřednictvím 3D tisku byla využita pro virtuální 3D model vytvořený z dat získaných klasickými geodetickými metodami. Virtuální 3D model vytvořený z technické dokumentace ani zbývající virtuální 3D modely (z dat získaných laserovým skenováním a z dat získaných z fotografií) nebyly kompletní.

Pro kontrolu a odstranění topologických chyb virtuálního 3D modelu byl použit plugin *Solid Inspector²* (Thomassen 2014) programu *SketchUp*. Pro přípravu virtuálního 3D modelu pro 3D tisk byl použit program *Simplify3D* (Simplify3D 2018), kam byl virtuální 3D model importován ve formátu STL (STereoLithography, specifikace viz http://www.fabbers.com/tech/STL_Format). Z programu *SketchUp* byl virtuální 3D model exportován do formátu STL pomocí pluginu *SketchUp STL* (Trimble 2017). Po exportu byly ve virtuálním 3D modelu identifikovány topologické chyby, které byly automaticky opraveny pomocí webové aplikace *MakePrintable* (MakePrintable 2018).

Virtuální 3D model byl vytištěn na 3D tiskárně typu Delta za použití tuhého materiálu ABS (AkrylonitrilButadienStyren - termoplast na bázi oleje). Fyzické 3D modely vytištěné z ABS vlákna se vyznačují pevností, pružností a odolností (Solidify 3D 2017). Fyzický 3D model kostela byl vytištěn v měřítku cca 1:343 (Největší horizontální rozměr

10 cm, Největší vertikální rozměr 12 cm) s výškou vrstvy 0,1 mm. Použití tohoto měřítka bylo optimální z hlediska pořizovacích nákladů na 3D tisk a zároveň zachovalo detaily virtuálního 3D modelu. Pro větší pevnost fyzického 3D modelu byla jeho vnitřní část vyplněna strukturou *Honeycomb* s výplní 20%. *Honeycomb* je hexagonální struktura podobná struktuře včelího úlu. Její použití minimalizuje objem materiálu použitého k vytvoření vnitřní struktury fyzického 3D modelu (Mugave 2017). Fotografie fyzického 3D modelu je na obr. 4.6.

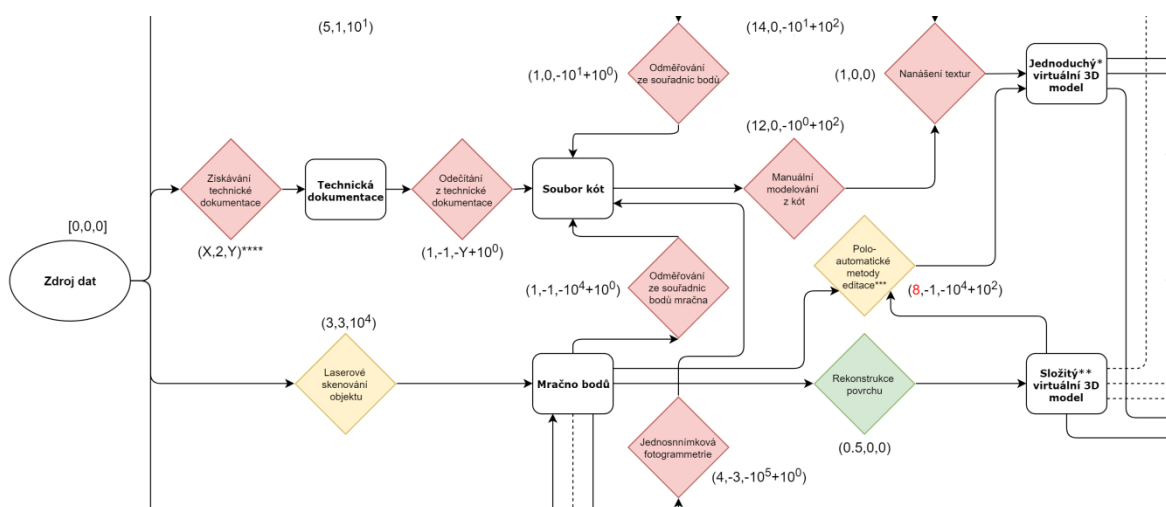


Obr. 4.6 Fyzický 3D model kostela vytištěný na 3D tiskárně (Foto: autor)

Virtuální 3D model se podařilo vytisknout se zachováním veškerých detailů kromě kříže na špičce věže a kříže na střeše kostela, které byly pro 3D tisk příliš tenké. Pro jejich zachování by bylo třeba zvolit jiné měřítko fyzického 3D modelu.

5 Zhodnocení použitých metod a diagram aktivit

Z informací získaných v rámci rešerše a praktické části diplomové práce byl vytvořen diagram aktivit popisující možnosti tvorby a prezentace virtuálních 3D modelů (dále též diagram). Diagram obsahuje všechny zjištěné možnosti, jak z různých typů zdrojových dat získat různé formy prezentace virtuálních 3D modelů. Tento diagram byl vytvořen pro objekt kostela a jeho použití je vhodné pro objekty s podobnými vlastnostmi. Všechny činnosti a mezikroky zobrazené v diagramu jsou ohodnoceny tříprvkovým vektorem *náročnosti činnosti* definovaným: (a, b, c) , kde a je časová náročnost činnosti v hodinách [h], b je změna podrobnosti výsledku činnosti [relativní] a c je změna řádové souborové velikosti výsledku činnosti v kilobajtech [kB]. Hodnoty těchto vektorů byly určeny experimentálně. Hodnoty, které se nepodařilo přesně určit, jsou v diagramu odlišeny červenou barvou textu. Tyto hodnoty byly určeny odhadem autora práce založeným na znalostech o daném tématu. Výřez z diagramu je na obr. 5.1, celý diagram v plném rozlišení se nachází v příloze 2 této práce a na přiloženém CD v adresáři 5 -> *Diagram*. Diagram byl vytvořen v aplikaci *draw.io* (JGraph 2018). Možnost lokální prezentace virtuálních 3D modelů v diagramu není explicitně zobrazena, je zahrnuta v kategorii metod prezentace pomocí webových technologií.



Obr. 5.1 Výřez z diagramu aktivit možností tvorby a prezentace virtuálních 3D modelů

Význam hodnot vektorů:

- **Hodnota časové náročnosti** byla určována jako skutečná doba v hodinách potřebná k provedení dané činnosti autorem práce na modelovém objektu kostela po seznámení se s danou metodou a použitým softwarovým vybavením.

- **Hodnota změny podrobnosti** výsledku činnosti je relativní. Vyjadřuje vzájemný vztah podrobnosti mezi jednotlivými výsledky činností na stupnici 1-4, kde 1 vyjadřuje nejmenší podrobnost a 4 největší podrobnost. Např. fotografie jsou ohodnoceny podrobností 4 a obsahují tedy více informací než mračno bodů, které je hodnoceno podrobností 3.
- **Hodnota změny řádové souborové velikosti** výsledku činnosti vyjadřuje, o kolik byl v kB řádově zvětšen, či zmenšen výstup činnosti oproti jejímu vstupu. Např. hodnota $[-10^4+10^2]$ vyjadřuje změnu souborové velikosti z řádu desítek MB na řád stovek kB. Pro účely určování této hodnoty byly veškeré výsledky, kde to bylo možné, převedeny do společného formátu – OBJ.

Pro lepší orientaci v diagramu byly jednotlivé činnosti rozlišeny barvou výplně symbolu činnosti.

Význam barev výplní činností:

- **zelená barva** – činnost, kterou lze provádět zcela automaticky,
- **žlutá barva** – činnost, která lze částečně automatizovat, ale je zapotřebí též manuálních zásahů,
- **červená barva** – činnost, kterou nelze automatizovat, je třeba ji provést manuálně.

Stylem čáry šipek byly též odlišeny čáry vedoucí od jednotlivých výsledků tvorby virtuálních 3D modelů k jednotlivým formám prezentace. Šipky vedoucí od výsledků, které jsou méně vhodné pro daný typ prezentace, jsou tvořeny přerušovanou čarou. Například data v podobě nezpracovaného mračna bodů lze prezentovat na webu přímo, ale z důvodu redukce datových přenosů je vhodnější data převést do podoby 3D dlaždic.

Vytvořený diagram lze použít pro tři různé úlohy:

- Z požadavku na formu prezentace určit optimální cestu její tvorby a optimální zdroj dat zpětným průchodem diagramu od požadované formy prezentace.
- Určit optimální formu prezentace daného typu zdrojových dat přímým průchodem diagramu od zadaného typu zdrojových dat.
- Ze zadaného typu zdrojových dat určit optimální cestu k požadovanému typu prezentace.

Analýza diagramu probíhá postupným sčítáním vektorů náročnosti činností, přes které je procházeno při průchodu diagramem. Lze tak určit cestu, která bude nejméně časově náročná, která vede k výsledku s nejmenší souborovou velikostí, nebo která vede

k nejpodrobnějšímu výsledku. Záleží na prioritách uživatele a na požadavcích, které bude klást na výsledný virtuální 3D model.

Z diagramu lze například vyčíst, že data pořizovaná laserovým skenováním, nebo fotografováním nabízí nejvyšší míru automatizace procesu a redukce časové náročnosti tvorby virtuálního 3D modelu, výstupem je však zpravidla složitější virtuální 3D model, než při použití manuálních metod. Se složitostí virtuálního 3D modelu pak souvisí vhodnost jeho použití pro prezentaci. Nevýhodou tvorby virtuálních 3D modelů pomocí automatických metod je též častá nekompletnost virtuálních 3D modelů způsobená nekompletností pořízených dat (např. plochy střech nepřístupné pro pozemní laserové skenování). I proto mají manuální metody tvorby virtuálních 3D modelů stále své využití. Jejich výstupem jsou jednodušší virtuální 3D modely vhodnější pro prezentaci. Z diagramu je dále zřejmé, že velký potenciál spočívá v rozvoji metod poloautomatické editace mračna bodů a snižování nutnosti zásahů operátora při použití těchto metod. Pokud se v budoucnu podaří tyto metody plně automatizovat, bude možné tvořit i jednoduché virtuální 3D modely v minimálním čase a s minimálními zásahy operátora.

Praktická ukázka procházení diagramu

Cíl: Zjistit optimální zdroj dat a optimální cestu tvorby jednoduchého virtuálního 3D modelu vhodného pro webovou prezentaci. Hledání optimální cesty bude probíhat zpětným průchodem diagramu od *Prezentace prostřednictvím webových technologií*. K *Prezentaci prostřednictvím webových technologií* vede šipka tvořená přerušovanou čarou od *Složitého virtuálního 3D modelu* a šipka tvořená plnou čarou od *Jednoduchého virtuálního 3D modelu*. Možností vhodnější pro tento typ prezentace je tedy *Jednoduchý virtuální 3D model*. Z toho důvodu bude hledána optimální cesta diagramem vedoucí k *Jednoduchému virtuálnímu 3D modelu*. Pro ilustraci bylo vybráno a porovnáno pět možných průchodů diagramem.

Jednotlivé cesty diagramem:

1. Měření klasickými geodetickými metodami -> 3D souřadnice bodů objektu -> Manuální modelování z 3D souřadnic -> Nanášení textur -> Jednoduchý virtuální 3D model
2. Měření klasickými geodetickými metodami -> 3D souřadnice bodů objektu -> Odměřování ze souřadnic bodů -> Soubor kót -> Manuální modelování z kót -> Nanášení textur -> Jednoduchý virtuální 3D model

3. Získávání technické dokumentace -> Technická dokumentace -> Odečítání z technické dokumentace -> Soubor kót -> Manuální modelování z kót -> Nanášení textur -> Jednoduchý virtuální 3D model
4. Laserové skenování -> Mračno bodů -> Odměřování ze souřadnic bodů mračna -> Soubor kót -> Manuální modelování z kót -> Nanášení textur -> Jednoduchý virtuální 3D model
5. Laserové skenování -> Mračno bodů -> Poloautomatické metody editace -> Jednoduchý virtuální 3D model
6. ...

Výpočet vektorů složitosti jednotlivých cest:

1. $(5,1,10^1) + (14,0,-10^1+10^2) + (1,0,0) = (20,1,10^2)$
2. $(5,1,10^1) + (1,0,-10^1+10^0) + (12,0,-10^0+10^2) + (1,0,0) = (19,1,10^2)$
3. $(X,2,Y) + (1,-1,-Y+10^0) + (12,0,-10^0+10^2) + (1,0,0) = (X+14,1,10^2)$, kde X je doba potřebná k získání technické dokumentace, Y je souborová velikost pořízené technické dokumentace.
4. $(3,3,10^4) + (1,-2,-10^4+10^0) + (12,0,-10^0+10^2) + (1,0,0) = (17,1,10^2)$
5. $(3,3,10^4) + (8,-2,-10^4+10^2) = (11,1,10^2)$
6. ...

Porovnáním výsledných hodnot lze určit nejvhodnější cestu tvorby jednoduchého virtuálního 3D modelu vhodného pro webovou prezentaci. Všemi cestami byl získán virtuální 3D model s podobnou podrobností i souborovou velikostí. U jednotlivých cest se liší pouze čas potřebný k provedení všech potřebných úkonů. V rámci těchto pěti vybraných cest se tedy z důvodu nejmenší časové náročnosti jako nejvhodnější jeví cesta č. 5. a jako vhodný zdroj dat pro tvorbu této prezentace naskenované mračno bodů.

Před rozhodnutím o použití metody, která se po analýze diagramu jeví jako optimální, je třeba zvážit další faktory (např. jestli je vzhledem k poloze objektu možné provést kompletní sběr dat vybranou metodou, nebo jestli je k dispozici potřebné softwarové vybavení). Diagram byl navržen jako rozhodovací pomůcka, ale není vhodné jej používat jako jediné rozhodovací kritérium.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo prozkoumat dostupné možnosti prezentace historických objektů a metody jejich tvorby a navrhnout diagram, jehož analýzou bude možné určit optimální postup pro prezentaci historických objektů v závislosti na typu vstupních dat a požadované formě prezentace.

Nejprve byla provedena rešerše současných možností prezentace historických objektů s využitím moderních technologií a následně proběhl sběr dat potřebných k tvorbě virtuálních 3D modelů zvoleného objektu - kostela Nanebevzetí Panny Marie v Týnci u Klatov. Byly pořízeny čtyři různé soubory vstupních dat. Kostel byl zaměřen klasickými geodetickými metodami, byl pořízen laserový sken, byla získána technická dokumentace a byla pořízena fotodokumentace. Ze získaných dat byly vytvořeny čtyři různé virtuální 3D modely kostela. Virtuální 3D modely z dat získaných klasickými geodetickými metodami a z dat získaných z technické dokumentace byly vytvořeny v programu *SketchUp*, Virtuální 3D model z dat získaných laserovým skenováním byl vytvořen v programu *ReCap* a virtuální 3D model z dat získaných z fotografií byl vytvořen v programu *PhotoScan*. Virtuální 3D modely byly následně prezentovány na lokálním zařízení v programu *Paint 3D* i prostřednictvím internetu v prohlížečích webové aplikaci *Sketchfab* a na virtuálním glóbu *Cesium*. Virtuální 3D model vytvořený z dat získaných klasickými geodetickými metodami byl vytištěn na 3D tiskárně. Z informací získaných rešerší i experimentální tvorbou 3D modelů byl vytvořen diagram aktivit možností tvorby prezentací virtuálních 3D modelů.

Důležitým výstupem z diplomové práce je diagram aktivit, který může přispívat k rozhodování o metodách sběru dat a tvorby 3D modelů pro účely prezentace historických objektů. Tato diplomová práce byla zpracovávána v rámci mé spolupráce na projektu *Peregrinus Silva Bohemica - Multimediální a digitální turistický průvodce pro přeshraniční historické cesty v Bavorském lese a na Šumavě*. Diagram tedy může posloužit např. při rozhodování o metodách sběru dat a tvorby virtuálních 3D modelů pro účely tohoto projektu. Vytvořené 3D modely kostela mohou po úpravě do barokní podoby též posloužit pro účely projektu. Přínosem práce je též popis postupu tvorby vektorových 3D dlaždic pro prezentaci velkého množství dat.

Seznam pramenů

AGISOFT LLC., 2018. *Agisoft PhotoScan Professional, ver. 1.4.2, build 5925 (64 bit)* [software]. [cit. 16. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.agisoft.com/downloads/installer/>.

AirPano, 2018 [online]. [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <http://www.airpano.com/>.

AMAZON, Inc., 2018. *MakerBot Replicator+* [barevná fotografie]. [online]. [cit. 2. 2. 2018]. Dostupné z: https://www.amazon.com/MakerBot-MP07825EU-Replicator/dp/B01LZSUQKL?psc=1&SubscriptionId=AKIAIOIL6HT4RMUFB3AA&tag=pcm_rounduptable-20&linkCode=xml2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=B01LZSUQKL&ascsubtag=8b04deec-7a55-4b9f-b273-2b7db9b50a70.

ARACHCHIGE, Hetti Nalani, PERERA, Sanka, 2014. *Automatic modelling of building façade objects via primitive shapes* [online]. In: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Sv. XL-3. S. 5-7. Zurich, Switzerland [cit. 20. 12. 2017]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/284407390_Automatic_modelling_of_building_facade_objects_via_primitive_shapes.

ARACHCHIGE, Nalani Hetti, PERERA, Sanka Nirodha, MAAS, Hans-Gerd, ed., 2012. *Automatic processing of mobile laser scanner point clouds for building façade detection* [online]. In: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Sv. XXXIX-B5. S. 187-192. Melbourne, Australia [cit. 2. 12. 2017]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/274675282_Automatic_processing_of_mobile_laser_scanner_point_clouds_for_building_facade_detection.

ARJUNAN, Abhijith, N., 2017. *8 Best Photo Stitching Software* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <https://beebom.com/photo-stitching-software/>.

ASPRS, 2013. *LAS specification, version 1.4 – r13*. Bethesda, Maryland. [cit. 20. 5. 2018]. Dostupné z: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf.

AUTODESK, 2018. *ReCap Pro, ver. 4.0 (64 bit)* [software]. [cit. 21. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview>.

BELAI Elena, 2015. *Příprava geografických dat pro 3D tisk podrobného modelu budovy* [online]. Plzeň. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd [cit. 6. 1. 2018]. Dostupné z: https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/PagesDispatcherServlet?pp_destElement=%23ssSouboryStudentuDivld_1415&pp_locale=cs&pp_reqType=render&pp_portlet=souboryStudentuPagesPortlet&pp_page=souboryStudentuDownloadPage&pp_nameSpace=G527192&soubidno=26808.

BLENDER FOUNDATION, 2017. *Blender, ver. 2.79* [software]. [cit. 9. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.blender.org/download/>.

BLIZARD, Brandon, 2014. *The art of Photogrammetry: How To Take Your Photos* [online]. [cit. 18. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/>.

BUTLER, Howard, 2016. *libLas, ver. 1.8.0* [software]. [cit. 17. 5. 2018]. Dostupné z: <https://liblas.org/download.html#download>.

CENTAUR, 2018. *glTF Export, ver. 1.2.1* [software]. [cit. 5. 5. 2018]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/en/content/glTF-exporter>.

CESIUM CONSORTIUM, 2018a. *3D Tiles Point Cloud*. In: *Sandcastle* [software]. [cit. 23. 2. 2018]. Dostupné z: <https://cesiumjs.org/Cesium/Build/Apps/Sandcastle/index.html?src=3D%20Tiles%20Point%20Cloud.html>.

CESIUM CONSORTIUM, 2018b. *Cesium, ver. 1.42* [software]. [cit. 9. 5. 2018]. Dostupné z: <https://cesiumjs.org/downloads/>.

CloudCompare, 2018. *Ver. 2.10.alpha (64 bit)* [software]. [cit. 21. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.cloudcompare.org/>.

CMD, 2013. *Total Station Point Importer, ver. 1.0.1* [software]. [cit. 24. 3. 2018]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/content/total-station-point-importer>.

- COZZI Patrick, 2015. *Introducing 3D Tiles* [online]. [cit. 23. 2. 2018]. Dostupné z: <https://cesium.com/blog/2015/08/10/introducing-3d-tiles/>.
- ČADA, Václav aj., 2012. *Krajina paměti. Drážďany a Terezin jako místa vzpomínek na ŠOA* [online]. [cit. 10. 2. 2018]. Dostupné z: http://www.gepam.eu/?set_language=cs.
- ČINČERA, Marek, 2015. *Prostorová vizualizace zámku Hradiště v Blovicích* [online]. Plzeň. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd [cit. 24. 3. 2018]. Dostupné z: https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/PagesDispatcherServlet?pp_destElement=%23ssSouboryStudentuDivld_1437&pp_locale=cs&pp_reqType=render&pp_portlet=souboryStudentuPagesPortlet&pp_page=souboryStudentuDownloadPage&pp_nameSpace=G530268&soubidno=28289.
- ČINČERA, Marek, KOLOVSKÝ, František, 2016. *RANSAC roof detection and 3D visualization* [online]. [cit. 6. 1. 2018]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~mcincera/agi_sp_final.htm.
- ČÚZK, 2018. *Prohlížeč služba WMS - Ortofoto*. [online]. [cit. 17. 5. 2018]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx.
- ČVUT V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ, 2017 [online]. [cit. 10. 2. 2018]. Dostupné z: <http://gis.fsv.cvut.cz/zamky/>.
- DEGGIM Simon, TSCHIRSCHWITZ, Felix, KERSTEN, Thomas P. 2017. *The Development of a Virtual Museum in Germany* [online]. In: GIM International [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <https://www.gim-international.com/content/article/the-development-of-a-virtual-museum-in-germany>.
- DĚDKOVÁ Pavla, POPELKA Stanislav, 2015. Virtual 3d restoration of an extinct village and its eye-tracking assessment. *Journal of Mobile Multimedia* [online]. Sv. 11. S. 181-192 [cit. 10. 2. 2018]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/db22/a242c20ff726a302152229dafc659034e227.pdf>.
- DICTIONARY.COM UNABRIDGED, 2018. Virtual reality. In: *Dictionary.com* [online]. [cit. 31. 1. 2018]. Dostupné z: <http://www.dictionary.com/browse/virtual-reality>.
- DOSTÁL Jiří, 2009. Multimedia, hypertext and hypermedia teaching aids – a current trend in education. *Journal of Technology and Information Education* [online]. Sv. 1. S. 18-23 [cit. 2. 2. 2018]. Dostupné z: <https://jtie.upol.cz/pdfs/jti/2009/02/03.pdf>.
- DOUBAN, 2012. *Panoramic photography* [online]. [cit. 31. 1. 2018]. Dostupné z: <https://site.douban.com/195886/widget/notes/11812927/note/252569163/>.
- EASY RENDER, 2017. *The Best 3D Modeling Software in 2017* [online]. [cit. 21. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.easyrender.com/rendering-software/the-best-3d-modeling-software-in-2017>.
- ESA, 2017. *Reality check* [barevná fotografie]. [online]. [cit. 31. 1. 2018]. Dostupné z: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/07/Reality_check.
- ESRI, 2016. *Esri CityEngine, ver. 2016.1* [software]. [cit. 6. 1. 2018]. Dostupné z: <http://www.esri.com/software/cityengine/free-trial>.
- FYFE, Paul aj., 2017. *Victoria's Lost Pavilion* [online]. [cit. 13. 2. 2018]. Dostupné z: <https://pavilion.chass.ncsu.edu/homepage-2/>.
- GEOMARES PUBLISHING, 2016. *Augmented Reality Adds Extra Dimension to Intergeo* [online]. In: GIM International [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <https://www.gim-international.com/content/news/augmented-reality-adds-extra-dimension-intergeo>.
- GIGI, Ercan, 2017. *Sites in VR, ver. 8.06* [software]. [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=air.com.ercangigi.sitesin3d&hl=cs>.
- GOOGLE, Inc, 2007. *Street View* [online]. [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/>.
- HAINES Osian, 2016. *An introduction to Simultaneous Localisation and Mapping* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.kudan.eu/kudan-news/an-introduction-to-slam/>.
- CHEKOLE, Solomon, Dargie, 2014. *Surveying with GPS, total station and terrestrial laser skener: a comparative study* [online]. Stockholm, Sweden. Diplomová práce. School of Architecture and the Built Environment. Royal Institute of Technology [cit. 23. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:715829/fulltext01.pdf>.

- INVESTINTECH.COM, Inc., 2012. *4 cool ways to view 3D content in your browser* [online]. [cit. 9. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.investintech.com/resources/blog/archives/2702-4-cool-ways-to-view-3d-content-in-your-browser.html>.
- JANALTA INTERACTIVE Inc., 2018a. Software Framework. In: *Technopedia* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/14384/software-framework>.
- JANALTA INTERACTIVE Inc., 2018b. Application Programming Interface (API). In: *Technopedia* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/24407/application-programming-interface-api>.
- JANALTA INTERACTIVE Inc., 2018c. Software Development Kit (SDK). In: *Technopedia* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/3878/software-development-kit-sdk>.
- JANALTA INTERACTIVE Inc., 2018d. Crowdsourcing. In: *Technopedia* [online]. [cit. 16. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/27816/crowdsourcing>.
- JEDLIČKA Karel, BOBEK Karel, 2005. *Prostorová evidence kulturního dědictví* [online]. [cit. 16. 4. 2018]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/uspesne-ukoncene-projekty/>.
- KHRONOS GROUP, 2018. *g/TF Overview* [online]. [cit. 23. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.khronos.org/gltf/>.
- KRAFT, Caleb, 2016. *Getting Started With VR: The Best Software Tools Are Free* [online]. [cit. 15. 4. 2018]. Dostupné z: <https://makezine.com/2018/04/13/tips-of-the-week-abs-slurry-3d-printing-on-tulle-lego-keychains-and-mondo-for-bondo/>.
- LEICA GEOSYSTEMS AG, 2013. *Leica MS50/TS50/TM50 User Manual Version 1.1.1*. Heerbrugg, Switzerland.
- LEICA GEOSYSTEMS, 2014. *Infinity, ver. 1.1.1* [software]. [cit. 10. 5. 2018]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/total-stations/software/leica-infinity>.
- MAKEPRINTABLE, 2018. *MakePrintable* [software]. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupné z: <https://makeprintable.com/features>.
- MCOR. *Mcor IRIS HD* [barevná fotografie]. [online]. [cit. 26. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.mcor technologies.com/3d-printers/iris/>.
- MICROSOFT, Corporation, 2016. *Paint 3D, ver. 4.2804.23047.0* [software]. [cit. 8. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/paint-3d/9nblqgh5fv99>.
- MLSOVÁ, Ludmila, 2017. *Vědci sestaví interaktivní mapu zaniklých míst Šumavy. Mají na to 22 milionů* [online]. [cit. 16. 4. 2018]. Dostupné z: https://budejovice.idnes.cz/virtualni-mapa-zanikla-mista-sumava-vedci-fg9-budejovice-zpravy.aspx?c=A170615_082939_budejovice-zpravy_khr.
- MORAES, Cicero, 2016. *Comparing 7 photogrammetry systems. Which is the best one?* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <http://arc-team-open-research.blogspot.cz/2016/12/comparing-7-photogrammetry-systems.html>.
- MUGAVE, Babarao, 2017. *Why do 3D printers use a honeycomb structure to print out objects?* [online]. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupné z: https://www.quora.com/Why-do-3D-printers-use-a-honeycomb-structure-to-print-out-objects?utm_medium=organic&utm_source=google_rich_qa&utm_campaign=google_rich_qa.
- NASA *WorldWind*, 2018. [online]. [cit. 23. 2. 2018]. Dostupné z: <https://worldwind.arc.nasa.gov/about/>.
- NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, 2015. *Kostel Nanebevzetí Panny Marie* [online]. [cit. 21. 4. 2018]. Dostupné z: <http://pamatkovykatalog.cz?element=18578010&action=element&presenter=ElementsResults>.
- OLEKSYUK William, SANKEY Eric, 2014. *Comparison of Laser Scanner and Total Station Survey Methods: Analysis of Time and Accuracy for Building Modeling* [online]. [cit. 7. 4. 2018]. Dostupné z: <http://spatialtechnologies.ca/wp-content/uploads/2014/04/Final-Report-by-Will-Oleksuk-and-Eric-Sankey.pdf>.
- OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM, 2012. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard* [online]. [cit. 2. 12. 2017]. Dostupné z: <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.
- PECHANEC, Vilém, KILIANOVÁ, Helena, BRUS, Jan, 2016. *Kulturní dědictví krajiny Arcidiecéze olomoucké - výzkum, prezentace a management* [online]. [cit. 10. 2. 2018]. Dostupné z:

<http://www.geoinformatics.upol.cz/event/kulturni-dedictvi-krajiny-arcidieceze-olomoucke-vyzkum-prezentace-a-management>.

PETTY, Z., LANDRIEU, J., COULAIS, J. F., PÈRE, DE GANAY, C., O., 2014. Space and time scaling issues in data management: the virtual restitution of Cluniac heritage. *Springer* [online]. Sv. 6. S. 71-79 [cit. 2. 12. 2017]. ISSN 1866-9298. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-012-0086-0/fulltext.html>.

RIEHLE, Dirk, 2000. *Framework Design – A Role Modeling approach* [online]. Zürich, Switzerland. Dizertační práce. Swiss Federal Institute of Technology Zurich [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <http://dirkriehle.com/computer-science/research/dissertation/diss-a4.pdf>.

ŘEŠITELSKÝ TÝM PROJEKTU PEREGRINUS SILVA BOHEMICA, 2017. *Peregrinus Silva Bohemica Multimediální a digitální turistický průvodce pro přeshraniční historické cesty v Bavorském lese a na Šumavě* [online]. [cit. 9. 2. 2018]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/aktualni-projekty/peregrinus/>.

SEZNAM.CZ, a.s., 2013. *Panorama* [online]. [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8&pano=1>.

SHAXTED, Matthew, 2016. *cesium_pnt_generator* [software]. [cit. 17. 5. 2018]. Dostupné z: https://github.com/mattshax/cesium_pnt_generator.

SCHMIDT, Joseph, 2018. *8 Best augmented reality SDK for AR development for iOS and Android in 2017* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/>.

SCHREYER, Alexander, C., 2018. *Sketchfab Uploader, ver. 2.4* [software]. [cit. 21. 2. 2018]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/en/content/sketchup-sketchfabcom-uploader>.

SIMLAB SOFT, 2017. *SimLab FBX Importer, ver. 8.0.0* [software]. [cit. 10. 5. 2018]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/pl/content/simlab-fbx-importer-sketchup>.

SIMPLIFY3D, 2018. *Simplify3D, ver. 4.0.1* [software]. [cit. 10. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/>.

SKETCHFAB, Inc., 2018. *Sketchfab* [software]. [cit. 6. 5. 2018]. Dostupné z: <https://sketchfab.com/feed>.

SOLIDIFY 3D, 2017. *Rozdíl mezi ABS, PLA, PETG* [online]. [cit. 10. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>.

THOMASSEN, Thomas, 2014. *Solid Inspector², ver. 2.4.7* [software]. [cit. 21. 2. 2018]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/en/content/solid-inspector%C2%B2>.

TRIMBLE Inc., 2016. *SketchUp Make 2017, ver. 17.2.2555 (64 bit)* [software]. [cit. 6. 1. 2018]. Dostupné z: <https://www.sketchup.com/products/sketchup-free>.

TRIMBLE Inc, 2016. *SketchUp STL - Import and Export STL files for 3D printing, ver. 2.2.0* [software]. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/sv/content/sketchup-stl>.

TRIPOSO, 2017. *Travel Guide, ver. 4.4* [software]. [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/search?q=triposo>.

UNIVERSITY OF READING, 2018. *Dr Matthew Nicholls: Virtual Rome* [online]. [cit. 13. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.reading.ac.uk/classics/Classics2017/classics-matthew-nicholls-story.aspx>.

Vatican.com, 2013. [online]. [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: vatican.com.

VĚDECKOTECHNICKÝ PARK UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI, 2018. *TouchIt-3D* [online]. [cit. 10. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.touch-it-3d.com/>.

THE VERGE, 2018. *Virtual reality* [online]. [cit. 31. 1. 2018]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/a/virtual-reality/>.

VIDANOVSKI, Mitko, 2015. *Autodesk ReCap File Formats – Which, Where & How?* [online]. [cit. 21. 4. 2018]. Dostupné z: <https://forums.autodesk.com/t5/recap-forum/autodesk-recap-file-formats-which-where-amp-how/td-p/5719928>.

VISUAL COMPUTING LAB, ISTI, CNR, 2016. *MeshLab 2016, ver. 2016.12* [software]. [cit. 24. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.meshlab.net/#download>.

VÚGTK, 2017a. 3D tisk. In: *Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2. 12. 2017]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=7362&l=3d-tisk.

VÚGTK, 2017b. Rozšířená realita. In: *Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2. 12. 2017]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=7528&l=rozsirena-realita-.

VÚGTK, 2017c. 3Dmodel. In: *Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2. 12. 2017]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=7521&l=3d-model.

VÚGTK, 2018. Laserové skenování. In: *Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 23. 2. 2018]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=5529&l=laserove-skenovani.

WARD, Jeff, 2008. *What is Game Engine* [online]. [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: https://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game_php.

YouVisit, 2010 [online]. [cit. 7. 1. 2018]. Dostupné z: <https://www.youvisit.com/>.

JGRAPH, Ltd, 2018. *draw.io, ver. 8.6.4* [software]. [cit. 15. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.draw.io/>.

Přílohy

Příloha 1: Struktura přiloženého CD

Adresáře na přiloženém CD jsou pojmenované čísly kapitol této práce, ke kterým se jejich obsah vztahuje. Pro lepší orientaci jsou v následující struktuře uvedeny názvy kapitol v závorkách.

Text diplomové práce ve formátu PDF *Diplomová práce.pdf*

3 (Tvorba virtuálních 3D modelů)

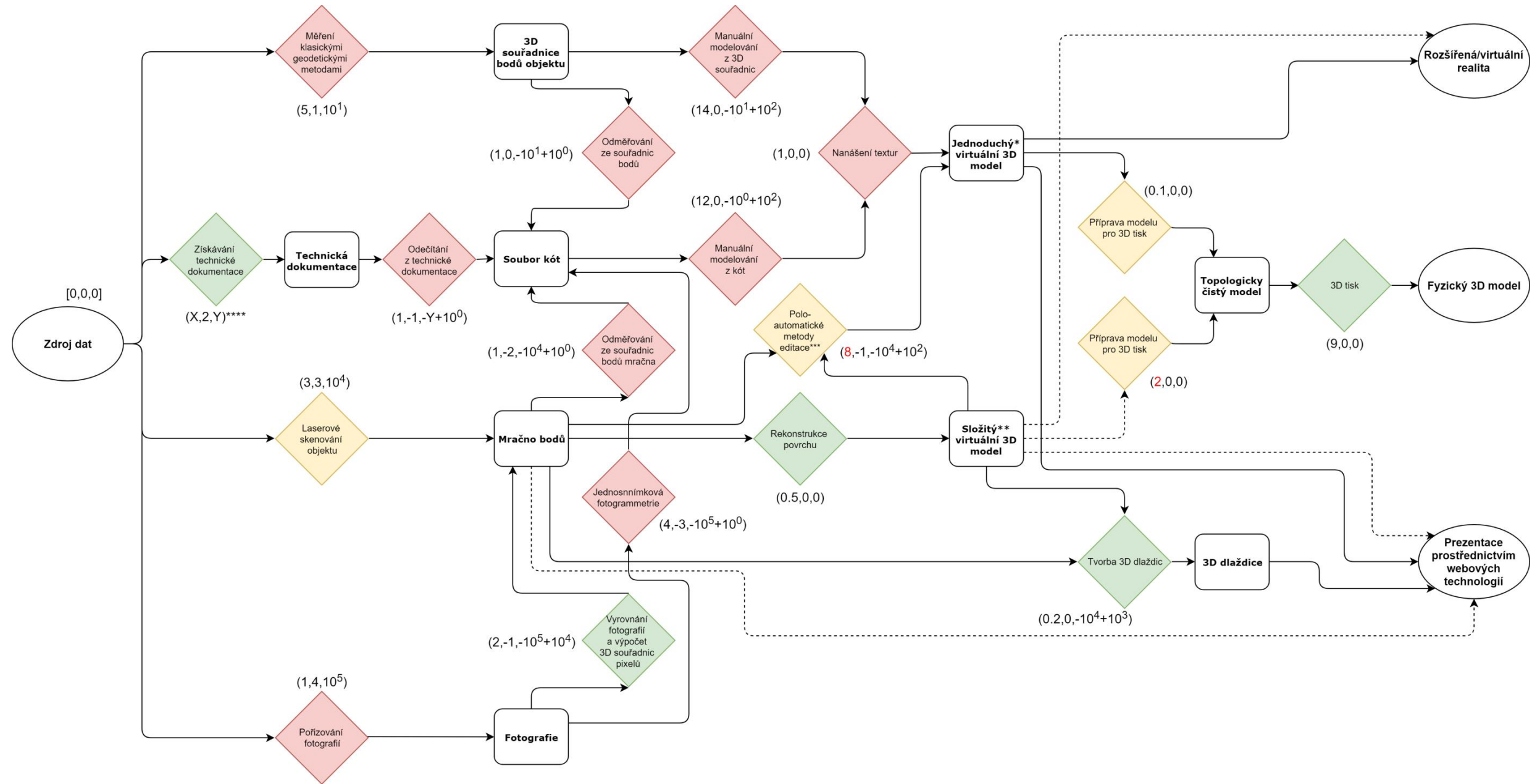
- **3.1 (Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných geodetickým měřením)**
 - **Měření GNSS**
 - protokol o měření GNSS Protokol o měření GNSS.rw5
 - soubor se souřadnicemi bodů získaných metodou GNSS Souřadnice získané pomocí GNSS.stx
 - **Podrobná měření**
 - Seznam souřadnic stanovisek a souřadnic zaměřených podrobných bodů *Seznam souřadnic.txt*
 - prvotní nezpracovaná data geodetického měření Zápisník měření.txt
 - projekt programu *SketchUp* s finální podobou virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných klasickými geodetickými metodami *Týnec_model_z_totální_stanice.skp*
- **3.2 (Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných laserovým skenováním)**
 - soubor s prvotním nezpracovaným mračnem bodů *Týnec_sken.e57*
 - projekt programu *ReCap Photo* s finální podobou virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných laserovým skenováním *Týnec_model_z_laserového_skenování.rcm*
- **3.3 (Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných z fotografií)**
 - **Fotografie** – originální fotografie použité pro tvorbu virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných z fotografií
 - soubor se souřadnicemi *markerů* použitých pro tvorbu virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných z fotografií *Markery.txt*
 - použité pro tvorbu virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných z fotografií
 - archiv s projektem programu *PhotoScan* s finální podobou virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat z fotografií *Týnec_model_z_fotografií.zip*
- **3.4 (Tvorba virtuálního 3D modelu z dat získaných z technické dokumentace)**
 - **Plány** – obsahuje jednotlivé soubory technické dokumentace
 - projekt programu *SketchUp* s finální podobou virtuálního 3D modelu vytvořeného z dat získaných z technické dokumentace *Týnec_model_z_technické_dokumentace.skp*

4 (Prezentace virtuálních 3D modelů kostela)

- **4.1 (Prezentace virtuálních 3D modelů na lokálním zařízení)** – obsahuje soubory s jednotlivými virtuálními 3D modely použitými pro lokální prezentaci.
- **4.2 (Prezentace virtuálních 3D modelů na webu)**
 - **Soubory modelů** – obsahuje soubory s jednotlivými virtuálními 3D modely použitými pro prezentaci na webu
 - soubor s odkazy na jednotlivé webové prezentace *Odkazy na webové prezentace modelů.txt*

- **3DTiles_viewer** – adresář se skripty umožňujícími prezentaci vytvořených 3D dlaždic kostela pomocí webového prohlížeče
 - **4.3 (Prezentace virtuálního 3D modelu pomocí 3D tisku)**
 - soubor s virtuálním 3D modelem pro tisk *Týnec_model_z_totální_stanice.stl*
- 5 (Zhodnocení použitých metod a diagram aktivit)**
- **OBJ** – adresář obsahující soubory virtuálních 3D modelů ve formátu OBJ
 - soubory s diagramem aktivit *Diagram.xml, Diagram.pdf*
- Obrázky** - Obsahuje soubory s obrázky použitými v textu práce.

Příloha 2: Diagram aktivit



*Jednoduchým virtuálním 3D modelem se rozumí virtuální 3D model tvořený minimálním počtem ploch/vrcholů potřebných pro zachování požadovaného detailu (pro objekt kostela řádově tisíce ploch/vrcholů).

**Složitým virtuálním 3D modelem se rozumí virtuální 3D model tvořený nadbytečným (vzhledem k požadované úrovni detailu) počtem ploch/vrcholů (pro objekt kostela řádově statisíce až miliony ploch/vrcholů).

***Poloautomatickými metodami editace se rozumí např. RANSAC detekce segmentů koplanárních bodů, rozpoznávání geometrických primitiv na fasádě objektu apod. a následné manuální dotváření.

****X je doba potřebná k získání technické dokumentace, Y je souborová velikost technické dokumentace. X a Y nelze určit s odpovídající přesností.