

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie a kartografie



Rostislav BERKA

**VYUŽITÍ SOUDOBÝCH 3D GEOINFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO
HISTORICKÉ REKONSTRUKCE ÚZEMÍ: PŘÍPADOVÁ STUDIE ZAHRÁDKA
U LEDČE NAD SÁZAVOU**

**USE OF CONTEMPORARY 3D GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR HISTORICAL
RECONSTRUCTIONS OF SITES: CASE STUDY ZAHRÁDKA U LEDČE NAD SÁZAVOU**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Josef Laštovička

Praha 2020

Zadání bakalářské práce

pro Rostislava Berku

obor Geografie a kartografie

Název tématu: Využití soudobých 3D geoinformačních technologií pro historické rekonstrukce území: případová studie Zahrádka u Ledče nad Sázavou

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce se bude v teoretické rovině zabývat 3D rekonstrukcemi historických území, zejména bude zaměřena na rekonstrukci dnes již neexistujících či poničených území a objektů. Práce bude demonstrována na vybrané zaniklé obci a bude obsahovat jak tvorbu DMT tak i zpracování budov pomocí jednosnímkové fotogrammetrické metody.

V práci bude řešena užívaných metod GIS a DPZ pro 3D historické rekonstrukce území, zahrnovat bude nejnovější trendy jako je fúze dat různých datových zdrojů. Důraz bude též kladen na metody modelace budov z archivních neměřických snímků. Okrajově bude pojednáno o možnostech vizualizace historických 3D modelů v prostředí internetu, na mobilních zařízeních, případně i pomocí herních engine či vizualizačních poloengine renderovacích softwarů.

V metodické části budou uplatněny vybrané techniky 3D modelace. Taktéž bude provedeno hodnocení geometrické přesnosti výstupů. Konečný model pak bude prezentován pomocí webového rozhraní, kam budou umístěny obrazové materiály či video sekvence z Lumionu nebo jiného renderovacího softwaru a vlastní webová aplikace vytvořená pomocí Leaflet/OpenLayers/Google api.

Cíle práce:

1. Vytvoření 3D modelu vybrané obce (včetně DMT) zpracováním dat z archivních mapových podkladů, LIDARu, historických LMS, historických a současných snímků budov.
2. Zhodnocení geometrické přesnosti daných výstupů.
3. Tvorba vlastní webové Leaflet/OpenLayers/Google api aplikace s historickými podklady, kde budou bodově zobrazena místa rekonstrukce. Po rozkliknutí se zobrazí pop-up okna s fotografiemi, videi z Lumionu a modely objektů v 3D rozhraní – Sketchfab/Google poly aj.

Rozsah grafických prací a příloh: Rendery výsledného modelu (obrázky/videa), webová aplikace prezentující vytvořený model – viz cíle práce, digitální model území.

Rozsah průvodní zprávy: 40 – 50 stran

Seznam odborné literatury:

GARCIA-GAGO, J., GOMEZ-LAHOZ, J., RODRÍGUEZ-MÉNDEZ, J., GONZÁLEZ-AGUILERA, D. (2014): Historical single image-based modeling: The case of Gobierna Tower, Zamora (Spain). *Remote Sensing*, 2, 6, 1085–1101.

GKINTZOU, C., GEORGOPOULOS, A., MELÓN, J. M. V., MIRANDA, Á. R. (2012): Virtual Reconstruction of the Ancient State of a Ruined Church. In: *Progress in Cultural Heritage Preservation*, Springer, New York, 551–567.

GONZÁLEZ-AGUILERA, D., GOMEZ-LAHOZ, J. (2006): sv3DVision: Didactical Photogrammetric Software for Single Image-based Modeling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, Part 6, XXXVI, 171–178.

MURTIYOSO, A., GRUSSENMEYER, P., FREVILLE, T. (2017): Close range UAV accurate recording and modeling of St-Pierre-Le-Jeune Neo-Romanesque church in Strasbourg (France). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2W3, 42, 519–526.

REMONDINO, F., RIZZI, A. (2010): Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites-techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 3, 2, 85–100.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, P., CAMPO, Á. G., MUÑOZ-NIETO, Á. L., SÁNCHEZ-APARICIO, L. J., GONZÁLEZ-AGUILERA, D. (2019): Diachronic reconstruction and visualization of lost cultural heritage sites. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2, 8.

WOJCIECHOWSKA, G., LUCZAK, J. (2018): Use of close-range photogrammetry and UAV in documentation of architecture monuments. *E3S Web of Conferences*, volume 71.

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Josef Laštovička

Konzultant bakalářské práce: –

Datum zadání bakalářské práce: 23.11.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: červenec 2020

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.

.....
Vedoucí bakalářské práce

.....
Vedoucí katedry

V Praze dne

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

.....
podpis

Poděkování, motivace

Jelikož jsou následující řádky jedinou částí práce, kde mohu psát v první osobě jednotného čísla a obsah i forma jsou omezeny pouze mou fantazií, bylo by škoda zredukovat sdělení pouze na obligátní formální fráze. V první řadě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu magistru Josefu Laštovičkovi. Po celou dobu byl vždy ochotný a nápomocný řešit jakékoliv problémy. Důrazem na teoretické zarámování mě přivedl k řešenému tématu a použitým metodám. Nikdy nešetřil chválou, čímž mě motivoval do další práce. Též si vážím míry svobody a samostatnosti s jakou mě nechal pracovat, přičemž mi poskytoval zpětnou vazbu a odezvu. To vše za ztížených podmínek, které vznikly v důsledku mimořádných opatření (covid-19). Zmínit chci také Spolek Přátelé Zahrádky, zejména pana Ing. Jana Čiháka, bez jehož pomoci, úsilí a věnovaného času by (nejen) tento projekt neměl kvalitní zdrojová podkladová data. Jmenovaný mi svou prací také ušetřil mnoho času při zpracování tématu „Zahrádka“ v průběhu studia, jelikož jsem téměř nebyl nucen vyhledávat či zpracovávat historické informační zdroje vztahující se k obci. Dík patří též všem mým přítelíčkům spolužákům, kteří mi zpřijemňovali studium a zejména slečna Markéta Žuravská a kolega Günter Kyncl vždy ochotně vzájemně sdíleli své cenné know-how v průběhu celého studia a nelitovali času ani úsilí věnovaného svým kolegům. V neposlední řadě patří dík mé rodině, hlavně rodičům, kteří odložili nejrůznější práce neodkladné, „neodkladné“, zbytné i nezbytné a můj klid na studium měl u nich vždy prioritu. Cení si též pomoci a asistence svého otce při pořizování fotogrammetrických dat v Zahrádce, kam se mnou velmi ochotně několikrát zajel. Nakonec bych rád zmínil pana spisovatele a novináře Miloše Doležala, bez jehož literárního díla by pro mě byla Zahrádka pouze „tou zbořenou vesnicí s kostelem na břehu přehrady za Kamennou Lhotou“ a já bych se tak k danému tématu nejspíš vůbec nedostal. Protože byla Zahrádka poměrně velká (cca 200 čísel popisných, +- 400 objektů), bylo od začátku zřejmé, že ani zdaleka není v mých silách vymodelovat ji celou v rámci této práce. Model se tak omezuje pouze na centrum obce. I přes tento fakt byly některé dílčí úlohy provedeny v podstatně větším rozsahu, než vyžadovalo samotné vymodelované území, jelikož je zde možnost a potenciál budoucího dokončení modelu nad rámec předkládané bakalářské práce.

Využití soudobých 3D geoinformačních technologií pro historické rekonstrukce území: případová studie Zahrádka u Ledče nad Sázavou

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zaměřuje na současné 3D GIS technologie a metody používané pro historické rekonstrukce, konkrétně se soustředí na modelaci zaniklých území a objektů. V práci je přehled technologií, metod a softwarů vhodných k daným účelům. Pozornost je věnována poměrně unikátní jednosnímkové modelaci, která využívá geometrie objektů v obraze. Též je řešena vizualizace 3D modelů v prostředí internetu a web mapping.

V praktické části je popsán postup tvorby 3D modelu zaniklého území. Nejprve je vytvořen TIN z vrstevnic archivních map a dat DMR 5G s pomocí automatizovaně tvořených tzv. povinných (lomových) hran. Na DMT jsou usazeny modely dochovaných objektů vytvořené s pomocí SFM a modely zaniklých objektů vytvořené zmíněnou jednosnímkovou metodou s využitím archivních snímků. Zájmovým územím je zaniklá obec Zahrádka u Ledče nad Sázavou.

Výsledkem práce jsou pohledové scény a interaktivní webová aplikace, s pomocí níž je 3D model vizualizován. Přesnost použité jednosnímkové metody je porovnána se standardní SFM technikou. O něco přesnější se ukázala být SFM.

Klíčová slova: 3D model, 3D GIS, jednosnímková metoda s využitím geometrické pravidelnosti objektu, DMT, Zahrádka u Ledče.

Use of contemporary 3D geoinformation technologies for historical reconstructions of sites: case study Zahrádka u Ledče nad Sázavou

Abstract

This bachelor thesis deals with contemporary 3D GIS technologies and methods used for historical reconstructions, especially reconstructions of lost sites and objects. Thesis contains an overview of technologies, methods and softwares suitable for these purposes. Thesis is focused on quite unique single image-based modeling, which uses geometry of object in the image. There is also brief overview of visualisation 3D models on the internet and web mapping.

Thesis introduces a prescription for creating 3D model of lost site. First, TIN is produced from contours of old maps and DMR 5G data using breaklines, which are generated automatically. SFM models of preserved objects and models of destroyed objects acquired through single image-based modeling with help of old archival images, are placed on DTM. The case study area is the lost town of Zahrádka u Ledče nad Sázavou.

The results of this work are view scenes and interactive web map application for visualisation of 3D model. The accuracy of used single image-based modeling method is compared to the standard SFM technique. SFM had better accuracy.

Keywords: 3D model, 3D GIS, single image-based modeling using geometric constraints of object, DTM, Zahrádka u Ledče.

Obsah

Obsah.....	7
Použité zkratky.....	9
Použité obrázky.....	10
Použité tabulky.....	11
Použité grafy.....	11
1 Několik slov úvodem.....	12
2 Rešeršní část.....	13
2.1 Konvenční techniky pro potřeby 3D modelování.....	13
2.2 Modelace historických a zaniklých objektů.....	14
2.3 Jednosnímková metoda s využitím geometrické pravidelnosti objektu.....	14
2.3.1 Úvod do problematiky.....	14
2.3.2 Existující case studies.....	16
2.3.3 Náhled na problematiku okem deskriptivní geometrie.....	16
2.4 Dostupný fotogrammetrický software.....	18
2.4.1 Jednosnímková metoda s využitím geometrické pravidelnosti objektu.....	18
2.4.2 Structure from Motion: 3D fotorealismus na dosah snadno a rychle.....	19
2.5 Vizualizace 3D dat v prostředí internetu.....	20
2.6 Web mapping.....	20
3 Teoretická část.....	22
3.1 Fotogrammetrické minimum.....	22
3.1.1 Obecně.....	22
3.1.2 Snímkové orientace.....	22
3.1.3 SFM (Structure from Motion).....	24
3.2 Středové promítání a lineární perspektiva pohledem deskriptivní geometrie.....	24
3.2.1 Středové promítání.....	24
3.2.2 Lineární perspektiva.....	25
3.2.3 Konstruktivní fotogrammetrie.....	27
3.3 Rekonstrukce objektů s pomocí jejich geometrie jednosnímkovou metodou.....	28
3.4 Web mapping.....	31
3.4.1 JavaScript, API, GeoJSON.....	31
3.4.2 Dlaždicování (tiling): základní vlastnost online map.....	32
3.4.3 Svět online kartografie: Zde vládne Web Mercator (EPSG 3857).....	32
3.4.4 Responzivní design.....	33
4 Metodická část.....	35
4.1 Charakteristika zájmového území.....	35
4.2 Použitá data.....	38
4.3 Zpracování digitálního modelu území.....	39
4.3.1 Georeferencování a tvorba DMT.....	39
4.3.2 Tvorba modelů dochovaných objektů pomocí SFM.....	44
4.3.3 Tvorba modelů zaniklých objektů pomocí jednosnímkové metody s využitím pravidelnosti objektu.....	47
4.4 Vizualizace.....	48
4.4.1 Vizualizace modelů.....	48

4.4.2	Interaktivní webová aplikace	49
4.5	Hodnocení přesnosti modelů	49
5	Výsledky.....	51
5.1	Hodnocení přesnosti: porovnání použitých metod	51
5.2	Rendery výsledného modelu.....	52
5.3	Interaktivní mapová aplikace.....	56
6	Diskuze.....	59
6.1	Resumé: jednosnímková metoda využívající geometrické pravidelnosti objektu.....	59
6.2	DMT pro účely podrobných 3D modelací území velkého měřítka.....	60
6.3	Stručné zhodnocení open source SW.....	61
6.4	Vizualizace s pomocí Leaflet mapové aplikace.....	62
7	Závěr	63
8	Zdroje literatury.....	64
9	Přílohy.....	68
9.1	Přílohy vložené na konci práce	68
9.2	Ostatní přílohy.....	68

Použité zkratky

3D	T rojdimenzionální
4D	Č tyřdimenzionální, 4. rozměr (dimenze) je čas
API	A pplication P rogramming I nterface, rozhraní pro programování aplikací
DMR 5G	D igitální m odel r eliéfu České republiky 5. generace
DMT	D igitální M odel T erénu
DPI	D ots p er i nch
EPSG	E uropean P etroleum S urvey G roup
ESRI	E nvironmental S ystems R esearch I nstitute
ECMA	E uropean C omputer M anufacturers A ssociation
EO	E xterior (případně také extrinsic) o rientation, vnější orientace
Exif	E xchangeable i mage f ile format
GDAL	G eospatial D ata A bstraction L ibrary
GIS	G eografický i nformační s ystém
GPU	G raphic p rocessing u nit
IO	I nterior (případně také intrinsic) o rientation, vnitřní orientace
IPR Praha	I nstitut p lánování a r ozvoje hlavního města P rahy
LMS	L etecký m ěřický s nímek
LIDAR	L ight D etection A nd R anging
LOD	L evel o f D etails
MNV	M ístní n árodní v ýbor
OGC	O pen G eospatial C onsortium
OSM	O pen S treet M ap
Pop-up	P op u p – doslova „rychle se vynořit“, česky též vyskakovací okno
QGIS	Q uantum G IS
RAM	R andom A ccess M emory
RMSE	R oot m ean s quare e rror
SFM	S tructure f rom M otion, česky doslova „struktura z pohybu“
SMO-5	S tátní m apa o dvozená 1 : 5 000
SW	S oftware
TIN	T riangulated i rregular n etwork
TMS	T ile M ap S ervice
UAV	U nmanned A erial V ehicle
URL	U niform R esource L ocator
WMS	W eb M ap S ervice
WMTS	W eb M ap T ile S ervice
WGS84	W orld G eodetic S ystem 1984

Použité obrázky

Obrázek 1: Sestava 2 fotoaparátů, přisvětlovací diody a senzoru typu LIDAR na zadní straně iPadu Pro	13
Obrázek 2: Identifikace sbíhavých rovnoběžek v obraze v programu fSpy	15
Obrázek 3: Analýza kvality perspektivní geometrie v malířském umění	17
Obrázek 4: William Hogarth – Satire on False Perspective, kolorováno	18
Obrázek 5: Srovnání 3D modelů vytvořených v různých SFM programech	19
Obrázek 6: Vizualizace s pomocí 360° panoramat v Theasys.io	20
Obrázek 7: Rozhraní webové mapy vytvořené v Leafletu	21
Obrázek 8: prvky vnitřní orientace kamery.....	22
Obrázek 9: zkreslení způsobené distorzí objektivu	23
Obrázek 10: prvky vnější orientace kamery.....	24
Obrázek 11: Snímkování objektu při použití SFM	24
Obrázek 12: Středové promítání a nejednoznačnost zpětných průmětů do prostoru.....	25
Obrázek 13: Základní prvky lineární perspektivy	26
Obrázek 14: jednoúběžníková perspektiva.....	26
Obrázek 15: dvouúběžníková perspektiva.....	27
Obrázek 16: tříúběžníková perspektiva.....	27
Obrázek 17: porovnání perspektivních situací.....	28
Obrázek 18: promítnutí 3D geometrie tělesa do průmětny (na snímek)	29
Obrázek 19: prvky vnitřní a vnější orientace	29
Obrázek 20: horizontální vzdálenost mezi A a B, distance D_{AB}	30
Obrázek 21: výpočet souřadnic bodů.....	31
Obrázek 22: Princip dlaždicování.....	32
Obrázek 23: Mapa světa v Mercatorově zobrazení	33
Obrázek 24: Poloha Zahrádky v rámci Česka	35
Obrázek 25: Zahrádka v roce 1928 vs Zahrádka v současnosti	36
Obrázek 26: Zahrádka v 70. letech 20. stol. vs Zahrádka po roce 2000	37
Obrázek 27: Zájmová oblast s podrobně vymodelovanými objekty.....	37
Obrázek 28: Letecký měřický snímek z roku 1966	38
Obrázek 29: Schématický pracovní postup (workflow)	39
Obrázek 30: SMO-5 s vlčovacími body v systému S-JTSK	40
Obrázek 31: Nepřirozené terénní stupně v říčním údolí.....	41
Obrázek 32: Tvorba údolnice (breakline) potoka pomocí lineární interpolace.....	41
Obrázek 33: Tvorba silničních těles pomocí automatizovaně generovaného 3D bufferu	42
Obrázek 34: Vizualizace DMT – interpolace s breaklines a bez nich.....	43
Obrázek 35: Kalibrační pole pro použité softwary.....	44
Obrázek 36: Screenshot 3D modelu kašny na náměstí v Zahrádce	46
Obrázek 37: Vyretušovaný SFM model sochy Panny Marie Bolestné	47
Obrázek 38: Identifikace perspektivou zkreslené geometrie na kostele sv. Víta v obci Zahrádka	48
Obrázek 39: Vizualizace 3D modelu kostela.....	53
Obrázek 40: Vizualizace 3D modelu fary.....	54
Obrázek 41: Náměstí v Zahrádce s vymodelovanými objekty.....	55
Obrázek 42: Otevřené pop-up okno s 3D modelem sochy Panny Marie Bolestné.....	56
Obrázek 43: Webová mapová aplikace.....	57
Obrázek 44: QR kód s odkazem na stránky Spolku Přátelé Zahrádky	58
Obrázek 45: Navigační menu vytvořených webových stránek	58
Obrázek 46: Modelování kostela – práce s pomocnou rovinou	60
Obrázek 47: Budovy propadající se pod terén kvůli nerovnému půdorysu v DMT	61

Použité tabulky

Tabulka 1: Hodnocení kvality zdrojů dat na základě spolehlivosti a přesnosti	14
Tabulka 2: Parametry digitální kamery Nikon Coolpix P90.....	39
Tabulka 3: Prvky vnitřní orientace kamery Nikon Coolpix P90	44
Tabulka 4: Kontrolní měření modelu kašny	51
Tabulka 5: Kontrolní měření modelu kostela	51

Použité grafy

Graf 1: Podíl uživatelů prohlížejících web Spolku Přátel Zahrádky z mobilních zařízení a desktopu	34
Graf 2: Průběh radiální distorze na snímku.....	45
Graf 3: Odchyly kontrolních měření od skutečnosti – kašna.....	52
Graf 4: Odchyly kontrolních měření od skutečnosti – kostel	52

1 Několik slov úvodem

Předkládaná práce se věnuje využití současných 3D geoinformačních technologií pro historické rekonstrukce území. Na Katedře aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK vzniklo vícero závěrečných prací zaměřených na zmíněné téma. Část těchto prací se věnovala tvorbě 3D modelů s pomocí precizních technologií jako je 3D laserové skenování či technologie založené na fotogrammetrii – např. Čelonk (2017). Druhá část prací byla zaměřena na případy, kdy dané objekty nebo modelová území již neexistují. V takových případech jsou často vstupní data mírně řečeno „neideální“. Nelze tak uplatnit konvenční přesné modelační techniky a metody zmíněné výše – např. Polák (2019). Zájmovým územím této práce bude též zaniklá obec. Sám autor se inspiroval závěrečnými pracemi z druhé zmíněné skupiny, které jsou jistě cenným zdrojem informací, ačkoliv za problematičtější stránku v těchto případech je možno považovat metodiku samotné 3D modelace. Rozměry objektů byly často pouze odhadovány z historických fotografií. Modely byly vytvořeny technikou „a la vue“, což zejména v kontrastu s přesnými technikami přináší velké odchylky od skutečnosti.

Zdá se, že na téma modelací zaniklých objektů a území vzniká podstatně méně studií a článků, a to navzdory faktu, že přesně takové modelace nejspíš nejvíce přirozeně zajímají člověka. Je samozřejmě velice zajímavé prohlížet si model území, které se v průběhu času drasticky změnilo, případně vypadá zcela jinak. Cílem v takových případech není vytvořit velice přesný model, ale model, který bude alespoň rámcově odpovídat původnímu stavu. Velmi často se jedná o modely a území, které nemají dostatek dochovaných podkladových materiálů k modelaci. I takový model může být velice cenný především pro historickou dokumentaci území.

Cílem této práce je tak přinést nové praktické poznatky do zmíněné oblasti a problematiku 3D modelací zaniklých území obohatit o nové postupy, případně zmínit užitečné volně dostupné softwary. Samotná modelace bude vycházet z historických snímků (podrobněji viz kap. Použitá data), které budou zpracovány s pomocí jednosnímkové (fotogrammetrické) modelační metody. Tímto konceptem se zabývá výzkumný tým z University of Salamca v několika článcích, např. Garcia-Gago et al. (2014). Díky těmto metodám je možno i s pomocí archivních snímků vytvořit model daného objektu s jistými metrickými základy.

Vybraným modelovým územím je zaniklá obec Zahrádka u Ledče nad Sázavou. Ve vztahu autora ke zmíněnému místu hraje jistě roli geografická blízkost autorova bydliště, a hlavně zájem o osud pátera Josefa Toufara, který byl v Zahrádce knězem v době válečné, poválečné a prožil zde většinu svého kněžského života. Jeho životní cesta byla prezentována v několika knihách v rámci literárního díla spisovatele Miloše Doležala. Autor práce již v minulosti vytvořil historickou mapu obce před jejím zánikem se znázorněním současného rozsahu vodní plochy přehrady. Této mapy bude využito v práci pro vizualizaci výstupů. Prezentace dříve vytvořené statické mapy do interaktivní podoby a prostředí internetu se zdá být logickým vyústěním v kartografické (a též již také 3D geoinformační) dokumentaci obce.

Dílní cíle práce jsou následující:

1. Vytvoření 3D modelu území zaniklé obce Zahrádka zpracováním dat z archivních mapových podkladů, LIDARu, historických LMS a historických (pro jednosnímkovou metodu) či současných snímků budov (pro SFM).
2. Zhodnocení geometrické přesnosti daných výstupů.
3. Tvorba vlastní webové Leaflet aplikace s historickými podklady, ve které budou bodově zobrazena místa rekonstrukce. Po rozkliknutí se zobrazí pop-up okna s fotografiemi, vyrenderovanými obrázky a modely objektů v 3D rozhraní – Sketchfab.

Pozornost je též věnována tvorbě kvalitního DMT pro potřeby podrobného 3D modelu území velkého měřítka. Jelikož u zaniklých krajín je často potíž s dostatečnou přesností a podrobností archivních podkladových dat (vrstevnice starých map), případně se data vztahují k současnosti, a ne ke zvolenému časovému období (DMR 5G), bývá problematické zachytit některé drobné terénní tvary (např. silniční tělesa). Snahou bude v co největší možné míře využívat volně dostupné open source a freeware technologie.

2 Rešeršní část

2.1 Konvenční techniky pro potřeby 3D modelování

První část rešerše se věnuje současným trendům a technologiím modelace 3D objektů a zaniklých území. Druhá část je o web mappingu, který byl použit pro vizualizaci 3D výstupů práce. S mohutným rozvojem počítačových technologií v posledních 30 letech přišly zcela nové možnosti pro dokumentaci a virtuální prezentaci kulturního dědictví. V současnosti existuje mnoho studií prezentujících fotorealisticke 3D modely vytvořené různými metodami s vysokou přesností.

Poměrně komplexní přehled využívaných technologií, jejich výhody, nevýhody, možnosti a omezení poskytuje například Remondino, Rizzi (2010). Ve svém článku se zabývá hlavně dvěma nejpoužívanějšími technologiemi, jedná se zejména o tvorbu 3D modelů s pomocí 3D skenerů a dále o tvorbu 3D modelů ze snímků především blízkou (pozemní) fotogrammetrií. V případě 3D skenerů je výhodou především vysoká geometrická přesnost měřitelná v milimetrech nebo dokonce v mikrometrech (Remondino, Rizzi 2010). Nevýhodou je naopak relativně vysoká pořizovací cena, rozměry zařízení a méně kvalitní textury. I přes zmíněná negativa se tyto senzory stávají stále běžnějšími (Remondino, Rizzi 2010). Jako důkaz pro toto tvrzení lze uvést, že LIDAR senzor má i nejnovější iPad Pro od společnosti Apple (Obrázek 1) a spekuluje se i o jeho nasazení v iPhone 12 Pro Max, který by měl být uveden na podzim roku 2020 (GSMarena 2020). V těchto zařízeních nachází uplatnění pro účely rozšířené (augmentované) reality (Apple 2020).

Blízká (pozemní) fotogrammetrie má v podstatě opačné vlastnosti, získat data a vytvořit model je poměrně jednoduché, levné, jako jednu z jejích nevýhod je možno zmínit ještě závislost na světelných podmínkách snímání scény (Xiao et al. 2018). Především automatizované techniky založené na SFM (Structure from Motion) jsou spíše vhodné pro kvalitní až fotorealisticke vizualizaci, nikoliv však pro 3D rekonstrukce s požadavkem na vysokou geometrickou přesnost. Jsou to právě tyto fotogrammetrické techniky, které se v současnosti běžně užívají pro dokumentaci kulturního dědictví (Remondino, Rizzi 2010). Nyní je pozornost v oblasti fotogrammetrie věnována například rozvoji v použití multispektrálních, hyperspektrálních, termálních senzorů nebo senzorů mobilních zařízení, které mají dnes již běžně více čoček (Chiabrando et al. 2019), případně použití širokoúhlých (tzv. rybích ok) a teleskopických objektivů (Reinoso, Moncayo, Barrera 2014). V neposlední řadě samozřejmě rozmach zažívají UAV zařízení vhodné pro snímání větších objektů a rozsáhlejších oblastí – např. Wojciechowska, Luczak (2018). Porovnání dvou dostupných dronů a softwarů určených ke zpracování dat provedl Murtiyoso, Grussenmeyer, Freville (2017), podobně téma rozebíral i Marek (2018).

Obrázek 1: Sestava 2 fotoaparátů, přísvětlovací diody a senzoru typu LIDAR na zadní straně iPadu Pro



Zdroj: Apple (2020)

V posledních letech je trendem kombinovat zmíněné technologie pro plné využití výhod obou metod nebo pro tvorbu modelů s několika úrovněmi LOD. Spojením silných stránek obou technik lze dosáhnout nejlepších výsledků co se týče vzhledu výsledného modelu a jeho geometrické přesnosti (Remondino, Rizzi 2010; Hess et al. 2015). Texturování 3D dat pořízených laserovým skenerem s pomocí snímků z digitální zrcadlovky (neměřické kamery) popisuje například Frohlich et al. (2016). Dalším příkladem datové fúze (multi-data source/multi-sensor approach) jsou studie Torres-Martínez et al. (2016), Chiabrando et al. (2019) nebo Hess et al. (2015), kde kombinují pozemní a letecké (UAV) nosiče nebo fotogrammetrická data a data laserového skenování (případně obojí) pro dosažení nejlepšího výsledku.

Výše popsané techniky jsou standardně používané pro dokumentaci objektů a poskytují velice dobré výsledky, nicméně s jejich využitím jsme schopni zachytit pouze stávající stav daného objektu. Problém tak nastává, pokud chceme vytvořit tzv. historické, diachronické a časové (4D) modely území nebo objektů, jelikož v současnosti jsou dané stavby často poničené či změnili podobu v průběhu času během přestaveb (Garcia-Gago et al. 2014).

2.2 Modelace historických a zaniklých objektů

Při historických modelacích bývá často problémem nedostatek zdrojových dat. Existují studie využívající pouze minimum metrických dat, které se zaměřují hlavně na vizuální stránku modelů, jejich co nejlepší vzhled a automatické generování modelů rozsáhlých území. Takové modely často vznikají bez detailní znalosti daného místa či terénního šetření (Remondino, Rizzi 2010). Müller et al. (2006) například vytváří detailní model antických Pompejí (nebo moderních velkoměst), přičemž jediná použitá prostorová data jsou půdorysy (polygony) budov. Využívá přitom tzv. procedurální modelování. Poměrně ojedinělé je použití SFM pro zpracování historických snímků, pokud existuje více snímků daného objektu z různých úhlů záběru (Maiwald et al. 2017).

Odlisný přístup při modelaci zaniklých historických objektů nabízí Gkintzou et al. (2012). Cílem jejich práce bylo vymodelovat podobu kostela z přelomu 14. a 15. stol., z něhož se do dnešní doby zachovaly jen ruiny. Stěžejní význam je přikládán historickým zdrojům a spolupráci s odborníky z různých oblastí – například s archeology, architekty, historiky aj. Dochované ruiny kostela byly naskenovány laserovým skenerem. Práce s historickými zdroji byla poměrně komplexní, studována byla dobová literatura, malby, dochovaná architektura ve stejném stavebním slohu v okolí apod. Kvalita datových zdrojů byla ověřována a konzultována ve spolupráci s historiky a archeology, hodnocení dat (Tabulka 1) bylo založeno na míře spolehlivosti (věrohodnosti) datových zdrojů a na jejich (geometrické) přesnosti.

Tabulka 1: Hodnocení kvality zdrojů dat na základě spolehlivosti a přesnosti

Datový zdroj	Spolehlivost	Přesnost
Psané dokumenty	2	5
Obrázky	6	7
Malby/kresby	6	8
Měření v terénu	3	1
Ortofoto	5	2
DMT	4	3
3D vektorové linie (z dat LIDARU)	4	4
Hypotézy archeologů	1	6

Stupnice 1–10 (1 nejlepší, 10 nejhorší), hodnocení bylo vytvořeno pro účely konkrétního případu a nedá se generalizovat na jiné studie (Gkintzou et al. 2012). Zajímavostí je nepříliš vysoké hodnocení dat z LIDARU, ortofota či DMT z hlediska spolehlivosti. Data se totiž vztahují k současnému stavu trosek, a proto nejspíše nemají takovou vypovídající hodnotu pro účely historické modelace, kdy je cílem zachytit objekt ve stavu před staletími. Naopak jsou vysoce hodnoceny dobové psané zdroje a archeologické práce.

Zdroj: Gkintzou et al. (2012)

Některé části budovy tak byly vymodelovány pouze na základě určitých předpokladů, které se opíraly o hypotézy archeologů. Výsledný model nebyl texturován, barevnými odstíny byly odlišeny části stavby podle toho, s jakou pravděpodobností odpovídají zvolenému historickému období. Kombinací metrických a nemetrických dat pro účely 4D modelací se zabýval také Rodríguez-González et al. (2017), Guidi, Russo (2012) nebo Guidi, Russo, Angheliddu (2013). V některých ze zmíněných studií je významná role přisuzována odborníkům z ostatních věd, úloha geoinformatiků je mírně potlačena.

Z českých prací je možné zmínit článek Popelky, Brychtové (2011), kteří zrekonstruovali historické centrum Olomouce s pomocí starých map, plánů území a plánů budov (k dispozici jen pro některé objekty) a obrázků. Walter, Herman, Stachoň (2015) vytvořili časový model Brna (pro roky 1400, 1645, 1749) s využitím starých map, obrazů a kreseb města. Model Brna v roce 1400 vychází jen z archeologického průzkumu, jelikož jiná data nebyla dostupná (Walter, Herman, Stachoň 2015). Nakonec lze uvést 3D model pevnosti Terezín od Vichrové et al. (2014), budovy byly modelovány s využitím architektonických plánů daných staveb.

2.3 Jednosnímková metoda s využitím geometrické pravidelnosti objektu

2.3.1 Úvod do problematiky

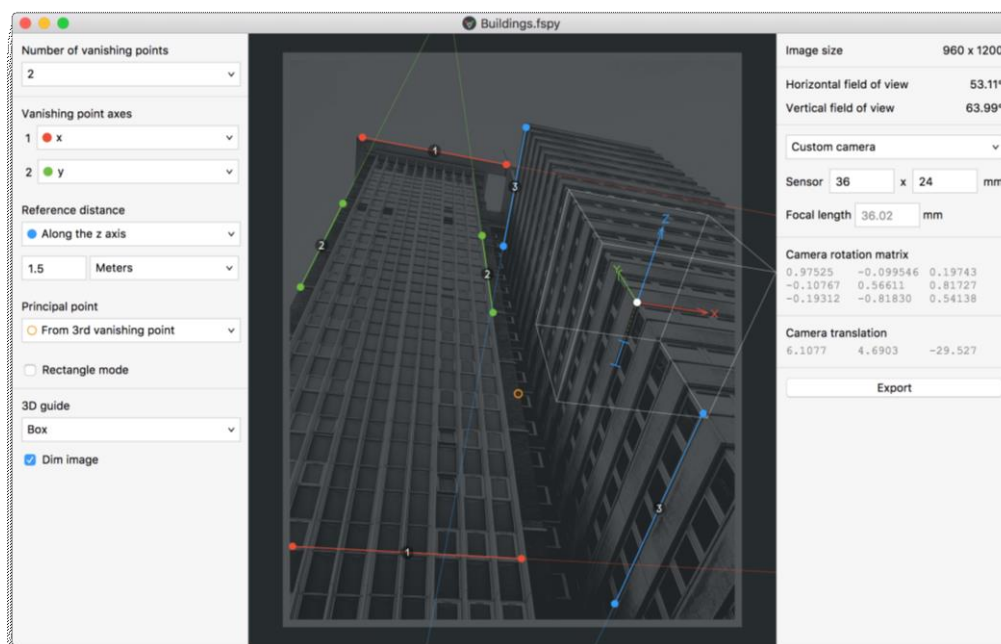
Jedním z možných řešení při modelování zaniklých objektů je jednosnímková fotogrammetrická metoda, kterou se dlouhodobě zabývá tým výzkumníků ze Španělska z University of Salamanca (Garcia-Gago et al. 2014). S pomocí této metody je možné získat informaci o rozměrech objektů z téměř jakéhokoliv (nejen historického) snímku.

González-Aguilera, Gomez-Lahoz, Finat-Codes (2005) dokonce zmiňuje možnost použití historických maleb pro rekonstrukci objektů.

Nejprve je nutné zmínit, že se metoda a postup liší od jednosnímkové fotogrammetrie běžně popisované ve fotogrammetrických (případně geodetických) skriptech. Při konvenční jednosnímkové fotogrammetrii je snahou, aby osa záběru byla kolmá na objekt (ideální případ), jakékoliv perspektivní zkreslení (typické sbíhavostí rovnoběžek) se považuje za nežádoucí (Pavelka 2003). V případě svislého snímku (ideální případ, kolmá osa záběru) je měřítko v celém snímku konstantní a snímek se od skutečnosti liší právě pouze měřítkem. K tomuto případu ale v praxi nedochází, jsou třeba alespoň 4 vlíčovací body (žádné 3 nesmí ležet v přímce, musí naopak ležet ve stejné rovině), matematickým základem je kolineární transformace (Pavelka 2003). Zkreslení se odstraňuje překreslením snímku (Staněk 2013). Lze měřit pouze plošné X, Y souřadnice (Böhm 2002). Metoda nachází využití např. při měření nečlenitých fasád budov, v případě letecké fotogrammetrie při vyhotovování fotoplánů rovinných území bez požadavků na vysokou přesnost (Pavelka 2003).

Naproti tomu jednosnímková modelace, která byla použita v této práci (single image-based modeling using geometric constraints) využívá geometrie objektů v daném snímku (Obrázek 2). Metoda přímo vyžaduje perspektivní zkreslení (využívá lineární perspektivy) v obraze a naopak kolmá osa záběru je nežádoucí, jelikož je nutné identifikovat alespoň 2 sbíhající se rovnoběžky ve směru os, aby bylo možné získat prostorové souřadnice (Garcia-Gago et al. 2014). Zmíněný autor ji označuje jako pseudo-3D modelaci, která je vhodná „pro pravidelné struktury, které mají některé geometrické pravidelnosti, jako je rovinnost ploch, jejich kolmost, rovnoběžnost a lze na nich identifikovat linie vedoucí ve směru os (pro získání 3 tzv. úběžných bodů)“ (Garcia-Gago et al. 2014, s. 1086). Tuto podmínku (což je zároveň též omezení pro využití metody v různých situacích) splňují obvykle budovy a další objekty antropogenního původu.

Obrázek 2: Identifikace sbíhavých rovnoběžek v obraze v programu fSpy



Zdroj: Gantelius (2018b)

Nutné je vnímat rozdíl mezi skutečným 3D a pseudo-3D. Například lidské vidění jedním okem není skutečně prostorové (stereoskopické). Vnímání hloubky a prostorovosti scény v takovém případě je založeno zejména na zkušenosti – znalosti prostředí a s tím spojenými předpoklady. Mozek přirozeně využívá právě lineární perspektivy, „jedná se například o relativní velikost (co je dál, jeví se menší), lineární perspektivu (rovnoběžky se zdánlivě sbíhají), překrývání (co je zakryté, je dále), stínování, vzdušnou perspektivu a další“ (Dušek, Miřijovský 2009, s. 170). Jedná se o tzv. monokulární vodítka. Při neobvyklém poskládání těchto vodítek vznikají optické klamy či nejednoznačnost. Teprve viděním oběma očima získává člověk skutečné prostorové vidění s pomocí rozdílů v obrazech z každého oka (binokulární disparita) (Dušek, Miřijovský 2009). Podobně také ve fotogrammetrii lze získat prostorové souřadnice pouze tehdy, pokud je k dispozici více snímků. Běžně z jediného snímku samozřejmě není možné získat prostorové souřadnice, avšak s pomocí doplňujících informací jako je geometrie objektu na snímku lze získat i 3D souřadnice (Arslan 2014; Frühbauer 2017). Podobně jako mozek vychází z určitých předpokladů a tím je schopný rekonstruovat (pseudo) 3D scénu, tak i ve fotogrammetrii při aplikaci jistých předpokladů a omezení na snímání objekt (geometrická pravidelnost objektu) lze i z jediného snímku získat prostorovou informaci. Problematiku „3D vs pseudo-3D“ rozebírá Dušek, Miřijovský (2009).

Perspektivou zkršená geometrie na snímku obsahuje informace jak o samotné kameře, tak o pozici snímku. Jinak řečeno, s pomocí zákonitostí perspektivního zobrazení je možno získat prvky vnitřní i vnější orientace kamery a také určit rozměry téměř jakékoliv části předmětu, pokud dodáme snímku měřítko s pomocí alespoň jednoho rozměru z reálného objektu (Garcia-Gago et al. 2014). Tento typ 3D rekonstrukce (resp. pseudo-3D rekonstrukce) zmiňuje jako jednu z existujících možností také Remondino, Rizzi (2010) nebo Xiao et al. (2018).

González-Aguilera, Gomez-Lahoz, Finat-Codes (2005) a González-Aguilera, Gomez-Lahoz (2006) pojednávají o softwaru sv3DVision, který vytvořili pro 3D rekonstrukci a vizualizaci objektů jednosnímkovou metodou. Články zmíněných autorů jsou jedny z prvních na dané téma, obsahují poměrně podrobnou rešerši na jednosnímkovou modelaci s využitím geometrické pravidelnosti objektu. Zároveň řeší problematiku především z pohledu počítačové algoritmizace a uživatelského prostředí sv3DVision. Software také umí automaticky detekovat rovnoběžné linie v obraze. Automatická detekce je obecně preferována, pokud je snímek kvalitní, jednak po stránce technické (vysoké rozlišení), fotografické (dobré zaostření, absence odrazů/stínů) a geometrické (kvalitní perspektivní geometrie – rovnoběžky se ostře sbíhají, úběžné body leží blízko k snímku a objektu). V opačném případě se doporučuje manuální identifikace (Garcia-Gago et al. 2014). Na automatizaci je kladen důraz, González-Aguilera, Gomez-Lahoz, Finat-Codes (2012) například představují novou metodu pro automatickou detekci úběžníků. González-Aguilera, Gómez-Lahoz, Rodríguez-Gonzálvez (2011) se věnují automatické korekci radiální distorze z jediného snímku.

2.3.2 Existující case studies

Metodu použil například Garcia-Gago et al. (2014) pro rekonstrukci zaniklé mostecké věže (Gobierna Tower) ve městě Zamora (Španělsko). Přesnost modelu byla porovnávána vůči archivnímu pozemnímu měření, které bylo v minulosti provedeno. Odchytky od skutečnosti byly menší než 1 % (Garcia-Gago et al. 2014). V článku je též přehledně popsáno matematické a geometrické pozadí jednosnímkové metody. Gonzalez-Aguilera, Gomez-Lahoz (2008) popisují metrické vyhodnocování snímku s historickým mostem, případně snímku místa činu pro účely kriminalistiky a dále také rekonstrukci kostela sv. Mikuláše ve španělské Ávile. Metody je samozřejmě možné kombinovat, záleží na vstupních datech. Rodríguez-Gonzálvez et al. (2019) představuje komplexní datovou fúzi. Při 3D rekonstrukci opevnění v již zmíněné Ávile byly nejprve naskenovány trosky 3D scannerem, zaniklé části potom byly vymodelovány právě s pomocí historických snímků jednosnímkovou metodou či podle historických architektonických plánů nebo dokonce psaných zdrojů (pokud nebyla lepší data dostupná).

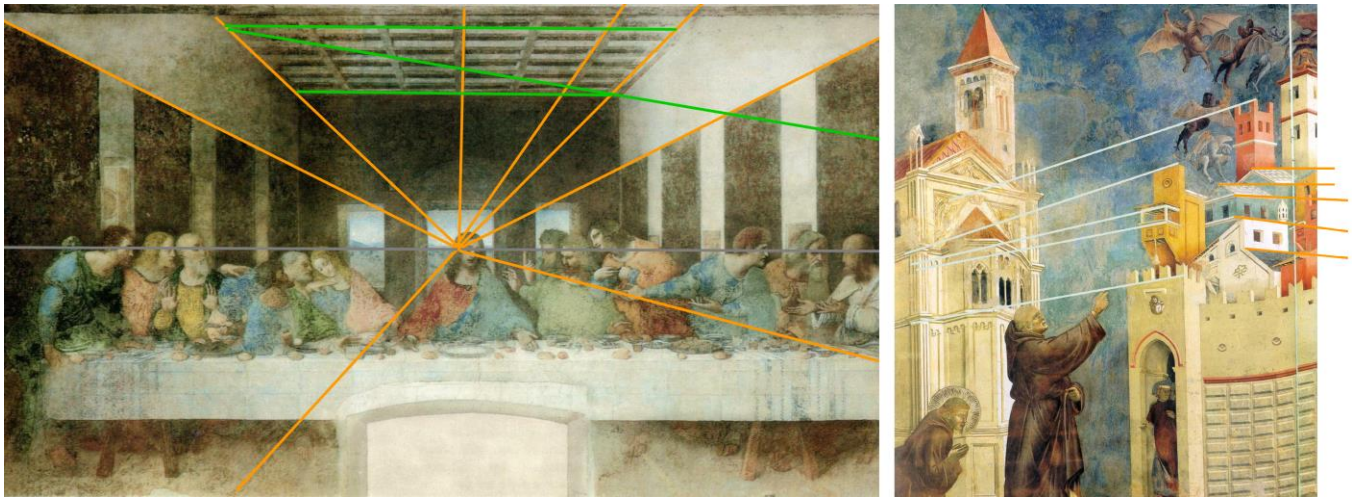
Rozměry objektů z historických snímků s pomocí jejich perspektivou zkršené geometrie získával též Kryshenyk (2013). Tématu se věnuje velmi okrajově, každopádně použil nástroje programu Adobe Photoshop pro odstranění perspektivního zkršení ze snímku. Zmíněný software skutečně umí pracovat s geometrií zkršenou perspektivou po identifikaci sbíhajících se rovnoběžek na snímku (Adobe 2019), viz kapitola pojednávající o softwarech.

2.3.3 Náhled na problematiku okem deskriptivní geometrie

Tématem deskriptivní geometrie pro tvorbu 3D modelací se ve svých absolventských pracích zabýval Frühbauer (2013) a Frühbauer (2017). Problematiku řeší z pohledu tzv. konstruktivní fotogrammetrie. Jedním z cílů prací je využití těchto metod k didaktickým účelům při výuce deskriptivní geometrie, a proto velmi přístupně a srozumitelně prezentují danou problematiku. Popsána je rekonstrukce objektů ze snímku a též opačná úloha, tedy zakreslování virtuálních objektů do snímku. Téměř vše je řešeno graficky (rysy), ne matematicky – analyticky. Frühbauer (2017) zároveň vytváří skript v prostředí MATLAB pro částečnou automatizaci rekonstrukce snímku ze souřadnic bodů. Prezentované modely mají ale spíše nižší LOD, zároveň v pracích chybí přímá návaznost na geoinformatiku.

Metoda je na pomezí fotogrammetrie a deskriptivní geometrie, jelikož využívá geometrii objektů na snímku. Fotogrammetrie je založena na principu středového promítání (respektive lineární perspektivy stejně jako lidské vidění jedním okem), které se v deskriptivní geometrii (mimo jiných zobrazení) užívá. Lineární perspektiva je speciální případ středového promítání (VUT 2012). Jedná se o nejužívanější zobrazení v deskriptivní geometrii pro svoji názornost, která tkví právě v podobnosti s lidským viděním a fotografií (VUT 2012). Je důležitá též v umění. Pokud má malířův obraz správně zachycenou perspektivní geometrii, působí přirozeným prostorovým dojmem (Obrázek 3). Na geometrickou přesnost obrazů kladli důraz především renesanční malíři (Surynková 2013).

Obrázek 3: Analýza kvality perspektivní geometrie v malířském umění



Vlevo: Poslední večeře od Leonarda da Vinciho (1495 – 1498), vpravo: Vyhánění d'áblů z Arezza od Ambrogia di Bondoneho (kolem 1290). Levý obraz disponuje kvalitní perspektivní geometrií, má tak přirozenou hloubku. Úběžník je přímo na hlavě Ježíše Krista, podobně linie horizontu (šedá) prochází jeho očima. Starší pravý obraz nerespektuje zásady lineární perspektivy, působí více nepřirozeně, ploše. Rovnoběžné přímky se někdy zobrazí jako rovnoběžky, někdy jako různoběžky. Di Bondone byl však jeden z prvních malířů, kteří se pokoušeli alespoň intuitivně malovat obrazy realisticky. Umístění hlavního bodu ovlivňuje dojem z díla (Surynková 2013).

Zdroj: Surynková (2013)

Vzhledem k přesné perspektivní geometrii některých obrazů (Surynková 2013) je možné zachycenou scénu rekonstruovat. 3D model části města podle historické renesanční malby vytvořil např. Saegusa, Chikatsu (2003). González-Aguilera, Gomez-Lahoz, Finat-Codes (2005) a Gonzalez-Aguilera, Gomez-Lahoz (2008) zmiňují malby jako jeden z možných vstupů pro sv3DVision. 3D rekonstrukci objektů z historických maleb se věnoval též projekt podpořený z fondů EU (European Commission 2008). Tímto se otevírají nové možnosti pro rekonstrukci podoby středověkých měst aj.

Dále je zobrazeno (Obrázek 4), k jakým absurditám může docházet při nerespektování zásad lineární perspektivy.

Obrázek 4: William Hogarth – *Satire on False Perspective*, kolorováno

Na obraze je celkem 23 absurdních nereálných výjevů, které nerespektují lineární perspektivu (Mellow 2013). Malíři například používali pro zdůraznění prostorovosti obrazů čtvercovou síť (třeba dlažbu) tzv. pavimentum (Surynková 2013). Zde je pavimentum přesně v opačné pozici (vpravo dole na obraze) než by mělo být. Pavimentum je též použito na obraze *Poslední večeře* (Obrázek 3) na stropě místnosti. Volba pavimenta ovlivňuje dojem z díla (Surynková 2013).

Zdroj: Fine Art America (2020)

2.4 Dostupný fotogrammetrický software

2.4.1 Jednosnímková metoda s využitím geometrické pravidelnosti objektu

Program Sv3DVision zmíněný v předchozí kapitole byl vytvořen především pro didaktické a výzkumné účely. Uživatel může ovlivňovat různé parametry, například je možno zvolit algoritmus, který automaticky detekuje a vektorizuje sbíhající se rovnoběžky v obraze nebo metodu pro výpočet polohy úběžných bodů. Sv3DVision zároveň umí vypočítat koeficienty radiální distorze a chybu modelu, software je tak uživateli velice otevřen a nejedná se o tzv. „black box“ řešení (González-Aguilera, Gomez-Lahoz, Finat-Codes 2005). Počin byl oceněn také cenou ISPRS (Garcia-Gago et al. 2014).

Dalším softwarem, který umí exportovat 3D geometrii objektu (funkce transformace obrázků – úběžný bod) a pravděpodobně by bylo možno ho použít pro metrické vyhodnocování snímků jednosnímkovou metodou s využitím geometrické pravidelnosti objektu je Photoshop. Adobe (2019) uvádí, že „3D informace (plochy), textury a měření vytvořená v okně úběžný bod lze exportovat do formátu pro použití v aplikacích pro CAD, modelování, animace a speciální efekty. Export do formátu DXF vytvoří soubor s 3D informacemi a všemi měřeními. Exportované soubory 3DS obsahují kromě geometrických informací i vykreslené textury.“ Software také zvládá odstranění perspektivního zkreslení ze snímku a překreslení do svislého snímku (Adobe 2017), potom by mělo být možné měřit na snímku rozměry ve 2D, což postačuje například pro zjištění výšky budovy, rozměrů oken aj. Dále disponuje

funkcemi pro automatické odstranění radiální distorze (Adobe 2016). Odstranit perspektivní zkreslení umí také Gimp (funkce perspektiva).

Modelovat objekty případně měřit vzdálenosti na snímku s pomocí geometrie objektu a perspektivy umí také Photomodeler (Photomodeler 2020; Photomodeler 2019). Stejnou funkcionalitu má i plugin pro Blender s názvem Blam, který již ale od r. 2018 není podporován. Autor pluginu vytvořil samostatný open source program fSpy (Gantelius 2018a; Gantelius 2018b), jenž vypočítá prvky vnitřní a vnější orientace a uloží je do samostatného souboru. Následně je možno je použít v různých modelovacích programech (Gantelius 2020) např. s pomocí příslušného pluginu (existuje třeba pro Blender). Z hlediska principu funkčnosti Blam odkazuje Gantelius (2018c) na práce Tan, Sullivan, Baker (1995) a Guillou et al. (2000), kteří také využívají perspektivou zkreslenou geometrii v obraze pro zjištění prvků vnitřní a vnější orientace kamery. FSpy pravděpodobně také vychází z těchto prací. Existuje ještě podobný plugin pro Blender s názvem camera-calibration-pvr (Rossini 2017), jenž má podobnou funkcionalitu, je však určen pouze pro starší Blender 2.7 a jeho poslední verze je z roku 2017.

Zasazení virtuálního 3D modelu do reálného snímku (tedy opačnou úlohu) při využití geometrie objektu na snímku zvládá např. Lumion od verze 10 (Lumion 2019). Pro tuto práci však zmíněná funkce Lumionu není relevantní. Photomodeler, fSpy i Lumion umí pouze manuální identifikaci sbíhajících se rovnoběžek. Odstranění perspektivního zkreslení na snímku s pomocí geometrie objektu zvládá také program Darktable (Darktable team 2016) nebo ShiftN (Hebel 2020), pro klasickou jednosnímkovou fotogrammetrii existuje i například open source software SIMphoto (Čížek 2010).

2.4.2 Structure from Motion: 3D fotorealismus na dosah snadno a rychle

Často užívaným programem je Agisoft PhotoScan (resp. Metashape), který použili například Wojciechowska, Luczak (2018). Celkem 14 různých komerčních i nekomerčních softwarů testoval Falkingham (2018), jednalo se například o PhotoScan, Meshroom, MicMac, COLMAP a další (Obrázek 5). Open source Meshroom produkoval vizuálně stejně povedené výsledky (ne-li lepší), než komerční software PhotoScan. Zároveň byl chválen za velice povedené uživatelské prostředí a možnosti nastavení. Nevýhodou je velká časová náročnost při zpracování modelu (Falkingham 2018), případně také nutnost disponovat v PC sestavě grafickou kartou od Nvidie, jelikož program využívá technologii Nvidia CUDA (Meshroom 2019). Proces lze spustit bez využití Nvidia CUDA technologie, ale výsledek je podstatně horší (AliceVision 2020). Geometrická přesnost modelů nebyla testována. Meshroom doporučuje svým zákazníkům pro automatizovanou tvorbu 3D modelů výrobce nejprodávanější desktopové 3D tiskárny na světě (Pick3DPrinter 2020) česká firma Prusa Research (Prusa Research 2018). Na vývoji softwaru se podílí například technické univerzity (včetně ČVUT) nebo postprodukční společnost Mikros Image, která se zabývá tvorbou speciálních efektů pro filmy, reklamy, videoklipy aj. (Meshroom 2019).

Obrázek 5: Srovnání 3D modelů vytvořených v různých SFM programech



Meshroom podával srovnatelné výsledky s PhotoScanem.

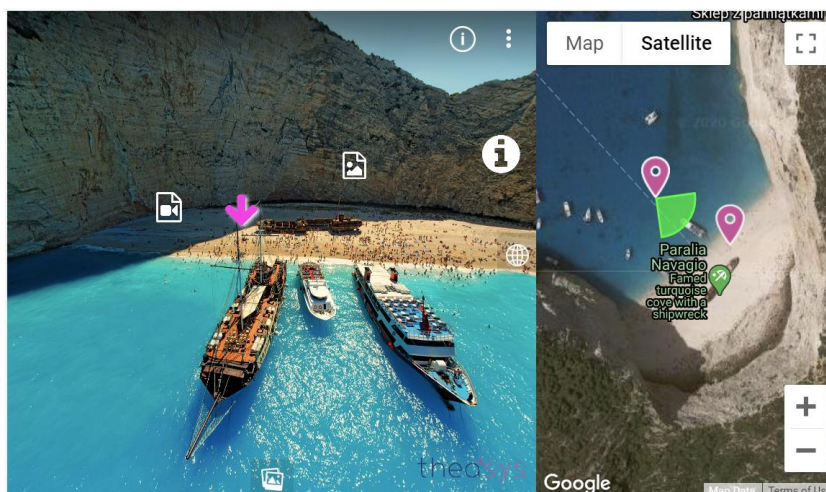
Zdroj: upraveno podle Falkinghama (2018)

2.5 Vizualizace 3D dat v prostředí internetu

Jednou z možností vizualizace 3D modelů je i zobrazení a prezentace pomocí webového rozhraní. V minulosti bylo pro tyto účely využíváno Google Earth API – např.: Vichrová et al. (2014) nebo Popelka, Brychtová (2011). Jelikož Google ukončil podporu pro Google Earth API, v současnosti se k podobným účelům používá třeba Cesium – např. Murshed et al. (2018) nebo Torres-Martínez et al. (2016). Z dalších řešení lze zmínit i SketchUp 3D Warehouse, SketchFab či Google Poly. Tyto aplikace zobrazují přímo 3D modely, poskytují velkou míru interaktivity, uživatel může model prohlížet ze všech stran, libovolně ho otáčet či přibližovat. Aplikace jsou nicméně často velmi závislé na kvalitě internetového připojení a výkonnosti hardwaru na straně uživatele (Murshed et al. 2018; IPR Praha 2020). Náročnost na hardware je možno ověřit v praxi třeba na IPR Praha (2020). Zmíněné obtíže se dají alespoň částečně řešit například proměnlivým LOD (Vichrová et al. 2014) nebo 3D dlaždicemi (3D tiles) (Murshed et al. 2018). Evidentně se stále jedná z hlediska vizuálního o poměrně základní a nepřilíhající podrobné modelace.

Jedním z dalších řešení je vytvoření 360° obrázků (panoramát) modelu a jejich vložení do webové aplikace. Tímto způsobem lze vizualizovat i detailní modely (případně reálný svět). Jelikož se nepracuje explicitně s 3D geometrií, nejsou zde tedy takové nároky na hardware – např. Theasys (2020) (Obrázek 6) nebo EYE SPY 360 (2020). 360° panoramata jsou také ve službách poskytující pohled na reálný svět z ulice jako jsou Mapy.cz Panorama (Seznam.cz 2020) nebo Google Maps Street View (Google 2020). Za nevýhodu lze považovat nižší míru interaktivity takových aplikací, panoramata jsou dostupná jen v předem definovaných místech, uživatel tak nemůže prohlížet jakoukoliv část modelu (popřípadě reálný svět) ze všech stran dle libosti. Např. v Theasys (2020) a výše zmíněných mapových službách jsou zároveň 360° panoramata zobrazena bodově v mapě, existuje zde tak spojitost a průnik s web mappingem, viz další kapitola.

Obrázek 6: Vizualizace s pomocí 360° panoramat v Theasys.io



Vlevo interaktivní 360° panorama s rozklikávacími pop-up okny, vpravo jednotlivá panoramata a body zájmu zobrazená ve webové mapě (zde konkrétně Google Maps)

Zdroj: Theasys (2020)

Samostatnou kapitolou by bylo renderování videí/obrázků s pomocí renderovacích enginů – např. Haegler, Müller, Van Gool (2009) nebo Guidi, Russo (2012). Pro takové účely lze použít například software Lumion (pro použití ve stavitelství a architektuře) nebo RenderMan (primárně pro film a speciální efekty). Další oblastí jsou herní enginy, např. Laksono, Aditya (2019), kteří použili Unity3D Engine. Z dalších herních enginů lze uvést CryEngine nebo Unreal Engine.

2.6 Web mapping

Kromě služeb jako Street View a Panorama vizualizující reálný svět ve 3D se web mapping běžně používá například i pro vizualizaci kulturního dědictví. Mousouris, Styliaras (2014) vytváří tzv. „Digitální mapu kulturního dědictví“, ve které je vyznačena poloha dané stavby nebo místa (body zájmu) s dalšími doplňujícími informacemi a multimédií. Mapa je určena pro turisty, studenty, výzkumníky a místní obyvatele, kteří chtějí navštívit nebo prozkoumat dané místo. Aplikace využívá Google Maps API, CSS3 a HTML5, autoři zdůrazňují důležitost responzivního designu. Inoue, Cohen (2010) prezentují „Human History Maps“ pro výukové účely využívající též Google Maps API. Jejich aplikace se zaměřují na život významných historických osobností a s nimi spojených

míst. UNESCO provozuje interaktivní mapu světového kulturního dědictví, kde může uživatel virtuálně procházet jednotlivá místa (UNESCO 2020).

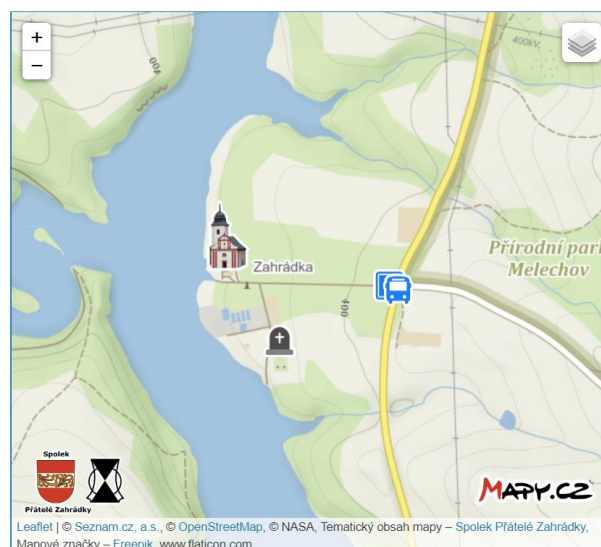
O masivní rozšíření online map se zasloužily především Google Maps, které představila společnost Google v roce 2005. V té době se jednalo o revoluční počín, mapa nabízela nebyvalou míru interaktivity a jednoduchost ovládní. Následně někteří vývojáři přišli na způsob, jak integrovat Google Maps do vlastních stránek. Tato situace přiměla společnost Google, aby představila oficiální API (Svennerberg 2010). Z dalších řešení pro mapová rozhraní lze uvést Bing Maps API od společnosti Microsoft, Apple Maps, Mapbox API, Mapy.cz API od české společnosti Seznam.cz, ArcGIS Online, z open source pak OpenLayers a Leaflet.

Mezi webové mapy jsou řazeny veškeré online mapy publikované v prostředí internetu. Na rozdíl od klasických tištěných map mají online mapy řadu odlišností a výhod. Obsahují různé interaktivní prvky, s jejichž pomocí je možno mapovou aplikaci ovládat – například měnit měřítko (typicky „multi-scale“ mapy). Základem je podkladová mapa, takzvaná „basemap“, nad níž můžeme vizualizovat nejrůznější tematický obsah (Esri Press Team 2017). Může se jednat o klasické kartogramy či kartodiagramy, dále pak o prvky a metody, které se objevily teprve se vznikem web mappingu. To jsou například mapové značky s pop-up oknem obsahující doplňující informace, 3D vizualizace a další multimédia.

S pomocí web mappingu je možno vizualizovat výsledky v podstatě jakékoliv GIS analýzy, nejnověji lze provádět i jednodušší prostorové analýzy přímo v prostředí online aplikace (vyžaduje cloud computing). Online mapy je samozřejmě možno též využívat na mobilních zařízeních. Výhody web mappingu přímo vyplývají z výhod internetu a jeho masového rozšíření. Jedná se zejména o podstatně jednodušší přístup uživatelů k informacím, snadnější a rychlejší aktualizace a distribuce mapových podkladů, interaktivita, přizpůsobitelnost, modifikovatelnost, existence tzv. real-time mapových aplikací, které zobrazují data v reálném čase (např. Flightradar24), možnost přepínání různých mapových podkladů a mnoho dalšího (Esri Press Team 2017).

Leaflet (Obrázek 7) je jednou z nejrozšířenějších JavaScriptových knihoven pro tvorbu webových map (Leaflet 2019b) společně ještě s OpenLayers a Google API. Za jejím vznikem stojí Vladimír Agafonkin, první verze byla uvolněna v roce 2011. Leaflet se vyznačuje jednoduchostí, bezproblémovým chodem na mobilních zařízeních (responsive design friendly), čitelností kódu, malou velikostí a velmi dobrou dokumentací a tutoriály. Výhodou je také existence mnoha pluginů vytvářených silnou komunitou (Leaflet 2019b). Mapové aplikace v Leafletu je také možné vytvářet s pomocí Python knihovny Folium, balíčku Leaflet for R pro jazyk R a v neposlední řadě lze také vyexportovat mapový projekt v QGISu jako webovou aplikaci s pomocí pluginu qgis2web. Tato řešení však mohou být omezená, buď nenabízí plnou funkcionalitu nebo je problém s propojením pluginů třetích stran. Z těchto důvodů se zdá být nejlepší psát aplikaci přímo v JavaScriptu.

Obrázek 7: Rozhraní webové mapy vytvořené v Leafletu



Zdroj: vlastní tvorba/Overview (Leaflet 2019b)

3 Teoretická část

3.1 Fotogrammetrické minimum

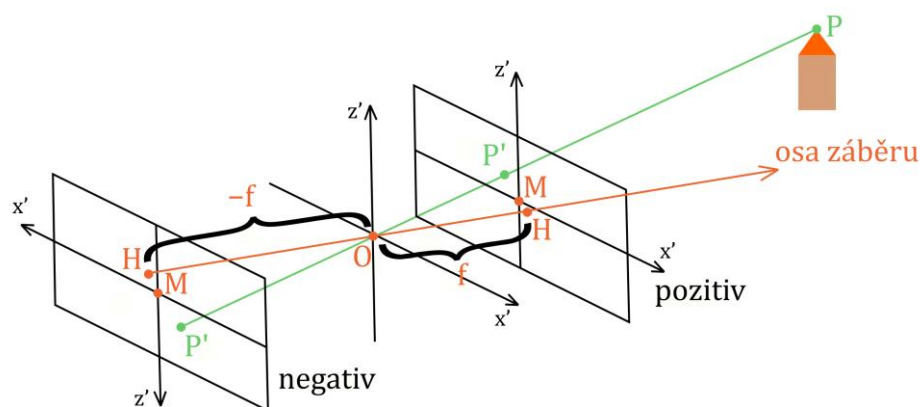
3.1.1 Obecně

Fotogrammetrie je distanční exaktní metoda sběru prostorových dat. Pavelka (2003, s. 3) o ní hovoří jako o „vědě, způsobu a technologii, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu. Při sběru dat lze použít amatérský fotoaparát (neměřická kamera) i speciální fotogrammetrická kamera (měřická kamera). „Některé postupy fotogrammetrie lze zařadit i do deskriptivní geometrie, kde byly podobné úlohy řešeny ještě dávno před vynálezem fotografie“ (Pavelka 2003, s. 5). Fotogrammetrii můžeme dělit podle několika kritérií, například podle polohy stanoviště (pozemní, letecká, družicová) nebo podle počtu a konfigurace vyhodnocovaných snímků (jednosnímková, vícesnímková), v minulosti se též dělila podle technologie zpracování obrazu (analogová, digitální) (Pavelka 2003).

3.1.2 Snímkové orientace

Pro přesné vyhodnocení snímků je nutné znát tzv. prvky vnitřní orientace (IO – interior orientation), jedná se o konstantu kamery f , polohu hlavního snímkového bodu H na snímku (dx , dy) a případně také průběh distorze na snímku. V případě měřických kamer jsou tyto údaje předem známy (udává výrobce kamery) (Pavelka 2003). U neměřických kamer je nutno provést kalibraci kamery. Prvky IO jsou zobrazeny níže (Obrázek 8).

Obrázek 8: prvky vnitřní orientace kamery



f – konstanta kamery pro pozitiv, $-f$ pro negativ; znaménko je věc definování počátku a směru os, nemusí být zcela jednotné. Ve výpočtech bývá f kladná, jelikož se uvažuje pouze její velikost (Pavelka 2003). Negativ a pozitiv jsou z hlediska geometrie stejné, v případě negativu se jedná pouze o převrácený obraz. P je bod v prostoru zobrazený na snímku.

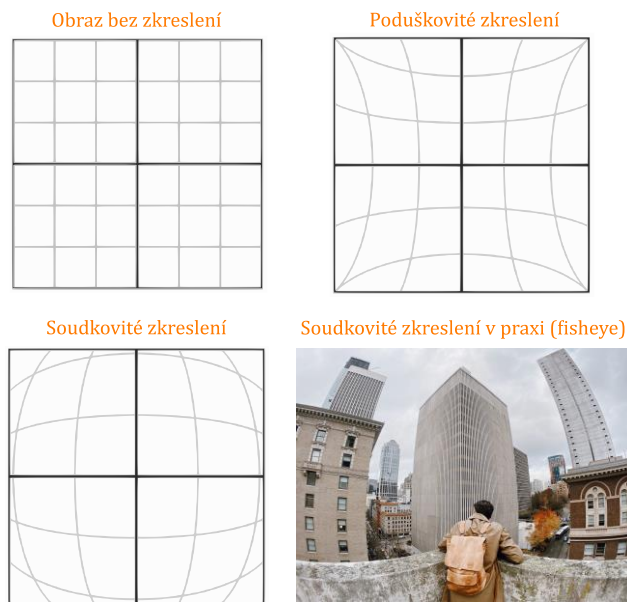
Zdroj: upraveno podle Pavelky (2003)

Obrázek 8 ilustruje idealizovaný stav geometrie kamery (dírková komora – kamera obscura), a proto střed promítání O respektive projekční centrum je zobrazeno jedním bodem. Skutečný objektiv se skládá z řady optických členů (Pavelka 2003). Hlavní snímkový bod H je „průsečík roviny snímku s paprskem procházejícím v předmětovém prostoru středem promítání a který je kolmý na rovinu snímku“ (Pavelka 2003, s. 36). Konstanta kamery f je „vzdálenost od hlavního snímkového bodu H ke středu promítání v předmětovém prostoru (střed výstupní pupily resp. výstupní čočky)“ (Pavelka 2003, s. 36). Vhodné je též zmínit střed snímku M . V ideálním případě by měl být H totožný s M , vlivem nepřesně sestavených objektivů je H mírně odchýlen od M . M je počátkem snímkových souřadnic, poloha H se udává právě vůči M v těchto souřadnicích (Pavelka 2003).

Distorze objektivu je geometrické zkreslení na snímku způsobené nepřesným sestavením objektivu při jeho výrobě. Úhel vstupujícího paprsku do objektivu není stejný s úhlem paprsku vystupujícího, což má za následek, že se daný bod zobrazuje mírně posunut na snímku oproti jeho správné poloze. Pro velmi přesné měření je nutno distorzi odstranit. U měřických kamer průběh distorze udává výrobce, u neměřických se zjišťuje při kalibraci. Existují 2 typy distorze, radiální a tangenciální. Radiální distorze způsobuje soudkovité zkreslení, tangenciální poduškovité (Obrázek 9) (Staněk 2013). Tangenciální distorzi lze špatně kompenzovat a běžně se neuvažuje, navíc u moderních objektivů je její vliv zanedbatelný (Pavelka 2003).

Prvky IO kamery se určují během tzv. kalibrace kamery. V praxi je nutná u běžných digitálních fotoaparátů, které nejsou primárně určeny pro fotogrammetrické práce. U měřických kamer jsou prvky IO známy od výrobce kamery (kalibraci provádí výrobce např. laboratorně). Lze ji provést několika způsoby například pomocí testovacího kalibračního pole (např. Photomodeler, Meshroom) nebo „on-the-job“ – během snímání samotného objektu (Pavelka 2003).

Obrázek 9: zkreslení způsobené distorzí objektivu



Extrémní soudkovité zkreslení mají objektivy typu fisheye (rybí oka, širokoúhlé objektivy). V jejich případě je to někdy žádoucí pro dosažení kýženého uměleckého dojmu z fotografie.

Zdroj: upraveno podle Staňka (2013)/Moment (2020)

Photomodeler a Meshroom používají tzv. Brownův distorzní model pro radiální distorzi (Meshroom 2020).

Brownův distorzní model:

$$\Delta r = K_1 \times r^2 + K_2 \times r^4$$

kde:

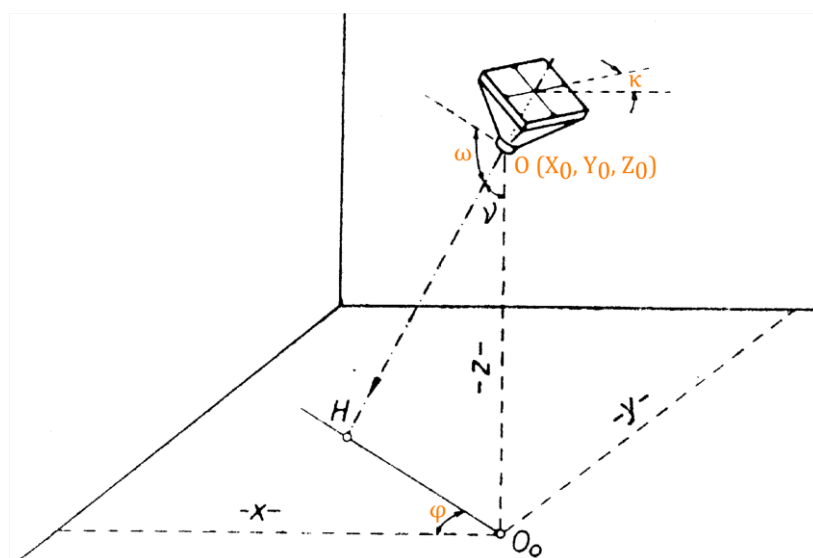
K_1, K_2 = koeficienty radiální distorze

r = vzdálenost od hlavního snímkového bodu

Δr = posun bodu oproti jeho skutečné poloze vlivem rad. distorze

Pro každý snímek jsou též definovány prvky vnější orientace (EO – exterior orientation). Jedná se o 3 souřadnice (X_0, Y_0, Z_0) v geodetickém souřadnicovém systému a 3 úhly (ω, φ, κ), které charakterizují polohu a stočení kamery při pořizování daného snímku (Obrázek 10) v prostoru. Vztahují se ke středu vstupní pupily (vstupní čočky) objektivu. V „tradiční“ pozemní jednosnímkové fotogrammetrii se pořizují v terénu geodeticky (Pavelka 2003), u jednosnímkové metody s využitím geometrie objektu je nutné je vypočítat (Garcia-Gago et al. 2014) (jelikož snímek je pořízen amatérským fotoaparátem – neměřickou kamerou).

Obrázek 10: prvky vnější orientace kamery



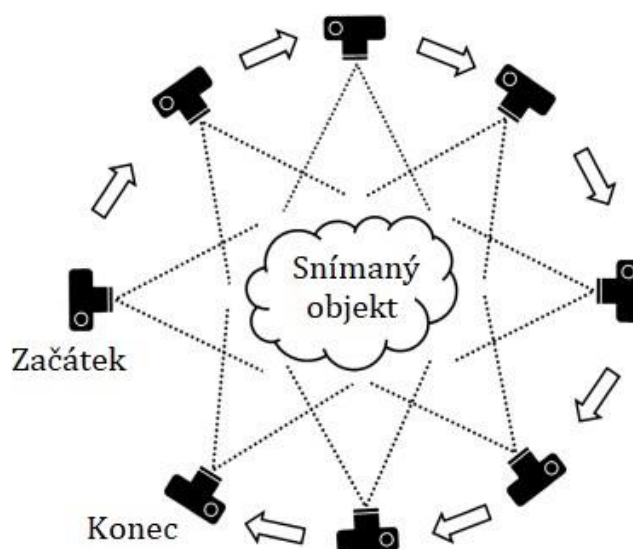
Úhly jsou v některé anglické literatuře označovány jinými řeckými písmeny (např. Garcia-Gago et al. (2014)).

Zdroj: upraveno podle Böhma (2002)

3.1.3 SFM (Structure from Motion)

Structure from motion kombinuje výhody stereofotogrammetrie a průřezové fotogrammetrie. Do výpočtů mohou vstupovat snímky s rovnoběžnými osami záběru i osami sbíhavými (konvergentními). Ve výpočtu se také uvažuje pohyb mezi snímky (sekvence navazujících snímků) (Obrázek 11), zároveň se u nich hledá vzájemná korelace. Nevýhodou jsou vysoké výpočetní nároky (Šimíček 2014), výsledným modelům chybí měřítko a jednotlivé snímky mají pouze relativní vnější orientaci. Modely vytvořené SFM jsou do geodetického souřadnicového systému umísťovány až po jejich zpracování (Westoby et al. 2012).

Obrázek 11: Snímání objektu při použití SFM



Zdroj: Upraveno podle Westoby et al. (2012)

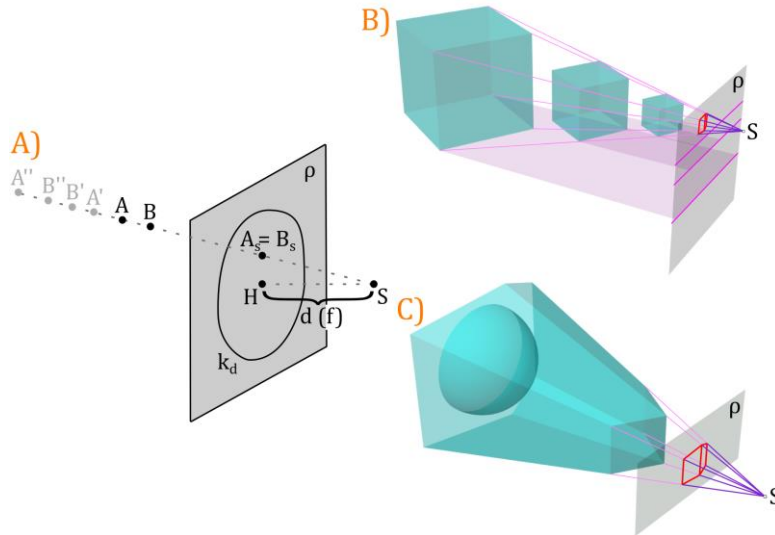
3.2 Středové promítání a lineární perspektiva pohledem deskriptivní geometrie

3.2.1 Středové promítání

Geometrie kamery a vznik snímku je z hlediska geometrického principu založen na středovém promítání, o kterém pojednává též deskriptivní geometrie. Středové promítání je určeno rovinou p (tzv. průmětna, ve fotogrammetrii plocha pozitivu snímku) a středem promítání S (střed výstupní čočky (pupily) kamery, ekvivalent O), který v dané

rovině neleží (Obrázek 12). Kolmým průmětem S do ρ získáme hlavní bod H , vzdálenost $|SH|$ je distance d (ekvivalent konstanty kamery f). H a d nazýváme prvky vnitřní orientace středového promítání. Bod v v prostoru A můžeme promítnout přes střed promítání S do průmětny ρ , vzniká nám tak středový průmět A_s bodu A . Ke středovému průmětu A_s nelze zpětně jednoznačně určit bod v v prostoru A , na promítací přímce SA_s totiž leží nekonečně mnoho vzorů A (Obrázek 12). Nevlastní bod je bod ležící v nekonečnu. Každá vlastní přímka má jeden nevlastní bod U . Všechny vzájemně rovnoběžné přímky se protínají v jediném nevlastním bodě U . Promítnutím nevlastního bodu U přes střed promítání S do roviny ρ (průmětna) dostaneme jeho středový průmět U_s neboli úběžník přímky. Přímka r kolmá na průmětnu ρ je přímka hloubková. Úběžníkem všech hloubkových přímek je hlavní bod H . V případě k_d (H, d) hovoříme o distanční kružnici ležící v ρ (VUT 2012).

Obrázek 12: Středové promítání a nejednoznačnost zpětných průmětů do prostoru



Pojetí oproti fotogrammetrickým zvykostem je mírně odlišné, ρ by byl pozitiv snímku (vztah pozitivu a negativu viz Obrázek 8).
 A): Základní elementy středového promítání, průmětna ρ , střed promítání S a prvky vnitřní orientace. Body A a B se promítnou do ρ do stejného bodu ($A_s = B_s$), jelikož leží na stejné promítací přímce. Jejich zpětné průměty z ρ do prostoru jsou nejednoznačné (A', A'', B', B'' atd.). Nejednoznačnost znázorňuje i Frühbauer (2017). B): Různě velké stejnohlé krychle mají v ρ stejný průmět.
 C): Obecné těleso s půlkruhovou dutinou se kvůli svému specifickému tvaru do ρ promítne jako krychle (Frühbauer 2017).

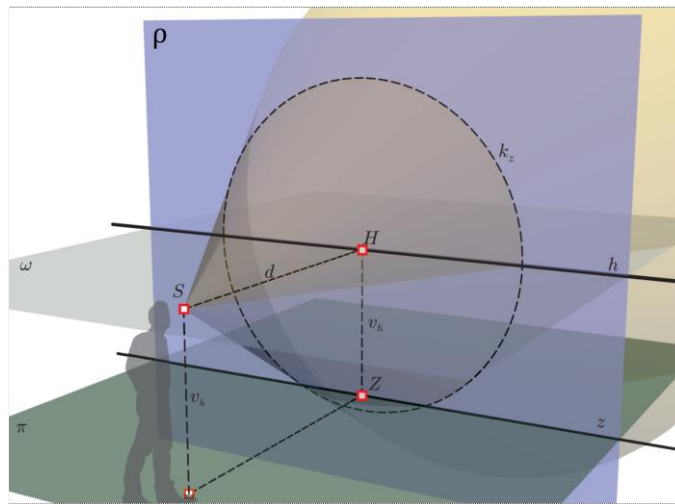
Zdroj: A): upraveno podle VUT (2012)/B) a C): Frühbauer (2017)

3.2.2 Lineární perspektiva

Lineární perspektiva (Obrázek 13) je často užívaným zobrazením, používá se pro zobrazování architektonických návrhů, interiérů aj. Díky její podobnosti s lidským viděním jedním okem a s fotografií je její výhodou názornost. Jedná se o speciální případ středového promítání. Platí všechny zákonitosti uvedené v předchozí kapitole, navíc však musí být splněny další podmínky. Cílem je co nejlépe vystihnout lidské vidění. Zobrazovaný předmět musí ležet uvnitř zorné kuželové plochy se středem promítání v S a osou SH . Vrcholový úhel kuželové plochy je cca 40° u lidského oka, 90° u snímku, v deskriptivní geometrii se uvažuje běžně 60° (VUT 2012; Šestáková 2020). Frühbauer (2013) uvádí úhel 40° až 50° . Tato kuželová plocha protíná ρ v zorné kružnici k_z , její poloměr by neměl být větší než $d/2$. Jelikož lidské oko nedokáže na předměty bližší než 20 až 25 cm zaostřit, d by mělo být větší než 25 cm. Optická osa (resp. promítací paprsek) SH by měl směřovat přibližně do středu objektu nebo do nějakého významného detailu (VUT 2012).

Situace (Obrázek 13) je doplněna o tzv. základní rovinu π , na které stojí pozorovatel. Pro věrohodnou simulaci lidského vidění volíme S ve výšce 1,5 až 2 m nad základní rovinou. Pokud je S výrazně výše než 2 m (optická osa určená SH směřuje výrazně šikmo dolů vůči ose Z objektu) jedná se o perspektivní nadhled (ptačí perspektiva), pokud je výrazně níže než 1,5 m (SH směřuje výrazně šikmo nahoru vůči ose Z objektu), hovoříme o perspektivním podhledu (žabí perspektiva). Průsečnicí π a ρ je základnice z . Platí, že π je kolmá na ρ . Rovina procházející středem promítání S , která je rovnoběžná s π je tzv. obzorová rovina ω , průsečnicí ρ s ω je horizont h . Z (základní bod) je pravoúhlý průmět H do π . V případě úsečky HZ (v_h) se jedná o výšku horizontu. Přímka určená HZ je hlavní vertikála. ρ se v lineární perspektivě říká perspektivní průmětna, středovým průmětem objektu je perspektivní obraz (průmět) (VUT 2012; Šestáková 2020).

Obrázek 13: Základní prvky lineární perspektivy

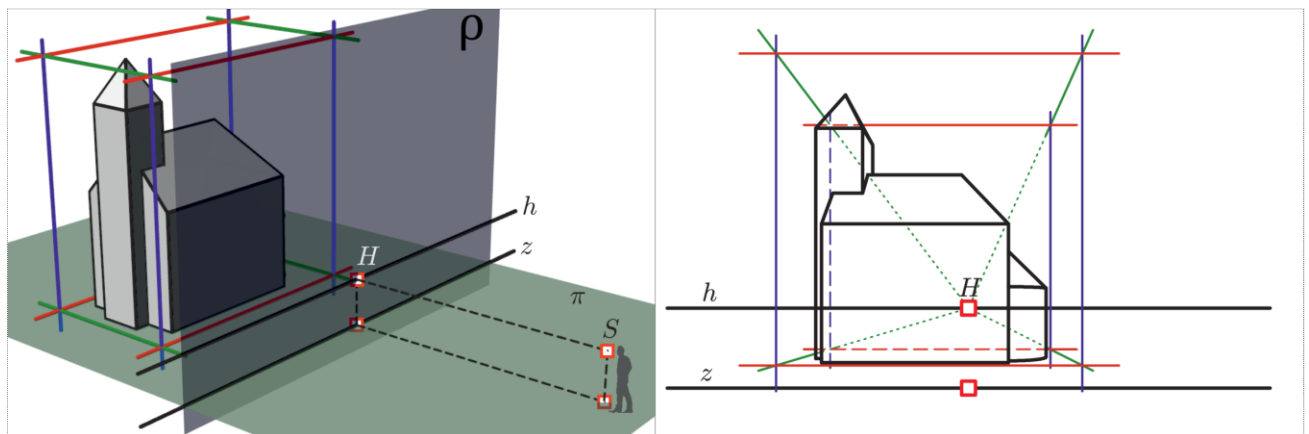


Z pohledu fotogrammetrie se v případě ρ opět jedná o pozitiv snímku (viz Obrázek 8).

Zdroj: Šestáková (2020)

Rozlišujeme několik základních typů perspektivy, a to především podle polohy objektu vůči průmětně ρ . Na objektu stanovíme tři dominantní vzájemně kolmé směry a následně objekt ohraničíme krychlí (resp. kvádrem), jejíž hrany jsou rovnoběžné se stanovenými směry objektu (bounding box) (Obrázek 14). Typ lineární perspektivy určuje, kolik těchto směrů je rovnoběžných s perspektivní průmětnou ρ . V realitě na nejrůznějších průmětech objektů by byly dostupné více než 3 úběžníky (v případě nejrůznějších diagonálních linií apod.), stále ale uvažujeme pouze vyznačené tři dominantní vzájemně kolmé směry. Proto budeme hovořit maximálně o třech úběžnících, jejichž počet v obraze odráží i pojmenování jednotlivých typů perspektivy. V případě jednoúběžníkové perspektivy (Obrázek 14) jsou rovnoběžné dva ze tří vzájemně kolmých dominantních směrů daného objektu s ρ . Dostupný je jeden úběžník identifikovatelný s pomocí geometrie objektu (Šestáková 2020).

Obrázek 14: jednoúběžníková perspektiva

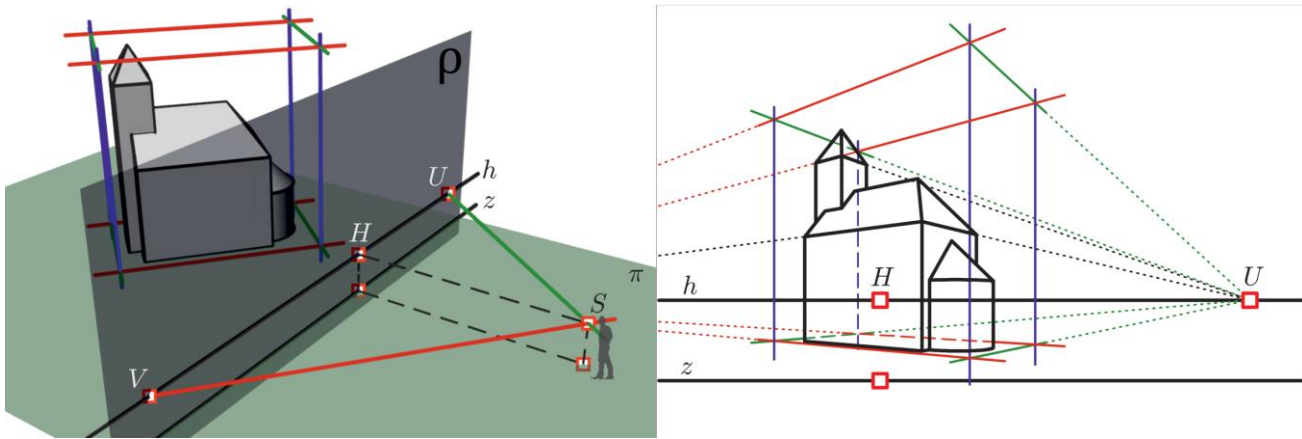


Zelené hrany ohraničujícího kvádru jsou kolmé na průmětnu ρ , jedná se tedy o vzájemně rovnoběžné hloubkové přímky, jejichž společným úběžníkem je hlavní bod H . H zároveň leží na horizontu h (VUT 2012) Modré a červené přímky jsou rovnoběžné s ρ . Kvádr je zde v průčelní poloze (Frühbauer 2013).

Zdroj: Šestáková (2020)

U dvouúběžníkové perspektivy (Obrázek 15) je s průmětnou ρ rovnoběžný jeden ze tří dominantních vzájemně kolmých směrů. Dostupné jsou dva úběžníky identifikovatelné s pomocí geometrie objektu (Šestáková 2020).

Obrázek 15: dvouúběžníková perspektiva

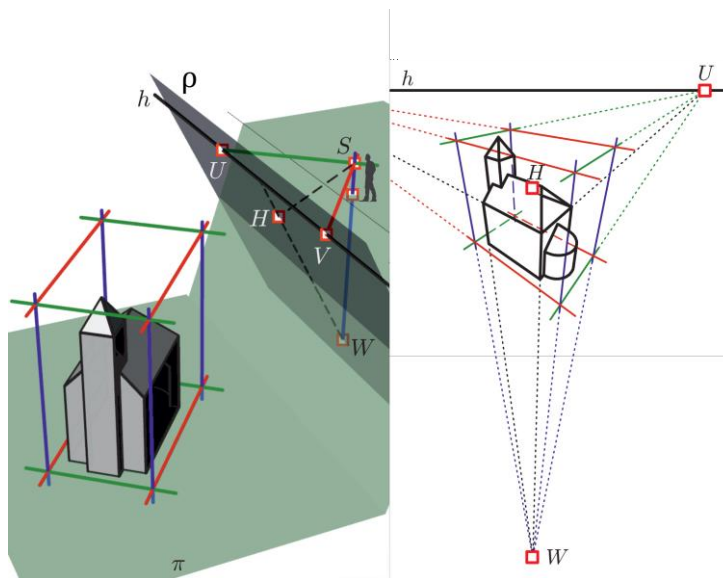


Pouze modré hrany kvádrů jsou rovnoběžné s ρ , zelené a červené jsou v obecné poloze. H opět leží na horizontu (což je obvyklé, nemusí však platit vždy). Již lze identifikovat dva úběžníky (U, V) s pomocí geometrie objektu (oba úběžníky opět leží na h , též k tomu nemusí docházet vždy). Jedná se o nejčastější typ lineární perspektivy (VUT 2012). Kvádr je zde v nárožní poloze (Frühbauer 2013).

Zdroj: Šestáková (2020)

U tříúběžníkové perspektivy (Obrázek 16) není s průmětnou ρ rovnoběžný ani jeden ze tří dominantních vzájemně kolmých směrů. Dostupné jsou tři úběžníky identifikovatelné s pomocí geometrie objektu. Spojnicím mezi úběžníky (nejsou na obrázku vyznačeny) se říká úběžnice (Šestáková 2020). V případě ptačí perspektivy je úběžník (zde W) ve směru osy Z (modré hrany kvádrů) pod horizontem, naopak u žabí perspektivy je nad horizontem (VUT 2012).

Obrázek 16: tříúběžníková perspektiva



Zde je zobrazen perspektivní náhled (ptačí perspektiva). Žádná z hran kvádrů není rovnoběžná s ρ , H neleží na horizontu (tak je tomu vždy v případě, že není průmětna svislá), identifikovat lze tři úběžníky (U, V, W) s pomocí geometrie objektu (Šestáková 2020).

Zdroj: Šestáková (2020)

Typy perspektivy velice názorně a přehledně popisuje Šestáková (2020) (kapitola volba lineární perspektivy). Materiály zahrnují i vysvětlení některých zdánlivě nejednoznačných případů aj.

3.2.3 Konstruktivní fotogrammetrie

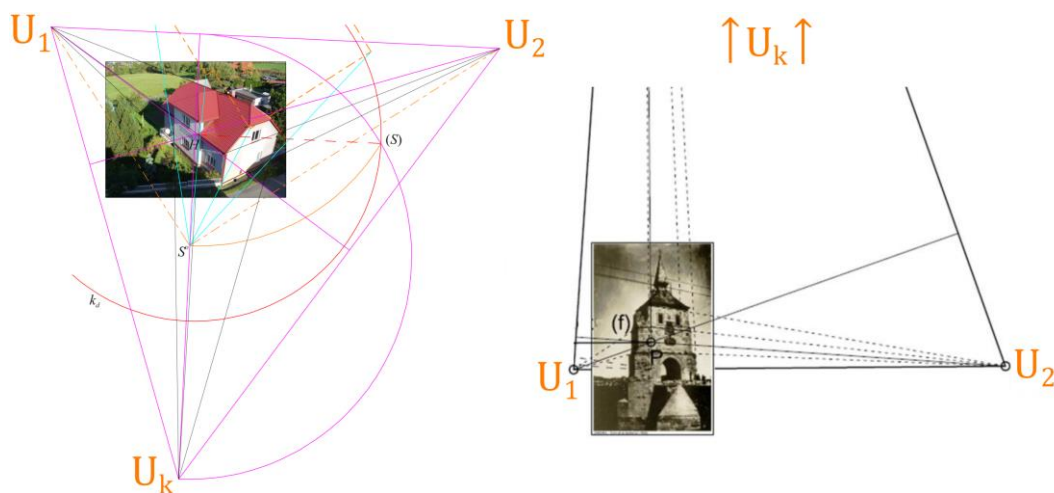
Konstruktivní fotogrammetrie se zabývá hledáním prvků vnitřní orientace geometrickými metodami. Používá se pouze pro snímky pořízené neměřickými kamerami. Následně může být objekt na snímku rekonstruován. Rekonstrukce objektu s pomocí jeho geometrie je méně přesná (Frühbauer 2013; Frühbauer 2017). Nejprve je třeba určit, zda se jedná o svislý (nebo též vodorovný, jelikož osa záběru je vodorovná) či šikmý snímek. U svislého snímku

jsou vertikální linie v obraze rovnoběžné, toto může splňovat jednoúběžníková případně dvouúběžníková perspektiva. V případě svislého snímku leží hlavní bod H na horizontu. Pro svislý snímek se za prvky IO považuje kromě H a d též právě horizont h (VUT 2012). U tříúběžníkové perspektivy se k prvkům IO řadí navíc ještě úběžnice (Šestáková 2020). Zdá se, že v deskriptivní geometrii se zkreslení způsobené radiální distorzí vůbec neuvažuje. Při rekonstrukci objektu chceme z jeho průmětu v ρ (resp. na snímku) získat zpětně původní prostorové těleso. Téma jednosnímkové rekonstrukce s využitím geometrie objektu rozvádí Frühbauer (2013) a Frühbauer (2017), téměř vše je provedeno graficky. Garcia-Gago et al. (2014) úlohu řeší matematicky. Více o geometrických principech problematiky je možné se dočíst ve skriptech deskriptivní geometrie technických vysokých škol. Relevantní jsou kapitoly jako středové promítání, lineární perspektiva a konstruktivní fotogrammetrie. „Tradiční“ fotogrammetrie o rekonstrukci objektu ze snímku s pomocí geometrie daného objektu, zdá se, nepojednává.

3.3 Rekonstrukce objektů s pomocí jejich geometrie jednosnímkovou metodou

Předpokladem pro zmíněnou modelaci je pravidelný tvar daných objektů jako je kolmost, rovnoběžnost, rovinnost stran aj. Nutné je znát alespoň jeden rozměr pro dodání měřítka, objekt musí obsahovat tři vzájemně kolmé identifikovatelné směry. Na snímku by měla být zároveň kvalitní perspektivní situace (Obrázek 17), v ideálním případě by se měly rovnoběžky ostře sbíhat, aby bylo možno přesně identifikovat 3D geometrii objektu. Lze tak soudit, že vhodný je například záběr na roh budovy. V opačném případě budou ležet úběžníky daleko od objektu a od snímku, což způsobuje menší přesnost modelace (Garcia-Gago et al. 2014). Když se rovnoběžky v určitém směru sbíhají velice pozvolna, Frühbauer (2013) tvrdí, že se může zkreslení zanedbat a přímky lze považovat za skutečně rovnoběžné (a například tak považovat snímek za svislý). Již z těchto úvodních předpokladů lze soudit, že se metoda a postup liší od „klasické“ jednosnímkové metody popisované ve fotogrammetrických skriptech.

Obrázek 17: porovnání perspektivních situací

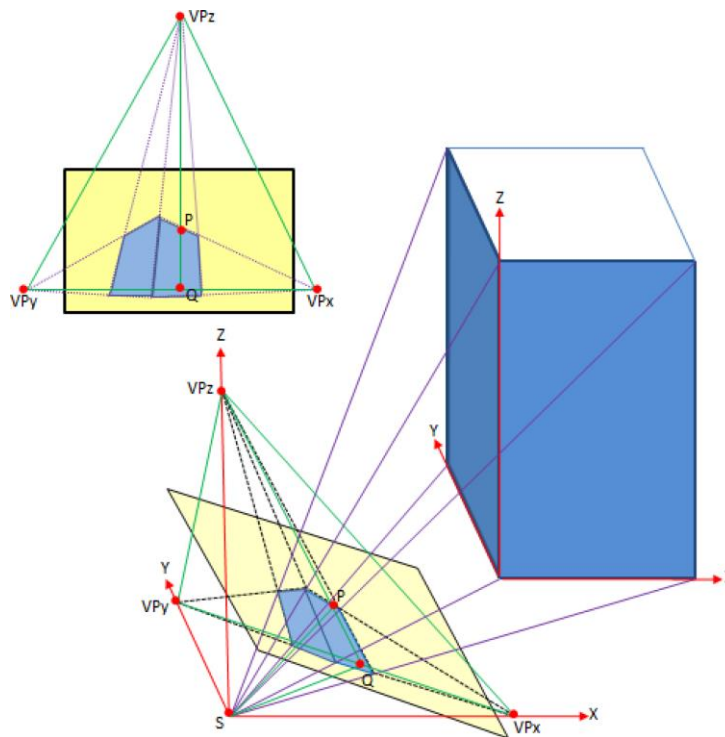


Vlevo: kvalitní perspektivní situace, úběžníky leží blízko snímku. Vpravo: problematictější situace, úběžník vertikálních linií U_k (směr osy Z) leží vysoko nad snímek. V případě historických modelací z archivních podkladů není samozřejmě v naprosté většině případů možné ovlivnit kvalitu vstupních dat.

Zdroj: upraveno dle Frühbauera (2017) (vlevo)/Garcia-Gago et al. (2014) (vpravo)

V případě, že je na snímku možno určit pouze jeden úběžník, fSpy potřebuje informaci o konstantě kamery a alespoň určení směru, který svírají vzájemně 2 úběžníky v obraze, Photomodeler v takovém případě snímek nezpracuje. V případě dvou dostupných úběžníků fSpy ztotožní H se středem snímku M a bude normálně pracovat. Situaci zvládne také Photomodeler. V případě třech dostupných úběžníků získaných z rovnoběžek vzájemně kolmých směrů budou vypočteny všechny prvky vnitřní i vnější orientace (Gantelius 2020; Photomodeler 2020; Photomodeler 2019). Metodu není možné použít na snímky pořízené rybími oky, snímky s vyretušovaným perspektivním zkreslením (zvládá např. Photoshop), vyrenderované obrázky pořízené ortografickou kamerou a panoramatické snímky (Gantelius 2020). Samotnou rekonstrukci popisuje Garcia-Gago et al. (2014). Nejprve je nutno získat úběžníky (Obrázek 18 – VPx, VPy, VPz). To je možné prostým protažením sbíhavých rovnoběžek, při počítačové algoritmizaci se využívá tzv. Houghova transformace (Garcia-Gago et al. 2014; González-Aguilera, Gomez-Lahoz, Finat-Codes 2005).

Obrázek 18: promítnutí 3D geometrie tělesa do průmětny (na snímek)

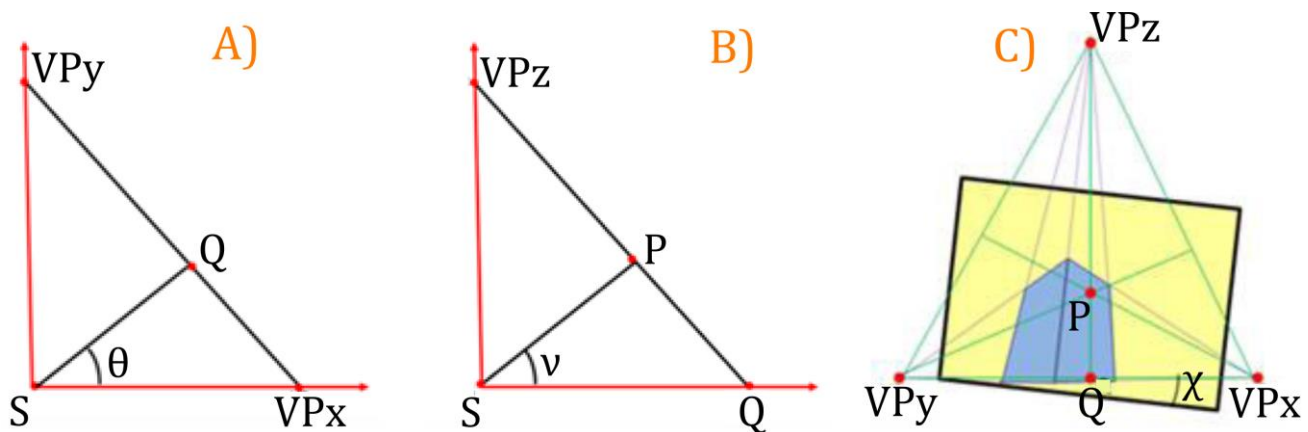


V případě průmětny (žlutá plocha) se oproti fotogrammetrickým zvyklostem opět jedná o pozitivní snímek, viz Obrázek 8. VP_xVP_y je horizont, VP_zP linie maximálního sklonu (resp. hlavní vertikála), v případě Q se jedná o průsečík této linie s horizontem.

Zdroj: Garcia-Gago et al. (2014)

Úběžníky (vanishing points) jsou vrcholy tzv. perspektivní pyramidy (trojúhelníku), jejími stranami jsou potom úběžnice. Hlavní bod P (principal point) je ortocentrum (průsečík výšek) zmíněného trojúhelníku. Výpočet některých prvků vnitřní a vnější orientace vychází z elementárních vztahů, které platí v trojúhelnících (eukleidova věta, goniometrie...) (Garcia-Gago et al. 2014).

Obrázek 19: prvky vnitřní a vnější orientace



A): pohled zvrchu, B): pohled ze strany, C) čelní pohled

Zdroj: Garcia-Gago et al. (2014)

Konstantu kamery (focal length) a úhly stočení získáme s pomocí následujících vzorců (Garcia-Gago et al. 2014):

$$f^2 = PQ \times PVP_z$$

$$SQ^2 = QVP_x \times QVP_y$$

$$\tan \theta = \frac{QVP_x}{SQ} = \frac{SQ}{QVP_y} = \sqrt{\frac{QVP_x}{QVP_y}}$$

$$\tan \nu = \frac{PQ}{SP}$$

$$\tan \chi = \frac{Y_{VP_x} - Y_{VP_y}}{X_{VP_x} - X_{VP_y}}$$

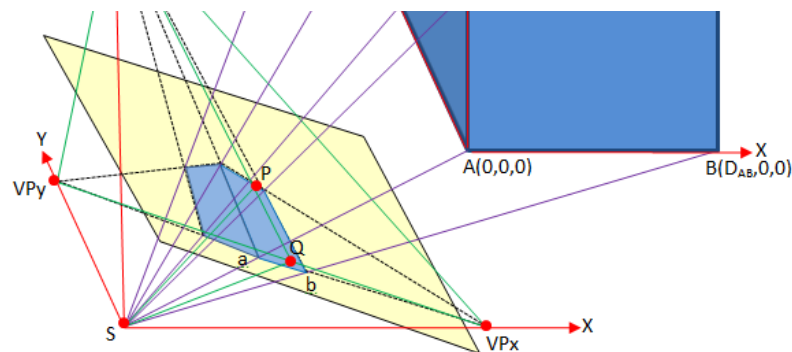
V případě f se jedná o konstantu kamery, PQ, PVPz, SQ, QVPx, QVPy, SP, jsou délky příslušných úseček a Y_{VPx} , Y_{VPy} , X_{VPx} , X_{VPy} jsou souřadnice daných úběžníků. Úhly stočení kolem jednotlivých os (prvky EO) jsou označeny jako θ , ν a χ . „Po získání uvedených parametrů můžeme vypočítat souřadnice středu promítání (S) pomocí aplikace jistých omezení na objekt a vyřešení tzv. kolineárních rovnic (viz níže). Například je možné definovat horizontální rozměr na objektu a umístit počátek souřadnic do jednoho z bodů daného rozměru“ (Obrázek 20) (Garcia-Gago et al. 2014, s. 1093).

$$\begin{bmatrix} x_a - x_p \\ y_a - y_p \\ -f \end{bmatrix} = \lambda_{aA} \times R \times \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} = -\lambda_{aA} \times R \times \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_b - x_p \\ y_b - y_p \\ -f \end{bmatrix} = \lambda_{bB} \times R \times \begin{bmatrix} X_B - X_S \\ Y_B - Y_S \\ Z_B - Z_S \end{bmatrix} = -\lambda_{bB} \times R \times \begin{bmatrix} X_S - D_{AB} \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}$$

Kde x_a , y_a , x_b , y_b jsou snímkové souřadnice bodů A a B (které zároveň definují počátek souř. systému a zmíněný rozměr D_{AB} – Obrázek 20), x_p , y_p jsou souřadnice P, R matice rotace a nakonec X_s , Y_s , Z_s , λ_{aA} , λ_{bB} jsou neznámé – souřadnice středu promítání S a dvě měřítková čísla. Celkem tedy šest rovnic pro pět neznámých. Vzdálenost D_{AB} je X souřadnicí bodu B (Garcia-Gago et al. 2014).

Obrázek 20: horizontální vzdálenost mezi A a B, distance D_{AB}



Na obrázku je opět pozitiv snímku.

Zdroj: Garcia-Gago et al. (2014)

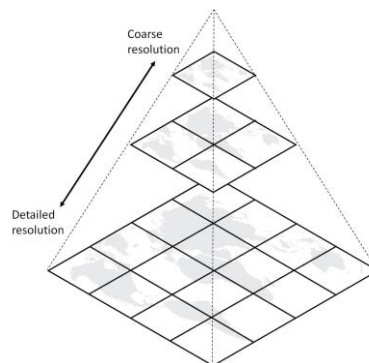
Následně můžeme zjistit souřadnice jakéhokoliv bodu T ($s Y = 0$) na objektu (Obrázek 21). Pracujeme tak se stranou XZ kvádrů, následně se můžeme přesunout třeba na stranu YZ ($X = 0$). Garcia-Gago et al. (2014) označuje postup za pseudo-3D modelaci, jelikož jednotlivé strany objektu lze takto rektifikovat (pro odstranění perspektivního zkreslení), a tak postupně vymodelovat celý objekt. Stále musí být dodržena podmínka třech vzájemně kolmých směrů (stran). Pokud je k dispozici více snímků, můžeme samozřejmě vymodelovat objekt ze všech stran.

3.4.2 Dlaždicování (tiling): základní vlastnost online map

Za účelem rychlého načítání mapových podkladů se užívá tzv. dlaždicování rastrových (dnes už i vektorových) dat. Metoda se začala používat s nástupem Google Maps v roce 2005 a dnes ji využívají v podstatě všechny přední mapové servery. Princip dlaždicování je dobře vidět na rozdílu mezi webovými službami WMS a WMTS. Webové mapové služby se obecně využívají ke sdílení geodat na internetu. V případě WMS se externímu serveru pošle požadavek na geodata obsahující rozsah daného území (rozsah mapového okna) a server uživateli odešle georeferencovaný obrázek v rozsahu tohoto území (mapového okna). WMTS je novější standard, přímo na serveru jsou připravená data ve formě mapových dlaždic (čtverců) v několika úrovních přiblížení (zoomu). Server poskytne uživateli dlaždice podle rozsahu mapového okna. Při změně rozsahu daného území (posunutí mapy) server odešle již pouze chybějící dlaždice, které nebyly v předchozím výřezu. Neposílá se tak kompletně celý rozsah vrstvy (mapového okna). Díky tomu je WMTS méně náročné na přenos dat, výkon a ve výsledku jeho princip šetří uživateli čas (Pavlíček 2019).

Při nulovém přiblížení je možno svět reprezentovat pouze jedinou dlaždicí, při zvětšení měřítka je vždy dlaždice rozdělena na 4 menší (avšak s větší podrobností), na 3. úrovni je tedy svět pokryt již 16 dlaždicemi (Obrázek 22). Úroveň může být podstatně více, třeba i přes 20, s každou další úrovní přiblížení svět pokrývá čtyřikrát větší množství dlaždic. S dlaždicováním též úzce souvisí volba souřadnicového systému, viz níže. Vhodné je též zmínit existenci TMS služby. Nejdůležitějším rozdílem oproti WMTS je umístění počátku souřadnic dlaždice. U WMTS je v levém horním rohu území, u TMS v levém dolním rohu. Dlaždicování rastrových i vektorových dat se ve své diplomové práci věnoval Pavlíček (2019).

Obrázek 22: Princip dlaždicování



Zdroj: Monitoring of ArcGIS WMTS services (Savolainen 2015)

3.4.3 Svět online kartografie: Zde vládne Web Mercator (EPSG 3857)

Web Mercator nebo také Pseudo Mercator, je souřadnicový systém, který se stal standardem pro online mapy na webu. Má mnoho společného s „tradičním“ mercatorovým zobrazením, které představil Gerhard Mercator v roce 1569. První použití Web Mercatora je spojováno se společností Google a jejich Google Maps, v současnosti ho používají všichni ostatní významní poskytovatelé webových map jako jsou Bing Maps, Mapy.cz, většina renderů OpenStreetMap, dokonce i ČUZK poskytuje svoje ortofoto a Základní mapu (kromě jiných souřadnicových systémů) i ve Web Mercatorovi.

Z technického hlediska zobrazení není konformní, nicméně distorze úhlů je velice malá (Battersby et al. 2014). Při výpočtu souřadnic „se souřadnice z WGS84 považují za souřadnice měřené na referenční kouli se stejným poloměrem jako hlavní poloosa elipsoidu WGS84 (tento krok způsobuje chybu až 21 km v okolí pólů) a následně se aplikuje Mercatorovo zobrazení v normální poloze“ (Šimbera 2018, s. 5). Souřadnicový systém je dále typický velkým zkreslením ploch ve vyšších zeměpisných šířkách (Obrázek 23) a zobrazením pólů do nekonečna (nejdou zakreslit), proto se zobrazení omezuje na cca 85° zeměpisné šířky. Nicméně popsaný systém má své výhody v pravouhlé síti poledníků a rovnoběžek. Cílem též je, aby mapa světa byla čtverec (proto jsou také odříznuty póly na cca 85°), což následně umožňuje snazší adresování čtverců (dlaždic) podle zeměpisné výšky a šířky. Zkreslení se do jisté míry vyrovnává proměnlivým měřítkem (Šimbera 2018). Síla Web Mercatora tkví právě v dlaždicování, které je díky němu snadné, což přispívá k lepšímu uživatelskému zážitku (Battersby et al. 2014).

Z výše uvedeného lze usoudit, že Web Mercator byl přímo navržen pro online mapové aplikace s důrazem na interaktivitu a plynulejší chod, tyto přednosti jsou vykoupeny větším zkreslením a nižší přesností. Nepoužití Web Mercatora v online aplikaci by značně ztížilo web mapping, konkrétně například možnost načítat basemaps (podkladových map) od různých poskytovatelů nebo dokonce i použití samotné knihovny Leaflet. Ta umí pracovat

pouze ve třech souřadnicových systémech, Web Mercator je nastaven jako nativní (Leaflet 2019a). Ve web mappingu téměř neexistuje jiná možnost než použít Web Mercatora (Battersby et al. 2014).

Obrázek 23: Mapa světa v Mercatorově zobrazení



Dobře je vidět velké zkreslení ve vysokých zeměpisných šířkách, průběh zkreslení je ilustrován s pomocí Tissoťovy indikatrix.

Zdroj: Maps on the Web (ThatsMaths 2015)

Zobrazovací rovnice jsou následující (NGA 2014):

$$x = a \times \lambda$$

$$y = a \times \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \right]$$

kde:

$$\lambda = \text{zeměpisná délka (v radiánech)}$$

$$\phi = \text{zeměpisná šířka (v radiánech)}$$

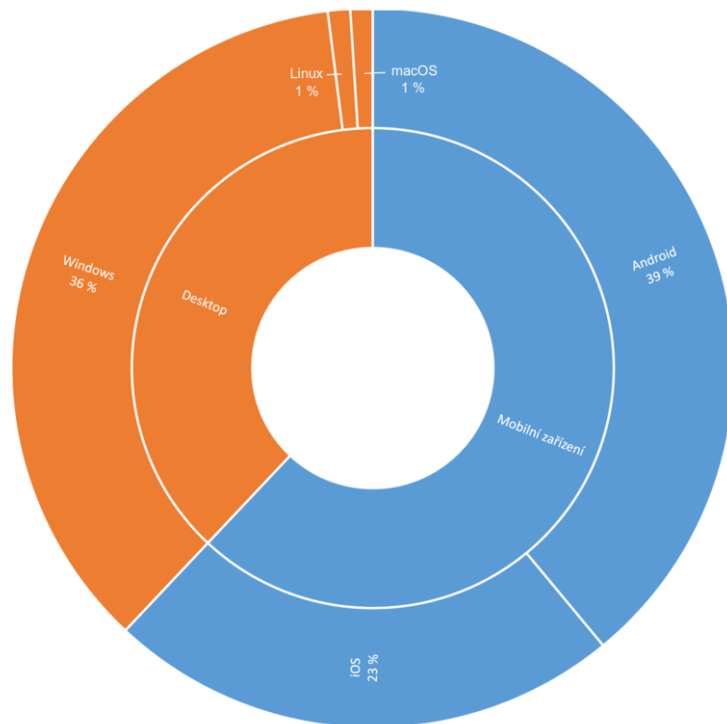
$$a = \text{hlavní poloosa elipsoidu WGS84 (6378,137 km)}$$

3.4.4 Responzivní design

Jelikož uživatelé hlavně v posledních letech neprohlíží obsah webu pouze na desktopových počítačích nebo notebookech, ale i na mobilních zařízeních, je třeba tomuto trendu přizpůsobovat i webové stránky. Design webu je responzivní, pokud je web flexibilní a dokáže se přizpůsobit obrazovce (např. co se rozlišení týče) jakéhokoliv zařízení pro co nejlepší uživatelský zážitek (Mohorovičič 2013). V praxi webové stránky s responzivním designem na mobilních zařízeních přeskládají svůj obsah tak, aby uživatel nemusel stránku přibližovat a vše bylo přehledně zobrazeno. Stránka vyplňuje obrazovku mobilního zařízení, uživatel stránku neposouvá do stran, ale jen ve vertikálním směru. Díky tomu je vše uspořádanější a uživatelsky přívětivější.

Mít responzivní web je v současnosti téměř již nutnost. Například začátkem roku 2020 používá 79 % uživatelů Facebook v podstatě již jen na telefonu (Statista 2020), 70 % provozu na YouTube a 86 % vyhledávacích dotazů přes Google se odehrává přes mobilní zařízení (Abhishek 2020). Web Spolku Přátel Zahrádky taktéž následuje tento trend, jelikož dle dat získaných pomocí Google Analytics přes 60 % uživatelů přistupuje na stránky z mobilního telefonu nebo tabletu (Graf 1).

Graf 1: Podíl uživatelů prohlížejících web Spolku Přátelé Zahrádky z mobilních zařízení a desktopu



Údaje se vztahují k období 18. 4. 2020 – 24. 4. 2020. Patrné je též rozdělení na jednotlivé platformy, Android mírně dominuje nad Windows, Linux a Macintosh mají marginální zastoupení.

Zdroj: vlastní zpracování

4 Metodická část

4.1 Charakteristika zájmového území

Malé městečko Zahrádka leželo ve zvlněné krajině Českomoravské vrchoviny (Kraj Vysočina, okres Havlíčkův Brod) poblíž Ledče nad Sázavou. V období 2. světové války v obci žilo necelých 1 000 obyvatel. Nechyběla zde žádná ze základních služeb. Zahrádka byla střediskovou obcí, kam lidé z okolí dojížděli za těmito službami. Část obyvatel byla zaměstnána v podniku Kovofiniš, kde se vyráběly stříkací pistole pro nanášení barev. Zajištěno bylo také přímé autobusové spojení do Prahy. V okolí bylo množství táborů, a i přímo v Zahrádce se nacházelo nemálo chat, obec s okolím byla oblíbenou rekreační lokalitou. Obcí protékala řeka Želivka s velmi čistou vodou, která se stala obci osudnou (Čihák 2015, Kronika obce Zahrádka 1977). Podoba městysu v 20. letech 20. stol. je zachycena níže (Obrázek 25) – jedná se o ručně kreslený náčrt.

V roce 1969 tehdejší československá vláda definitivně rozhodla o výstavbě vodního díla Švihov. Všechny obce v zátopové oblasti byly srovnány se zemí. Zahrádka společně ještě s Dolními Královicemi byla největší z nich. Ačkoliv přímo v zátopové oblasti ležela pouze menší část obce, za účelem zachování jakosti vody byla Zahrádka zbořena téměř celá. Domky byly vykoupeny, zbořeny až do základů a většina obyvatel se odstěhovala do náhradní výstavby především v Ledči nad Sázavou, Světlé nad Sázavou a v Humpolci. V těchto městech vznikly celé nové ulice pro zahrádecké obyvatele. V Ledči i Světlé tak existuje ulice „Zahrádecká.“ Poslední občané se odstěhovali ze Zahrádky v roce 1977 (Čihák 2015, Kronika obce Zahrádka 1977). V současnosti je z původní zahrádecké zástavby trvale obydlen pouze dům čp. 190 (dnes čp. 39), který se nachází u dnešní hlavní silnice. Na bývalém náměstí dodnes stojí kostel sv. Víta, kašna, socha Panny Marie Bolestné a nedaleko odsud ještě hřbitov. Na místě lze stále najít spoustu nejrůznějších „artefaktů“, jako jsou obrubníky na bývalém náměstí, asfaltové silnice vedoucí přímo pod hladinu přehrady, torza laviček nebo mohutné staré stromy, které bývaly veřejnou zelení.

Místo je možné navštívit. Kostel bývá uzamčen, avšak v průběhu roku zde Spolek Přátelé Zahrádky a Národní památkový ústav pořádá nejrůznější akce (pouť, adventní koncert aj.), při kterých si lze prohlédnout i interiér. Vzlínající vlhkost se bohužel podepsala na vnitřních omítkách, které jsou ve špatném stavu. V posledních letech však proběhly různé rekonstrukční práce. Místo se nachází necelých 6 kilometrů od sjezdu z dálnice D1 (exit 81 – Koberovice) (Obrázek 24). Ačkoliv se místo nachází v těsné blízkosti významného vodního zdroje (Obrázek 25), náměstí s kostelem má udělenou výjimku a je k němu povolen vstup, nikoliv však vjezd (automobil je nutno parkovat u hlavní silnice na parkovišti).

Obrázek 24: Poloha Zahrádky v rámci Česka



Zdroj: vlastní tvorba/podkladová data ArcČR500 (Arcdata Praha 2016), Data200 (ČUZK 2020a)

Část jednoho z posledních zápisů v obecní kronice (Kronika obce Zahrádka 1977, s. 240) – rok 1975:

„Zahrádka se vylidňuje, občané opouštějí své milé městečko, domky se bourají, silnice k mostu přes Želivku je přerušena hlubokým příkopem, voda v Želivce stoupá, Zahrádka umírá. Nyní zahrádeckí rodáci pociťují, co ztrácejí. Ale nejen rodáci jako je i pisatel těchto smutných řádků, vzdychají a smutní i lidé, kteří se k nám přistěhovali a s námi se sžili. Jeden celkem mladý občan rozvádí řeč takto: Zahrádka byla něco zvláštního, ani ves ani město, ale ani město, ani ves.

Pro kulturní vyžití jsme tu měli vše, občas divadlo, stále kino, jeden lepší a jeden horší hostinec, fotbal, hokej, tělovýchovu, lékaře, zubaře, základní devítiletou školu, mateřskou školu, poštu, telefon, obchody, textil, obuv, chemodrogu, obnovu, rybáře, myslivce, dobré zaměstnání v Kovofiniši, autobusové spojení na všechny strany a přímé do Prahy, ale co hlavního individuální svobodu. Když jsem se oblékl do „starých hadrů“ a šel třeba do lesa nebo někomu pomoci s prací, potkával a zdravil jsem se srdečně s lidmi stejně, jako když jsem se nastrojil do „gala“ a vedl jsem děti na školní oslavu nebo manželku k zábavě ...“

Obrázek 25: Zahrádka v roce 1928 vs Zahrádka v současnosti



Zdroj: Kronika obce Zahrádka (1977)/Základní mapa ČR 1:10 000 (ČUZK 2020c)

Spolek Přátelé Zahrádky je neziskovým sdružením občanů, kteří usilují o zachování kulturně historických památek dochovaných do dnešních dob po zániku obce (Spolek Přátelé Zahrádky 2020a). Jedná se zejména o kostel sv. Víta s cennými středověkými malbami. Spolek zároveň pořádá veřejnou sbírku, z jejíhož výtěžku jsou financovány opravy kostela. Podařilo se například vyčistit nástěnné malby, zrestaurovat vitrážová okna nebo do kostela pořídit nový zvon (Spolek Přátelé Zahrádky 2020b). Spolek poskytl především vstupní data a mnoho užitečných informací o Zahrádce. Nově vytvořený digitální model může v budoucnu posloužit k propagaci činnosti Spolku, k zvýšení povědomí a zájmu o dané území, k iniciování dalších dobročinných sbírek sloužících k rekonstrukci historických památek a zejména k uchování a dokumentaci podoby obce Zahrádka v dobách jejího rozkvětu.

Uvnitř svatostánku je také umístěna od roku 2017 plastika „Socha pro Josefa Toufara,“ který zde několik let působil. Vytvořil ji známý sochař Olbram Zoubek jako svou poslední sochu, nedlouho poté zemřel. Páter Toufar zde působil ve 40. letech. V roce 1948 byl místním komunistům nepohodlný a královéhradecké biskupství bylo požádáno o jeho přeložení jinam. Kněz byl však velmi oblíben a místními lidmi byly organizovány petice proti jeho přeložení. Biskupská konzistoř se však podvolila nátlaku a doporučila Toufarovi rezignaci. O několik dní později farář rezignoval a byl jmenován administrátorem v obci Číhošť. S touto obcí je díky tzv. Číhošťskému zázraku jeho jméno spjato, ačkoliv v Zahrádce prožil většinu svého kněžského života. (Doležal 2012).

Významnými zdroji informací o Zahrádce je kniha Zahrádka na pohlednicích (Čihák 2015), dále literární dílo spisovatele Miloše Doležala, jenž se věnuje ve svých knihách osudu pátera Josefa Toufara např. (Doležal 2012) nebo (Doležal 2015). Vhodné je též zmínit knihu Želivka naše řeka (Pleva 2003), webové stránky Spolku (Spolek Přátelé Zahrádky 2020b), závěrečnou práci o historii obce (Mendlová 2013) či o nástěnných malbách v kostele (Renzová 2018). V neposlední řadě existuje též kronika obce (Kronika obce Zahrádka 1977), která je dostupná mimo jiné na webu Spolku a autorská historická mapa, která je v digitální podobě součástí výsledků této práce. Obec je zachycena na obrázku dále (Obrázek 26).

Obrázek 26: Zahrádka v 70. letech 20. stol. vs Zahrádka po roce 2000



Zdroj: Archiv Spolku (Spolek Přátelé Zahrádky 2019)/Národní Památkový Ústav (NPU 2020)

Zájmovou oblastí je náměstí obce. Podrobná modelace zahrnuje celkem 6 objektů – kostel sv. Víta, sochu Panny Marie Bolestné, kašnu, pomník padlým v 1. sv. válce, budovu fary a obchodu se smíšeným zbožím. Objekty jsou vyznačeny na mapě níže (Obrázek 27). Ostatní zástavba je znázorněna pouze pomocí půdorysů, které byly vytaženy do výšky 3,5 m.

Obrázek 27: Zájmová oblast s podrobně vymodelovanými objekty



Legenda k historické mapě: Obrázek 43

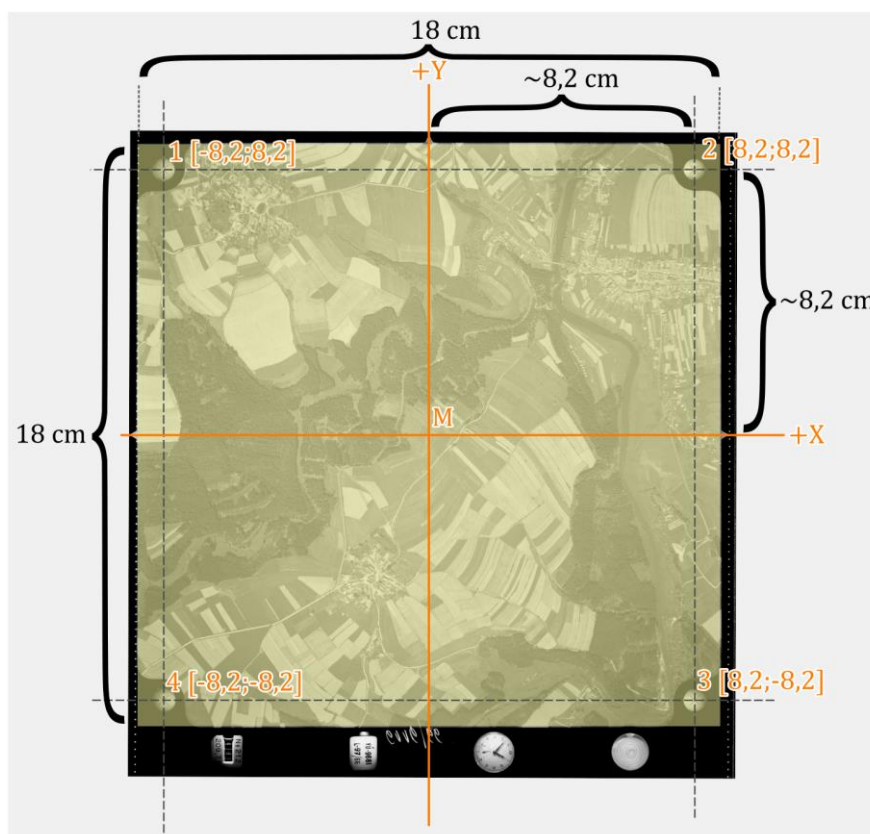
Zdroj: vlastní tvorba

4.2 Použitá data

V první řadě byly pro tvorbu DMT využity archivní mapové podklady, konkrétně mapové listy SMO-5 se sítí S-52 v rámu, mapa evidence nemovitostí 1 : 2 880 a vojenské topografické mapy v systému S-52. První dva ze zmíněných zdrojů zachycují podrobně zástavbu ve velkém měřítku. Vojenské topografické mapy v systému S-52 pak obsahují podrobný výškopis (základní interval vrstevnic 2,5 m), čehož bylo využito pro tvorbu historického DMT v zatopeném území. V druhé řadě byly využity i současné podklady, konkrétně data leteckého laserového skenování terénu DMR 5G, která by měla dosahovat chyby ve výšce 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m ve vegetaci pokrytém terénu (ČUZK 2020c).

Mimo data pro tvorbu DMT byla užita i další data pro komplexní tvorbu digitálního modelu území včetně jednotlivých budov. K tomu byly k dispozici LMS z roku 1966 a 1971. Zmíněné LMS jednak zachycují obec těsně před zbořením (na rozdíl od použitých mapových podkladů), dále je z nich patrné například rozmístění veřejné zeleně na náměstí, tvary střech a také zachycují objekty, které ani nemohou být v mapě evidence nemovitostí, jelikož nebyly pravděpodobně zkolaudovány. Problém se stavbami bez stavebního povolení je popsán v obecní kronice v souvislosti s výkupem nemovitostí před plánovanou demolicí (rok 1971): „S oceněním jednotlivých domků jsou různé dohady, protože řada občanů prováděla renovaci a různé úpravy bez řádného stavebního povolení. Bez řádného stavebního povolení nelze uznat renovaci pro výkup a řádné oceněné nemovitosti. Aby nebyli občané při oceňování domků poškozeni, vydává MNV hromadné stavební povolení, které stavební úpravy potvrzuje“ (Kronika obce Zahrádka 1977, s. 227). Snímky byly vybrány a fyzické kopie snímků změřeny (pouze pro informativní účely) při osobní návštěvě ve VGHMÚř Dobruška (Obrázek 28).

Obrázek 28: Letecký měřický snímek z roku 1966



Snímek byl standardních rozměrů 18 × 18 cm, rozměry se vztahují k samotné ploše snímku zvýrazněné na obrázku žlutým filtrem. Veškeré rozměry či souřadnice jsou uvedeny v centimetrech.

Zdroj: vlastní zpracování/podkladová data Archiv leteckých měřických snímků (VGHMÚř Dobruška 2019)

Předposledním zdrojem dat byly snímky zbořených objektů, které poskytl Spolek Přátel Zahrádky (2019). Snímky tvořily několik ucelených sad, přičemž snímky z dané konkrétní sady byly pořízeny s největší pravděpodobností stejnou neznámou neměřickou kamerou. Pouze menší část snímků byla barevná. Jednalo se řádově o desítky až stovky snímků. Takovéto množství obrazového materiálu bylo dostupné díky činnosti Spolku Přátel Zahrádky.

Posledním zdrojem dat byly vlastní snímky dochovaných objektů, jež byly pořízeny digitálním fotoaparátem (neměřickou kamerou) Nikon Coolpix P90 (Tabulka 2).

Tabulka 2: Parametry digitální kamery Nikon Coolpix P90

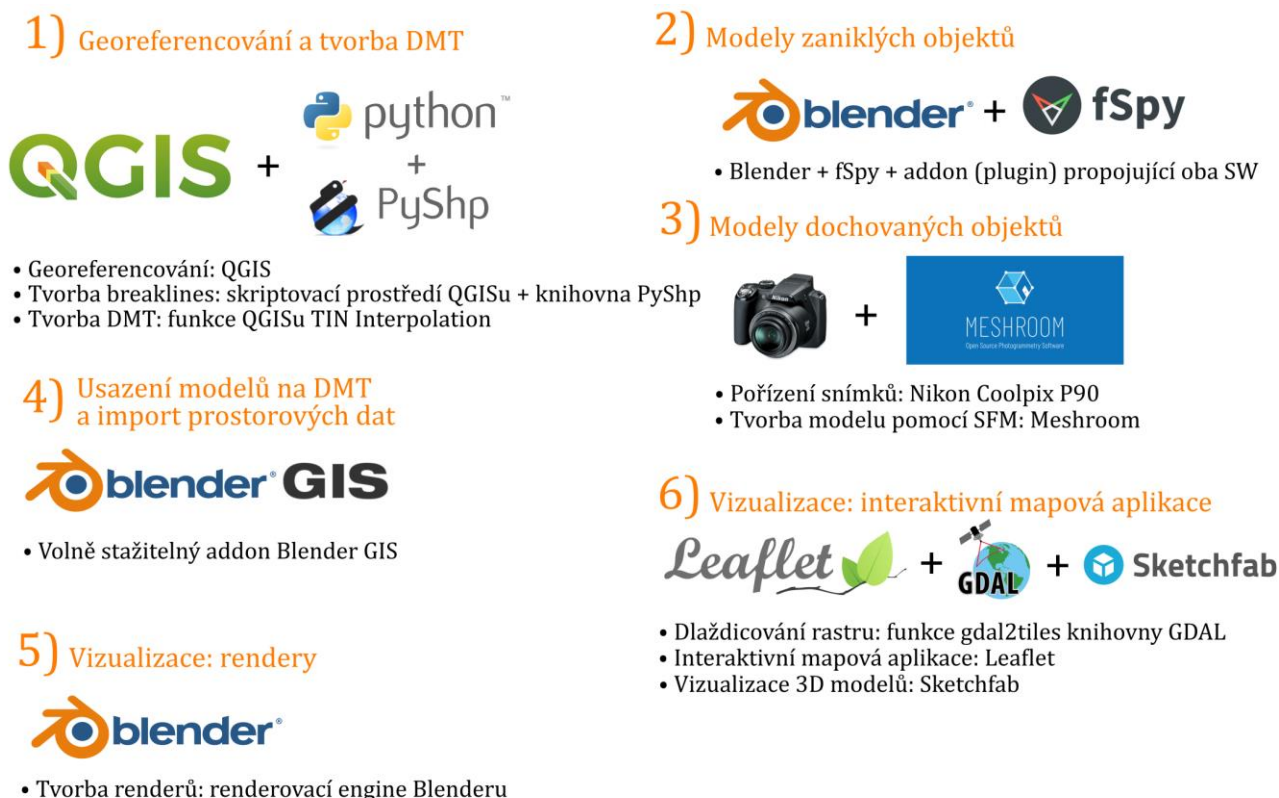
Rozlišení	12,1 megapixelů
Maximální zoom	24x optický a 4x digitální
Světelnost objektivu	f/2,8-5
Zaostření	Min. 1 cm od objektu
Maximální ISO	6400
Paměť	47 MB interní + pam. karta SDHC

Zdroj: Nikon (2011)

4.3 Zpracování digitálního modelu území

Níže (Obrázek 29) je vyobrazen použitý pracovní postup při tvorbě modelu.

Obrázek 29: Schématický pracovní postup (workflow)



Zdroj: vlastní tvorba

4.3.1 Georeferencování a tvorba DMT

Podkladové mapy byly zgeoreferencovány (Obrázek 30) v prostředí QGIS 3.12 (funkce Raster → Georeferencer) s pomocí průsečíků kilometrové sítě S-JTSK (vyznačeny drobnými křížky), které všechny použité podklady obsahují, navzdory faktu, že vojenské topografické mapy S-52 a mapy evidence nemovitostí jsou v jiných souřadnicových systémech. Do topografických map S-52 je třeba kilometrovou síť nejprve zakreslit pomocí značek v rámu. Tento postup zajistí dostatek vlčovacích bodů rozložených rovnoměrně po celé ploše mapového listu (Obrázek 30). U naprosté většiny listů se podařilo dosáhnout RMSE menší než 1 pixel, u menší části pak menší než 2 pixely. Použita byla polynomická transformace 3. řádu, která vykazovala nejmenší RMSE chybu. Po zgeoreferencování byly listy transformovány (Raster → Projections → Warp) do WGS84 UTM zone 33N (EPSG 32633).

Obrázek 30: SMO-5 s vřícovacími body v systému S-JTSK



Zdroj: vlastní tvorba/podkladová data ČUZK (2020c)

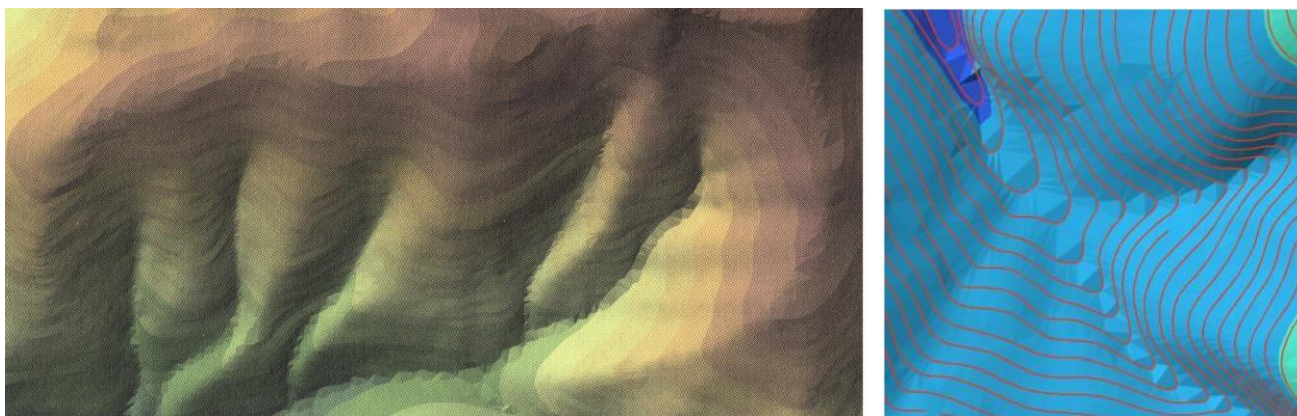
Letecké měřické snímky byly zgeoreferencovány nereziduální transformací spline. Pro snímek z roku 1966 bylo použito 136 vřícovacích bodů, pro snímek z roku 1971 152 vřícovacích bodů. Při takovém množství bodů se zdálo být transformace velmi přesná, ačkoliv neproběhla ortorektifikace. Snímky byly georeferencovány s pomocí současného ortofota, případně s pomocí archivních mapových podkladů v případě míst, kde proběhly významné změny v krajině.

Následně proběhla vektorizace výškopisných dat pro zatopenou část území – vrstevnice a výškové body (z vojenské mapy S-52), přehrada Švihov (ze současného ortofota) a řeka Želivka (z LMS). Přehradě byla dána nadmořská výška 376,8 m n. m., což byla o něco málo nižší hodnota, než je maximální hladina zásobního prostoru 377 m n. m. (Povodí Vltavy 2020). Díky existenci dvou jezů v zájmovém území byla řeka Želivka rozdělena na tři samostatná jezera s konstantní nadmořskou výškou. Spád řeky tak byl zanedbán, což se zdá být přípustné vzhledem k malé rozloze modelového území, které zabíralo jen necelé 4 km². Jednotlivým úsekům toku byla přidělena nadmořská výška vždy z jediné vrstevnice, která křižovala daný úsek.

Digitální model terénu byl vytvořen interpolací pomocí TIN, který je vhodný pro malá území s členitějším reliéfem s vysokými nároky na přesnost (Křížek, Uxa, Mida 2016). Jedná se o spojitou síť trojúhelníků, přičemž jejich vrcholy mají danou nadmořskou výšku. Vzniká tzv. triangulací (nejčastěji Delaunayho triangulace). Bylo žádoucí, aby triangulace produkovala co nejvíce rovnostranné trojúhelníky (Pacina, Brejcha 2014), jelikož výsledný TIN pak lépe vystihuje terénní tvary. Opsaná kružnice libovolného trojúhelníku neobsahuje žádný jiný bod (Pacina, Brejcha 2014).

Jedním z problémů TINu mohou být trojúhelníky vytvořené ze tří bodů o stejné nadmořské výšce. K tomuto dochází hlavně v okolí vrcholů, hřbetnic a údolnic (typicky údolí vodních toků). Projevem je stupňovitý či schodovitý reliéf (Obrázek 31) (Pacina, Brejcha 2014; Křížek, Uxa, Mida 2016). Průběh triangulace je možno ovlivnit přidáním tzv. lomových (povinných) hran (breaklines). S jejich pomocí bylo možné vymodelovat nejrůznější terénní stupně a hrany, případně jiné diskontinuity v terénu (např. říční údolí). Přidáním breaklines byly odstraněny nežádoucí stupně v DMT, toto řešení zmiňuje např. Pacina, Brejcha (2014).

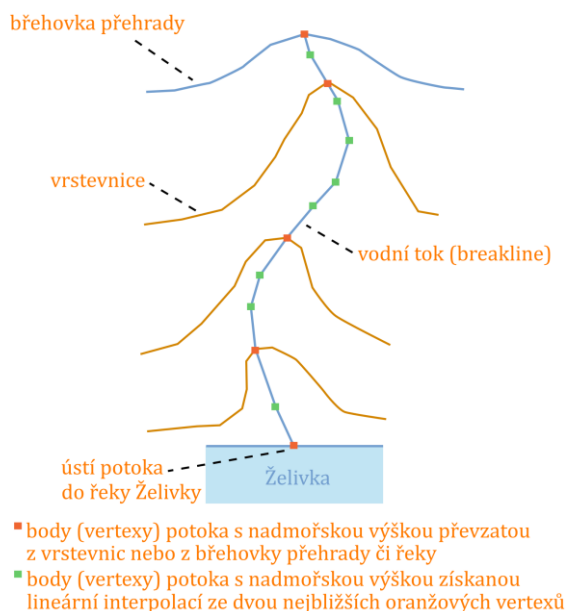
Obrázek 31: Nepřirozené terénní stupně v říčním údolí



Zdroj: Křížek, Uxa, Mida (2016)/Pacina, Brejcha (2014)

Pro řešení zmíněného problému byla vytvořena právě terénní kostra – údolnice. Ve skriptovacím prostředí QGISu a s pomocí knihovny PyShp (nutno doinstalovat tuto Python knihovnu) byl napsán skript `stream_tool.py` v programovacím jazyce Python 3 (příloha 1). Vstupem byla liniová vrstva drobných vodních toků a data výškopisného charakteru (vrstevnice, břehovka Švihova a Želivky). Skript vezme vrstvu vodních toků a v místech, kde se toky křížují s liniovým výškopisem, na tocích vytvoří nový vertex, jemuž je přiřazena nadmořská výška (Z souřadnice) právě z dané křížující vrstevnice (resp. břehovky). Ostatní Z souřadnice vertexů na vodních tocích byly lineárně dointerpolovány z nejbližších vertexů s již přiřazenou nadmořskou výškou z vrstevnic (břehovky). Postup je ilustrován níže (Obrázek 32). Takto byla vytvořena 3D liniová vrstva vodních toků, která je využitelná v TIN interpolaci jakožto breakline pro modelaci kvalitní údolnice. Pro samotnou interpolaci byla v QGIS použita funkce TIN Interpolation. Různé další terénní útvary byly namodelovány s pomocí breaklines. Jednalo se například o terénní stupně, násep mostu, plochy hřišť, břehovku Švihova a řeky Želivky či ostrov na zmíněném vodním toku. Na nezatopenou část území byla použita data DMR 5G, která vyžadovala korekce v místech, kde dnes prochází hlavní silnice. Bylo tak třeba odfiltrovat z dat násypy a zářezy vzniklé v terénu při výstavbě zmíněné komunikace.

Obrázek 32: Tvorba údolnice (breakline) potoka pomocí lineární interpolace

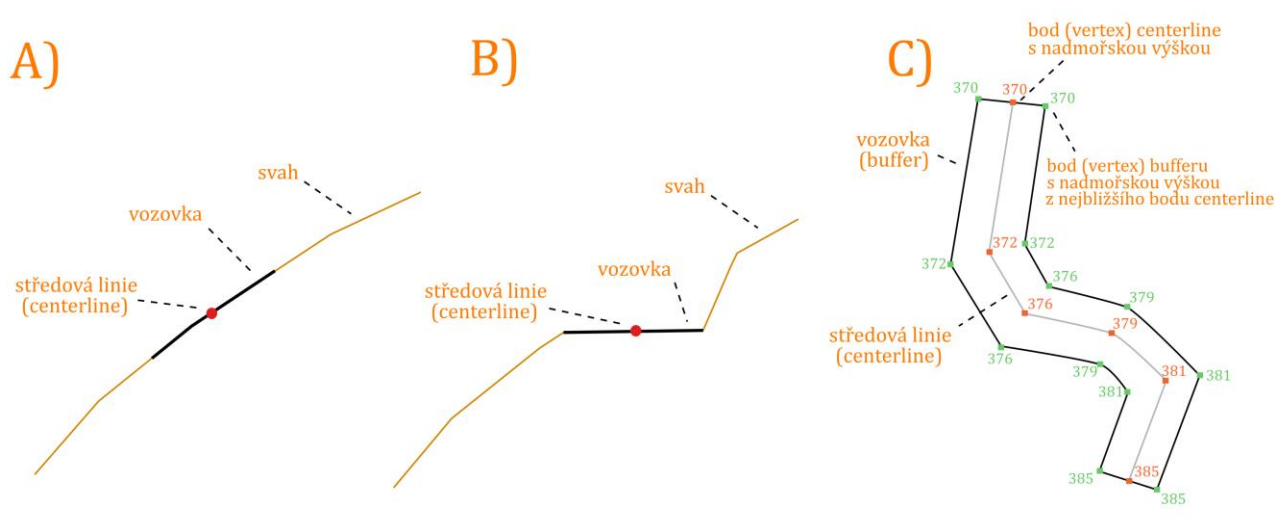


Zdroj: vlastní tvorba

Nejprve byl vytvořen provizorní DMT s využitím dat a breaklines uvedenými výše. Následně bylo třeba namodelovat silniční tělesa tak, aby se silnice přirozeně zařezávaly do terénu (obzvláště na svazích) a vozovka nebyla nepřirozeně skloněna. Z dostupných mapových podkladů byly zvektorizovány silnice reprezentované středovou linií (centerline), zároveň byla do atributu zapsána šířka příslušné komunikace (jiná pro zpevněné a nezpevněné komunikace). Následně byla na takto vytvořenou centerline aplikována funkce QGISu Drape, která přiřadí vertexům vektorové vrstvy Z souřadnici ze vstupního rastru (v našem případě provizorní DMT). Tím byla vytvořena 3D linie (centerline). Poté byl v Pythonu 3 vytvořen skript `3Dbuffer_road_tool.py` (příloha 2), který s využitím skriptovacího

prostředí QGISu a knihovny PyShp vytvoří kolem vstupní centerline 3D buffer. Šířka 3D bufferu odpovídá šířce komunikace uvedené v jejím atributu. 3D bufferem je míněn polygon, jehož vertexy mají přiřazenou Z souřadnici (nadmořskou výšku) z nejbližšího vertexu vstupní centerline. Takto byly vytvořeny breaklines alias silnice s neskloněnou vozovkou. 3D bufferem byla ještě odmazána vstupní výškopisná data – vrstevnice a DMR 5G. Modelace silničních těles tedy proběhla i v nezatopeném území, které bylo pokryto daty laserového skenování terénu. Ačkoliv tato data jsou velice přesná, reflektují současný stav území. Z důvodu významných změn v krajině bylo žádoucí namodelovat silniční tělesa v zatopeném i nezatopeném území. Nakonec byl s využitím breaklines vytvořen již finální DMT s namodelovanými silničními tělesy. Problematika silničních těles je ilustrována níže (Obrázek 33).

Obrázek 33: Tvorba silničních těles pomocí automatizovaně generovaného 3D bufferu



A) Příčný řez svahem s vozovkou – nežádoucí situace bez breaklines, B) Cílový stav vytvořený s pomocí breaklines – rovná vozovka, C) Princip tvorby 3D bufferu.

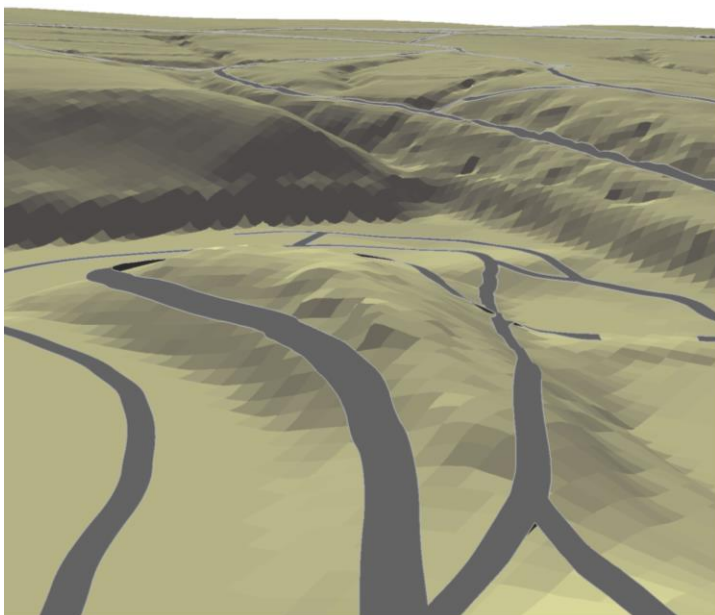
Zdroj: vlastní tvorba

Skript pro tvorbu 3D bufferu byl použit také na 3D linii Blažejovického potoka, jelikož se jedná o mohutnější potok a bylo vhodné, aby do interpolace vstupoval jako polygon, ne jako linie. Velikost pixelu výsledného rastru byla nastavena na 3,5 m, což se zdálo být rozumným kompromisem mezi schopností rastru zachytit detaily terénu (silniční tělesa, násep mostu aj.) a náročností na výpočetní výkon a paměť. O výsledku je možno se přesvědčit níže (Obrázek 34), případně v příloze 3.

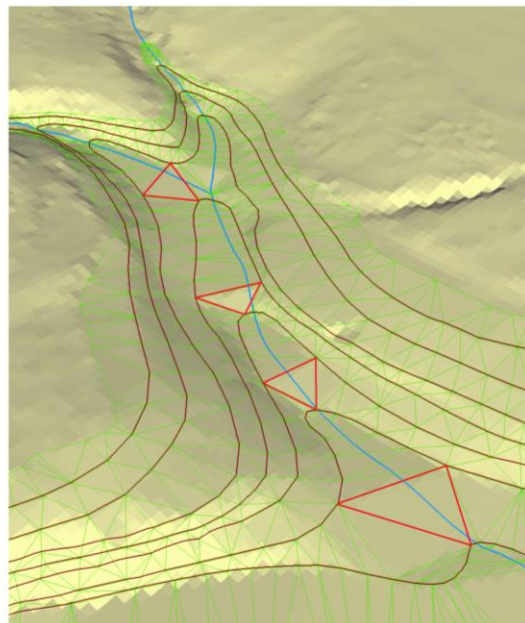
Obrázek 34: Vizualizace DMT – interpolace s breaklines a bez nich

Bez breaklines

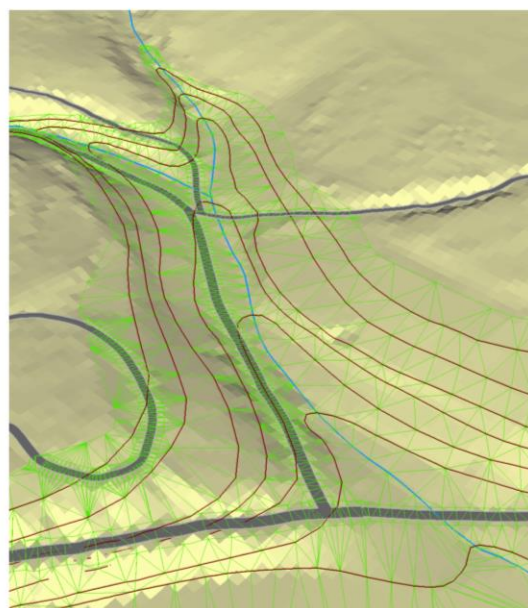
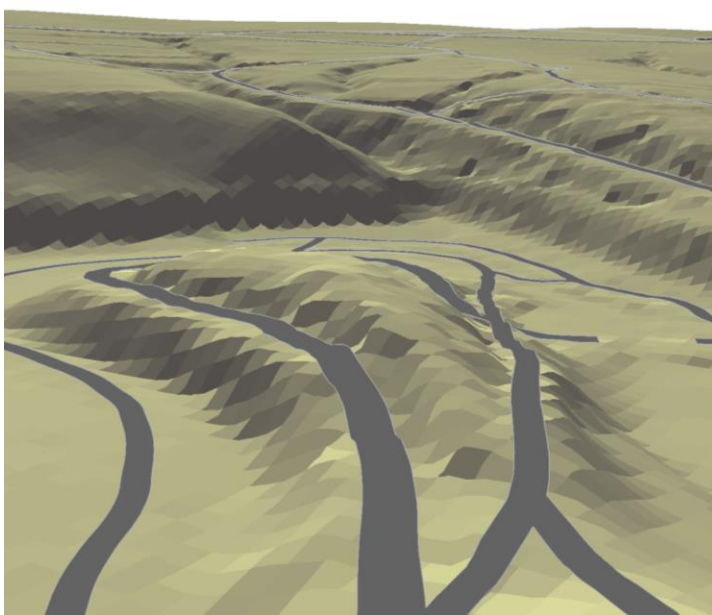
Silnice



Vodní toky



S breaklines



Silnice: bez breaklines – silnice jsou nepřírodně skloněny, s breaklines – silnice se zařezávají do svahu kopce.

Vodní toky: bez breaklines – údolí toku je tvořeno nepřírodními stupni (schody). Jelikož jsou vstupní data vrstevnice, vyskytují se trojúhelníky s vrcholy o stejné nadmořské výšce (nulový sklon). Trojúhelníky v triangulaci vytvářející „schod“ jsou zvýrazněny červeně, ostatní trojúhelníky zeleně, tmavě hnědou jsou vrstevnice. S breaklines – údolí toku se přirozeně svažuje. Zde jsou v triangulaci zahrnuty již i silnice. Triangulace je znázorněna pouze v místech, kde byly k interpolaci využity vrstevnice (zatopené území).

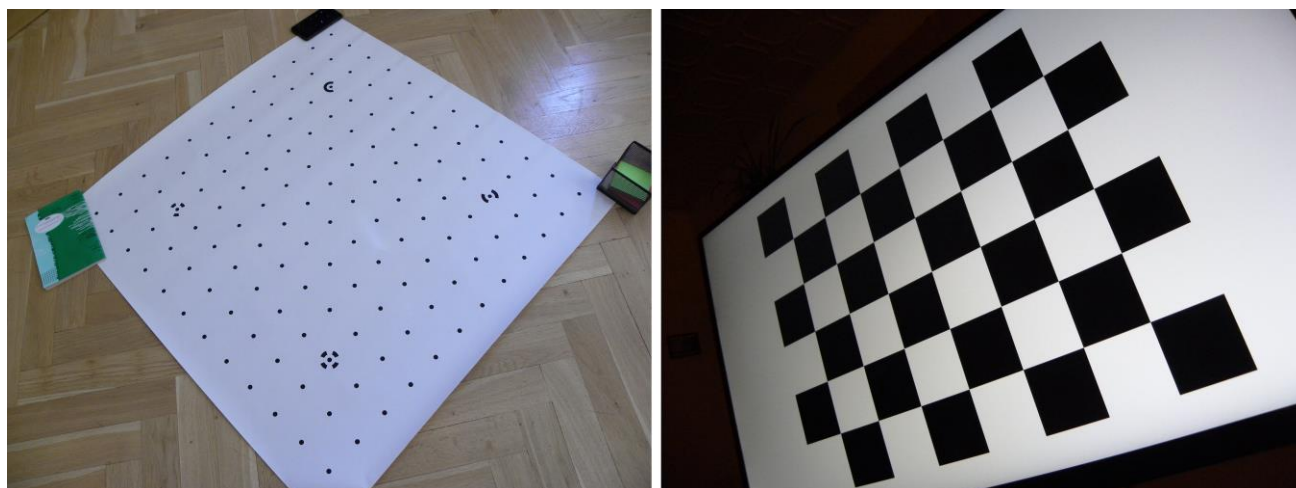
Levé obrázky jsou z oblasti tzv. Zámostí, pravé pak zachycují území poblíž závodu Kovofiniš.

Zdroj: vlastní tvorba

4.3.2 Tvorba modelů dochovaných objektů pomocí SFM

Nejprve byla provedena kalibrace kamery v SW Meshroom v modulu CameraCalibration a pro porovnání také v komerčním Photomodeleru. Pro oba dva softwary bylo nasnímáno kalibrační pole (Obrázek 35), pro každý software bylo pořízeno celkem 12 snímků příslušného pole (4 snímky z každé strany, na rozích kalibračního pole v režimu na šířku i v portrétní poloze kamery (4 + 4 snímky)).

Obrázek 35: Kalibrační pole pro použité softwary



Vlevo: kalibrační pole pro Photomodeler, vpravo: kalibrační pole (chessboard) pro Meshroom promítnuté na monitoru

Zdroj: vlastní tvorba

Photomodeler i Meshroom používají u radiální distorze tzv. Brownův distorzní model (Meshroom 2020). Souřadnice hlavního snímkového bodu jsou udávány vůči levému hornímu rohu snímku. Prvky vnitřní orientace kamery jsou uvedeny dále (Tabulka 3). Tabulka 3 obsahuje již přepočítané hodnoty.

Tabulka 3: Prvky vnitřní orientace kamery Nikon Coolpix P90

	Photomodeler	Meshroom
Konstanta kamery [mm]	4,977	4,853
Hl. bod x [mm]	3,216	3,233
Hl. bod y [mm]	2,342	2,357
koefficient distorze K1	0,005941	0,00647106
koefficient distorze K2	-7,63E-05	-0,0001027

Zdroj: vlastní zpracování

Podle Tröstla (2013), který se ve své práci zabývá mimo jiné srovnáním kalibrace v Photomodeleru a Photoscanu, vychází koeficienty v Photomodeleru z tzv. inverzních vztahů vůči koeficientům používaným v Photoscanu a je nutné je přepočíst podle následujících vzorců:

$$K_1^{PM} = \frac{-K_1^{Agi}}{f^2}$$

$$K_2^{PM} = \frac{-K_2^{Agi}}{f^4}$$

$$K_3^{PM} = \frac{-K_3^{Agi}}{f^6}$$

Pozn.: zde je navíc ještě uveden koeficient K_3

kde:

K_x^{PM} = koeficient distorze v Photodeleru

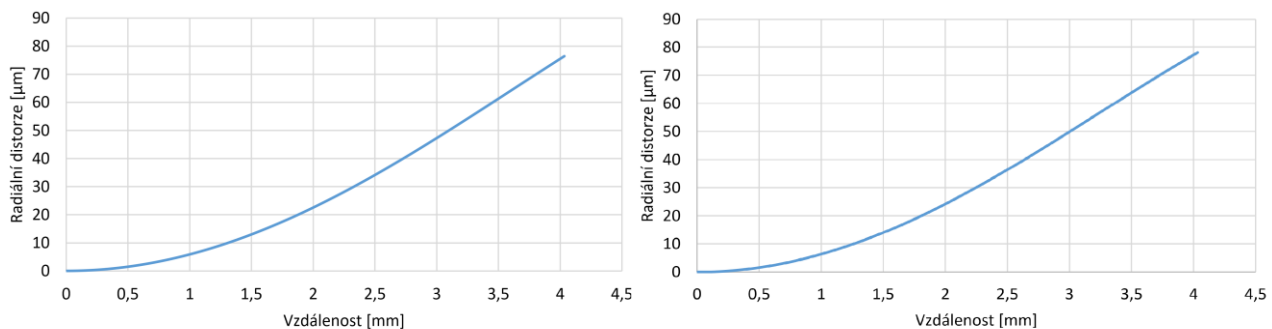
K_x^{Agi} = koeficient distorze v Photoscanu

f = konstanta kamery

Koeficienty vypočítané v SW Meshroom bylo třeba též přepočítat dle uvedených vztahů, aby byly porovnatelné s výsledky z programu Photodeler. Meshroom také všechny hodnoty uvádí v pixelech, pro porovnatelnost je bylo nejprve třeba přepočíst s pomocí velikosti pixelu získanou při kalibraci v SW Photodeler na milimetry.

Dále jsou uvedeny také grafy pro radiální distorzi (Graf 2), oba softwary vyhodnotily zkreslení způsobené použitou kamerou velmi podobně, či téměř shodně. Je možné si všimnout, že maximální distorze je na okraji snímku. Maximální vzdálenost, pro kterou má smysl počítat zkreslení, byla vypočítána z rozměru snímku a polohy hlavního snímkového bodu, kterou udává Photodeler. Srovnání bylo provedeno pouze pro informativní účely, výsledky z programu Photodeler nebyly nikde při zpracování modelů použity.

Graf 2: Průběh radiální distorze na snímku



Vlevo: Photodeler, vpravo: Meshroom. Na ose X je vzdálenost od hlavního snímkového bodu [mm], na ose Y radiální distorze [μm].

Zdroj: vlastní tvorba

Modely dochovaných objektů byly vytvářeny pomocí SFM. Konkrétně se jednalo o pomník padlým, sochu Panny Marie Bolestné (dílo sochaře Jakuba Teplého) a kašnu. Též by bylo vhodné použít SFM pro tvorbu modelu kostela, vzhledem k jeho rozměrům by se nabízelo užít UAV zařízení. Kvůli existenci ochranného pásma vodního zdroje v dané oblasti je však tento způsob snímání velmi omezen legislativou.

Pro každý objekt bylo pořízeno řádově desítky snímků podle schématu uvedeného na předchozích stránkách (Obrázek 11). Zároveň bylo snahou dodržovat pravidla 3x3 (Hodač 2004), což bohužel vždy nebylo možné. Problémem byla vegetace, okolní blízké objekty (problém s dostatečným překrytím snímků, nevhodný úhel záběru) a rozměry objektu – např. výška sochy (doporučuje se fotografovat z poloviční výšky objektu).

Prvky IO uložené v souboru „cameraCalibration.cal.txt“ získaného po kalibraci bylo nutné manuálně přepsat (přepsat prvky IO získané z databáze senzorů, na kterou software defaultně spoléhá) do příslušných polí v modulu CameraInnit (použito v této práci). Následně bylo buď možné samostatně spouštět jednotlivé kroky výpočtu nebo stisknout „start“ a vše přenechat automatickému zpracování.

Níže (Obrázek 36) je ukázka vypočítaných pozic kamery při snímkování kašny na bývalém náměstí v Zahrádce vytvořený s pomocí SFM. Na screenshotu jsou také vidět relativně konstantní rozestupy v ucelených řadách.

Obrázek 36: Screenshot 3D modelu kašny na náměstí v Zahrádce

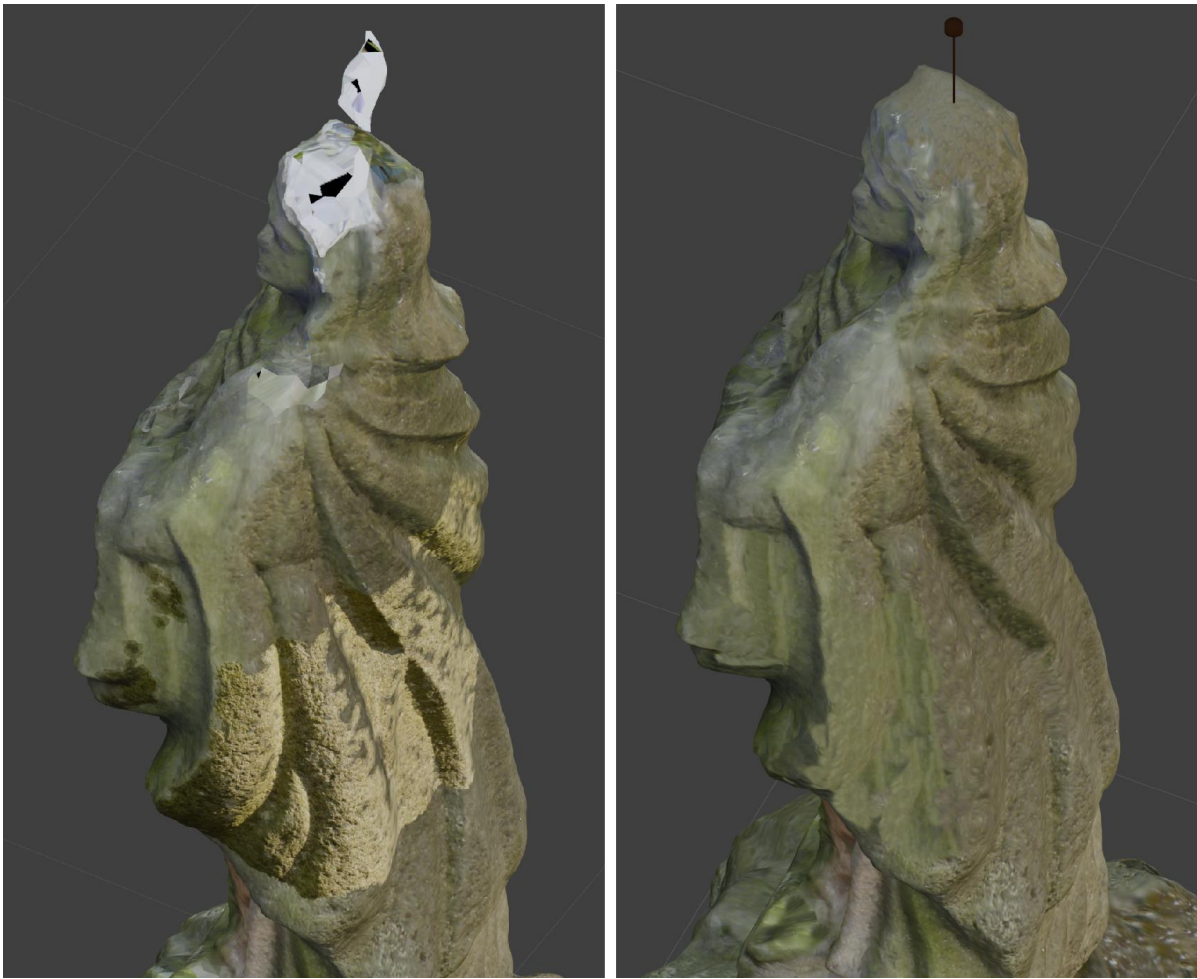


Zdroj: vlastní tvorba

SFM modely ve formátu *.obj byly nainportovány do Blenderu 2.83 (File → import). S pomocí rozměrů změřených pásmem na objektech v terénu bylo definováno měřítko modelů (funkce scale). Následně proběhla generalizace sítě modelu (add modifier → decimate). Generalizace byla nutností, jelikož do služby Sketchfab je možno nahrát modely o maximální velikosti 50 MB (bezplatná verze). Tímto bylo zredukováno množství bodů (uzlů – nodes), ze kterých se skládaly vstupní modely, na pouhou třetinu až čtvrtinu (cca z 1 000 000 na cca 300 000 bodů v absolutních číslech). Proces měl jen minimální vliv na vizuální stránku modelů, navíc umožňuje zachovat jeho kompaktnost pro on-line prohlížeč.

Jelikož nebylo možno při snímkování striktně dodržet pravidla 3x3, model sochy a model pomníku padlým obsahoval jistý šum a jiné nedokonalosti. Negativně se projeví například stíny, které vrhala okolní vegetace. Problémy způsobovala též výška objektů. Horní část modelu sochy a pomníku vypadala značně problematicky, jelikož tyto partie musely být snímány z nepříliš vhodného úhlu. Tyto problémy byly vyretušovány s pomocí nástrojů jako klonovací razítko, rozmazání či změkčení v Blenderu (Obrázek 37 a příloha 4). Model kašny nebylo třeba retušovat, jelikož se jedná o nízký objekt a model byl tak bez výrazných chyb. Poté již byly 3D modely nahrány do služby Sketchfab.

Obrázek 37: Vyretušovaný SFM model sochy Panny Marie Bolestné



Vlevo: původní model. Horní část sochy trpí nedokonalostmi, co se textur týče. Na zadní části sochy se projevují nerovnoměrně osvětlené plochy. Svatozář se nepodařilo vůbec zachytit. Vpravo: vyretušovaný model. Soše bylo doděláno torzo svatozáře, která v tomto dezolátním stavu byla již v 60. letech 20. stol. dle historických fotografií.

Zdroj: vlastní tvorba

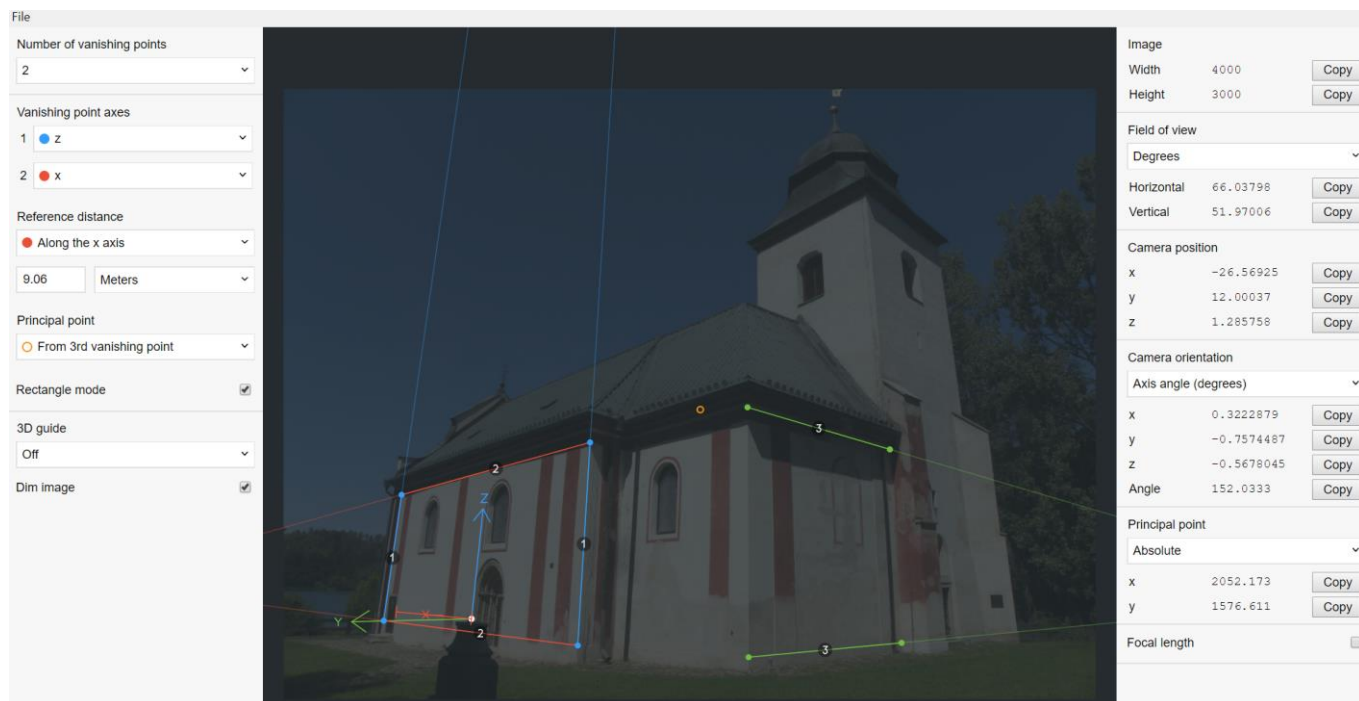
4.3.3 Tvorba modelů zaniklých objektů pomocí jednosnímkové metody s využitím pravidelnosti objektu

Jednosnímkovou metodou byl vytvořen model kostela sv. Víta a model fary a obchodu se smíšeným zbožím. V případě kostela se jedná o dochovaný objekt, ostatní budovy byly zbořeny a do současnosti se nedochovaly. Existence kostela do dnešních dnů bylo využito pro zhodnocení přesnosti jednosnímkové metody.

Pro účely tvorby modelu kostela byly pořízeny snímky tak, aby co nejvíce vynikla perspektivou zkršená geometrie a objekt zabíral co možná největší plochu snímku. Zvolen byl záběr na roh kostela v perspektivním pohledu. Použita byla opět neměřická kamera Nikon Coolpix P90 stejná jako pro SFM modely. Pořízeno bylo více snímků (při zpracování byly vybrány vhodnější) ze všech stran objektu, aby se budova dala přesně vymodelovat kompletně celá. Radiální distorze byla zanedbána.

Následoval import snímku do SW fSpy. Zde byly identifikovány sbíhající se rovnoběžky na objektu ve směru 3 souřadnicových os (Obrázek 38). Zároveň bylo definováno měřítko s pomocí rozměru změřeném na reálném objektu pásmem. Pro definování měřítka bylo možno zvolit rozměr ve směru jakékoli souřadnicové osy. Nutné bylo do zvoleného místa posunout střed souřadnicového kříže (gizmo) a od tohoto počátku definovat zvolený rozměr.

Obrázek 38: Identifikace perspektivou zkruslené geometrie na kostele sv. Víta v obci Zahrádka



Modré úsečky: směr osy Z, červené: směr osy X, zelené: směr osy Y. Úsečky jsou slabší čarou protaženy směrem k úběžníkům. Hlavní bod je symbolizován drobným oranžovým kolečkem přibližně uprostřed snímku. Vlevo těsně od vchodu do kostela (středověkého portálu) je souřadnicový kříž se středem (bílé kolečko) – počátek souřadnic pro model. Od tohoto středu vede kratší červená úsečka s drobným červeným křížkem uprostřed až k bočnímu vchodu úplně vlevo na kostele. Jedná se o úsečku ve směru osy X (proto červená) pro definování měřítka modelu.

Zdroj: vlastní tvorba

Hlavní bod byl získán s pomocí 3 dostupných úběžníků. Pokud by byly k dispozici pouze 2, je možno hlavní bod ztotožnit se středem snímku. Takto zpracovaný projekt v fSpy byl uložen a s pomocí oficiálního pluginu (add-onu fSpy-Blender) byl naimportován do Blenderu 2.83. V Blenderu bylo nutné ještě předtím smazat krychli a hlavní defaultní renderovací kameru. Ve zmíněném SW se totiž automaticky nastaví nová renderovací kamera zabírající počátek souřadnic (3D kurzor) a snímek ze stejného perspektivního pohledu, z jakého byl pořízen snímek ve skutečnosti. Modelovat je nutné netypicky právě z pohledu renderovací kamery (klávesa 0 na numerickém bloku klávesnice) a z perspektivního pohledu místo ortografického, ve kterém se běžně modeluje.

Nyní již bylo možno modelovat s pomocí standardních funkcí a možností, které nabízí SW Blender. Pro objekty, které se na modelu opakovaly (okna) byla použita funkce link objects. Díky ní se úpravy provedené na jednom objektu, projeví i na ostatních. Užitečný byl také modifikátor mirror, které umožňuje jednoduše tvořit symetrické objekty. Využity byly textury (povrch dřeva, kamene, střešní tašky) z volně dostupných online knihoven textur. Pro vymodelování stran kostela, které nejsou zachyceny výše (Obrázek 38) byly použity 2 další snímky. Opět byla použita jednosnímková metoda – bez jakéhokoliv stereoefektu aj. Pro tvorbu historických portálů byla použita SFM. Takto vytvořené portály byly vsazeny do modelu opět v SW Blender. Tvorbu některých částí budovy usnadňoval plugin Building Tools určený pro tvorbu architektonických návrhů. Jelikož měl kostel v 60. letech 20. stol. jinou barvu fasády, byl texturován na základě historických snímků.

Pro modely zaniklých objektů modelovaných z historických snímků bylo měřítko dodáno ze zgeoreferencované mapy evidence nemovitostí 1 : 2 880. K jejich modelaci byl použit pouze 1 snímek, který budovu zachycoval typicky z přední strany.

4.4 Vizualizace

4.4.1 Vizualizace modelů

Vizualizace modelů budov byla provedena s pomocí pluginu Blender GIS, který umožňuje import prostorových dat (*.shp, *.tiff, data OSM, Google Maps, Bing Maps) a jejich 3D zobrazení. Do projektu tak bylo přidáno vytvořené rastrové DMT a vektorová data (půdorysy podrobně nevymodelovaných budov, komunikace, řeka Želivka). Zároveň

byly detailněji vymodelované objekty usazeny na terén. Realistická obloha a osvětlení byla vytvořena s pomocí pluginu Lighting: Dynamic Sky. Pro tvorbu výsledných renderů byl použit vestavěný renderovací engine Blenderu.

4.4.2 Interaktivní webová aplikace

Vlastní model je prezentován formou Leaflet mapy, která je vložena do webových stránek vytvořených s pomocí zdarma dostupné CSS šablony s názvem „Sadaka“ (Blalou 2016). Do pop-up oken byly vloženy rendery modelu, reálné fotografie, doplňující informace a 3D modely prezentované s pomocí Sketchfabu.

Podkladová historická mapa vychází ze starší autorovi práce, pro účely webové aplikace byla původní mapa jen mírně upravena. Mapa byla vyexportována jako rastr ve vysokém rozlišení 900 DPI. Následně byl vzniklý rastr v QGISu zgeoreferencován (4 vlčovací body v rozích rámu mapy) a současně transformován (funkce warp) z WGS 84 UTM zone 33N (EPSG 32633) do Web Mercatora (EPSG 3857). Poté byla použita funkce gdal2tiles z knihovny GDAL, která je nativně součástí QGISu. S pomocí ní byl vstupní rastr nadlaždicován. Dlaždice byly uloženy opět ve Web Mercatorovi (EPSG 3857), s orientací os dle standardu TMS (defaultní nastavení). Dále jsou v mapě použity mapové podklady a ortofota Map.cz, OpenStreetMap, ČÚZK a Google Maps, všechny jsou poskytovány ve Web Mercatorovi.

Vrstva bodových značek byla přeuložena do formátu GeoJSON a transformována do systému zeměpisných souřadnic WGS84 (EPSG 4326). Leaflet si body sám transformuje „za běhu“ (on the fly) do Web Mercatora. Informace o jednotlivých místech byly vepisovány do properties (atributů) GeoJSONu. Jednalo se hlavně o název objektu, stav (zaniklý/nezaniklý apod.) a také podrobnější informace o daném místě (jsou u většiny objektů, ne u všech).

Atributová tabulka GIS softwaru není zcela ideální nástroj pro zapisování dlouhých odstavců textu do atributů, proto byly informace o objektech do GeoJSONu zapisovány v HTML editoru PSPad (má GeoJSON formatter i beautifier). Tyto texty byly zapisovány včetně HTML odkazů na obrázky a formátování pomocí HTML tagů. Jelikož součástí syntaxe GeoJSONu i HTML (resp. CSS) jsou uvozovky, je nutné uvozovky HTML a CSS tagů zapisovat stejně jako například v Pythonu se zpětným lomítkem (`\`).

S pomocí Python skriptu byl každý bod (feature) přiřazen do JavaScriptové proměnné a takto byl vygenerovaný JavaScriptový kód uložen do samostatného souboru (`points_preprocessed.js`), podobně byly též jednotlivým bodům přiřazovány mapové značky (`soubor_points_loading.js`), které jsou jinak uloženy ve vektorovém formátu *.svg. Postup, kdy jsou feaures z GeoJSONu ukládány do proměnných jako objekty ať už samostatně nebo po skupinách, je prezentován v oficiálních Leaflet tutoriálech (Leaflet 2019c). Videá z YouTube a 3D modely ze Sketchfabu byly do pop-up oken vloženy pomocí tzv. `iframe` rámců. Náhledové miniatury obrázků v pop-up oknech byly též ořezávány dávkově s pomocí Python skriptu využívajícího knihovnu Pillow. Obrázky v pop-pech se po kliknutí zvětšují a zobrazují se v tzv. lightboxu. Tohoto efektu bylo dosaženo s pomocí volně dostupné JavaScriptové knihovny lightbox2 (Dhakar 2019). Do pop-up oken k jednotlivým místům byly vloženy obrázky z Facebookových stránek Zahrádka (2020), v menší míře z archivu Spolku Přátel Zahrádka (2019), několik renderů budov (menší část objektů). Informace byly čerpány z knihy Zahrádka na pohlednicích (Čihák 2015), z literárního díla Miloše Doležala (Doležal 2012) a (Doležal 2015) a z kroniky Zahrádka (Kronika obce Zahrádka 1977).

Rozšířený popis zpracování společně se skripty je v příloze 5.

4.5 Hodnocení přesnosti modelů

Jakožto referenční modely pro hodnocení přesnosti obou metod posloužil model kašny a kostela. V případě kašny se jednalo o SFM model, který nebyl zatížen žádnými chybami při zpracování. Naopak kostel je jediná dochovaná stavba vymodelovaná jednosnímkovou metodou, tudíž na něm bylo možno provést kontrolní měření. Na obou reálných objektech bylo změřeno 10 různých rozměrů.

Pro výpočet přesnosti obou metod byl použit vzorec střední kvadratické odchylky (RMSE). Za jednotky byly zvoleny metry. Jelikož je kostel nepoměrně větší objekt oproti kašně, byla přesnost vypočítána i v relativních hodnotách (%) pro lepší porovnatelnost výsledků.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\bar{y}_i - y_i)^2}{N}}$$

kde:

$$\begin{aligned}\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_N &= \text{rozměry reálného objektu} \\ y_1, y_2, \dots, y_N &= \text{rozměry na 3D modelu} \\ N &= \text{počet měření}\end{aligned}$$

Měření proběhlo za standardních klimatických podmínek pásmem. Jednotlivé rozměry byly měřeny dvakrát až třikrát.

5 Výsledky

5.1 Hodnocení přesnosti: porovnání použitých metod

Níže jsou naměřené hodnoty pro porovnání přesnosti objektů a vytvořených modelů pomocí SFM (Tabulka 4) a jednosnímkové metody (Tabulka 5). „Skutečnost“ se vztahuje k reálnému objektu, „model“ pak k jeho digitální 3D reprezentaci.

Tabulka 4: Kontrolní měření modelu kašny

	<i>skutečnost [m]</i>	<i>model [m]</i>	<i>skutečnost [%]</i>	<i>model [%]</i>
1	0,110	0,107	100,000	97,273
2	0,535	0,548	100,000	102,430
3	3,635	3,653	100,000	100,495
4	0,070	0,068	100,000	97,143
5	2,390	2,368	100,000	99,079
6	3,710	3,713	100,000	100,081
7	0,635	0,657	100,000	103,465
8	0,470	0,478	100,000	101,702
9	0,460	0,459	100,000	99,783
10	0,855	0,849	100,000	99,298

Zdroj: vlastní tvorba

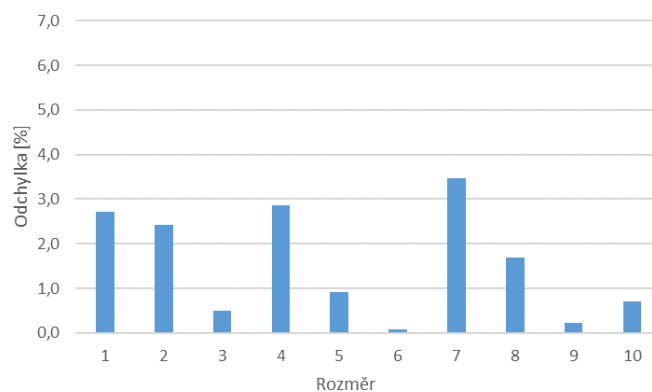
Tabulka 5: Kontrolní měření modelu kostela

	<i>skutečnost [m]</i>	<i>model [m]</i>	<i>skutečnost [%]</i>	<i>model [%]</i>
1	1,810	1,830	100,000	101,105
2	1,030	1,060	100,000	102,913
3	0,885	0,869	100,000	98,192
4	5,225	5,423	100,000	103,789
5	0,880	0,927	100,000	105,341
6	0,785	0,839	100,000	106,879
7	5,950	6,138	100,000	103,160
8	2,150	2,023	100,000	94,093
9	0,885	0,942	100,000	106,441
10	1,785	1,830	100,000	102,521

Zdroj: vlastní tvorba

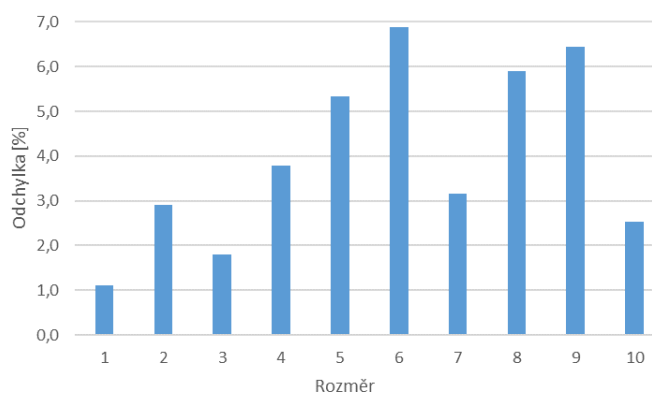
Je možné si všimnout (Tabulka 5), že u modelu kostela je většina rozměrů spíše větších oproti skutečnosti, což by mohlo ukazovat na mírné nadhodnocení samotného měřítka modelu. U SFM modelu bylo měření provedeno ještě před generalizací jeho geometrie. Model kašny vytvořený pomocí SFM se ukázal být přesnějším v absolutních i relativních hodnotách. Potvrdilo se tak, že u SFM lze získat model s téměř centimetrovou přesností. RMSE bylo v případě kašny 0,013 m (1,951 %) a u kostela 0,101 m (4,426 %). Procentuální odchylky jednotlivých kontrolních měření jsou uvedeny níže (Graf 3 a Graf 4).

Graf 3: Odchytky kontrolních měření od skutečnosti – kašna



Zdroj: vlastní tvorba

Graf 4: Odchytky kontrolních měření od skutečnosti – kostel



Zdroj: vlastní tvorba

5.2 Rendery výsledného modelu

Rendery objektů zobrazují jejich polohu a stav v cílovém období, tj. 60. léta 20. století. Níže je render kostela (Obrázek 39). Barva omítky neodpovídá současnému snímku, jelikož kostel byl později opravován, a proto se fasáda v průběhu let změnila. Textury vychází z historického snímku. Také byl z přední strany odstraněn dřevěný kříž. Díky použití addonu fSpy-Blender a vypočítané pozici kamery je možno vyrenderovat model ze stejného úhlu záběru jako snímek, podle kterého byl objekt vytvářen.

Obrázek 39: Vizualizace 3D modelu kostela



Zdroj: vlastní tvorba

Další z prezentovaných modelů je budova fary (Obrázek 40), kde pobýval farář Josef Toufar ve 40. letech 20. stol.

Obrázek 40: Vizualizace 3D modelu fary



Zdroj: vlastní tvorba

V případě dalších vizualizací (Obrázek 41) se jedná o pohledy na bývalé náměstí.

Obrázek 41: Náměstí v Zahrádce s vymodelovanými objekty



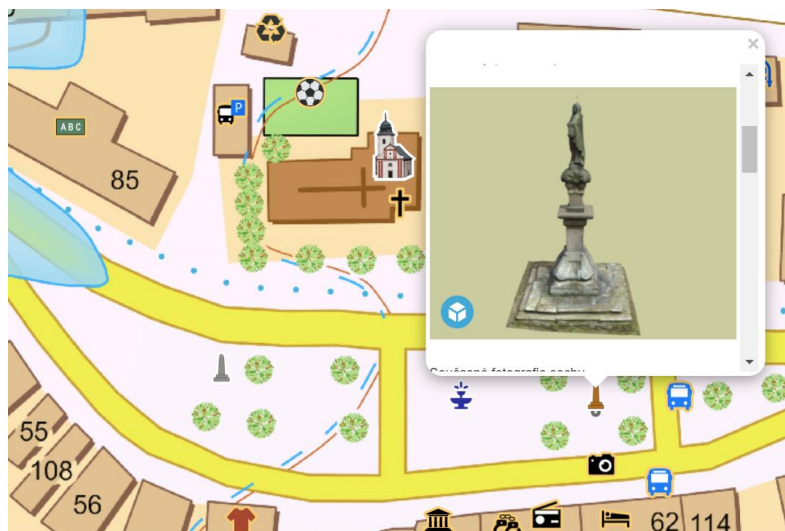
Zdroj: vlastní tvorba

Další rendery jsou v příloze 6. Všechny jednotlivé modely je možno stáhnout ze služby Sketchfab. Nedílnou součástí modelu je taktéž DMT, jemuž byla věnována v práci patřičná pozornost. Terénní tvary namodelované s pomocí automatizovaně tvořených breaklines jsou v příloze 3.

5.3 Interaktivní mapová aplikace

Mapová aplikace (Obrázek 43) byla umístěna na stránky Spolku Přátel Zahrádky. Základem je historická mapa zobrazující stav zástavby v 60. letech 20. století a současnou hladinu přehrady. V aplikaci se nachází množství značek pro objekty a služby rozdělených do čtyřech tematických kategorií, po rozkliknutí se zobrazí pop-up okno (Obrázek 42) s doplňujícími informacemi a multimédií (obrázky, videa (u kostela), 3D modely – pouze u kašny, sochy Panny Marie, pomníku padlým, kostela, fary a obchodu se smíšeným zbožím).

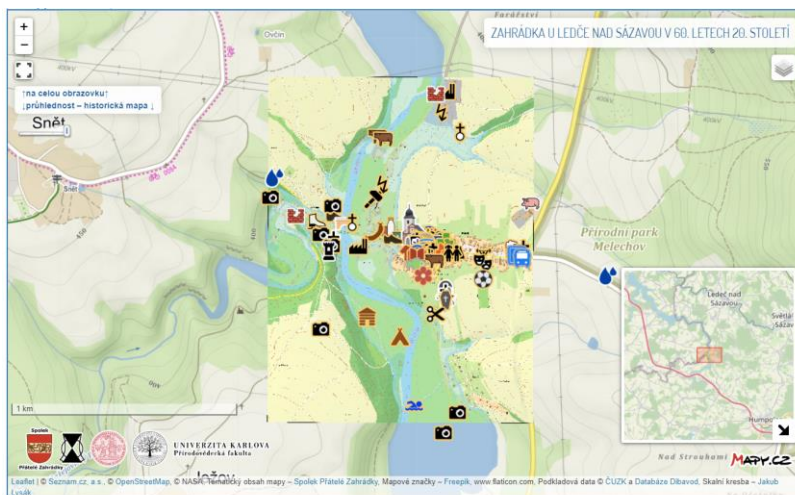
Obrázek 42: Otevřené pop-up okno s 3D modelem sochy Panny Marie Bolestné



Na screenshotu je otevřený 3D model sochy prezentovaný s pomocí služby Sketchfab. 3D okno je možno otevřít na celou obrazovku.

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 43: Webová mapová aplikace



LEGENDA

Stav objektů (odlišen barvou ohraničení značek)		zaniklé objekty		nové objekty (postavené po zániku obce)	
dochované objekty 					
Budovy (pozn.: čp. je uvedeno, pokud existuje a informace o něm je dostupná)		Povrch a využití plochy		Vodstvo	
nezatopeno 1 12 (17) 130	zatopeno 49 133 130	nezatopeno silnice nebezpečná cesta lávka pro pěší most plocha se souvislou zástavbou plocha hospodářského využití náměstí, veřejné prostranství zahrada louka, travnatá plocha les hřbitov ostatní plocha	zatopeno silnice nebezpečná cesta lávka pro pěší most plocha se souvislou zástavbou plocha hospodářského využití náměstí, veřejné prostranství zahrada louka, travnatá plocha les hřbitov ostatní plocha	nezatopeno vodní tok malý vodní tok zatrubněný vodní tok vodní plocha jez	zatopeno vodní tok malý vodní tok zatrubněný vodní tok vodní plocha jez
Ostatní 				Popis Pohoří Branka Beladova Klasanberg	
vrstevnice po 5 metrech zdůrazněná vrstevnice úroveň hladiny při maximálním vodním vzduš. (379,8 m n. m.) skála, skalní sráž elektrické vedení 22 kV zeď, plot hranice katastrálních území významný listnatý strom významný jehličnatý strom				místní část obce místní název jednotlivé objekty	
**Může se vyskytnout písmenné označení u objektů bez čp. sloužící k identifikaci jejich majitele v síťovém seznamu obyvatel (bývá se především chat).				Použitý souřadnicový systém WGS 1984 Web_Mercator (Pseudo-Mercator)	

Zdroj: vlastní tvorba

Aplikace je k dispozici na adrese www.zahradka.euweb.cz, v sekci Virtuální galerie → Historická mapa, případně po naskenování QR kódu níže (Obrázek 44). Nutné je uvést, že zmíněná historická mapa pokrývá podstatně větší území, než které zahrnuje 3D model. K historické mapě je na stránce dostupná též legenda. Ze soudobých mapových podkladů jsou k dispozici mapy a ortofota Map.cz, ČUZK, Google Maps a OpenStreetMap. Z dalších funkcionalit lze zmínit režim celé obrazovky, posuvník (slider) pro změnu úrovně průhlednosti pro historickou mapu, případně minimapu pro lepší orientaci v aplikaci. Kompletní popis ovládní je uveden přímo na stránce s aplikací. Ze služby Sketchfab je zároveň možno stáhnout jednotlivé 3D modely objektů.

Obrázek 44: QR kód s odkazem na stránky Spolku Přátelé Zahrádky

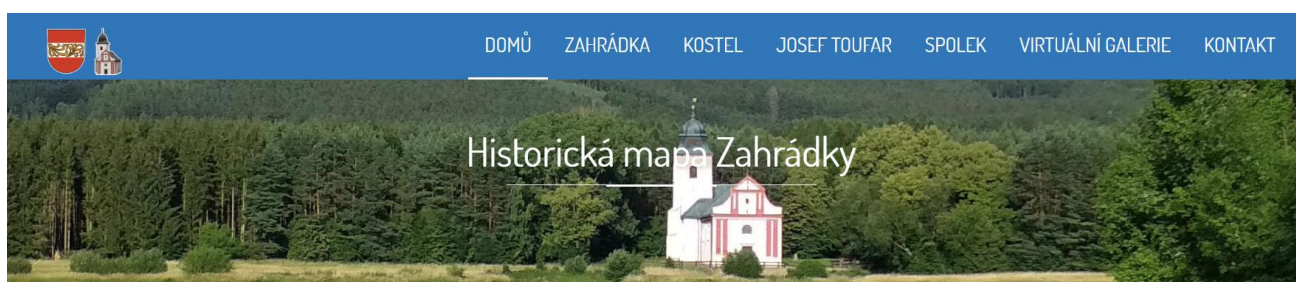


Uprostřed se nachází znak městyse Zahrádka u Ledče nad Sázavou.

Zdroj: vlastní tvorba/vygenerováno pomocí služby QRCode Monkey (2020)

Do vytvořených webových stránek (Obrázek 45) byl zároveň migrován faktický obsah starších stránek Spolku Přátelé Zahrádky. Autory obsahu jsou členové zmíněného Spolku. Stránky jsou tak poměrně rozsáhlé a kromě výsledků předkládané bakalářské práce prezentují i činnost Spolku, historii Zahrádky, rekonstrukci kostela a informují o veškerém dění v zaniklé obci.

Obrázek 45: Navigační menu vytvořených webových stránek



INTERAKTIVNÍ MAPA ZAHRÁDKY

Mapa zachycuje podobu městyse Zahrádka u Ledče nad Sázavou před zbořením, tj. v 60. letech 20. století. Jsou v ní vyznačeny nejrůznější objekty a služby, které tehdy byly v Zahrádce přítomny. Je tak možné se přesvědčit, že Zahrádka měla občanskou vybavenost na vysoké úrovni vzhledem ke své velikosti. Zároveň je v mapě vyznačena průhlednou vrstvou obvyklá hladina přehrady a přerušovanou čarou hladina při maximálním vzduť. Díky tomu je dobře patrné, co je a co není pod hladinou. Dále se v mapě nachází kompletní soupis čísel popisných. Zahrnuto je též Zámostí, které administrativně nebylo součástí Zahrádky, ale vzhledem k faktu, že se nacházelo pouze na opačném břehu řeky Želivky, byl život obyvatel Zámostí se „zahrádeckými“ těsně spjat.

Zdroj: vlastní tvorba

6 Diskuze

6.1 Resumé: jednosnímková metoda využívající geometrické pravidelnosti objektu

Problémem při zpracování tématu se ukázal být nedostatek literatury. Existuje množství skript deskriptivní geometrie, nicméně v těchto knihách chybí jakákoliv návaznost na geoinformatiku, navíc v podstatě vše je řešeno graficky. Tradiční fotogrammetrie má zcela odlišný přístup k modelaci z jediného snímku, navíc používá matematicko-analytické vyjádření problému oproti deskriptivní geometrii. Po dobu tvorby práce bylo nalezeno několik odlišností například v terminologii mezi oběma obory. Separátně lze z literatury obou oborů získat jisté informace, nicméně chybí zde téměř jakákoliv synergie, propojení mezi oběma přístupy a obory, navíc s přesahem do oblasti GIS. Jediné dílo, které integruje informace z obou oborů jsou právě články španělského týmu autorů (např. Garcia-Gago et al. (2014) a další). Velmi přínosné by tak bylo ucelené dílo, které by kombinovalo to nejlepší z oborů a kompletně by informovalo o problematice, včetně praktického využití, výhod i omezení metody.

Ve světě GIS technologií je tato jednosnímková metoda opomíjena na úkor podstatně rozšířenějších metod – SFM a laserového skenování, kterým nemůže konkurovat mírou automatizace procesu, přesností ani fotorealismem. Výhoda jednosnímkové metody však tkví v mnohem menší náročnosti na kvalitu a rozsah vstupních dat. I z jediného samotného snímku, který má jisté vlastnosti (geometrická pravidelnost objektu aj.) lze získat určité metrické informace. Najde tak uplatnění typicky u modelací právě zaniklých objektů, pro které je dostupné pouze velmi skromné množství obrazového materiálu, jež má navíc takové vlastnosti, že konvenční fotogrammetrie si s jeho zpracováním neporadí (perspektivní zrcadlo, neznalost prvků IO i EO, dostupný jen 1 snímek).

„Některé postupy fotogrammetrie lze zařadit i do deskriptivní geometrie, kde byly podobné úlohy řešeny ještě dávno před vynálezem fotografie“ (Pavelka 2003, s. 5). Předchozí tvrzení je v podstatě jediným odkazem na deskriptivní geometrii, který lze v daných fotogrammetrických skriptech nalézt. Je možná trochu škoda, že moderní fotogrammetrie pozapomněla na svoje kořeny. Neakceptovatelná pro obor je pravděpodobně závislost přesnosti získaných dat na přesnosti, s jakou je postaven samotný objekt (přesnost pravých úhlů, rovnoběžek, rovinnost stran). Případně fakt, že hodnocení přesnosti často ani nelze provést u zaniklých objektů. Geometrická přesnost často ale nemusí být jediným faktorem pro hodnocení kvality 3D modelu. Deskriptivní geometrie se zase omezuje pouze na grafické zpracování problematiky, které je ale zdlouhavé, poměrně složité, a tedy nevhodné pro co nejrychlejší digitální repetitivní zpracování mnoha modelů pro jeden projekt (budovy v zaniklém území) navíc s patřičným množstvím detailů (např. budovy včetně oken, dveří, okrasných říms). Ačkoliv SW nabízející rychlou rekonstrukci objektu s pomocí jeho geometrie z jediného snímku existuje (fSpy, Photomodeler, Photoshop...), je ve skriptech deskriptivní geometrie v podstatě ignorován a není mu věnován dostatečný prostor.

Při pohledu na výsledky hodnocení přesnosti jednosnímkové metody si je nutné uvědomit, že se vztahují pouze k modelu kostela. Pro modely vytvořené z historických snímků nejsou reprezentativní, jelikož snímky pro jejich modelaci byly pořízeny jinou kamerou. Navíc při pořizování snímků kostela byla snaha, aby byla perspektiva na snímku co nejkvalitnější. Toto se nedá říci o historických snímcích, jelikož jejich autoři nepočítali s jakýmkoliv metrickým vyhodnocováním snímků. Modelu kostela bylo dodáno měřítko z vlastního měření pásmem, modelům zbořených objektů ze starých georeferencovaných map, což jistě není tak přesné. Jedná se tedy spíše o porovnání přesnosti obou použitých metod než o reprezentativní hodnocení přesnosti pro 3D model. Perspektivní situace u historických snímků nebyla vždy zcela ideální (viz Obrázek 17). Otázkou také zůstává, jak velké je zkrácení radiální distorzí starého fotoaparátu oproti moderní digitální zrcadlovce. Na druhou stranu i tak hodnocení přesnosti dává alespoň rámcovou představu o přesnosti zaniklých objektů, respektive je možno odhadovat v jakých řádech se přesnost pohybuje. U jednosnímkové metody neproběhla korekce radiální distorze, ačkoliv metody vyvinuté pro tento účel existují (González-Aguilera, Gómez-Lahoz, Rodríguez-Gonzálvez 2011). Je vhodné, aby snímek v takovém případě byl pokryt pravidelným vzorem (např. okna moderní kancelářské budovy).

K horšímu výsledku u přesnosti jednosnímkové metody oproti SFM jistě přispělo i zanedbání radiální distorze. Kostel musel též být focen vzhledem k jeho velikosti z větší vzdálenosti, kvůli čemuž mají snímky o něco horší prostorové rozlišení. Ovšem tato komplikace je alespoň částečně kompenzována použitím relativních hodnot (%). Výsledná přesnost se přesto dá považovat za úspěch, jelikož je hodnota plně dostačující pro vizuální historickou dokumentaci objektu.

Problémem při samotné modelaci se ukázala být nižší kvalita archivních snímků (neostrost), v důsledku které je obtížnější správně určit hranu objektu (při identifikaci perspektivní geometrie). Rovnoběžky ve směru osy Z se často pomalu sbíhají (jelikož snímky jsou nejvíce pořizovány z výšky ramen, bez výrazného perspektivního pohledu či nadhledu), což způsobuje, že úběžník ve směru osy Z je daleko od snímku a od objektu. Následkem je méně přesná modelace (Garcia-Gago et al. 2014). Přesnost je přímo závislá na přesnosti geometrie snímaného objektu. Vzniká tak předpoklad, že to může být problém obzvláště u historických budov z důvodu méně dokonalého

technického postupu během jejich výstavby. Občas se také vyskytují prvky na objektech, které jsou problematické z podstaty věci. Například věž kostela v Zahrádce se mírně zužuje. Pokud by tato informace nebyla dobře známa, ze snímku by jev nebyl patrný pouhým okem a linie na věži by byly použity pro vyhledání úběžných bodů, způsobilo by to pravděpodobně velké nepřesnosti. Neideální jsou také situace, kdy objekt pokrývá malou plochu snímku, což sice ještě nebrání vizuální interpretaci snímku, ale už to stěžuje přesnou identifikaci perspektivní geometrie. Občas je problémem vůbec najít na objektu sbíhavé rovnoběžky ve směru os. Buď je objekt nasnímán z nevhodného úhlu záběru nebo na něm nejsou přítomny vhodné linie (např. různé římsy na budovách). I přes zmíněné limity a omezení metody se stále jedná o způsob, jak ze snímku vytěžit jisté metrické informace a nepoužívat tak metodu „a la vue“.

Modelování ze snímku z perspektivního pohledu se v praxi ukázalo být netriviálním úkolem právě kvůli nejednoznačnosti perspektivního zobrazení. Důležitá je dobrá prostorová představivost. Z počátku je jediným orientačním bodem 3D kurzor Blenderu, který je umístěn na snímku na stejném místě, kam byl dán počátek souřadnic v fSpy. Veškeré tělesa a plochy byly přidány do projektu v takové poloze, kdy 3D kurzor byl v jejich středu. Osvědčilo se přidání pomocné plochy (add → mesh → plane), s pomocí které byly zachyceny základní tvary objektu (Obrázek 46). Vůči této ploše se pak mnohem lépe orientovalo v prostoru a na snímku. Teprve potom byla přidána krychle, jejímž následným tvarováním byla vytvořena prostorová reprezentace modelu kostela. Po přidání tělesa či plochy je možno s pomocí nástrojů jako move, rotate, scale, extrude aj. objekty upravovat do požadovaného tvaru. Důležité bylo provádět zmíněné operace pouze ve směru souřadnicových os a extrudovat/otáčet o 90°. Pomocná plocha byla nakonec odstraněna. V průběhu modelování bylo nutno kontrolovat z jiného než perspektivního pohledu, jestli vzájemná poloha objektů odpovídá skutečnosti.

Obrázek 46: Modelování kostela – práce s pomocnou rovinou



Plocha zasahuje i pod kostel, jelikož zmíněná budova stojí na mírném svahu.

Zdroj: vlastní tvorba

Jistě existují i možnosti, jak postup dále rozvíjet. Vhodné by bylo například odstranit radiální distorzi ze snímku, případně celý proces modelace více automatizovat. Sv3DVision například zvládá automatickou extrakci a vektorizaci sbíhavých rovnoběžek na snímku. Zmíněný software zároveň umí vyhodnotit přesnost s jakou byly nalezeny úběžníky, což alespoň částečně kompenzuje nemožnost provést kontrolní měření u zaniklých objektů. Nabízí se i možnost zkoumat vliv úhlu záběru kamery na přesnost výsledné modelace.

6.2 DMT pro účely podrobných 3D modelací území velkého měřítka

Zvláštní pozornost byla věnována tvorbě DMT. S pomocí automatizovaně tvořených breaklines se podařilo namodelovat drobné terénní tvary, které jsou pod rozlišovací schopností vrstevnicových dat (v zatopeném území). Případně se projeví změny v land coveru. Ukázalo se, že breaklines je vhodné přidávat do interpolace jako singlepart linie. Při použití multipart polygonů triangulace neproběhla správně (nebyly respektovány breaklines), vyskytovaly se pády a další chyby QGISu. Výsledný DMT bylo třeba ještě manuálně upravovat, automatizovaně tvořené breaklines však ušetřily mnoho repetitivní práce.

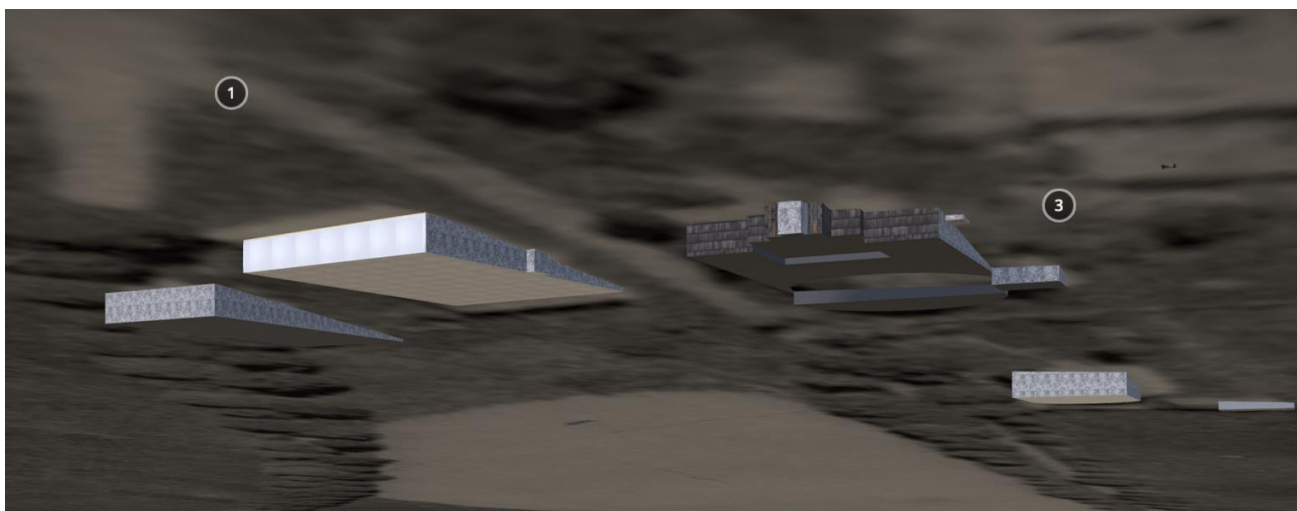
Skript na tvorbu 3D bufferu by bylo samozřejmě možné dále zlepšovat. Ideální by bylo zefektivnit vyhledávání nejbližšího bodu centerline k danému bodu bufferu, případně algoritmizovat tvorbu vlastního bufferu, jehož body by přímo měly přiřazené Z hodnoty z centerline. Tvorba 2D bufferu pomocí nativní funkce v QGIS a jeho následné rozebrání na body, vyhledávání a přiřazování Z souřadnice není příliš rychlá. Na druhou stranu pro modelové území

s menší rozlohou bylo použité řešení dostačující. Problém neúměrně dlouhé výpočetní doby by se pravděpodobně projevil až při podstatně větším zájmovém území. Skript taktéž neřeší atributy, výsledný 3D buffer postrádá atributy vstupní centerline. Pro účely této práce však nebyly třeba.

Rozvíjet by šlo samozřejmě i skript `stream_tool.py`. Z hlediska výpočetní efektivity se zdá být problematické především převedení intersect bodů (křížení vrstevnic a vodní toků) na rastr, což by opět u velkých zájmových území způsobovalo pravděpodobně problémy. Z hlediska funkcionality je nedořešená situace, kdy se jeden tok (tok 2. řádu) vlévá do jiného (tok 1. řádu). Jelikož jsou vertexy na každém z toků interpolovány samostatně, skript přiřadí ústí toku 2. řádu jinou nadmořskou výšku, než jakou má dané místo na toku 1. řádu. V modelovém území se tato situace vyskytuje pouze několikrát, a tak byl problém vyřešen manuálně. Nicméně při skutečně velkých datech a požadavku na precizní hydrologicky korektní DMT by bylo nutné problém vyřešit automatizovaně, pracovat s řádovostí vodních toků, aby na sebe výškově navazovala celá říční síť. Skript může najít využití nejen při tvorbě DMT pro účely podrobných 3D modelů území velkého měřítka, ale také například při tvorbě hydrologicky korektního DMT z vrstevnic pro provádění různých geomorfologických analýz reliéfu. Interpolovaná oblast na základě vlastností vodního toku (kostra údolí) by pravděpodobně mohla zpřesnit zmíněné analýzy. Druhým již drobnějším nedostatkem je samotná podstata lineární interpolace, neboť vodní toky mají větší sklon u pramene a menší u ústí. Jejich průběh je tedy nelineární. Tento jev byl zanedbán vzhledem k faktu, že je model určen pouze pro vizuální prezentaci. Použité vrstevnice jsou navíc poměrně podrobné (základní interval 2,5 m), a proto vystihují údolí toku dostatečně.

Jedním z dalších možných problémů, které by bylo vhodné automatizovaně řešit je průběh DMT pod budovami a dalšími objekty. V situaci, kdy data nemají dostatečnou přesnost dochází v některých místech k propadání budov pod terén (Obrázek 47), případně k jejich mírnému vznášení nad terénem. Problematika by si vyžádala pravděpodobně podstatně větší a náročnější programátorský zásah.

Obrázek 47: Budovy propadající se pod terén kvůli nerovnému půdorysu v DMT



Zdroj: Polák (2019)

6.3 Stručné zhodnocení open source SW

V práci bylo použito několik open source programů. U žádného z nich se neprojevil žádný zásadní problém, který by výrazně komplikoval použití, naopak se SW jevil velmi vhodně a užitečně. U QGISu se občas objevily pády aplikace při TIN interpolaci, případně nebyly respektovány breaklines (při použití multipart vrstev nebo polygonů – ty bylo lepší převést na linie). Výpočet byl velmi náročný na paměť RAM (interpolace více jak 700 000 bodů).

Meshroom defaultně spoléhá na prvky vnitřní orientace z databáze senzorů, kterou buduje komunita kolem softwaru. Program z Exif dat snímku získá informaci o modelu a výrobci kamery, následně ve své databázi vyhledá příslušnou kameru a k ní prvky IO (Meshroom 2020). Diskutabilní je přesnost takového postupu, jelikož u neměřických kamer se většinou odlišuje kus od kusu, a to i v rámci jednoho modelu od stejného výrobce (Choi, Lam, Wong 2006). Případně je možno provést kalibraci (viz metodika této práce) přímo pro kameru použitou uživatelem. Pokud použítá zkalibrovaná kamera není v databázi senzorů, je vhodné ji tam přidat a přispět tak open source komunitě. SW se jinak jeví velmi přívětivě z hlediska uživatelského ovládání, zároveň produkuje vizuálně i geometricky kvalitní výsledky. Nevýhodou se ukázala být velmi dlouhá doba potřebná k výpočtu modelu (v řádech desítek minut až hodin) a nutnost vlastnit GPU Nvidia pro kvalitní výsledek.

Blender se zmíněnými pluginy (fSpy-Blender, Blender GIS) a fSpy se ukázal jako velmi schopné řešení pro účely 3D modelací v oblasti GIS. Obzvláště za situace, kdy poslední verze SketchUp Make vyšla v roce 2017 (navíc je zdarma jen pro nekomerční účely) a do budoucna pravděpodobně již nebude rozvíjena, může být Blender užitečnou alternativou. Díky Blender GIS je možno naimportovat vektorová i rastrová prostorová data v podstatě jakémkoliv souřadnicovém systému. Zároveň je Blender podstatně komplexnější SW oproti SketchUpu. Obsahuje navíc například vestavěný animační a renderovací engine, obsahuje možnost tvorby vlastních textur, má více modelačních nástrojů a mnoho dalšího. Při importu SFM modelů do Blenderu by bylo možno využít i pluginů (addonů), které umí z Meshroomu do Blenderu (Photogrammetry importer nebo meshroom2blender) naimportovat model včetně pozic kamery při snímkování a správnými prvky IO (využitelné například pro camera tracking).

6.4 Vizualizace s pomocí Leaflet mapové aplikace

Pro vizualizaci modelu byla vytvořena interaktivní mapa s pomocí JavaScriptové knihovny Leaflet. Alternativně by bylo možno použít i další možnosti – OpenLayers nebo Google Maps API. Historická mapa byla přidána jako dlaždicovaný rastr. Leaflet samozřejmě umí načítat i vektorová data z formátu GeoJSON, nabízelo by se tak přidat do mapy historický podklad jako vektor. Otázkou zůstává, jak (a případně jestli vůbec) by fungovaly prvky pokročilejší mapové tvorby jako jsou například popisky v mapě a jejich maskování, případně skalní kresba. V mapě bylo použito také mnoho různých Leaflet pluginů, které rozšiřují základní funkcionality knihovny – průhlednost historické mapy, přidávání vrstev Google Maps, minimapa, fullscreen mód, responzivní pop-up okna aj. Z dalších pluginů by bylo možno použít ještě Leaflet.markercluster, který shlukuje body zájmu v místech, kde se překrývají, čímž přispívá k zvýšení čitelnosti mapy. Nebylo však zcela nezbytné používat tuto knihovnu, jelikož bodů zájmu v mapě nebylo příliš velké množství.

Pro prezentaci samotných 3D modelů byla využita služba Sketchfab, která umožňuje nahrát model na své servery a následně ho třeba vložit do vlastních stránek. Služba je však komerční a bezúplatně umožňuje nahrát pouze modely menší než 50 MB. Zároveň jsou nahrané modely automaticky k dispozici všem uživatelům, kteří si je mohou stáhnout a využívat ve svých projektech (nutná je pouze citace). Existují však i různá JavaScriptová řešení – např. blend4web využívající WebGL, dále existuje např. knihovna three.js, služby jako Google Poly, Trimble 3D Warehouse a další.

Jednou z možností by taky byla knihovna Cesium, která umí zobrazovat georeferencované modely včetně DMT.

7 Závěr

Práce se zabývala tvorbou 3D modelů zaniklých území a objektů. Řešeny byly problémy a obtíže, se kterými je možno běžně se setkat při vytváření takových modelů. Zejména byla práce zaměřena na fotogrammetrickou modelaci objektů z jediného snímku, což může být velmi užitečné pro modelaci z archivních dat, která mají často problematickou kvalitu a rozsah. Nechybí ani porovnání přesnosti se standardní SFM technikou. Výsledek byl prezentován s pomocí interaktivní Leaflet mapy, do které byly umístěny samotné modely prezentované skrz Sketchfab a rendery modelů. Pozornost byla též věnována tvorbě detailního DMT pro potřeby podrobných 3D modelací. Všechny stěžejní kroky práce byly provedeny v open source softwarech.

Problémem je absence literatury, která by propojovala klasickou fotogrammetrii, deskriptivní geometrii a GIS. Ačkoliv práce samotná si neklade za cíl stát se podrobným dílem na dané téma, poskytuje alespoň stručný pohled na zmíněnou problematiku. Zároveň se snaží jednotlivé informace provázat v kontextu všech zmíněných oborů. Takový příspěvek zde pravděpodobně dosud chyběl, pokud pomíneme dílo v práci často citovaného španělského výzkumného týmu (např. Garcia-Gago et al. 2014). Z hlediska praktického použití je občas problematická kvalita snímků, které mnohdy nemají ideální vlastnosti – kvalitní perspektivní geometrii aj. I přes to je metoda cenným příspěvkem na poli GIS, jelikož umožňuje vytěžít alespoň nějaké metrické údaje z jediného snímku, o kterém nemáme dostatečné informace (prvky IO/EO). Cílem není nahradit precizní techniky jako SFM a laserové skenování, jelikož těm jednosnímková metoda využívající geometrii objektu v obraze nemůže konkurovat v mnoha faktorech. Může však velmi dobře posloužit v momentě, kdy zmíněné metody nelze použít pro nedostatek vstupních dat.

Skripty pro tvorbu breaklines ukazují možnosti elementárního automatizovaného zpracování vstupních dat pro interpolaci DMT, kterého může být využito nejen pro 3D modely území, ale i pro mnoho dalších prostorových analýz, jež se běžně v prostředí GIS provádějí. Důraz na využití open source SW může být velmi užitečným příspěvkem pro soudobou oblast 3D GIS, kde jsou rozšířena především komerční řešení – ArcGIS, Sketchup, Lumion či PhotoScan a další.

Vzhledem k popularitě modelací zaniklých objektů, území a krajín by mohla jednosnímková metoda najít poměrně široké využití. Popularitu tématu je možno doložit množstvím absolventských prací zabývajících se tématem 3D modelace zaniklých území, případně existencí samotného projektu NAKI. Taktéž laiky a širokou veřejnost zajímají území, která rapidně změnila svou podobu, zejména během posledních dvou století. Často jsou to území, která se musela změnit v důsledku výstavby důležité infrastruktury, jež hraje významnou roli v našich životech (zásobárny vody, oblasti těžby surovin apod.), případně jsou spojena s historickým vývojem státu (vysídlení pohraničí po 2. sv. válce).

Výsledky práce mohou být použity nejen pro propagaci Spolku Přátel Zahrádky, který se velmi zasloužil o oživení tohoto unikátního místa a poskytl podstatnou část podkladových dat pro tuto práci. Práce může též přispět k zvýšení povědomí a zájmu o Zahrádku, její historii a osud, případně o život pátera Josefa Toufara, který je s obcí těsně spjat. Zároveň poskytuje digitální dokumentaci dané zaniklé obce, což je jistě cenným příspěvkem pro uchování kulturně-historického odkazu městyse a obyvatel, kteří v něm žili. Některé dílčí práce byly provedeny ve větším rozsahu, než bylo nezbytně nutné, model je tak možno v budoucnosti rozšířit.

8 Zdroje literatury

- ABHISHEK (2020): Mobile Vs Desktop Usage Statistics (2019 – 2020) Latest Data & Upcoming Trends, <https://laptopdiscovery.com/mobile-vs-desktop-usage-statistics/> (cit. 20. 3. 2020).
- ADOBE (2019): Adobe Photoshop Příručka uživatele – Úběžný bod, <https://helpx.adobe.com/cz/photoshop/using/vanishing-point.html> (cit. 4. 5. 2020).
- ADOBE (2017): Adobe Photoshop Příručka uživatele – Pokřivení perspektivy, <https://helpx.adobe.com/cz/photoshop/using/perspective-warp.html> (cit. 5. 5. 2020).
- ADOBE (2016): Adobe Photoshop Příručka uživatele – Korekce deformace a šumu obrazu, <https://helpx.adobe.com/cz/photoshop/using/correcting-image-distortion-noise.html> (5. 5. 2020).
- ALICEVISION (2020): Draft Meshing, <https://github.com/alicevision/meshroom/wiki/Draft-Meshing>.
- APPLE (2020): iPad Pro, <https://www.apple.com/cz/ipad-pro/> (27. 4. 2020).
- ARCDATA PRAHA (2016): Geografická databáze ArcČR 500, <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (cit. 23. 3. 2020).
- ARSLAN, O. (2014): 3D Object Reconstruction from a Single Image. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 1–3, 1, 21–28.
- BATTERSBY, S. E., FINN, M. P., USERY, E. L., YAMAMOTO, K. H. (2014): Implications of web mercator and its use in online mapping. *Cartographica*, 2, 49, 85–101.
- BERGOT, B. (2019): Leaflet.Control.FullScreen, <https://github.com/brunob/leaflet.fullscreen> (cit. 22. 3. 2020).
- BLALOU, F. (2016): Free charity / non-profit responsive Bootstrap 3 / HTML5 template, <https://github.com/farouk2u/sadaka> (cit. 20. 3. 2020).
- BŮHM, J. (2002): Fotogrammetrie, učební texty. Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava.
- ČELONK, M. (2017): Využití geoinformačních metod pro dokumentaci paleontologických ostatků. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK, Praha.
- ČIHÁK, J. (2015): Zahrádka na pohlednicích. Nová tiskárna Pelhřimov, Pelhřimov.
- ČÍŽEK, D. (2010): Jednoduchá jednosnímková fotogrammetrie, <http://people.fsv.cvut.cz/~hodacjin/simphoto/> (cit. 14. 5. 2020).
- ČUZK (2020a): Data200, [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(mdbqdc1hggd5d532fgpqexj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy_data200&text=dSady_mapyData200&head_t ab=sekce-02-gp&menu=229](https://geoportal.cuzk.cz/(S(mdbqdc1hggd5d532fgpqexj))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy_data200&text=dSady_mapyData200&head_t ab=sekce-02-gp&menu=229) (cit. 23. 3. 2020).
- ČUZK (2020b): Základní mapa České republiky 1:10 000, [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1sccdm25uec0kdtkmk5m0t2o\)\)/Default.aspx?menu=223&mode=TextMeta&side=mapy10&text=dsady_mapy10](https://geoportal.cuzk.cz/(S(1sccdm25uec0kdtkmk5m0t2o))/Default.aspx?menu=223&mode=TextMeta&side=mapy10&text=dsady_mapy10) (cit. 23. 3. 2020).
- ČUZK (2020c): Katalog produkce Zeměměřického úřadu. Praha.
- DARKTABLE TEAM (2016): A new module for automatic perspective correction, <https://www.darktable.org/2016/03/a-new-module-for-automatic-perspective-correction/> (cit. 14. 5. 2020).
- DHAKAR, L. (2019): Lightbox, <https://lokeshdhakar.com/projects/lightbox2/> (cit. 20. 3. 2020).
- DOLEŽAL, M. (2012): Jako bychom dnes zemřít měli. Nová tiskárna Pelhřimov, Pelhřimov.
- DOLEŽAL, M. (2015): Krok do tmavé noci. Těšínská tiskárna, Český Těšín.
- DUŠEK, R., MIŘÍJOVSKÝ, J. (2009): Vizualizace prostorových dat: Chaos v dimenzích. *Geografie-Sborník*, 3, 114, 169–178.
- ESRI PRESS TEAM (2017): Web Mapping 101, <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/uncategorized/web-mapping-101/> (cit. 17. 3. 2020).
- ELMARQUIS (2018): Leaflet.GestureHandling, <https://github.com/elmarquis/Leaflet.GestureHandling> (21. 3. 2020).
- EUROPEAN COMMISSION (2008): Photorealistic 3D Reconstruction of Perspective Paintings and Pictures, <https://cordis.europa.eu/project/id/17405> (cit. 11. 5. 2020).
- EYE SPY 360 (2020): 3D Virtual tours, 3D models & floor plans with video calling, <https://www.eyespy360.com/en/> (cit. 7. 5. 2020).
- FINE ART AMERICA (2020): Hogarth: False Perspective by Granger, <https://cz.pinterest.com/pin/406872147559877963/> (cit. 9. 5. 2020).
- FROHLICH, R., KATO, Z., TREMEAU, A., TAMAS, L., SHABO, S., WAKSMAN, Y. (2016): Region based fusion of 3D and 2D visual data for Cultural Heritage objects. *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*, 23, 2404–2409.
- FRÜHBAUER, F. (2017): Geometrické základy fotogrammetrie. Diplomová práce. Katedra didaktiky matematiky MFF UK, Praha.
- FRÜHBAUER, F. (2013): Rekonstrukce fotografického snímku. Bakalářská práce. Katedra didaktiky matematiky MFF UK, Praha.
- FALKINGHAM, P. (2018): Photogrammetry testing 14: AliceVision Meshroom, <https://peterfalkingham.com/2018/08/11/photogrammetry-testing-14-alicevision-meshroom/> (cit. 5. 5. 2020).
- FLANAGAN, D. (2006): JavaScript: The Definitive Guide, Fifth Edition. O'Reilly Media, Inc., Sebastopol.
- GANTELIUS, P. (2020): fSpy – The basics / Tutorial, <https://fsfy.io> (cit. 5. 5. 2020).
- GANTELIUS, P. (2018a): Retiring BLAM and announcing fSpy, <https://www.blendernation.com/2018/11/15/retiring-blam-and-announcing-fspy/> (cit. 5. 5. 2020).
- GANTELIUS, P. (2018b): Retiring BLAM and announcing fSpy – a stand alone camera matching app, <https://blenderartists.org/t/retiring-blam-and-announcing-fspy-a-stand-alone-camera-matching-app/1132588> (cit. 14. 5. 2020).
- GANTELIUS, P. (2018c): Blam, <https://github.com/stuffmatic/blam> (cit. 4. 8. 2020).
- GARCIA-GAGO, J., GOMEZ-LAHOZ, J., RODRÍGUEZ-MÉNDEZ, J., GONZÁLEZ-AGUILERA, D. (2014): Historical single image-based modeling: The case of Gobierna Tower, Zamora (Spain). *Remote Sensing*, 2, 6, 1085–1101.
- GEOJSON (2016): GeoJSON Specification, <https://geojson.org/> (cit. 19. 3. 2020).

- GKINTZOU, C., GEORGOPOULOS, A., MELÓN, J. M. V., MIRANDA, Á. R. (2012): Virtual Reconstruction of the Ancient State of a Ruined Church. In: *Progress in Cultural Heritage Preservation*, Springer, New York, 551–567.
- GONZALEZ-AGUILERA, D., GOMEZ-LAHOZ, J. (2008): From 2D TO 3D through modelling based on a single image. *Photogrammetric Record*, 122, 23, 208–227.
- GONZÁLEZ-AGUILERA, D., GÓMEZ-LAHOZ, J., RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P. (2011): An automatic approach for radial lens distortion correction from a single image. *IEEE Sensors Journal*, 4, 11, 956–965.
- GONZÁLEZ-AGUILERA, D., GOMEZ-LAHOZ, J., FINAT-CODES, J. (2012): A new method for vanishing points detection in 3D reconstruction from a single view. *Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop*, May.
- GONZÁLEZ-AGUILERA, D., GOMEZ-LAHOZ, J., FINAT-CODES, J. (2005): sv3DVision: 3D Reconstruction and Visualization From a Single View. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, W17, XXXVI–5, 8.
- GONZÁLEZ-AGUILERA, D., GOMEZ-LAHOZ, J. (2006): sv3DVision: Didactical Photogrammetric Software for Single Image-based Modeling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, Part 6, XXXVI, 171–178.
- GOOGLE (2020): Jak Google vytváří snímky ve Street View, <https://www.google.com/streetview/explore/> (cit. 7. 5. 2020).
- GSMARENA (2020): iPhone 12 Pro Max design fully revealed through leaked CAD renders, https://www.gsmarena.com/iphone_12_pro_max_design_fully_revealed_through_leaked_cad_renders-news-42734.php (cit. 27. 4. 2020).
- GUIDI, G., RUSSO, M. (2012): Diachronic 3D Reconstruction for Lost Cultural Heritage. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, March, XXXVIII-5/W16, 371–376.
- GUILLOU, E., MENEVEAUX, D., MAISEL, E., BOUATOUCH, K. (2000): Using Vanishing Points for Camera Calibration and Coarse 3D Reconstruction from A Single Image. *Visual Computer*, Springer-Verlag, 7, 16, 396–410.
- HEBEL, M. (2020): ShiftN 4.0, <http://www.shiftn.de/links.html> (cit. 14. 5. 2020).
- HESS, M., PETROVIC, V., MEYER, D., RISSOLO, D., KUESTER, F. (2015): Fusion of Multimodal Three-dimensional Data for Comprehensive Digital Documentation of Cultural Heritage Sites. *Digital Heritage*, 2015, 595–602.
- HODAČ, J. (2004): 3x3 pravidla pro jednoduchou fotogrammetrickou dokumentaci architektury, http://people.fsv.cvut.cz/~hodacin/3x3/3x3_pravidla.pdf (cit. 22. 6. 2020).
- CHIABRANDO, F., SAMMARTANO, G., SPANÒ, A., SPREAFICO, A. (2019): Hybrid 3D models: When geomatics innovations meet extensive built heritage complexes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3, 8.
- CHOI, K. S., LAM, E. Y., WONG, K. K. Y. (2006): Automatic source camera identification using the intrinsic lens radial distortion. *Optics Express*, 24, 14.
- INOUE, A., COHEN, M. (2010): Time-aware geomeia browsing integration with virtual environment. *Proceedings of the 13th International Conference on Humans and Computers*, 13, 47–54.
- IPR PRAHA (2020): 3D model Prahy, <https://app.iprpraha.cz/apl/app/model3d/> (cit. 7. 5. 2020).
- KRONIKA OBCE ZAHŘÁDKA (1977): Kronika obce Zahrádka, http://www.zahradka.euweb.cz/2_kronika_obce.html (cit. 24. 4. 2020).
- KRYSHENYK, P. (2013): 3D Vizualizace rekonstruovaných sídel ve webovém prostředí. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie Pff UK, Praha.
- KŘÍŽEK, M., UXA, T., MIDA, P. (2016): Praktikum morfometrických analýz reliéfu. Nakladatelství Karolinum, Praha.
- LAKSONO, D., ADITYA, T. (2019): Utilizing a game engine for interactive 3D topographic data visualization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 8.
- LEAFLET (2019a): Documentation, <https://leafletjs.com/reference-1.6.0.html> (cit. 19. 3. 2020).
- LEAFLET (2019b): Overview, <https://leafletjs.com/> (cit. 17. 3. 2020).
- LEAFLET (2019c): Using GeoJSON with Leaflet, <https://leafletjs.com/examples/geojson/> (cit. 21. 3. 2020).
- LUMION (2019): Photo Matching Tutorial 1: Quick Start, <https://support.lumion.com/hc/en-us/articles/360037122794-Photo-Matching-Tutorial-1-Quick-Start> (cit. 5. 5. 2020).
- MAIWALD, F., VIETZE, T., SCHNEIDER, D., HENZE, F., MÜNSTER, S., NIEBLING, F. (2017): Photogrammetric analysis of historical image repositories for virtual reconstruction in the field of digital humanities. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2W3, 42, 447–452.
- MAREK, R. (2018): Tvorba 3D modelů z dat UAV. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie Pff UK, Praha.
- MELLOW, G. (2013): Find All the Absurdities, <https://blogs.scientificamerican.com/symbiartic/hogarth-perspective-puzzle/> (cit. 9. 5. 2020).
- MENDLOVÁ, B. (2013): Zaniklá obec Zahrádka a proces její likvidace. Bakalářská práce. Katedra antropologie, Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni, Plzeň.
- MESHROOM (2020): Meshroom Manual, <https://meshroom-manual.readthedocs.io/en/latest/index.html> (cit. 21. 6. 2020).
- MESHROOM (2019): Meshroom – open source photogrammetry software, <https://alicevision.org/#meshroom> (cit. 22. 6. 2020).
- MOHOROVIČIĆ, S. (2013): Implementing Responsive Web Design for Enhanced Web Presence. *International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO*, 20–24, 36, 1206–1210.
- MOMENT (2020): Fisheye 14mm Lens, <https://www.shopmoment.com/shop/moment-fisheye-14mm-lens#slide-1> (cit. 13. 5. 2020).
- MOUSOURIS, S., STYLARAS, G. (2014): Implementing digital cultural heritage map. *IISA 2014 - 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, 5.
- Mozilla web docs (2020): JavaScript, <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript> (cit. 18. 3. 2020).
- MURTIYOSO, A., GRUSSENMEYER, P., FREVILLE, T. (2017): Close range UAV accurate recording and modeling of St-Pierre-Le-Jeune Neo-Romanesque church in Strasbourg (France). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2W3, 42, 519–526.
- MURSHED, S. M., AL-HYARI, A. M., WENDEL, J., ANSART, L. (2018): Design and implementation of a 4D web application for analytical visualization of smart city applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7, 7.
- NIKON (2011): Technické specifikace – Nikon Coolpix P90, https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2011/coolpix-p90 (cit. 15. 6. 2020).

- NPU (2020): Národní Památkový Ústav – kostel sv. Víta v Zahrádce, <https://www.kostel-zahradka.cz/cs> (cit. 22. 3. 2020).
- NGA (2014): Standardization document: Implementation Practice – Web Mercator Map Projection. National Geospatial-Intelligence Agency, Fort Belvoir.
- NORKART (2018): Leaflet.MiniMap, <https://github.com/Norkart/Leaflet-MiniMap> (cit. 21. 3. 2020).
- ORTEGA, I. S. (2019): Leaflet.GridLayer.GoogleMutant, <https://gitlab.com/IvanSanchez/Leaflet.GridLayer.GoogleMutant> (cit. 21. 3. 2020).
- PACINA, J., BREJCHA, M. (2014): Digitální modely terénu. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem.
- PAVELKA, K. (2003): Fotogrammetrie 10. Vydavatelství ČVUT, Praha.
- PAVLÍČEK, F. (2019): Analýza generování rastrových a vektorových mapových dlaždic. Diplomová práce. Katedra geoinformatiky Pff UP, Olomouc.
- PHOTOMODELER (2020): Can I use PhotoModeler to model an object from a single photo? For example, a photo from a book?, https://www.photomodeler.com/kb/can_i_use_photomodeler_to_model_an_objec/ (cit. 5. 5. 2020).
- PHOTOMODELER (2019): Proper perspective for Axes Constraints, <https://www.photomodeler.com/downloads/OnlineHelp/index.html#!properperspectiveforaxesconstraints.htm> (cit. 5. 5. 2020).
- PICK3DPRINTER (2020): 10 Biggest 3D Printer Manufacturers in the World, <https://pick3dprinter.com/3d-printer-companies/> (cit. 5. 5. 2020).
- POLÁK, M. (2019): Zaniklá krajina horského zemědělství na Šumavě: rekonstrukce, 3D modely krajiny a možnosti jejich prezentace v prostředí webu. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie Pff UK, Praha.
- POPELKA, S., BRYCHTOVÁ, A. (2011): Olomouc - Possibilities of Geovisualization of the Historical City. Geoinformatics FCE CTU, 6, 267–274.
- POVODÍ VLTAVY (2020): Hladiny vody v nádržích – VD Švihov, <http://www.pvl.cz/portal/Nadrze/cz/pc/Mereni.aspx?id=ZESV&oid=2> (cit. 30. 6. 2020).
- PRUSA RESEARCH (2018): Fotogrammetrie 2 – 3D skenování jednodušší než kdy dřív!, <https://josefprusa.cz/fotogrammetrie-2-3d-skenovani-jednodussi-nez-kdy-driv/> (cit. 5. 5. 2020).
- TAN, T., SULLIVAN, G., BAKER, K. (1995): Recovery of Intrinsic and Extrinsic Camera Parameters using Perspective Views of Rectangles. Department of Computer Science, The University of Reading, 177–186.
- THATSMATHS (2015): Maps on the Web, <https://thatsmaths.com/2015/05/28/maps-on-the-web/> (cit. 19. 3. 2020).
- THEASYS (2020): Theasys 360° Virtual Tour Samples, <https://www.theasys.io/samples/> (cit. 7. 5. 2020).
- TORRES-MARTÍNEZ, J. A., SEDDAIU, M., RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P., HERNÁNDEZ-LÓPEZ, D., GONZÁLEZ-AGUILERA, D. (2016): A multi-data source and multi-sensor approach for the 3D reconstruction and web visualization of a complex archaeological site: The case study of "Tolmo De Minateda." Remote Sensing, 7, 8.
- TRÖSTL, M. (2013): Vlivy na kvalitu fotoplánu vytvořeného pomocí jednoho snímku. Diplomová práce. Fakulta stavební ČVUT, Praha.
- UNESCO (2020): Interactive Map, <https://whc.unesco.org/en/interactive-map/> (cit. 16. 6. 2020).
- Red Hat (2020): What is an API, <https://www.redhat.com/en/topics/api/what-are-application-programming-interfaces> (cit. 18. 3. 2020).
- REINOSO, J. F., MONCAYO, M., BARRERA, D. (2014): Close-range photogrammetry applied to the documentation of cultural heritage using telescopic and wide-angle lenses. Imaging Science Journal, 7, 62, 387–394.
- REMONDINO, F., RIZZI, A. (2010): Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites-techniques, problems, and examples. Applied Geomatics, 3, 2, 85–100.
- RENZOVA, M. (2018): Restaurování části nástěnných maleb na severní stěně lodi kostela sv. Víta v Zahrádce. Diplomová práce. Katedra humanitních věd FR, Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, Pardubice.
- RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P., CAMPO, Á. G., MUÑOZ-NIETO, Á. L., SÁNCHEZ-APARICIO, L. J., GONZÁLEZ-AGUILERA, D. (2019): Diachronic reconstruction and visualization of lost cultural heritage sites. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2, 8.
- RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P., MUÑOZ-NIETO, A. L., DELPOZO, S., SANCHEZ-APARICIO, L. J., GONZALEZ-AGUILERA, D., MICOLI, L., BARSANTI, S. G., GUIDI, G., MILLS, J., FIEBER, K., HAYNES, L., HEJMANOWSKA, B. (2017): 4D reconstruction and visualization of cultural heritage: Analyzing our legacy through time. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2W3, 42, 609–616.
- ROSSINI, M. (2017): Camera Calibration using Perspective Views of Rectangles, <https://github.com/mrossini-ethz/camera-calibration-pvr> (cit. 4. 8. 2020).
- SAEGUSA, T., CHIKATSU, H. (2003): 3D Modeling and Representation of "Ideal City" Painted By Piero Della Francesca. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXV.
- SAVOLAINEN, S. (2015): Monitoring of ArcGIS WMTS services, <https://www.spatineo.com/monitoring-arcgis-wmts/> (cit. 19. 3. 2020).
- SEZNAM.CZ (2020): Panorama, <https://napoveda.seznam.cz/cz/mapy-panorama/> (cit. 7. 5. 2020).
- SPOLEK PŘÁTELÉ ZAHŘÁDKY (2020a): Stanovy Spolku Přátel Zahrádky, www.zahradka.euweb.cz (cit. 22. 3. 2020).
- SPOLEK PŘÁTELÉ ZAHŘÁDKY (2020b): Stránky Spolku Přátel Zahrádky, www.zahradka.euweb.cz (cit. 24. 3. 2020).
- SPOLEK PŘÁTELÉ ZAHŘÁDKY (2019): Archiv Spolku. Kežlice.
- STANĚK, J. (2013): Kapitoly z fotogrammetrie. Střední průmyslová škola zeměměřická v Praze, Praha.
- STATISTA (2020): Device usage of Facebook users worldwide as of January 2020, <https://www.statista.com/statistics/377808/distribution-of-facebook-users-by-device/> (cit. 19. 3. 2020).
- SURYNKOVÁ, P. (2013): Výukové materiály MFF UK: Geometrie ve výtvarném umění, <https://docplayer.cz/11471583-Geometrie-ve-vytvarnem-umeni.html> (cit. 9. 5. 2020).
- SVENNERBERG, G. (2010): Beginning Google Maps API 3. Apress Media LLC, New York City.
- ŠESTÁKOVÁ, I. (2020): Deskriptivní geometrie I – elektronická skripta, <https://www.fa.cvut.cz/cs/studium/predmety/4962-deskriptivni-geometrie-i/materialy> (cit. 15. 5. 2020).

- ŠIMBERA, J. (2018): Souřadnicové systémy, <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuce-gis-kartografie-a-dpz/souradnicove-systemy/> (cit. 18. 3. 2020).
- ŠIMÍČEK, M. (2014): Implementace metody structure from motion do UAV fotogrammetrie. Diplomová práce. Katedra geoinformatiky PřF UP, Olomouc.
- YET, F. (2019): Leaflet Responsive Popup, <https://github.com/yafred/leaflet-responsive-popup> (cit. 21. 3. 2020).
- VGHMŮŘ DOBRUŠKA (2019): Archiv leteckých měřických snímků, <http://www.mapy.army.cz/historicke-lms> (cit. 16. 4. 2020).
- VICHROVÁ, M., HÁJEK, P., KEPKA, M., JANEČKA, K., ČADA, V., JEDLIČKA, K., FIALA, R., STREJCOVÁ, J. (2014): Vybrané 3D modely objektů projektu „Krajina paměti, Drážďany a Terežín jako místa vzpomínek na ŠOA“. In: ŠVEJDA, A. (ed.): Z dějin geodézie a kartografie. Národní technické muzeum, Praha, 171-179.
- VUT (2012): Výukový CD-ROM: Deskriptivní geometrie pro kombinované studium pro I. ročník Stavební fakulty. Stavební fakulta VUT, Brno.
- WALTER, V., HERMAN, L., STACHOŇ, Z. (2015): Reconstructive 3D Models of the Brno for the Years 1400, 1645 and 1749 and Their Use in Education. Proceedings of the 1st ICA European Symposium on Cartography, November, 266–271.
- WESTOBY, M. J., BRASINGTON, J., GLASSER, N. F., HAMBREY, M. J., REYNOLDS, J. M. (2012): "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, December, 179, 300–314.
- WOJCIECHOWSKA, G., LUCZAK, J. (2018): Use of close-range photogrammetry and UAV in documentation of architecture monuments. *E3S Web of Conferences*, 71.
- XIAO, W., MILLS, J., GUIDI, G., RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P., GONIZZI BARSANTI, S., GONZÁLEZ-AGUILERA, D. (2018): Geoinformatics for the conservation and promotion of cultural heritage in support of the UN Sustainable Development Goals. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 142, 389–406.
- Zahrádka (2020): Facebook: Zahrádka u Ledče nad Sázavou, <https://www.facebook.com/zahradkazelivka/> (cit. 20. 3. 2020).
- QR CODE MONKEY (2020): The 100 % free QR Code generator, <https://www.qrcode-monkey.com/> (cit. 16. 6. 2020).

9 Přílohy

9.1 Přílohy vložené na konci práce

Příloha 1: Skript <code>stream_tool.py</code> v programovacím jazyce Python 3.....	1
Příloha 2: Skript <code>3Dbuffer_road_tool.py</code> v programovacím jazyce Python 3	4
Příloha 3: Terénní tvary namodelované s pomocí <code>breaklines</code>	6
Příloha 4: Retušování nedokonalostí na SFM modelech.....	11
Příloha 5: JavaScriptový kód Leaflet aplikace	13
Příloha 6: Rendery modelů.....	17

9.2 Ostatní přílohy

Jednotlivé 3D modely objektů je možné stáhnout ze služby Sketchfab.

7. Rendery výsledného modelu
8. JavaScriptový kód zajišťující běh interaktivní mapy
9. Python skripty pro automatizovanou tvorbu `breaklines`

Příloha 1: Skript `stream_tool.py` v programovacím jazyce Python 3

Skript je možno spustit přímo z vestavěného editoru v QGISu po doinstalování knihovny PyShp. Nejprve jsou naimportovány všechny potřebné knihovny, následně jsou definovány cesty ke vstupním souborům (`contours`: vrstva výškopisu, `streams`: vrstva toků, `output`: výstupní vrstva zinterpolovaných vodních toků, `height_field`: název atributu s uloženou nadmořskou výškou u vrstvy výškopisu). Nejprve jsou definovány 3 funkce (budou vysvětleny později), následně jsou vstupní toky převedeny na singlepart features (`qgis:multiparttosingleparts`). Poté jsou v místě křížení toků a výškopisných dat vytvořeny body nesoucí příslušnou nadmořskou výšku (`qgis:lineintersections`). Tyto body jsou převedeny na rastr (`gdal:rasterize`), ostatním pixelům byla přiřazena 0, jakožto noData value. Funkce `saga:splitlineswithlines` rozseká vrstvu toků na kousky liniemi výškopisu, čímž jsou vytvořeny vertexy v místech křížení toků a vrstevnic (břehovky). Na nově vzniklou vrstvu rozsekaných toků je aplikována funkce `qgis:setzfromraster`, která přiřadí Z hodnotu příslušným vertexům (z rastru vytvořeného v předchozím kroku), vertexům nacházejících se na noData pixelech je dána null value (0). Až dosud tak byly využívány nativní funkce QGISu, případně SAGA GISu a knihovny GDAL.

Následuje samotná interpolace hodnot s pomocí knihovny PyShp. Je vytvořena nová vrstva (`output`), zároveň je otevřen výstup z funkce `qgis:setzfromraster`, nad jehož prvky (features) je iterováno. Také je volána vytvořená funkce `interpolate_line(geometry2D, z_values)`, která z bodů dané linie vezme vždy X a Y souřadnici bodu, zároveň přidá novou dointerpolovanou Z souřadnici a poskládá linii z bodů zpět. Pro účely výpočtu nových Z souřadnic existuje funkce `measure_distance(points_list, coorZ)`, ve které je vypočítána eukleidovská vzdálenost mezi sousedními body linie a uložena do seznamu. Poslední vytvořenou funkcí je `new_Z_list(list_distance, total_distance, first_Z, last_Z)`, která právě z vypočtených vzdáleností mezi body a převýšením mezi koncovými body linie počítá lineární interpolaci nové Z souřadnice a ukládá je do seznamu. Jelikož byly linie rozsekané na kusy aplikací funkce `saga:splitlineswithlines`, jsou tyto kousky opět poskládány zpět v řídicím (hlavním) `for` cyklu skriptu. Testován je vždy koncový a počáteční bod 2 potenciálních kusů. Pokud jsou body identické, je linie spojena zpět do jedné. Nakonec proběhne pokus o vymazání všech vrstev vytvořených skriptem, které jsou zamýšleny pouze jako dočasné. Jedná se skutečně jen o pokus, jelikož v mnoha případech soubory zůstávají nesmazány. Problémem je spouštění skriptu přímo z otevřeného QGISu, resp. z jeho vestavěného editoru. QGIS si na vrstvách pravděpodobně vytváří zámky. Vrstvy je bohužel nutné smazat ručně po doběhnutí skriptu.

```
import os
import shapefile
from math import sqrt
import glob
from pathlib import Path

##### info from user #####
contours = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/DMT/toky_breaklines/linie_merge.shp")
streams = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/DMT/toky_breaklines/toky_clip.shp")
output = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/DMT/toky_breaklines/streams_interpolated.shp")
height_field = "vysk_balt" # elevation field of contours layer
#####

# calculating new Z values using distances between points and Z values of first and last point on line.
def new_Z_list(list_distance, total_distance, first_Z, last_Z):
    new_list_Z = []
    elevation_diff = first_Z - last_Z
    new_list_Z.append(first_Z)
    for dist in list_distance:
        try:
            new_Z = first_Z - (dist / total_distance * elevation_diff)
        except ZeroDivisionError:
            new_Z = first_Z # for cases when total_distance or elevation_diff is zero
        new_list_Z.append(new_Z)
        first_Z = new_Z
    new_list_Z[-1] = last_Z
    return new_list_Z

# function for measuring distance between points
def measure_distance(points_list, coorZ):
    # save distances to list
    distance_list = []
    point1 = points_list[0]
    distance_total = 0
    # iterate over points, calculating distances between them
    for point in range(len(points_list) - 1):
        point2 = points_list[point + 1]
        distance = sqrt((point1[0] - point2[0]) ** 2 + (point1[1] - point2[1]) ** 2)
        distance_list.append(distance)
        distance_total = distance_total + distance
        point1 = point2
    return new_Z_list(distance_list, distance_total, coorZ[0], coorZ[-1])

# function for interpolating Z value on line with only endZ and startZ point
def interpolate_line(geom_points, z_coor):
    polylineZ = []
    # first 2 conditions - just for special cases - if first or last point
    # doesnt have Z coor (typically estuary or source of flow).
    if ((z_coor[0] == 0) and (z_coor[-1] != 0)):
        Z = z_coor[-1]
```

```

    for coor in geom_points:
        polylineZ.append([coor[0], coor[1], Z])
    return polylineZ
elif ((z_coor[-1] == 0) and (z_coor[0] != 0)):
    Z = z_coor[0]
    for coor in geom_points:
        polylineZ.append([coor[0], coor[1], Z])
    return polylineZ
else: # for most cases
    z_coor = measure_distance(geom_points, z_coor)
    z_counter = 0
    # iterate over coordinates of 2D buffer
    for coor in geom_points:
        polylineZ.append([coor[0], coor[1], z_coor[z_counter]])
        z_counter = z_counter + 1
    return polylineZ

workspace = os.path.dirname(output)

# only singlepart features are desirable
singlepart = processing.run("qgis:multiparttosingleparts", { 'INPUT' : streams,
    'OUTPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_singlepart.shp') })

# create points on intersection of streams and contours
line_intersection = processing.run("qgis:lineintersections", { 'INPUT' : contours,
    'INPUT_FIELDS' : [],
    'INTERSECT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_singlepart.shp'),
    'INTERSECT_FIELDS' : [],
    'INTERSECT_FIELDS_PREFIX' : '',
    'OUTPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_line_intersection.shp')
    })

# this layer will be extent for rasterizing
ext = QgsVectorLayer(streams,"points","ogr")

# acquire bounding box of layer
extent = ext.extent()
xmin = extent.xMinimum()
xmax = extent.xMaximum()
ymin = extent.yMinimum()
ymax = extent.yMaximum()

# Create raster from intersection point. Pixels have height value, or noData value (zero)
rasterize = processing.run("gdal:rasterize",
    { 'BURN' : 0,
    'DATA_TYPE' : 5,
    'EXTENT' : str(xmin) + "," + str(xmax) + "," + str(ymin) + "," + str(ymax),
    'EXTRA' : '',
    'FIELD' : height_field, # originally height field from contours
    'HEIGHT' : 1, # pixel size
    'INIT' : None,
    'INPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_line_intersection.shp'),
    'INVERT' : False,
    'NODATA' : 0, # noData is zero
    'OPTIONS' : '',
    'OUTPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_raster.tiff'),
    'UNITS' : 1,
    'WIDTH' : 1 # pixel size
    })

# split streams with contours
split_liens = processing.run("saga:splitlineswithlines", {
    'INTERSECT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_splited_lines.shp'),
    'LINES' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_singlepart.shp'),
    'OUTPUT' : 1,
    'SPLIT' : contours
    })

# add Z value from rasterized intersection point to splited streams
# so, start and end point of line will be given elevation (height field)
# line between start and end point will be given noData value (zero)

drape = processing.run("qgis:setzfromraster", { 'BAND' : 1,
    'INPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_splited_lines.shp' ),
    'NODATA' : 0,
    'OUTPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_3Dstreams.shp'),
    'RASTER' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_raster.tiff'),
    'SCALE' : 1 })

# read input shp - 3D line with elevation in start and end point
input_shp = shapefile.Reader(os.path.abspath(workspace + '/tmp_3Dstreams'))

# create new layer - interpolated 3D line
# 3D line with linearly interpolated values between start and end point
write = shapefile.Writer(output, shapeType=13, encoding="utf8") # shapetype=13 --> polylineZ
write.autoBalance = 1 # it helps to make valid shp file
write.field("OID", "N") # 1 unimportant attribute

merged = []
for geom in input_shp.iterShapes():
    geometry2D = geom.points
    # saga gis sometimes produces invalid unnecessary lines during split line by line algorithm with same start and end point
    if (geometry2D[0][0] == geometry2D[-1][0]) and (geometry2D[0][1] == geometry2D[-1][1]):
        pass
    else:

```

```
z_values = geom.z
interpolated_line = interpolate_line(geometry2D, z_values)
# merge splited lines
if len(merged) == 0:
    merged = interpolated_line
elif merged[-1] == interpolated_line[0]:
    merged = merged + interpolated_line[1:]
else:
    write.linez([merged])
    merged = interpolated_line

# for last feature:
write.linez([merged])

write.close()
input_shp.close()
"""
dissolve = processing.run("qgis:dissolve", { 'FIELD' : [],
'INPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_3Dinterpolated.shp'),
'OUTPUT' : output })
"""
# delete temporary files
temporary_shp = glob.glob(workspace + "[tmp]*.shp")
for shp_file in temporary_shp:
    QgsVectorFileWriter.deleteShapeFile(shp_file)

# just for sure - QgsVectorFileWriter.deleteShapeFile() didnt remove all temporary shapefiles sometimes???
# here is another way of listing files instead of glob.glob
for file in Path(workspace).iterdir():
    file_name = Path(file).stem
    if str(file_name[0:4]) == "tmp_":
        try:
            os.remove(file)
        except PermissionError:
            pass
```


Příloha 2: Skript 3Dbuffer_road_tool.py v programovacím jazyce Python 3

Skript je možno spustit přímo z vestavěného editoru v QGISu po doinstalování knihovny PyShp. Nejprve jsou naimportovány všechny potřebné knihovny, následně jsou definovány cesty ke vstupním souborům (`input_path`: cesta k liniové 3D vrstvě, `output_path`: cesta k výstupnímu 3D bufferu, `width_atr`: název atributu liniové vrstvy, ve kterém je uložena šířka silnice). Následně jsou definovány 2 funkce, jež budou vysvětleny později. Vstupní liniové komunikace (centerlines) jsou převedeny na singlepart features (`qgis:multiparttosingleparts`), následně je kolem nich vytvořen obyčejný 2D buffer (`native:buffer`), šířka bufferu pro danou linii je převzata ze zadaného atributu.

Následně je s pomocí knihovny PyShp vytvořena nová vrstva a přes prvky (features) centerline je iterováno ve `for` cyklu. Vytvořená funkce `make_buff3D(geometry3D, buff_2D)` má za vstupy 3D geometrii centerline a k ní příslušící 2D buffer. Každému bodu ze vstupního 2D bufferu je přiřazena Z souřadnice z nejbližšího bodu centerline, čímž je vytvořen 3D buffer. Vyhledávání nejbližšího 3D bodu z centerline k danému 2D bodu vstupního bufferu probíhá ve funkci `nearest3Dpoint(geometry_3D, point_2D)`, která vrací index nejbližšího 3D bodu centerline. Po vytvoření 3D bufferu jsou všechny jeho features spojeny (`qgis:dissolve`) do 3D polygonů, který představuje silniční tělesa. Problém s mazáním dočasných vrstev se bohužel projevuje i u tohoto skriptu (viz příloha 1).

```
import os
import glob
import shapefile
from math import sqrt
from pathlib import Path

#### input info from user #####
"""
input_path = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/DMT/toky_breaklines/blaz_potok.shp")
output_path = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/DMT/toky_breaklines/blaz_potok_polygon.shp")

input_path = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/data_GIS/komunikace/komunikace_smooth2.shp")
output_path = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/data_GIS/komunikace/komunikace_smooth2_buff.shp")
"""
input_path = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/data_GIS/komunikace/komunikace_drape.shp")
output_path = os.path.abspath("A:/skola_uk/Zahradka/bakalarka/data_GIS/komunikace/komunikace_polygon.shp")
width_atr = "sirka"
#####

# function for finding nearest point with Z value from list of given points with Z
def nearest3Dpoint(geometry_3D, point_2D):
    feat_counter = 0
    # measuring distance between given point_2D and first point from geometry_3D
    d = QgsDistanceArea()
    input_geom = QgsPointXY(geometry_3D[0][0], geometry_3D[0][1])
    buff_geom = QgsPointXY(point_2D[0], point_2D[1])
    distance = d.measureLine(input_geom, buff_geom) #alternatively: sqrt( (geometry_3D[0][0] - point_2D[0])**2 +
(geometry_3D[0][1] - point_2D[1])**2 )
    nearest = [0, distance] # first is index of point (vertex), second is distance
    # iterating over the points of given 3D geometry:
    for coor in geometry_3D:
        d = QgsDistanceArea()
        input_geom = QgsPointXY(coor[0], coor[1])
        buff_geom = QgsPointXY(point_2D[0], point_2D[1])
        distance = d.measureLine(input_geom, buff_geom)
        # alternatively through analytical geometry: distance = sqrt( (coor[0] - point_2D[0])**2 + (coor[1] -
point_2D[1])**2 )
        # if distance of current point in for loop is smaller than distance of first point (see above), write it to
the list:
        if distance < nearest[1]:
            nearest[0] = feat_counter
            nearest[1] = distance
            feat_counter = feat_counter + 1
    return nearest[0] # return index of nearest 3D point

# function, that gives third coordinate Z to every vertex of 2D buffer
def make_buff3D(geometry3D, buff_2D):
    geometry3D_points = geometry3D.points
    buff2D_points = buff_2D.points
    polygonZ = []
    z_coor = geometry3D.z # list of Z coordinates of input 3D geometry
    # iterate over coordinates of 2D buffer
    for coor2D in buff2D_points:
        index_z_coor = nearest3Dpoint(geometry3D_points, coor2D) # index of nearest 3D point
        polygonZ.append([coor2D[0], coor2D[1], z_coor[index_z_coor]]) # PySHP library doubled first point of polygon
automatically
    return polygonZ

workspace = os.path.dirname(output_path)
# only singlepart features are desirable
singlepart = processing.run("qgis:multiparttosingleparts", { 'INPUT' : input_path,
'OUTPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_singlepart.shp') })

buffer = processing.run("native:buffer", {'INPUT': os.path.abspath(workspace + '/tmp_singlepart.shp'),
'DISTANCE': QgsProperty.fromExpression(width_atr + ' / 2'),
'SEGMENTS': 3,
'DISSOLVE': False,
```

```
'END_CAP_STYLE': 1,
'JOIN_STYLE': 0,
'MITER_LIMIT': 2,
'OUTPUT': os.path.abspath(workspace + '/tmp_buff2D.shp'))})

input_path = os.path.abspath(workspace + '/tmp_singlepart.shp')
input_buff_path = os.path.abspath(workspace + '/tmp_buff2D.shp')

# read input shp and 2D buffer
input_shp = shapefile.Reader(input_path)
input_buff = shapefile.Reader(input_buff_path)

# create new layer (3D buffer)
write = shapefile.Writer(os.path.abspath(workspace + '/tmp_buff3D.shp'), shapeType=15, encoding="utf8") #
shapetype=15 --> polygonZ
write.autoBalance = 1 # it helps to make valid shp file
write.field("OID", "N") # 1 unimportant attribute

buff_counter = 0
# iteration over input_shp, "body" of the script
for geom in input_shp.iterShapes():
    buff3D = make_buff3D(geom, input_buff.shape(buff_counter))
    write.polyz([buff3D])
    buff_counter = buff_counter + 1

write.close()
input_shp.close()
input_buff.close()

# dissolve all features
dissolve = processing.run("qgis:dissolve", { 'FIELD' : [],
      'INPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_buff3D.shp'),
      'OUTPUT' : os.path.abspath(workspace + '/tmp_dissolve.shp') })

# only singlepart features are desirable
singlepart = processing.run("qgis:multiparttosingleparts", { 'INPUT' : os.path.abspath(workspace +
'/tmp_dissolve.shp'),
      'OUTPUT' : output_path })

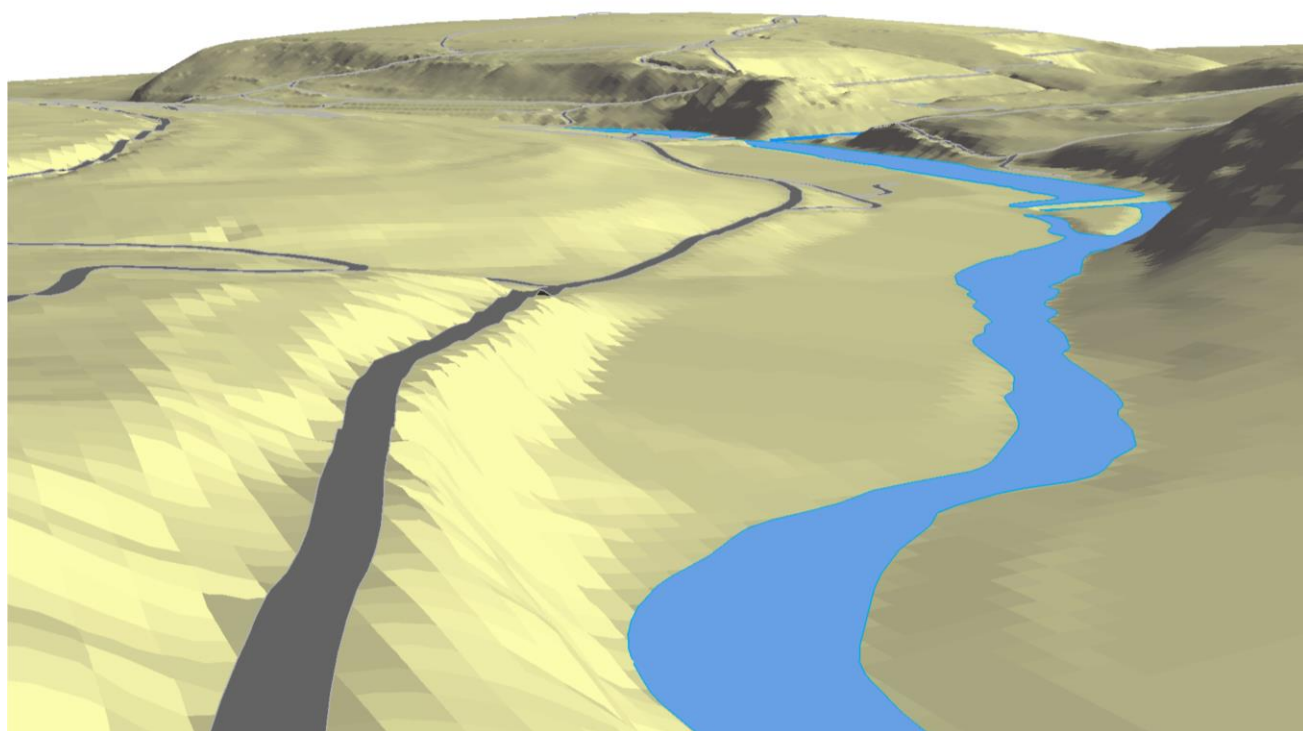
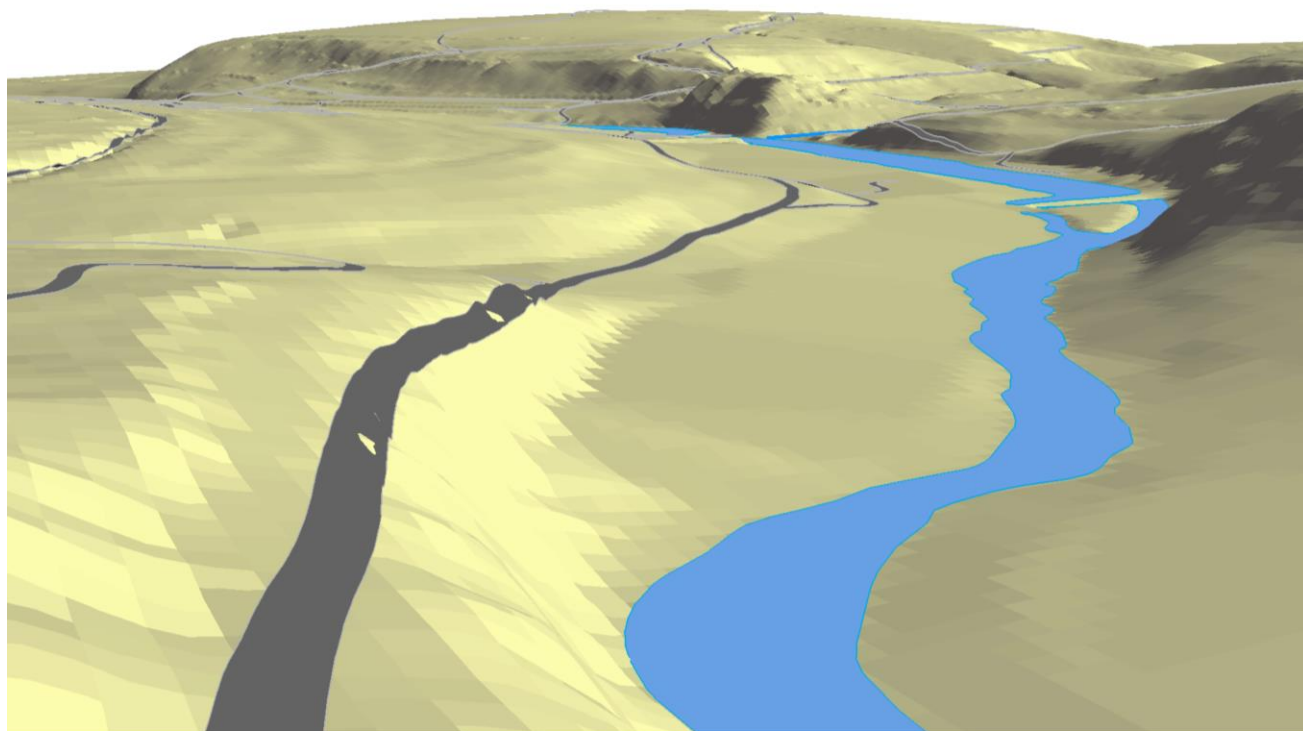
# delete temporary files
temporary_shp = glob.glob(workspace + "[tmp]*.shp")
for shp_file in temporary_shp:
    QgsVectorFileWriter.deleteShapeFile(shp_file)

# just for sure - QgsVectorFileWriter.deleteShapeFile() didnt remove all temporary shapefiles sometimes???
# here is another way of listing files instead of glob.glob
for file in Path(workspace).iterdir():
    file_name = Path(file).stem
    if str(file_name[0:4]) == "tmp_":
        try:
            os.remove(file)
        except PermissionError:
            pass
```

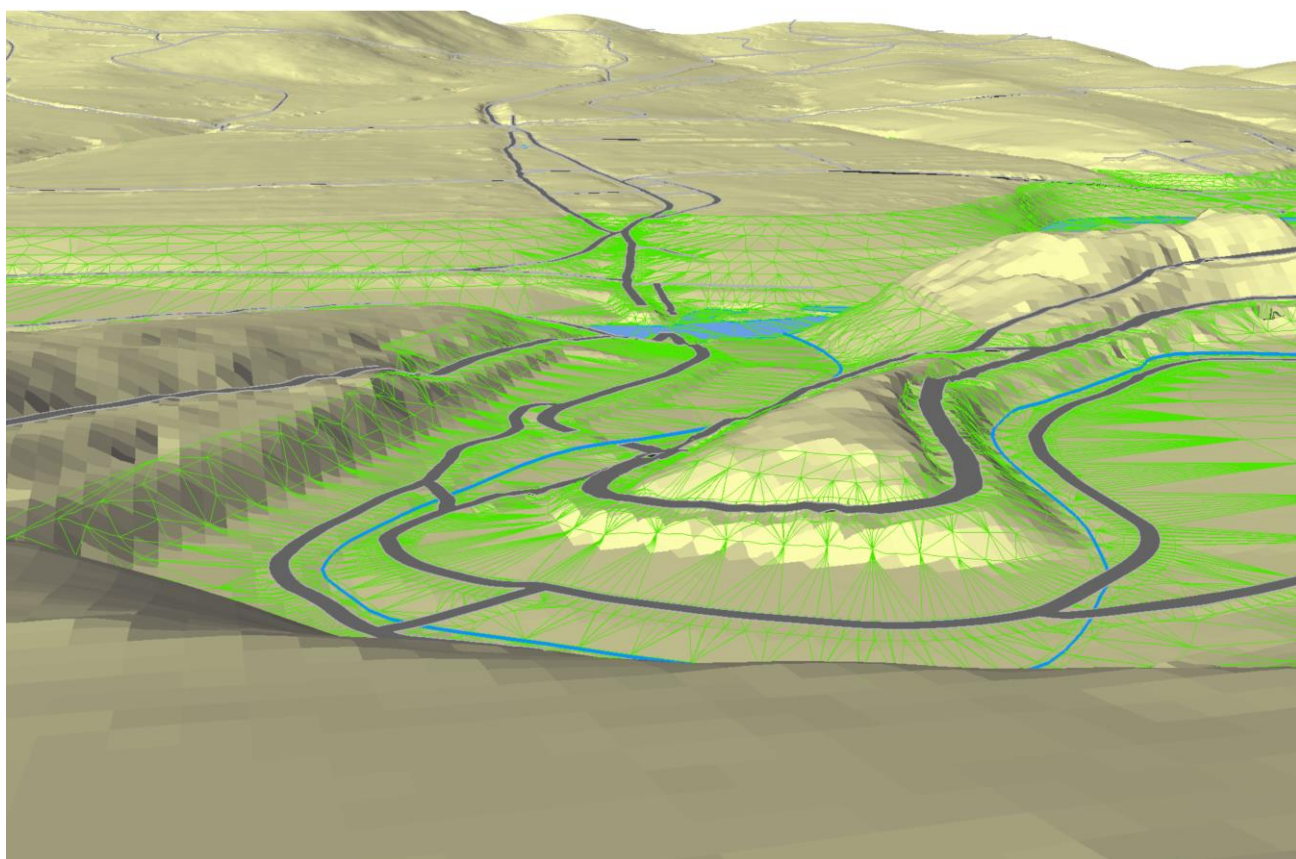
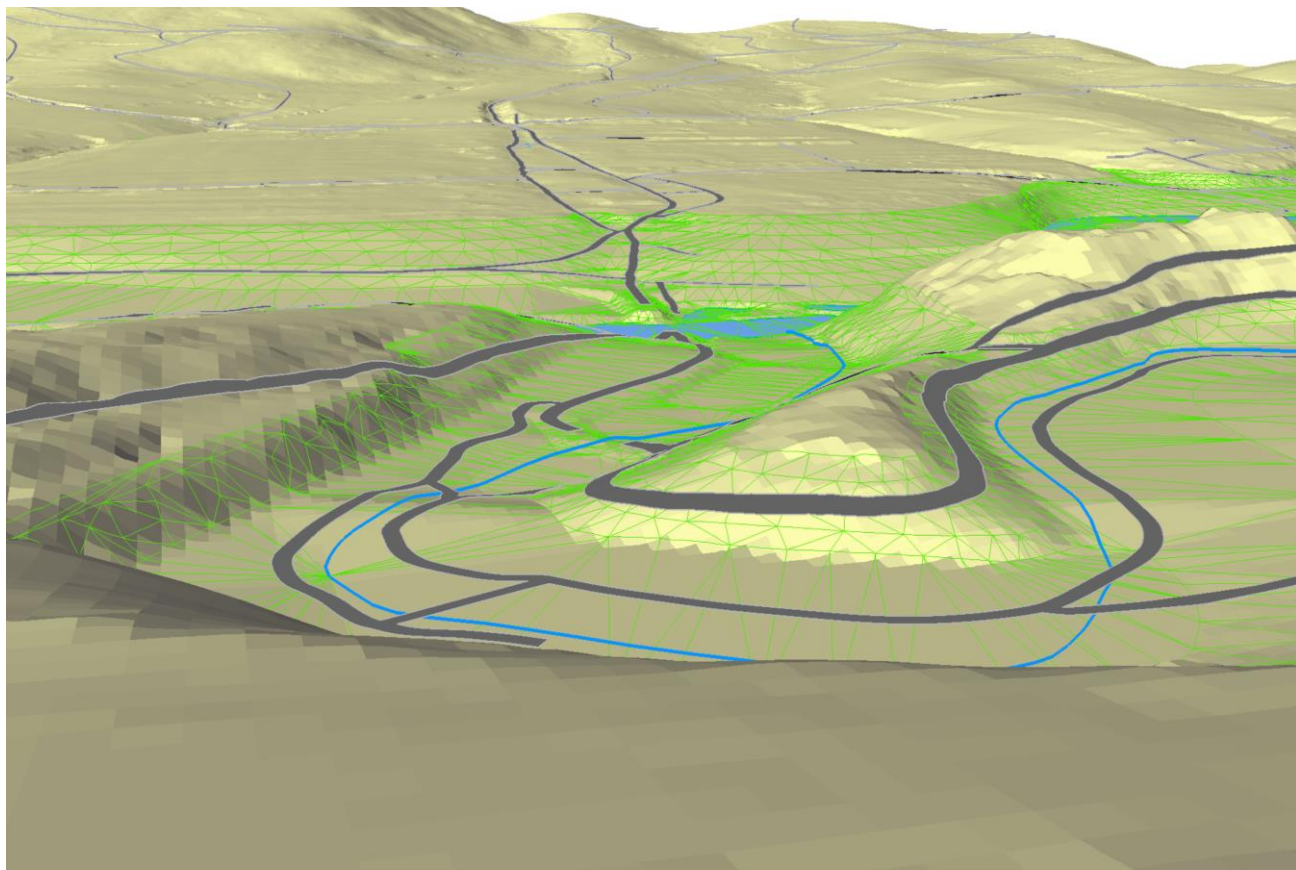
Příloha 3: Terénní tvary namodelované s pomocí breaklines

Situace s breaklines je vždy na dolním obrázku.

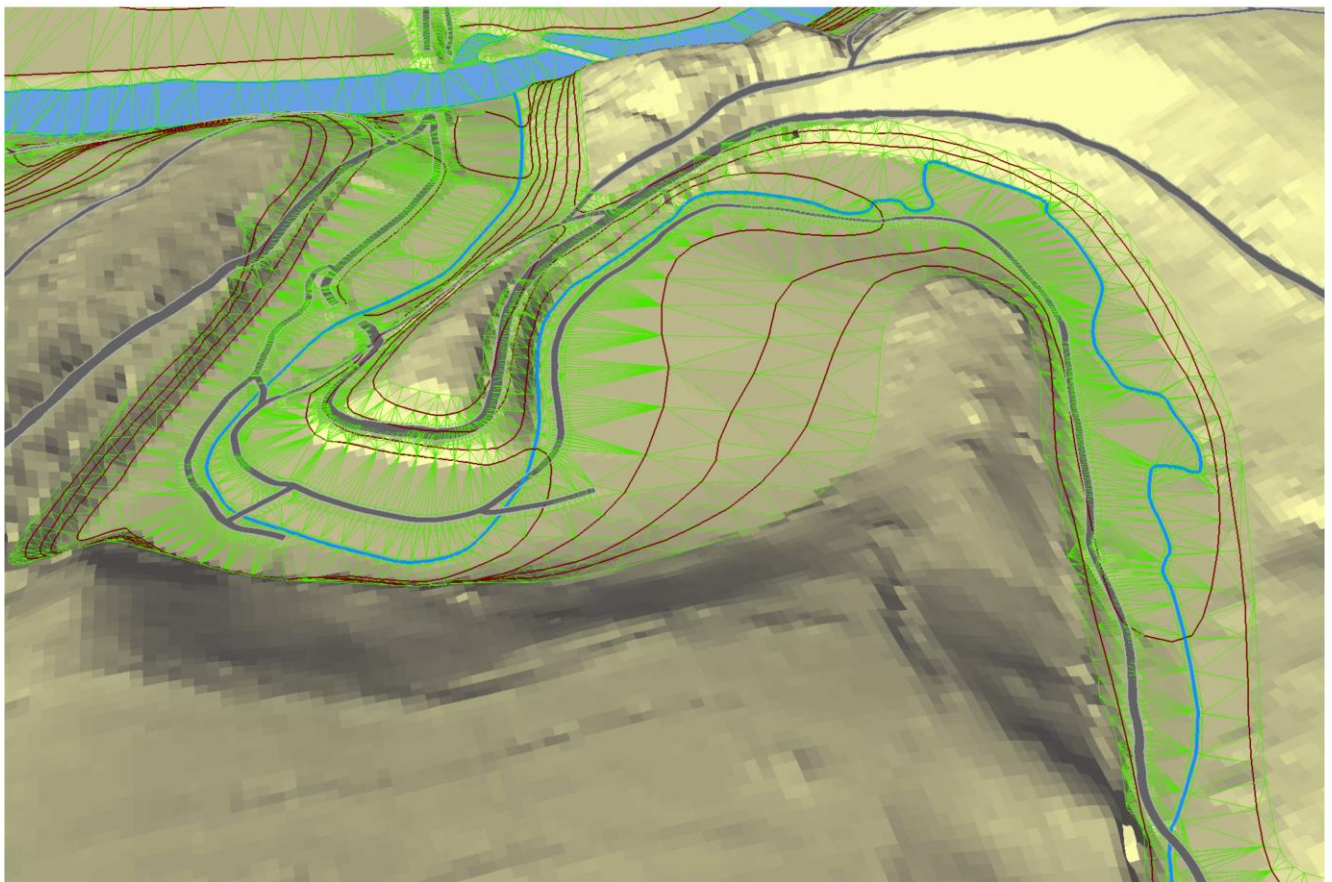
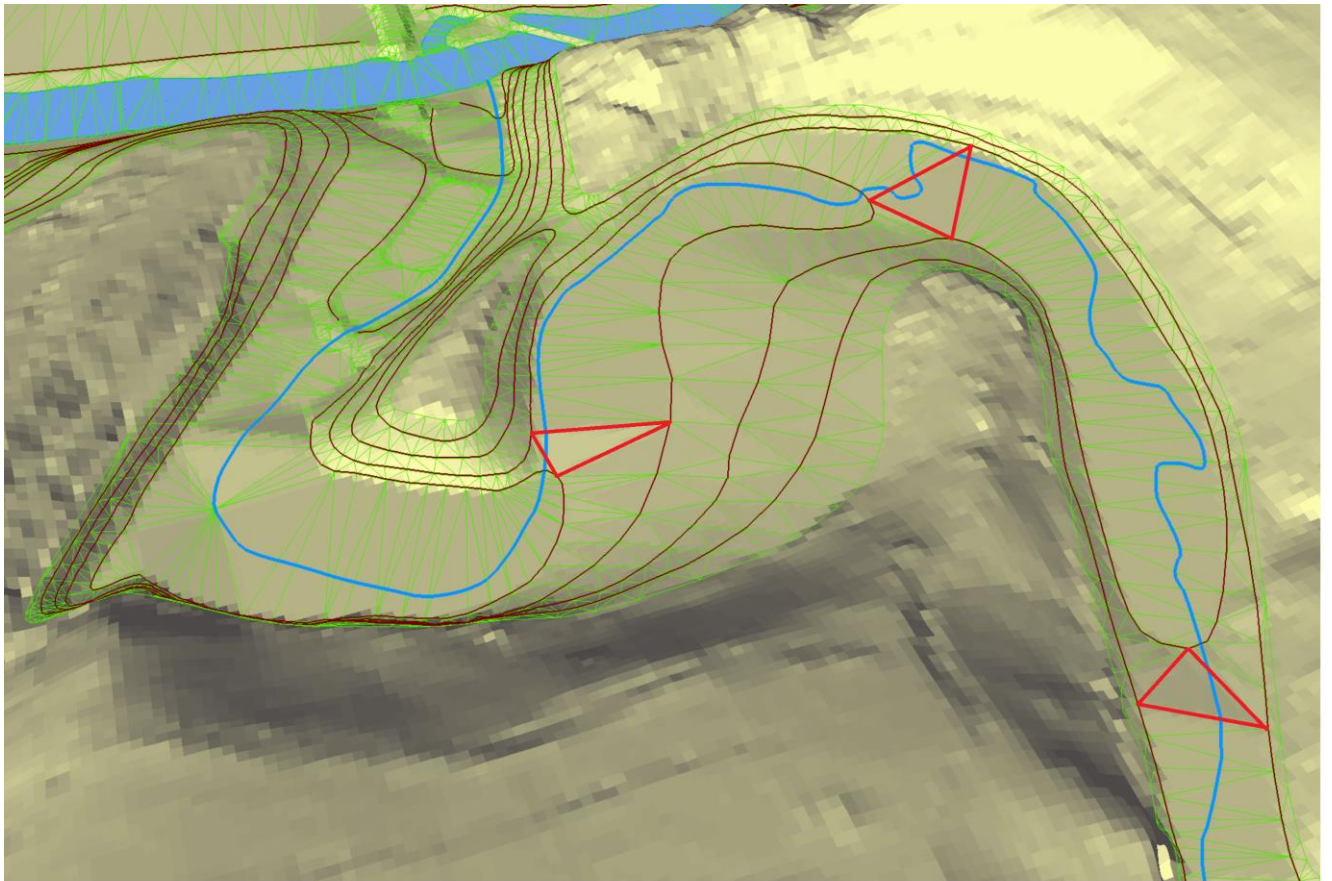
Silnice poblíž závodu Kovofiniš, v pozadí vpravo (polo)ostrov na řece Želivce, za ním jez.



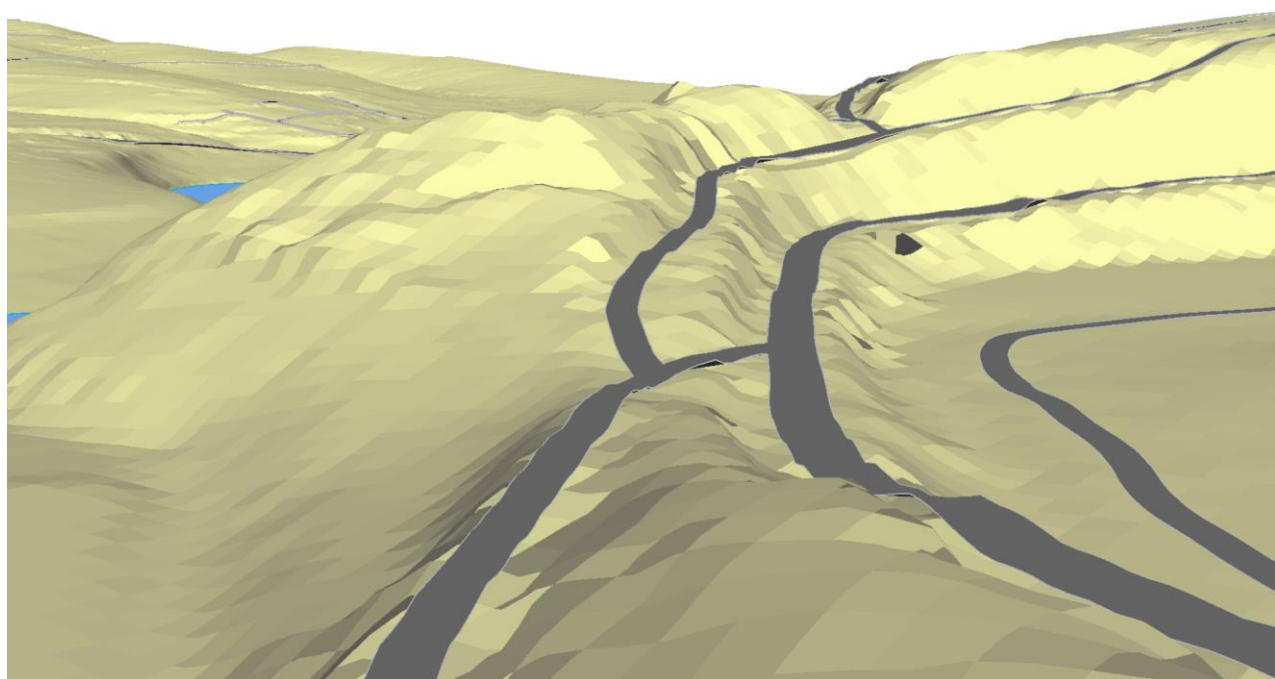
Namodelovaná silniční tělesa v oblasti tzv. Zámostí. Zeleně je triangulace (pouze v zatopené části území), modrá linie je Blažejovický potok.



S pomocí breaklines se podařilo eliminovat nežádoucí „schody“ (zvýrazněny červeně) v údolí (nejen) Blažejovického potoka.

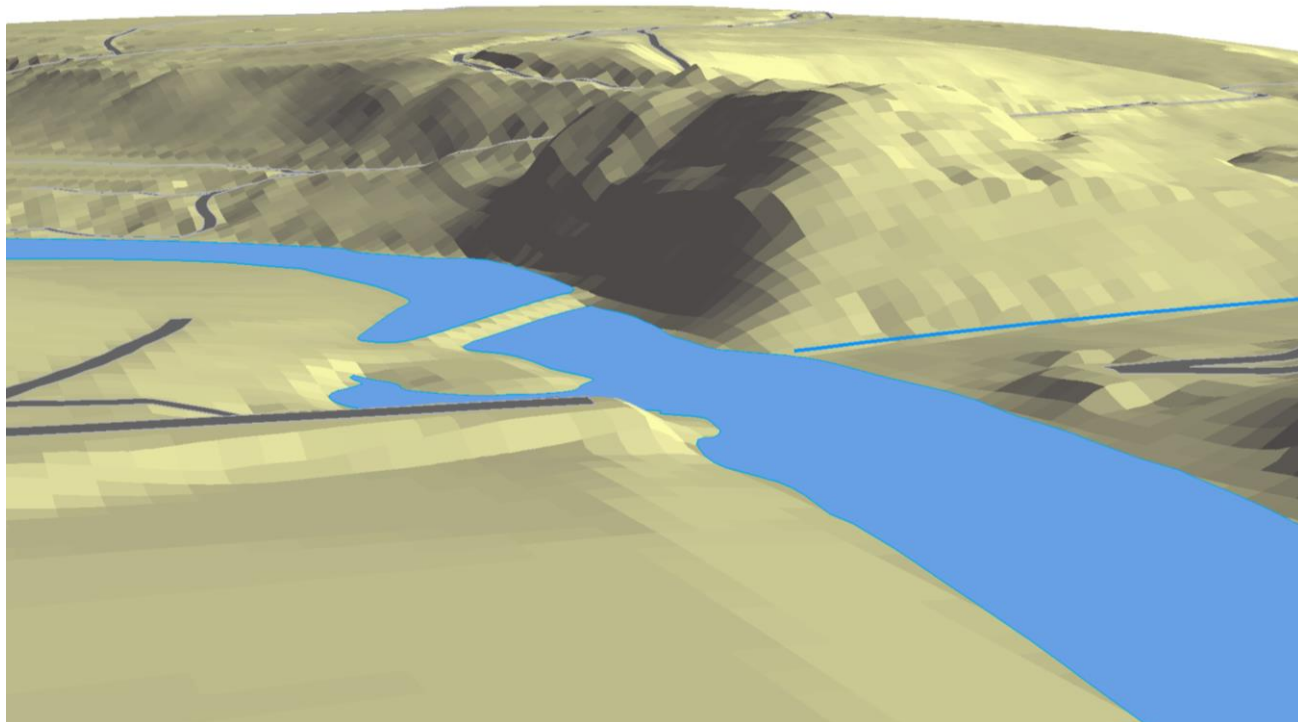


Silnice a cesty na úpatí vrchu zvaném Kotrbejk.

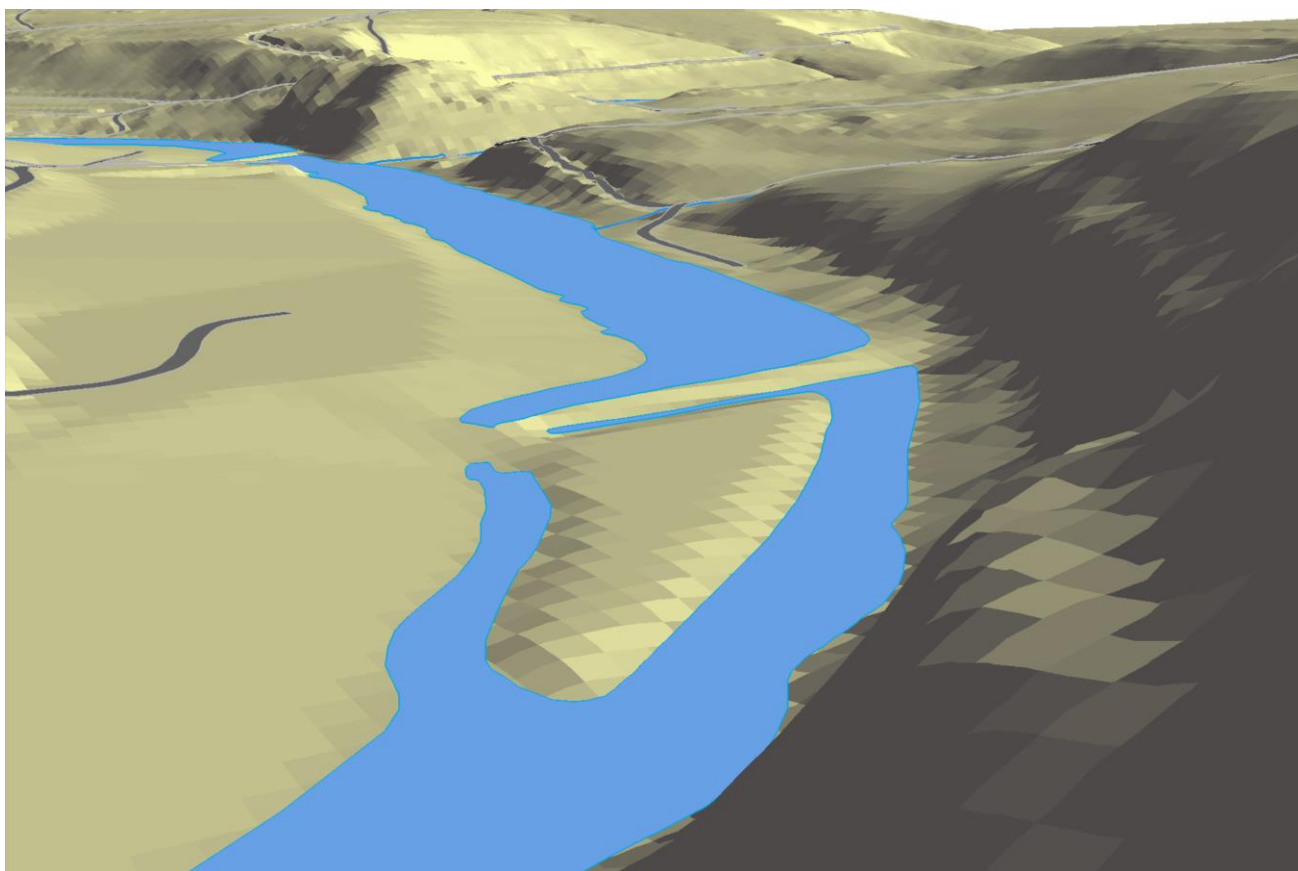


Další útvary namodelované s pomocí breaklines (již pouze manuálně tvořeno, neautomatizovaně).

Ve střední části obrázku je násep mostu po obou stranách řeky Želivky, za náspem pak jez, napravo od jezu vrch zvaný Kotrbejk.



(Polo)ostrov s jezem poblíž Valchářova (dolního) mlýna.



Zdroj všech obrázků v příloze: vlastní tvorba

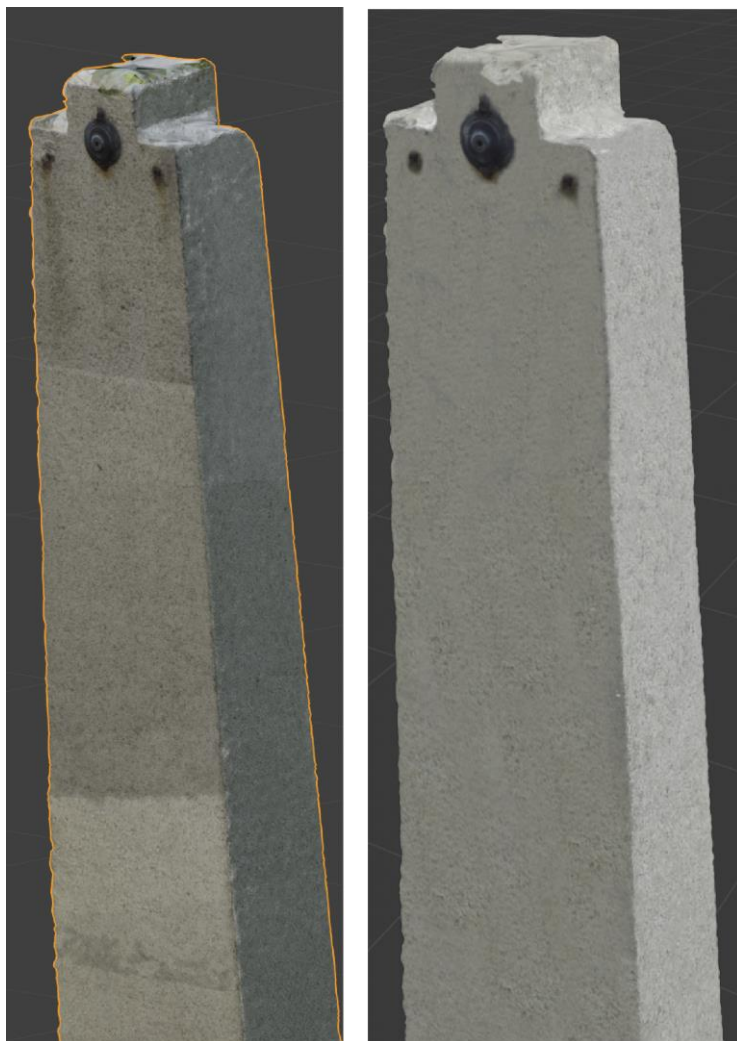
Příloha 4: Retušování nedokonalostí na SFM modelech

Vlevo je vždy původní model, vpravo pak opravený/vyretušovaný.

Horní část pomníku padlým



Zadní strana pomníku padlým. Zde byl problém se zastíněnými částmi objektu. Na modelu se tak vytvořily nepřírodní přechody/pruhy.



Z podstavce sochy Panny Marie Bolestné byly digitálně odstraněny červené hřbitovní svíce.



Příloha 5: JavaScriptový kód Leaflet aplikace

Jak již bylo řečeno, faktický obsah pop-up oken (texty, obrázky, HTML odkazy...) byl zapisován k jednotlivým features do GeoJSONu v HTML editoru. Zápis jednoho bodu (resp. feature) v GeoJSONu pak vypadá například takto:

```
{
  "properties": {
    "nazev_sluzby": "Křižná studánka",
    "group": "zachovale_objekty",
    "sluzba": "vodni_zdroj_studankal_zach",
    "stav": "dochovany_objekt",
    "popupContent": "<p>U ní také kázal Josef Toufar. Více informací o místě <strong><a href=\"2_studanky.html\"
target=\"_blank\"> zde.</a></strong> Zdejší voda byla též svedena do Zahrádeckého vodovodu.</p>",
    "OBJECTID": 80,
    "existence": "zach"
  },
  "geometry": {
    "coordinates": [
      15.2806019535738, 49.6169715516792],
    "type": "Point"
  },
  "type": "Feature"
}
```

Následují ukázky ze zdrojového kódu HTML stránky a mapové aplikace. V hlavičce stránky se musí připojit veškeré CSS a JavaScript skripty používané na stránce (knihovna Leaflet i externí pluginy, lightbox2 aj.) např.:

```
<script src="leaflet_javascript/leaflet.js"></script>
<link rel="stylesheet" href="leaflet_javascript/muj_leaflet.css"/>
```

Skripty zajišťující chod aplikace se přidávají pod oddíl s identifikátorem:

```
<div id="map" style="width: 100%; height: 500px;"></div>
<script src="leaflet_javascript/my_javascript/points_preprocessed.js" type="text/javascript"></script>
<script src="leaflet_javascript/my_javascript/points_loading.js" type="text/javascript"></script>
<script src="leaflet_javascript/my_javascript/historical_map_main.js" type="text/javascript"></script>
```

Následují ukázky z kódu scriptů, pro přehlednost byla aplikace rozdělena do 3 samostatných scriptů, viz výše. Každá feature (bod) z GeoJSONu byla uložena do proměnné (soubor `points_preprocessed.js`) s názvem dané feature (generováno Python skriptem), tedy například:

```
var vodni_zdroj_studankal_zach = {'type': 'Feature', 'properties': {'nazev_sluzby': 'Křižná studánka', 'group':
'zachovale_objekty', 'sluzba': 'vodni_zdroj_studankal_zach', 'stav': 'dochovany_objekt', 'popupContent': '<p>U ní
také kázal Josef Toufar. Více informací o místě <strong><a href="2_studanky.html" target="_blank"> zde.</a></strong>
Zdejší voda byla též svedena do Zahrádeckého vodovodu.</p>', 'OBJECTID': 80, 'existence': 'zach'}, 'geometry':
{'type': 'Point', 'coordinates': [15.2806019535738, 49.6169715516792]}};
```

Následuje script `point_loading.js`. Byly vytvořeny 4 skupiny pro různé druhy objektů (zde pro zachované objekty), nastaveny značky (velikost, umístění pop-up oken aj.) a načteny konkrétní ikony (kód generován Python skriptem) ze souborů `*.svg`:

```
var zachovale_objekty = new L.LayerGroup();

var ZahradkaIcon = L.Icon.extend({
  options: {
    iconSize: [30, 30],
    iconAnchor: [15, 30],
    popupAnchor: [0, -15]
  }
});

var vodni_zdroj_studanka_zachIcon = new ZahradkaIcon({iconUrl:
'leaflet_javascript/images_map/vodni_zdroj_studanka_zach.svg'});
```

Následně byla definována funkce, kde byl nastaven obsah pop-up oken včetně formátování textu pomocí HTML. Jedná se o název a typ (dochovaný/zaniklý aj.) objektu, souřadnice ve WGS84 a samotné podrobnější informace o objektu (dostupné pro většinu objektů, není u všech). Toto vše bylo převzato z `properties` (atributů) jednotlivých features, kromě souřadnic, které jsou uloženy v `geometry`. Zároveň byly nastaveny samotné pop-up okna (rozměry). Též byl použit plugin Leaflet Responsive Popup (`L.responsivePopup()`), díky němu se pop-up okna otevírají tak, aby se kompletně nacházela vždy v mapovém poli. Toto je činěno s ohledem na responzivní design na mobilních zařízeních. Pop-up nicméně stále může být zakrýván ovládacími prvky mapy (nabídka vrstev, měřítko aj.), tato situace není responzivními pop-up okny ošetřena.

```
function set_popup_content(my_point, layer) {
  var gps_name = "<h4>GPS souřadnice (WGS 84 - EPSG 4326):</h4>";
  var gps_coordinates = "<h5>" + my_point.geometry.coordinates[1] + "N " + my_point.geometry.coordinates[0] + "E " +
"</h5></p>";
  var name_of_object = "<h3>" + my_point.properties.nazev_sluzby + "</h3>";
  var my_point_type = "<h4>typ: " + my_point.properties.stav + "</h4>";
  var full_popup_content = name_of_object + my_point_type + gps_name + gps_coordinates;
```



```

if (my_point.properties && my_point.properties.popupContent) {
  full_popup_content += my_point.properties.popupContent;
}

var popup_options = L.responsivePopup({
  maxWidth: 300,
  minWidth: 300,
  maxHeight: 280,
  scroll: true
});
.setContent(full_popup_content);

layer.bindPopup(popup_options);
}

```

Následně byla již pomocí `L.geoJSON()` přiřazena bodům konkrétní značka (ikona), zároveň byla zavolána vytvořená funkce `set_popup_content(my_point, layer)` a bod byl přidán do příslušné skupiny (metoda `addTo()`, stejná metoda se používá pro přidání v podstatě čehokoliv do mapy).

```

var vodni_zdroj_studankal_zach = L.geoJSON(vodni_zdroj_studankal_zach, {pointToLayer: function (feature, latlng)
{return L.marker(latlng, {icon: vodni_zdroj_studanka_zachIcon});},onEachFeature:
set_popup_content}).addTo(zachovale_objekty);

```

Následuje hlavní script aplikace `historical_map_main.js`. Dlaždicový mapový podklad se přidává s pomocí funkce `L.tileLayer()` (`tms: true` je pouze u historické mapy nadlaždicované v QGISu s pomocí `gdal2tiles`, u vrstev od externích poskytovatelů je `tms` nastaveno na `false` – defaultní hodnota v Leafletu), `maxZoom` je maximální úroveň zoomu povolená pro daný podklad (ideální je pro všechny podklady stejný):

```

var historical_A1 = L.tileLayer('leaflet_javascript/basemaps/mapa_a1/{z}/{x}/{y}.png', {
  tms: true,
  attribution: 'Nějaká metadata zobrazovaná v pravém dolním rohu aplikace',
  maxZoom: 19
});

```

Příklad URL od externího poskytovatele: `'http://mapserver.mapy.cz/turist-m/{z}-{x}-{y}'`

Nedlaždicovaný podklad by se přidal pomocí `L.imageOverlay()`. Podklady Google Maps je potřeba přidávat s pomocí speciální funkce `L.gridLayer.googleMutant()` dostupné díky pluginu `Leaflet.GridLayer.GoogleMutant` (Ortega 2019). Funkce `L.Browser.mobile()` vrací `True`, pokud je aplikace otevřena na mobilním zařízení. Díky tomu je opět možné aplikaci přizpůsobovat responzivnímu designu s pomocí triviální podmínky `if()`. Účel jednotlivých proměnných bude vysvětlen později.

```

if (L.Browser.mobile) {
  var gesture = true,
  layers_collapsed = true,
  scale_width = 250,
  pseudo_fullscreen = false;
}
else {
  var gesture = false,
  layers_collapsed = true,
  scale_width = 350,
  pseudo_fullscreen = true;
}

```

Samotná mapa se tvoří metodou `L.map()`, kde se zároveň nastavují nejrůznější parametry jako počáteční úroveň přiblížení, počáteční poloha mapy a vrstvy, které budou aktivní po spuštění aplikace. Zároveň byl použit zdarma dostupný plugin `Leaflet.GestureHandling` (Elmarquis 2018), při jeho použití je nutné na mobilních zařízeních pohybovat s mapou po dotykové obrazovce pomocí 2 prstů místo 1. Jedním prstem se scrolluje samotná stránka. Toto má chránit uživatele před nechtěným posouváním mapy a slouží pro pohodlné prohlížení webové stránky s mapou. Zároveň byla využita již výše uvedená podmínka s `L.Browser.mobile()`, díky proměnné `gesture = true` (resp. `gesture = false` v případě `else{}` větve podmínky) je toto responzivní ovládání mapy aktivní jen na mobilních zařízeních. Na PC by vlastnost působila obtížně (bylo by nutno držet CTRL při přibližování mapy kolečkem myši).

```

var map = L.map('map', {
  center: [49.623496, 15.2483],
  zoom: 15,
  gestureHandling: gesture, // variable defined in condition with L.Browser.mobile()
  gestureHandlingOptions: {
    text: {
      touch: "K posunutí mapy použijte dva prsty",
      scroll: "Přiblížení mapy změňte podržením Ctrl a posunutím kolečka myši",
      scrollMac: "Přiblížení mapy změňte podržením ⌘ a posunutím kolečka myši"
    },
    duration: 5000 // message disappear after 5 seconds
  },
  layers: [turisticka_mapy.cz, historical_A1, zachovale_objekty, zanikle_objekty, nove_objekty, fotografie]
});

```

Následně bylo přidáno logo Mapy.cz (je nutností dle licenčních podmínek), podobně byly též přidávány další obrázky a statické prvky do uživatelského rozhraní aplikace (např. logo Spolku Přátelé Zahrádky, název mapy v pravém horním rohu a další). S pomocí `L.control({position: "bottomright"})` lze ovlivnit pozici prvku, `V.L.DomUtil.create('div', 'obrazek')` je možno uplatnit formátování pomocí CSS a v proměnné `this._div.innerHTML` je uložen samotný obsah prvku.

```
var logo_mapycz = L.control({position: "bottomright"});
logo_mapycz.onAdd = function(map) {
  this._div = L.DomUtil.create('div', 'obrazek');
  this.update();
  return this._div;
};
logo_mapycz.update = function(props) {
  this._div.innerHTML = '';
};
logo_mapycz.addTo(map);
```

V podmínce `if (L.Browser.mobile != true){}` je vložen název mapy – titulek, loga Spolku a UK a též minimapa. Prvky se tak nezobrazují na mobilních zařízeních, nejsou nezbytně nutné a na malých displayích by zabíraly zbytečně místo. Níže je kód minimapy. Opět se jedná o stažitelný plugin (Norkart 2018). Nejprve je nutno definovat vrstvy, které se budou v okně minimapy zobrazovat (v našem případě historická mapa a OpenStreetMap). Dle autorů pluginu musí být vytvořeny vrstvy nové a nelze použít pouze vrstvy již definované pro hlavní okno mapy. Použití stejných vrstev by mohlo způsobit neočekávané chování aplikace (Norkart 2018). Vrstvy jsou zgrupovány do skupiny (`L.LayerGroup([])`) a následně je definován vzhled malého boxu (`boundary1` a `boundary2`), který vymezuje současnou pozici mapového okna. Minimapa se vytváří funkcí `L.Control.MiniMap()`, k dispozici jsou samozřejmě různé možnosti nastavení. Zmínit je možno velikost okna minimapy (`width`, `height`), o kolik se bude minimapa přiblížením lišit od hlavní mapy (`zoomLevelOffset`), případně vzhled boxů, vymezující pozici mapového okna (`aimingRectOptions`, `shadowRectOptions`).

```
// make layers for minimap:
var historical_minimap = new L.TileLayer(historical_map_URL, {
  tms: true,
  opacity: 1,
  attribution: historical_Attr,
  maxZoom: maximum_zoom - 5
});

var osm_minimap = new L.TileLayer(OSM_URL,
{minZoom: 0,
  maxZoom: maximum_zoom - 5,
  attribution: OSM_Attr
});

// making a group of layers:
var layers_minimap = new L.LayerGroup([osm_minimap, historical_minimap]);

// appearance of small box, which show current position of map:
var boundary1 = {weight: 1, color: "#ff1100"};
var boundary2 = {weight: 1, opacity:0, fillOpacity:0, color: "#0000AA"};

// options for minimap:
var miniMap = new L.Control.MiniMap(layers_minimap, {
  toggleDisplay: true,
  width: 250,
  height: 250,
  zoomLevelOffset: -5,
  zoomAnimation: false, // because its a bit laggy
  aimingRectOptions: boundary1,
  shadowRectOptions: boundary2,
  collapsedWidth: 30,
  collapsedHeight: 30
}).addTo(map);
}
```

Měřítko, jakožto nativní funkce Leafletu, je přidáváno jako `L.control.scale()`. Ovlivnit lze zobrazování vzdálenosti v imperiálních či metrických jednotkách, a hlavně velikost měřítko. Zde bylo využito proměnné `scale_width` vytvořené v podmínce `if (L.Browser.mobile) {}` viz výše. Na PC se tak měřítko zobrazuje větší než na mobilních zařízeních.

```
L.control.scale(
  {position: 'bottomleft',
  maxWidth: scale_width,
  imperial: false
}).addTo(map);
```

Pouze stručně – následuje zjišťování souřadnic místa v mapě, které se objeví po kliknutí na dané místo (`map.on`). Obsah pop-up okna je možno ovlivnit metodou `.setContent()`, v momentálním provedení se samozřejmě zobrazují souřadnice místa. Dále jsou mapové podklady i skupiny bodů uloženy do proměnných `Layers` a `overlays`. Následuje vytvoření přepínače vrstev a jeho přidání do mapy (metoda `addTo()`). Pro PC i mobilní zařízení jsou vrstvy srolované v menu (proměnná `layers_collapsed`).

```
L.control.layers(  
  layers,  
  overlays,  
  {  
    collapsed: layers_collapsed  
  }  
).addTo(map);
```

Poté bylo přidáno tlačítko fullscreen módu – plugin Leaflet.Control.FullScreen (Bergot 2019). Důležitá je metoda `map.invalidateSize()`, díky ní se po otevření/ukončení fullscreen módu znovu ověří velikost mapového okna a podle nové velikosti se budou načítat dlaždice v určitém rozsahu. Bez této metody by se načítaly dlaždice jen v rozsahu původního okna a ne v kompletně celém okně po startu fullscreen módu.

```
var fullscreen = L.control.fullscreen({  
  position: 'topleft',  
  title: 'Zapnout režim celé obrazovky',  
  titleCancel: 'Ukončit režim celé obrazovky',  
  forcePseudoFullscreen: pseudo_fullscreen, // pseudofullscreen on PC, normal fullscreen on phones  
  content: null,  
  forceSeparateButton: true // button will be separated from zoom buttons  
});  
  
map.addControl(fullscreen);  
  
map.on('enterFullscreen', function(){  
  if(window.console) window.console.log('enterFullscreen');  
  map.invalidateSize(); // important, check size of map window  
});  
map.on('exitFullscreen', function(){  
  if(window.console) window.console.log('exitFullscreen');  
  map.invalidateSize(); // important, check size of map window  
});
```

Nakonec byl přidán posuvník průhlednosti – plugin leaflet-transparency.js (Raruto 2019) s pomocí `L.Control.OpacitySlider()`.

Příloha 6: Rendery modelů

Vizualizace obchodu se smíšeným zbožím.



Socha Panny Marie Bolestné na náměstí v Zahrádce.

