

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**PROMĚNY ŠANTOVKY A OKOLÍ OD
18. STOLETÍ PO SOUČASNOST S VYUŽITÍM
GEOINFORMATICKÝCH METOD**

Bakalářská práce

Aneta PROKOPIČOVÁ

Vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.

Olomouc 2015

Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá tvorbou a vizualizací 3D modelů historických i soudobých objektů, nacházejících se v lokalitě současného obchodního centra Galerie Šantovky v Olomouci v období od 18. století.

Úvod práce je věnován popisu historického vývoje zájmového území a rešerši zaměřené na možnosti virtuální 3D rekonstrukce a digitální 3D dokumentace archeologických nálezů a zaniklých objektů. Hlavním cílem praktické části práce byla 3D rekonstrukce jižní části tereziánské bastionové pevnosti, tzv. Přední pevnůstky, dále bývalého průmyslového závodu MILO Olomouc a tvorba 3D modelu samotného obchodního centra. Důležitou součástí bylo využití fotogrammetrické terénní dokumentace záchranného archeologického výzkumu pro tvorbu 3D modelů reliktních pevnostních zdí. Během tvorby 3D výstupů byla uplatněna kombinace fotogrammetrických metod a 3D modelování. Zpracování proběhlo v softwaru PhotoScan a SketchUp.

Text práce podrobně popisuje postup práce od prvotního sběru dat ve formě dobových plánů, leteckých snímků a obrazových materiálů, přes jejich úpravu a zpracování do podoby konečných výstupů, až po jejich vizualizaci.

Výsledky v podobě řady 3D modelů jsou prezentovány ve vlastní webové aplikaci, k jejímuž sestavení byla zvolena JavaScriptová knihovna Cesium. Díky technologii WebGL je aplikace dostupná prostřednictvím webového prohlížeče.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D model; fotogrammetrie; PhotoScan; SketchUp; virtuální glóby

Počet stran práce: 50

Počet příloh: 11 (z toho 1 volná)

ANOTATION

The bachelor thesis deals with creation and visualization of 3D models of historical and contemporary objects, located in the place of the current shopping centre Galerie Šantovka in Olomouc since the 18th century.

The introduction is devoted to description of the historical development of the area of interest and a literature search focused on the possibilities of 3D virtual reconstruction and digital 3D documentation of archaeological excavations and extinct buildings. The practical part of this work aims at 3D reconstruction of the southern part of the Theresian bastion fortress called "Přední pevnůstka", next former industrial concern MILO Olomouc and the creation of 3D model of the Galerie Šantovka shopping centre. An important part was the usage of photogrammetric terrain documentation of the archaeological research for the creation of 3D relicts of the fortress walls. The combination of photogrammetry and 3D modelling methods was used to create 3D outputs. The processing was done in PhotoScan and SketchUp software.

The text closely describes the workflow from the initial data collection in the form of historical plans, aerial photographs and pictorial materials over their editing and processing into final outputs, up to their visualization.

Results in the form of a series of 3D models are presented in a compiled web application which was created by using Cesium JavaScript library. The application is accessible through a web browser thanks to WebGL technology.

KEYWORDS

3D model; photogrammetry; PhotoScan; SketchUp; virtual globe

Number of pages: 50

Number of appendixes: 11

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- беру на вѣдомі, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Aneta Prokopičová

podpis autora

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakubovi Miřijovskému, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce. Za poskytnuté materiály děkuji územnímu odbornému pracovišti Národního památkového ústavu v Olomouci, společnosti Archaia Olomouc o. p. s. a Vojenskému geografickému a hydrometeorologickému úřadu v Dobrušce. Také bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu během studia.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONTU)

Jméno a příjmení: **Aneta PROKOPICHOVÁ**
Osobní číslo: **R12357**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **Proměny Šantovky a okolí od 18. století po současnost s využitím geoinformatických metod**
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

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

Cílem práce je vytvořit online aplikaci s 3D modelem lokalit Šantovka v období od konce 18. století do současnosti. Studentka na základě dobových plánů, historických fotografií a plánů současných stavů areálu Šantovka vytvoří 3D modely jednotlivých budov a okolních povrchů. K práci využije fotogrammetrické metody a 3D modelování. Studentka zpracuje dle úkolu:
1. ve spolupráci s archeology vyhledá a zdigitizuje dobové plány areálu Šantovka.
2. vytvoří 3D modely objektů se správnou vizualizací.
3. vytvoří online aplikaci k prohlížení vytvořených modelů.
Studentka vyplní údaje o všech datových sádkách, které vytvořila nebo získala v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně zvláštní udáji ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojové a vytvořené data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vytvořenými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O bakalářské práci studentka vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupným na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Vozenilek (2002). Práce bude sepsána podle schématu pro bakalářské a magisterské práce na KČL.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **max. 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tisková**
Seznam odborné literatury:

- Pavelka, K. (2002). Fotogrammetrie 10, 2. přeprac. vyd. Praha: FSV ČVUT, 198 s.
- Jedlička, K., Hájek, P., Čerha, O. Experience with Methods of 3D Cartography Gained During Visualisation of Detailed Geographic Data for Purposes of Documenting Cultural Heritage (Case Study of the Castle Kozel).
- Koutsoulis, A., Arnaoutoglou, F., Chantzis, C. On 3D reconstruction of the old city of Xanthi: A minimum budget approach to virtual touring based on photogrammetry. Journal of Cultural Heritage, 2007, 8(1), 26-31.
- Remondino, F., El-hakim, S., Gironi, S., et al. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures-The "3D-ARCH" Project. In Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH: Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures", 2009, 2009.
- Brychtova, A. Popelka, S. 2011. Visualization of Spatio-Temporal Changes of The Olomouc City. In Proceedings of the 6th International Workshop Digital Approaches to Cartographic Heritage, Haag, Netherlands 2011.
- Technická dokumentace k programu Agisoft Photoscan a SketchUp.
- VOZENILEK, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Jakub Mřígajský, Ph.D.**
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: **30. června 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2015**

Prof. RNDr. Ing. Jaroslav ČS, Ph.D.
děkan

L.S.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOINFORMATIKY
17. listopadu 50, 771 46 Olomouc
ČR

Prof. RNDr. Ing. Jaroslav ČS, Ph.D.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 30. června 2014

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 CÍLE PRÁCE.....	10
2 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	11
2.1 Historický vývoj.....	11
3 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	13
3.1 Použitá data	13
3.2 Použité programy	14
3.3 Postup zpracování.....	14
4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	16
4.1 Fotogrammetrie.....	16
4.1.1 Vicesnímková fotogrammetrie	16
4.1.2 Fotogrammetrie v archeologii	19
4.2 Virtuální 3D modely.....	21
4.2.1 3D rekonstrukce měst.....	21
4.2.2 3D rekonstrukce kulturních památek.....	23
4.3 Virtulání 3D glóby.....	25
5 ZÁKLADY PŘEDNÍ PEVNŮSTKY	26
5.1 Vstupní data	26
5.2 Tvorba 3D modelů.....	26
6 PŘEDNÍ PEVNŮSTKA.....	30
6.1 Vstupní data	30
6.1.1 Raportní plány	30
6.1.2 Obrazová data.....	32
6.2 Tvorba 3D modelů.....	33
7 MILO OLOMOUC.....	35
7.1 Vstupní data	35
7.1.1 Letecké snímky	35
7.1.2 Obrazová data.....	37
7.2 Tvorba 3D modelů.....	38
8 GALERIE ŠANTOVKA	40
8.1 Vstupní data	40
8.2 Tvorba 3D modelu.....	40
9 WEBOVÁ APLIKACE	42
10 VIDEOANIMACE	44
11 VÝSLEDKY	45
12 DISKUZE.....	47
13 ZÁVĚR	49
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
API	Application Programming Interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAD	Computer Aided Design
COLLADA	COLLABorative Design Activity
CZML	Cesium Language
DPI	Dots Per Inch
Esri	Environmental System Research Institute
GIS	geografický informační systém
glTF	OpenGL Transmission Format
HD	high definition
HTML	HyperText Markup Language
JPEG	Joint Picture Experts Group
JSON	JavaScript Object Notation
KML	Keyhole Markup Language
LMS	letecký měřický snímek
MILO	Mährische Industrie für Lebensmittel Olmütz
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OSGeo	Open Source Geospatial Foundation
PDF	Portable Document Format
PNG	Portable Network Graphic
RGB	Red Green Blue
RMSE	Root Mean Square Error
SDK	Software Development Kit
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TIFF	Tag Image File Format
TMS	Tile Map Service
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VRML	Virtual Reality Modeling Language
WebGL	Web Graphics Library
WGS 84	World Geodetic System 1984
WMS	Web Map Service
WMTS	Web Map Tile Service

ÚVOD

Olomoucká Galerie Šantovka je dnes již známým obchodním centrem. Denně se zde ať už za nákupy či zábavou vydají tisíce lidí. Ne každý z nich však tuší, že před dvě stě lety se na tomto místě nacházela část tereziánského opevnění, chránící město před útoky nepřátelských vojsk nebo že se zde o několik desítek let později v závodu MILO Olomouc vyráběly mýdla, margarín či kosmetika. Trojrozměrná rekonstrukce historického stavu nejrůznějších objektů se stala předmětem zájmu mnoha vědních oborů a například v archeologii, stavitelství, památkové péči nebo cestovním ruchu je dnes již běžnou záležitostí. Málokdy však dochází ke srovnání historické podoby se současnou (Brychtová a Popelka, 2011b).

3D modelování je aktivním tématem výzkumu v oblasti počítačového vidění, grafiky a digitální fotogrammetrie už mnoho let. V závislosti na použitých technologiích a metodách se digitální 3D modely rozčlenily do dvou kategorií. Na jedné straně jsou to modely získané manuálním kreslením v CAD (Computer Aided Design) systémech. Na straně druhé, v současné době stále populárnější 3D modely, vytvářené ve specializovaných softwarech, jež umožňují plně automatizované fotogrammetrické zpracování digitálních fotografií a generování fotorealistických 3D modelů. V některých případech dochází i ke kombinování obou přístupů. Škála těchto specializovaných softwarů je v současnosti široká a zahrnuje jak volně dostupné webové aplikace (Hypr3D, Autodesk 123D Catch), tak komerční softwary, jako například Agisoft PhotoScan nebo PhotoModeler Scanner (Marčíš, 2013). Tento typ softwaru je vhodným řešením v případě modelování velmi složitých objektů, ať už architektonicky propracovaných staveb či archeologických vykopávek a stává se tak efektivním nástrojem pro jejich dokumentaci a rekonstrukci.

Ačkoliv existuje spousta možností jak prostorová data v podobě 3D modelů vizualizovat, velké množství z nich zůstává často nevyužito. Modely bývají sdíleny ve specializovaných internetových knihovnách 3D modelů nebo prohlíženy ve 3D prohlížečkách. Bohužel ale postrádají jakoukoliv vazbu na prostředí, ve kterém se ve skutečnosti nachází. Tento nedostatek lze stejně jako v případě této práce řešit vizualizací ve virtuálních glóbech nebo použitím podkladových mapových vrstev. Práce má za úkol využít prostředků virtuální 3D vizualizace k prezentaci vývoje lokality Šantovky a umožnit tak nahlédnout do historie tohoto místa.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vytvořit webovou aplikaci s 3D modely objektů lokality Šantovka, znázorňující období od konce 18. století do současnosti. Součástí práce je vyhledání vhodných podkladových materiálů v podobě dobových plánů, historických fotografií a plánů současného stavu areálu Šantovka. Jedním z hlavních cílů je vytvoření 3D modelů jednotlivých budov a objektů s využitím fotogrammetrických metod a 3D modelování. Modelovány budou následující objekty:

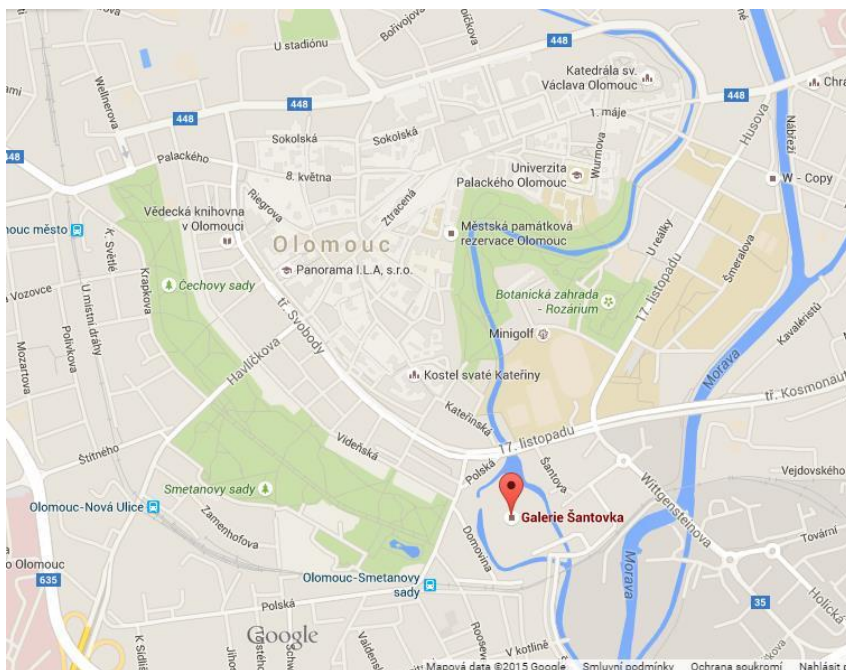
- konstrukční základy Přední pevnůstky,
- Přední pevnůstka (polovina 18. století),
- Přední pevnůstka (1. polovina 19. století),
- bývalý průmyslový závod MILO Olomouc (20. století),
- obchodní centrum Šantovka (rok 2015).

Dílčím úkolem je úprava a zpracování zajištěných podkladových materiálů, nezbytných pro uskutečnění další práce. Dobové i současné plány a letecké snímky budou digitalizovány a převedeny do souřadnicového systému, jenž odpovídá korektní vizualizaci ve webové aplikaci.

Výsledná webová aplikace umožní prohlížení vytvořených 3D modelů. Bude tak možné interaktivně sledovat vývoj, k němuž v zájmovém území došlo během posledních tří století. V závěru budou o bakalářské práci vytvořeny internetové stránky.

2 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

V hlavním zájmu celé této práce je území, kde v současné době stojí nově vybudované obchodní centrum Galerie Šantovka. Tato lokalita se nachází ve středu města Olomouce, jihovýchodně od městské památkové rezervace na ploše o rozloze 4,6 hektarů. Místo je specifické svým umístěním na tzv. „ostrově“ mezi Mlýnským potokem a jeho pravým ramenem. Ostrov je tvořen fluviálními písčitémi a jílovitými usazeninami a pozdějšími novověkými hlinitými navážkami (Kováčik, 2012).



Obr. 1 Lokalizace zájmového území (zdroj: <https://www.google.cz/maps>).

2.1 Historický vývoj

Součástí města se toto území stalo až v polovině 18. století při stavbě Bastionové pevnosti. Hrozící nebezpečí válečného konfliktu podnítilo Marii Terezií k rozhodnutí realizovat takto rozsáhlý obranný plán. Na základě konceptu plukovníka Pierra Philippa Bechade de Rochepina tak v Olomouci v letech 1742 až 1757 vznikl systém bastionového opevnění (Muzeum Olomoucké pevnosti, 2013).

Velmi zranitelný cíp v jižní části opevnění byl zpevněn soustavou pevnůstek obklopených vodním příkopem, který bylo v případě nebezpečí možné díky soustavě jezů a propustí naplnit vodou. Přímou na tzv. „ostrově“, který právě díky jezu na řece Moravě dodnes leží, stávala takzvaná Přední pevnůstka, v historických plánech označovaná jako Vorwerk XXXVVVIII (Poláček, 2013). Pevnost svůj účel splnila hned rok po dokončení stavby (rok 1758) při obraně proti pruské armádě. V důsledku rychlého rozvoje dělostřelectva a pevnostního inženýrství se tereziánská bastionová pevnost již na počátku 19. století stala zastaralou a nespolehlivou. V případě možného útoku by opevnění nebylo schopné novým technikám boje potencionálního protivníka odolat. Rekonstrukce pevnosti byla tudíž nevyhnutelná (Muzeum Olomoucké pevnosti, 2013). Zdi Přední pevnůstky byly slabé, nízké a neposkytovaly dostatečné vzájemné krytí jednotlivých objektů. V rámci jejich vylepšení bylo požadováno zesílení konstrukce a kasematování. Přední pevnůstka tak již ve 30. letech 19. století, jako jedna z prvních částí pevnosti, prošla rozsáhlou rekonstrukcí (Viktořík, 2011).

Roku 1850 uvedl podplukovník Julius Von Wurmb nový projekt fortové pevnosti. V letech 1851–1876 tak mohla začít přestavba bastionové pevnosti na pevnost fortovou s fortovým věncem, umístěným v poměrně velké vzdálenosti od centra města. Současně již docházelo k postupnému rušení některých částí bastionového opevnění a pokračovalo v různé míře až do 70. let 20. století. Výstavba fortů se však nedokončila. Roku 1886 byla podle nařízení císaře Františka Josefa I. olomoucká pevnost zrušena, což byl zásadní krok, jenž přispěl k následnému rozvoji města (Muzeum Olomoucké pevnosti, 2013).

Následovala éra průmyslového závodu MILO, známého jako Moravský potravinářský průmysl Olomouc (Mährische Industrie für Lebensmittel Olmütz). Jeho historie započala v Prostějově roku 1870, kde židovská rodina Heikornů začala podnikat s lihem a curkem. V Olomouci pak firma působila od roku 1896. Závod rodina Heikornů umístila jižně od historické části centra města. Převážná část továrních budov, byla vystavěna v prostoru mezi řekou Moravou a Mlýnským potokem. Po první světové válce závod přešel k výrobě hořčice a octa. Rodinná firma prosperovala, postupně tak byla produkce rozšířena o výrobu jedných tuků, olejů, maragrínů, mýdla a pracích prášků. Roku 1942 došlo k pozměnění názvu na MILO-WERKE s.r.o. Během druhé světové války byl závod využíván německou armádou. Boji, ke kterým došlo během druhé světové války, byla továrna nenávratně poničena. Od roku 1960 se MILO opět rozvíjelo a výroba byla přeorientována na nové technologie a výrobu kosmetiky. Finanční důvody a poškození budov povodněmi vedly roku 2001 k ukončení výrobní činnosti (Šantovka, 2010).



Obr. 2 Dobová fotografie závodu MILO Olomouc (zdroj: Zemský archiv v Opavě, pobočka Olomouc, fond MILO závody, s. s r. o.).

Současným vlastníkem areálu je společnost SMC Development a.s. Ta během roku 2008 a 2009 provedla rozsáhlou demolicí továrních budov, sanaci celého areálu a jako investor projektu Šantovka se zasloužila o vybudování moderního obchodního centra (Šantovka, 2010). Součástí byla i realizace nové tramvajové zastávky a tratě, spojující ulici 17. listopadu se čtvrtí Nové Sady na jihu Olomouce. Díky výstavbě pěší lávky bylo umožněno snadné pěší spojení obchodního centra s centrem města. Došlo také k odstranění kontaminované zeminy, archeologickému výzkumu, úpravě břehů koryta řeky, výsadbě stromů a keřů a k obnovení funkce lokálního biokoridoru (Oznámení EIA, 2008).

3 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Tato kapitola přináší stručný přehled všech použitých dat a materiálů spolu s uvedením způsobu, jakým byly získány a zpracovány. Součástí jsou základní informace o využitých programových prostředcích a v poslední řadě nastíněn postup zpracování.

3.1 Použitá data

Jelikož cílem práce byla tvorba 3D modelů jak současných objektů, tak zejména objektů již neexistujících, bylo k práci nutné využít hned několik různých zdrojů dat. Pro vytvoření 3D modelu je třeba znát jeho rozměry, vzhled a prostorové umístění. Tato fakta byla brána v potaz při hledání dostupných materiálů.

Důležitým zdrojem dat, vztahujícím se k období 18. a 19. století, bylo územní odborné pracoviště Národního památkového ústavu v Olomouci. Po konzultaci s odborným pracovníkem Mgr. Richardem Zatloukalem Ph.D., byla pro účely této práce poskytnuta sada dvaceti Pevnostních plánů Olomouce z období od roku 1752 do roku 1842 a včetně výkresů jednotlivých částí pevnosti. Tyto mapy a plány objevil a naskenoval PhDr. Pavel Michna v Rakouském státním archivu, pobočce Válečného archivu ve Vídni, v rámci svého grantu roku 1999. K nastudování problematiky posloužily zejména knihy Táborová pevnost Olomouc (Viktořík, 2011) a Pevnost Olomouc (Kuch-Breburda a Kupka, 2003).

Dále bylo využito snímků a fotogrammetrického zaměření reliktní zdi pevnosti, jež byly v dubnu 2012 odkryty při záchranném archeologickém výzkumu společností Archaia Olomouc o.p.s. Fotografická dokumentace byla pořízena pomocí digitálních zrcadlových fotoaparátů NIKON D5100, Canon EOS 400D a Canon EOS 500D. Totální stanicí Pentax se podařilo zaměřit polohové a výškové souřadnice uměle vytvořených vřícovacích bodů. Zachytit jednotlivé objekty z výšky bylo možné díky vysokozdvížečné plošině. Na dokumentaci se kromě odborných pracovníků společnosti podílel také pracovník katedry geoinformatiky, RNDr. Jakub Mířijovský, Ph.D.

Při hledání materiálů, týkajících se podniku MILO Olomouc byla navštívena olomoucká pobočka Zemského archivu v Opavě. Ve fondu MILO závody, s. s. r. o. Olomouc byl však nalezen pouze stavební plán jedné z budov, fotografie této stavby a několik polohopisných plánů z období před rokem 1945. Úspěšnější nebyla ani návštěva fotoarchivu Vlastivědného muzea v Olomouci. Zde byla nalezena pouze jedna fotografie části areálu. Kvalitním zdrojem materiálů pro tvorbu budov závodu se staly internetové stránky projektu Šantovka (<http://www.smcdevelopment.cz/>), kde jsou přístupné šikmé letecké snímky areálu z roku 2006 a fotografie z demolice budov, která proběhla na jaře roku 2009.

Jako podkladová data pro lokalizaci budov závodu MILO byly použity letecké měřické snímky (LMS), poskytnuté katedrou geoinformatiky. Tyto snímky byly poskytnuty Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem v Dobrušce. Časové rozmezí sady deseti leteckých snímků odpovídá 79 let.

K vytvoření 3D modelu současného komplexu Galerie Šantovky byly použity letecké snímky, pořízené pracovníkem katedry geoinformatiky, RNDr. Jakubem Mířijovským, Ph.D. Snímkování proběhlo na jaře roku 2015 pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Canon EOS 500D. Dalším zdrojem dat byla vlastní fotografická dokumentace objektu.

3.2 Použité programy

Vytváření 3D modelů probíhalo ve dvou softwarech. Prvním z nich je Agisoft PhotoScan Professional 1.0.4. od ruské společnosti Agisoft, v němž byly zpracovány trojrozměrné modely konstrukčních základů Přední pevnůstky. PhotoScan umožňuje automatické fotogrammetrické zpracování digitálních fotografií a generování 3D modelů či ortofotosnímků. Generování modelů v programu PhotoScan funguje na principu Structure from Motion. Díky kombinaci metod průsekové fotogrammetrie a stereofotogrammetrie umožňuje PhotoScan pracovat se snímky s rovnoběžnými i konvergentními osami záběru (Šimíček, 2014). Program je k dispozici ve dvou verzích, Professional a Standard, které jsou placené. Demo a plně funkční třicetidenní trial verze jsou zdarma. Velkou výhodou je automatická kalibrace a export do široké škály běžné používaných formátů.

K vytváření 3D modelů samotných budov a objektů byl použit program SketchUp od společnosti Trimble, jakožto silný a jednoduchý nástroj pro 3D modelování. SketchUp je volně dostupný a kromě tvorby vlastních 3D modelů, umožňuje i jejich sdílení ve veřejné knihovně 3D objektů – 3D Warehouse. Pro účely prvotní části práce s 3D modely byla použita starší verze SketchUp 7. Ta umožňuje zobrazení aktuálního pohledu z Google Earth i s vlastní importovanou podkladovou vrstvou. Těto funkce bylo využito pro přesnou prostorovou lokalizaci a určení rozměrů půdorysů dobových staveb. V této softwarové verzi je však možný export pouze do formátu KMZ, a proto byla v závěrečné fázi práce použita novější verze SketchUp Make 2014, schopná exportu do formátu COLLADA (COLLABorative Design Activity).

Před samotným zpracováním leteckých měřických snímků byla nutná jejich úprava. Ta probíhala v programu Zoner Photo Studio 14, určenému ke správě fotografií. Transformace plánů a LMS do požadovaného souřadnicového systému probíhala pomocí nástroje *Georeferencing* a funkce *Rectify* v programu ArcGIS for Desktop 10.2 od firmy Esri (Environmental System Research Institute). Aplikaci MapTiler byla podkladová data přetransformována do dlaždic a umožněno jejich online publikování.

Pro výslednou vizualizaci bylo zvoleno prostředí virtuálního glóbu Cesium a celá aplikace byla vytvořena s využitím textového editoru PSPad a prostředí WampServer. Tvorba animačního výstupu byla realizována nástroji softwaru SketchUp Make 2014 a Windows Movie Maker 2012.

3.3 Postup zpracování

V první řadě bylo důležité nastudovat literaturu a odborné práce, zabývající se virtuální 3D rekonstrukcí a digitální 3D dokumentací archeologických nálezů a zaniklých objektů. Poté proběhlo seznámení se softwarem PhotoScan, později použitým ke generování modelů ze snímků. Nezbytnou součástí příprav k samotnému řešení byl sběr dat. Jelikož z větší části se tato práce týká historických objektů, bylo potřeba navštívit odborná pracoviště, ve kterých jsou podobné materiály uloženy, tedy muzea, archivy a ústavy památkové péče.

Jako první byla k dispozici podkladová data potřebná k vytvoření 3D modelů konstrukčních základů Přední pevnůstky. Data ve formě snímků a textových souborů se souřadnicemi vřícovacích bodů bylo nutné nejprve roztřídit. Dalším krokem byla transformace souřadnic z původního systému S-JTSK (Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální) do systému WGS 84 (World Geodetic System 1984). Poté následovala fáze generování jednotlivých 3D modelů spolu s odpovídajícími ortofotosnímky.

Další část práce zahrnovala výběr podkladových dat. Z poskytnutých sad Pevnostích plánů Olomouce a LMS byly vybrány takové, které zachycovaly určitý časový vývoj v rámci zájmové lokality. Dalším kritériem výběru byla kvalita a detailnost dat. Vybrané LMS byly oříznuty, z důvodu snížení výpočetní náročnosti pro další zpracování a upraven jejich histogram. V následujícím kroku byly snímky i dobové plány georeferencovány a převedeny do souřadnicového systému WGS 84. Aby bylo možné takto upravená data použít v programu SketchUp jako podkladovou vrstvu, musel prostřednictvím aplikace MapTiler proběhnout převod do formátu KML (Keyhole Markup Language) a následný import do Google Earth.

V programu SketchUp tak byly vytvořeny dva modely představující část Bastionové pevnosti a dva modely podniku MILO Olomouc z různých časových období. Dále byl v programu Photoscan ze série leteckých snímků vygenerován jednoduchý model současného obchodního centra Šantovky, na základě kterého byl po odměření skutečných rozměrů a výšek vytvořen v prostředí SketchUp model detailnější.

V neposlední řadě byla sestavena webová aplikace pomocí JavaScriptové knihovny Cesium. Závěrem byla vytvořena jednoduchá videoanimace, představující vývoj lokality v čase.

4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Tvorba trojrozměrných modelů je dnes široce rozšířeným trendem, který nachází využití v mnoha oborech od archeologie, stavitelství až po lékařství či filmový průmysl. 3D modelování je významným nástrojem dokumentace a rekonstrukce jak současných, tak především historických objektů. Způsobů, jakými lze 3D modely vytvářet je několik. Ať už jde o modelování v CAD softwarech na základě podrobných stavebních plánů či modelování pomocí metod průsekové fotogrammetrie a stereofotogrammetrie. Řeč je zde i o metodách, využívajících k tvorbě 3D výstupů nejmodernější poloautomatizované softwarové prostředky.

4.1 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu (Pavelka, 2003a). Důležitým úkolem fotogrammetrie je převedení centrální projekce snímku na ortogonální. Díky tomu je možné přímé měření nahradit měřením na snímcích, případně měřením na modelech, vytvořených ze snímků (Bitterer, 2005).

Dle Pavelky (2003a) se fotogrammetrie dělí podle:

- polohy stanoviště - pozemní, letecká a družicová
- počtu a konfigurace vyhodnocovaných snímků - jednosnímková a vícesnímková,
- technologického způsobu zpracování - analogové, analytické, digitální metody,
- typu výstupu - metody analogové a číselné (numerické).

V současné době jsou již analogové a analytické metody využívány jen velmi zřídka. Převládají záznamy a výstupy v digitální podobě. K tomuto trendu došlo díky rychlému rozvoji výpočetní techniky a vzniku digitální fotogrammetrie počátkem 80. let 20. století. Pokrok usnadnil složité zpracovávání snímků, založené na matematických principech a značně celý proces urychlil. Dostupnost programů pro vyhodnocení 3D modelů na základě běžných snímků umožnily široké veřejnosti přístup k digitální fotogrammetrii. Vznikem družicové fotogrammetrie a laserového skenování byl spojením s digitální fotogrammetrií zcela změněn pohled na dokumentaci objektu a prostoru ve 3D (Pavelka, 2003b).

4.1.1 Vícesnímková fotogrammetrie

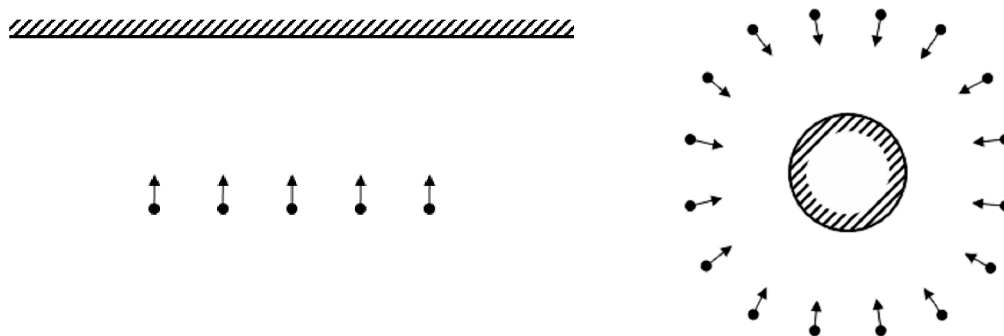
Ačkoli lze fotogrammetrii dělit do mnoha kategorií, v této práci se budeme zabývat pouze fotogrammetrií vícesnímkovou. Pomocí této metody je možné zpracovávat data ve 3D. Potřeba jsou vždy minimálně dva překrývající se snímky. Aby bylo možné určit prostorovou polohu daného předmětu ze snímku, musí být předmět zobrazen současně na obou snímcích. Do skupiny vícesnímkové fotogrammetrie patří stereofotogrammetrie a průseková fotogrammetrie. Stereofotogrammetrie využívá k vytvoření 3D modelu stereoskopického vjemu a přibližně rovnoběžných os záběrů snímků. Průseková fotogrammetrie naopak pracuje na principu protínání os záběru pod velkým konvergentním úhlem. Tato metoda je jednou z nejstarších využívaných ve fotogrammetrii a jedná se promítání vpřed pomocí měřických snímků (Pavelka, 2003a).

Do kategorie vícesnímkové fotogrammetrie lze zařadit i techniku **Structure from Motion**, která k vytvoření 3D modelu užívá kombinaci výhod stereofotogrammetrie a průsekové fotogrammetrie. Jde o zobrazovací techniku, která je založena na

odhadování trojrozměrné scény z dvourozměrné posloupnosti obrazů, jež jsou generovány kamerou během pohybu nosiče (Šimíček, 2014).

V minulosti bylo pro vyhodnocení snímků nutné znát délku základny, přesné souřadnice stanovisek a jejich orientaci. Tyto atributy byly určovány geodeticky. Dnes se již běžně využívají digitální fotoaparáty a specializovaný počítačový software, který tyto hodnoty vypočte při iteraci (Pavelka, 2003a). Základem vytváření 3D výstupů z dvourozměrných statických obrazových sekvencí je speciální numerický algoritmus, který na principu svazkového vyrovnání paprsků umožňuje vyhledávat shodné body na snímcích. Vzhledem k překrytu snímků je možné rekonstruovat objekt zájmu, určit prvky vnitřní i vnější orientace, výpočetně určit pozice kamer v prostoru v době pořízení snímků a mimo to dochází i ke zpřesnění kalibračních parametrů (Řehák, 2012).

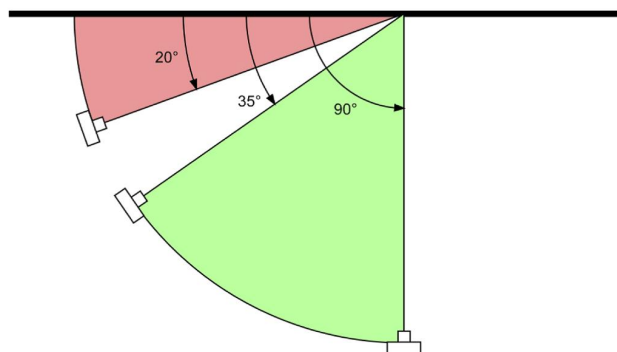
Mezi zásady správného pořizování snímků patří zejména neměnnost prvků vnitřní orientace (neostřít a nezoomovat), zachování původního formátu (neorezávat ani jinak neupravovat digitální snímek) a zajištění vhodných podmínek při snímání, tedy fotografovat za optimálních světelných podmínek s vyhovujícím rozlišením obrazu (Luhmann et al., 2006). Přesnost výstupů závisí na několika podmínkách. Klíčovým je zejména počet snímků, jejich konfigurace. Dalším faktorem je počet a rozložení vličovacích bodů (Hodač, 2012).



Obr. 3 Správná konfigurace snímků při snímání fasády (vlevo) a izolovaného objektu (vpravo) (zdroj: Agisoft PhotoScan User Manual, 2014).

Důležitou součástí fotografických prací je pořízení dostatečného počtu snímků s přijatelným překrytem a s možností identifikace spojovacích bodů. Optimální počet snímků závisí na velikosti objektu, členitosti a přesnosti, kterou na výstupu požadujeme. Snímaný objekt je nezbytně prostorově zaměřit pomocí několika vličovacích bodů. Minimální počet kontrolních bodů jsou tři, avšak doporučováno je přibližně šest až deset. (Pavelka, 2003b).

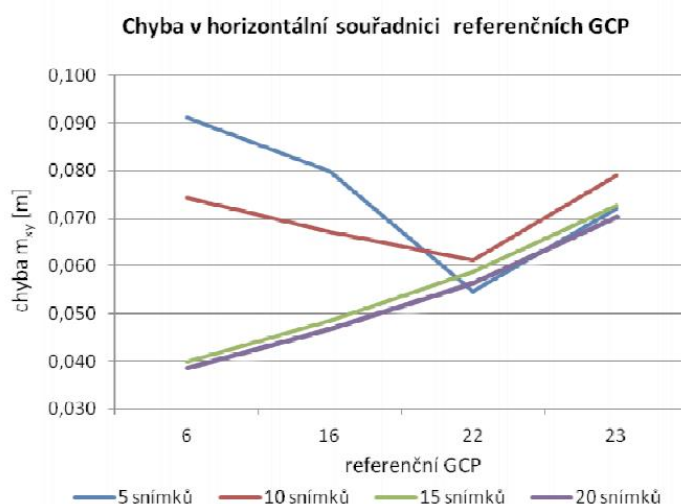
Kvalitou 3D modelů vytvořených technologií Structure from Motion se věnoval Marčíš (2013). Na systému PhotoScan testoval vliv konfigurace snímků na přesnost modelu. Dle Marčíše (2013) závisí přesnost na poměru základny b (vzdálenost mezi dvěma polohami kamer) a průměrné vzdálenosti objektu y . Poměr b/y by se měl pohybovat v rozmezí 1:2 až 1:5. Osy záběru by měly být v rozsahu 35° až 140° . Při menším úhlu Photoscan není schopný 3D model vygenerovat.



Obr. 4 Použitelný rozsah úhlů os záběrů vzhledem k povrchu objektu – kritická oblast označena červeně (zdroj: Marčíš, 2013).

Zakrytá nebo špatně dostupná místa v terénu, která se nepodaří na snímcích zachytit, není fotogrammetrický software schopný přesně vymodelovat. V 3D modelu vznikají neesteticky vyhlížející díry. Přijatelným řešením je v takovém případě úprava dat v jiném programu, určenému k 3D modelování. Procházka (2012) ve své diplomové práci uvádí jako nástroj vhodný pro tyto účely software AutoCAD.

Optimalizaci výpočetních parametrů dílčích procesů zpracování dat ve fotogrammetrickém programu PhotoScan provedl na základě porovnávání přesnosti výstupů Šimíček (2014). Určil například průběh horizontální a vertikální chyby referenčních bodů v závislosti na rostoucím počtu snímků (viz Obr. 5). K práci použil data pořízená bezpilotními prostředky.



Obr. 5 Vývoj horizontální chyby referenčních bodů s rostoucím počtem snímků (autor: Šimíček, 2014).

Specializovaný fotogrammetrický software použil Kratochvíl (2012) při tvorbě 3D modelu nikdy nerealizované dostavby Staroměstské radnice. 3D model vytvářel pomocí softwaru Autodesk 123D Catch na základě sady fotografií sádrového modelu. Práci v tomto softwaru srovnává s jinými, např. Autodesk ImageModeler, Google Building Maker a Google SketchUp a hodnotí ji jako časově nenáročnou a jednoduchou. Mezi nevýhody programu Autodesk 123D Catch autor řadí generování příliš detailní geometrie a nulovou možnost nastavení jakýchkoliv vstupních parametrů procesu, jež by ovlivnily výsledný 3D model.

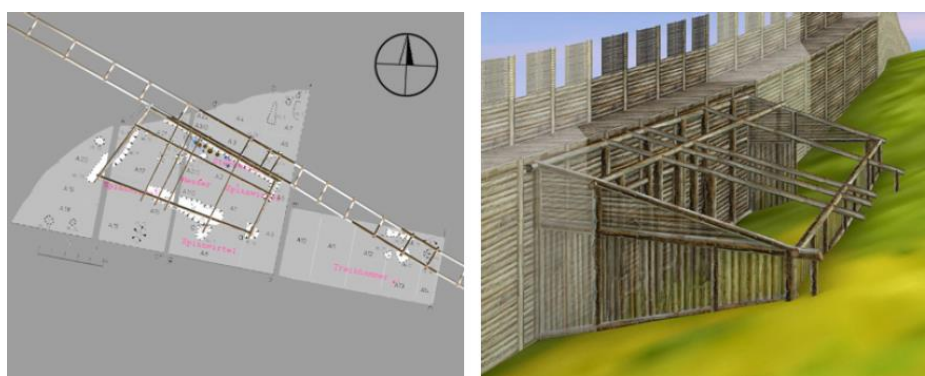
Velké množství prací zaměřených na využití fotogrammetrických metod pro 3D dokumentaci historických i stávajících objektů vzniklo na Vysoké škole báňské Technické univerzitě Ostrava. Fašánek (2012) vizualizoval 3D model exteriéru a interiéru románského kostela v Kalinčakove. Oba modely vytvořil ze snímků v programu PhotoModeler, následně spojil pomocí programu Microstation a vizualizoval v Google Earth. V závěru provedl výpočet přesnosti modelů, z něhož model exteriéru vyšel jako přesnější. Důvodem menší přesnosti interiéru byl zřejmě nedostatek osvětlení a stísněnost prostoru.

4.1.2 Fotogrammetrie v archeologii

Archeologie se stále častěji spoléhá na fotogrammetrické přístupy při dokumentaci nalezišť a rekonstrukci artefaktů. Švejnoha (2010) rozlišuje dva případy využití 3D modelů v archeologii. Zaprvé jde o přesnou dokumentaci fyzického objektu, získanou aplikací moderních metod digitální fotogrammetrie, zatímco ve druhém případě představuje 3D model virtuální rekonstrukci, vytvořenou interpretací archeologických nálezů.

Švejnoha (2010) se zabýval fotogrammetrickou dokumentací archeologických terénních výzkumů usedlostí zaniklé středověké vsi Borek. Fotodokumentaci exkavací prováděl z přenosné konstrukce, která umožňovala snímkování z ruky přímo nad objektem. K rekonstrukci 3D modelu použil software PhotoModeler Scanner, ve kterém snímky zpracoval do podoby mračna bodů. Následné generování do polygonového modelu probíhalo v programu Geomatic Studio, v němž je podle autora možné mít nad tvorbou modelu větší kontrolu. K texturování použil program 3DStudioMax 9. Tento postup se jeví jako zbytečně zdlouhavý. Dostupné jsou totiž softwary, které celý proces zvládají i s možností vlastního nastavení parametrů jednotlivých operací.

3D rekonstrukcí archeologických nálezů se věnovala Trusková (2008), která vytvořila interaktivní prezentaci keltského hradiště Svržna. Podkladovým materiálem použitým k tvorbě 3D modelu byl půdorysný plán, vytvořený na základě archeologických nálezů. K modelování použila program Autodesk Maya a výsledky vizualizovala v prohlížeči Cortona VRML Client.



Obr. 6 Rekonstrukce domu (vpravo) na základě půdorysu pořízeného při záchranném výzkumu (zdroj: Trusková, 2008).

Koróniová (2013) se věnovala moderním možnostem dokumentace archeologického naleziště Rusovce – Gerulata u Bratislavy. Cílem bylo poukázat na přínosnost v podobě vyšší kvality výsledného elaborátu. 3D model vytvořila zpracováním sady snímků v programu PhotoScan a rovněž z dat laserového skenování. Kvalitu výstupů hodnotila porovnáním vzdáleností vličovacích bodů modelu se vzdálenostmi vypočítanými

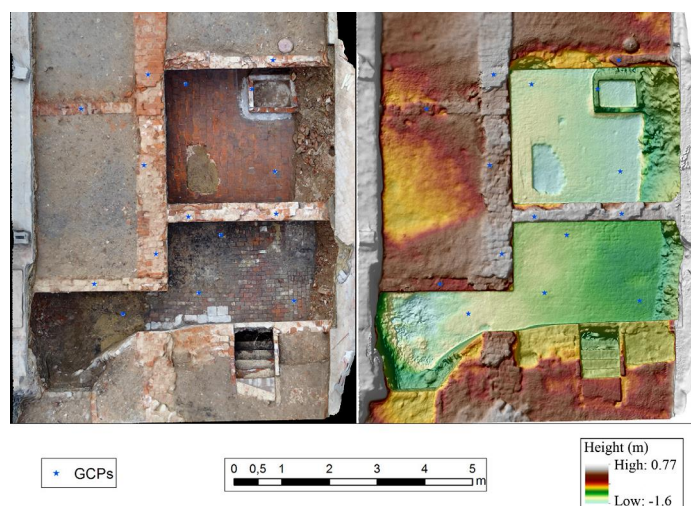
z geodetického zaměření bodů v terénu. Přesnost výsledku z laserového skenování se pohybovala v řádu milimetrů, v druhém případě se jednalo o centimetry.

Dokumentací archeologických nalezišť s využitím UAV (Unmanned Aerial Vehicle) fotogrammetrie se zabývali Remondino et al. (2011). Různými prostředky a přístupy zdokumentoval tři archeologické oblasti v Itálii a Hondurasu.



Obr. 7 Model archeologického naleziště vytvořený z leteckých snímků (zdroj: Remondino et al., 2011).

De Reu et al. (2013) zkoumali možnosti 3D dokumentace archeologických nálezů s použitím programu PhotoScan. Případová studie byla provedena na třech nalezištích v Belgii. V porovnání s tradičními metodami označují tuto jako celkově efektivnější. Tvorbu ortofotosnímků a digitálního modelu reliéfu považují jako vhodný způsob kompletní digitální 3D dokumentace.



Obr. 8 Ortofoto a digitální model reliéfu sklepa na nalezišti v belgickém městě Aalst (zdroj: De Reu et al., 2013).

V Portugalsku vznikl projekt Ammaia. Jde o rekonstrukci starodávné římské vesnice, jejíž ruiny jsou nyní ukryty pod zemí. Jelikož se místo nachází v přírodní rezervaci, byly namísto běžných archeologických průzkumů využity neinvazivní metody. Pomocí laseru, UAV fotogrammetrie a speciálních radarů, schopných vysílat signál pod povrch země, bylo možné odhalit skryté pozůstatky staveb (Gammon, 2015).



Obr. 9 3D model římské vesnice jak by vypadala v dnešním prostředí
(zdroj: Gammon, 2015).

4.2 Virtuální 3D modely

3D modely mohou znázorňovat historickou, stávající či plánovanou podobu různých objektů. Z časového hlediska je lze dělit do tří základních kategorií (Herman, 2013).

- Retrospektivní modely – zobrazují historický stav a snaží se o jeho rekonstrukci. K vytvoření těchto modelů mohou být využity dobové plány, historické mapy, obrazy, staré fotografie či objevy archeologických výzkumů.
- Modely současné situace – jsou koncipovány tak, aby se co nejvěrněji podobaly aktuální situaci. Častá je u těchto modelů vysoká detailnost. Možné je využití nejrozličnějších fotogrammetrických, geodetických i architektonických metod a potenciálu maximální možné dostupnosti podkladových dat.
- Prognostické modely – znázorňují budoucí podobu. Jsou využívány především v uzemním planování, urbanizmu nebo architektuře. Prognostické modely se vždy skládají z objektů existujících (např. terénu) a neexistujících – planovaných (např. plánované budovy).

Herman (2013) mimo tyto kategorie vyčleňuje modely statické, zachycující stav objektu či místa v určitém okamžiku a dynamické, představující vývoj v čase.

4.2.1 3D rekonstrukce měst

Oblíbeným předmětem 3D modelování jsou rekonstrukce historického stavu měst nebo míst již zcela zaniklých. Rekonstrukcí a vizualizací historické krajiny města se zabývá projekt Virtuální Kjóto. Využívá možnosti 4D GIS (geografický informační systém), což jak ve své práci uvádí Yano et al. (2009), je 3D GIS s přidanou časovou složkou. Základem projektu je databáze, obsahující digitální archivované materiály – letecké snímky, fotografie, obrazy, staré katastrální a topografické mapy. Uživatelé se v prostředí virtuálního města mohou volně pohybovat v různých časových obdobích. Zahrnuty jsou období krátce před a po druhé světové válce, začátek 20. a konec 19. století, 17. až 19. století a období od konce 8. do 12. století. Pozorovat lze mizející tradiční japonské architektonické prvky, které jsou postupně nahrazovány moderními budovami.

Příkladem obnovy historické podoby města je virtuální model Brna z doby obléhání Švédy roku 1645. Prohlížet model je možné v prostředí Google Earth. Stal se také podkladem pro bronzový model umístěný na Moravském náměstí v Brně.



Obr. 10 Virtuální model Brna roku 1645 (zdroj: <http://www.brno1645.cz/>).

Opačným způsobem vznikal digitální Langweilův model Prahy. Model z papírové lepenky, umístěný na dřevěné konstrukci, vytvářený v letech 1826 až 1837, byl fotogrammetrickými metodami zdigitalizován. Celý model byl rozdělen na 52 samostatných dílů tak, aby při digitalizaci bylo možné pečlivě zpracovat každý díl zvlášť (Langweilův model Prahy, 2009).

Známý projekt s názvem Rome Reborn představuje virtuální 3D model antického Říma, jak vypadal roku 320 n. l.. Inspirací se stal slavný fyzický model „Plastico di Rome Antica“ v měřítku 1 : 250. K digitalizaci byl použit laserový radar. Výsledkem byl komplexní model sčítající přibližně 7000 staveb. Přestože pro většinu z nich nebyly dostupné informace o tom, jak vypadaly, byl výsledný model velice detailní (Guidi et al., 2007).



Obr. 11 3D model antického Říma (zdroj: Guidi et al., 2007).

Podobně zaměřený je projekt zabývající se virtuální rekonstrukcí a vizualizací italského města Livorno (Carrozzino et al., 2009). Cílem bylo znázornit urbanistický vývoj v letech 1606 až 1732. Výsledky byly formou pohlcující virtuální reality představeny publiku v rámci speciální expozice.

V 60. letech 20. století došlo v mnoha městech Austrálie k tzv. stavebnímu boomu. Sousta významných budov byly zdemolovány a na jejich místech vystavěny nové. Vizualizací toho, jak by tato místa vypadala dnes, se na příkladu města Melbourne zabýval Cartwright (2006). V 3D modelu zkombinoval stávající budovy se zaniklými a výsledek prezentoval prostřednictvím VRML (Virtual Reality Modeling Language).

Projekt 3D rekonstrukce části starobylého řeckého města Xanthi se zabývá možnostmi využití open source systémů při vytváření realistických virtuálních prohlídek

(Koutsoudis et al., 2007). Cílem je propagace kulturních památek s využitím minimálních nákladů. Model byl vytvořen na základě fotogrammetrických metod a díky VRML je prostřednictvím internetu dostupný veřejnosti.

4.2.2 3D rekonstrukce kulturních památek

Potenciál 3D modelování bývá v posledních letech stále více využíván v památkové péči při komplexních rekonstrukcích poškozených či zaniklých památkových objektů a zároveň i k jejich digitální 3D dokumentaci.

Ačkoliv existuje spousta projektů zaměřených na 3D rekonstrukci dobového podoby staveb, jen velmi málo z nich aplikuje možnost srovnání historického stavu se současným. Příkladem je práce Brychtové a Popelky (2011), zaměřená na rekonstrukci olomoucké bastionové pevnosti. Cílem bylo představení různých metod vizualizace časoprostorových změn a zároveň jejich zhodnocení z hlediska technické náročnosti zpracování a uživatelské percepce.

Podobným projektem, zabávajícím se vizualizací časoprostorového vývoje, je virtuální rekonstrukce fortu Frontenac ve 3D (Yabe et al., 2015). Fort byl vybudován ve městě Kingston v Kanadě roku 1673, několikrát byl zničen a opět rekonstruován. Cílem celého projektu bylo pomocí počítačové grafiky navrhnout takové webové prostředí, které by svou interaktivitou vzbudilo zájem a zvýšilo povědomí o historii fortu. 3D modelování probíhalo v softwaru Autodesk Maya a vytvořeny byly modely jak interiéru, tak exteriéru z let 1673, 1675, 1680, 1685 a 1688. Vizualizace je dostupná na internetu. Součástí webových stránek jsou i videoklipy a interaktivní animace.



Obr. 12 Interaktivní prostředí webových stránek o fortu Frontenac
(zdroj: <http://mxy3663.wix.com/fortfrontenac>).

Historickou podobu pevnosti Terezín z období druhé světové války demonstruje virtuální 3D model, který vznikl v rámci projektu GEPAM (GEdenken & PAMatovat). Model byl vytvořen ve třech úrovních detailu. Veřejnosti je přístupný na stránkách <http://www.gepam.eu/> jejichž součástí je i 3D vizualizace Drážďan (Hájek et al., 2014).

Integrací různých technik 3D rekonstrukcí za účelem dokumentace a vizualizace se věnoval projekt 3D-ARCH (Remondino et al., 2009). Použity byly plány půdorysů, pozemní i letecké snímky pořízené z helikoptéry. Geodetickým zaměřováním byl zajištěn terénní průzkum a laserovým skenováním zachyceny detaily interiérů. Výsledkem byly 3D modely hradů Valer, Avio a Stenico v italské oblasti Trentino. Vizualizovány byly v prostředí Google Earth.

Zajímavým projektem je fotogrammetrická dokumentace citadely v Erbilu v Iráku (Pavelka et al., 2007). Cílem bylo vytvořit dokumentaci současného stavu jedné z nejohroženějších historických staveb na seznamu UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), a to pro účely rekonstrukce v případě poškození v důsledku válečného konfliktu či nestability v oblasti. Jako vstupní data pro zpracování projektu byly použity geodeticky zaměřené vřícovací body, družicové snímky (družice QuickBird), řada pozemních snímků a asi 70 snímků pořízených americkou armádou pomocí vrtulníku, z výšky přibližně 50-150 m. K vytvoření virtuálního modelu objektu byl použit PhotoModeler a AutoCAD. Součástí projektu je i zpracování informačního systému pro Citadelu.



Obr. 13 Minaret Choli – porovnání originálu (vpravo) a 3D modelu (vlevo)
(zdroj: Pavelka et al., 2007).

Na základě kombinace metody průsekové fotogrammetrie a podrobného zaměření totální stanicí byl vytvořen projekt obnovy zříceniny hradu Hamrštejna (Kudrnovský et al., 2011). Požadavkem projektu bylo využití zaměření hradu jako podkladu pro navazující projekční a obnovovací práce. Obě metody jsou zde porovnávány a jako optimální je označena kombinace obou použitých dokumentačních metod, přičemž totální stanicí byly zachyceny fotogrammetricky hůře postižitelné architektonické detaily.

Metodologie virtuální rekonstrukce archeologických památek východní Asie byla v rámci programu Re-relic ověřena na objektu Yuanmingyuan, známém jako „Zahrada všech zahrad“ (He et al., 2013). Roku 1860 byl Yuanmingyuan během války téměř zničen a od té doby neobnoven. Vytvořený virtuální model nám však umožňuje vrátit se v čase a celou památku si v digitální podobě prohlédnout.

Zkušenosti s vytvářením virtuálního a fyzického 3D modelu zámku Kozel prezentuje Jedlička et al. (2012). Cílem jejich práce bylo vytvořit systém pro správu a vizualizaci kulturního dědictví na základě organizovaného datového modelu a prostorové databáze. Součástí výsledného interaktivního modelu je možnost přechodu mezi exteriérem a interiérem. Na část modelu byl použit 3D tisk.

Projekt Nazca/Peru řeší možnosti tvorby 3D modelů historických objektů a jejich prezentace za účelem propagace (Hanzalová et al., 2011). Fotogrammetricky bylo zdokumentováno celkem pět objektů, značně poškozených zemětřesením. K modelování byly použity programy PhotoModeler, Microstation, SketchUp. 3D model vytvořený v programu SketchUp byl prezentován v galerii modelů 3D Warehouse.

4.3 Virtulání 3D glóby

Jednou z možností jak lze interaktivním způsobem prezentovat prostorová data je vizualizace v prostředí virtuálních 3D glóbů. Díky virtuálním glóbům získává uživatel lepší představu o prostředí v němž se zkoumaný objekt (např. určitá budova) nachází. Tento způsob vizualizace navíc umožňuje snadnější prostorovou orientaci v souvislosti s okolím (Sikorová, 2014). Mezi nejznámější virtuální glóby patří Google Earth, NASA World Wind, Esri ArcGIS Explorer, Marble či Earth3D. Zmiňovaná řešení však vyžadují instalaci celých programů nebo plug-inů. Přesto díky technologickému vývoji byly v posledních letech vyvinuty technologie, díky nimž instalace zásuvných modulů není potřeba. Jedná se zejména o vývoj standardu HTML5 (HyperText Markup Language) a technologie WebGL (Herman, 2013). Mezi virtuální glóby založené na této technologii patří například Cesium a OpenWebGlobe.

Cesium

Cesium je JavaScriptová knihovna využívající technologii WebGL (Web Graphics Library). Jde o multiplatformní open source, založený společností Analytical Graphics, Inc. Cesium nabízí možnost zobrazení mnoha datových formátů. Pro prezentaci vektorových dat je možné použít formáty KML, ESRI Shapefiles, JSON (JavaScript Object Notation). Často využívané je nahrávání podkladových vrstev, které lze překládat přes terén. Stejnou funkci lze uplatnit i v případě využití mapových služeb jako např. WMS (Web Map Service), TMS (Tile Map Service), WMTS (Web Map Tile Service), OpenStreetMap, Bing Maps, ArcGIS MapServer. Vykreslit je možné různé tvary jako linie, polygony, elipsoidy, ale i popisky a tzv. billboardy. Pro zobrazení 3D modelů slouží formát COLLADA či glTF (OpenGL Transmission Format) a pomocí formátu CZML (Cesium Language) lze vytvářet interaktivní dynamické scény. Kromě vizualizací zde lze provádět i operace jako je buffer nebo najít průnik dvou objektů (Cesium, 2012).

OpenWebGlobe

Virtuální glób OpenWebGlobe je open source využívající technologii WebGL. Projekt vzniknul na univerzitě ve Švýcarsku. Na rozdíl od jiných 3D geovizualizačních technologií se liší nutností předzpracovávat dat před nahráním na internet. K vytvoření vlastní aplikace slouží OpenWebGlobe SDK (Software Development Kit), jež se skládá ze dvou hlavních částí, OpenWebGlobe Viewer a OpenWebGlobe Processing Tools. První část sestává z JavaScriptové knihovny, která umožňuje integraci virtuálního glóbu do vlastní webové aplikace. Druhou část tvoří balík nástrojů pro předzpracování dat, např. generování dlaždic, převzorkování rastrových mapových vrstev, triangulaci výškopisných dat nebo transformaci z místního do globálního referenčního systému. Aplikace kromě rastrových vrstev a výškopisných dat podporuje i vektorová data, body zájmu a 3D objekty. Pro 3D modely lze použít formát COLLADA, OBJ wavefront a JSON (Loesch et al., 2012).

Popisované virtuální glóby byly porovnány za účelem výběru vhodného řešení pro vizualizaci výsledků této práce. Obecně se jedná o velmi podobné aplikace, jejichž základní funkce a možnosti vizualizace jsou srovnatelné. V obou prostředích lze zobrazit povrch s terénem, překládat před něj mapové vrstvy a zobrazovat 3D modely i s popisky, což byly hlavní požadavky práce. Na základě získaných informací byl zvolen virtuální glób Cesium. Hlavním důvodem bylo množství dostupných ukázkových kódů aplikací a podrobných návodů pro vytváření vlastních řešení. Dalším důvodem byla silnější uživatelská podpora.

5 ZÁKLADY PŘEDNÍ PEVNŮSTKY

Před samotným zahájením výstavby obchodního centra Galerie Šantovky uskutečnila společnost Archaia Olomouc o. p. s. v lokalitě tzv. „ostrova“ záchranný archeologický výzkum. Cílem bylo potvrzení přítomnosti reliktní někdejší Přední pevnůstky, představující jižní část olomouckého tereziánského barokního opevnění. Nedílnou součástí výkopových prací byla terénní dokumentace, využívající zejména metod 3D fotogrammetrie.

Každý objekt reprezentující odkryté stavební základy bastionové pevnosti byl v rámci dokumentace fotogrammetricky zaměřen. Data tohoto charakteru umožňují díky specializovaným softwarům, jako je např. PhotoScan, vytvářet během chvilky velmi přesné 3D modely či ortofotosnímky.

5.1 Vstupní data

Data, která společnost Archaia Olomouc o. p. s. poskytla pro účely této práce zahrnovala snímky ve formátu JPEG (Joint Picture Experts Group), textové a excelovské soubory se souřadnicemi celkem 204 vřícovacích bodů.

Prostorové zaměření kontrolních bodů proběhlo v systému souřadnic S-JTSK. Aby bylo možné vytvořené modely ve výsledné aplikaci správně vizualizovat, musel být brán ohled na systém souřadnic, používaný virtuálním glóblem Cesium. Dalším krokem tedy byla transformace souřadnic bodů do systému WGS 84. K tomu byl použit volně dostupný program Majster V1.0, který pomocí transformačního klíče umožňuje okamžitý přepočítání dat do požadovaného souřadnicového systému.

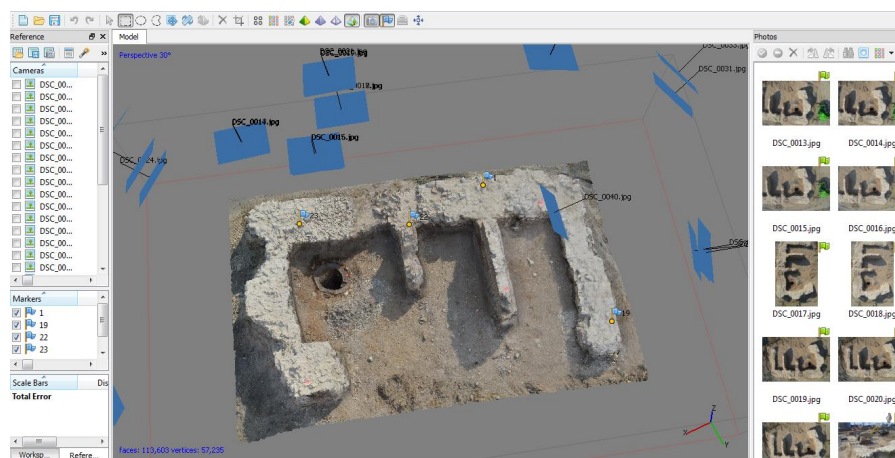
Dále bylo nezbytné data roztrždit a určit tak, které kontrolní body patří ke které sadě snímků. Soubory se souřadnicemi bodů byly nahrány do aplikace ArcMap, čímž byla zjištěna jejich prostorová lokalizace a na základě prohlížecké služby WMS – Ortofoto, zobrazené v souřadném systému WGS 84, zároveň ověřena úspěšnost předchozí transformace souřadnic. Lokalizované body byly porovnávány s rozmístěním odhalených pevnostních základů, které bylo patrné z orientačního plánu, vyhotoveného při výkopových pracích. Tímto postupem byly k snímkům přiřazeny odpovídající vřícovací body.

5.2 Tvorba 3D modelů

V této podkapitole je podrobně popsán proces tvorby 3D modelů ve fotogrammetrickém programu PhotoScan, skládající se ze čtyř základních částí: *Align Photos* (vyrovnání snímků), *Build Dense Cloud* (generování hustého mračka bodů), *Build Mesh* (generování polygonové sítě) a *Build Texture* (vykreslení textury modelu). Z poskytnutých vstupních dat bylo tímto postupem vytvořeno postupně celkem 23 modelů a ortofotosnímků.

Prvním krokem celého procesu bylo importování snímků. Počet snímků vstupujících do procesu generování jednotlivých modelů se lišil a závisel především na velikosti snímávaného objektu. V následujícím kroku došlo prostřednictvím funkce **Align Photos** k vyrovnání snímků a vygenerování řídkého mračka bodů. Platí, že čím větší počet snímků použijeme, tím hustší bude vytvořené mračno bodů. S tím souvisí i rostoucí kvalita výsledného modelu. V určitých případech může dojít k nevyrovnaní či k chybnému vyrovnání snímků. Tato situace nastává v případech, kdy je úhel osy záběru příliš malý nebo při špatné expozici či nedostatečném překrytu snímků. I přesto, že se jedná o snímky téhož objektu, není program schopen korespondující body na

snímcích rozpoznat. Efektivnějšího vyrovnaní snímků je možné docílit použitím masky, kdy je do výpočtu zahrnuta pouze vybraná část snímku. Při nastavování paramterů funkce *Align Photos* je však nutné zatrhnout možnost *Constrain features by mask*.



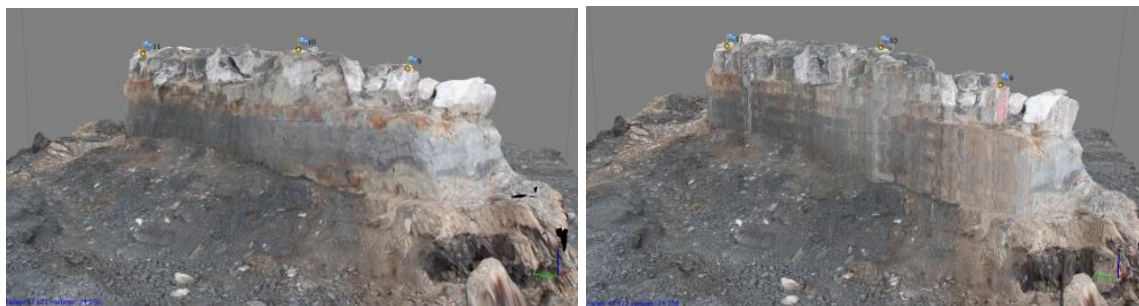
Obr. 14 3D model reliktu zdi Přední pevnůstky vytvořený v softwaru PhotoScan.

Dále byl do projektu nahrán textový soubor se souřadnicemi vličovacích bodů a poté byla zvolena možnost vytvořit pro každý bod tzv. *Marker*, neboli značku označující vličovací bod. Následovala identifikace vličovacích bodů na snímcích. Dále byl nastaven souřadnicový systém WGS 84, označený EPSG kódem 4326 a vypočtena přesnost modelu. Nástrojem *Optimize* byla provedena optimalizace vyrovnaných snímků, čímž došlo ke zpřesnění výpočtu vnitřních a vnějších prvků orientace a opravě případného zkreslení. Pro korektní umístění do systému souřadnic jsou zapotřebí minimálně tři *markery* na snímek.

U několika modelů byla zjištěna příliš vysoká hodnota střední kvadratické chyby, a to dokonce v řádu desítek centimetrů. K takové chybě může dojít například nepřesným zaměřením byť jediného vličovacího bodu. Přesnost lze zvýšit několika způsoby. První možností je odstranění nepřesně zaměřého vličovacího bodu z modelu. Dále je možné využít nástroj *Gradual Selection* z nabídky *Edit*. Nastavením vhodného kritéria lze z mračna bodů vyfiltrovat a následně odstranit body vzniklé nepřesnostmi při zpracování. Z nabízených kritérií se osvědčily první dvě, a sice *Reprojection error* a *Reconstruction uncertainty*. *Reprojection error* signalizuje nízkou přesnost lokalizace bodu, která vzniká při nesprávném spojení bodů ze snímků. Nejistota rekonstrukce neboli *Reconstruction uncertainty* je typická pro body, konstruované na základě sousedních snímků. Tyto body se mohou znatelně lišit od povrchu objektu a představují šum. Střední kvadratická chyba byla tímto postupem u většiny modelů zredukována na méně než 4 centimetry.

Výpočetně nejnáročnější operací je proces generování hustého mračna bodů, tzv. **Dense Cloud**. Proto je před samotnou operací žádoucí nastavit hranice modelu neboli *Bounding Box*. Mračno bodů tak bude počítáno jen pro zvolenou oblast, čímž lze značně zkrátit výpočetní dobu. Na základě hustého mračna bodů byla operací **Build Mesh** vytvořena síť polygonů reprezentující povrch 3D modelu. Posledním ze základních čtyř kroků je vykreslení textur (**Build Texture**). Před započítím procesu je vhodné ze sady snímků vybrat ty nej kvalitnější, na základě kterých bude textura generována. Jelikož konečným výstupem každého modelovaného objektu této práce bylo ortofoto i 3D model, byla pro lepší vizualizaci textura vždy generována dvakrát. Poprvé metodou

Generic, která je vhodná pro 3D modely a podruhé použitím volby *Ortophoto*, jež vytvoří texturu celého povrchu objektu v ortografické projekci.



Obr. 15 Srovnání textury vytvořené metodou *Generic* (vlevo) a *Ortophoto* (vpravo).

V konečné fázi proběhl export výsledných 3D modelů do formátu COLLADA, jež je podporován aplikačním prostředím virtuálního glóbu Cesium. Po exportu 3D modelů byla zjištěna jejich vysoká paměťová náročnost. Ta je zapříčiněna příliš detailní geometrií, se kterou software PhotoScan generuje modely. Důsledkem při vizualizaci v online aplikaci by tak mohlo být celkové zpomalení načítání. Vhodným nástrojem je v tomto případě *Decimate Mash*, kterým je možné snížit počet ploch polygonové sítě povrchu modelu. Další úpravou, která přispěla ke snížení fyzické velikosti výsledných souborů bylo zmenšení rozměrů textur vytvořených modelů pomocí grafického editoru Zoner Photo Studio. Tímto krokem byla velikost jednotlivých modelů značně zredukována a ve výsledku se pohybovala v rozmezí od 4 do 13 MB.

Součástí výstupu každého modelovaného objektu byl report ve formátu PDF (Portable Document Format), obsahující základní informace o vytvořeném modelu, vřícovacích bodech a parametrech použité kamery. Pro účely pozdějšího georeferencování raportních plánů olomoucké pevnosti byly exportovány i ortofotosnímky jednotlivých modelů do formátu TIFF (Tag Image File Format).

Tab. 1 Nastavení parametrů při tvorbě 3D modelů reliktní zdi

Proces	Parametr	Hodnota
Align Photos	Accuracy	High
	Pair preselection	Disabled
	Key point limit	50 000
Build Dense Cloud	Quality	Medium
	Depth filtering	Moderate
Build Mesh	Surface type	Arbitrary
	Source data	Dense Cloud
	Face count	Medium
	Interpolation	Enabled
Build Texture	Mapping mode	Generic
	Blending mode	Mosaic
	Texture size/count	4096x1

Ačkoliv je generování 3D modelů v programu Photoscan poměrně snadný proces, neobešel se bez drobných problémů. Kolize nastala při modelování 87 metrů dlouhého objektu cihlové kanalizace. Snímkování kanalizace probíhalo ve dvou etapách. Nejprve byla archeology odkryta a zdokumentována jedna polovina objektu, ta následně zbourána a teprve pak se celý proces opakoval u druhé části. Program tedy nebyl schopen vyrovnat snímky celkého objektu najednou. Možným řešením bylo rozčlenění vstupní sady dat na dvě části a z těch samostatně, avšak v jednom projektu, vytvořit dva modely. Ty poté lze operací *Align Chunks* spojit do jednoho celku. Pro sloučení jednotlivých částí byla zvolena metoda *Marker based*, jejíž podmínkou je přítomnost alespoň jednoho totožného vličovacího bodu v obou modelech, což bylo splněno. Podobný problém byl řešen i u dalších tří objektů, kdy z důvodu nízkého počtu, nevhodné konfiguraci nebo přexponování snímků nebylo možné modely vytvořit jako jeden celek. Generovány byly postupně jejich jednotlivé části a ty následně spojeny operací *Align Chunks* do výsledných modelů.

Dalším problémem bylo zjištění chybných výškových údajů u 52 vličovacích bodů. V průběhu terénní dokumentace pravděpodobně došlo k nepřesnému zaměření výšky orientačního bodu, na jehož základě dochází k výpočtům výšek ostatních vličovacích bodů. Díky schopnosti programu dopočítat neznámé souřadnice bodu v již georeferencovaném modelu bylo možné pomocí nového *markeru*, vytvořeného v místě orientačního bodu a funkce *View Estimated* z panelu *Ground Control*, dopočítat jeho odhadované souřadnice. Na základě nového výškového údaje tohoto bodu byly přepočítány chybné výšky ostatních bodů.

6 PŘEDNÍ PEVNŮSTKA

Barokní tereziánská bastionová pevnost se na jedno století stala nedílnou součástí panoramatu města Olomouce, a přestože od jejího zrušení uběhla už dlouhá doba, některé pozůstatky zde můžeme objevovat i dnes. To se ovšem nedá říct o jižní předsunuté části opevnění, kde stávala Přední pevnůstka neboli Vorwerk XXXVIII, jejíž 3D rekonstrukce je jedním z cílů této práce.

6.1 Vstupní data

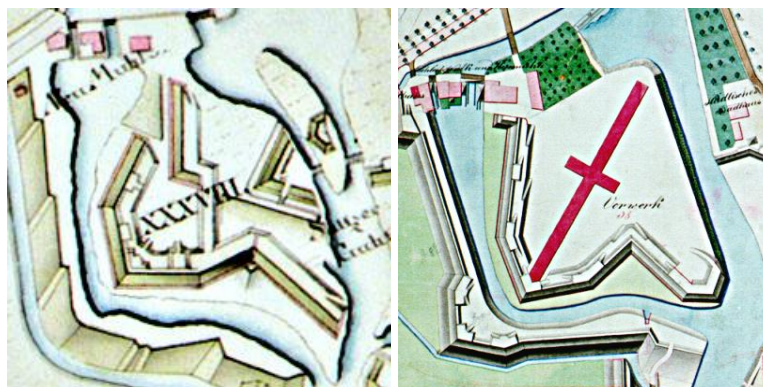
Jelikož se v případě Přední pevnůstky jedná o objekt již dávno zaniklý, bylo nutné se opřít zejména o historické materiály. Hlavními zdroji dat, které sloužily k poznání vývoje a podoby pevnůstky se staly tzv. raportní plány.

6.1.1 Raportní plány

Originály raportních plánů jsou uloženy v Rakouském státním archivu, v pobočce Válečného archivu ve Vídni (Österreichisches Staatsarchiv-Kriegsarchiv, Wien). Tyto plány objevil a naskenoval v rámci svého grantu v roce 1999 PhDr. Pavel Michna a pro účely bakalářské práce byly poskytnuty Národním památkovým ústavem. Jedná se o plány celého tehdejšího města, na kterých jsou zaznamenány každoroční změny ve výstavbě olomoucké bastionové pevnosti. Kromě série dvaceti pevnostních plánů Olomouce z let 1752-1842, byly součástí získaných materiálů i původní inženýrské projekty a podrobné výkresy hlavních částí pevnosti, obklopující historické jádro města. Raportní plány Olomouce se tak staly hodnotným zdrojem půdorysných a prostorových informací.

Výběr podkladových raportních plánů

Ačkoli je olomoucké opevnění znázorněno již na plánech z roku 1752, samotná Přední pevnůstka se na těchto materiálech začíná objevovat až od roku 1756. Už při prvotním studování plánů bylo patrné, že pevnůstka v průběhu existence změnila svou podobu. Příčinou byla rekonstrukce, k níž došlo ve 30. letech 19. století, což je možné potvrdit při porovnání plánů z roku 1805 a 1834. Z toho důvodu bylo rozhodnuto vytvořit celkem dva 3D modely Přední pevnůstky, a to v podobě před a po její rekonstrukci. Nezbytným krokem byl výběr konkrétních plánů, které měly později sloužit jako podklad pro modelování. Ze získaných materiálů byly vybrány raportní plány z roku 1764 a 1842. Hlavním kritériem výběru byla zejména celková detailnost dobové kresby.



Obr. 16 Přední pevnůstka na raportních plánech z roku 1764 a 1842
(zdroj: © Österreichisches Staatsarchiv-Kriegsarchiv, Wien).

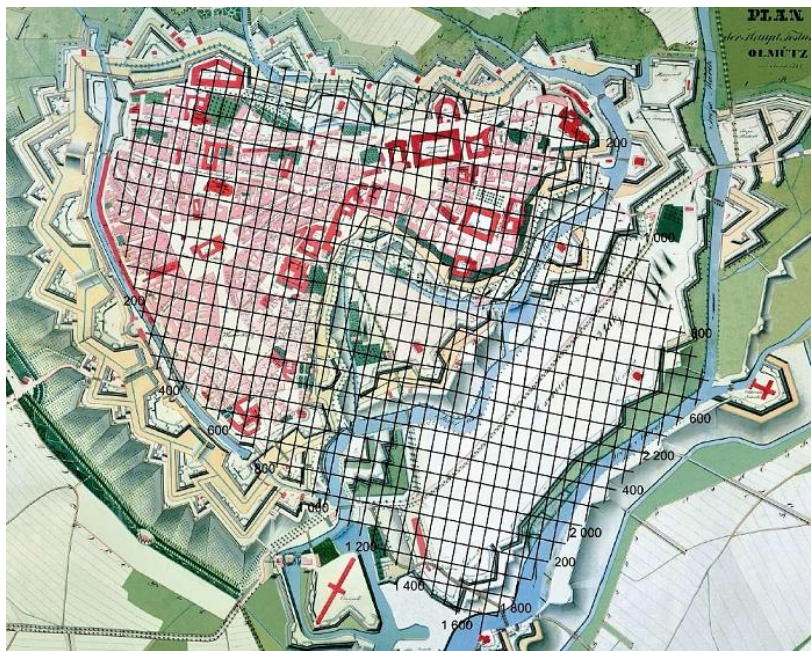
Úprava podkladových dat

Plán z roku 1842 byl od poskytovatele dodán ve dvou částech, z nichž jedna zobrazovala západní část pevnosti Olomouc a druhá východní. Ke spojení obou částí plánu do jednoho celku byl použit grafický editor CorelDRAW X6, kde na základě překrývajících se míst došlo k propojení obrazů do jednoho výstupního souboru. V následujícím kroku byl pomocí softwaru Zoner Photo Studio sjednocen jas a kontrast celého obrazu. Plán z roku 1764 nebylo zapotřebí pro další práci upravovat.

Georeferencování

Po základních úpravách mapových podkladů přišlo na řadu georeferencování, čímž bylo umožněno měření rozměrů půdorysu pevnůstky a zároveň zajištěna přesná lokalizace modelovaných objektů v prostoru.

Historická mapová díla, zachycující objekty již dávno zaniklé, může být v některých případech obtížné spojit s přesnou geografickou polohou. To je i případ použitých raportních plánů. Vyjma historického jádra města plány neobsahují téměř žádné objekty srovnatelné se současným stavem, s čímž, jak popisuje Brychtová a Popelka (2011a), souvisí problém absence vřícovacích bodů. Ti pomocí aplikace MapAnalyst provedli kartometrické zhodnocení raportního plánu bastionové pevnosti Olomouc z roku 1842. Na základě výpočtu deformační sítě a hodnoty RMSE (Root Mean Square Error) potvrdili dostatečnou přesnost mapového díla, potřebnou k vizualizačním účelům tehdejší podoby města.



Obr. 17 Deformační síť vytvořená v programu MapAnalyst
(zdroj: Brychtová a Popelka, 2011a)

Celý proces georeferencování probíhal pomocí panelu nástrojů *Georeferencing* v programu ArcGIS. Prvním krokem bylo nahrání raportních plánů z roku 1764 a 1842 a následné definování jejich souřadnicového systému. Při výběru souřadnicového systému bylo stejně jako v případě modelování archeologických nálezů nezbytné uvážit systém využívaný virtuálním glóblem Cesium, čili WGS 84. Poté byla do projektu přidána WMS (Web Map Service) pro katastrální mapy a WMS Ortofoto České republiky. Tyto mapové služby se staly referenčními vrstvami pro georeferencování zejména

centrální části plánů. V dalším kroku byly importovány vygenerované ortofotosnímky jednotlivých reliktních zdí pevnůstky (viz kapitola 5.2), které se staly klíčovým podkladem při georeferencování oblasti Přední pevnůstky. Na obou raportních plánech bylo nalezeno 20 identických bodů a po nastavení stupně transformace provedena rektifikace funkcí *Rectify*. Pro tuto operaci byla zvolena polynomičká transformace třetího řádu, vhodná pro staré mapy, obsahující komplikovanější deformace.

Nezbytnou součástí rektifikace je převzorkování obrazu. Při potřebě zachování geometrické přesnosti je vhodnou metodou kubická konvoluce, produkující relativně ostré obrazy. Nevýhodou metody je náročnost výpočtu, která však v tomto případě nebyla znáta. Výsledkem celého procesu byly rektifikované plány ve formátu PNG (Portable Network Graphic).

Tvorba mapových dlaždic

Aby takto upravené plány mohly být v programu SketchUp použity jako podklad pro modelování objektů, bylo nejprve zapotřebí data převést do podoby zobrazitelné v prostředí Google Earth. K tomu slouží volně dostupná aplikace MapTiler, která umožňuje transformaci podkladových vrstev do dlaždic a jejich online publikování. Z možností nabízených touto aplikací byl zvolen export dat do formátu KML, který lze v závěru procesu transformace přímo zobrazit v prostředí Google Earth.

V pokročilých možnostech nastavení byly u formátu dlaždic a metody převzorkování ponechány defaultní hodnoty, tedy formát PNG a metoda Bilinear. Alfa kanálu, kterému byly přiřazeny hodnoty RGB (0, 0, 0), byla nastavena průhlednost. Vrstvy byly tímto krokem zbaveny černého rámování, které vzniká při rektifikaci. Parametrem Zoom lze definovat úroveň, do kterých bude obraz v podobě dlaždic transformován. V závislosti na počtu nastavených úrovní dojde k vytvoření odpovídajícího počtu adresářů s dlaždicemi a souboru ve formátu KML.

6.1.2 Obrazová data

Pro rekonstrukci dobové podoby objektů je nezbytné znát nejen údaje o tvarech a rozměrech půdorysů, ale především mít k dispozici dostatek informací a materiálů, popisujících jejich tehdejší vzhled a výškové poměry.

Díky popularizaci olomoucké bastionové a fortové pevnosti v posledních letech vzrostl zájem o památky spojené s vojenskou historií města Olomouce. Vznikla sdružení jako je Pevnostní město Olomouc či Muzeum Olomoucké pevnosti, podporující vědecké projekty, vzdělávací programy a propagující vojenskou historii města. Jejich internetové stránky <http://www.pevnostolomouc.cz/> a <http://cisarska-pevnost.cz/> jsou nejen zdrojem informací o historii, ale i fotografií dochovaných staveb. Ačkoliv podávají jen střípky informací o Přední pevnůstce, staly se poskytované fotografie inspirací pro tvorbu 3D modelů.

Dalšími zdroji, ze kterých bylo čerpáno, byly knihy Táborová pevnost Olomouc a Pevnost Olomouc. Obě díla jsou rovněž plné dobových i současných ilustrací bastionové pevnosti a velmi podrobných informací, popisujících celkový vzhled těchto staveb. Základem bastionů a pevnůstek byla silná kamenná zeď do níž se zalamoval hliněný val. Zemina byla navršena do několika stupňů tak, aby umožňovala krytí pohybujícímu se vojsku. Koruna valu byla pokryta trávou. Uvnitř hradeb vedly kasematy a podzemní chodby. Při rekonstrukci byly stěny zpevněny cihlovým armováním (Viktořík, 2011).

K odvození výškových poměrů jednotlivých částí staveb byly použity příčné profily (řezy), jež jsou zakreslené na raportních plánech.

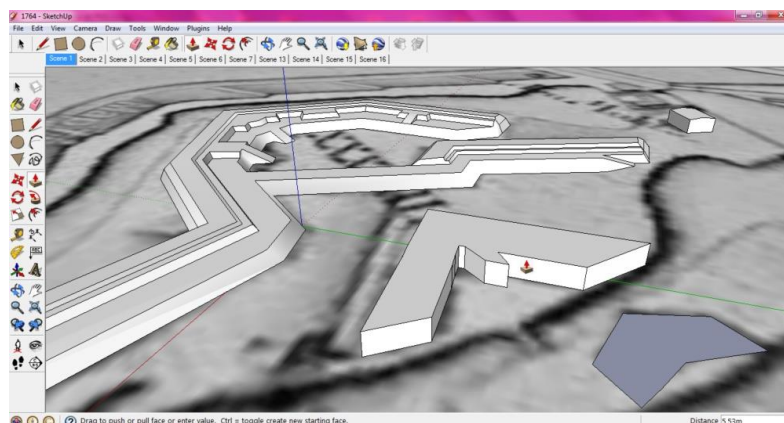


Obr. 18 Hliněné valy Korunní pevnůstky
(zdroj: <http://www.pevnostolomouc.cz/obnova-prikopu-a-valu.htm>).

6.2 Tvůrba 3D modelů

Vytváření 3D modelů Přední pevnůstky z roku 1764 a 1842 probíhalo v softwaru Google SketchUp ve verzi 7. Oba modely vznikaly postupně, a to zvlášť ve dvou samostatných souborech.

Prvním krokem bylo nahrání podkladové vrstvy. Raportní plány uložené ve formátu KML byly nejprve zobrazeny v prostředí virtuálního glóbu Google Earth jako vlastní mapová vrstva. Díky propojení obou programů lze aktuální pohled z Google Earth pomocí funkce *Get Current View* zobrazit v programu SketchUp a použít jako podklad pro modelování tvarů a rozměrů půdorysů staveb a také k odvození jejich prostorové lokalizace. Nejprve byly kreslicím nástrojem *Line* zakresleny veškeré půdorysy, jež byly následně pomocí nástroje *Push/Pull* vytaženy do výšky. K vytváření jednotlivých částí modelů do podoby pevnůstky sloužily taktéž nástroje *Line*, *Push/Pull*, ale i *Move*, díky kterému lze komponenty posouvat a tvarovat nebo *Follow Me*, který umožňuje plochu vytáhnout podél složitější křivky. Modelovány byly kamenné zdi, čelní cihlová plenta, hliněné valy a v případě pevnůstky z roku 1842 i skladištní a ubytovací kasematy křížového půdorysu.



Obr. 19 Vytažení vykresleného půdorysu nástrojem Push/Pull.

Textury

Pro práci s texturami slouží nástroj *Paint Bucket*. Ten nabízí základní sadu textur a barev a rovněž umožňuje jejich editování. Výběr nabízených textur však není tak velký a proto byly využity specializované internetové stránky <http://www.cgtextures.com>, nabízející více než sto tisíc různě tematicky zaměřených kvalitních textur. Po stažení byly texturám zmenšeny rozměry z důvodu snížení celkové velikosti a urychlení načítání modelů v online aplikaci. Při importu do programu bylo důležité zvolit možnost *Use as texture*. Na model Přední pevnůstky z roku 1764 tak bylo použito celkem 8 různých textur a v případě pevnůstky z roku 1842 to bylo 9 textur.

Terén

Importem podkladové vrstvy z aplikace Google Earth je zároveň importován i terén dané oblasti. Jeho zobrazení v programu Google SketchUp lze zapnout tlačítkem *Toggle Terrain*, čímž dojde k vytváření nahrané vrstvy. Terén lze libovolně upravovat pomocí panelu nástrojů *SandBox*. Nevýhodou je zde deformace podkladové vrstvy, ke které dochází během modifikace terénu. Vzhledem k minimálním výškovým rozdílům v zájmovém území bylo od této možnosti úpravy upuštěno. Modely byly vytvořeny bez zapnutého terénu a až při definování výchozích pozic objektů v kódu aplikace nastavena výšková souřadnice tak, aby byly modely nepatrně vyzdviženy nad povrch.

Export modelů

Posledním krokem byl export výsledných 3D modelů. S ohledem na formáty 3D dat, podporované virtuálním glóblem Cesium, bylo nutné modely exportovat do formátu COLLADA. Jelikož Google SketchUp 7 neumožňuje data uložit do tohoto formátu, byly oba modely importovány do novější verze programu SketchUp Make 2014 a následně exportovány do formátu COLLADA. Konečná velikost 3D modelu Přední pevnůstky z roku 1764 činila 1,2 MB a u pevnůstky z roku 1842 to bylo 1,2 MB.

7 MILO OLOMOUC

Na základě prostudování historického vývoje zájmového území, byla jako další v sérii významných proměn lokality vymezena více než stoletá éra průmyslového závodu MILO Olomouc.

7.1 Vstupní data

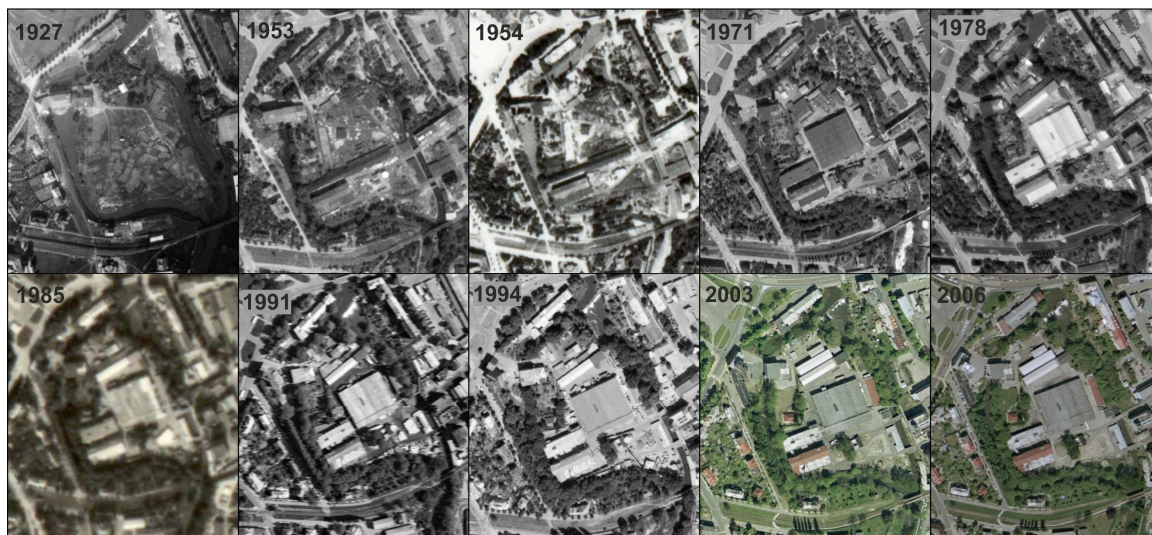
Při počátečním sběru dat bylo navštíveno několik specializovaných institucí, zaměřených na historické materiály. Vlastivědné muzeum v Olomouci ani olomoucká pobočka Zemského archivu v Opavě však nevlastní dostatečné množství potřebných dat. Pro následující tvorbu 3D modelů se tak staly klíčovými zejména letecké měřické snímky, letecké pohledy a fotodokumentace z demolice budov areálu.

7.1.1 Letecké snímky

Díky půdorysnému zobrazení objektů jsou letecké měřické snímky významným zdrojem prostorové informace a vzhledem k vysokému prostorovému rozlišení zdrojem velmi přesným. Právě pro tyto výhody byly LMS v práci použity jako podkladová data pro lokalizaci budov podniku MILO Olomouc.

První letecké měřické snímky byly v ČR pořízeny již roku 1936. Šlo o panchromatické letecké snímky odpovídající měřítku 1 : 10 000 až 1 : 20 000. Soustavné celostátní letecké mapování však započalo až v roce 1946. Celoplošně je ČR barevně snímána od roku 2003, a to v měřítku 1 : 23 000. U archivovaných LMS měřítko kolísá od 1 : 3 000 u maloplošných území, až po 1 : 27 000 u snímkování území celého státu (Bělka, 2005).

Letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2010



Obr. 20 Časová řada leteckých snímků – oblast závodu MILO Olomouc
(zdroj: VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2010).

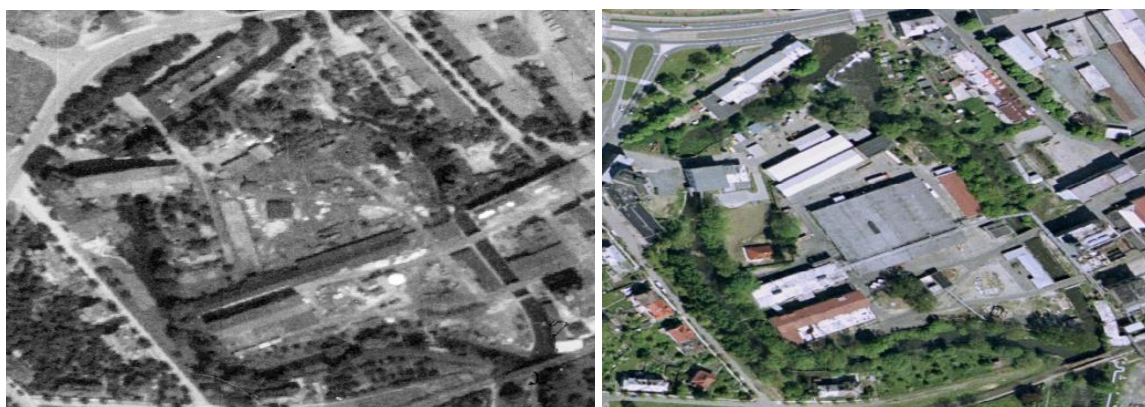
U pravidelného snímkování je velkou výhodou možnost sledování časoprostorového vývoje a porovnávání současného stavu s historickým. Toho ve své práci využila Vostracká (2008), která pomocí časové řady leteckých a družicových snímků zmapovala změny zástavby ve vybraných katastrálních územích v zázemí Prahy. Podobné téma

řešila i Sádovská (2011) na příkladu vývoje urabnizovaného území 22 městských čtvrtí města Olomouce.

Výběr podkladových leteckých snímků

Ze série celkem 10 leteckých snímků, pořízených v letech 1927 až 2006, byl nejprve proveden výběr vhodných exemplářů. Při výběru byly v potaz brány ty snímky, které zachycovaly určitý vývoj v dané lokalitě. Dalšími faktory, které byly při výběru zváženy, bylo měřítko snímku, rozlišení a celková kvalita obrazu.

Na základě uvedených kritérií byly z řady LMS vybrány snímky z let 1953 a 2003. Snímek pořízený roku 1953 zobrazuje území o rozloze přibližně 5x5 km, má rozměry 18x18 cm, měřítko 1 : 25 000 a rozlišení odpovídá hodnotě 1209 DPI (Dots Per Inch). Snímek z roku 2003 zachycuje území velké 6x6 km, má rozměry 23x23 cm, měřítko 1 : 23 000 a rozlišení taktéž 1209 DPI.



Obr. 21 Závod MILO Olomouc roku 1953 a 2003 – měřítko 1 : 3000
(zdroj: VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2010).

Úprava podkladových dat

Před samotným vstupem do procesu 3D modelování musely být nejprve provedeny základní úpravy leteckých měřických snímků. Ty probíhaly v programu Zoner Photo Studio.

Prvotní úpravou byl ořez vybraných snímků. Původní snímky zobrazují území města Olomouce i s přilehlým okolím, jež je v porovnání s poměrně malou plochou zájmové lokality značně rozsáhlé. Velká paměťová náročnost, která se u snímku z roku 1953 pohybovala okolo 70 MB a u barevného snímku z roku 2003 dosahovala až 366 MB, výrazně snižovala rychlost prováděných operací, čím byl znesnadněn plynulý průběh zpracovávání. Po oříznutí snímky zachycovaly území o rozloze 1,2 x 1,2 km a jejich velikost nepřesáhla 20 MB. Zmenšením velikosti byla značně usnadněna a urychlena následující práce. Úpravou histogramu bylo zajištěno odstranění nadbytečného jasu a upravení kontrastu snímků. Došlo tak k celkovému zvýraznění obrazu.

Georeferencování

Surové snímky obsahují značné geometrické nepřesnosti. Nemají jednotné měřítko, tudíž je nelze použít jako mapy a zjišťovat z nich velikosti ploch či vzdálenost. Tyto nepřesnosti mohou být odstraněny georeferencováním. Tento pojem lze označit jako proces přiřazení určité geografické polohy rastrovému podkladu v daném souřadnicovém systému (Dobrovolný, 1998).

Celý postup se skládá z několika dílčích kroků. Po importu do prostředí aplikace ArcMap byly letecké snímky nejprve převedeny do systému souřadnic WGS 84.

Dále byly hledány referenční podkladové vrstvy, na základě kterých by bylo možné letecké snímky georeferencovat s co možná největší přesností. Vzhledem k dobové povaze leteckých snímků byla do projektu nahrána prohlížečská služba WMS – Archivní ortofoto, poskytující ortofota ČR z let 1998 až 2012. Nejstarší z poskytovaných archivních ortofotosnímků, zachycujících území města Olomouce i se závodem MILO pochází z roku 2000. I přesto, že se situace mezi rokem 1953 a 2000 značně změnila, bylo možné najít dostatečné množství identických bodů, potřebných pro georeferencování leteckého snímku z roku 1953. LMS z roku 2003 byl georeferencován na základě archivního ortofotosnímku z roku 2003. Pomocí nástrojů lišty *Georeferencing* bylo na každém snímku ručně identifikováno 10 vřícovacích bodů a použita polynomická transformace 1. řádu. Pro převzorkování obrazu byla stejně jako v případě raportních plánů použita metoda kubické konvoluce. Po rektifikaci byly snímky uloženy do formátu PNG.

Tvorbapopových dlaždic

Posledním krokem, který bylo před samotným 3D modelováním nutné provést, byla transformace georeferencovaných leteckých snímků do pobody dlaždic. Operace probíhala v programu MapTiler, za základě stejných vstupních parametrů, jako v případě raportních plánů (viz kapitola 6.1.1). Výsledkem byly opět adresáře s vytvořenými dlaždicemi a jeden KML soubor.

7.1.2 Obrazová data

Vzhledem k historické povaze modelovaných objektů bylo hledání obrazových materiálů, vypovídajících o jejich tehdejší podobě, zpočátku cíleno na archivy a muzea.

Ačkoli demolice areálu MILO Olomouc proběhla až v roce 2009, nebylo hledání potřebných materiálů snadné. Olomoucká pobočka Zemského archivu v Opavě sice vlastní bohatou sbírku historických fotografií a podrobných stavebních plánů mnoha budov tohoto závodu, převážná většina záznamů se však týká historicky starších objektů, nacházejících se ve východní části závodu, a tedy mimo zájmové území této práce. Navíc veškeré záznamy pocházejí z období před rokem 1945, kdy v lokalitě tzv. ostrova stála pouze dřevěná kůlna. Černobílá fotografie a stavební plán tohoto objektu v měřítku 1 : 200 se však staly cenným zdrojem informací. Fotografie z pozdějšího období byly nalezeny ve fotoarchivu Vlastivědného muzea v Olomouci. Zde byla pořízena kopie snímku, zachycující situaci roku 1980.

Daleko obsáhlejším zdrojem obrazových dat jsou internetové stránky projektu Šantovka (<http://www.smcdevelopment.cz/>), které kromě informací o výstavbě nákupní Galerie Šantovky a vizualizací interiéru i exteriéru poskytují snímky z demolice budov bývalého podniku MILO a také letecké pohledy na areál před demolicí. Celkem bylo z těchto internetových stránek jako inspiraci k tvorbě 3D modelů použito 10 fotografií. Díky leteckým pohledům bylo možné fotografie jednotlivých budov spojit s konkrétním místem v lokalitě.

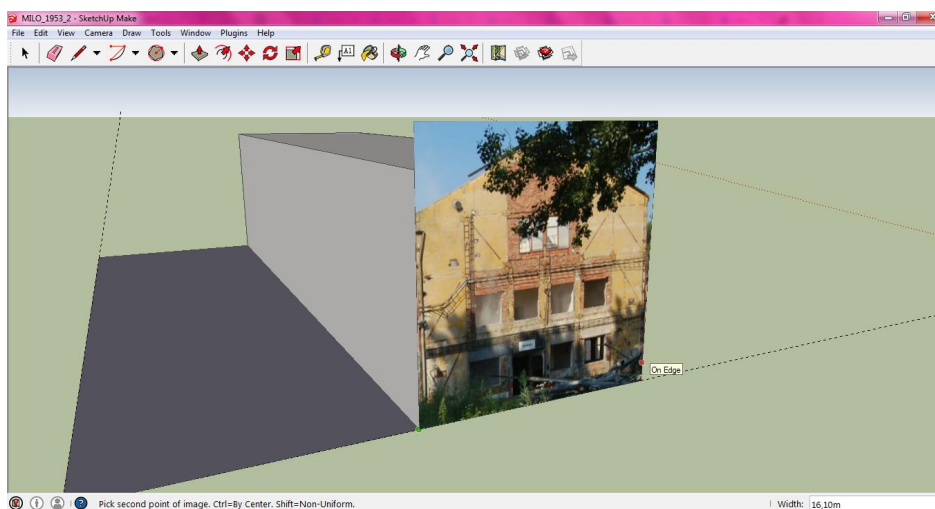


Obr. 22 Srovnání fotografie z demolice budov a 3D modelu
(zdroj: <http://www.smcdevelopment.cz/>).

7.2 Tvůrba 3D modelů

Modelování dobové podoby závodu MILO Olomouc z roku 1953 a 2003 probíhalo obdobně jako u 3D modelů Přední pevnůstky (viz kapitola 6.2). Díky shromážděným obrazovým materiálům, zejména leteckým pohledům na areál, pořízených před demolicí, bylo možné vymodelovat věrnou podobu závodu z roku 2003. Z použitých leteckých měřických snímků bylo zjištěno, že několik budov, které v areálu stály již roku 1953, zde zůstaly minimálně dalších padesát let. Nejprve byly tedy vymodelovány budovy z roku 2003. Ty objekty, které se objevovaly na obou snímcích, byly zkopírovány do dalšího souboru, v němž byly později dotvořeny ostatní budovy z roku 1953.

Podkladem pro základní modelování půdorysů budov byly letecké snímky ve formátu KML, které lze do programu Google SketchUp 7 importovat z prostředí Google Earth funkcí *Get Current View*. Při modelování byly opět použity hlavně nástroje *Line*, *Circle*, *Push/Pull*, *Follow Me*, *Move* nebo *Offset*. Oproti modelům Přední pevnůstky však byly tyto tvořeny na větší úrovni detailu. Detailnost jednotlivých budov se lišila a závisela na podrobnosti získaných materiálů. Kromě základních částí budov jako jsou dveře, okna či střecha byly modelovány i schůdky, střešní okna, komíny či zábradlí. U budov k nimž existovala fotografie mohla být určena i jejich výška. Roztažením fotografie na šířku strany půdorysu budovy dojde paralelně i ke zvětšení jejího výškového rozměru. U ostatních budov byla přibližná výška odvozena z leteckých pohledů podle okolních budov.



Obr. 23 Odvození výšky budovy z fotografie pořízené při demolici.

Textury

Veškeré použité textury byly staženy ze specializovaných webových stránek a před importem do programu upraveny jejich rozměry. Vybírány byly takové textury, které se podobou co nejvíce přibližovaly vzhledu budov z leteckých pohledů a fotografií. Nástrojem *Texture – Position* byly zejména obrazy oken a dveří usazovány do požadové pozice. Dalším úpravy v podobě změny barev či velikosti textur probíhaly pomocí nástroje *Paint Bucket* a možnosti *Edit*. K otexturování modelu budov z roku 1953 bylo použito 73 různých textur omítek, střech, oken, dveří a dalších. U modelu budov z roku 2003 bylo textur celkem 90.

Terén

Nerovnost terénu byla vyřešena stejným způsobem jako v případě modelů Přední pevnůstky (viz kapitola 6.2), tedy vhodným nastavením zetové souřadnice obou 3D modelů tak, aby se pod terén nezanořovaly.

Export modelů

V závěru byly modely zobrazeny v novější verzi programu SketchUp Make 2014, odkud proběhl export do formátu COLLADA. Ve výsledku se velikost 3D modelu závodu MILO Olomouc z roku 1953 rovnala 6,4 MB a v případě modelu závodu z roku 2003 velikost činila 7,8 MB.

8 GALERIE ŠANTOVKA

Posledním z řady 3D modelů je nyní objekt obchodního centra Galerie Šantovky. Vzhledem ke složitosti stavby a množství detailů bylo rozhodnuto vytvořit model fotorealistický. Modelování probíhalo ve dvou fázích a bylo využito jak fotogrammetrických metod, tak metod 3D modelování.

8.1 Vstupní data

Zdrojem dat pro tvorbu základní kostry modelu byla série 16 leteckých snímků ve formátu JPEG a souřadnice osmi vřícovacích bodů. Tato vstupní data pořídil vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovským, PhD. v březnu roku 2015. Kromě převodu souřadnic z S-JTSK do systému WGS 84 nebylo nutné data nijak upravovat. Vedle leteckých snímků zachycujících pouze střešní část objektu, byla vlastní pozemní fotodokumentaci opatřena rozsáhlá sada digitálních fotografií celého komplexu stavby, která byla následně použita k vytvoření fotorealistických textur.

8.2 Tvorba 3D modelu

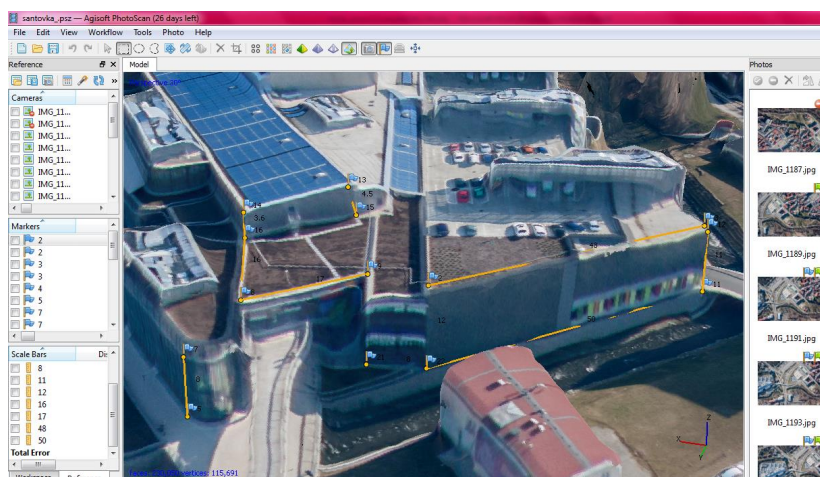
První fáze tvorby modelu probíhala v programovém prostředí PhotoScan, kde byl z poskytnutých leteckých snímků vytvořen 3D model. Postup byl podobný jako u generování 3D modelů stavebních základů Přední pevnůstky (viz kapitola 5.2) a skládal se ze čtyř základních procesů: *Align Photos*, *Build Dense Cloud*, *Build Mesh* a *Build Texture*. V následující tabulce je uveden přehled nastavených parametrů daných procesů.

Tab. 2 Nastavení parametrů při tvorbě modelu Šantovky

Proces	Parametr	Hodnota
Align Photos	Accuracy	High
	Pair preselection	Disabled
	Point limit	50 000
Build Dense Cloud	Quality	Medium
	Depth filtering	Moderate
Build Mesh	Surface type	Height field
	Source data	Dense Cloud
	Face count	Medium
	Interpolation	Enabled
Build Texture	Mapping mode	Generic
	Blending mode	Mosaic
	Texture size/count	4096x1

Identifikací 8 vřícovacích bodů byl model umístěn do souřadnicového systému WGS 84 a umožněno tak nepřímé měření rozměrů objektu. Díky vytváření vlastních markerů a funkci *Create Scale Bar* byly postupně odměřeny reálné výšky a vzdálenosti, jak je patrné z obrázku č. 24. Druhá fáze modelování probíhala v programu SketchUp 7. Importem aktuálního obrazu z prostředí Google Earth byla odvozena prostorová lokalizace a tvar půdorysu objektu. Na základě získaných údajů o rozměrech byla

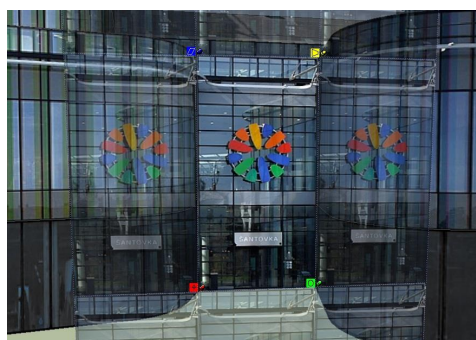
kreslicími nástroji, mezi něž patří zejména *Line*, *Push/Pull*, *Follow Me* a *Move*, vymodelována budova obchodního centra.



Obr. 24 Měření reálných rozměrů obchodního centra Šantovky.

Textury

Aby bylo možné fotografie použít jako textury, musely být nejprve patřičně upraveny. V grafickém editoru Zoner Photo Studio byly snímky oříznuty tak, aby zobrazovaly jen požadovanou oblast. Dále byl pozměněn jejich jas a kontrast a vyretušováány nežádoucí elementy jako např. náhodní chodci, lampy či části stromů. Zásadním krokem bylo zmenšení rozměrů fotografií, což značně přispělo k zredukování velikosti souboru z původních 20 MB na konečných 13 MB. Jelikož pozemní fotodokumentace nedovolovala zachytit části objektu, nacházející se ve vyšších polohách, byly kromě vlastních fotografií použity i textury získané z internetových stránek <http://www.cgtextures.com>. K otexturování střešní části objektu posloužil jeden letecký snímek. Textury byly do programu SketchUp importovány funkcí *Import – Use as texture*. K usazování fotografií a textur do požadované pozice byl použit nástroj *Texture – Position*. Na model bylo použito celkem 38 různých textur.



Obr. 25 Usazení textury nástroji *Texture – Position*

Terén

Problém terénu byl vyřešen až ve fázi sestavování webové aplikace, nastavením výškové souřadnice pozice modelu v kódu aplikace.

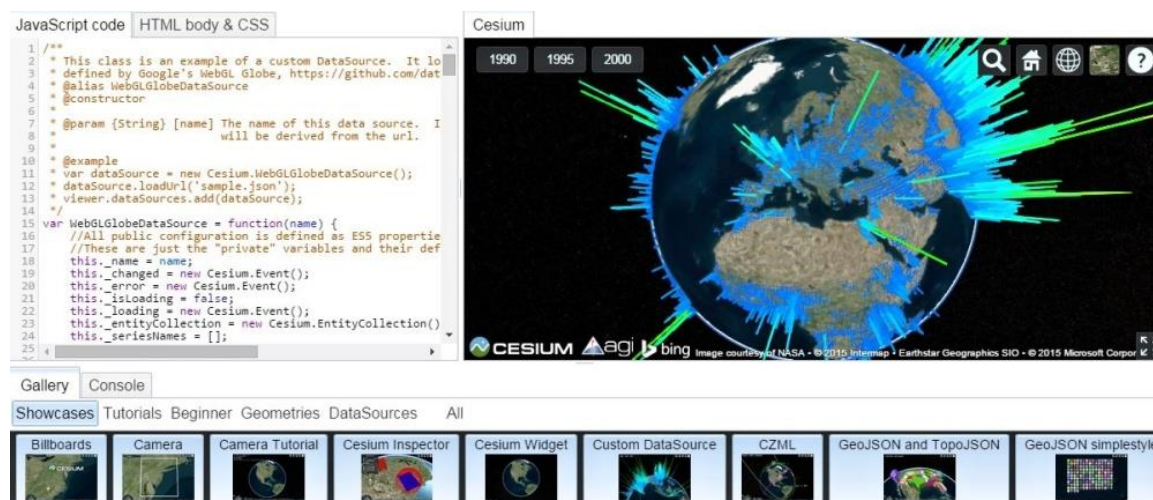
Export modelu

Posledním krokem bylo otevření modelu v novější verzi programu SketchUp Make 2014 a vyexportování modelu do formátu COLLADA s konečnou velikostí 13 MB.

9 WEBOVÁ APLIKACE

Kromě samotného virtuálního glóbu je součástí projektu Cesium i řada návodů a dokumentací. K tvorbě vlastní aplikace slouží aplikační programové rozhraní **Sandcastle**, pomocí kterého lze kód editovat přímo ve webovém prohlížeči. Výhodou Sandcastle je galerie ukázkových aplikací se zdrojovými kódy, na jejichž základě byla sestavena i aplikace pro vizualizaci výsledků této práce. Pro správnou funkčnost aplikace stačí mít k dispozici webový prohlížeč, podporující WebGL a HTML5.

Při sestavování jádra zdrojového kódu bylo využito zejména příkladů „3D Models“ a „Imagery Layers Manipulation“, dostupných ze stránek Cesium Sandcastle. Kódy zmíněných vzorových aplikací však bylo nutné podrobit jistým upravám.



Obr. 26 Webové aplikační rozhraní Sandcastle
(zdroj: <http://cesiumjs.org/Cesium/Apps/Sandcastle/index.html>).

Nahrání 3D modelů

Běžnou praxí při tvorbě modelů v programu SketchUp je exportování do formátu KMZ a následná prezentace v prostředí Google Earth nebo sdílení prostřednictvím knihovny 3D Warehouse. V případě virtuálního glóbu Cesium je však postup pro docílení vizualizace 3D dat o něco složitější. Formáty KML i KMZ jsou sice plně podporovány pro různé typy geometrií, bohužel s výjimkou 3D modelů.

Cesium podporuje zobrazování 3D modelů ve formátu glTF (OpenGL Transmission Format). Což je nově rozvíjející se formát pro publikování 3D objektů prostřednictvím internetu. Za vývojem tohoto formátu stojí sdružení Khronos Group. V novějších verzích projektu Cesium lze použít i rozšíření předchozího formátu, a to Binary glTF, který umožňuje až o 30 % rychlejší nahrávání 3D grafiky. K získání modelů v požadovaném formátu byl využit online konvertor pro převod modelů z formátu COLLADA do formátu Binary glTF, který je volně dostupný na webových stránkách projektu Cesium (<http://cesiumjs.org/convertmodel.html>).

Konverze 3D modelů, vytvořených v programu SketchUp proběhla bez problému. Software PhotoScan sice umožňuje přímý export modelů do formátu COLLADA, nicméně převod do formátu bglTF nebyl úspěšný. Důvodem je pravděpodobně struktura modelů generovaných z fotografií, jež je tvořena hustou sítí polygonů. Řešením byl export modelů do formátu COLLADA a následný import do programu SketchUp Make 2014. Modely vyexportované do formátu COLLADA z tohoto programového prostředí se pak zdárně podařilo nahrát do aplikace.

Další úpravy zdrojového kódu zahrnovaly definování souřadnic výchozí pozice a orientace každého modelu. Důležitou součástí bylo nastavení relativních cest k souborům s 3D modely.

Přidání podkladových vrstev

Na povrch virtuálního glóbu lze naložit různé podkladové mapové vrstvy, které je ale potřeba pro online vizualizaci předchystat. K tomu byla využita aplikace MapTiler, kde byla z úvodní nabídky zvolena možnost *Standard Tiles*, určená k publikaci vrstev ve webové aplikaci. Po načtení podkladové vrstvy byl jako výstupní formát dlaždic vybrán PNG. Černý rám, který kolem vrstvy vzniká georeferencováním, je možné zprůhlednit výběrem možnosti *alpha transparency* a současným nastavením hodnot barevného modelu alfa kanálu (*alpha transparency channel*) na RGB (0, 0, 0). Na závěr je podstatné zvolit schéma dlaždic *OSGeo TMS (bottom-left origin)*. Uložení výsledku vznikne několik adresářů s mapovými dlaždicemi a soubory určenými k publikování na webu.

Manipulace s objekty

Možnost veškeré manipulace s 3D modely a mapovými vrstvami byla zajištěna implementací pole *Toolbar*, který lze do aplikace začlenit úpravou odkazu na soubor s příslušnými kaskádovými styly a dále modifikovat pozměněním samotného kódu tohoto souboru. Přepínat mezi jednotlivými modely lze díky funkci *ToolbarMenu*. Zobrazování vlastních podkladových vrstev je zde řešeno funkcí *Checkbox*. Zajímavá je možnost změny průhlednosti jednotlivých mapových vrstev. U 3D modelů základů Přední pevnůstky je možné zobrazení výřezu orientačního plánu pomocí nástroje *InfoBox*. Orientační plán pořízený během výkopových prací slouží k snadnější identifikaci konkrétních reliktních zdí.



Obr. 27 Vytvořená aplikace v prostředí virtuálního glóbu Cesium.

10 VIDEOANIMACE

Ačkoliv je online aplikace silným vizualizačním nástrojem, k prezentaci časového vývoje je efektivnější využít možností animačních výstupů. Za tímto účelem byla vytvořena krátká videoanimace, zachycující vývoj území pomocí vytvořených 3D modelů, reprezentujících jak historický, tak současný stav. Videoanimace je součástí webových stránek o bakalářské práci, umístěných na aplikačním webovém serveru katedry geoinformatiky.

Vytvoření jednotlivých animačních scén proběhlo v programovém prostředí SketchUp pomocí nástroje *Animation*. Výsledné obrazové sekvence byly uloženy s rozlišením 720p HD (high definition) do formátu videa MP4, poskytující dobrou kvalitu a nízkou náročnost na paměť. V programu Windows Movie Maker 2012 byly animační sekvence sestříhány, doplněny o vizuální efekty, popisky a zvukovou stopu. Na závěr bylo využito možnosti přímého publikování videa na internetu prostřednictvím služby YouTube.



Obr. 28 Ukázka videoanimace v prostředí YouTube.

11 VÝSLEDKY

Výsledky zpracované v rámci této práce je možné rozdělit do dvou částí. První z nich je řada 3D modelů, pro jejichž vytvoření byly použity jak fotogrammetrické metody, tak postupy klasického 3D modelování. Do druhé kategorie spadají výstupy určené k interaktivním vizualizačním účelům. Těmi jsou webová aplikace a videoanimace.

První skupinu výstupů tvoří sada celkem 23 trojrozměrných modelů **reliktů zdi Přední pevnůstky**, odkrytých při archeologickém výzkumu v lokalitě Šantovka. Jednotlivé modely zahrnují jak zdi pocházející z poloviny 18. století, tak z 1. pol. 19. století. Souvisejícími výstupy jsou **reporty**, které obsahují informace o vlivovacích bodech, samotných modelech, ale i parametry kamery, použité pro pořizování snímků. Nezbytnými výstupy se ukázaly být **ortofotosnímky**, vygenerované z jednotlivých modelů. Díky jejich přesnému prostorovému umístění bylo možné raportní plány Olomouce bez problému v oblasti zájmového území georeferencovat a vyhnout se tak velkým nepřesnostem. Ty by vznikly v důsledku mizivého počtu možných identických bodů, neboť mimo historické jádro Olomouce plány neobsahují téměř žádné objekty, srovnatelné se současným stavem.

Mezi další ze série 3D výstupů patří modely **Přední pevnůstky** v její dobové podobě z roku 1764 a 1842. Jelikož se jedná o historické objekty, o jejichž podrobnějším vzhledu v dnešní době neexistují přesnější informace, byly tyto modely oproti ostatním vyhotoveny na nižší úrovni detailu.

Značně podrobněji byl ztvárněn bývalý průmyslový závod **MILO Olomouc**. Původně bylo zamýšleno tuto éru reprezentovat pouze jedním modelem. Ze získaných materiálů však bylo zjištěno, že během existence podniku došlo k mnohým změnám a rozšíření o několik objektů. Model závodu byl tedy vytvořen ve dvojím provedení, a to v podobě, jakou měl v roce 1953 a 2003.

Posledním výstupem z řady 3D modelů je obchodní centrum **Galerie Šantovka**. Výstup představuje ukázkou toho, jak lze kombinací fotogrammetrických metod a běžného 3D modelování v krátkém čase získat velmi přesnou trojrozměrnou reprezentaci poměrně rozsáhlého objektu. Od předchozích 3D modelů se tento liší nejen způsobem zpracování, ale i svou fotorealistickou podobou. Kvůli specifickému vzhledu objektu by bylo obtížné model opatřit věrohodnými texturami, a to i přesto, že mnohé specializované internetové stránky jich nabízejí nepřeberné množství. Použitím fotografií namísto textur se výrazně snížila časová náročnost tvorby modelu a zároveň zvýšila jeho atraktivita.

Dalším výstupem je **online aplikace**, sloužící k prohlížení všech výše uvedených 3D modelů. Spustit ji lze v libovolném webovém prohlížeči s podporou WebGL. Aplikace využívá prostředí virtuálního glóbu Cesium. Možné je zde zobrazit vlastní georeferencované podkladové vrstvy – dva raportní plány pevnosti Olomouc z roku 1764 a 1842 a dva letecké měřické snímky, pořízené roku 1953 a 2003. Mimo to lze vybírat ze tří výchozích podkladových vrstev. Velkou výhodou představuje fakt, že k plné funkčnosti aplikace není nutné instalovat žádný program ani plugin, což ji dělá přístupnější.

Doplňujícím výstupem je **videoanimace**, jež umožňuje sledování vývoje zájmového území od roku 1764 až do roku 2015. Ze sekvence na sebe navazujících snímků, zachycujících vytvořené 3D modely, byl v prostředí softwaru SketchUp vytvořen animační výstup ve formátu MP4. Sestřiháním a doplněním o vizuální a zvukové prvky vzniklo necelé tři minuty dlouhé video, které je dostupné na webových stránkách

bakalářské práce prostřednictvím internetového serveru YouTube. V animaci nechybí ani příslušné podkladové vrstvy, díky kterým celý výstup působí realističtějším dojmem.

Vzhledem k neveřejné povaze výstupů není možné jejich kompletní zpřístupnění veřejnosti. Veřejně přístupné jsou pouze 3D modely ve formátu 3D PDF, reporty ve formátu PDF a videoanimace. Ty jsou uloženy na DVD, jež slouží jako příloha práce. Kompletní výstupy jsou uvedeny na DVD, které je uloženo na katedře geoinformatiky.

12 DISKUZE

Baklářská práce byla zaměřena na tvorbu 3D modelů jak zaniklých, tak současných objektů, nacházejících se v lokalitě Šantovka. Cílem bylo vizualizovat vývoj tohoto místa v období od 18. století do současnosti. Ačkoli byly v průběhu práce splněny všechny stanovené cíle, zpracování se neobešlo bez určitých problémů.

Prvním nedostatkem, který značně ztížil tvorbu 3D modelů reliktní zdi Přední pevnůstky a především negativně ovlivnil kvalitu výstupů (3D modelů i ortofot), byla kvalita a počet vstupních snímků. Mnohé snímky byly špatně exponované a některé zdi byly zachyceny na velmi malém počtu snímků. Stávalo se, že software nebyl schopen vytvořit model jako jeden celek. Bylo tedy nutné modely generovat po částech a s použitím nástrojů softwaru PhotoScan jednotlivé části spojit do výsledného celku. U takto vytvořených 3D modelů vznikaly v místech překrytu spojovaných částí nepřesnosti, kterými byla snížena jak vizuální kvalita, tak celková přesnost. Ačkoli byl díky nástrojům použitého programu problém nízké kvality a počtu vstupních dat vyřešen, mnohem efektivnější by bylo této situaci předcházet např. větším počtem snímků nebo zvolením vhodnější konfigurace. Dále by bylo vhodné vyhnout se nepříznivým světelným podmínkám.

Vícero východisek existuje i v případě řešení terénu pod 3D modely. Program Trimble SketchUp nabízí možnost zobrazení aktuálního pohledu z prostředí Google Earth, čímž dojde i k importu terénu. Jednou z možností je zarovnání terénu v modelovém území pomocí sady nástrojů *SandBox*. Druhým způsobem je modelování podstav 3D objektů tak, aby terénu odpovídaly. Další alternativou je pouhé nadzvednutí modelů nad terén. V případě této práce bylo zvoleno poslední zmiňované řešení a to z důvodu velmi málo členitého terénu nejen samotného území, ale i terénu, který nabízí aplikace Cesium. Při umísťování 3D modelů do prostředí tohoto virtuálního glóbu byly pouze mírně upraveny jejich zetové souřadnice. Z prohlížení modelů ve výsledné aplikaci tedy není patrné, že by se modely nad povrchem vznášely či pod něj zanořovaly.

Reálné výšky a rozměry obchodního centra Šantovky byly zjišťovány nepřímým měřením na 3D modelu, vytvořeném z leteckých snímků ve fotogrammetrickém softwaru. Ssamotné zpracování dat do podoby trojrozměrného modelu je jak časově, tak finančně nenáročné, což se ale nedá říct o celé fázi pořizování vstupních dat. Alternativním a nepochybně snadnějším řešením by bylo využití volně dostupného programu Google Earth Pro. Profesionální verze programu umožňuje měřit vzdálenosti i plochy v prostoru, přímo na zobrazených fotorealistických modelech budov.

Projekt Cesium je stejně jako podobné virtuální glóby, založené na technologii WebGL a HTML5, stále ve fázi raného vývoje. Tuto skutečnost lze pozorovat při prohlížení sestavené vlastní aplikace. Prostředí virtuální glóbu postrádá implementaci jakéhokoli grafického elementu, který by naznačovat probíhající načítání dat. Zejména při načítání větších modelů uživatel nepozná, zda aplikace na požadavek zobrazení daného modelu reaguje či nikoli. Dalšího nedostatku si lze všimnout při přepínání modelů pomocí dvou rozvinovacích tlačítek. Tlačítka rozdělují modely do dvou skupin. Při přechodu z modelu první kategorie, na model spadající do kategorie druhé, již nelze zpětně zobrazit model předchozí. Jediným řešením je tlačítko „resetovat“ a požadovaný model opět nechat vyobrazit. Technická podpora projektu byla na tento problém upozorněna a v současné době pracuje na nalezení vhodného řešení. Posledním problémem je častno chybné načtení výchozí pozice aplikace, a to i přeto, že jsou v kódu souřadnice výchozí pozice přesně určeny. Pro tento případ pak lze použít tlačítko *View Home*, kterým se uživatel dostane zpět nad zájmové území. Co značně snižuje

atraktivitu aplikace je doba načítání některých modelů, zejména Galerie Šantovky, s čím se ale v případě fotorealistických modelů musí počítat. Řešením by bylo nalézt optimálnější poměr mezi kvalitou textur a celkovou velikostí modelu.

Potenciál 3D výstupů lze najít v podobě digitální 3D dokumentace archeologických nálezů a v trojrozměrné rekonstrukci pro historii významných zaniklých objektů.

13 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo vytvoření 3D modelů jednotlivých budov a objektů, reprezentující vývoj lokality Šantovka v období od 18. století do současnosti. Původní návrh zahrnující 3D modely reliktní zdi Přední pevnůstky, Přední pevnůstku z 18. a 19. století, model průmyslového areálu MILO Olomouc ze 20. století a nynější Galerii Šantovku, byl v průběhu práce rozšířen o druhý 3D model závodu MILO Olomouc. Celkový vývoj zájmového území tak byl lépe vystihnout. Dalším cílem bylo sestavení webové aplikace, umožňující interaktivní prohlížení vytvořených 3D výstupů.

V počáteční fázi práce byla provedena rešerše, popisující současný stav řešené problematiky v oblasti virtuální 3D rekonstrukce a digitální 3D dokumentace archeologických nálezů a zaniklých objektů. Poté proběhl sběr dat, který zahrnoval návštěvu olomoucké pobočky Zemského archivu v Opavě, Vlastivědného muzea, územního odborného pracoviště Národního památkového ústavu v Olomouci a konzultaci s pracovníky archeologické společnosti Archaia Olomouc o.p.s. Pro účely bakalářské práce byla poskytnuta série historických plánů olomouckého opevnění z let 1752 až 1842, letecké měřické snímky z let 1927 až 2006, terénní fotogrammetrická dokumentace archeologických nálezů a několik dobových fotografií, zobrazující stav lokality ve 20. století. Z dat, zachycujících současnou situaci, byly použity letecké snímky, pořízené pracovníkem katedry geoinformatiky RNDr. Jakubem Miřijovským, Ph.D. a také provedena vlastní pozemní fotodokumentace.

V následujícím kroku bylo ve fotogrammetrickém softwaru Photoscan zpracováno velké množství snímků archeologických nálezů a soubor souřadnic celkem 204 vřícovacích bodů. Došlo tak k vytvoření sady 23 modelů reliktní zdi Přední pevnůstky.

Další fáze práce spočívala ve výběru vhodných podkladových materiálů, přičemž byla rozhodující především kvalita a detailnost dat. Vybrané historické plány a letecké měřické snímky byly v softwaru ArcGIS převedeny do souřadnicového systému WGS 84. LMS byly georeferencovány na základě WMS – Archivní ortofoto ČR. Při georeferencování raportních plánů se uplatnily zejména ortofotosnímky pozůstatků zdi Přední pevnůstky. Pomocí softwaru MapTiler byly vrstvy transformovány do formátu KML a zobrazeny v prostředí Google Earth, odkud lze do programu SketchUp 7 importovat vlastní georeferencované vrstvy a použít jako přesný půdorysný podklad.

Toho bylo využito při tvorbě dvou 3D modelů Přední pevnůstky. Zde byly podkladem raportní plány pevnosti z roku 1764 a 1842. K odvození výškových poměrů objektu sloužily příčné profily (řezy) a informace získané z odborné literatury. Na základě LMS, pořízených roku 1953 a 2003 vznikly další dva modely, jež jsou rekonstrukcí závodu MILO Olomouc. Přibližné výšky objektů byly odvozovány z dostupných fotografií, šikmých leteckých snímků a celkových pohledů na areál. V obou případech byly na modely použity textury ze specializovaných webových stránek, jejichž rozměry bylo nutné předem zredukovat. Poslední fáze 3D modelování probíhala v softwaru PhotoScan. Z leteckých snímků byl vygenerován jednoduchý model Galerie Šantovky, na němž došlo k odměření reálných vzdáleností a výšek. Získané rozměry spolu s vlastními fotografiemi objektu se staly základem k vytvoření fotorealistického 3D modelu. Modelování bylo realizováno pomocí nástrojů programu SketchUp.

Závěrečná část práce patřila webové aplikaci. V současné době rychle se rozvíjející JavaScriptové API (Application Programming Interface) v podobě virtuálního glóbu Cesium se stalo vhodným prostředím pro vizualizaci konečných výstupů. Kromě samotných 3D modelů aplikace obsahuje i podkladové vrstvy – raportní plány olomouckého opevnění z roku 1764 a 1842 a taktéž letecké měřické snímky z roku

1953 a 2003. Nezbytným krokem k zobrazení vrstev v aplikaci byla transformace do dlaždic, určených právě pro webové aplikace, což je možné provést prostřednictvím programu MapTiler.

Doplňujícím výstupem je videoanimace, představující vývoj lokality ve formě průletů nad 3D modelů. K vytvoření byly použity nástroje softwaru SketchUp a Windows Movie Maker.

Za výsledek je možné považovat nejen 3D vizualizaci vývoje daného území, ale i podrobný postup práce, který může být aplikován v případě podobně zaměřených prací. Zároveň mohou výsledky sloužit jako digitální 3D dokumentace archeologických nálezů.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.0 [online]. 2014, 71 s. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_1_en.pdf.

BĚLKA, L. Využití stereoskopického pozorování pro geomorfologické mapování. *Kartografické listy*. 2005, (13): 5-13.

BITTERER, L. *Základy fotogrammetrie: Učebný text katedry geodézie pre študentov bakalárskeho štúdia odboru geodézie a kartografia* [online]. 2005 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://svf.uniza.sk/kgd/skripta/fotogrametria/>.

BRYCHTOVÁ, A. a POPELKA, S. 2011a. Kartometrická analýza raportního plánu Tereziánské pevnosti Olomouc. In: *Zborník recenzovaných príspevkov Univerzita Komenského*. Bratislava, 2011, 6 s. ISBN 978-80-223-3013-8.

BRYCHTOVÁ, A., POPELKA, S. 2011b. Visualization of Spatio-Temporal Changes of The Olomouc City. In *Proceedings of the 6th International Workshop Digital Approaches to Cartographic Heritage*, Haag, Netherlands, 2011.

CARROZZINO, M., et al. The Immersive Time-machine: A virtual exploration of the history of Livorno. *Proceedings of 3D-Arch Conference*, Trento, Italy, 2009, s. 198-201.

CARTWRIGHT, William E. Using 3D models for visualizing "The city as it might be", *Proceedings of ISPRS Technical Commission II Symposium*, Vienna, Austria, 2006.

Cesium: WebGL Virtual Globe and Map Engine [online]. 2012 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://cesiumjs.org/>.

DE REU, J., et al. Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of archaeological science*. New York: Academic Press, 2013, 40(2): 1108–1121. ISSN 0305-4403.

DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998, 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

FAŠÁNEK, M. *3D vizualizace románského kostela v Kalinčiakově s využitím geodetického a fotogrammetrického měření*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

GAMMON, K. Touch-Free Archaeology Reveals History With Lasers, Drones. In: *National Geographic* [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://news.nationalgeographic.com/2015/04/150403-noninvasive-archaeology-ammaia-roman-lusitania-portugal-video/>.

GUIDI, G., et al. Rome Reborn - Virtualizing the ancient imperial Rome, *Proceedings of the 3D Arch Conference*, Trento, Italy, 2007.

HÁJEK, P., et al. 3D Cartography as a Platform for Reminding Important Historical Events: The Example of the Terežín Memorial. In: *Modern Trends in Cartography* [online]. 2014, s. 425 [cit. 2015-08-09]. DOI: 10.1007/978-3-319-07926-4_32.

HANZALOVÁ, K., et al. Simplified photogrammetrical documentation and visualization of historic objects in Peru. *Proceedings of XXIIIth CIPA Symposium*. Praha, Česká Republika, 2011.

HE, Y., et al. A Virtual Reconstruction Methodology for Archaeological Heritage in East Asia: Practical Experience from the Re-relic Program in China. *VAR Journal*. 2013, 4(9): 93-99. ISSN 1989-9947.

HERMAN, L. *Vizualizace 3D modelů měst na webu*. Brno, 2013. Rigorózní práce. Masarykova Univerzita.

HODAČ, J. Fotogrammetrické metody. *Laboratoř fotogrammetrie ČVUT* [online]. 2012 [cit. 2015-08-10]. Dostupné z: http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/fd11/4_obrazky.pdf.

JEDLIČKA, K., et al. Experience with methods of 3D cartography gained during visualization of detailed geographic data for purposes of documenting cultural heritage (case study at the castle Kozel). In: *GeoCart'2012 and ICA Regional Symposium on Cartography for Australasia and Oceania*. Auckland: New Zealand Cartographic Society Inc., 2012. s. 89-100. ISBN: 978-0-473-22313-7.

KORÓNIOVÁ, M. *Fotogrammetrická dokumentace archeologického naleziště Rusovce – Gerulata u Bratislavy*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

KOUTSOUDIS, A., et al. On 3D reconstruction of the old city of Xanthi. A minimum budget approach to virtual touring based on photogrammetry. *Journal of Cultural Heritage*, 2007, 8(1), 26-31.

KOVÁČIK, P. *Olomouc Šantovka - multifunkční areál: Předběžná nálezková zpráva*. 2012.

KRATOCHVÍL, M. *Vizualizace dostavby Staroměstské radnice*. Praha, 2012. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.

KUDRNOVSKÝ, M., et al. Geodetické zaměření stávajícího stavu a projekt obnovy zříceniny hradu Hamrštejna.. In: *Archaeologia historica*. Brno: Masarykova univerzita 36, č. 1, (2011), s. 243-252.

KUCH-BREBURDA, M. a KUPKA, V. *Pevnost Olomouc*. 1. vyd. Dvůr Králové nad Labem: FORTprint, 2003, 311 s. Pevnosti. ISBN 80-860-1121-6.

Langweilův model Prahy [online]. 2009 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.langweil.cz/>.

LOESCH, B., et al. OpenWebGlobe – an open source SDK for creating large-scale virtual globes on a WebGL basis. In: *Shortis, M., Madden, M., eds. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B4. XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, 2012.

LUHMANN, T., et al. *Close range photogrammetry: principles, methods and applications*. Dunbeath: Whittles, 2006. ISBN 18-703-2550-8.

MARČIŠ, M. Quality of 3D Models Generated by SFM Technology. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2013, XXI(4): s.13-24. DOI: 10.2478/sjce-2013-0017. ISSN 1210-3896.

Muzeum Olomoucké pevnosti, o.s.: [online]. 2012-2013 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.pevnostolomouc.cz/>

Oznámení EIA. *Informační systém EIA* [online]. 2008 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX09MSzQ5MF9vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/OLK490_oznameni.pdf

PAVELKA, K. 2003a. *Fotogrammetrie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 194 s. ISBN 80-010-2649-3.

PAVELKA, K. 2003b. *Fotogrammetrie 20*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 193 s. ISBN 80-010-2762-7.

PAVELKA, K., et al. Photogrammetric documentation and visualization of Choli Minaret and Great Citadel in Erbil/Iraq. *Proceedings of XXI International CIPA Symposium*. Athens, Greece, 2007, s. 245-258.

Plán pevnosti Olomouc v roce 1842, Österreichisches Staatsarchiv-Kriegsarchiv, Wien, Inland IV Olmütz a) Nr. 41. Plan der Haupt-Festung Olmütz im Jahre 1842; ÖSTA, KA, Wien, Karten- und Plansammlung, Geine- und Planarchiv, Inland, C Historischer Teil, IV Olmütz a) Nr. 41

POLÁČEK, M. Olomoucký jez u Šantovky pamatuje pevnost i pumy, nahradí ho balvany. In: *IDNES* [online]. 2013 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: http://olomouc.idnes.cz/jez-u-santovky-v-olomouci-nahradi-balvanity-skluz-fsu-/olomouc-zpravy.aspx?c=A130409_1914852_olomouc-zpravy_stk.

PROCHÁZKA, J. *Vytvoření 3D modelu zámku v Kravařích metodou průsekové fotogrammetrie*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Raportní plán a profil pevnosti Olomouc v roce 1764, Österreichisches Staatsarchiv-Kriegsarchiv, Wien, Inland IV Olmütz a) Nr. 36. Rapports Plan und Profils von der Vestung Olmütz 1764, ÖSTA, KA, Wien, Karten- und Plansammlung, Geine- und Planarchiv, Inland, C Historischer Teil, IV Olmütz a) Nr. 36

REMONDINO, F., et al. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures-The "3D-ARCH" Project. *Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH" Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures"*, 2009.

REMONDINO, F., et al. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives. In: *Shortis, M., Madden, M., eds. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-1/C22. ISPRS Congress, Zurich, Switzerland, 2011.

ŘEHÁK, M. *Využití bezpilotních prostředků ve fotogrammetrii*. Praha, 2012. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.

SÁDOVSKÁ, P. *Vývoj urbanizovaného území na základě leteckých snímků*. Olomouc, 2011. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

SIKOROVÁ, L. *Tvorba 3D modelu budovy*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

ŠANTOVKA [online]. 2010 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.smcdevelopment.cz/>.

ŠIMÍČEK, M. *Implementace metody structure from motion do uav fotogrammetrie*. Olomouc, 2014. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

ŠVEJNOHA, J. Fotogrammetrická dokumentace archeologických terénních výzkumů. *Acta FF ZČU*. 2010, (1): 108-117. ISSN 1802-0364.

TRUSKOVÁ, H. *Digitální rekonstrukce keltských hradišť*. Praha, 2008. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.

VIKTOŘÍK, M. *Táborová pevnost Olomouc: modernizace olomoucké pevnosti v 19. století*. Vyd. 1. České Budějovice: Veduta, 2011, 277 s. ISBN 978-80-86829-71-5.

VOSTRACKÁ, B. *Mapování změn zástavby s využitím dat DPZ*. Praha, 2008. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.

YABE, M., et al. Restoring Fort Frontenac in 3D: Effective Usage of 3D Technology for Heritage Visualization. In: *Shortis, M., Madden, M., eds. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W4, Avila, Spain, 2015

YANO, K., et al. Virtual Kyoto as 4D-GIS. In: *H. Lin and M. Batty eds. Virtual Geographic Environments*, Science Press, pp.71-88, (2008).

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy

Příloha 1	3D modely reliktů zdi Přední pevnůstky nad raportními plány z roku 1764 a 1842
Příloha 2	3D model Přední pevnůstky roku 1764
Příloha 3	3D model Přední pevnůstky roku 1842
Příloha 4	3D model areálu MILO Olomouc roku 1953
Příloha 5	Srovnání dobové fotografie a vytvořeného 3D modelu dřevěné kůlny
Příloha 6	3D model areálu MILO Olomouc roku 2003
Příloha 7	Srovnání leteckého pohledu a 3D modelu závodu MILO Olomouc
Příloha 8	3D model obchodního centra Galerie Šantovka
Příloha 9	Srovnání fotografie s 3D modelem Galerie Šantovky
Příloha 10	Vývoj lokality Šantovka v letech 1764 až 2015 – 3D vizualizace

Volné přílohy

Příloha 11	DVD
------------	-----

Popis struktury DVD

Adresáře:

metadata – XML metadatové záznamy informačního systému MICKA

text_prace – dokument ve formátu PDF obsahující textovou část bakalářské práce

vystupni_data – výstupy vytvořené v rámci práce

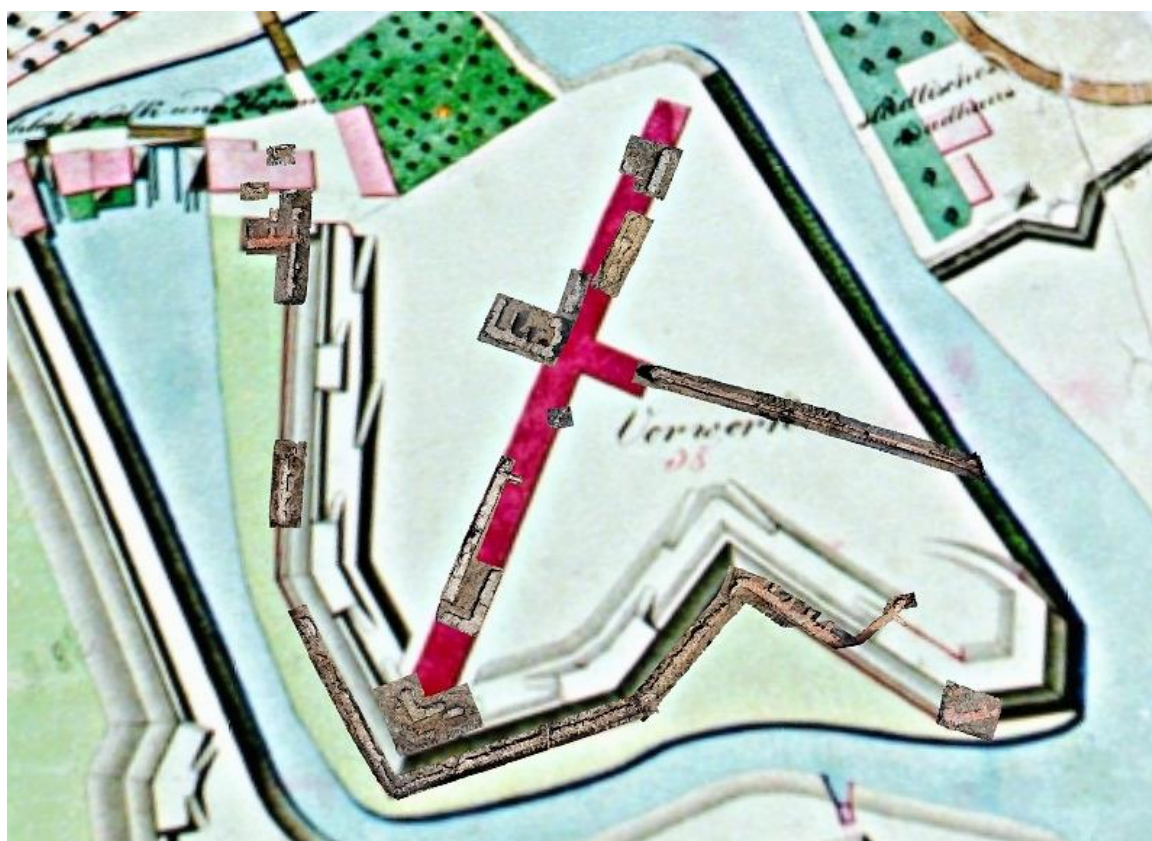
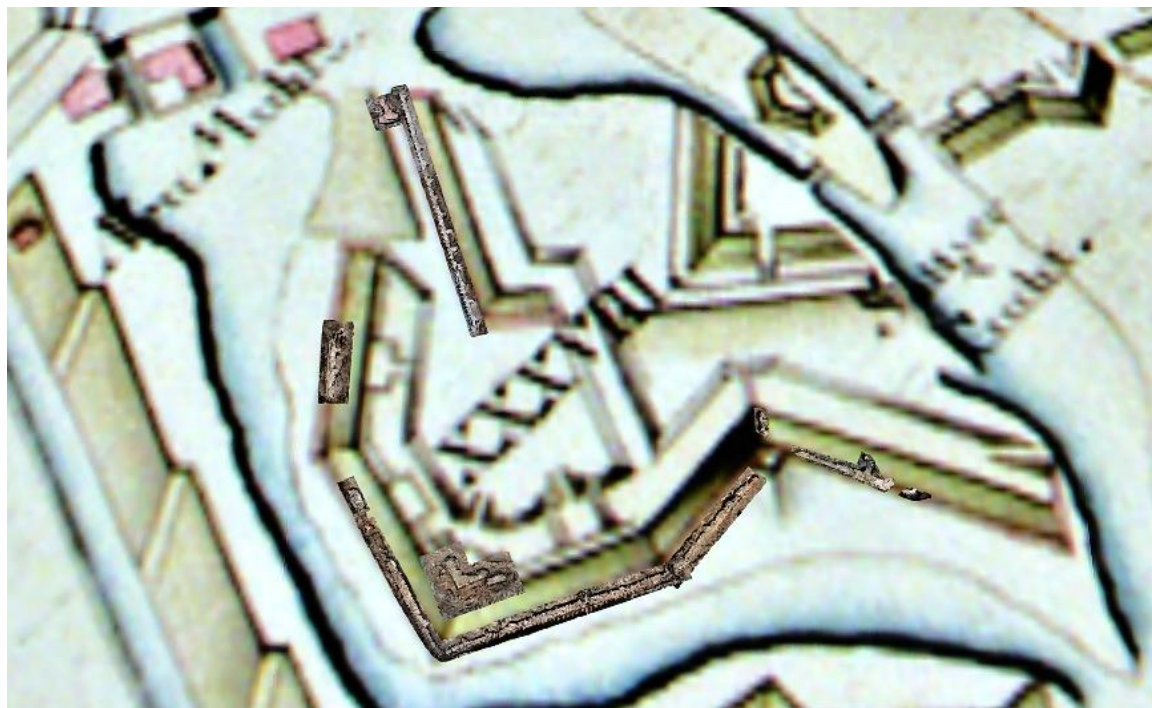
modely – vytvořené 3D modely reliktů zdi, objektů a budov ve formátu 3D PDF

reporty_zdi – reporty vytvořených modelů zdi ve formátu PDF

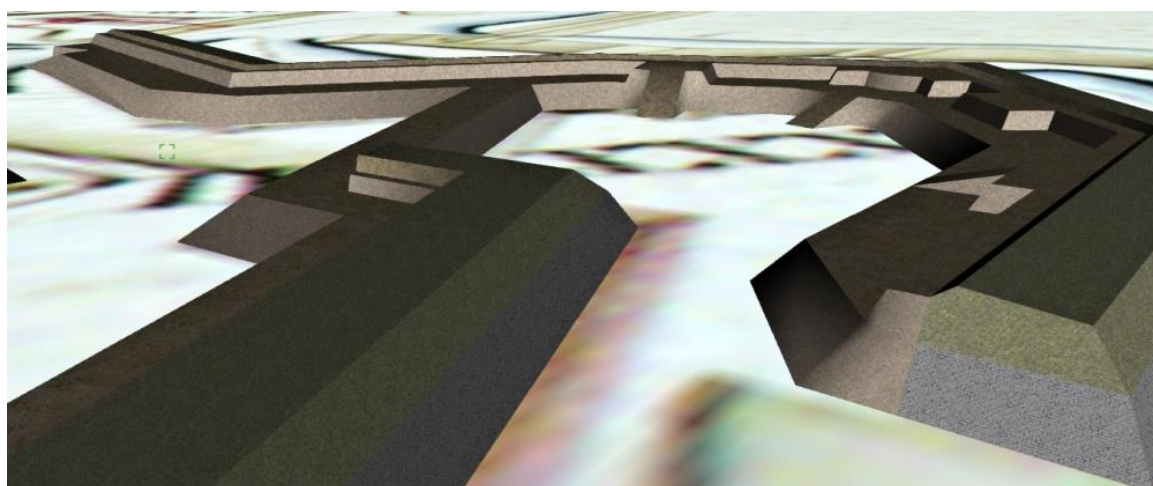
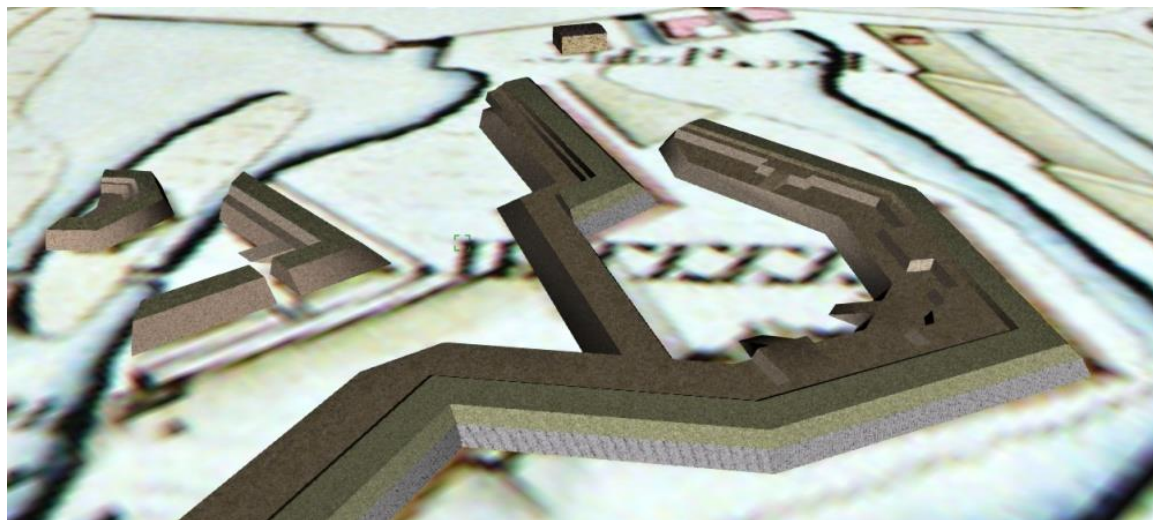
videoanimace – videoanimace prezentující vývoj lokality v čase

web – webové stránky prezentující bakalářskou práci

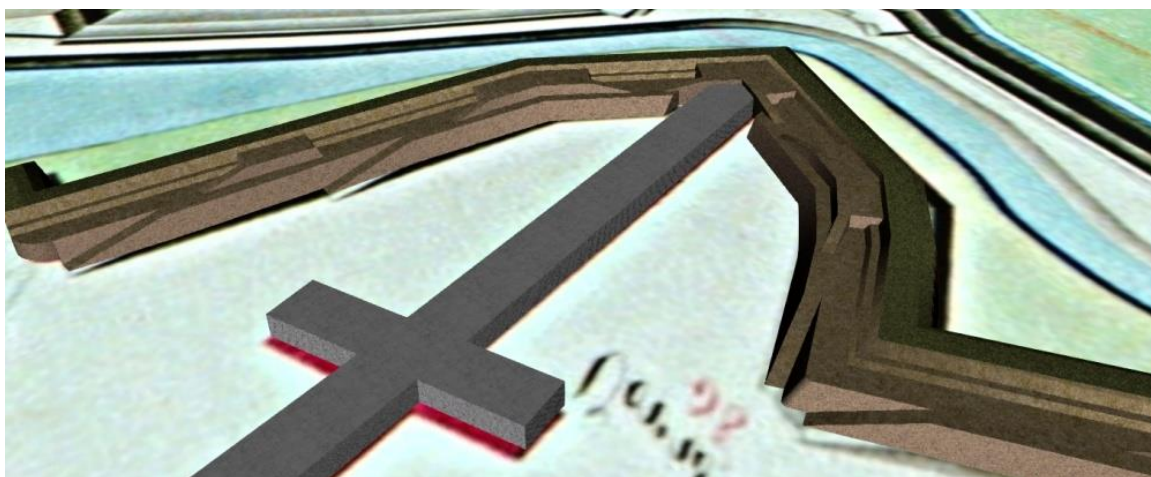
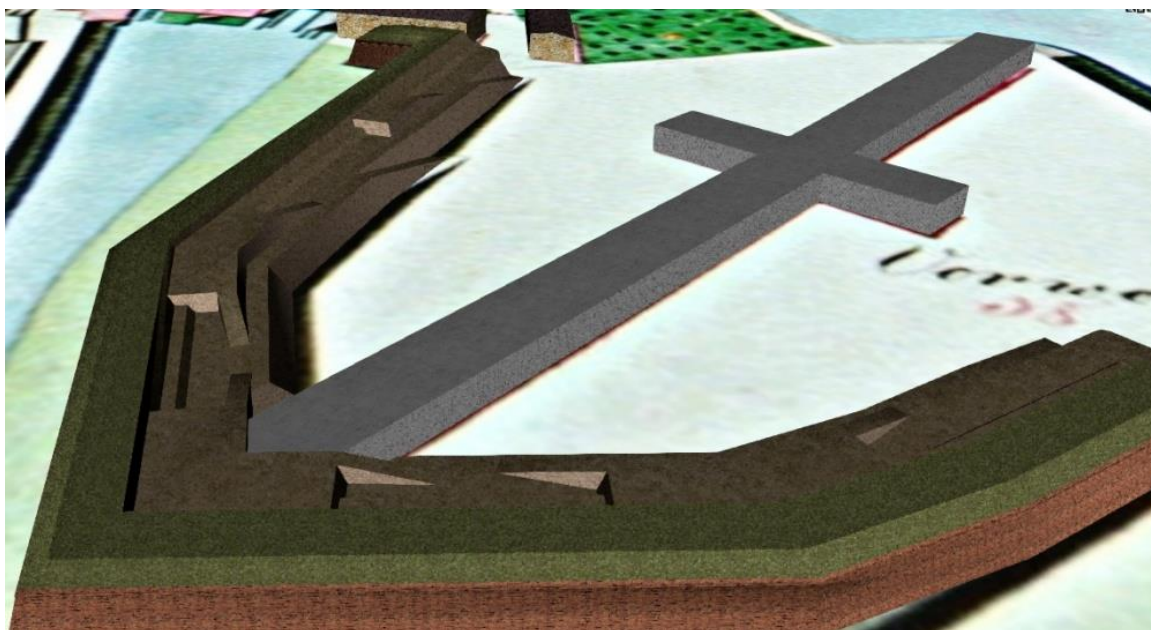
Příloha 1: 3D modely reliktů zdi Přední pevnůstky nad raportními plány z roku 1764 a 1842



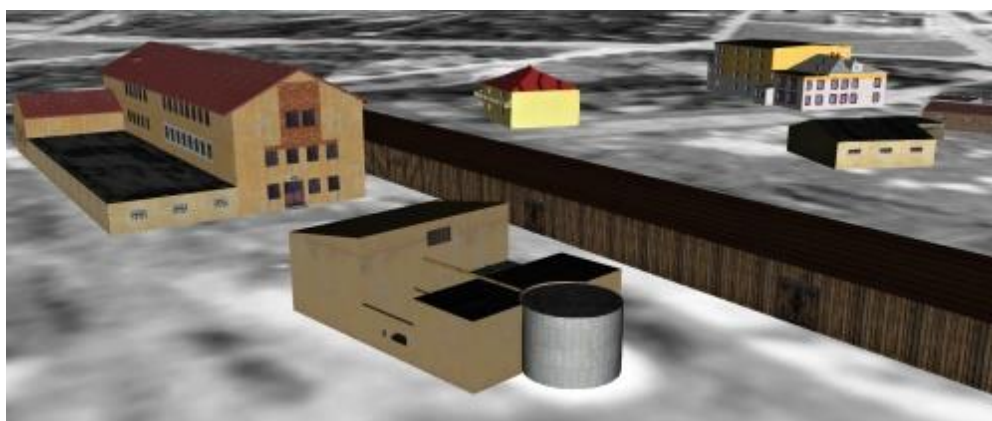
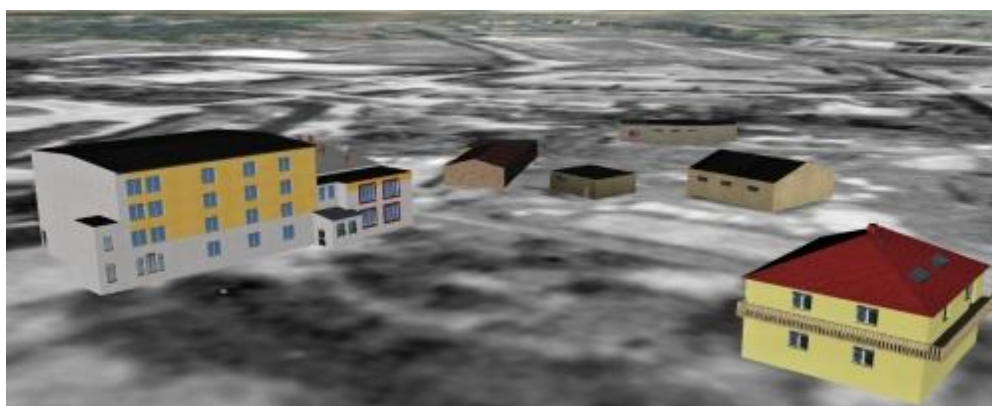
Příloha 2: 3D model Přední pevnůstky roku 1764



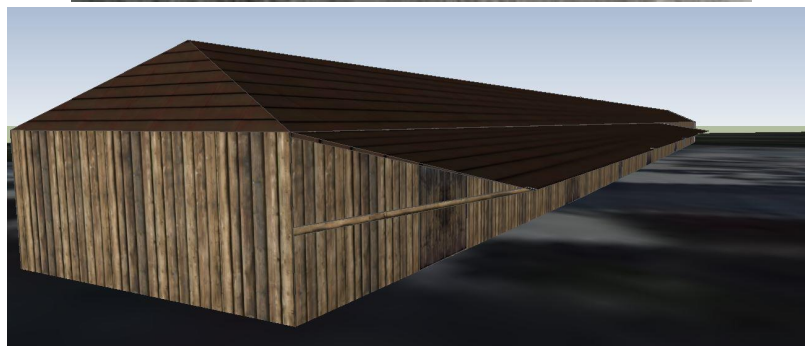
Příloha 3: 3D model Přední pevnůstky roku 1842



Příloha 4: 3D model areálu MILO Olomouc roku 1953



Příloha 5: Srovnání dobové fotografie a vytvořeného 3D modelu dřevěné kůlny (zdroj: Zemský archiv v Opavě, pobočka Olomouc, fond MILO závody, s. s r. o.)



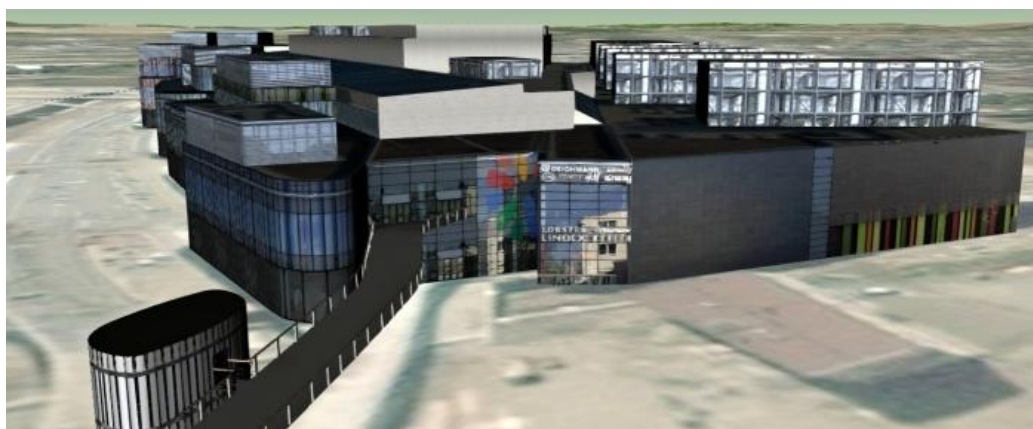
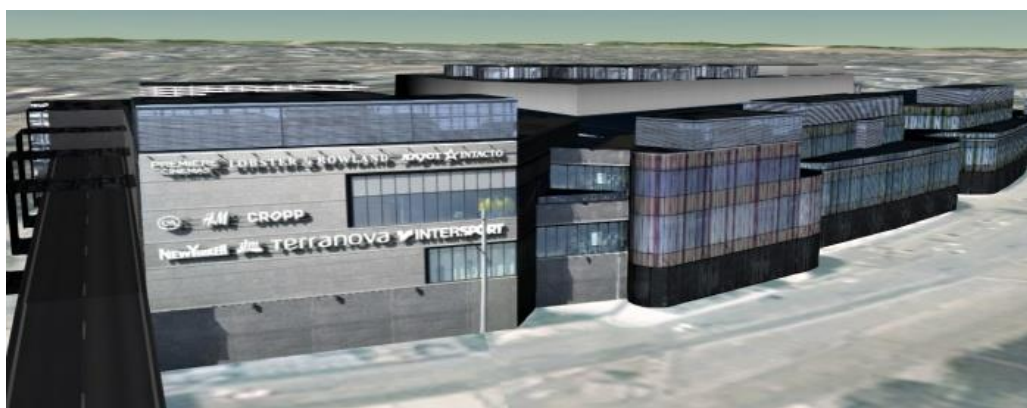
Příloha 6: 3D model areálu MILO Olomouc roku 2003



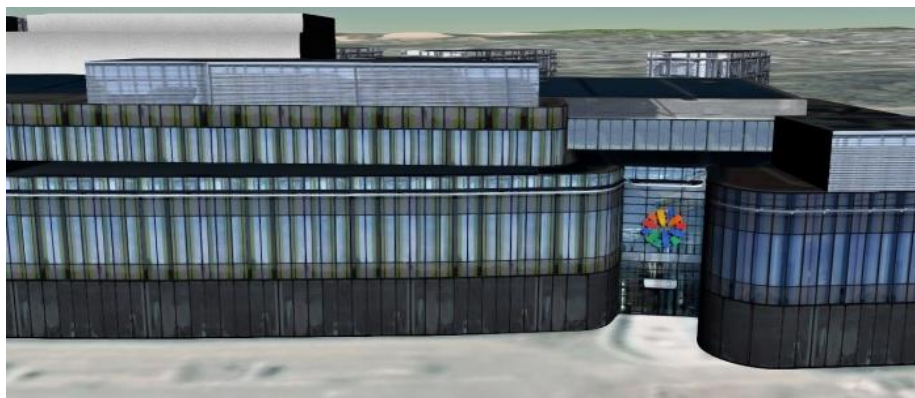
Příloha 7: Srovnání leteckého pohledu a 3D modelu závodu MILO Olomouc (zdroj: <http://www.smcdevelopment.cz/>)



Příloha 8: 3D model obchodního centra Galerie Šantovka



Příloha 9: Srovnání fotografie s 3D modelem Galerie Šantovky



Příloha 10: Vývoj lokality Šantovka v letech 1764 až 2015 – 3D vizualizace

