

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**REKONSTRUKCE ZANIKLÉ VESNICE S
VYUŽITÍM REÁLNÝCH 3D MODELŮ**

Bakalářská práce

Lucie KRÁLOVÁ

Vedoucí práce RNDr. Jan Brus, Ph.D.

Olomouc 2016
Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá testováním možností 3D tisku při rekonstrukci zaniklých sídel a následnou realizací rekonstrukce zaniklé obce. Součástí práce je i návrh nejvhodnějšího zpracování s ohledem na použitá data, historické zdroje, technická omezení a výslednou cenu modelu.

K řešení práce byly využívány programy SketchUp a Magics pro opravu 3D modelů budov k tisku a k úpravám detailu modelů. Také sloužily k celkovému návrhu výsledného modelu a k finálním úpravám modelu včetně kompozičních prvků. K tvorbě 3D modelu reliéfu sloužily programy ArcGIS for Desktop, QGIS a 3D-Coat. V programu ArcMap byl vytvořen digitální model reliéfu z lidarových dat, který byl následně převeden na 3D model v programu QGIS a texturován leteckým snímkem v programu 3D-Coat. Výsledný model reliéfu a modely budov byly následně připraveny k tisku v programu SliceIT a vytištěny na 3D tiskárně Mcor IRIS HD.

Výsledkem práce je podrobný postup přípravy modelů k 3D tisku a samotné vytištěné modely budov z vybrané části obce Čistá včetně reliéfu.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk; zaniklá vesnice; obec Čistá; model reliéfu; Mcor IRIS HD

Počet stran práce: 52

Počet příloh: 4 (3 volné a 1 elektronická)

ANOTATION

The bachelor thesis is focused on testing of the possibility of 3D printing the reconstruction of extinct settlements and then the realization of the reconstruction of the extinct village. A part of the work is the proposal of the most suitable processing with the regard of the used data, historical resources, technical limitations and final price of the model.

The processing of the repair 3D models and modifications of details in these models was done in SketchUp and Magics. These programs were used for creating the compositional elements on the terrain model.

For creating the 3D terrain model was used ArcGIS for Desktop, QGIS and 3D-Coat. ArcMap was used for creating the digital terrain model from the data of laser scanning. This model was transferred to QGIS and there was created the 3D terrain model, which was textured by aerial photography in 3D-Coat. Final 3D terrain model and buildings were prepared for 3D printing in SliceIT and then were printed on the 3D printer Mcor IRIS HD.

The result of the bachelor thesis is detailed step-by-step instructions of repairing and printing models and creating the terrain model. The main result is physical model of the centre village Čistá with terrain.

KEYWORDS

3D print; extinct village; village Čistá; terrain model; Mcor IRIS HD

Number of pages 52

Number of appendixes 4

Prohlašuji, že

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

- bakalářská práce volně navazuje na bakalářskou práci Mgr. Pavly Dědkové 3D vizualizace zaniklé obce a její hodnocení z hlediska uživatelské kognice z roku 2012. Z této práce byly rovněž převzaty výsledky a některá vstupní data.

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

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

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

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

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

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

V Olomouci dne

Lucie Králová

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za cenné podněty, připomínky k bakalářské práci a za pomocnou ruku ve chvílích, kdy se má práce neubírala správným směrem.

Dále děkuji 3D centru UPrint 3D ve Vědeckotechnickém parku Univerzity Palackého za poskytnutí 3D tiskárny, za rady a pomoc při tisku modelů.

A v neposlední řadě děkuji Janu Opletalovi za společné konzultace při tvorbě bakalářské práce a za jeho ochotu mi pomoci či poradit kdykoliv jsem potřebovala.

Vevázaný originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisem vedoucího katedry a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

Zde je konec prvního oddílu, kde není číslování stránek. Následující strana patří již do druhého oddílu, který má nastaveno číslování stránek.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 CÍLE PRÁCE.....	11
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	12
2.1 Použité metody	12
2.2 Použitá data	12
2.3 Použité programy	15
2.4 Postup zpracování.....	16
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	17
3.1 Možnosti vizualizace 3D modelů	17
3.2 Obecně o 3D tisku	17
3.3 Historie 3D tisku	18
3.4 Metody 3D tisku	18
3.5 Tiskárna Mcor IRIS HD	21
3.6 Využití 3D tisku.....	22
3.7 Vybrané 3D modely sídel.....	22
3.8 Obec Čistá.....	25
4 ZPRACOVÁNÍ MODELŮ BUDOV	27
4.1 Příprava k tvorbě (výběr oblastí)	27
4.2 Výběr programu pro opravu modelů	28
4.2.1 Import neopravených modelů do programu SliceIT.....	28
4.2.2 Testování programů pro opravy modelů	29
4.3 Oprava modelů v programu Magics	29
4.3.1 Import modelů do programu.....	29
4.3.2 Fix Wizard a typy chyb	30
4.3.3 Postup automatických oprav	31
4.3.4 Postup manuálních oprav.....	32
4.3.5 Texturování a barvy	33
4.3.6 Export modelů	33
4.4 Testovací modely.....	33
5 ZPRACOVÁNÍ MODELU RELIÉFU	36
5.1 Příprava k tvorbě	36
5.2 Tvorba reliéfu v programu ArcMap	36
5.3 Tvorba 3D modelu v programu QGis.....	39
5.4 Texturování 3D modelu v programu 3D-Coat.....	40
6 PROVEDENÍ TISKU MODELU VESNICE.....	43
6.1 Dokončení tvorby celého modelu v programu Magics	43
6.2 Příprava modelu k tisku v programu SliceIT	45
6.3 Provedení tisku.....	46
7 VÝSLEDKY	48
7.1 Postup řešení.....	48

7.2	Digitální modely.....	48
7.3	Vytištěné modely.....	48
7.4	Využitelnost tištěného modelu.....	50
8	DISKUZE	51
9	ZÁVĚR	52
	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
	PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
NPÚ	Národní památkový ústav
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984
IDW	Inverse Distance Weighing
STL	Stereo Lithography
OBJ	Wavefront OBJ format
DAE	Digital Asset Exchange
WRML	Virtual Reality Modeling Language
WRL	Virtual Reality Language
KML	Keyhole Markup Language
DWG	Drawing
SHP	Shapefile

ÚVOD

3D tisk, jako jedna z metod vytvářející fyzický model, se v poslední době rozšiřuje a dostává do mnoha vědních oborů. Pro tvorbu fyzických modelů lze využít různé metody 3D tisku s jejich specifickými znaky a využitelností. Na trhu lze v dnešní době také nalézt velké množství 3D tiskáren, kdy se může jednat jak o drahé profesionální tiskárny, které zároveň podávají kvalitnější výsledky nebo o levnější open source tiskárny, u kterých je potřeba důkladnějšího nastavení parametrů a samotné tiskárny, aby byl tištěný výsledek správně proveden. Pro správnou funkčnost nebo pro přípravu 3D modelů k následnému tisku lze také v dnešní době najít velké množství vhodných programů nebo aplikací, které toto umožňují.

Záměrem této práce je především testovat vhodnost barevného 3D tisku z papíru pro 3D modely zaniklých území. Pro tyto modely jsou vhodné především tiskárny, které dokáží výsledek vytisknout co nejrealističtěji tak, aby se co nejvíce podobal reálné předloze. 3D tisk je už poměrně rozšířený i v architektonických oborech, ale není příliš využíván pro tisk rozměrnějších modelů složených z více částí. Cílem této práce je tedy nalézt možný přístup, jak takových modelů dosáhnout a pokusit se tedy metody 3D tisku rozšířit více i do územního plánování, případně do archeologických oborů, které se zabývají rekonstrukcí zaniklých sídel a památek. Metody 3D tisku by mohly umožnit mnohem lepší náhled do těchto oborů i široké veřejnosti.

Bakalářská práce volně navazuje na bakalářskou práci Mgr. Pavly Dědkové 3D vizualizace zaniklé obce a její hodnocení z hlediska uživatelské kognice z roku 2012, ve které pohlíží právě na problematiku zaniklého území obce Čistá a její následnou rekonstrukci. Její práce vznikala za pomoci císařských otisků, starých fotografií, leteckého snímku a instruktážního filmu z roku vypálení vesnice. Takto vzniklý 3D model obce, přesněji řečeno jeho centrum, byl využit k dalšímu zpracování v této bakalářské práci.



1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je ověřit možnosti využití 3D tisku při rekonstrukci zaniklých sídel. Rešeršní část zahrnuje průzkum a využití jiných druhů 3D tisku, dosavadní využití 3D technologií při tvorbě modelů sídel.

Hlavní cíle práce zahrnují práci s modely vzniklými na základě historických map, leteckých snímků a fotografií a následný návrh a praktickou realizaci modelu zaniklé vesnice, což zahrnuje testování možných přístupů a technik tisku. Součástí práce je také návrh nejvhodnějšího ztvárnění s ohledem na použitá data, historické zdroje, technická omezení a výslednou cenu modelu.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

2.1 Použité metody

Před začátkem práce byla provedena rešerše z nastudované literatury a internetových článků. Poté byl vybrán vhodný program pro práci s modely a vytvoření 3D modelu reliéfu. Pro práci s modely byl zvolen program SketchUp 2015, jakožto uživatelsky přívětivý a jednoduchý program. Pro export modelů byla zvolena zkušební verze SketchUp Pro, na rozdíl od základní verze SketchUp Make umožňuje export do formátu .obj. Dále bylo provedeno testování vhodnosti několika programů pro opravy modelů pro bezchybný průběh 3D tisku. Jako nejvhodnější byl vybrán program Magics, ve kterém byly všechny modely budov opravovány, případně některé jejich části texturovány, pokud během oprav došlo ke ztrátě textury.

Model reliéfu vznikl zpracováním v několika programech jako je ArcMap 10.3, QGis 2.12 a 3D-Coat 4.5. Tvorba začala v programu ArcMap nahráním lidarových dat a vytvořením digitálního modelu reliéfu. Pro účel interpolace dat byla zvolena metoda IDW, testována byla také metoda Kriging. Poté byl digitální model naimportován do programu QGIS, kde byl pomocí extenze DEMto3D vytvořen 3D model ve formátu .stl.

Tento model byl následně texturován leteckým snímkem z roku 1947 v programu 3D-Coat. Poté byly modely objektů a model reliéfu nahrány do programu Magics, kde byly provedeny finální úpravy a následně spojení modelů do jednotného modelu vesnice Čistá.

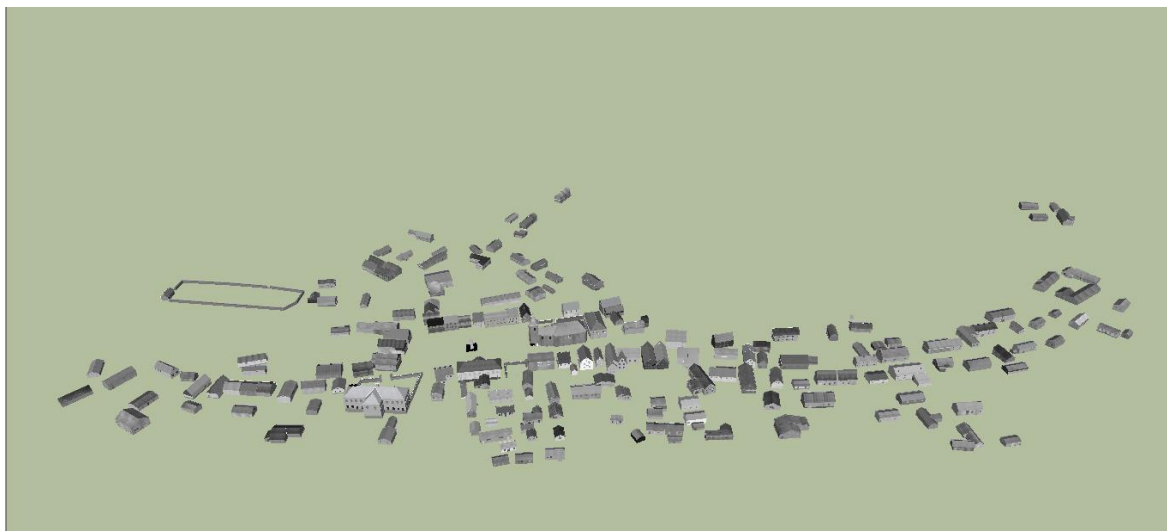
V závěru byly modely budov i reliéfu zvlášť nahrávány do programu SliceIT, kde byly připraveny k 3D tisku. Součástí tisku bylo nejprve vytištění barevných papírů na 2D tiskárně Epson a poté 3D tisk na tiskárně Mcor IRIS HD. Vytvořené modely následně prošly postprocessingem.

2.2 Použitá data

Pro potřeby bakalářské práce byl poskytnut 3D model zaniklé vesnice Čistá od Mgr. Pavly Dědkové a digitální model reliéfu od Mgr. Filipa Prekopa z Národního památkového ústavu, Územní odborné pracoviště v Lokti. Národnímu památkovému ústavu ho poskytl ČÚZK. Dále byl poskytnut letecký snímek z roku 1947 od VGHMÚř.

3D model vesnice Čistá

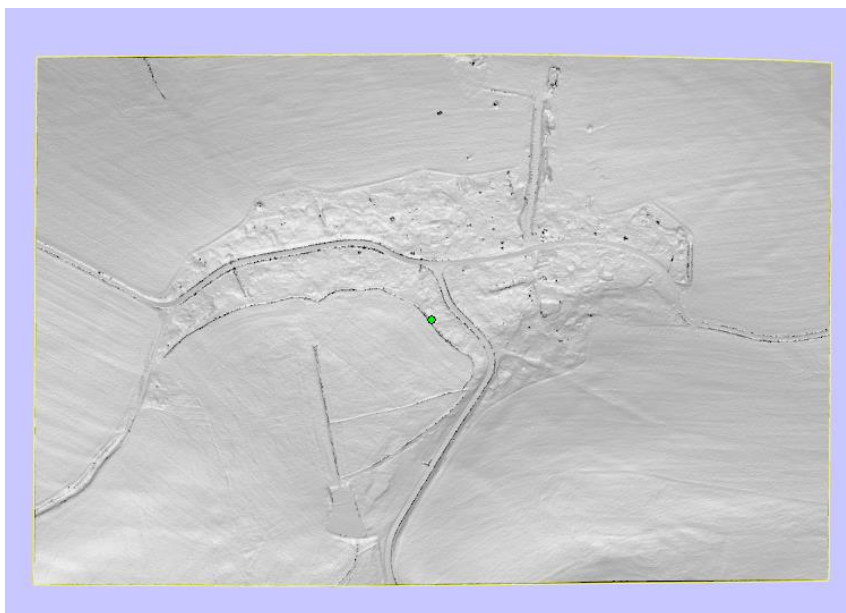
Tento model zaniklého území vesnice Čistá vytvořila Mgr. Pavla Dědková ve své bakalářské práci 3D vizualizace zaniklé obce a její hodnocení z hlediska uživatelské kognice z roku 2012. Model tvoří 210 budov a byl vytvořen v programu SketchUp 7. Skutečné rozměry území obce jsou zhruba 800 m x 430 m.



Obrázek 1: Kompletní 3D model vesnice Čistá

Model terénu

Pro tvorbu reliéfu pro model vesnice byla poskytnuta data od Mgr. Filipa Prekopa z NPÚ, přesněji jde o model reliéfu ve formátu .obj a data z laserového leteckého snímkování. Na obrázku 2 je ukázka poskytnutého modelu reliéfu v programu Magics a na obrázku 3 je ukázka obsahu datového souboru z laserového snímkování v programu Microsoft Office Excel.



Obrázek 2: Model reliéfu

X	Y	Z	R	G	B	Nx	Ny	Nz
-862500.0000	-1024027.9375	769.9160	167	255	0	-0.023992	-0.007997	0.999680
-862500.0000	-1024027.0000	769.9540	168	255	0	-0.060700	-0.043357	0.997214
-862500.0000	-1024026.0000	770.0480	168	255	0	-0.080553	-0.080553	0.993490
-862500.0000	-1024025.0625	770.1020	168	255	0	-0.077949	-0.043305	0.996016
-862500.0000	-1024024.1250	770.1370	168	255	0	-0.059668	-0.042620	0.997308
-862499.9375	-1024023.1875	770.1860	169	255	0	-0.061634	-0.079244	0.994948
-862499.9375	-1024022.2500	770.2200	169	255	0	-0.077996	-0.025999	0.996615
-862499.9375	-1024021.3125	770.2980	169	255	0	-0.044065	-0.079317	0.995875
-862499.9375	-1024020.3125	770.3380	169	255	0	-0.025159	-0.058703	0.997958
-862499.9375	-1024019.3750	770.3900	169	255	0	-0.025557	-0.076671	0.996729
-862499.9375	-1024018.4375	770.4840	169	255	0	-0.008127	-0.024382	0.999670
-862499.8750	-1024017.5000	770.4770	169	255	0	-0.041274	-0.024765	0.998841
-862499.8750	-1024016.5000	770.5210	169	255	0	-0.025159	-0.058703	0.997958
-862499.8750	-1024015.5625	770.5740	170	255	0	-0.025587	-0.059703	0.997888
-862499.8750	-1024014.6250	770.6530	170	255	0	-0.008257	-0.041286	0.999113
-862499.8750	-1024013.6875	770.6550	170	255	0	-0.042620	-0.059668	0.997308
-862499.8750	-1024012.7500	770.7650	171	255	0	-0.025587	-0.059703	0.997888
-862499.8125	-1024011.7500	770.7510	171	255	0	-0.041966	-0.025180	0.998802
-862499.8750	-1024010.8125	770.8500	171	255	0	-0.026415	-0.096853	0.994948
-862499.8750	-1024009.8750	770.9390	171	255	0	-0.060645	-0.060645	0.996315
-862499.8125	-1024008.9375	770.9920	171	255	0	-0.025159	-0.058703	0.997958
-862499.8125	-1024008.0000	771.0790	171	255	0	-0.025159	-0.058703	0.997958
-862499.8125	-1024007.0000	771.1180	172	255	0	-0.025960	-0.095185	0.995121
-862499.8125	-1024006.0625	771.1960	172	255	0	-0.025159	-0.058703	0.997958
-862499.8125	-1024005.1250	771.2610	172	255	0	-0.025999	-0.077996	0.996615

Obrázek 3: Ukázka dat z leteckého laserového snímkování

Letecký snímek

Dále byl poskytnut letecký snímek z roku 1947 od VGHMÚř, potřebný pro texturování výsledného modelu reliéfu.



Obrázek 4: Letecký snímek z roku 1947

2.3 Použité programy

SketchUp 2015

Jeden z hlavních programů pro tvorbu bakalářské práce byl software SketchUp 2015 od společnosti Trimble. Pro práci byla využívána zkušební verze SketchUp Pro, která umožňuje export většího množství formátů než verze SketchUp Make, která umožňuje pouze export ve formátu .stl a to pouze s nainstalovaným STL pluginem. Tento program sloužil pro celkový návrh výsledného modelu, úpravu již vytvořených modelů budov z předchozí verze SketchUp a jejich následný export.

Magics 19

Program od společnosti Materialise byl využíván jako hlavní program pro opravy modelů budov k tisku, případně jejich texturování a pro finální úpravy na kompletním modelu i s reliéfem. K práci byla využívána verze v 3D tiskovém centru UPrint 3D ve Vědeckotechnickém parku Univerzity Palackého.

ArcGIS for Desktop

GIS software od společnosti ESRI. K práci byl využíván ArcMap 10.3 (verze, která je k dispozici na katedře Geoinformatiky UPOL) k vytvoření digitálního modelu reliéfu pro následný 3D model reliéfu. Také ArcScene pro prohlížení výsledného digitálního modelu reliéfu.

SliceIT 6.6.0

Program od společnosti Mcor Technologies, který byl dodán spolu s tiskárnou Mcor IRIS HD a byl využíván pro finální nastavení modelu pro tisk.

3d-Coat 4.5.19

Zkušební verze programu 3d-Coat byla využívána pro texturování 3D modelu reliéfu. Jedná se o program od společnosti Pilgway zahrnující celou škálu nástrojů vhodných pro modelování a práci s 3D modely.

QGIS 2.12.3

Tento open source GIS software byl využit pouze pro vytvoření 3D modelu reliéfu z digitálního modelu reliéfu vytvořeném v jiném programu. Tento proces je možný nainstalováním pluginu DEMto3D. Jako jediný testovaný software umožňoval vytvoření tohoto 3D modelu rychle a efektivně.

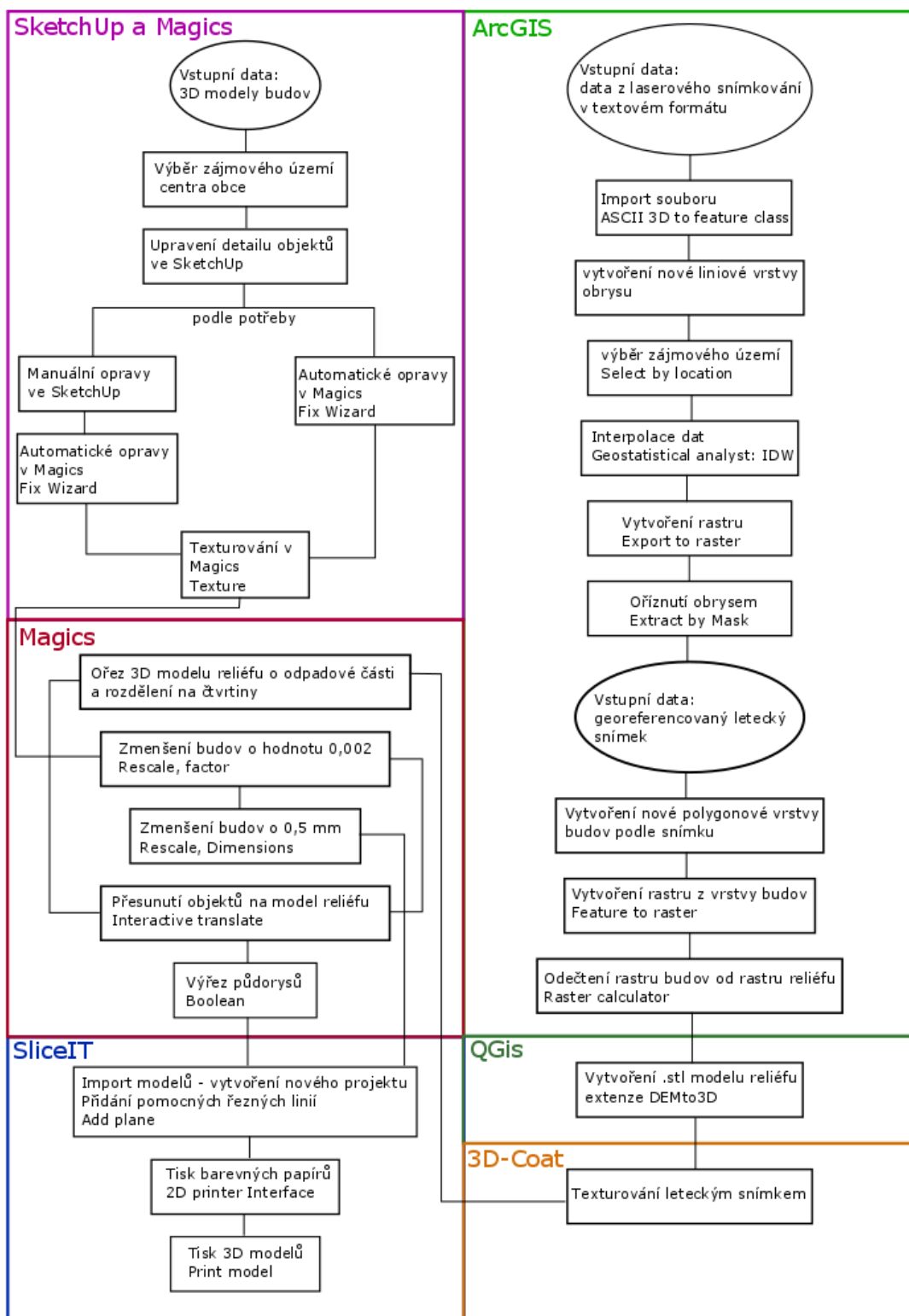
Microsoft Office 365

Balík kancelářských programů od společnosti Microsoft. K práci byly využívány programy Word, Excel a PowerPoint.

Inkscape 0.91

Open source vektorový grafický editor využíváný k případným úpravám obrázků a k tvorbě posteru.

2.4 Postup zpracování



3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Možnosti vizualizace 3D modelů

Publikace na webu

Nejjednodušší způsob vizualizace 3D modelů je jejich nahrání do programů a aplikací, případně na některý externí server, umožňující také prezentaci na internetu. Některé aplikace také umožňují převod do HTML5 a jejich následné publikování na vlastním webu. V těchto aplikacích a programech lze model prohlížet, otáčet, případně přibližovat či oddalovat (Lavička, 2015).

Animace

Animace je způsob vytváření zdánlivě se pohybujících objektů. Její princip je založen na záznamu na sebe navazující sekvence statických snímků, které při následném rychlém zobrazení vytvářejí efekt pohybu. Jedná se o poměrně jednoduchou, ale vizuálně nepříliš vhodnou metodu. Nejpoužívanější metodou tvorby animace je metoda klíčování. Princip metody je poměrně jednoduchý. Definují se pouze klíčové polohy animace a přechod z polohy jedna do polohy dva je dopočítán (Lavička, 2015).

Virtuální prohlídky

Jedná se o rozšířenější způsob vizualizace modelů, než je jen pouhé nahrání do aplikace, ve které lze modelem otáčet a přibližovat si ho. Zde lze nahrávat komplexnější modely například jeskyní nebo terénů, ve kterých se lze pohybovat případně prolétávat a umožňuje to alespoň částečně přiblížit situaci, jakoby se uživatel nacházel na prohlíženém místě v realitě. Toto umožňuje například program WalkAbout3D (Lavička, 2015).

3D tisk

Tato metoda se v posledních letech poněkud rozšiřuje a proniká tak do mnoha vědních oborů. Neslouží už tedy jen pro výrobu prototypů. Z hlediska vizualizace se jedná o poměrně vhodnou metodu právě díky lepšímu pochopení a názornosti reálných modelů, které jsou z pohledu uživatelů ve většině případů zajímavější než výsledek digitální. Stále jsou tu však jistá omezení, hlavně co se týče finančních nákladů a také časové náročnosti dosažení výsledků.

3.2 Obecně o 3D tisku

3D tisk je proces, při kterém se z digitální předlohy (3D model) vytváří fyzický model (Průša a kolektiv, 2014).

3D tisk je laické označení technologie tzv. aditivní výroby, při níž vzniká výsledný produkt postupným nanášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách, které se vzájemně spojují např. tavením nebo lepením. Na rozdíl od tzv. konvenčních způsobů výroby, jako je třeba třískové obrábění, při němž je materiál naopak odebírán, lze s pomocí 3D tisku vytvářet náročné tvary a konstrukce, jež by nebylo možné zhotovit žádným jiným způsobem. 3D tisk je pro rychlou přípravu výroby vhodný zejména pro

kusovou a malosériovou výrobu. Hojně je proto využíván pro výrobu prototypů (3d-tisk.cz, 2014).

V posledních letech 3D tisk už překročil hranice průmyslového prototypování a aditivní výroby a technologie se stala dostupnější pro malé podniky i pro jednotlivce; nejlevnější 3D tiskárnu už lze získat za cenu lehce přesahující 10 000 korun českých. To otevřelo technologii mnohem širšímu publiku, a tak adaptace 3D tiskových technologií exponenciálně roste a objevují se stále a stále nové možnosti využití, materiály, aplikace a služby (3dwiser.com, 2016).

3.3 Historie 3D tisku

Poprvé se 3D tiskové technologie objevili na konci osmdesátých let minulého století, kdy byly nazývány jako technologie pro výrobu prototypů (Rapid Prototyping). To proto, že proces byl původně koncipován jako rychlý a nákladově efektivní způsob vytváření prototypů (3dwiser.com, 2016).

Inkoustový tisk, který položil základ pro technologie 3D tisku, byl vynalezen už v roce 1976. 3D tisk jako takový vznikl v roce 1984, kdy byla patentována první technologie stereolitografie pozdějším zakladatelem společnosti 3D Systems Charlesem W. Hullem. Poprvé tak byla vytisknuta digitální 3D data. Tato technologie je běžně označována jako SLA a používá se dodnes. Detailní popis bude následovat v kapitole o technologiích 3D tisku. V roce 1992 začala firma 3D Systems vyrábět a prodávat první komerčně dostupnou 3D tiskárnu na technologii SLA (Průša a kolektiv, 2014).

2005 byl pravděpodobně nejdůležitějším rokem v novodobé historii 3D tisku. Na University of Bath byl doktorem Adrianem Bowyerem založen projekt RepRap. Idea byla navrhnout 3D tiskárnu, která bude umět vytisknout co nejvíce vlastních součástí. Od začátku byl projekt Open Source, což umožnilo zapojit se do spolupráce nadšencům z celého světa. Díky tomu jsou nyní RepRap tiskárny nejrozšířenějším druhem tiskáren na celém světě a jim také vděčíme za všechny dnešní tiskárny v hobby a polo profi segmentu (do 100 tisíc Kč za tiskárnu) (Průša a kolektiv, 2014).

3.4 Metody 3D tisku

Stereolitografie (SLA)

Stereolitografie (SLA) je známá jako první technologie používaná pro 3D tisk. SLA je metoda vytváření objektů pomocí postupného vytvrzování fotopolymerů díky působení laserových paprsků.

Je to složitý proces, ale jednoduše řečeno, fotopolymer je uložen v nádobě s pohyblivou platformou uvnitř. Laserový paprsek je směřován v osách X a Y přičemž pryskyřice ztvdne přesně tam, kde se laser dotkne povrchu. Jakmile je vrstva dokončena, platforma ve vaně se zvedne o výši vrstvy (v ose Z) a následná vrstva je zase vytvrzována laserem. Celý proces se opakuje, dokud je celý objekt dokončen a platforma může být vysunuta z kádě pro odstranění finálního objektu.

Pokud jde o další postprodukci, mnoho objektů je třeba vyčistit a vytvrdit. Vytvrzování spočívá ve vystavení objektu intenzivnímu světlu ve stroji připomínající pec, pro plné vytvrzení pryskyřice. Stereolitografie je obecně vnímána jako jedna z nejvíce přesných 3D tiskových procesů s výbornou povrchovou úpravou (3dwiser.com, 2016).

Digital Light Processing (DLP)

DLP je podobný proces, jako stereolitografie (taky pracuje s fotopolymerem), hlavní rozdíl je ve zdroj světla. DLP využívá konvenční světelný zdroj, jako jsou obloukové lampy nebo displeje z tekutých krystalů, který je aplikován na celý povrch nádoby s fotopolymerem v jednom průchodu, takže je zpravidla rychlejší než SLA.

Tak jako SLA, i DLP vyrábí vysoce přesné výrobky ve vysokém detailu. Nicméně, výhodou technologie DLP oproti SLA je, že stačí mělká vana pro pryskyřici, a tak DLP obvykle vede k menšímu odpadu a k nižším provozním nákladům (3dwiser.com, 2016).

Selektivní spékání laserem (Selective Laser Sintering – SLS)

Laserové spékání (nebo sintrování) využívá speciálního prášku, který na stůl v komoře vyplněné dusíkem nanáší v tenké vrstvě válec. Stůl s tenkou vrstvou prášku pak v místech, která jsou potřeba „vytisknout“ osvítil silný laser a tím prášek speče. Stůl se pak o tloušťku vrstvy posune dolů a proces se opakuje až do vytvoření finálního výrobku.

Pracovní komora je zcela uzavřená, jelikož je zapotřebí udržovat přesnou teplotu během celého procesu spékání. Po dokončení procesu sintrování a vychladnutí je zapotřebí výrobek očistit od přebytečného prášku. Jeden z klíčových výhod tohoto způsobu 3D tisku je to, že prášek slouží i jako nosná konstrukce v procesu spékání, a proto lze zhotovit některé tvarově složité konstrukce, které nemůžou být vyrobeny jiným způsobem.

Nevýhodou sinteringu je dlouhá doba potřebná k chlazení a pórovitost finálního výrobku. A i když v poslední době došlo k významnému pokroku k dosažení plně hustých částí (full dense parts), některé aplikace stále vyžadují infiltraci s jiným materiálem pro zlepšení mechanické charakteristiky výrobků.

SLS dokáže pracovat jak s plastovými, tak i kovovými prášky, ačkoli spékání kovového prášku vyžaduje extrémně výkonný laserový paprsek a vyšší teplotu během výroby. Výrobky zhotovené touto metodou jsou výrazně pevnější, než když se použije metoda SLA nebo DLP, nicméně jejich povrchová kvalita je horší (3dwiser.com, 2016).

Fused Deposition Modeling (FDM), Fused Filament Fabrication (FFF)

FDM, neboli FFF, je nejběžnější a nejznámější mezi technologiemi využívaných pro 3D tisk. Zkratka FDM je registrovanou značkou společnosti Stratasys, proto se často používá zkratka FFF pro prakticky identický proces tvorby výrobků a prototypů. Základním principem technologie FDM / FFF je vytlačování termoplastického materiálu po jednotlivých vrstvách. Tento proces se podobá způsobu, kdy pistole na taveninové lepidlo vytlačuje roztavené částice lepidla. Hlava 3D tiskárny je zásobena termoplastickým materiálem (nejčastěji ve formě struny), který se ohřívá do částečně kapalného stavu. Hlava následně přesně vytlačuje a nanáší materiál v tenkých vrstvách. Výsledkem vrstvení ztuhlého materiálu na předchozí vrstvu je plastický 3D model.

Proces FDM / FFF vyžaduje použití podpůrných struktur pro většinu modelů s převislou geometrií (nelze tisknout „do vzduchu“). Většinou to znamená použití druhého, ve vodě rozpustného materiálu, který umožňuje relativně lehce odstranit podpůrné struktury, jakmile tisk je hotový.

Výhodou technologie FDM / FFF je jeho cenová dostupnost a obrovské množství materiálů, které lze pro výrobu 3D modelů použít (3dwiser.com, 2016).

Binder Jetting (BJ)

Binder Jetting je další metoda 3D tisku, při kterém se používá prášek jako stavební hmota. Inkoustové tiskové hlavy tryskají tekuté pojivo na tenké vrstvy prášku. Lepením jednotlivých částic dohromady, je vytvořen finální výrobek. Binder Jetting je poměrně rychlou technologií, a může používat širokou škálu materiálů. V případě použití barevných pojidel se dají vyrobit plnobarevné výrobky. Modely vyrobené touto metodou vyžadují další postprodukci, aby získali potřebné mechanické vlastnosti (3dwiser.com, 2016).

Material Jetting (MJ), Multi Jet Modeling (MJM)

Material Jetting je podobný inkoustovému tisku dokumentů, ale místo tryskání kapek inkoustu na papír, 3D tiskárny využívající tuto technologii tryskají kapky fotopolymeru na pracovní plochu. Materiál tryská z více tiskových hlav současně pro vytvoření jednotlivé vrstvy, a UV záření se pak použije k vytvrzování jednotlivých vrstev. Výhodou tohoto procesu je, že odpadá postprodukce, po ukončení tisku je model hotový (kromě odstranění podpor samozřejmě). Material Jetting je zatím jedinou technologií, kdy lze kombinovat různé materiály v rámci jednoho výrobního procesu (3dwiser.com, 2016).

Continuous Liquid Interface Production (CLIP)

Metoda vytvořená firmou Carbon 3D. Modely se kontinuálně vynořují nebo rostou z lázně s kapalnou pryskyřicí. Výrobky zde ovšem nebyly pomalu tvarovány pomocí tiskové hlavy. Tvar modelu byl místo toho do kapalné pryskyřice vtištěn pomocí prostorově přesného vzorce osvitultrafialovými paprsky. Projektor ultrafialového záření je přitom umístěn pod nádobkou kapalně pryskyřice s průhledným dnem.

Kapalná pryskyřice reaguje na lokální, prostorově a časově proměnlivý osvit průběžným tuhnutím, které odpovídá procesu tzv. fotopolymerizace. Celý model je průběžně jakoby vytahován z nádoby s kapalnou pryskyřicí pomocí pohyblivé základny, na níž byla jedna strana pohyblivého modelu na začátku přichycena (rozhlas.cz, 2015).

Laminated Object Manufacturing (LOM)

Tato metoda se od ostatních principů rapid prototypingu na první pohled odlišuje používaným polotovarem. Tím je nejčastěji papír z jedné strany potažený polyetylenem (polyetylen slouží jako pojivo při zažehlení), ale existují i varianty zpracovávající plastové nebo kovové folie. Tato folie je v každém kroku navinuta přes celý pracovní prostor, zažehlena válcem k už hotové části a poté je z ní laserem nebo nožem vyříznut obrys vrstvy. Zařízení je také vybaveno čidlem přítlačné síly a teploty válce pro kontrolu podmínek výroby.

Mezi největší výhody této technologie patří schopnost vyrábět i velké součásti a možnost zpracovat různé druhy materiálu jako je například papír, různé polymery nebo kovy. Další předností je rychlost výroby daná tím, že laser pouze vyřezává obrys a celá vrstva je zažehlena najednou zažehlovacím válcem (14220.cz, 2013).

Selective Deposition Lamination (SDL)

Jiná technologie na bázi papíru byla patentována společností Mcor Technologies v roce 2003. Tato metoda je podobná předchozí metodě LOM ale, zatímco technologií LOM je na řezání využíván laser a stavební podpěry jsou s objektem spojeny pojivovým materiálem z fólie, u metody SDL je na řezání použit pouze nůž a jako stavební materiál klasický kancelářský papír. Následně je pojivový materiál ve formě lepidla nanášen pouze na přesně určená místa. Tím bylo výrazně usnadněno odstraňování stavebních podpěr po dokončení výrobního procesu. Samotným výrobcem je technologie definována jako bezpečná (při výrobním procesu se nepoužívají potenciálně nebezpečné látky), uživatelsky přívětivá a dokonce ekologicky šetrná. U této technologie je také možné využít schopnost plnobarevného tisku (Vik, 2015).

3.5 Tiskárna Mcor IRIS HD

K bakalářské práci byla použita tiskárna Mcor IRIS HD od irské firmy Mcor Technologies Ltd.

Technologie 3D tisku, používající papír jako stavební materiál, není nijak nová. Už v počátku vývoje nových aditivních technologií byla snaha najít vstupní materiál pro tvorbu 3D objektů, který by byl běžně dostupný, a tím i levný. Samotný princip aditivních technologií, kdy je 3D objekt tvořen jednotlivými vrstvami stejné tloušťky, pomohl tvůrcům využít tloušťku papíru jako přirozený základ pro definování jedné vrstvy (cad.cz, 2016).

Tisk je plnobarevný (1 milion barev) v rozlišení 5760 x 1440 x 580 dpi. Maximální rozměr použitého papíru je 256 x 169 x 150 mm (A4 formát). Formáty souboru pro tisk jsou STL, OBJ, VRML a Collada (Mcor technologies.com, 2016).

Tiskárna je ideální například pro architekty nebo geografy. Uplatnění nalezne i ve školách. Při využití dotačních programů nemusí být problém ani vysoké pořizovací náklady na tiskárnu, které činí 47 000 dolarů (956 600 korun) (technet.idnes.cz, 2014).



Obrázek 5: Tiskárna Mcor IRIS HD (zdroj: <http://mcor technologies.com/3d-printers/iris/>)

3.6 Využití 3D tisku

3D tisk zprvu začínal jako nástroj na výrobu rychlých a levných prototypů. S příchodem levnějších technologií a také díky finanční dostupnosti přišla i další využití. Jedním z nich je například malosériová výroba (Průša a kolektiv, 2014).

Dále se využívá k výrobě nedostupných náhradních dílů. Při opravě starožitností nebo například veteránů nejsou náhradní díly dostupné už desítky let a často je potřeba jenom jeden kus. To samé se týká třeba i domácích spotřebičů (Průša a kolektiv, 2014).

Kromě výroby prototypů a náhradních dílů, využívaných především pro průmyslovou výrobu nebo pro osobní potřebu, lze 3D tisk využívat také v oblasti architektury či stavebnictví pro výrobu detailních tvarů, kdy nelze ve většině případů dostupnými metodami dosáhnout tak přesného výsledku jako 3D tiskem. Také ve zdravotnictví například pro výrobu protéz nebo pro vědeckou či pedagogickou činnost, kde lze vytvářet přesné modely pro studium různých oborů nebo modifikovat již vytvořené digitální modely a následně tisknout nové struktury, na kterých lze zkoumat nové způsoby využití (3dprintcentrum.cz, 2016).

3.7 Vybrané 3D modely sídel

V rámci této kapitoly byly vybrány některé již vytištěné rozměrově větší modely sídel jako ukázka využití 3D tisku v oblasti architektury. V České republice se pravděpodobně nachází jen jeden velký model města a to model města Chrudim. Dále bylo vybráno pár dalších reprezentativních modelů od různých zahraničních výrobců, kdy každý model je například vyroben z jiného materiálu nebo je něčím odlišný.

Chrudim

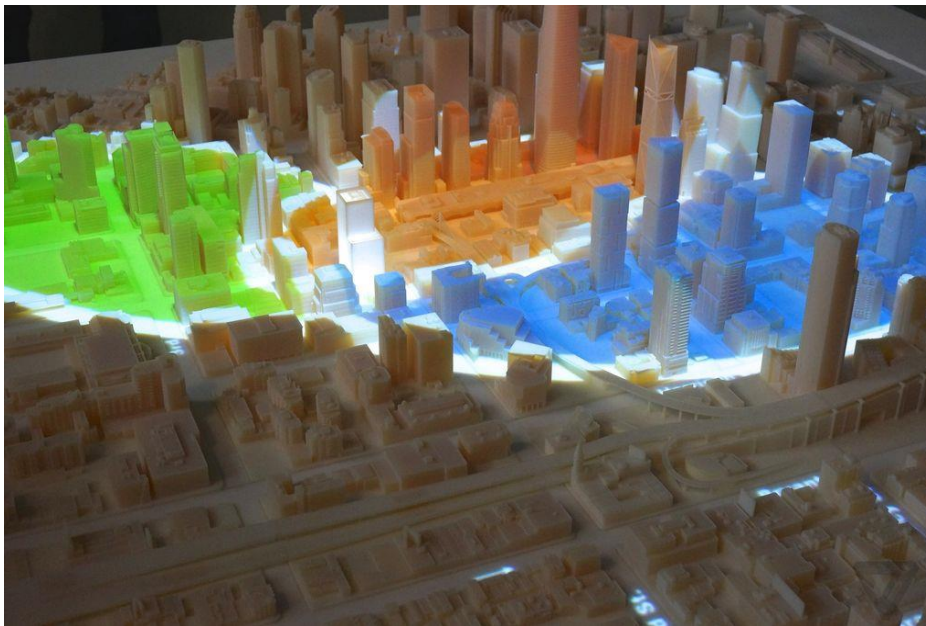
Model města Chrudim 1 : 500 vyrobený v roce 2015. Jako hlavní podklad pro výrobu detailního modelu sloužil hrubý 3D sken města vzniklý z 650 leteckých fotografií pořízených o Velikonocích 2015. Návrh a zpracování modelu od firmy VIZarch s.r.o. Výroba terénu byla provedena ofrézováním na CNC routeru. Některé významné budovy jsou i osvětlené. Model byl vyroben z materiálu na bázi plastu a obarven (chrudim2015.cz, 2015).



Obrázek 6: Chrudim – nasvícené budovy (zdroj: <https://pbs.twimg.com/media/CRb3ACrWsAA4ABW.jpg>)

San Francisco

3D model části města San Francisco složen z asi 115 městských bloků. Vyrobita ho firma AutoCAD ve spolupráci s firmou Steelblue. Vytisknut byl na tiskárně Object 500 Connex, který používá materiály na bázi gumy, polypropylenu nebo transparentní materiály. Model byl použit společně s projektorem, který promítá na model například budoucí silnice, či podzemní metro nebo barevně rozlišené části města, proto nachází uplatnění hlavně v územním plánování nebo pro vývojáře. Model je v měřítku 1 : 1250 (3dprinterscanada.com, 2016; vimeo.com, 2014; theverge.com, 2014).



Obrázek 7: San Francisco – promítání částí města (zdroj: <http://www.theverge.com/2014/5/30/5764978/this-massive-model-shows-off-115-blocks-of-san-francisco>)

Dubai

Model byl vyroben na tiskárně ProJet 860Pro od společnosti 3D Systems z barevného práškovitého materiálu. Vyrobita ho společnost Generation 3D pro soukromou společnost Ejadah Asset Management zabývající se nemovitostmi. Rozměry modelu jsou asi 3 x 2 m (3dprint.com, 2015).



Obrázek 8: Dubai (zdroj: <http://3dprint.com/94727/3d-printed-dubai/>)

Oslo

Model města Oslo byl vytištěn na dvou tiskárnách ZPrinter 650 od společnosti 3D Systems z barevného práškovitého materiálu, který byl ve vrstvách slepen pojivem. Rozměry modelu jsou 7,6 m x 4,5 m v měřítku 1 : 1000. Celý model je rozdělen do vyjímatelných částí, kterou jsou umístěny na dřevěné podstavě. Model je umístěn v Agentuře pro plánování a stavební služby v Oslu (Agency for Planning and Building Services), která plánuje konstrukční a územní rozvoj města. Model tedy slouží k územnímu plánování a také jako interaktivní informační platforma (3dprint.com, 2015; cad.cz, 2016).



Obrázek 9: Oslo (zdroj: <http://www.cad.cz/hardware/78-hardware/1560-stroj-ktery-meni-prach-v-predmety.html>)

Bahrain

Jeden z mála modelů měst vytištěn z papíru, konkrétně na 3D tiskárně Mcor Technologies' Matrix 300+. Model je v měřítku 1 : 10 000 (3dprint.com, 2014).



Obrázek 10: Bahrain (zdroj: <http://3dprint.com/9823/bahrain-3d-printed-model/>)

3.8 Obec Čistá

Pro bakalářskou práci byla zvolena obec Čistá, protože se jedná o zaniklou vesnici na území České republiky a ke které byl zpracován podrobný 3D model podle historických podkladů, jako je letecký měřičský snímek z doby vypálení vesnice nebo císařské otisky. 3D model vesnice byl vytvořen s barevnou texturou (s ohledem na historii v odstínech šedi) a s detailně vymodelovanými částmi budov. Mohl tak být využit pro detailní tvorbu historického 3D modelu na 3D tiskárně.

Historie obce

Zaniklá obec Čistá se nachází v Karlovarském kraji, ve Slavkovském lese asi 5 km od obce Krásno na silnici č. 208 směrem na obec Rovná. Historie obce se datuje k roku 1370, kdy ves byla založena.

Zřejmě zájem o využití především cínových rud přivedl v průběhu první poloviny 14. století nejstarší osídlené vlny i do nejvýše položených území Slavkovského lesa. Také na planině s nadmořskou výškou kolem 800 m n. m. mezi výšinami Sklenný vrch, Rozhledy a Špičák vyrostla tehdy osada nazvaná Lauterbach (teprve po vzniku Československé republiky byl tento původní název zčeštěn na Litrbachy a tato podoba byla užívána v úředních dokumentech paralelně s německým názvem, po osvobození v roce 1945 byla úředně užívána pouze zčeštěná podoba názvu a od 5. 2. 1948 byl úředně stanoven nový název Čistá.

Ves Čistá je doložena od roku 1370. Zmínky o těžbě cínu spadají již do 14. století, velký rozvoj nastal dolováním v 1. polovině 16. století. Ale již od 80. let 16. století význam města upadal. Poté se obyvatelé živili zpracováním dřeva, dřevorubectvím a chovem dobytka. V době rekatolizace došlo k velké emigraci luteránských německých horníků do Saska. Později se význam města opět zvýšil, ovšem nikoli díky těžbě.

Poslední doly byly definitivně uzavřeny roku 1825. Kolem poloviny 19. století Čistá dosáhla maxima počtu domů i obyvatel. Protože zůstala stranou průmyslového rozvoje, potom již jen stagnovala. Ve 20. letech 19. století se ve města nacházela elektrárna, dva mlýny, 4 pily, cihelna a těžila se zde rašelina.

Po roce 1945 bylo zcela německé město vysídleno a po roce 1946 (vystěhování začalo 18. 9. 1946) byla okolní oblast uzavřena; byl zde (dočasně) zřízen Vojenský újezd

Prameny a Čistá byla beze zbytku zbořena. Stejný osud postihl i okolní vsi Ehrlich, Vranov a vsi ležící dále západním směrem v údolí Velké Libavy a v navazujícím výběžku Slavkovského lesa (Dědková, 2012).

3D model obce

V praktické části bakalářské práce Pavly Dědkové byl vytvořen 3D model zaniklé obce Čistá v jejím historickém stavu v roce 1947. Celý model byl tvořen v softwaru Google SketchUp 7. Jako podklad byl použit Letecký měřičský snímek z roku 1947 a císařský otisk Stabliního katastru z roku 1841. Celkem bylo vytvořeno 210 budov.

Celý model je černobílý z důvodu černobílých podkladů. 25% budov v obci bylo vytvořeno podle dostupných podkladů, zbytek byl domodelován ve stejném stylu (Dědková, 2012).



Obrázek 11: Model obce Čistá - pohled shora (zdroj: <http://eyetracking.upol.cz/3d-visualization-of-extinct-village/>)

4 ZPRACOVÁNÍ MODELŮ BUDOV

4.1 Příprava k tvorbě (výběr oblasti)

Původním záměrem bylo využití celého 3D modelu vesnice Čistá a jeho následné vytištění v měřítku 1 : 800, tak aby celý model vesnice po vytištění dosáhl velikosti 100 cm x 65 cm. V rámci pozdějšího testování bylo zváženo několik faktorů, které ovlivnily výsledný rozměr výstupního modelu vesnice. Stěžejním faktorem byl detail modelů budov, který by v původním měřítku 1 : 800 byl hlavně u nejmenších budov stěží rozeznatelný. Menší budovy s průměrnou reálnou výškou cca 5 metrů by měly po vytištění cca 0,6 cm a při této výšce by se například detail oken nedal příliš rozeznat. Při zvolení většího měřítka 1 : 450 byly menší budovy po vytištění vysoké cca 1,1 cm a tento rozměr byl vzhledem k detailnosti přijatelnější. Avšak při použití tohoto měřítka vzrostla velikost výsledného modelu téměř o dvojnásobek, což bylo rozhodující pro výběr pouze části území vzhledem k množství času, které by vytištění modelů zabralo a také vzhledem k množství použitého materiálu.

Na základě tohoto testování bylo tedy rozhodnuto o vytištění pouze centra vesnice, a to v již zmiňovaném měřítku 1 : 450. Během práce s modelem reliéfu bylo měřítko upraveno na již konečné 1 : 485. Území, které je tedy nyní cílem bakalářské práce, měří ve skutečnosti cca 240 m x 155 m a obsahuje 61 objektů.

Na následujícím obrázku 12 je snímek obrazovky z programu SketchUp, který ukazuje řešenou část vesnice, jednotlivé budovy s jejich pracovním názvem, které byly vytištěny a rozdělení území na 4 části. Každá část měří po vytištění cca 25 cm x 16 cm.



Obrázek 12: Výběr z 3D modelu vesnice

Těchto 61 objektů bylo vyexportováno z poskytnutého 3D modelu celé vesnice Čistá v programu SketchUp a vloženo do nové pracovní plochy v programu SketchUp. Pro snadnější zpracování a rychlejší chod programu byly nakonec čtvrtiny zpracovávány každá zvlášť na nové pracovní ploše.

4.2 Výběr programu pro opravu modelů

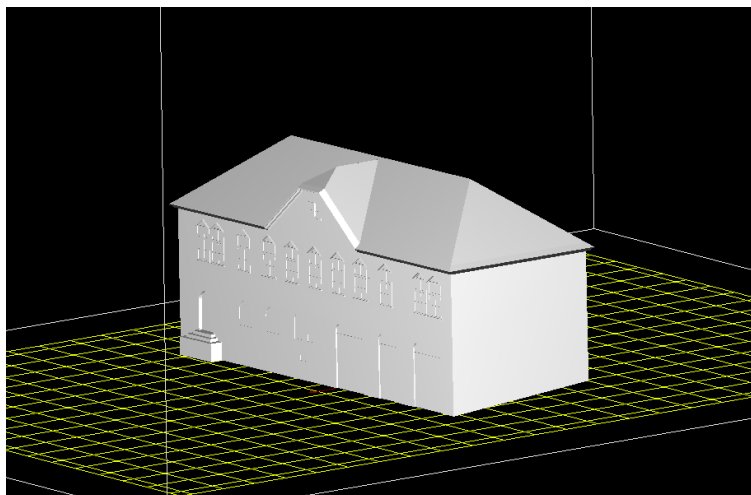
Nejdříve musel být vybrán takový program, který by zvládl v jednotlivých modelech opravit chyby, se kterými 3D tiskárna model nepřijme. Vyzkoušeno bylo několik programů, ale ne každý splňoval podmínky, které byly potřebné pro správný průběh.

4.2.1 Import neopravených modelů do programu SliceIT

Nejprve byl vyzkoušen postup bez jakýkoliv oprav a to vyexportování modelu budovy do formátu .obj, .dae nebo .wrl, které podporují export spolu s připojenou texturou. Pro tento export byla zvolena zkušební verze programu SketchUp Pro, neplacená verze programu SketchUp Make umožňuje pouze export do formátu .stl, který ale podporuje model bez textur.

Vyexportovaný model byl nahrán do programu SliceIT, který je vstupní branou ke 3D tiskárně Mcor IRIS HD a který umožňuje jeho finální úpravu k tisku. Zde ale došlo k několika problémům, kdy se modely nahrály bez textur, i když formát textury podporoval nebo došlo k jejich úplnému deformování.

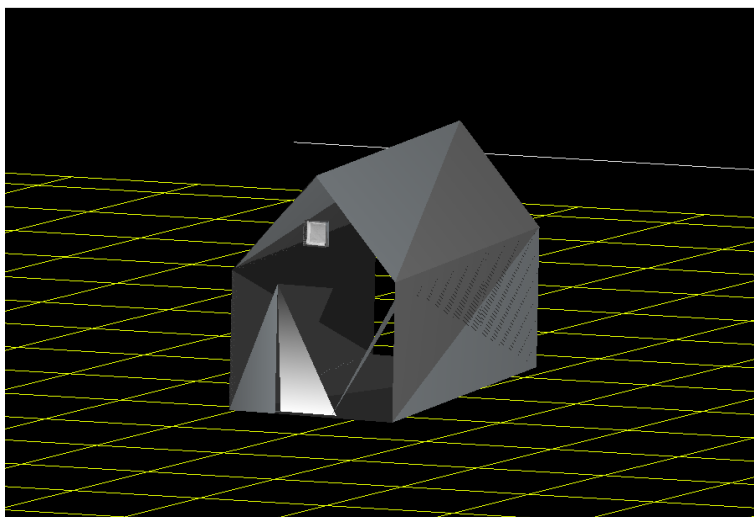
V případě formátu .obj nedošlo vůbec k importu i přesto, že program by tento formát měl podporovat. V případě formátu .dae došlo ke správnému importu chybného modelu, ale zároveň ke ztrátě textury na celém modelu.



Obrázek 13 Import neopraveného modelu ve formátu .dae

V případě modelů s více chybami došlo k neúplnému importu i u formátu .dae. U těchto dvou formátů nebylo ověřeno, jestli je chybný import způsoben chybným modelem nebo k němu dochází i v případě bezchybných modelů.

Dále byl vyzkoušen formát .wrl, kde v případě složitých modelů s velkým množstvím chyb docházelo k tomu, že program po dlouhém načítání přestal odpovídat a musel být ukončen. U modelů s méně chybami docházelo k deformování modelu.



Obrázek 14 Import neopraveného modelu ve formátu .wrl

Po tomto testování musel být tedy nalezen program, který by umožnil opravit model, tak aby se bez problému nahrál do programu SliceIT.

4.2.2 Testování programů pro opravy modelů

První volbou byl program ColorIT, který byl dodán spolu s 3D tiskárnou Mcor IRIS HD. Tento program umožňuje model opravit pomocí automatických oprav, jedná se ale o nepříliš spolehlivé opravy a spoustu chyb program přehlídne. Po opravách také dojde na většině ploch ke smazání textury. Model lze v programu znovu texturovat, ale jedná se o poměrně složitý proces s nejasnými výsledky. Program umožňuje import ve formátu .wrml.

Programy, které byly testovány a projevíly se jako nevhodné k práci:

- Meshlab podporuje import modelu s texturou, ale nabízí poměrně složité a uživatelsky nepřívětivé metody oprav, které po testování nepřinášely potřebné výsledky
- 123D Design od Autodesk nepodporuje import modelu s texturou
- Autodesk Meshmixer nepodporuje import modelu s texturou
- netfabb Studio Basic 4.9 nepodporuje import modelu s texturou

Další volba padla na program Magics. Automatické opravy v tomto programu jsou opravdu důkladné a při správném postupu je možno opravit i složitější modely bez deformace nebo ztráty textury. Tento program byl tedy nakonec pro svou funkčnost zvolen k další tvorbě.

4.3 Oprava modelů v programu Magics

4.3.1 Import modelů do programu

Jednotlivé modely budov a dalších objektů byly tedy každý zvlášť exportovány z programu SketchUp Pro pomocí *File, export, 3D model* ve formátu .obj a importovány do programu Magics pomocí *File, Import part*. Formát .obj byl zvolen z důvodu, že umožňuje v nastavení exportu v programu SketchUp pouze zvolení exportu pro označený model, v případě formátu .wrl toto nastavení není možné.

4.3.2 Fix Wizard a typy chyb

Nejjednodušší metoda oprav je pomocí nástroje *Fix Wizard* nacházející pod záložkou *Fixing*. Tento nástroj nabízí postupnou navigaci opravou modelu, takže je poměrně uživatelsky přívětivý.

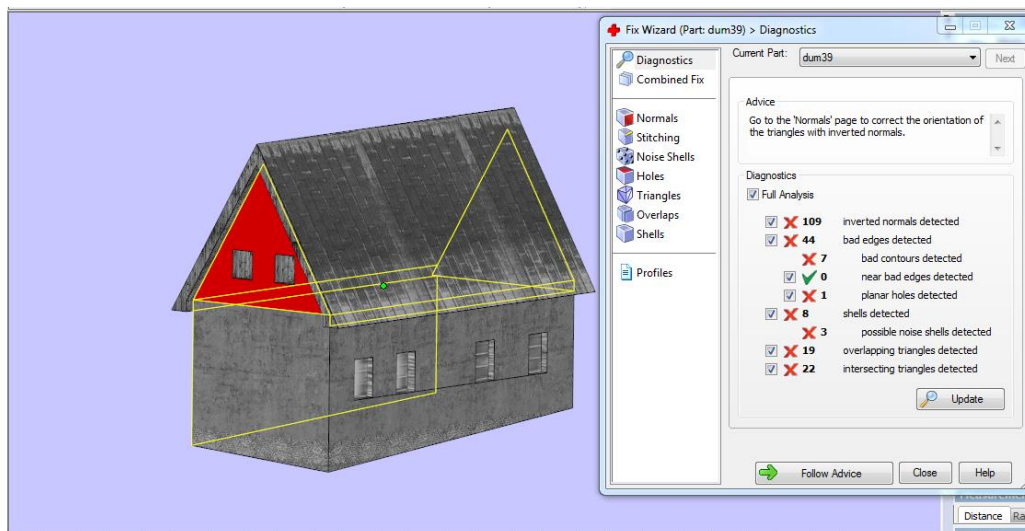
Na začátku práce ve *Fix Wizard* bylo spuštěno *Diagnostics* pomocí tlačítka *Update*, jenž vypíše jaké chyby a kolik se jich nachází v modelu. Seznam chyb (jejich umístění v záložce oprav ve *Fix Wizard*) a krátký popis se nachází v následující tabulce 1.

Tabulka 1: Seznam chyb a jejich popis

Název chyby v programu Magics (záložka)	Popis chyby
Inverted normals (Normals)	Trojúhelníky, ze kterých se skládá 3D, mají jasně definovanou přední a zadní stranu. V tomto případě jsou tyto trojúhelníky přetočené a porušují tak vnější strukturu modelu. V modelu je vnější strana zbarvená šedě a vnitřní červeně.
Near bad edges (Stitching)	Plochy trojúhelníků nesousedí z každé strany s dalšími trojúhelníky (dochází k mezerám). Opravou jsou osamocené trojúhelníky připojeny k nejbližším sousedům. V modelu žluté linie.
Possible noise shells (Noise shells)	Chybné části modelu, které nejsou součástí geometrie modelu. Touto opravou jsou odstraněny. V modelu žluté linie.
Planar holes (Holes)	Mezery v modelu. Jedná se o chybný obrys bez vnitřních trojúhelníků. Dalo by se říci, že se jedná o větší mezery nad rámeček Tolerance v Stitching. Touto opravou jsou vyplněny. V modelu jako červené plochy.
Bad edges, Intersecting triangles (Triangles)	Bad edges jsou plochy (případně linie) trojúhelníků, které se nedotýkají svého souseda. Intersecting triangles jsou trojúhelníky, které se vzájemně protínají. V modelu jako žluté linie.
Overlapping triangles (Overlaps)	Za překrývající se trojúhelníky lze považovat takové, které mají vzdálenost mezi sebou menší než je stanovená tolerance a takové, jejichž úhel, svírající dvě plochy trojúhelníků, je menší, než je stanovený úhel. V modelu žluté nebo černé linie.
Shells (Shells)	Model by měl tvořit pouze jednu nepřerušovanou schránku (shell), v důsledku této chyby je tvořen více schránkami. V modelu jako žluté linie.

(Zdroj informací v tabulce: anglický manuál nacházející se v Help v programu Magics)

Chyby *Intersecting triangles* a *Overlapping triangles* se ne vždy musí zahrnovat do celkové opravy modelu, nejsou příliš významné a na průběh tisku by neměly mít velký vliv, takže zde lze ponechat chyby.

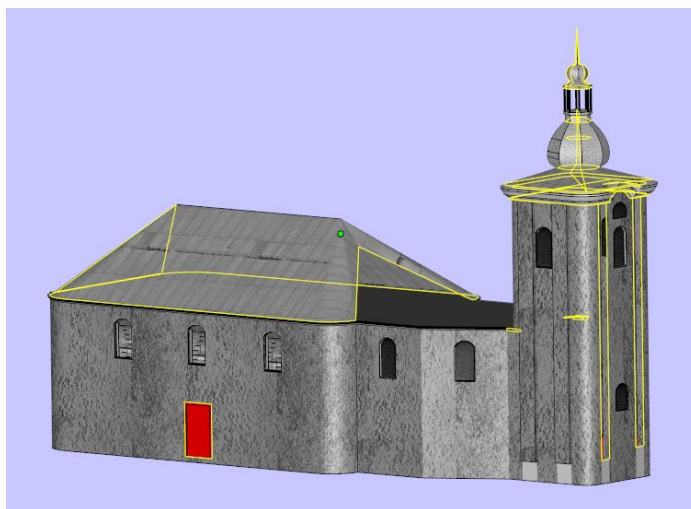


Obrázek 15: Chybný model v Magics (výčet chyb a označení chyb v modelu)

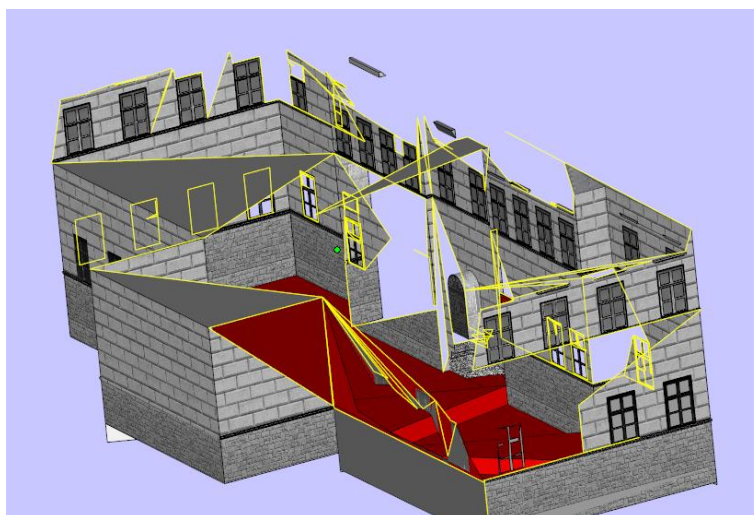
4.3.3 Postup automatických oprav

Ve fázi oprav byl zvolen postup od nejjednodušší metody k nejsložitější, tedy nejprve byla na importovaný model zvolena hromadná oprava *Combined fix*, *Automatic fixing* v okně *Fix Wizard*, která spojuje několik oprav v jeden proces. Pokud došlo v tomto případě ke ztrátě textury nebo ke ztrátě některé části modelu nebo její deformaci, byla zvolena metoda samostatných oprav výběrem z dalších záložek ve *Fix Wizard*, které nabízejí možnost si zvolit vlastní postup při opravách. U každé záložky lze opravu i přizpůsobit vlastním potřebám pomocí *Manual*.

Pokud se stalo, že oprava modelu neproběhla správně i v tomto případě, hlavně tedy u složitých modelů, bylo nutné přistoupit k manuálním opravám nejlépe na původním modelu ve SketchUp Pro. Po dokončení manuálních oprav byl model znovu importován do programu Magics k závěrečné opravě pomocí automatických oprav.



Obrázek 16: Smazání části střechy při automatické opravě

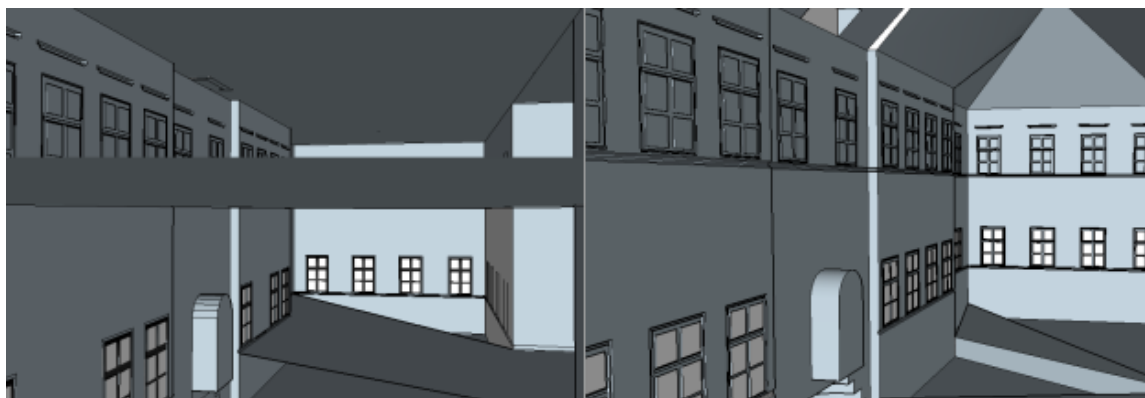


Obrázek 17: Deformace modelu při automatické opravě

4.3.4 Postup manuálních oprav

U většiny modelů nedošlo k příliš velkému manuálnímu zásahu, je ale vhodné u každého modelu, u kterého se nachází, odstranit duplikované stěny. Tedy situaci, kdy se dvě stejné plochy nachází na stejném místě na sobě. V tomto případě se často při automatických opravách v Magics stávalo, že právě v tomto místě byla po opravení smazána textura, v některých případech došlo i k deformaci modelu v místě překryvu.

Dalším problémem, při kterém docházelo k velkým deformacím modelu při automatických opravách, byly plochy a linie uvnitř modelu. V tomto případě docházelo po automatické opravě k odmazání části modelu, smazání textury nebo k úplné deformaci. Všechny tyto vnitřní plochy a linie byly manuálně smazány v programu SketchUp, tak aby zůstala z modelu pouze „skořápka“ bez čehokoliv uvnitř.



Obrázek 18: Vnitřní stěny před a po manuální opravě

V případě, že vnitřní stěna vycházela i ven z modelu, byla v místě průniku rozdělena a to pomocí nástroje *Intersect faces* (pravým tlačítkem myši na model), pak už bylo možné smazat pouze část nacházející se uvnitř modelu.

Poměrně obtížnou chybou byly mikroskopické mezery mezi stěnami modelu, vzniklé pravděpodobně nedotažením při tvorbě. Tyto chyby bylo možno vyřešit pomocí automatických oprav, ale často v tomto případě docházelo ke smazání textury nebo k deformaci stěny modelu směřující právě k této mezeře. Pokud byla mikroskopická díra v programu SketchUp nalezena, byla manuálně opravena dotážením stěny. V případě,

že se mezeru nepodařilo naleznout, bylo nutné přistoupit k automatické opravě. Pokud přitom došlo pouze ke smazání textury, ale model zůstal jinak neporušený, je možno v programu Magics texturu po opravě doplnit.

Kromě těchto oprav byly odstraněny i drobné detaily, které byly součástí například plotů, jednalo se o příliš tenké objekty, které by tiskárna nezvládla vytisknout.

4.3.5 Texturování a barvy

K texturování ploch modelu je nejdříve zapotřebí je označit pomocí nástrojů v záložce *Marking*. Zde se nachází několik možností pro výběr, za základ by se daly považovat možnosti *Mark Triangle* a *Mark Plane* (pro označení jedné plochy), případně *Mark Shell* (pro označení celého modelu).

Po výběru požadované plochy se v okně *Annotation Pages* v záložce *Textures* nachází seznam všech textur použitých v modelu. Lze upravovat stávající textury pomocí *Edit* nebo přidávat nové pomocí *New*. Pro doplnění smazané textury po opravě byla tato textura nahrazena pomocí *New* ze souboru textur připojených k modelu. Po zvolení textury se otevře nové okno *Textures*, kde lze měnit velikost textury (*Dimensions*), rotovat s ní (*Rotation*), měnit její pozici (*Position*), případně nastavení projekce a možnost opakování textury v záložce *Advanced Options*.

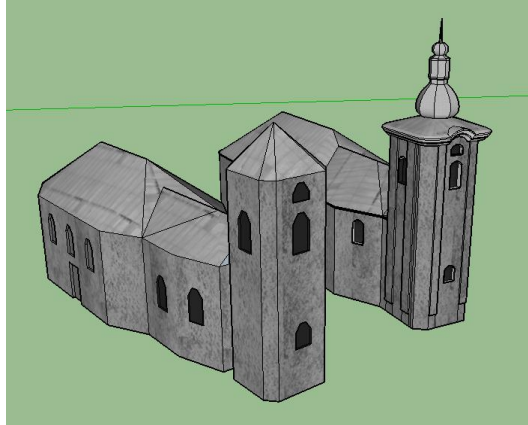
Kromě textur lze model barvit pouze pomocí barvy a to pomocí nástroje *Paint Part* v záložce *Tools*. V nově otevřeném okně si lze vybrat vlastní barvu ze seznamu nebo získat vzorek barvy z okolní textury na modelu pomocí nástroje *Pick*. Po zvolení barvy lze plochy obarvit pomocí nástroje *Color Marked*.

4.3.6 Export modelů

Jakmile byly všechny modely opraveny tak, že *Fix Wizard* nenašel žádné významné chyby a model nebyl nijak zdeformován nebo bez textury, byl vyexportován ve formátu .wrml pomocí *File, Save Part(s) As*. Formát .wrml se ukázal jako ideální pro import opravených modelů do programu SliceIT. Export do formátu .obj program nepodporuje.

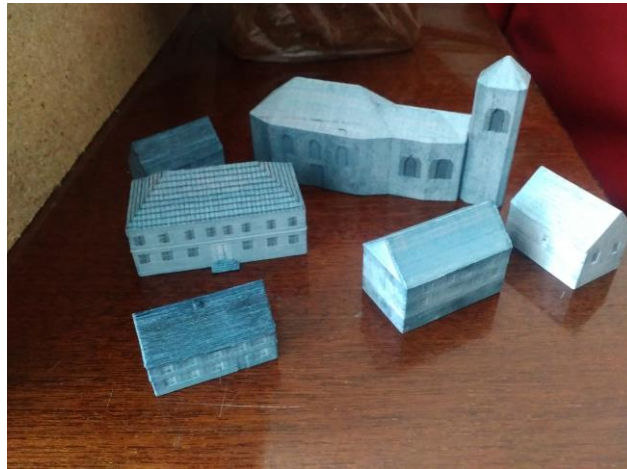
4.4 Testovací modely

V průběhu oprav bylo vybráno několik modelů budov pro testování 3D tisku. Mezi těmito modely se nachází i dva modely, které byly vytvořeny znovu podle předlohy původních. Toto bylo provedeno z důvodu porovnání detailu původního modelu a nově vytvořeného modelu s lepším detailem. V případě kostela byl tento model vytvořen z důvodu menších zkušeností, které na počátku tvorby bakalářské práce nestačily ke kompletnímu opravení původního složitého modelu. V průběhu dalších oprav byl ale i původní kostel připraven k tisku.



Obrázek 19: Zjednodušený a původní kostel (již opraven k tisku)

U testovacích tisků modelů se nakonec ukázalo, že většina budov má nedostatečný, v některých případech žádný, detail oken a dveří. Tyto detaily byly, co se plastičnosti týče na vytištěných modelech prakticky nepostřehnutelné a byly rozeznatelné pouze barvou. Bylo tedy přistoupeno k manuálním úpravám vedoucím ke zlepšení detailu oken a dveří. Toto bylo provedeno v programu SketchUp pomocí nástroje *Push/Pull*, pomocí kterého byla všechny okna a všechny dveře mírně zataženy dovnitř modelu. V některých případech se jednalo o poměrně zdlouhavý proces vzhledem k velkému počtu oken, které nebyly vytvořeny a nakopírovány pomocí metody komponentu, který by tento proces značně zjednodušoval.



Obrázek 20: Testovací modely budov



Obrázek 21: Detail budov před úpravou



Obrázek 22: Detail budov po úpravě

Po těchto úpravách byly detaily oken a dveří mnohem lépe rozeznatelné.

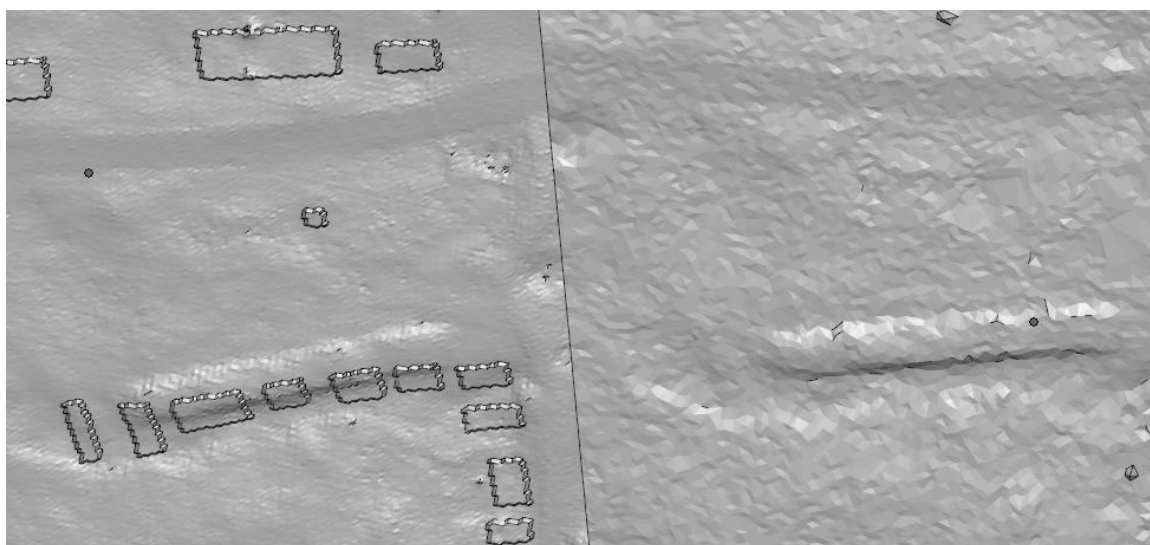
5 ZPRACOVÁNÍ MODELU RELIÉFU

5.1 Příprava k tvorbě

Hlavními podklady pro tvorbu reliéfu byla poskytnutá data z leteckého laserového snímkování a 3D model reliéfu ve formátu .obj totožného území.

Jako první byly zkoumány možnosti práce s již vytvořeným 3D modelem reliéfu. Nevýhodou tohoto modelu je ale jeho nižší detail a prakticky nemožnost model upravit podle potřeb bakalářské práce, tak jako by to bylo možné s vytvořením nového modelu.

Na obrázku 23 je demonstrován rozdíl v detailu poskytnutého modelu reliéfu a nově vytvořeného. Je zobrazeno stejné území v téměř stejném měřítku. V novém modelu reliéfu jsou také již vytvořeny i výřezy pro objekty, které v původním modelu reliéfu nejsou.



Obrázek 23: Porovnání modelů: vlevo nově vytvořený, vpravo poskytnutý

Hlavně tedy z důvodu zpřesnění detailu bylo přistoupeno k možnosti model reliéfu vytvořit znovu z dat z leteckého laserového snímkování.

5.2 Tvorba reliéfu v programu ArcMap

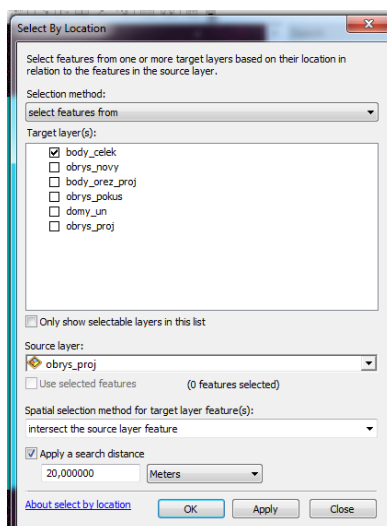
Tento datový soubor byl nahrán do programu ArcMap 10.3 pomocí nástroje *ASCII 3D to Feature Class*. Zde byl zvolen jako *Input File Format XYZ*, jako *Output Feature Class Type POINT*, dále souřadnicový systém (*Coordinate System*) *S-JTSK_Krovak_East_North* a *Decimal Separator* na *DECIMAL_POINT*. Výsledek by poté exportován do formátu .shp převeden do souřadnicového systému *WGS_1984_UTM_zone_33N* pro vhodnější orientaci snímku přes nástroj *Project*. Vytvořena byla tedy nepravidelná síť bodů celého území obce Čistá. Nyní bylo přistoupeno k vytvoření masky pro ořez celého území na vybranou část, přesněji centrum obce.

Záměrem bylo importovat do programu ArcMap již vytvořenou masku z programu SketchUp, Bohužel se ale nepovedlo najít způsob jak toto uskutečnit. Zprvu byl proveden export obrysu zájmového území z programu SketchUp ve formátu .obj a naimportován do programu Google Earth. Zde byl tento obrys exportován do formátu .kml, který byl následně importován do programu ArcMap za pomoci nástroje *KML to*

Layer. Tento způsob bohužel nezafungoval a ArcMap při importu ohlásil chybu, že nebyly nalezeny žádné vrstvy k vytvoření (ERROR 000401: No features were found for processing). Dalším krokem bylo obkreslení obrysu v Google Earth a vytvoření nové polygonové vrstvy ve formátu .kml. Vrstva byla naimportována do programu ArcMap, ale ani tento způsob se nezdařil, import proběhl, ale vrstva se ukázala jako prázdná.

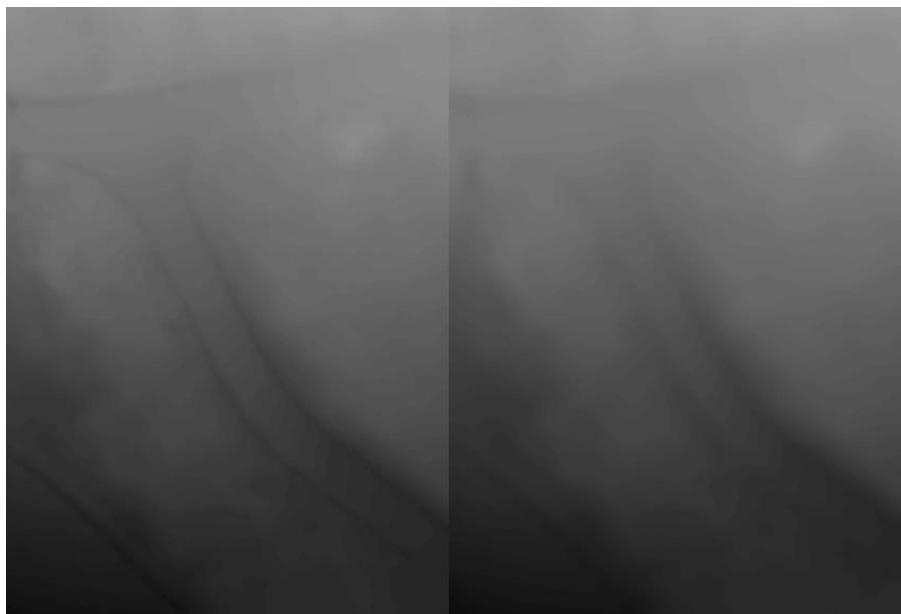
Po těchto pokusech vrstvu naimportovat z programu SketchUp bylo nakonec přistoupeno k vytvoření nové polygonové vrstvy obrysu v programu ArcMap za pomoci georeferencovaného leteckého snímku. Vytvořená polygonová vrstva je lehce odlišná, má mírně odlišné rozměry a rotaci. Rozdíl ale není příliš velký a v obrysu se nachází všechny objekty, které se tam mají nacházet, bylo tedy dále pracováno s tímto obrysem.

Nyní bylo pomocí vytvořeného obrysu vybráno zájmové území z bodové vrstvy pomocí nástroje *Select by Location*. Jako *Select features from* byla vybrána bodová vrstva celého území a jako *Source layer* vytvořený obrysový polygon. Metoda výběru byla zvolena *Intersect the source layer feature*. Dále byla zaškrtnuta i možnost *Apply a search distance* se vzdáleností 20 metrů a to z toho důvodu, aby bylo vytvořené území větší než je řešená oblast a nedošlo tak při následném ořezu k zásahu do této oblasti. Výsledný výběr byl exportován ve formátu .shp.



Obrázek 24: Výběr zájmové oblasti z bodové vrstvy

Z této vybrané bodové vrstvy byl vytvořen digitální model reliéfu a to pomocí toolbaru *Geostatistical Analyst*. Zde byl pomocí nástroje *Geostatistical Wizard* vytvářen reliéf pomocí interpolační metody IDW. Tato metoda se nachází pod záložkou *Deterministic methods* jako *Inverse distance weighting*. Jako *Source dataset* byl zvolen výběr z bodové vrstvy a jako *Data field* byl zvolen sloupec se souřadnicí Z. Veškeré další nastavení bylo ponecháno beze změny. Tato metoda byla zvolena z důvodu, že je poměrně jednoduchá a pro potřeby bakalářské práce dostatečná. Vyzkoušena byla i metoda Kriging také s původním nastavením a následně se stejným rozlišením rastru a výsledek byl velice podobný, Kriging byl jen trochu více shlazený. Avšak pro 3D tisk bylo vhodnější zvolit detailnější model a proto bylo tedy přistoupeno k metodě IDW.



Obrázek 25: Detail metod: vlevo IDW, vpravo Kriging

Vytvořený reliéf metodou IDW byl následně exportován pravým kliknutím na vrstvu IDW, zvolením záložky *Data* a *Export to raster*. Dále bylo zvoleno rozlišení rastru 0,2 metru jako dostatečný detail pro tisk modelu. Počet bodů v buňce vertikálně i horizontálně byl ponechán jako původní hodnota 1. Reliéf byl následně oříznut pomocí polygonové vrstvy obrysu se kterou bylo pracováno již v počátku tvorby reliéfu pomocí nástroje *Extract by Mask*.

Nyní tento výsledný digitální model reliéfu byl dále upraven pro snazší orientaci při další tvorbě. Tato úprava spočívala ve vytvoření nové polygonové vrstvy s půdorysnými výřezy ukazujícími polohu objektů v modelu reliéfu.

Tohoto bylo dosaženo nejprve přidáním georeferencovaného leteckého snímku podle kterého byly digitalizovány jednotlivé polygony budov a dalších objektů. Zároveň bylo při této digitalizaci spolupracováno s modelem vesnice Čistá v programu SketchUp pro zlepšení přesnosti umístění polygonů. K vrstvě budov byl také přidán polygon obrysu.

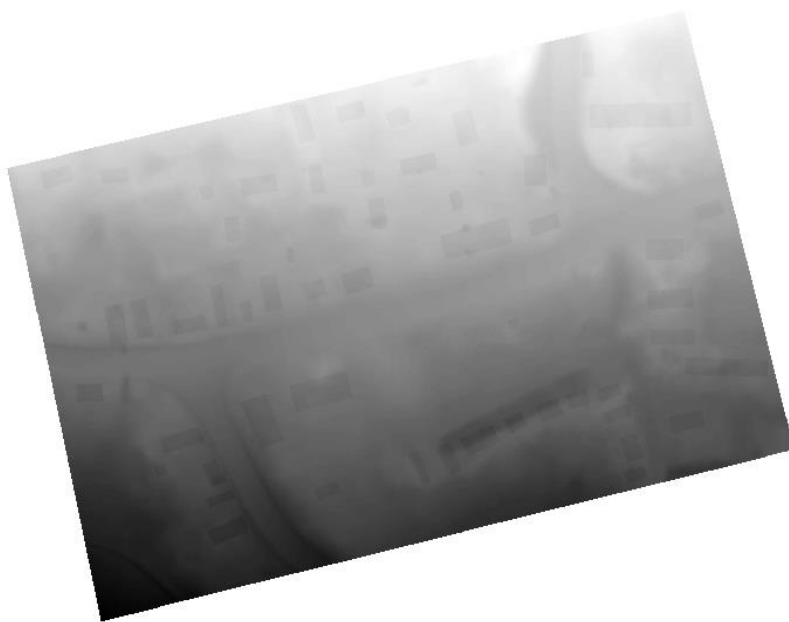


Obrázek 26: Digitalizace objektů

V atributové tabulce této nové vektorové vrstvy byl vytvořen nový sloupec s údajem o výšce pro každý polygon 0,5 metru, pouze u obrysu byla hodnota 0.

Vrstva s polygony byla následně převedena na rastr pomocí nástroje *Feature to Raster*. Jako *Input features* zde byla zvolena tato vektorová vrstva s polygony, jako *Field* sloupec s výškou a rozlišení (*output cell size*) stejné jako u rastru, tedy 0,2 metru.

Výsledný rastr byl pomocí nástroje *Raster calculator* odečten od rastru reliéfu vytvořeného metodou IDW.



Obrázek 27: Výsledný digitální model reliéfu

Před prací v dalších programech je možno si ověřit výsledek v programu ArcScene, v němž lze reliéf prohlédnout jako 3D objekt.

5.3 Tvorba 3D modelu v programu QGis

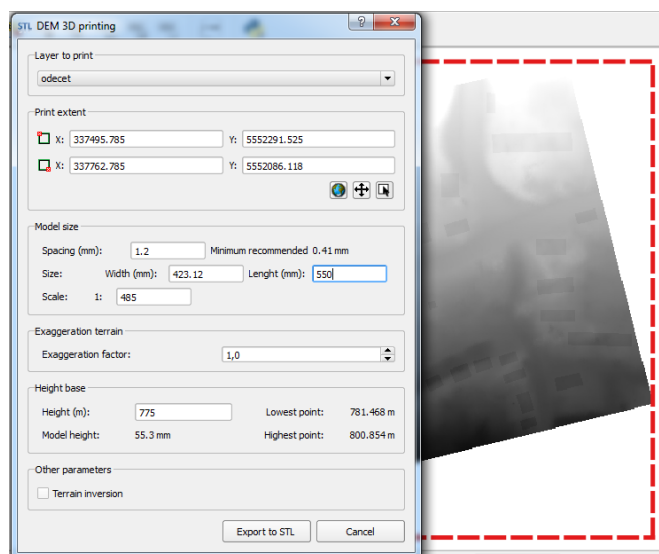
V další části tvorby byl z výsledného digitálního modelu reliéfu vytvořen 3D model. Tohoto bylo docíleno v programu QGis, který rychle a jednoduše vytváří 3D model ve formátu .stl z digitálního modelu reliéfu.

Nejprve byl nahrán rastr pomocí *Vrstva, Přidat vrstvu a Přidat rastrovou vrstvu*. Poté byl zapnut zásuvný modul *DEMto3D* (SIMON, 2015), který lze nainstalovat přes nástroj *Spravovat a instalovat zásuvné moduly...* Tento modul se poté nachází pod *Rastr, DEMto3D*.

V okně modulu byla nejprve označena vrstva, ze které byl následně tvořen 3D model. Označení lze provést pomocí 3 ikon v samotném okně a v tomto případě bylo zvoleno *Select full extent*. Výběr se vždy provede jako neotočený rovný čtverec, není možnost vrstvu označit podél jejích hranic. Vzhledem k tomu, že rastr k bakalářské práci byl vytvářen pootočený, byl tedy tak vytvořen i 3D model, který obsahuje přebývající odpadové části, které byly později oříznuty.

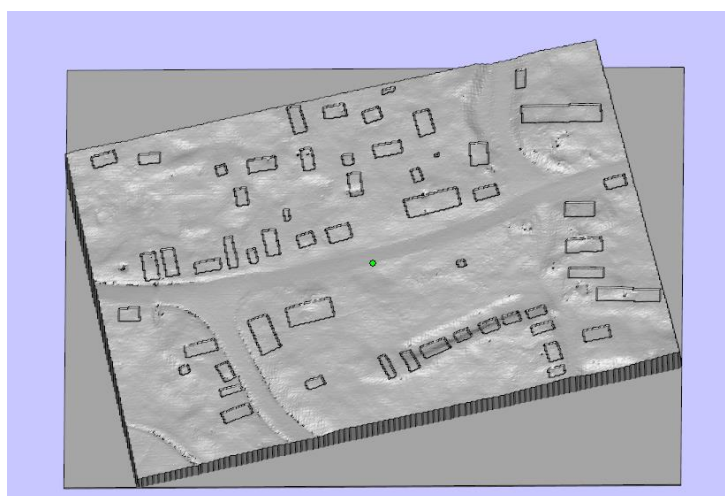
Dále byl nastaven *Spacing* jako 1,2 mm jako optimální detail modelu, při vyšším by už narůstala velikost modelu a pro účel tisku nebyl větší detail nutný. Velikost modelu lze nastavit jako *Size* nebo *Scale*. V tomto případě byl zvolen *Size lenght* 550 mm, QGis

následně dopočítal měřítko na 1 : 485. *Exaggeration factor* byl ponechán s původní hodnotou 1. Výška, ve které začíná podstava modelu, byla nastavena na 775 m (*Height (m)*) a maximální výška modelu byla automaticky dopočítána na 55,3 mm. Vyšší podstavu nebylo nutno volit. Nyní byl model vyexportován pomocí *Export to stl*.



Obrázek 28: Nastavení exportu modelu do STL

Model byl před další prací zkontrolován v programu Magics. Zde si lze všimnout, že model byl vytvořen podle výběru vrstvy v programu QGis a ne podle samotných hranic digitálního modelu reliéfu. Tento problém byl později snadno odstraněn ořezem.



Obrázek 29: 3D model reliéfu bez textury

5.4 Texturování 3D modelu v programu 3D-Coat

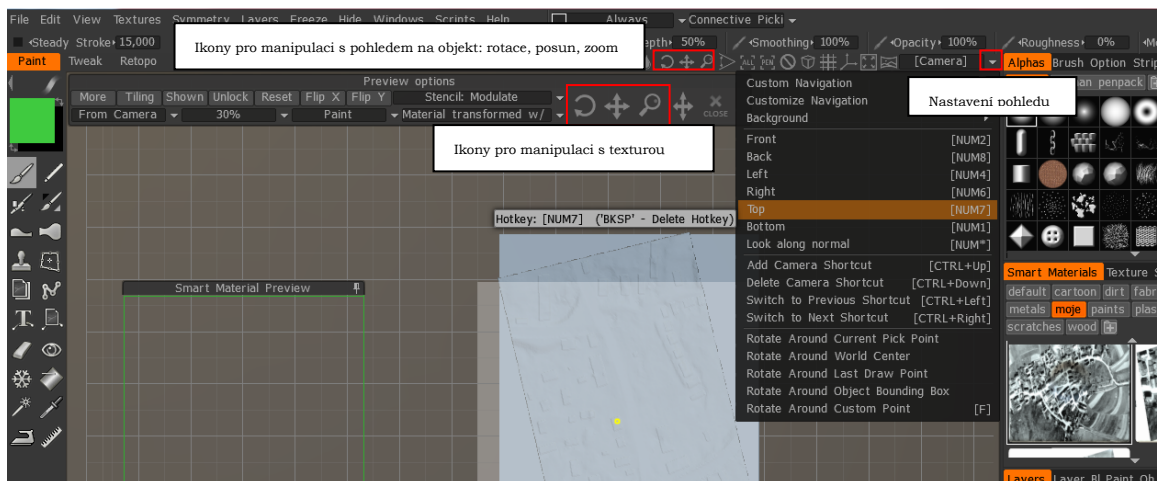
Na závěr tvorby reliéfu proběhlo texturování výsledného 3D modelu leteckým snímkem z roku 1947. Pro tento účel byl použit program 3D-Coat, který umožňuje import i velikostně náročnějších modelů, které lze poměrně účinně a bez problémů pokrýt zvolenou texturou.

Pro texturování tohoto reliéfu byl otestován i program Magics, ale zde docházelo k několika problémům. Posouvání textury po modelu nebylo plynulé, pravděpodobně se vlivem velikostně náročného modelu zasekávalo. Dále lze texturu rotovat pouze kolem osy umístěné v rohu, nikoliv ve středu textury. Také je textura viditelná pouze na

modelu, nikoliv mimo něj. Všechny tyto faktory způsobovaly obtížnější texturování tohoto modelu a program nakonec nebyl pro tento účel použit.

Nejprve byl do programu 3D-Coat nahrán 3D model reliéfu pomocí *File, New, Vertex Painting*. Model byl následně otočen tak, aby se rovnou plochou dotýkal pracovní plochy pro snadnější vyrovnání pohledu na 3D model. Toto bylo provedeno pomocí souboru nástrojů *Sculpt*, konkrétně nástrojem *Transform* v záložce *Adjust*. Zde bylo nastaveno u *Rotate X -90*. Nyní v souboru nástrojů *Paint*, v záložce *Smart Material* byla vytvořena nová složka pro import leteckého snímku pomocí ikony se složkou s plus. Do této složky byla naimportována textura pomocí *New*. V nově otevřeném okně byl nahrán letecký snímek pomocí *...Click to Select Color Texture...* a v *Preffered Mapping* nastaveno *From Camera*, což umožňuje pracovat s texturou v původním stavu bez deformací nebo vytvoření bezešvé textury. Nastavení *Preffered Mapping* na *Cube Mapping* se používá například právě v případě, že je potřeba objekt pokrýt bezešvou texturou. Další nastavení bylo ponecháno beze změny a textura byla přidána kliknutím na *Save*.

Protože směr pokrytí texturou se odvíjí od směru pohledu na 3D model, byl tedy pohled na 3D model vyrovnán tak, aby umožnil co nejpřesnější pokrytí texturou. To bylo provedeno pomocí ikony se šipkou napravo od slova *[Camera]* na panelu s ikonami pro manipulaci s modelem a zvolení možnosti *Top*. Nyní byla přidána k modelu textura kliknutím na nahranou texturu v záložce *Smart Materials*. Spolu s texturou se přidá i panel *Preview options* pro správu textury a okno *Smart Material Preview*, které slouží pro náhled textury ve stavu, v jakém bude texturovat objekt. Mimo toto okno je možnost nastavit například průhlednost textury pomocí procent na panelu *Preview options*, sloužící například pro snadnější umístění textury na objekt. Nyní byla textura pomocí ikon pro manipulaci s texturou přemístěna tak, aby její okraje co nejlépe seděly na okraje modelu a aby budovy seděly na půdorysné výřezy v 3D modelu. Toho lze dosáhnout i posouváním a zoomem za pomoci ikon pro manipulaci s objektem, ale je nutné dbát na to, aby se s modelem nerotovalo, jakákoliv odchylka od středového pohledu shora by mohla znesnadnit správné umístění textury. Nejvhodnější možnost je mít model umístěný zhruba uprostřed obrazovky a mít pohled shora (*Top*) a dále již manipulovat pouze s texturou.

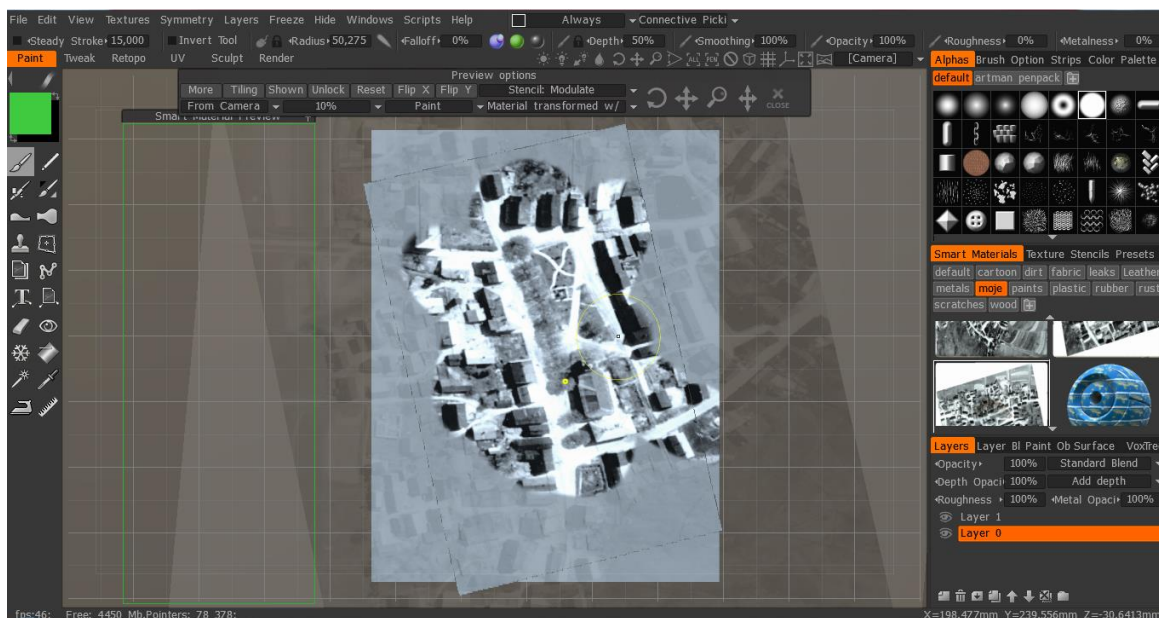


Obrázek 30: Ikony pro manipulaci s pohledem na objekt a texturou

Pro snadnější umístění textury a pro zamezení bílých okrajů, ke kterým nebylo možno texturu umístit, je dobré zvolit trochu větší texturu než je model. V tomto případě ale není možné umístit texturu na model pomocí společných hranic s modelem,

ale pouze pomocí půdorysných výřezů v modelu reliéfu. Tato možnost byla nakonec pro lepší výsledek provedena.

Po správném umístění textury byl vybrán štětec s ostrými okraji ze záložky *Alphas*, *default* (6. štětec zleva). Po vybrání štětce a zvolení jeho velikosti posunutím středového kolečka myši nebo zvolením konkrétní velikosti v nástroji *Radius* nad panelem nástrojů pro manipulaci s objektem byl model texturován prostým posouváním kurzoru po povrchu 3D modelu.



Obrázek 31: Průběh texturování

Výsledek byl exportován pomocí *File, Export Objects & Textures* do formátu *.wrml*.



Obrázek 32: 3D model reliéfu s texturou

6 PROVEDENÍ TISKU MODELU VESNICE

6.1 Dokončení tvorby celého modelu v programu Magics

Ořez reliéfu

3D model reliéfu byl nyní naimportován do programu Magics, oříznut o přebytečné části a rozdělen na stejné čtvrtiny z důvodu omezených možností tiskárny. Ořez byl proveden pomocí nástroje *Cut & Punch* v záložce *Tools*. V novém okně v záložce *Polyline* se aktivuje nástroj pro řezání tlačítkem *Indicate Polyline*, další nastavení zůstalo beze změny. Poté byla v modelu označena umístěním linií plocha, která má být ořezaná. Při tomto úkonu je nutné mít pohled shora (*View, Default views*), jinak dojde ke křivému sklonu v místě řezu.



Obrázek 33: Ořezaný model reliéfu rozdělený na čtvrtiny

Zmenšení a umístění objektů

Nyní byly všechny opravené objekty ve formátu .wrml jeden po druhém importovány do programu a zmenšeny pomocí nástroje *Rescale*. V novém okně byla zvolena záložka *Factor* a zde nastaven *Rescale factor* u souřadnice X na zmenšení 0,002. Nyní jsou modely ve stejném měřítku jako reliéf. Tato hodnota byla zjištěna na základě postupného zmenšování a měření modelu.

Později bylo u všech objektů nastaveno zmenšení v záložce *Dimensions* u *dX* na -0,5 mm z důvodu snadnějšího zasunutí objektů do půdorysu po vytištění.

Nyní byly všechny zmenšené objekty přesunuty na své pozice do připravených výřezů v reliéfu pomocí nástroje *Interactive Translate* a zasunuty mírně do modelu reliéfu. U některých modelů objektů nastala situace, kdy jedna strana byla stále nad povrchem a protější strana byla zasunutá i s okny. V těchto případech musel být model znovu upraven v programu SketchUp a byla mu dokreslena (pokud to bylo možné, tak vytažena pomocí nástroje *Push/Pull*) delší spodní strana. Poté musel být na objekt znovu opakován postup opravy.

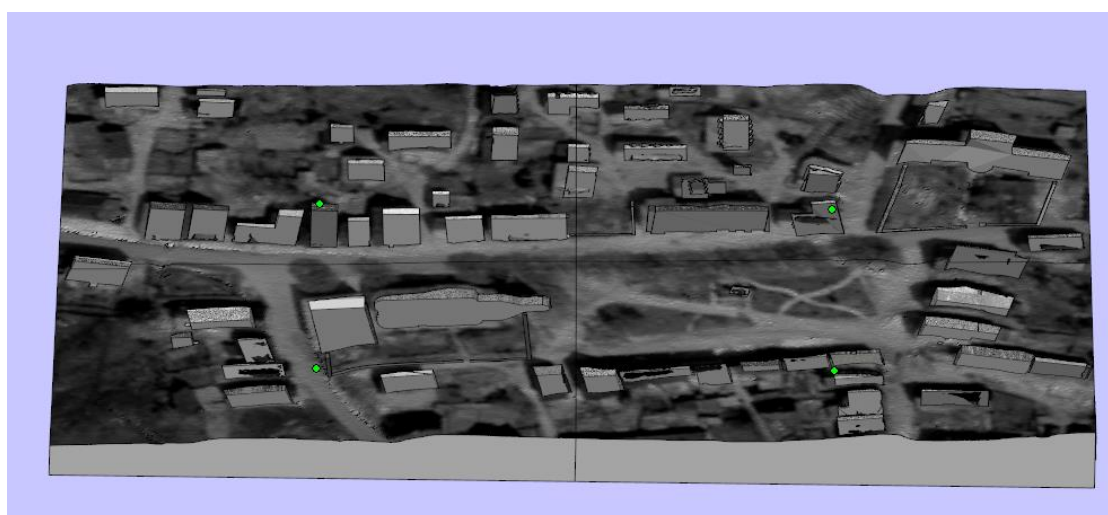
Výřez půdorysů v reliéfu

Když byly všechny objekty na svých místech, byl spuštěn nástroj *Boolean*, který umožňuje vyříznout do jednoho objektu část druhého, která jím prochází. V novém

okně byla vybrána možnost *Subtract Green from Red* nebo *Subtract Red from Green*, podle toho jak se modely při použití tohoto nástroje obarví. Dále bylo v *Advanced* nastaveno, jak se bude jmenovat nový model, případně jestli se proces má provést na již vzniklém modelu. Dále lze zaškrtnout, jestli se mají původním modely odstranit anebo zvolit proces s více objekty najednou. Tuto možnost lze provést pouze pro nástroje *Unite* a *Intersect*, nástroj *Subtract* lze vykonat pouze pro dva objekty, proces se tedy musí opakovat s každým objektem zvlášť. Takto byly tedy vytvořeny půdorysné otvory pro finální složení vytištěného modelu. Zároveň byl vytvořen na boku jednoho modelu reliéfu jednoduchý kompoziční prvek skládající se z názvu vesnice, měřítka, stavu k roku a tiráže (ukázka v obrázku 34).



Obrázek 34: Kompletní model s kompozičním prvkem



Obrázek 35: Půdorysné výřezy v modelu reliéfu

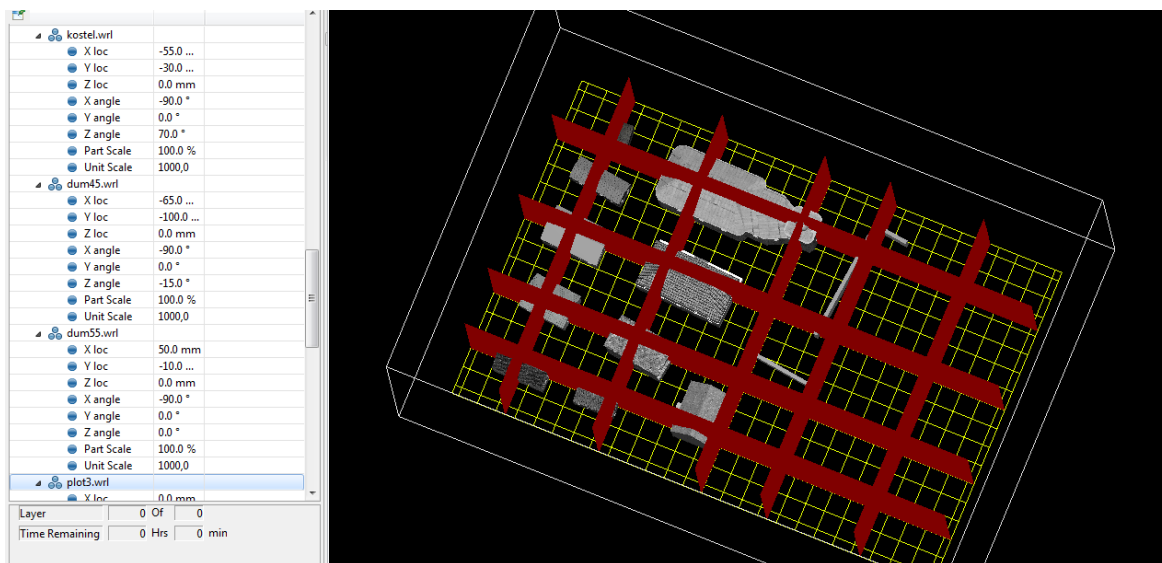
6.2 Příprava modelu k tisku v programu SliceIT

Nejprve byl vytvořen nový projekt přes *File, New Project*. Lze také importovat projekt vytvořený na jiném zařízení pomocí *Import project* nebo otevřít již uložený projekt přes *Open project*. V další fázi byly přidávány do projektu vytvořené modely ve formátu *.wrml* pomocí *Add 3D file to project*. Bylo nutno nahrávat modely budov oddělené od reliéfu, čtvrtiny reliéfu byly nahrány každá zvlášť bez budov do nových projektů.

Nahráním modelům lze měnit umístění na pracovní ploše pomocí *X loc*, *Y loc* a *Z loc*. Totéž lze provést manuálně pomocí nástroje *Move part* v záložce *View*. Umístěné modely nesmí přesáhnout poslední žlutou obrysovou linii, u některých modelů se stalo, že program nepracoval správně ani po přesáhnutí předposlední obrysové linie. Dále lze modelem rotovat pomocí *X angle*, *Y angle* a *Z angle* nebo v záložce *Rotate, Orient part*. Dále pomocí *Part Scale* a *Unit scale* lze měnit jeho velikost. *Unit scale* se nastavuje pouze při importu, *Part Scale* lze měnit dodatečně. Všem modelům se ponechala při importu přednastavená hodnota 1000, která souhlasila s použitým měřítkem modelů. Jestli velikost souhlasí, lze zkontrolovat pouze podle žlutých čtverců na pracovní ploše, jejichž strany měří 1 cm.

Pro následnou extrakci byly provedeny pomocné řezy pro místa, kde se nenachází žádný model, tak aby se daly lépe vyloupnout z celého bloku papírů. Toto se provádí buď ponecháním původních řezných linií *Support lines*, které tvoří pravidelnou síť 20 mm x 10 mm, jejíž hodnoty lze změnit. Ale tento způsob není nutný, zbytečně prodlužuje dobu tisku a opotřebení nože v tiskárně. Dalším způsobem je přidání vlastních linií pomocí *Add Y-Z plane* a *Add X-Z plane*. Tyto linie by měly procházet každým objektem a nejlépe rozdělovat model v jeho nejvyšší části nebo uprostřed. V případě, že se objekty nenachází po celé ploše, měla by se i prázdné části nacházet pomocná řezná linie. V opačném případě by mohlo dojít k chybě v tisku.

Po přidání linií se pomocí nástroje *Generate Layers* v záložce *Build* vygenerují vrstvy k tisku a vypíše se statistika, která obsahuje informace mimo jiné o počtu vrstev, době potřebné k tisku nebo vzdálenost, kterou urazí nůž. Tuto statistiku lze poté nalézt v záložce *Build*.



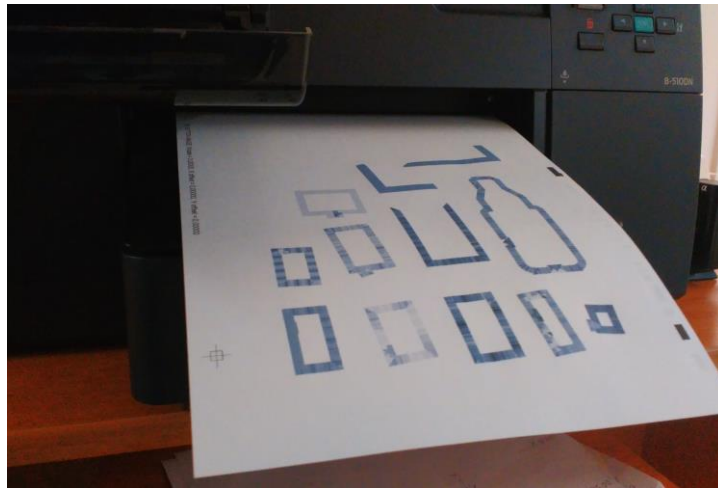
Obrázek 36: Příprava modelů ve SliceIT včetně pomocných řezných čar

6.3 Provedení tisku

Ke 3D tisku modelů byla využívána 3D tiskárna Mcor IRIS HD a 2D tiskárna značky Epson.

Tisk barevných papírů

Tisk barevných stran byl spuštěn pomocí nástroje *2D printer Interface* v záložce *Colour*. K tomu je nutno mít připravenou 2D tiskárnu a kancelářský papír s gramáží 80. Poté bylo průběžně kontrolováno, jestli se v tištěných papírech nenacházejí odchylky v barvě, případně chybný (přerušovaný) tisk kódu na okraji papíru, který je nutný pro správný chod 3D tiskárny. V případě výskytu těchto chyb bylo 2D tiskárně Epson nastaveno čištění tryskových hlav. Tento proces byl opakován několikrát během tisku. Na průměrný počet bezchybně vytištěných papírů mezi čištěním měla také pravděpodobně vliv hladina barev v nádržkách. Bylo vyzorováno, že v případě nízké hladiny barev bylo nutné čištění opakovat po zhruba 80 vytištěných papírech a v případě nově doplněných barev lze bezchybně tisknout i více než 200 papírů bez použití čištění. Všechny papíry jsou tištěny oboustranně a barva se papírem propijí, každá strana obsahuje číslo stránky a označení TOP (vrchní část) nebo BOTTOM (spodní část).



Obrázek 37: Tisk barevné stránky (na levém okraji informace o stránce, na pravém okraji kód)

Tisk 3D modelu

Po vytištění papírů bylo přistoupeno k samotnému 3D tisku. Nejprve byla otevřena 3D tiskárna zvolením *Setup Build* na displeji 3D tiskárny Mcor IRIS HD. Po otevření byla tiskárna připravena k 3D tisku. Nejprve byla vyjmuta pracovní deska a na ni nalepen jeden list papíru pomocí papírové pásky (je vhodné, aby páska co nejméně zasahovala do papíru). Poté byl nastaven řezací nůž, jehož ideální nastavení průřezu je skrz 1,5 papíru a očištěna tryska od zaschlého lepidla. Po těchto nastaveních se z boku vloží do tiskárny zarovnané papíry od nejmenšího čísla nahoře po největší vespodu, stranou TOP nahoře a kódem směrem do tiskárny. Tento kód využívá tisková hlava pro kontrolu správného listu papíru. Pokud je vše v pořádku nastaveno, zavřou se všechna dvířka a zvolením *OK* na displeji tiskárny je spuštěn tisk. Poté je nutno vrátit se zpět k modelu v programu *SliceIT* a záložce *Machine Interface* zvolit *Print Model*.

Nyní tisková hlava nanáší lepidlo na povrch každého papíru, podává si nové papíry ze zásobníku, které lepí a přitlačuje k předchozím a ořezává každý papír v místech barevných obrysů vytištěných na 2D tiskárně a v místech pomocných řezných linek.

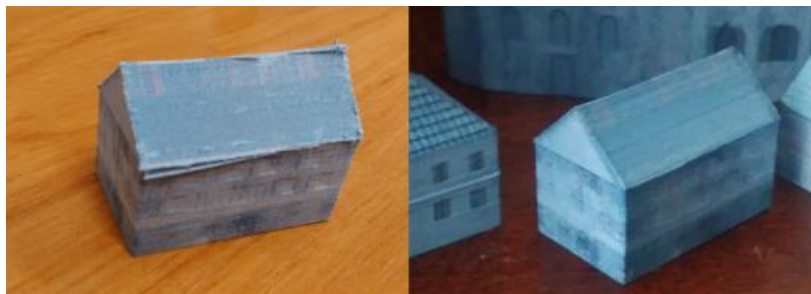
Úprava modelů po tisku

Po dokončení tisku byl celý blok papíru vyjmut z 3D tiskárny a z něj vylupovány modely postupným odlupováním odpadových částí. Je nutné při tomto procesu dbát na opatrnost, v opačném případě by mohlo dojít k poškození modelu.



Obrázek 38: Vyloupávání modelu z bloku papíru

I při nejvyšší opatrnosti může dojít k odchlípení některých vrstev, tato situace se po vyloupení modelu řeší nanášením laku na jeho povrch, který porušené vrstvy připojí zpět k modelu. Lak zároveň slouží k projasnění barev modelu a k celkovému zlepšení jeho pevnosti.



Obrázek 39: Před a po použití laku

7 VÝSLEDKY

7.1 Postup řešení

Jedním z výstupů práce je podrobný postup řešení 3D tisku modelu centra vesnice Čistá včetně modelu reliéfu na tiskárně Mcor IRIS HD. Toto zahrnovalo testování a výběr vhodných programů, poměrně podrobný popis vyskytujících se chyb ve 3D modelech a jejich řešení v programech SketchUp a Magics. Dále pak kompletní postup vytvoření 3D modelu reliéfu od surových lidarových dat k výslednému 3D modelu. Tento návod by mohl sloužit komukoliv, kdo by se rozhodl pracovat s použitými programy v této bakalářské práci, případně pokud by narazil na tytéž problémy, které se při práci s modely vyskytly. Nebo těm, kdo by se rozhodli pracovat s tiskárnou Mcor IRIS HD.

7.2 Digitální modely

Výstupem v digitální podobě bylo tedy 61 objektů budov a dalších objektů, které se nacházely ve vybraném centru obce, ve formátu .wrml.

Všech 61 objektů muselo být postupně zbaveno všech chyb, se kterými by se model nepodařilo správně nebo vůbec vytisknout. Při tomto procesu docházelo k opakovanému exportu a importu mezi programy Magics a SketchUp, které byly vybrány jako stěžejní pro práci s modely budov, dokud nebyly modely bezchybné. Také musela být na některých modelech doplněna textura, která byla po opravě smazána.

Dalším výstupem byl 3D model reliéfu vytvořen z digitálního modelu reliéfu, který vznikl pomocí metody IDW s rozlišením 0,2 m. Výsledný 3D model má rozlišení 1,2 mm a je v měřítku 1 : 485. V tomto digitálním modelu byly vytvořeny půdorysné výřezy budov, ukazující jejich umístění a to pomocí rastru vytvořeného z vektorové vrstvy budov. Poté byl z digitálního modelu vytvořen 3D model ve formátu .stl a na ten poté aplikována textura leteckého snímku z roku 1947. Následně byly na reliéf připojeny kompoziční prvky obsahující název obce, stav k roku, měřítko a tiráž. Reálné rozměry vybrané oblasti jsou 240 m x 155 m a výsledný model měří cca 50 cm x 31 cm.

7.3 Vytištěné modely

Hlavním výstupem jsou již vytištěné modely ze 3D tiskárny Mcor IRIS HD, které zahrnují 3D model reliéfu s připravenými půdorysnými výřezy pro jednotlivé modely budov a dalších objektů. Reliéf byl tisknut rozdělený na čtvrtiny z důvodu omezených možností tiskárny, kdy každá čtvrtina má rozměry zhruba 25 cm x 16 cm a s výškou v nejvyšším bodě 5,5 cm. Průměrná výška budov jsou 2-3 cm, nejvyšší budova kostel měří 5,7 cm. Všech 61 objektů spadajících po vybrané oblasti bylo vytištěno a umístěno do reliéfu.



Obrázek 40 Vytištěný model první části reliéfu



Obrázek 41 Vytištěné modely budov z první části



Obrázek 42 První část vytištěného modelu

7.4 Využitelnost tištěného modelu

Hlavní předností metody tisku z papíru je na rozdíl od jiných tiskáren to, že umožňuje plnobarevný tisk. Také se jedná o tisk z papíru, který je levnější a ekologičtější než jiné typy materiálů.

Samotný model by mohl sloužit například k prezentačním účelům spojeným z rekonstrukcí zaniklých sídel případně s 3D tiskem na tiskárně Mcor IRIS HD.

Také se v průběhu práce ukázalo, že tato metoda 3D tisku je vhodná k tisku větších modelům složených z více částí, takže by mohla být využitelná k tisku větších modelů měst, které by mohly sloužit k prezentaci daného města a například ve spojení s projektorem i k promítání dalších informací na 3D model. Také jak už bylo zmíněno, velká výhoda této metody tisku je jeho plnobarevný tisk, takže by výsledný model města působil mnohem realističtěji než jednobarevný model.

Avšak tento způsob tisku by mohl mít problém s opravdu drobnými detaily ve formě například tenkých linií, které by nemusela tiskárna zvládnout vytisknout. Co se týče detailů jako okna, dveře a další, které jsou v digitálním modelu alespoň částečně zvýrazněné, tak se ukázalo, že je tiskárna zvládne vytisknout tak, aby se daly rozlišit. Na některých modelech jsou odlišitelné i detaily jako komíny, převisy střech, různé hrboly na stěnách nebo schůdky.

8 DISKUZE

Již od počátku tvorby bakalářské práce byl hlavním problémem, který se v průběhu dařilo řešit, nalezení vhodného softwaru pro import modelů budov a následné opravení chyb bez rozbití geometrie modelu nebo bez ztráty textury. Před nalezením programu Magics bylo testováno několik programů, ale všechny měly nedostatky, které nebyly slučitelné s další činností, například nepodporování textury, případně její odmazávání nebo nedostatečná analýza chyb v modelu.

Jako nejvhodnější program byl poté nalezen program Magics. Vzhledem k tomu, že se jedná o komerční software, nebylo by jistě na škodu nalézt v budoucnu i možnost provést stejné úkony za pomoci některého open source programu, který by se funkcí vyrovnal programu Magics.

Zásadní odchylka od původního cíle bakalářské práce bylo zmenšení řešeného území z původní celé obce s rozměry cca 800 m x 430 m ve skutečnosti na konečné 240 m x 155 m. 3D model území nyní měřil cca 50 cm x 31 cm a co se týče reliéfu, byl tisknut na čtvrtiny, každá zvlášť. Důvod této změny byla hlavně změna měřítka, jehož hodnota z původních 1 : 800 zmenšila na 1 : 485 a tím pádem narostly rozměry modelu. Tisk kompletního území obce v tomto měřítku by byl velice náročný jak časově, tak po finanční stránce.

Také s přičtením počátečních problémů s nalezením vhodných programů a technickým problémům s tiskárnou v závěru tvorby by nejspíše tisk celé obce nebyl v časovém rozmezí pro bakalářskou práci zvládnutelný.

Co se týče technických problémů, docházelo velice často ke spotřebování čistící kazety pro čištění tryskových hlav a také barev u 2D tiskárny Epson. 2D tiskárna se také ukázala poměrně nespolehlivá, co se týče barev, velmi brzy se na tištěných papírech objevovaly chyby, například pravidelné pruhy jiné barvy a bylo nutné nechávat poměrně často čistit tryskové hlavy, zvláště při nižší hladině barev v nádržkách.

V průběhu tvorby reliéfu také docházelo k několika neočekávaným problémům. Jedním z nich bylo nalezení řešení importu obrysu vybraného území obce z programu SketchUp do programu ArcMap. Byl vyzkoušen import přes Google Earth, ale ten se nezdařil, tak bylo přistoupeno k manuálnímu zakreslení obrysu v ArcMap podle leteckého snímku. Vlivem tohoto manuálního zakreslení, ale došlo k tomu, že je obrys mírně křivý. Bylo by vhodné spíše využít export z programu SketchUp ve formátu .dwg a jeho následný import do programu ArcMap. Bohužel bylo toto řešení nalezeno až v závěru práce, kdy byl reliéf již vytvořen a postupně tisknut.

Dále by bylo vhodné vytvořené půdorysné obrysy budov, které byly tvořeny v programu ArcMap jako vektorová vrstva, zvolit v menší velikosti než jsou nyní. Bohužel při další tvorbě docházelo k tomu, že na některých místech byl výřez v reliéfu větší než samotný model budovy. Také zvolená hloubka výřezu 0,5 m mohla být o něco menší, ale to v konečné fázi nemělo až tak velký vliv na výsledek.

9 ZÁVĚR

Práce byla zaměřena na ověření možností 3D tisku při rekonstrukci zaniklých sídel. Jednalo se o tisk většího modelu složeného z více částí. Hlavními cílem byl tedy návrh a praktická realizace modelu zaniklé vesnice Čistá podle bakalářské práce Mgr. Pavly Dědkové 3D vizualizace zaniklé obce a její hodnocení z hlediska uživatelské kognice z roku 2012. Pro tento účel byla vybrána 3D tiskárna Mcor IRIS HD od společnosti Mcor Technologies, která tiskne plnobarevným tiskem a z papíru. Plnobarevný tisk je hlavní předností tiskárny, což umožňovalo udělat 3D model vesnice mnohem realističtější než z jiných 3D tiskáren.

V průběhu práce byla z celého modelu vesnice použita pro 3D tisk pouze jeho část, přesněji centrum vesnice a to z důvodu velkého množství času potřebného k tisku a také z důvodu vysokých nákladů na tisk celé obce.

Na počátku práce byla provedena rešerše a testování vhodných programů pro práci s 3D modelem obce a při vytváření 3D modelu reliéfu. Celý tento proces provázelo několik problémů, ať se už jednalo o nedostatečné opravení modelů budov, které se pak nedaly nahrát do programu pro přípravu k tisku anebo chybné opravení modelů budov, které postrádaly svou texturu nebo část geometrie. Velký problém se ukázalo samotné nalezení vhodného programu, který by tento problém vyřešil. Řešení těchto problémů zabralo velkou část bakalářské práce.

Samotný průběh 3D tisku vesnice byl poměrně bezproblémový, co se týče nastavení, ve kterém je tato metoda 3D tisku poměrně intuitivní. Avšak v závěru práce docházelo spíše k technickým problémům jak s 2D tiskárnou tak i s 3D tiskárnou, jejichž řešení vyžadovalo značné množství času. V rámci práce byly vytištěny 4 části reliéfu o velikosti 25 cm x 16 cm a 61 objektů, které byly následně připojeny k reliéfu.

Součástí práce bylo také navržení nejvhodnějšího ztvárnění s ohledem na použitá data, historické zdroje, technická omezení a výslednou cenu modelu. Jednalo se tedy o podrobný postup tvorby doplněný příslušnými obrázky, což by mohlo sloužit studentům nebo komukoliv, kdo by se rozhodl pracovat se stejnou 3D tiskárnou nebo programy a setkal se se stejnými problémy, které byly v práci řešeny, popřípadě vyřešeny. Samotný 3D model vesnice by mohl sloužit například k prezentačním účelům spojeným z rekonstrukcí zaniklých sídel případně s 3D tiskem na tiskárně Mcor IRIS HD. Nebo jako názorná ukázka možného ztvárnění 3D modelu zaniklého sídla touto metodou 3D tisku a jeho následná aplikace na jiné 3D modely sídel.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

LAVIČKA, Zdeněk. [online]. 2015 [cit. 2016-04-30]. 3D technologie v rámci muzejní praxe. Dostupné z WWW: <<http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2015/zdenek-lavicka-dp-2015.pdf>>.

PRŮŠA, J. and PRŮŠA, M., 2014. Základy 3D tisku. Prusa Research s. r. o.

3D tisk [online]. 2014 [cit. 2016-02-10]. 3D tisk. Dostupné z WWW: <<http://www.3d-tisk.cz/3d-tisk>>.

3DWiser: World of 3D printing [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. O 3D tisku. Dostupné z WWW: <<http://www.3dwiser.com/o-3d-tisku/>>.

Český rozhlas [online]. 2015 [cit. 2016-02-10]. 3D tiskárna nového typu tiskne “z kapaliny”. Dostupné z WWW: <http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/3d-tiskarna-noveho-typu-tiskne-z-kapaliny--1469733>.

14220 [online]. 2013 [cit. 2016-04-30]. 3D tisk-metody. Dostupné z WWW: <<http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>>.

VIK, Miroslav. [online]. 2015 [cit. 2016-04-30]. 3D technologie v rámci muzejní praxe. Dostupné z WWW: <<https://theses.cz/id/dvlnmok/STAG83097.pdf>>.

CAD [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. 3D tisk modelů z běžného kancelářského papíru A4. Dostupné z WWW: <<http://www.cad.cz/hardware/78-hardware/4719-3d-tisk-modelu-z-bezneho-kancelarskeho-papiru-a4.html>>.

Mcor Technologies [online]. 2016 [cit. 2016-04-30]. Mcor IRIS HD. Dostupné z WWW: <<http://mcor technologies.com/3d-printers/iris/>>.

Technet [online]. 2014 [cit. 2016-02-10]. Nejlevnější 3D tisk: toto bylo vytisknuto z obyčejného papíru. Dostupné z WWW: <http://technet.idnes.cz/iris-3d-tisk-mcor-z-papiru-0h8-/hardware.aspx?c=A140129_193400_hardware_kuz>.

Ultimat3D: print centrum [online]. 2016 [cit. 2016-04-30]. Co je to 3D tisk?. Dostupné z WWW: <<http://3dprintcentrum.cz/3d-tisk>>.

Chrudim2015 [online]. 2015 [cit. 2016-02-10]. Chrudim 2015. Dostupné z WWW: <<http://chrudim2015.cz/>>.

3Dprinters Canada [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. Connex500. Dostupné z WWW: <<http://www.3dprinterscanada.com/connex-3d-printer-family-connex500.php>>.

Vimeo [online]. 2014 [cit. 2016-02-10]. 3D printed model of San Francisco - making of (video). Dostupné z WWW: <<https://vimeo.com/96664486>>.

The Verge [online]. 2014 [cit. 2016-02-10]. This massive 3D-printed model shows off San Francisco in amazing detail. Dostupné z WWW: <<http://www.theverge.com/2014/5/30/5764978/this-massive-model-shows-off-115-blocks-of-san-francisco>>.

3D print [online]. 2015 [cit. 2016-02-10]. 3D printed Dubai: huge 3 x 2 meter model of the city is 3D printed by generation 3D. Dostupné z WWW: <<http://3dprint.com/94727/3d-printed-dubai/>>.

3D print [online]. 2015 [cit. 2016-02-10]. Oslo, Norway makes 3D printing an integral part of future urban planning with 3D printed model of city. Dostupné z WWW: <<http://3dprint.com/57272/oslo-3d-printed-city-model/>>.

CAD [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. Stroj, který mění prach v předměty. Dostupné z WWW: <<http://www.cad.cz/hardware/78-hardware/1560-stroj-ktery-meni-prach-v-predmety.html>>.

3Dprint [online]. 2014 [cit. 2016-02-10]. The entire country of Bahrain has been 3D printed in a huge 1:10,000-scale model. Dostupné z WWW: <<http://3dprint.com/9823/bahrain-3d-printed-model/>>.

DĚDKOVÁ, Pavla [online]. 2012 [cit. 2016-02-10]. 3D vizualizace zaniklé obce a její hodnocení z hlediska uživatelské kognice. Dostupné z WWW: <<http://geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/dedkova12/vysledky.html>>.

DĚDKOVÁ, Pavla [online]. 2012 [cit. 2016-02-10]. 3D vizualizace zaniklé obce a její hodnocení z hlediska uživatelské kognice. Dostupné z WWW: <http://geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/dedkova12/text_prace.pdf>.

SIMON, Francisco Javier Vencesla. *DEMto3D* [online]. 2015 [cit. 2016-02-10]. DEMto3D plugin. Dostupné z WWW: <<http://demto3d.com/?lang=en>>.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Volné přílohy:

Příloha 1 Vytisknutý 3D model vesnice Čistá (4 části reliéfu a 61 objektů)

Příloha 2 Poster

Příloha 3 DVD

Popis struktury DVD

Adresáře:

Metadata

Text_Prace

Vstupni_Data

Vystupni_Data

WEB