

# TVORBA 3D MODELŮ BUDOV S POUŽITÍM METOD DIGITÁLNÍ PRŮSEKOVÉ FOTOGRAMMETRIE

Bc. Vojtěch Roupa

Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, VŠB-TUO, 17. Listopad 15, 70833

Ostrava, Česká republika

[roupa@email.cz](mailto:roupa@email.cz)

## **Abstrakt**

V předložené diplomové práci je zpracována problematika digitální průsekové fotogrammetrie s dalším využitím pro tvorbu 3D modelů budov. První část práce vysvětluje základní dělení modelování, možnosti, které skýtá 3D prostor pro vizualizaci předloh. Výběr určité metody v souladu se zadáním práce následuje v další části společně s popisem postupu, který vede k vytvoření 3D modelu Slezskoostravského hradu. V další části je vylíčen postup integrace vytvořeného modelu do prostředí Google Earth a 3D ortofotomapy Moravskoslezského kraje. Následuje část věnovaná komentáři použité metodiky, popisu výhod a nevýhod navržených metod, stejně tak, jako porovnání s metodami jinými. Závěr práce je věnován shrnutí celého postupu a komentářům k provedené vizualizaci modelu.

## **Klíčová slova**

Slezskoostravský hrad, 3D, modelování, fotogrammetrie

## **Abstract**

In the here presented Diploma thesis, the problematics of close-range Photogrammetry specified in 3-Dimensional buildings modelling, is covered. The first part explains the basic modelling division, possibilities in visualisation of the models. In the next part, choosing the method in accordance with the assignment leading to the creating 3-Dimensional model of Silesian Ostrava Castle is described. The process

of the model integration into Google Earth environment and 3-Dimensional ortophotomap of Moravian - Silesian region is content of the third part of my thesis. The comments and descriptions of used methodics are following and the conclusion is dedicated to the results of the analysis, comparison with another methods, overview over all the process and comments on visualisation of the model.

### **Keywords**

Silesian Ostrava Castle, 3D, modelling, photogrammetry

## **1. Úvod**

Na konci první dekády 21. století se naše životy ocitají ve střetu dvou světů. Stále častěji se pohybujeme ve virtuálním světě, který v některých případech až nebezpečně nahrazuje svět hmotný, do kterého jsme se narodili. Zvláště v posledních letech, kdy se globálně rozmáhá způsob on-line komunikace, jak osobní, tak i profesionální, můžeme sledovat vývoj tzv. „digitální generace,“ která své problémy již neřeší mluvenými dialogy, ale komunikuje pomocí chatů, instant messengerů, či informačních terminálů. Pracovní výkony již nejsou hodnoceny člověkem, nýbrž inteligentními systémy, na které je mnohdy kladena vyšší váha při rozhodování, než na lidský faktor. Poledníkem spojující tyto dva póly jsou modely, které představují bránu do světa virtuální reality. Mohou popisovat vlastnosti objektu, který je hmatatelný v reálném světě. Mohou také sloužit jako vzory pro ještě nevytvořenou věc, jakýsi soubor idejí potřebný pro konstrukci námi navrhovaného předmětu.

Svět modelů a idejí, tedy svět složený z jiných, nežli fyzických složek bytí, nás obklopuje již od nepaměti. Mám-li uvážit, v jaké epoše člověk vytvořil první modely, musím konstatovat, že první pravěké kresby, které pomohly k popisu běžných životních situací, např. lovu, byly náznakem a prakolébku složitých postupů ve vytváření předloh ve všech odvětvích naší činnosti. Jako nadčasové se také jeví Platónovo Podobenství o jeskyni z rozsáhlého díla Ústava, ve kterém formou dialogů dospívají jeho účastníci k názoru, že existuje svět reálný a svět představ, a že je těžké rozeznávat pravdu od nepravdy v těchto

dimenzích. Na tyto myšlenky pak autor plynule navazuje v tzv. Teorii idejí, kdy v každém hmotném uchopení jakéhokoli předmětu nalézá něco navíc, pravou skutečnost, podstatu věci, která je uložena ve svém speciálním světě. Na příkladu tak rozeznává konkrétní strom od jeho idey, která je platná pro všechny stromy v jsoucnu. Aniž by to věděl, položil tím základní kámen k dnes celosvětově hojně využívanému objektovému myšlení a modelování, které na této myšlence stojí téměř dva a půl tisíce let po jeho smrti.

Modely však nejsou vždy synonymem něčeho nehmotného. Existují přeci i fyzikální modely, které slouží ke stejnému účelu, jako chystaný projekt, jejichž vývoj je mnohdy cenově dražší, než-li finální produkt. Proto je třeba uvést na pravou míru, že se v následující práci budu zabývat pouze modelováním počítačovým, konkrétně vizualizací objektu, který přijde na svět metodou založenou na digitální průsekové fotogrammetrii. Po dobu přípravy a realizace samotného modelování se tedy budu snažit co nejpřísněji rozeznat jsoucnu od ideje a se svobodným pocitem bez jakéhokoli systému na podporu rozhodování vybuduji most mezi těmito dvěma na první pohled vzdálenými břehy řeky formou 3D modelu Slezskoostravského hradu, což bude nelehkým, avšak tvůrčím a přínosným úkolem pro autora mé diplomové práce, typického představitele „digitální generace.“

## **2. Cíle práce a zhodnocení současného stavu**

Hlavním cílem práce bylo vytvoření 3D modelu komplexu Slezskoostravského hradu. Existuje mnoho způsobů, jak tento model vytvořit. V diplomové práci byly vysvětleny možné metody tvorby, výstupem je poté samotný model, reprezentující Moravskoslezský kraj nejen na 3D modelu ortofotomapy, ale i v celosvětově používané aplikaci Google Earth. Na základě zkušeností získaných z byla sepsána metodika postupu při vytváření 3D modelů budov.

V současné době neexistuje 3D model Slezskoostravského hradu v kvalitě, která by mohla býti považovaná za reprezentativní. Pouhou

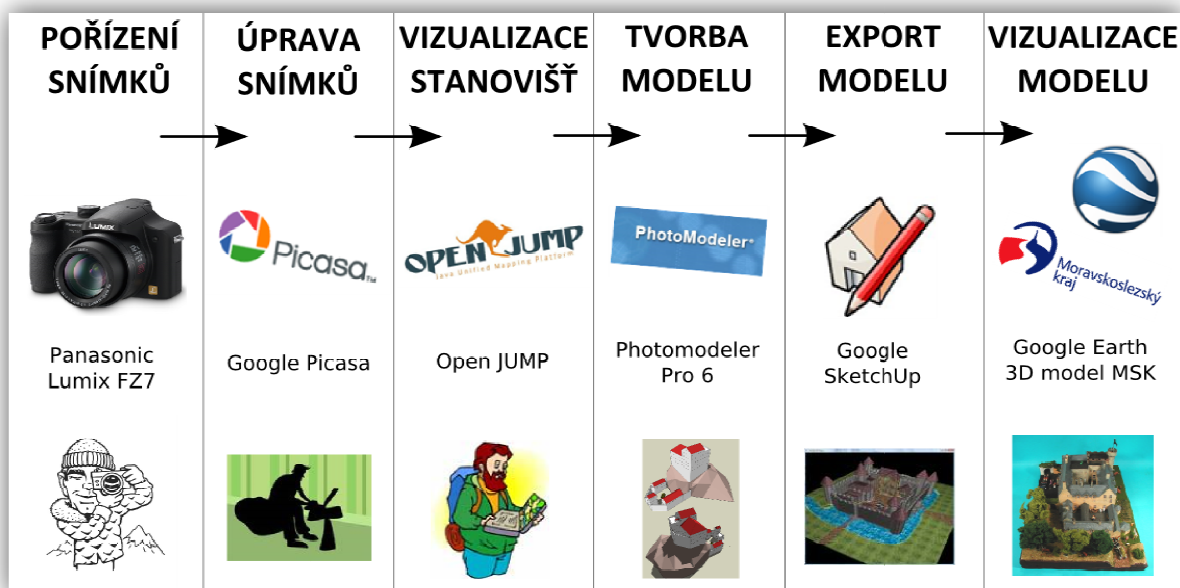
nutností bych mohl nazvat současnou vizualizaci tohoto objektu na 3D modelu ortofotomapy Moravskoslezského kraje, která je velmi nepřesná a je spíše symbolickým gestem tvůrců tohoto rozsáhlého díla. Dle mého názoru si však tato významná kulturní památka na území Statutárního města Ostravy zaslouží nejen svou reprezentaci na mapě, ale i propagaci v oblasti cestovního ruchu našeho města.

Co se metodiky týče, nehledal jsem žádný „zaručený postup“ při tvorbě prostorových modelů budov, jistě existuje mnoho příkladů využití těchto děl, při kterém tvůrci ocení kvality různých programových prostředků. V našem případě se budu věnovat účelu vizualizace, tedy prezentace prvku pro účely oblasti turismu.

Samozřejmě, že v této oblasti tvorby jsou nezbytným kritériem pro dokončení takovýchto projektů finanční možnosti orgánů, tvořících poptávku pro konstruktéry. Bral jsem proto v úvahu i ceny jednotlivých programových prostředků.

### 3. Popis postupu řešení

V této části bych chtěl podotknout, že cílem popisu postupu řešení není podrobný návod k sestavení konkrétního modelu, avšak jen základní informace, které vyplynuly v průběhu práce. Prohlubování a rozšiřování informací by vedlo k možné nechtěné interpretaci jednotlivých manuálů programů, které jsem použil, což v žádném případě není cílem mé práce.



Obrázek 1: Popis postupu řešení práce

### **3.1. Sběr dat**

Pro potřebu získání kompletní informace ohledně tvarů a textur modelovaného objektu jsem využil 47 snímků formátu JPG v kvalitě 6 Mpix, které jsem pořídil dne 27.5.2008. Snímky byly pořízeny fotoaparátem značky Panasonic Lumix FZ7 na celkem 23 stanovištích, jejichž polohy byly zaměřeny pomocí GPS přijímače Etrex Vista Cx značky Garmin.

#### **3.1.1. Určení stanovišť pro pořizování snímků**

Bezpečnostní kritérium pro určování stanovišť jsem bral v úvahu v případech, kdy bylo potřeba nasnímkovat objekt v těžce přístupných místech, přesněji řečeno v místech toku řeky Lučiny. Z profesionálního hlediska proběhl výběr stanovišť dle úvahy autora práce, a to na základě následujících kritérií:

- Možnost pořízení většího počtu relevantních snímků z jednoho stanoviště
- Důraz na texturu pořízeného snímku
- Důraz na kompletní informaci o snímkováném objektu

### **3.2. Zpracování dat**

#### **3.2.1. Úprava snímků**

Jak už bylo napsáno výše, pořízené snímky v žádném případě nesmí podlehnout velkým grafickým úpravám, měly by zůstat surovým produktem. Jediným zásahem do barevné škály snímků, provedeným v aplikaci Google Picasa, byla hromadná úprava histogramu odstínů tak, aby ze snímků odpovídala jednotná barevná skladba.

#### **3.2.2. Vizualizace stanovišť**

Vizualizace poloh stanovišť proběhla v programovém prostředí aplikace OpenJUMP. Dle situace je zřejmé, že rozmístění, počet stanovišť a počet snímků zaznamenaných na jednotlivých stanovištích jsou základními faktory pro rozeznání složitosti stavby. Podkladová data, tedy katastrální mapu, jsem k vytvořenému schématu získal pomocí WMS služby Geoportálu ČÚZK. Následující obrázek popisuje situaci rozmístění stanovišť pro snímkování.

### 3.2.3. Tvorba modelu

Tvorba modelu je časově nejnáročnější částí celé práce. Ze získaných snímků je třeba v programu Photomodeler dosáhnout kvalitního výsledku s ohledem na nadmořskou výšku objektu, kvalitu textur a na složitost modelu. Před samotnou prací s fotografiemi je však nutná správná kalibrace fotoaparátu.

„Kalibrace je soubor úkonů, kterými se za specifikovaných podmínek stanoví vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím systémem nebo měřicím přístrojem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony (standardsy).

V některých případech se za kalibraci považuje i adjustace výstupních hodnot měřicího systému, tak aby odpovídaly hodnotám etalonů s definovanou přesností. Na příklad kalibrací teploměru se stanoví chyba se kterou teploměr měří a adjustací (například pomocí kalibračních konstant) se teploměr nastaví tak, aby indikoval skutečnou hodnotu teploty v daném bodě.“

Kalibrace neměřických kamer probíhá v programu Photomodeler za pomoci snímkování kalibračního pole, což je bodové pole sestávající se ze speciálních terčů s velice přesně změřenými prostorovými souřadnicemi a následným měření ohniskové vzdálenosti na principu odměřování listu papíru standardizovaného formátu za předpokladu známé vzdálenosti od hlavního bodu kamery k listu.

Kalibrována byla digitální kamera Panasonic Lumix FZ7 s rozlišením 6Mpix. Přístroj je vybaven CCD prvkem s maximálním rozlišením 2816 x 2112 pixelů. Tato kamera je vybavena optickým (12x) i digitálním (4x) zoomem. Zoom není vhodné při kalibraci používat, rovněž automatické zaostřování. Pro kalibraci bylo použito celkem 8 konvergentních snímků, pořízených vždy z jiného místa.

„Výrobce softwaru nabízí možnost přímého projektu kalibrace pomocí nabídky Calibration v menu. Je požadováno 8 snímků objektu se 4 vřícovacími body na každém snímku a měřeními délkami mezi jednotlivými body. (...) Vždy je nutno klást velký důraz na rovinnost plochy. Při pořizování snímků je nutno prostudovat doporučení v

manuálu pro vhodné podmínky snímkování (typy zdí, velikost místnosti, osvětlení, použití blesků apod.) Náhradou tohoto postupu je snímkování dostatečně hustého bodového pole s patřičnou přesností (tzv. field calibration). Snímky kalibračních polí je možno převést do PhotoModeleru v široké škále grafických formátů (TIF, BMP, PCX, TGA, JPG atd.).“

### Prvky vnitřní orientace kamery

<i>Ohnisková vzdálenost</i>	6.0642 mm
<i>Souřadnice X hlavního bodu</i>	2.7451 mm
<i>Souřadnice Y hlavního bodu</i>	2.1570 mm

Tabulka 1: Prvky vnitřní orientace kamery

Následný postup v tvorbě modelu:

- Z důvodu rozsáhlosti modelovaného objektu jsem si dovolil rozdělit celý projekt na dvě části, kdy zvláště modeluji:
- Původní část Slezskoostravského hradu a obrannou zeď
- Přístavbu Slezskoostravského hradu
- Vytvoření referenčních bodů na různých snímcích (celkový počet: 1049)
- Spojení linií těchto referenčních bodů (celkový počet: 821), které jsou hranicemi ploch (celkový počet: 367). Vykreslením všech úseček triangulace vznikne tzv. drátový model.
- Výběr vhodných textur v rastrovém formátu jednotlivých snímků.

Tento postup, ač popisem velmi stručný, byl z časového hlediska nejnáročnějším úkonem celé práce. O výhodách a značných nevýhodách této metody modelování však pojednám ve speciální kapitole, která bude následovat dále.

#### 3.2.4. Export modelu

Výsledné modely jsem exportoval z prostředí programu Photomodeler do Google SketchUp ve formátu \*.dwg. Tento nativní formát CAD systémů jsem si vybral hned z několika důvodů:

- Zachovává geometrii prvků
- Není problém s 3D vykreslováním prvku
- Jsou v něm patrné topologické chyby na první pohled
- Je standardem pro velký počet programů

Jelikož jsem nebyl spokojen jak s vizuální stránkou podoby textur, tak i datovou rozsáhlostí celého modelu, rozhodl jsem se použít pouze drátový model. K tomuto kroku jsem dospěl v momentě dokončení veškerých úprav geometrie v příjemném prostředí programu SketchUp. Po zorientování se v programu jsem našel natolik sofistikované metody vizualizace materiálů, že jsem upustil od primární idey zobrazování reálných textur a vydal se cestou určování materiálu za pomoci právě využívaného software. Datový objem výsledného modelu se tak až stonásobně zredukoval.

Dalším důvodem upuštění od publikování pravých textur byla geometrická nepřesnost modelu, jehož oprava byla nutná, tudíž použití reálných textur by bylo jednak časově i datově náročné, a jednak neefektivní.

Součástí exportu bylo také vytvoření a zasazení elementů - detailů do modelu, jež z praktických důvodů nemohly být zahrnuty do modelu vytvořeného metodou průsekové fotogrammetrie, například stavbu amfiteátru a arény, pódia, detaily oken a vikýřů, schody, zábradlí, atd.

### **3.3. Vizualizace modelu**

#### **3.3.1. Google Earth**

Vizualizace do prostředí aplikace Google Earth proběhla bez problémů, jelikož programy Google SketchUp a Google Earth spolupracují. Objekt byl zařazen do databáze 3D Warehouse společnosti Google a je k dispozici na následující adrese:

<http://sketchup.google.com/3dwarehouse/details?mid=beacf8de17707dd91d0515a4399b3143>



### 3.3.2. 3D Ortofotomapa Moravskoslezského kraje

Vizualizace do prostředí aplikace Terra Explorer Pro společnosti Skyline proběhla úspěšně, avšak s menšími komplikacemi. Již první překážkou byla nedostupnost software, kterou jsem vyřešil návštěvou Agentury pro regionální rozvoj, která spravuje celý 3D model ortofotomapy Moravskoslezského kraje, kde mi bylo umožněno model vizualizovat. Následovala však další komplikace. Výstupní formát programu SketchUp není podporován Terra Explorerem. Ten používá nativní vstupní formát pro 3D modely DirectX, který je charakteristický příponou \*.x. Záchranou, a také prvním pokusem tohoto typu v Moravskoslezském kraji bylo použití rozhraní 3D RAD Exporter, který podporuje export většiny CADovských programů do formátu \*.x. Po instalaci tohoto bezplatného pluginu se v hlavní nabídce programu SketchUp zobrazila možnost exportu do námi požadovaného formátu. Struktura formátu se od formátu \*.skp liší, neboť obsahuje značkovací soubor obsahující pouze informace o liniích a geometrii modelu a dále nás odkazuje na jednotlivé rastrové textury, které jsou uloženy ve stejné složce.

Obrázek 1: Výsledek nainstalování pluginu 3D RAD Exporter

Po všech těchto krocích jsem mohl přistoupit k vizualizaci modelu v prostředí Terra Exploreru, který mi nejdříve nabídl finální úpravy umístění modelu. Zasazení do 3D ortofotomapy nedoprovázely další problémy, interaktivní a instinktivní prostředí programu dovolovalo snadné umístění a bezproblémovou vizualizaci, která je k dispozici na následujícím odkaze.

[http://verejna-sprava.kr-moravskoslezsky.cz/mapy\\_3d.html](http://verejna-sprava.kr-moravskoslezsky.cz/mapy_3d.html)

## 4. Výhody a nevýhody navržené metody

Protože je model již zkonstruován, rád bych na tomto místě zaznamenal pozitivní i negativní poznatky z tvorby konkrétní budovy, ke kterým jsem došel během práce, podle metody digitální průsekové fotogrammetrie.

#### **4.1. Výhody navržené metody**

- Nízká cena pořízení modelu
- Není potřeba přímého měření objektu, veškeré hodnoty jsou odvozovány z polohy referenčních bodů a zasazeny do georeferencované ortofotomapy
- Možnost exportu do jiných formátů

#### **4.2. Nevýhody navržené metody**

- Zásadní chyby v geometrii linií
- Neflexibilní implementace textur a jejich složitá úprava
- Velký objem dat
- Nemožnost georeferencování do určité geografické polohy
- Potřeba dalšího software na úpravu výše uvedených nedostatků
- 

## **5. Porovnání s jinými metodami**

Pokud bych měl srovnat modelování této budovy s jinými metodami, na základě bodů z minulé kapitoly bych nejdříve shrnul, že navržená metoda 3D modelování větších objektů je spíše vhodná pro vizualizaci, než-li pro zpětné měření z modelu.

### **5.1. Laserscanning**

Jediné úskalí této metody je cena. Bohužel, v dnešní době je stále pořizování snímků pomocí Laserscanningu finančně velmi náročné. Další věc k vytknutí je, že tato metoda vyžaduje jasné postupy v problematice sběru bodů, vyhodnocuje jejich polohu na základě algoritmů a v podstatě nemůžeme ovlivnit pozici referenčních bodů v mračnu. Objekty jako stromy, kašny, automobily a další, které mohou stínit z určitých úhlů fasády budovy, jsou také problémem, které se musí řešit úpravou textury v grafickém programu.

Laserscanning však skýtá mnoho výhod, jako je rychlost, detail textur a relativní pohodlí sběru dat.

## **5.2. CAD modelování**

V našem případě můžeme říci, že pokud spojíme navrženou metodu s CAD modelováním, dosáhneme nejlepších výsledků. Modelovali-li bychom však náš model pouze pomocí CAD systému, vzniklo by nám několik prvotních problémů. V první řadě bychom museli určit metodiku měření jednotlivých rozměrů objektu, doprovázenou obrazovou dokumentací, ve finální fázi bychom stejně tak, jako v našem případě exportovali drátový model do speciálního programu, kde bychom navolli správné textury. Nepotýkali bychom se však s problémem geometrie linií a bodů, vše bychom mohli zkonstruovat s vědomím, že jsou si linie, které by měly být na sebe kolmé, opravdu na sebe kolmé atd.

Pokud by se naskytla další možnost modelování již dokončeného objektu a bylo by mi určeno použít metodu jinou, než pomocí průsekové fotogrammetrie, s největší pravděpodobností bych volil metodu CAD modelování.

## **5.3. Dvousnímková fotogrammetrie**

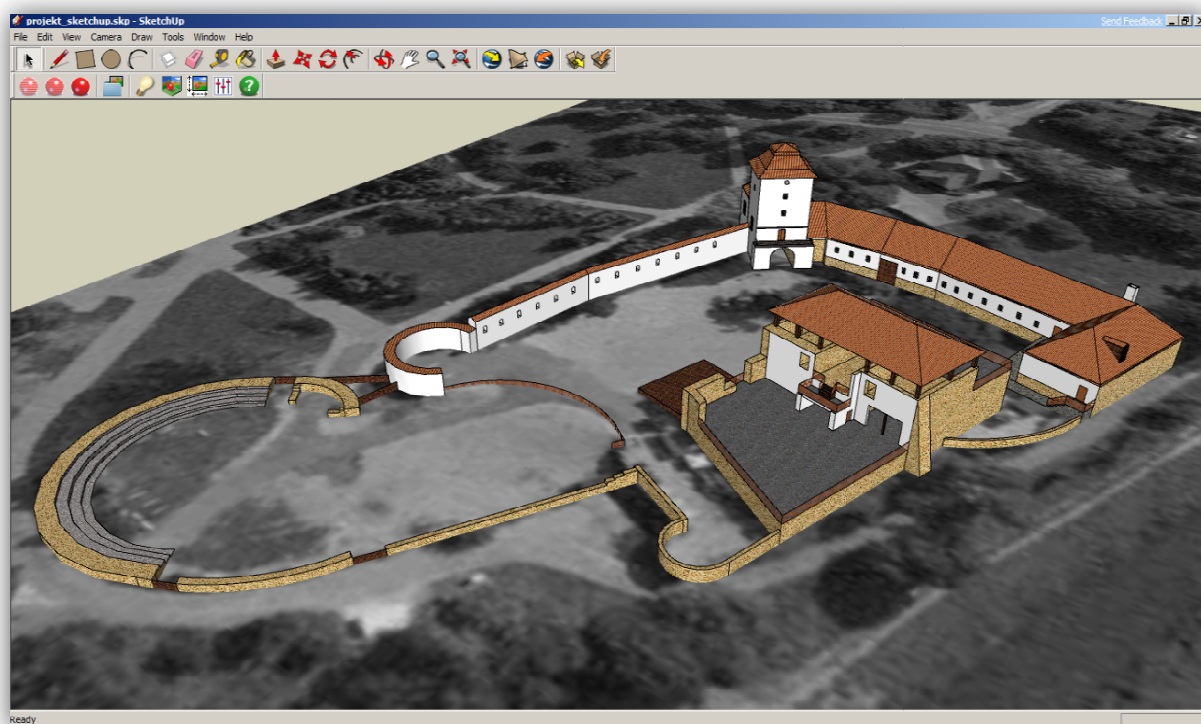
Tuto metodu bych volil v případě menší prostorové složitosti objektu modelování. Stereofotogrammetrie je zajímavá metoda pořizování modelů, avšak je poněkud náročná na samotný sběr dat. Výhodou je ovšem jednoduchost vyhodnocování ve specializovaných programech a řízení automatického zpracování tohoto vyhodnocování.

## **6. Výsledky**



Obrázek 2: Vizualizace 3D modelu Slezskostravského hradu

Finální podoba modelu je dostupná jak na 3D ortofotomapy Moravskoslezského kraje, tak na 3D warehouse společnosti Google. Papírový model bude součástí stálé expozice areálu Miniuni v Ostravě v průběhu roku 2009.



Obrázek 2: Finální podoba modelu

## 7. Závěr

Jak v průběhu let přibývá modelů v kolekci 3D warehouse společnosti Google, volných ke stažení každému člověku digitální generace, přemýšlím nad tím, jak by vypadal model Země Google Earth s použitím všech těchto prvků. Nebylo by jich více, než-li obrazů, či soch vystavených v největších galeriích světa?

V první kapitole skript z kartografie se dovídám, že mapa je umělecké dílo. Je i model poctěn stejným přívlastkem?

Jelikož i virtuálních světů je čím dál tím více a i přesto, že se náš reálný svět zdá být nekulturním, domnívám se, že nemohu souhlasit s názorem, že kultura s postupem času ustupuje stále většímu tlaku primitivismu. Vždyť nástěnné kresby jsou vlastně také modely, hranice umění jsou nekonečné, založeny na subjektivních dojmech. Proto budeme vždy obklopeni kulturním prostředím, i když bude stále předmětem diskusí, co do něj spadá a co ne.

Nikdo nikdy nepotvrdí, že autorem teorie idejí je Platón, třeba je to jen smyšlená postava jiného filosofa či spisovatele. Nikdy nevíme, co je pravdou a co pouhou fikcí. Tento rozdíl mezi dvěma dalekými póly může být stejně tak, jako povědomí o kultuře a kulturním prostředí, velmi subjektivní.

V dnešní době ještě stačíme ve většině případů rozeznat modely od originálů, ale může se stát, že v budoucnu budou modely, které vlastně také tak trochu stojí ve světě idejí, k nerozeznání od originálů a virtuální realita se stane totožnou s realitou hmotného světa. A co je vlastně realita? Jsme si jisti, že hmotný svět, ve kterém žijeme, je reálným? Toť otázka k nezodpovězení.

Na závěr bych chtěl citovat slova avantgardního básníka Guillaumea Apollinaira, který „dvojnost světů“ popisuje takto:

*(...)A toto arkanum je stále temnější  
Ale mám strach o něm dál hloubat  
Kdo ví, zda v něm není věčnost  
Tam za beznosou smrtí (...)  
(...)a padá na mne únava(...)*

Otázky týkající se existence několika světů jsem sice v této práci nevyřešil, avšak jsem spokojen, že na mne únava „dvojnosti“ při pohledu na originál a model Slezskoostravského hradu nezmohla k beznosé smrti.

## 8. Seznam použité literatury

1. **Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Harley, I.:** *Close Range Photogrammetry, Principles, Methods and Applications.* Whittles Publishing, 2006, ISBN: 9781870325509.
2. **Mäntylä, M.:** *An Introduction to Solid Modeling.* Computer Science, Maryland, USA, 1988.
3. **Böhm, J., Becker, S., Haala, M.:** *Model Refinement by Integrated Processing of Laser Scanning and Photogrammetry.* [Online].  
[http://www.ifp.unistuttgart.de/publications/2007/Boehm\\_eta1\\_3DARCH\\_2007.pdf](http://www.ifp.unistuttgart.de/publications/2007/Boehm_eta1_3DARCH_2007.pdf)
4. **Vosselman, G., Dijkman, S.:** *3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans* [Online].  
<http://www.itc.nl/personal/vosselman/papers/vosselman2001.annapolis.pdf>