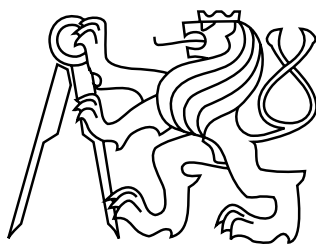


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE  
TVORBA A PREZENTACE PROSTOROVÝCH MODELŮ  
SOCH

Vedoucí práce: Ing. PETR SOUKUP, Ph.D.  
Katedra mapování a kartografie

červen 2012

Bc. ZUZANA KRATINHOVÁ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

studijní program: Geodézie a kartografie

studijní obor: Geodézie a kartografie

akademický rok: 2011/2012

Jméno a příjmení diplomanta: Bc. Zuzana Kratinohová

Zadávací katedra: Katedra mapování a kartografie

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Soukup Ph.D.

Název diplomové práce: Tvorba a prezentace prostorových modelů soch

Název diplomové práce

v anglickém jazyce

The creation and presentation of spatial models of sculptures

Rámcový obsah diplomové práce: Testování programů pro tvorbu 3D modelů soch z fotografií.

Fotografické zaměření vybraných soch v areálu Svaté Hory v Příbrami. Tvorba a webová prezentace prostorových modelů soch.. Uplatnění získaných výsledků v existujícím modelu areálu objektu.

Datum zadání diplomové práce: 13.2.2012 Termín odevzdání: 11. 5. 2012

(vyplňte poslední den výuky přísl. semestru)

Diplomovou práci lze zapsat, kromě oboru A, v letním i zimním semestru.

Pokud student neodevzdal diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat diplomovou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu diplomovou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č.111/1998 (SZŘ ČVUT čl 21, odst. 4).

*Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.*

vedoucí diplomové práce

vedoucí katedry

Zadání diplomové práce převzal dne: 24.2.2012

diplomant

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x diplomant, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání DP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se DP do databáze KOS.

DP zadává katedra nejpozději 1. týden semestru, v němž má student DP zapsanou.

(Směrnice děkana pro realizaci stud. programů a SZZ na FSv ČVUT čl. 5, odst. 7)

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou 3D modelů soch z fotografií pomocí volně dostupných programů. Za objekt zájmu byly vybrány sochy z areálu Svaté Hory u Příbrami. V první části práce je popsán teoretický postup tvorby digitálního modelu. Hlavním úkolem je otestovat několik existujících programů určených k tvorbě 3D modelů a v nejvhodnějším vytvořit několik výstupů. Dále je zde popsána metoda pořízení fotografií. Na závěr je zhodnoceno, zda lze výsledky importovat do stávajícího modelu areálu vytvořeného v programu Google SketchUp. Konečné výsledky jsou prezentovány na mnou vytvořené webové stránce.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Svatá Hora u Příbrami, socha, 3D model, datový formát, volně dostupný software, Google SketchUp, webová prezentace

## **ABSTRACT**

This diploma thesis is interested about 3D models making from photograph help with free software. For interest object were choosen statues at Svatá Hora in Příbram. In the first part of this thesis there is description theoretical process of creating dimensional models. Main task was to test existing software to creating 3D models and make a few output in the best one. Next part is about method of taking photos. In the final part is summarized possibility of import results to existing model of areal make by Google SketchUp. Final results are presented on the web page that I created for this purpose.

## **KEYWORDS**

Svatá Hora in the town of Příbram, statues, 3D model, file format, free software, Google Sketch Up, presentation of website

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne:

Kratinohová Zuzana

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Soukupovi, Ph.D. za jeho odborné vedení práce, poskytování konzultací a pomoc při pořizování fotografické dokumentace. Také mu děkuji za vypůjčení vybavení, jež bylo pro práci potřeba. Dále bych chtěla poděkovat vedení Svaté Hory, za vstřícný přístup, ochotu a toleranci. Nakonec bych také chtěla poděkovat svému příteli za technickou i morální podporu.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>1 Svatá Hora u Příbrami</b>	<b>11</b>
1.1 Historie . . . . .	12
1.2 Sochy . . . . .	14
1.3 Návaznost na předchozí diplomové práce . . . . .	15
<b>2 Tvorba digitálního modelu</b>	<b>17</b>
2.1 Mračno bodů . . . . .	17
2.1.1 Průseková fotogrammetrie . . . . .	18
2.1.2 Stereofotogrammetrie . . . . .	18
2.2 Triangulace . . . . .	20
2.3 Dělení algoritmů . . . . .	22
2.3.1 Dělení dle geometrické konstrukce . . . . .	22
2.3.2 Dělení dle použitých kritérií . . . . .	25
2.3.3 Triangulace prostorových oblastí . . . . .	26
<b>3 Datové formáty</b>	<b>27</b>
3.1 JPEG . . . . .	27
3.2 PDF . . . . .	27
3.3 3DP . . . . .	28
3.4 3DS . . . . .	28
3.5 SKP . . . . .	28
3.6 DWG/DXF . . . . .	29
3.7 OBJ . . . . .	29
3.8 PLY . . . . .	29
3.9 DAE . . . . .	30
3.10 Ostatní formáty . . . . .	30
<b>4 Testované programy</b>	<b>31</b>
4.1 Volně dostupné programy . . . . .	31

4.1.1	Autodesk Photofly . . . . .	31
4.1.2	Autodesk 123D Catch . . . . .	35
4.1.3	Photosynth . . . . .	40
4.1.4	Insight3d . . . . .	43
4.1.5	Hypr3D . . . . .	46
4.1.6	Další software . . . . .	50
4.2	Komerční programy . . . . .	51
4.2.1	PhotoModeler/PhotoModeler Scanner . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Testování zvoleného programu</b>	<b>56</b>
5.1	Experiment č. 1 . . . . .	56
5.2	Experiment č. 2 . . . . .	57
5.3	Experiment č. 3 . . . . .	57
5.4	Výsledky experimentů . . . . .	58
5.5	Průběžné experimenty . . . . .	59
5.6	Otevřené kaple . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Hledání vhodné metody fotografování</b>	<b>63</b>
6.1	Fotografování v areálu Svate Hory . . . . .	63
6.1.1	Nastavení fotoaparátu . . . . .	64
6.1.2	Metoda fotografického zaměření . . . . .	65
6.2	Úprava fotografií . . . . .	67
<b>7</b>	<b>Prezentace výsledků na internetu</b>	<b>69</b>
7.1	Tvorba webových stránek . . . . .	69
7.2	Obsah webových stránek . . . . .	69
<b>8</b>	<b>Využití modelů v Google SketchUp</b>	<b>71</b>
	<b>Závěr</b>	<b>74</b>
	<b>Použité zdroje</b>	<b>76</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>81</b>



A	Přehled použitých programů	82
B	Obsah datového disku	84
C	Modely ve 3D pdf	85

# Úvod

Každý z nás se jistě ve svém životě setkal s případem, kdy zažité postupy byly nahrazeny novými. Byly vynalezeny nové technologie, nové dokonalejší aplikace či vylepšené metody.

Kdysi se lidem ani nesnilo o tom, že by mohli poznávat nová místa, aniž by museli překonávat desítky či stovky kilometrů. Většina z nich se musela spokojit s obrázkem či slovním popisem nádherných míst a zákoutí. My naštěstí žijeme v moderní době a vyspělé technologie nám pomáhají poznávat svět i přesto, že z různých důvodů nemůžeme překonávat vzdálenosti.

Jednou takovou „vymožeností moderní doby“ jsou třídímní modely, neboli 3D modely. Tyto modely jsou produktem složitého procesu, ve kterém se pomocí matematických algoritmů z konkrétních dat vymodeluje objekt. Takto vytvořené modely dokáží ukázat zajímavé místo, objekt, nebo člověka ve virtuálním prostředí s velkými detaily. Výhodou této metoda je, že si objekt můžete prohlédnout ze všech stran, jakoby jste se nacházeli právě před ním. 3D modelování už dávno není záležitostí movitých lidí, nebo velkých firem, které takto prezentují své zájmy. V dnešní době si tyto 3D modely může vytvořit prakticky každý, kdo má k dispozici počítač a příslušný software, a podělit se tak o své zážitky s ostatními.

Čím dál více se lidé dožadují poznání v pohodlí svého domova. A proto se také častěji setkáváme s online prohlídkami zámků, kostelů či jiných kulturních památek. Při příchodu na zajímavé místo, již není výjimečné, že jsou zde k dispozici naučná videa, prezentace a modely objektů, aby byl získán co nejpodrobnější přehled a dostatek informací o daném místě. Pohled veřejnosti na tvorbu 3D modelů a na jejich sdílení bývá často omezený. Procesy doprovázející takovéto možnosti se zdají být složité a finančně náročné.

Já bych prostřednictvím této diplomové práce ráda poukázala na existenci volně dostupných programů, které dokáží vytvořit model z fotografické dokumentace. Vybrané programy popíši, otestuji a výsledky zhodnotím. Za objekt zájmu jsem si zvolila několik desítek soch, umístěných na balustrádě okolo basiliky Nanebevzetí Panny Marie Svatohorské. Tato honosná stavba se nachází v areálu Svaté Hory

u Příbrami. Je to vyhledávané poutní místo a má velký kulturní význam. Jedním z důvodů, proč jsem si vybrala právě tyto objekty je, že od minulého roku existuje 3D model areálu, který vytvořili, nyní již absolventi oboru Geodézie a kartografie - Marie Rajdlová a Michal Šatava. Věřím, že pokud by existoval způsob, jak tyto sochy do modelu připojit, jistě by našel četná využití.

# 1 Svatá Hora u Příbrami



Obr. 1.1: Zobrazení města Příbram na mapě [5]

Svatá Hora se nachází nad historickým královským horním městem Příbram. Toto město se rozkládá na úpatí Brd jihozápadně od Prahy. Přímo z centra města je možné dojít ke Svaté Hoře po asi čtyři sta metrů dlouhých Svatohorských schodech. Do areálu je možné vejít z jižní strany bránou Březnickou, nebo od východu hlavní Pražskou bránou. Na prostranství před hlavní bránou můžeme nalézt kamenný sloup s pozlacenou sochou Panny Marie Svatohorské.

Po příchodu do areálu můžeme ve střední části vidět chránovou stavbu baziliky Nanebevzetí Panny Marie Svatohorské, umístěnou na skoro tři metry vysoké terase s balustrádou<sup>1</sup>. Na této balustrádě je pravidelně rozmístěno více než 40 rozmanitých soch. Další částí komplexu jsou ambity s obloukovými arkádami, které obklopují baziliku v obdélníkovém půdorysu. Každý roh vyplňuje uzavřená kaple pojmenovaná podle měst, která se nějakým způsobem významně podílela na výstavbě. Ambity

<sup>1</sup>Ozdobné kamenné zábradlí, vytvořené pomocí nízkých sloupů.

jsou na křížové klenbě zdobeny lunetovými obrazy, které znázorňují dějiny Svaté Hory.

## 1.1 Historie



Obr. 1.2: Historický pohled na Příbram se Svatou Horou v pozadí z roku 1927 [3]

Kdy vlastně byla stavba na kopci nad Příbramí postavena, se úplně přesně neví. Pověsti tvrdí, že původní kaplička byla vystavěna na počest Panny Marie rytířem z rodu Malovců. A to údajně proto, že jej zachránila před loupežníky. Další pověsti tvrdí, že byla kaple postavena na náklady tehdejších vlastníků a města Příbrami. Ovšem stavba byla jednoduchá a nedaleko se vyskytovala také poustevna, tudíž nemůžeme vyloučit, že mohla být postavena nějakým poustevníkem. První písemné zmínky o kapličce jsou z počátku 16. století, kdy tehdejší historik zaznamenal nejen údaje o původní kapli, ale také její rozměry a materiály, které byly v kapli použité.

Soška Panny Marie, podle které je bazilika nazvána, však v objektu nebyla od jeho vzniku. Údajně ji vyřezal první pražský arcibiskup Arnošt z Pardubic a na Svatou Horu ji o něco později přinesli horníci. Od té doby je tato soška nedílnou součástí objektu.

Do povědomí veřejnosti se Svatá Hora dostala až v roce 1632. Tehdy se sem na popud svého opakujícího se snu vydal zchudlý a osleplý tkadlec Jan Procházka. Jako poustevníkovi mu byla příbramskou obcí svěřena poustevna a zároveň musel pečovat o kapli. Po několika dnech jeho pobytu zde se mu zrak vrátil a tento akt byl uznán za zázrak. Po této události navštívil Svatou Horu i Císař Ferdinand II. se svým synem. V době třicetileté války byla kaple svěřena do správy březnickým jezuitům. Během doby jejich vlastnictví byla kaple zvelebována, rozšiřována a následně i přestavěna do podoby jakou známe dnes. V té době byly také postaveny schody vedoucí až do města.

Celý svatohorský areál byl vybudován podle plánu architekta Carla Luraga z roku 1658. Na stavbě se podíleli jak šlechta, tak i několik významných měst. Díky tomuto příspěvku byly ambitní kaple pojmenovány podle čtyř z nich. Celá stavba byla v průběhu let různě zdobena. Na stavbě se podílelo několik významných architektů jako např. Kryštof Dientzenhofer nebo jeho syn Kilián Ignác. Tito architekti se při svých návrzích nechali inspirovat ve slunné Itálii, což bylo v Čechách něco nového. Velkou chloubou objektu je hlavní oltář, který byl zhotoven celý ze stříbra. Nejslavnější však stále zůstává soška Panny Marie Svatohorské, která byla 22. června 1732 korunována zlatou korunkou. Slavnost doprovázející korunovaci byla velkolepá a trvala osm dní. Tímto aktem se Svatá Hora stala jedním z nejslavnějších poutních míst světa.

Někdy v této době byla klenební pole ambitů vyzdobena různými výjevy, které zachycovaly činy a zázraky Panny Marie Svatohorské. V polovině 18. století byl objekt znovu rozšířen, tentokrát byly tři kaple na západní straně obezděny a probourány do ústřední svatyně. Další rozšíření se nestihla realizovat i přesto, že byly již vypracovány plány. V roce 1773 byl jezuitský řád dočasně zrušen a dalších 86 let byla Svatá Hora spravována světskými administrátory.

Roku 1905 Pius X. uznal žádost tehdejších majitelů - Kongregace Nejsvětějšího Vykupitele a povýšil Svatou Horu na „baziliku menší“. Bazilika to nebyla ve smyslu stavebním, ale náboženském. V odpoledních hodinách 27. dubna 1978 byla Svatá Hora zachváčena velkým požárem, který zničil či poškodil převážnou část kláštera a ambitů. Většina poškozených částí byla obnovena do roku 1982. Restaurátorské

práce zde však probíhají až do dnešní doby. Nejvýznamnější opravy proběhly v roce 1988 podle návrhu akad. arch. Josefa Vlčka, kdy byl obnoven i známý stříbrný oltář.

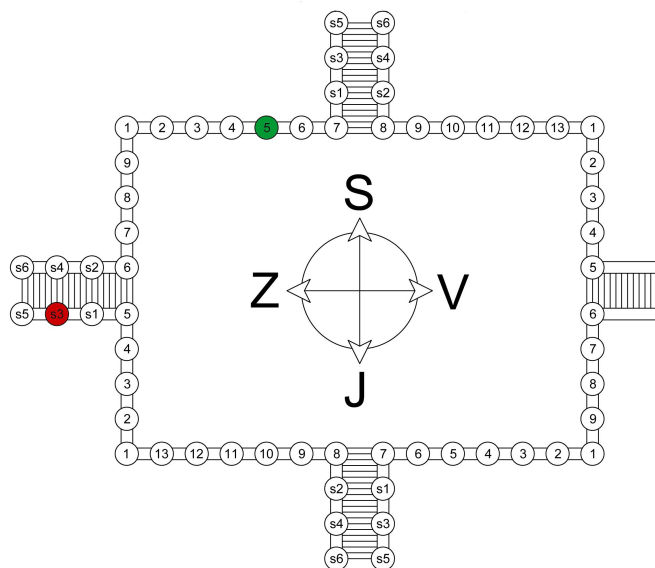
Od roku 1990 je Svatá Hora svěřena opět Kongregaci Nejsvětějšího Vykupitele (redemptoristům). Prvním rektorem kláštera se stal P. Josef Břicháček. Po třech letech byly zrekonstruovány také Svatohorské schody, které od druhé světové války nebyly udržovány. Před čtrnácti lety se zde konala oslava 650. výročí milostné sošky Panny Marie Svatohorské. Dnes je toto místo navštěvováno nejen poutníky a turisty z celého světa, ale také ho už několikrát navštívil kardinál Giovanni Coppa.[1][2]

## 1.2 Sochy

Na balustrádě se nachází celkem padesátosm soch. Čtyřicet z nich je umístěno přímo na terase baziliky a zbylých osmnáct lemuje schodiště, která na terasu vedou. Každá druhá socha z výše zmíněných čtyřiceti zobrazuje andělíčka nesoucího erb. Tyto erby jsou každý jiný a patří českým městům, která se významně (například finančně) podílela na rozvoji či rekonstrukci areálu.

Ostatní skulptury zobrazují významné postavy z českých dějin. U několika z nich je vytesáno latinské jméno na kamenném podstavci. Bohužel většina jmen nelze rozpoznat. Z těch zástupců, kteří stále nesou čitelné jméno, lze uvést například Cyrillus a Methodius. Část z osmnácti skulptur představuje vznešené anděly v životní velikosti. Ti jsou situováni ve střední části každého schodiště s balustrádou. Zbylé objekty na schodišti reprezentuje ozdobná váza s květinami. Pro lepší orientaci byl zvolen systém označování vycházející z umístění ve směru světových stran a pořadí zprava doleva (obr. 1.3).

Pro lepší názornost lze uvést příklad značení. Zeleně je vyznačena socha umístěná na severní straně areálu a je pátá v pořadí zleva. Z tohoto důvodu nese označení **S5**. Červeně je označena socha nacházející se na západní straně areálu a navíc na schodišti. Skulptury na schodišti byly označeny navíc malým písmenem **s** a číslovány po řadách zleva. Proto je socha v červeném kroužku označena jako **Zs3**.



Obr. 1.3: Systém značení soch v areálu Svaté Hory

### 1.3 Návaznost na předchozí diplomové práce

V roce 2011 studenti Marie Rajdlová (dnes paní Červená) a Michal Šatava vytvořili diplomové práce, které se zabývaly tvorbou 3D modelu areálu Svaté Hory u Příbrami (viz. obr 1.4). Tento model vytvořili v programu Google SketchUp. Práci si rozdělili na části tak, že Marie Rajdlová vytvořila model baziliky a Michal Šatava model okolních ambitů.

Diplomová práce slečny Rajdlové se specializuje na tvorbu digitálního modelu baziliky. Jedním z dílčích témat její práce je popis principu a funkcí programu Google SketchUp a jak v tomto programu po částech model tvořila.

Diplomová práce Michala Šatavy má jako hlavní cíl tvorbu digitálního modelu ambitů, tvořící s modelem slečny Rajdlové jeden celek. Dále se snaží popsat program Google SketchUp s jeho přednostmi a zápory. Podklady student získal převzetím již existujících dat a vlastním geodetickým měřením. [2]

Oba výsledky byly spojeny, čímž vznikl 3D model areálu Svaté Hory. Tento model byl umístěn na webové stránky, které studenti vytvořili a na nichž prezentují své diplomové práce.





Obr. 1.4: Stávající model areálu [2]

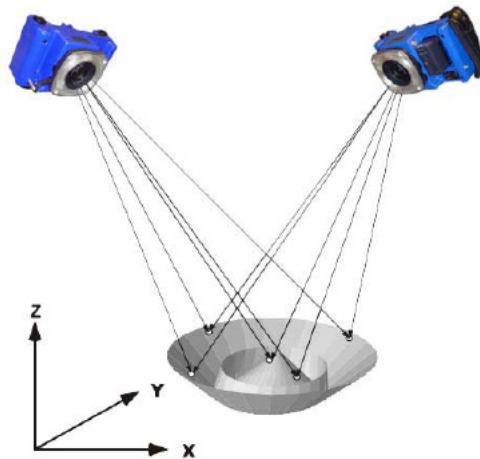
Tato diplomová práce se bude zabývat metodou, jak pomocí fotografické dokumentace, doplnit oba předešlé modely o chybějící sochy, které lemují balustrádu baziliky. Protože sochy jsou příliš členité, nelze použít stejnou aplikaci jako u předchozích diplomových prací, proto bude nutné nalézt takový program, který by dokázal dostatečně vykreslit model, a bylo by možné výsledek importovat do již stávajícího modelu.

## 2 Tvorba digitálního modelu

Protože konečným výsledkem této diplomové práce je také ukázka několika 3D modelů, bude v následující kapitole teoreticky popsáno, jak lze takový model vytvořit.

Zpracováním informací z fotografických snímků se zabývá vědní obor fotogrammetrie. Pomocí několika specifických metod, dokáže rekonstruovat tvar, změřit rozměry či určit polohu snímaného předmětu.

Je nutné, aby pozorovaný objekt byl zachycen na několika fotografiích z různých úhlů. Po vyznačení vlíčovacích bodů se pomocí speciálních algoritmů nalezne poloha a stočení kamer. Je-li známá poloha i umístění každé kamery, můžeme každým vlíčovacím bodem na fotografii vést prostorem polopřímku. Pokud je jeden vlíčovací bod vidět alespoň na dvou fotografiích, pak lze vypočítat průnik příslušných polopřímek a získat tak jeho polohu v prostoru. [6]



Obr. 2.1: Princip získání bodů [6]

Takto získané informace se pak využijí v triangulaci prováděné trigonometrickými výpočty, na jejichž konci je výsledná trojúhelníková síť kopírující tvar objektu.

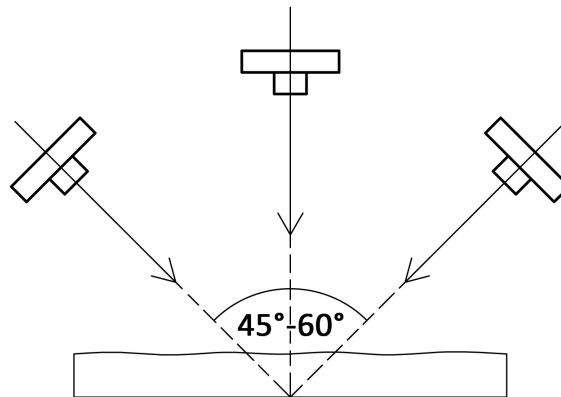
### 2.1 Mračno bodů

Pro vygenerování trojúhelníkové sítě je potřeba nejprve vytvořit mračno bodů. Toto mračno se povětšinou tvoří pomocí fotogrammetrických metod. Dvě základní

metody zjišťování souřadnic ze série snímků, které by mohly být využity při tvorbě 3D modelů, jsou průřezová fotogrammetrie a stereofotogrammetrie.

### 2.1.1 Průřezová fotogrammetrie

Metoda průřezové fotogrammetrie patří k jedné z nejstarších metod. Jedná se o řešení úlohy protínání vpřed, kdy osy záběru pořízených snímků svírají konvergentní úhel. Ideální hodnota úhlu protnutí je mezi  $45^\circ - 60^\circ$ . Pro výpočet neznámých pro každý snímek se využívá iteračního postupu, který vyžaduje znalost několika souřadnic vlícovacích bodů<sup>1</sup>. Tyto body by měly být rozmístěny rovnoměrně po celém snímekovaném objektu. Fotografie musí být pořízeny s dostatečným překrytem<sup>2</sup>. Pro zpracování vyhodnocované oblasti je rovněž nutné, aby byl každý bod viditelný minimálně na dvou, ideálně na třech snímcích.



Obr. 2.2: Princip snímání průřezovou metodou ze tří stanovisek

### 2.1.2 Stereofotogrammetrie

Stereofotogrammetrie je považována za nejpřesnější fotogrammetrickou metodu. Hlavní výhodou je možnost vyhodnocení i nesignalizovaných bodů. Tato metoda umožňuje vyhodnocení snímků pomocí stereoskopického vjemu, který je vyvolán použitím dvou paralelních snímků s horizontálním posunem a konkrétní zobrazovací

<sup>1</sup>Nutný počet - čtyři body, ideální - šest až osm bodů.

<sup>2</sup>Většina zdrojů udává 40 až 50 %.

pomůckou. Aby byl výstup kvalitní, je dobré dodržet několik pravidel a snažit se přiblížit tzv. normálnímu případu (obr. 2.3), pro který platí [7]:

- Osy záběru by měly být rovnoběžné a kolmé na základnu.
- Snímky nesmí mít vertikální paralaxu. Výšky stanovisek snímkování by měly být shodné.
- Pro přesnost vyhodnocení je nejdůležitější, jaký je minimálně možný základnový poměr - minimální délka základny  $b_{min}$ , ze které se určí souřadnice  $y$  s požadovanou přesností:

$$b_{min} = y_{max} \cdot \frac{y}{dy} \cdot \frac{dp}{f}$$

kde:

$y_{max}$  . . . maximální vzdálenost od objektu

$\frac{y}{dy}$  . . . požadovaná přesnost vyhodnocení jako relativní chyba

$dp$  . . . střední chyba měření horizontální paralaxy

$f$  . . . ohnisková vzdálenost

- Nesmí být překročena maximální délka základny, která je důležitá pro vytvoření stereovjemu a pro jejíž výpočet platí:

$$b_{max} = y_{min} \cdot \frac{P_{max}}{f}$$

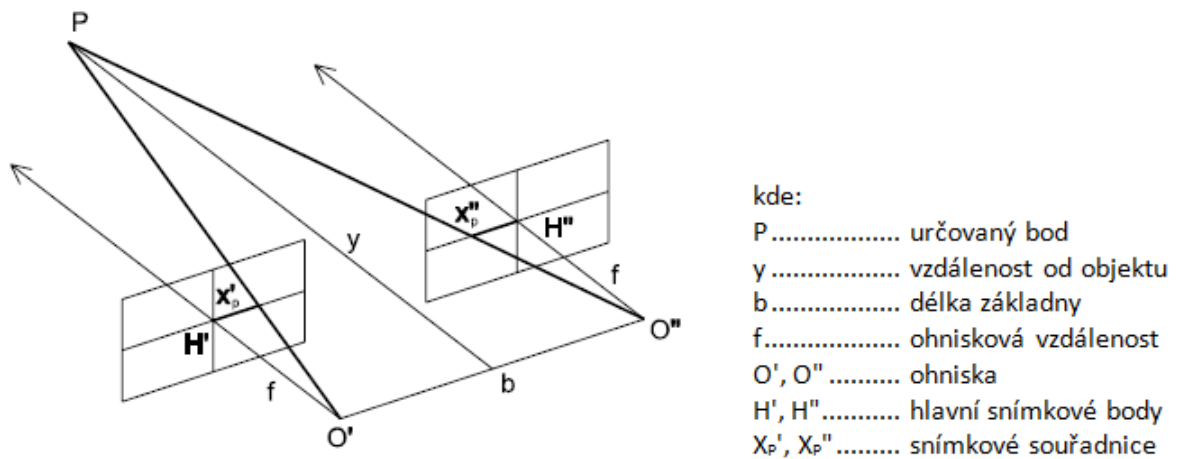
kde:

$y_{min}$  . . . vzdálenost od objektu

$P_{max}$  . . . maximální horizontální paralaxa, při které jsou oči schopné vytvořit stereovjem(40-50mm)

$f$  . . . ohnisková vzdálenost

Splnění všech výše uvedených podmínek je v praxi téměř neproveditelné. V dnešní době však existují moderní fotogrammetrické systémy, které jsou schopny vyhodnotit



Obr. 2.3: Znázornění normálního případu [7]

téměř jakýkoliv obrazový materiál. Tím je dána možnost rovněž vyhodnotit i snímky s výškově posunutými stanovisky, nebo různě natočenými osami záběru. Stále častěji využívaná metoda, jež umožní automatické vyhledání vzájemně si odpovídajících bodů a určení jejich prostorových souřadnic, se nazývá obrazová korelace. Pro tuto metodu je nutné pořídit stereoskopické dvojice<sup>3</sup> snímků, na kterých budou body vyhledány. Pomocí této techniky vznikne síť bodů v prostoru, kterou označujeme jako mračno bodů.

## 2.2 Triangulace

Pro dosažení nejlepší podobnosti tvarů objektů a jejich modelů, je nutné vytvořené mračno bodů proložit trojúhelníkovou sítí. Ta se počítá pomocí tzv. triangulace a definujeme ji takto [9]:

Triangulace  $T$  nad množinou bodů  $P$  představuje takové rozdělení, které vytvoří soubor  $m$  trojúhelníků  $t = t_1, t_2, \dots, t_m$  a hran tak, aby platilo:

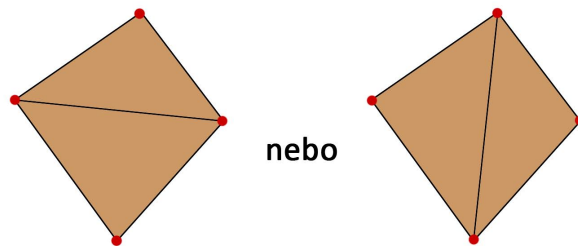
- Libovolné dva trojúhelníky  $t_i, t_j \in T, (i \neq j)$ , mají společnou nejvýše hranu.
- Sjednocení všech trojúhelníků  $t \in T$  tvoří  $H(p)$ .

<sup>3</sup>Jde o dvojici snímků - obrazů objektů nebo krajiny, pořízených s dostatečným přesahem, z nichž jeden snímek je určen pro levé oko a druhý pro pravé.

- Uvnitř žádného trojúhelníku neleží žádný další bod z množiny bodů  $P$ .

Na výpočet triangulace je vázáno několik požadavků, např. rychlost a jednoduchost algoritmů, ale také co nejoptimálnější vytvořená trojúhelníková síť. Hlavním kritériem je, aby se síť co nejvíce přimykala na tvar objektu. Trojúhelníky by proto měly být co nejvíce pravidelné a rovnostranné. Důležitou součástí jsou také povinné hrany. Lze jimi ovlivnit tvar výsledného modelu.

Pro určitý počet bodů v rovině existuje konkrétní počet možných triangulací. Vzhledem k posuzovanému kritériu je optimální triangulace pouze jedna. Těchto kritérií je několik a jejich příklady jsou uvedeny níže. [9] [12]



Obr. 2.4: Dvě různé triangulace pro 4 body v rovině

Lokální kritéria:

- minimální (maximální) úhel v trojúhelníku
- minimální (maximální) výška v trojúhelníku
- minimální (maximální) poloměr vepsané kružnice
- minimální (maximální) poloměr opsané kružnice
- minimální (maximální) plocha trojúhelníku
- úhel mezi normálami sousedních trojúhelníků

Globální kritéria:

- součet délek hran
- povinné hrany

## 2.3 Dělení algoritmů

Pro výpočet triangulece jsou využívány různé algoritmy. Jaký algoritmus bude použit záleží na typu triangulece. Rozlišujeme dvě základní dělení triangulece:

- dle geometrické konstrukce
- dle použitých kritérií

### 2.3.1 Dělení dle geometrické konstrukce

#### Greedy triangulace

Funguje na principu hladového algoritmu. Výpočet probíhá tak, že se nejprve najdou všechny potenciaální hrany, setřídí se vzestupně podle délky a vytvoří se seznam hran. Počet hran se vypočítá ze vzorce:

$$n \cdot (n - 1) / 2$$

kde  $n \dots$  je počet bodů

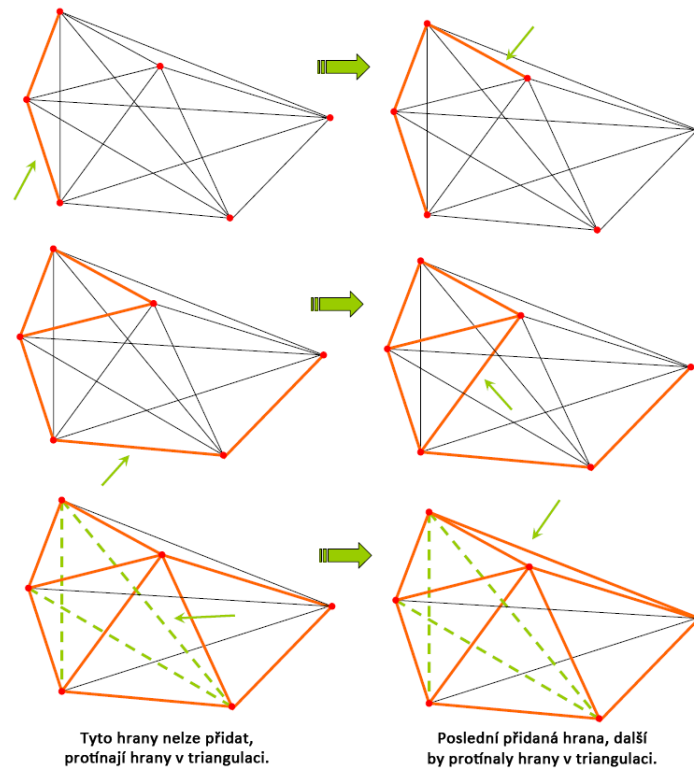
V triangulaci se pak postupně přidávají hrany<sup>4</sup> od nejkratší a nemusí splňovat žádnou speciální geometrickou podmínku (obr. 2.5).

Výsledkem je pak trojúhelníková síť, která však není příliš optimalizovaná, což je zapříčiněno tím, že do výpočtu mohou být přidány i nevhodné trojúhelníky.

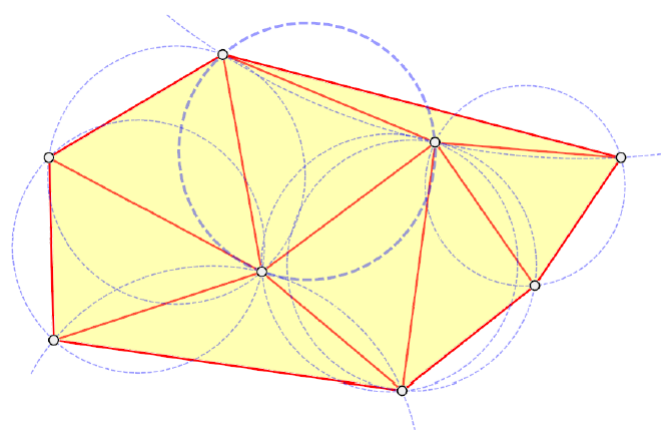
#### Delaunay triangulace

Delaunay triangulace je nejpoužívanější triangulací, která existuje nejen ve 2D, ale také ve 3D jako tetrahedronizace. Tato triangulace má několik základních vlastností. Jednou z nich je, že uvnitř kružnice opsané libovolného trojúhelníku neleží žádný jiný bod množiny. Také minimalizuje maximální úhel, ale nemaximalizuje ten minimální a tím je lokálně i globálně optimální vůči kritériu minimálního úhlu. Pokud žádné čtyři body neleží na kružnici, je triangulace jednoznačná. [9] [12]

<sup>4</sup>Hrana ze seznamu se do triangulace přidá, pokud neprotíná žádnou hranu, která už v triangulaci je.



Obr. 2.5: Greedy triangulace [9]

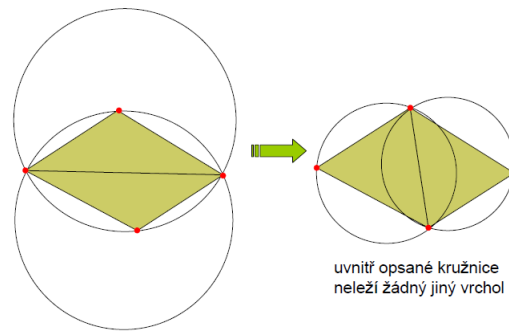


Obr. 2.6: Delaunay triangulace [12]

Existuje několik metod, které tato triangulace pro své algoritmy používá. Jednou z nich je „metoda lokálního zlepšování“. Tato metoda se používá pouze pro 2D a vychází z libovolné triangulace. Princip spočívá v prohazování povinných hran ve dvojici trojúhelníků, které tvoří konvexní čtyřúhelník. Výsledkem jsou oba trojúhelníky lokálně optimální vzhledem ke kritériu vnitřního úhlu (obr. 2.7) .

Další algoritmy používané v Delaunay triangulaci jsou:





Obr. 2.7: Dva lokálně optimální trojúhelníky [12]

- Inkrementální vkládání
- Inkrementální konstrukce
- Algoritmus radiálního zametání
- Rozděl a panuj
- Sweep Line

Podrobněji tyto algoritmy rozebírají [10] a [11].

### Triangulace se vstupní podmínkou

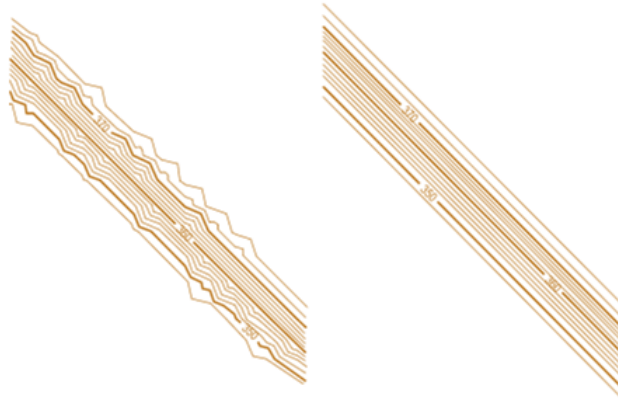
Do této triangulace, často označované také jako triangulace s omezením, jsou zavedeny povinné hrany spojující definované body s tím, že jejich poloha musí zůstat neměnná. Tyto hrany ve výpočtu kříží jiné, které jsou vzhledem k některému kritériu lokálně optimální, a tím není možné je do výpočtu zahrnout. Triangulace se vstupní podmínkou sice nejsou lokálně optimální, ale mají velké využití v kartografii, kde tyto hrany naopak vylepšují modelování terénu. [9][12]

Zástupci této metody jsou například Delaunay triangulace se vstupní podmínkou, či Greedy triangulace se vstupní podmínkou.

### Datově závislé triangulace

U 2D triangulací ovlivňuje tvar sítě pouze poloha bodu a souřadnice  $Z$  zde není důležitá. Datově závislé triangulace vznikají optimalizací vstupní triangulace s využitím heuristik či genetických algoritmů. Výhodou je lepší zohlednění skutečného

tvaru objektu, automatická detekce zlomů a bere se též v potaz výška bodu. Genetické algoritmy jsou kvalitní, avšak bývají výpočetně náročné. Prováděná optimalizace může být provedena metodou lokální, nebo modifikovanou metodou lokální. [9] [12]



Obr. 2.8: Srovnání vrstevnic Delaunay triangulace a Datově závislé triangulace [12]

### 2.3.2 Dělení dle použitých kritérií

#### Lokálně optimální triangulace

Pokud je triangulace lokálně optimální znamená to, že každý čtyřúhelník tvořený dvojicí trojúhelníků se společnou stranou je triangularizován optimálně vzhledem k zadanému kritériu. V tomto případě pak pro danou množinu bodů v rovině existuje více lokálně optimálních triangulací a každá z nich optimalizuje jiné kritérium. [9] [12]

#### Globálně optimální triangulace

Pro tuto triangulaci platí, že veškeré trojúhelníky v triangulaci jsou optimální vzhledem k zadanému kritériu a neexistuje žádná jiná triangulace, které by dosáhla v posuzovaném kritériu lepších hodnot. Z toho vyplývá, že globálně optimální triangulace je současně lokálně optimální.

Multikriteriálně optimalizované triangulace obsahují kombinaci několika lokálních nebo globálních kritérií. V dnešní době však nejsou známy dostatečně efektivní algoritmy, které by neměly dlouhé výpočetní časy. [9] [12]

### 2.3.3 Triangulace prostorových oblastí

Při tvorbě 3D modelů soch je nutné brát ohled na fakt, že některé body vytvořeného mračna mohou mít shodné dvě ze tří souřadnic. Algoritmy používané k této konstrukci trojúhelníkových sítí vychází nejčastěji ze tří základních strategií. Jednou z nich je Delaunay triangulace, popisována v předchozím textu a další strategie jsou nazývány Quadtree a Advancing Front Technique.

#### **Kvadrantový strom - Quadtree (3D varianta - Octree)**

Zájmová oblast je definována jako uspořádaná množina nestejně velkých čtverců. Celá oblast je uložena v základním (kořenovém) kvadrantu. Každý kvadrant se rozdělí na čtyři podkvadranty a následně na vnitřní, vnější a hraniční. Kvadranty, ležící celé vně oblasti, se vyloučí z dalšího zpracování, kvadranty, ležící celé uvnitř oblasti, jsou triangulovány a hraniční kvadranty jsou dále děleny. Toto dělení pokračuje do doby, kdy na nejnižší úrovni nevzniká žádný hraniční kvadrant, nebo pokud není dosažena požadovaná přesnost. Při dělení musí být dodrženo pravidlo jednoúrovňového rozdílu kvadrantu, které mají společnou hranu. [13]

#### **Postupná dopředná technika (AFT - Advancing Front Technique)**

Tato metoda je pro generování trojúhelníkových sítí používaná velmi často. Klíčovou datovou strukturou je prioritní fronta, která je na začátku procesu, naplněna segmenty tvořícími hranici zkoumané oblasti. Algoritmus vybere z fronty segment, v jeho okolí vyhledá nejvhodnější vrchol a sestaví trojúhelník. Následuje aktualizace fronty (segmenty vzniklého trojúhelníku, které již existují ve frontě, jsou z ní vyloučeny a nově vzniklé segmenty jsou do fronty uloženy). Algoritmus se provádí do té doby, dokud se fronta nevyprázdní. [13]

## 3 Datové formáty

Datový formát popisuje, jakým způsobem jsou data v souborech organizována. Existuje několik druhů jako např. formáty obrazové, formáty videa či formáty dokumentů.

Pro tvorbu modelů bylo využito různých datových formátů, povětšinou ke konverzi dat mezi programy. Stručný popis vybraných formátů je uveden v následující kapitole.

Většina výrobců ve svých produktech používá specifické formáty, proto je někdy obtížné prezentovat výstupy v jiném programu, než ve kterém byl výstup vytvořen. Toto se však týká převážně poskytovatelů komerčních programů. V dnešní době již většina aplikací nabízí k exportu i standardní formáty.

### 3.1 JPEG

Zkratka *jpeg* - Joint Photographic Experts Group označuje název konsorcia, které navrhlo tento datový formát. Správným názvem by však měl být *jfif* - JPEG File Interchange Format, ale tato zkratka se příliš nezažila a používá se sporadicky. Tato forma ukládání využívá standardní metodu ztrátové komprese<sup>1</sup> používané pro ukládání digitálních obrázků ve fotorealistické kvalitě. Formát *jpeg* podporuje 24 bitovou hloubku pro RGB, čímž barevně neomezuje výsledky.

Dnes je tento formát používán jako výchozí u většiny digitálních fotoaparátů. Poskytuje mnohem menší velikost souboru než čistě bezztrátové metody (např. *png*, *gif*, *tiff*), ale zachovává stále dobrou kvalitu obrazu.[14] [17] [18]

### 3.2 PDF

Tento formát byl vyvinut firmou Adobe pro ukládání dokumentů nezávisle na software či hardware, na kterém byly pořízeny. Jeho zkratka vychází z anglického názvu Portable Document Format a zajišťuje, že dokument obsahující text i obrázky

<sup>1</sup>Způsob ukládání dat v počítačích. Pomocí speciálního algoritmu se zmenšuje objem dat - méně důležité informace jsou odstraněny. Tím dochází k vysoké úspoře místa s nepatrnou ztrátou kvality.

se zobrazí na všech zařízeních stejně. Jedná se o přenositelný a otevřený formát založený na jazyce PostScript<sup>2</sup>. Formát *pdf* lze prohlížet pomocí bezplatného Adobe Reader a byl využit pro vkládání vektorových obrázků do textu této diplomové práce. [17]

### 3.3 3DP

Formát *3dp* je typickou ukázkou specifického formátu, vytvořeného jako výstup produktu konkrétního výrobce. Je používán pouze aplikací 123D Catch od firmy Autodesk. Výstup, který tento program vytvořil je automaticky uložen do formátu *3dp* a existuje jen málo programů, které jej dokáží číst. Výhodou aplikace 123D Catch je, že umožňuje export do standardních formátů (*obj*, *dwg* ...).

### 3.4 3DS

Původně byl tento formát používán aplikacemi firmy Autodesk, zejména software 3d Studio DOS a pak jeho nástupcem 3ds Max. Tyto programy byly tak rozšířené, že se jejich formát stal standardem pro přenos 3D modelů mezi programy nebo pro ukládání 3D modelů do katalogů. Jedná se o binární formát založený na blokové struktuře podobné XML. I přes svoji popularitu má formát několik nedostatků např.: omezené množství vrcholů a polygonů v síti, celá síť musí být tvořena trojúhelníky, názvy materiálů jsou omezené na 16 znaků. [18] [14]

### 3.5 SKP

Skp je další ze specifických formátů konkrétního výrobce. Slouží jako výstupní formát programu Google SketchUp, který je součástí CAD softwarů. Je vyvinut společností Google a navržený pro tvorbu 3D modelů. Tento netradiční formát lze opět otevřít jen v příslušném programu, ale rovněž je umožněn export do jiných

<sup>2</sup>Programovací jazyk určený ke grafickému popisu tisknutelných dokumentů.

standardů. Pro volně dostupnou verzi jsou k dispozici *dae* a *kmz*<sup>3</sup>, pro komerční verzi jsou to *3ds*, *dwg*, *dxf*, *fbx*, *obj*, *xsi* a *wrl* formáty.

### 3.6 DWG/DXF

Jedním z nejpoužívanějších exportních formátů programů, které využívají vektorovou grafiku jsou *dwg* či *dxf*. Formát *dwg* je jedním ze základních neveřejných formátů CAD aplikací firmy Autodesk a umožňuje ukládat data jak 2D tak 3D. Formát *dwg* je považován za standard a podporuje je také většina konkurenčních programů. Výměnnou formou *dwg* je formát *dxf*<sup>4</sup>, jehož specifikace jsou narozdíl od *dwg* publikovány na webových stránkách firmy Autodesk. [17] [18]

### 3.7 OBJ

Tento geometricky definovaný formát byl původně vyvinutý firmou Wavefront Technologies, ale později byl přijat jako jeden z univerzálních formátů. Popisovaná 3D geometrie je reprezentována seznamem daných pozic každého vrcholu a stran definujících polygony. Speciální hierarchie záznamu zajišťuje, že není nutné přesně definovat směr polygonů. Formát *obj* také podporuje volnou geometrii zakřiveného povrchu objektu, například NURB ploch<sup>5</sup>. [17] [16]

Díky tomuto formátu bylo nalezeno jedno z řešení importu soch do stávajícího modelu areálu Svaté Hory.

### 3.8 PLY

Formát *ply* je známý pod anglickým pojmem Polygon file format nebo také Triangle Stanford Format. Byl vyvinut v polovině 90. let ve Stanfordské laboratoři. Původní návrh byl inspirován formátem *obj*, ale byl rozšířen o další vlastnosti. Je

<sup>3</sup>Používá meta-jazyka XML. Primárně je určen pro publikaci, distribuci geografických dat.

<sup>4</sup>Drawing eXchange Format

<sup>5</sup>Matematický model běžně používaný v počítačové grafice pro tvorbu a zastupování křivek a ploch

to formát popisující objekt, který byl navržen především k ukládání trojrozměrných dat z 3D scannerů a práci s polygonovými modely. Soubor obsahuje hlavičku, seznam vrcholů a polygonů. V hlavičce je uveden celkový počet vrcholů a polygonů v souboru a také jejich vlastnosti (souřadnice, barvy ...).

Tento formát je zde uveden, neboť pomocí něho generuje aplikace Hypr3d své výstupy ke stažení.

### 3.9 DAE

Zkratka *dae* znamená digital asset exchange a je používána formátem COLLADA (COLLABorative Design Activity). Představuje formát pro ukládání 3D objektů a animací. Je založen na otevřeném XML schématu. Lze snadno přečíst, vytvářet a editovat v libovolném textovém editoru. Původně byl vytvořen firmou Sony Computer Entertainment jako oficiální formát pro PlayStation 3 a PlayStation Portable. Nyní je ve vlastnictví společnosti Autodesk. Nejčastěji se s ním lze setkat jako s výchozím 3D formátem pro popis 3D modelů v programu Google Earth<sup>6</sup>.

Tento formát se stal klíčovým při importu do původního modelu areálu Svaté Hory.

### 3.10 Ostatní formáty

Pro ukládání informací o 3D modelech existuje řada dalších formátů, které pro tuto diplomovou práci nebyly využity nebo byly nevhodné. Většinou se jedná o formáty aplikací, které se jimi snaží nahradit standardy jež nedokáží exportovat. Jsou jimi například *fbx*, *rzi*, *ipm*, *las*, *stl*.

---

<sup>6</sup>zapouzdřeno ve formátu *kmz*

## 4 Testované programy

V této kapitole bude představeno několik programů, které by mohly být řešením pro tvorbu modelů soch s nízkou náročností na datový objem. Bude prioritní nalézt software volně dostupný, ale v rámci experimentů byl otestován také jeden program komerční, na který má katedra mapování a kartografie licenci.

### 4.1 Volně dostupné programy

#### 4.1.1 Autodesk Photofly

Jedná se o produkt společnosti Autodesk a je k dispozici od července 2010, ale až během roku 2011, kdy autoři vydali verzi 2.0 a následně 2.1, je možné využívat funkce pro praktické využití vygenerovaných CAD modelů. Aplikace byla nahrazena 123D Catch a dnes již není k dispozici.

Přehled základních vlastností aplikace Autodesk Photofly [22]:

- Aplikace dává možnost manipulace s modelem (otáčení, posun, změna rozměrů atd.).
- Model je možné vygenerovat ve třech hustotách trojúhelníkové sítě.
- Exportované soubory IPM<sup>1</sup> podporují iPhone i Android.
- Umí zpracovávat názvy scén obsahující non-ASCII znaky.
- Generuje chybová hlášení.
- Možnost ručního sešívání fotografií.
- Násobný výběr náhledů obrázků.

---

<sup>1</sup>Soubory aplikace Autodesk Inventor Publisher, určený pro mobilní prohlížeč 3D modelů - Inventor Publisher Mobile Viewer.



## Cloud computing

Autodesk Photofly je jednou z aplikací pracující na principu cloud computing. Český název "výpočetní mrak" se příliš neujal, proto bude dále používán anglický ekvivalent. Princip spočívá v tom, že uživateli je poskytnut přístup k určitým aplikacím a službám pomocí internetu, tedy např. pomocí webového prohlížeče, či konkrétní aplikace od poskytovatele služby.

Tento princip zpracování dat má nespornou výhodu v tom, že výpočet neprobíhá na počítači uživatele, ale na vzdáleném serveru. Z tohoto důvodu k tomu není třeba vlastnit extra výkonný počítač. Největší nevýhodou tohoto principu zpracování je nutnost připojení k internetu. Další nevýhody jsou: závislost na poskytovateli, méně funkcí a odlišný právní řád poskytovatele a klienta<sup>2</sup>. [17]

Služba cloud computing se dělí na:

- Public (Veřejný) - Jedná se o případ, kdy je poskytnuta a nabídnuta široké veřejnosti výpočetní služba.
- Private (Soukromý) - Služba je provozována pouze pro organizaci a to buď organizací samotnou, nebo třetí stranou.
- Hybrid (Kombinovaný) - Kombinuje jak veřejné tak soukromé cloudy.
- Community (Komunitní) - V tomto případě je infrastruktura cloudu sdílena mezi několika organizacemi, nebo skupinou lidí, kteří ji využívají.

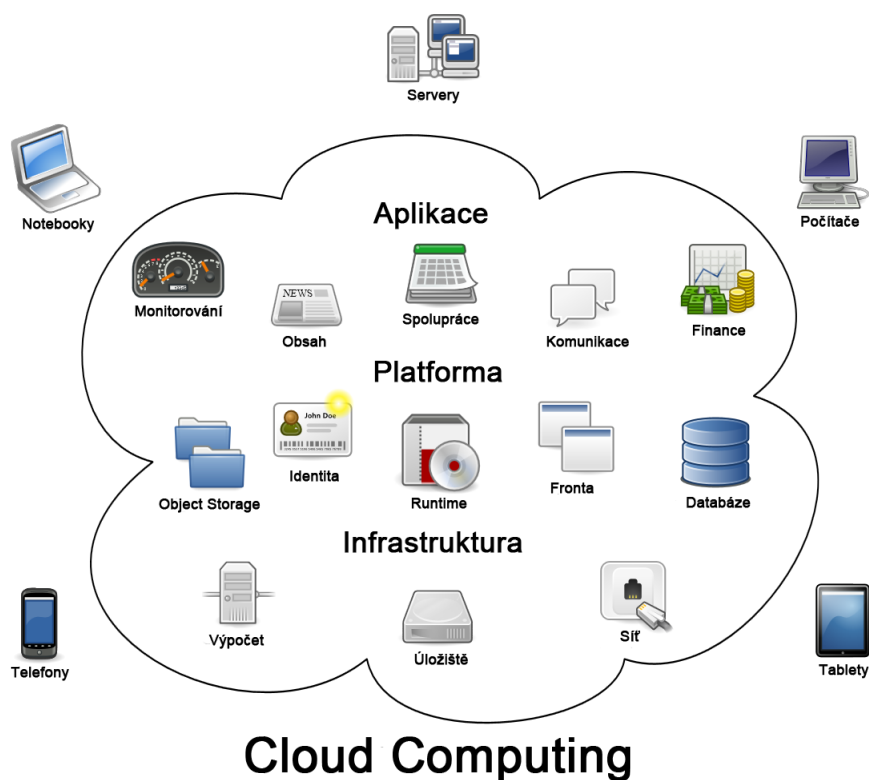
Rozdělení se liší podle toho, jak je cloud computing poskytován a podle služeb které poskytuje.

Obecně se dá říci, že v informačních technologiích je cloud computing relativně nový pojem, který se stále vyvíjí, a tak celkový cloud princip se svým propojením na internetu vyvolává různé pochybnosti ohledně bezpečnosti.

V našem případě tento princip funguje tak, že uživatel pomocí aplikace Autodesk Photo Scene Editor nahraje soubor vhodně pořízených fotografií, nastaví přesnost

---

<sup>2</sup>Poskytovatel může být podřízen jiným zákonům než jeho klient. Například společnosti sídlící v USA jsou povinny předložit data klienta vládě v souladu s PATRIOT Actem, což se nemusí slučovat s povinností ochrany osobních údajů.



Obr. 4.1: Princip cloud computing [17]

a program odešle informace na svůj server. Tady se fotografie zanalyzují a vygeneruje 3D model. Následně se pak na model aplikují textury převzaté z fotografických podkladů a odešle se zpět uživateli. Ten si vygenerovaný model otevře v aplikaci Autodesk Photo Scene Editor, kde může provádět konečné úpravy.

## Prostředí

Autodesk Photofly (obr. 4.2) byl na konci roku 2011 vylepšen a připojen k sérii produktů „123“ firmy Autodesk a dal tak možnost vzniku Autodesk 123D Catch Beta.

Uživatel vlastní původní verzi, byl po spuštění aplikace vyzván ke stažení nové verze.



Obr. 4.2: Autodesk Photofly

## Hodnocení

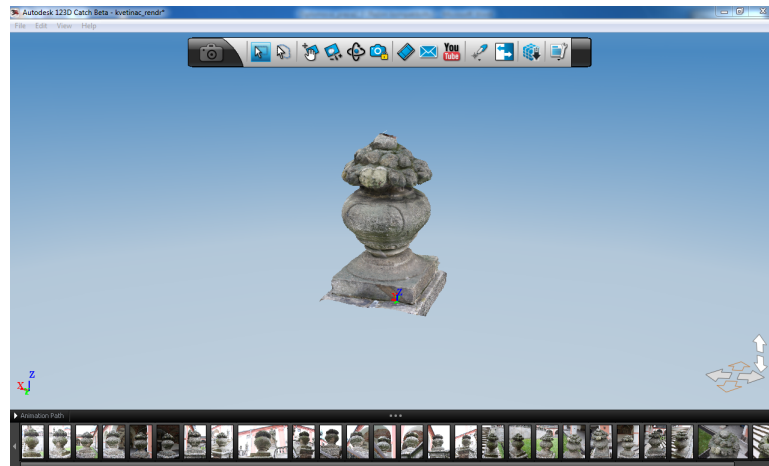
Po přečtení článků o tomto software, autorských recenzích a návodu bylo očekávání veliké. Po nainstalování softwaru se zdálo být vše v pořádku. Prostředí bylo až překvapivě jednoduché, a tak prvním krokem bylo prozkoumání, po němž následovala zkouška vkládání připravených fotografií podle manuálu výrobce. Proces, ve kterém se fotografie nahrávají na server, generuje se model a stahuje se zpět na počítač byl několikanásobně delší, než se zdálo z videonávodu na stránkách poskytovatele.

Prostředí aplikace po otevření projektu připomíná aplikaci Google SketchUp – pár jednoduchých ikon a velké základní zobrazovací pole. Manipulace s modelem však nebyla jednoduchá. Jakýkoliv pohyb, či úpravy modelu, byly doprovázeny trhanými sekvencemi obrazu a to i přesto, že byl model generován s průměrnou přesností. Tyto prostroje obrazu se mírně zlepšily s použitím výkonnějšího počítače. Základní funkce programu pracovaly uspokojivě.

I přes skutečnost, že byl model vytvořen z obyčejných fotografií a bez složitého zadávání vlíčovacích bodů, byl kvalitní a reálný. Na modelu byly rozeznatelné i menší detaily a textura vypadala věrohodně.

## Ukázka výstupu

Protože aplikaci již nelze spustit, je výstup prezentován pomocí aplikace 123D Catch. Tento model byl vytvořen jako jeden z prvních. Skulptura představující vázu s květinami, později označena jako Js6, se nachází na přístupném místě u paty jižního schodiště. Generování modelu trvalo několik desítek minut. Po vytvoření scény byl odstraněn nežádoucí šum<sup>3</sup>.



Obr. 4.3: Model vytvořený v software Autodesk Photofly

### 4.1.2 Autodesk 123D Catch

Jak již bylo zmíněno, tento software vznikl z aplikace Autodesk Photofly na přelomu roku 2011-2012. S některými vylepšeními se stal součástí sady software Autodesk 123D a funguje, stejně jako jeho předchůdce, na principu cloud computing. Má velmi podobné prostředí, které bude popsáno níže. Opět se zde nahrají vlastní digitální snímky, které jsou odeslány na server Autodesku a přijde zpět hotový vygenerovaný 3D model. [20]

#### Prostředí

Po spuštění programu se objeví úvodní obrazovka, na které je možné zvolit, zda bude vytvořen nový model nahráním nových fotografií, či otevřen již dříve vytvořený.

<sup>3</sup>Vymodelované části baziliky, jež se vyskytovaly na fotografiích.

Dále jsou zde ke shlédnutí videa, která fungují jako praktické návody k tomuto software.



Obr. 4.4: Prostředí programu Autodesk 123D Catch

Po kliknutí na tlačítko „Create a new Photo Scene“ se může vložit libovolný počet fotografií. Po vložení tří a více snímků se zpřístupní možnost tvorby 3D modelu. Samozřejmě předtím, než se toto udělá, je možnost si vložené fotografie prohlédnout a přidat, případně některé ubrat. Následně se aplikace zeptá, zda má vyčkat na vygenerovaný model, nebo zaslat upozornění na mail (čímž se celá aplikace ukončí). Poté se data nahrají na vzdálený server, kde se vygeneruje model a odešle se zpět na váš počítač. Tento proces trvá obvykle několik minut, proto je výhodné nechat se informovat mailem a mezitím pracovat na dalších projektech.

Po dokončení procesu je vygenerovaný model otevřen. Ve spodní části aplikace se objeví vložené fotografie, které se po najetí myší zobrazí za modelem z takového úhlu, ze kterého byly pořízeny. Pokud se mezi snímky objeví fotografie označené žlutým vykřičníkem, pak byly tyto snímky špatně „sešity“ a mohou být z výběru odstraněny, či „dosešity“.

Funkce *stitch* (sešít) se nalezne tak, že se pravým tlačítkem klikne na snímek (ideálně ten, který se programu nepodařilo sešít automaticky) a vybere se „Manualy Stitch Photo“. Objeví se nové okno, kde na levé části je snímek, který nebyl sešit

a na pravé straně dva následující snímky. Na těchto snímcích je třeba najít alespoň 4 identické body. Po přidání těchto bodů se fotografie sešije k ostatním snímkům. Stejně tak jako se dá snímek sešít, dá se funkcí „Unstitch Photo“ od modelu odešít. Funkci sešít však lze použít pouze tehdy, pokud bylo několik snímků již automaticky sešito. Pokud se toto nestalo, funkci využít nelze.

Hlavní funkce jsou zobrazeny v nástrojové liště označené ikonkou fotoaparátu.



Obr. 4.5: Hlavní nástrojová lišta aplikace 123D Catch

V této liště jsou funkce, které se nejčastěji používají. Jsou to:

- *Selection (Výběr)* – Tento nástroj je používán pro výběr několika prvků (bodů, hran) a to ve dvou variantách. Buď jako výběr rectangular (obdélníkový), kdy se kliknutím pravého tlačítka myši určí horní roh obdélníku a tažením do prostoru se určí jeho protější roh, nebo jako tzv. lasso (lasový) výběr, kdy při držení tlačítka myši je oblast výběru označena trajektorií pohybu myši.
- *Pan (Posun)* – Používá se pro posun celého objektu zvoleným směrem.
- *Dolly (Lupa)* – Slouží k přibližování, či oddalování objektu.
- *Orbit (Rotace)* – Používá se pro otáčení objektu.
- *Photo Lock (Zámek snímku)* – Označený snímek zamkne tak, že uživatel vidí model před tímto snímkem z pořízeného úhlu.
- *Export video* – Vytvoří video, které prezentuje objekt po zvolené, či automatické trajektorii kamery.
- *Send Photoscene (Odeslání scény)* – Celou scénu je možno odeslat buď mailem konkrétní osobě, nebo na svůj účet na serveru YouTube<sup>4</sup>.
- *Creation tools (Kreslicí nástroje)* – Zde jsou nástroje na kreslení bodů, čar, a definování délky a souřadnicového systému.

<sup>4</sup>Internetový server pro sdílení video souborů

- *Synchronization (Synchronizace)* – Upravenou scénu lze odeslat na server, a tím aktualizovat na něm uložená data.
- *Generate mesh (Generování sítě)* – Touto funkcí si uživatel navolí přesnost sítě. Jsou zde tři možnosti hustoty vytvořeného mračna bodů.
- *Display settings (Nastavení zobrazení)* – Zde jsou další potřebná nastavení scény jako zobrazení sítě, pozice kamer nebo popisů.

Nutno dodat, že základní nástroje mají své klávesové zkratky, které práci s modelem velmi urychlí.

## Hodnocení

Původní program prošel několika změnami a lépe teď zapadá do sady Autodesk 123D. Zde je několik základních změn, které se po inovaci objevily.

První změny, které si lze všimnout (nepočítáme-li logo programu) je v prostředí. Pozadí se místo jednolitě modré stalo prostorově vystínované. Lépe se v něm pracuje s vytvořeným modelem a přispívá k celkově dobré orientaci. Dále se dostalo zlepšení základní nástrojové lišty, která se přesunula do středu horní části okna a již není upevněna k hlavnímu panelu. Vylepšením barevných odstínů tlačítek se prohloubil jejich 3D efekt. Některá méně potřebná tlačítka se přesunula do souhrnných menu a na hlavním panelu dostala prostor jiná, uživateli více používaná. Nový vzhled stále trochu připomíná software Google SketchUp, i když spolu tyto programy nemají viditelné spojení. Jedna z nejlepších změn se týká vytvořené trojúhelníkové sítě. Oproti staré verzi došlo k zlepšení kvality. Je generováno hustší mračno bodů a trojúhelníková síť lépe přiléhá k skutečnému tvaru objektu.

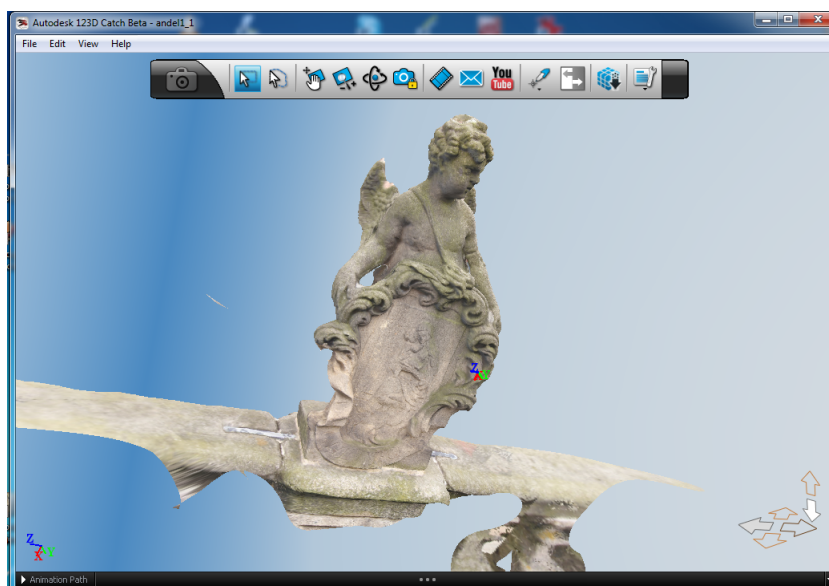
Dalším přínosem je rychlost, s jakou si aplikace poradí s úpravami modelu. Odezvy programu jsou kratší a plynulejší. Autoři tvrdí, že se zlepšila práce se soubory, které obsahují diakritiku. Toto se však při pozdějších experimentech nepotvrdilo.

Celková dlouhodobá práce s programem ukazuje, že tvůrci stále pracují na vylepšeních a zrychlování výpočetních procesů, což přineslo zrychlení tvorby modelu až na poloviční čas. Bohužel i toto řešení tvorby modelů má nevýhody. Když pomineme, že rychlost tvorby modelu je závislá na rychlosti připojení počítače k internetu, jsou

zde také situace, kdy model není vůbec vytvořen. Často se stává, že se stejně kvalitními fotografiemi, program jeden model vytvoří, ale druhý ne. Aplikace nemusí oznámit žádnou chybu, a přesto se snímky nesešijí. To nedává uživateli žádnou možnost opravy, neboť nelze zjistit, proč se tak stalo. Také se stává, že program přestane fungovat a oznámí, ať jej zkusíte využít později. Možným vysvětlením by mohlo být přerušení spojení se serverem, či úplný výpadek tohoto serveru. Celkový nedostatek chybových hlášek je velkou nevýhodou programu.

### Ukázka výstupu

Vytvořený model zobrazuje jednoho z andělíčků označeného jako S11 (obr. 4.1.2). Je zde patrná část balustrády, jež byla vytvořena software spolu s modelem. Tento jev je pro 123D Catch typický, avšak nadbytečné části lze snadno odstranit. Navíc se při odstanění zbytečných segmentů zmenší velikost souboru a při opakovaném otevření je scéna rychleji načtena.



Obr. 4.6: Vytvořený 3D model v programu 123D Catch

Veškeré výstupy lze exportovat do těchto formátů: dwg, obj, fbx, rzi, ipm, las. Aplikace vytvoří spouštěcí soubor o velikosti přibližně deset kilobytů a k tomu je vytvořeno ještě několik dalších přidružených složek. Pro sdílení projektu je potřeba pouze tento spouštěcí soubor. Po prvním otevření na jiném počítači se model musí



přepočítat, čímž se zbýlé potřebné soubory automaticky vytvoří. Zároveň se ke spouštěcímu souboru nahrají také zdrojové fotografie. Celková velikost je pak závislá na počtu snímků a průměrně se pohybuje okolo 20 - 30 MB.

### 4.1.3 Photosynth

Tento software byl vyvinut společností Microsoft, která uvedla na trh finální verzi dne 21. 8. 2008. Vytváří 3D prostředí z pořízených snímků jakéhokoliv objektu. Pracuje s fotografiemi pořízenými z různých stran a úhlů v různých detailech. Výsledek vytvořený aplikací pak autoři nazývají synth<sup>5</sup>. Aplikace je dostupná na webových stránkách <http://photosynth.net> .

Zjednodušeně se dá říct, že pracuje na podobném principu, jako programy na vytváření panoramat. Vkládané snímky mají stejná základní pravidla jako ostatní software (např. dostatečné překrytí snímků). Využívá technologii Deep Zoom<sup>6</sup>, která umožňuje prohlížení určité části obrazu bez nutnosti stahovat velké množství dat, a tím zrychluje práci se snímky. Platí zde zásada, čím více fotografií dodáte, tím kvalitnější bude model. Je možné pro jeden synth nahrát až 300 snímků. Na počtu snímků a také na rychlosti připojení však závisí doba zpracování. Vytvořené modely se dají pohodlně vkládat do webových stránek pomocí značky „*iframe*“, podobně funguje i vkládání videí na webové stránky. [18] [23] [24]

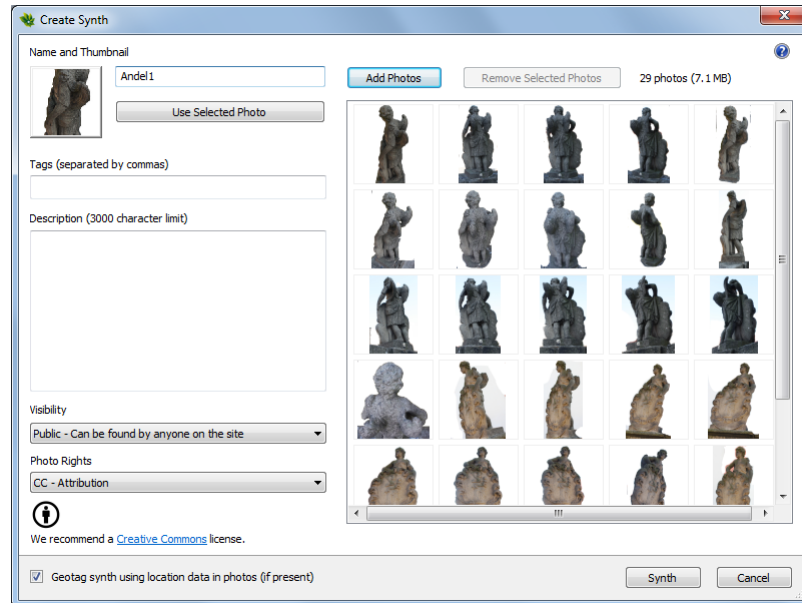
### Prostředí

Tato aplikace má dvě prostředí, v jednom se vytvářejí synthy a v druhém je náhled. Zobrazení hotových modelů probíhá ve webovém prohlížeči, přímo na stránkách aplikace. S hotovým výsledkem nelze manipulovat, je pouze možné zobrazovat následující snímek, či přepínat zobrazení.

Pro tvorbu ve Photosynth je třeba si nainstalovat stejnojmenný program, který je k dispozici na stránkách aplikace. Každý uživatel má vymezeno 20 GB volného

<sup>5</sup>Název zřejmě vychází z pojmenování celé aplikace

<sup>6</sup>Na webové stránce je fotografie v určitém rámečku. Při přibližování, zůstava rozměr rámečku stejný, jen se přibližuje fotografie, webový prohlížeč tedy stahuje vždy jen právě zobrazovanou oblast fotografie.



Obr. 4.7: Prostředí aplikace Photosynth

prostoru pro svá data. Po instalaci se stačí zaregistrovat a spustit tvorbu. Pro přihlášení do klientské sekce, je potřeba mít založen Windows Live ID<sup>7</sup>. Aplikace je jednoduchá a je zde několik základních funkcí jako *Add Photos* (*Přidání snímků*), *Name and Thumbnail* (*Jméno a náhled*), *Visibility* (*Viditelnost*) a jiné. Po zadání těchto údajů a potvrzení se vytvoří synth. Výsledek lze prohlížet jako řadu snímků nebo jako mračno bodů.

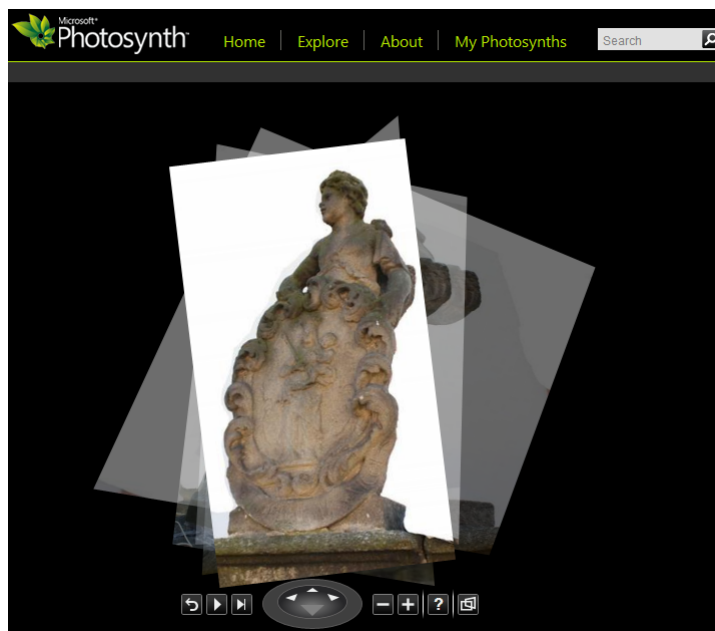
## Hodnocení

Na aplikaci je jasně viditelná profesionální tvorba. Grafická úprava a přehlednost jsou velmi efektivní. Toto se však nedá tvrdit o funkčnosti. Program se sice tváří, že vytváří 3D modely, ale to výstupy jistě nejsou. Výsledkem je ideální kompozice fotografií (obr.4.8), která umožňuje trojrozměrný pohled na snímaný objekt. Je možné si konečný synth prohlédnout jako mračno bodů, ale bohužel jej nelze exportovat. To je jistě jedna z největších nevýhod této aplikace. Tvorba výstupů je velmi jednoduchá a neměla by dělat problém žádnému laikovi. Výhodou je technologie Deep Zoom a její zobrazení detailů. Využití je možné hledat ve fotografické dokumentaci interiérů historických objektů nebo v prodeji nemovitostí.

<sup>7</sup>Účet poskytující přístup k službám Windows Live a k dalším přidruženým produktům

## Ukázka výstupu

Obr.4.8 - andělíček S6 zobrazený jako série fotografií. Při prohlížení je patrný pocit trojrozměrnosti.



Obr. 4.8: Andělíček S6 série fotografií

Obr.4.9 - andělíček S6 v bodovém zobrazení. Mračno bodů se zdá být husté a v dobré kvalitě.



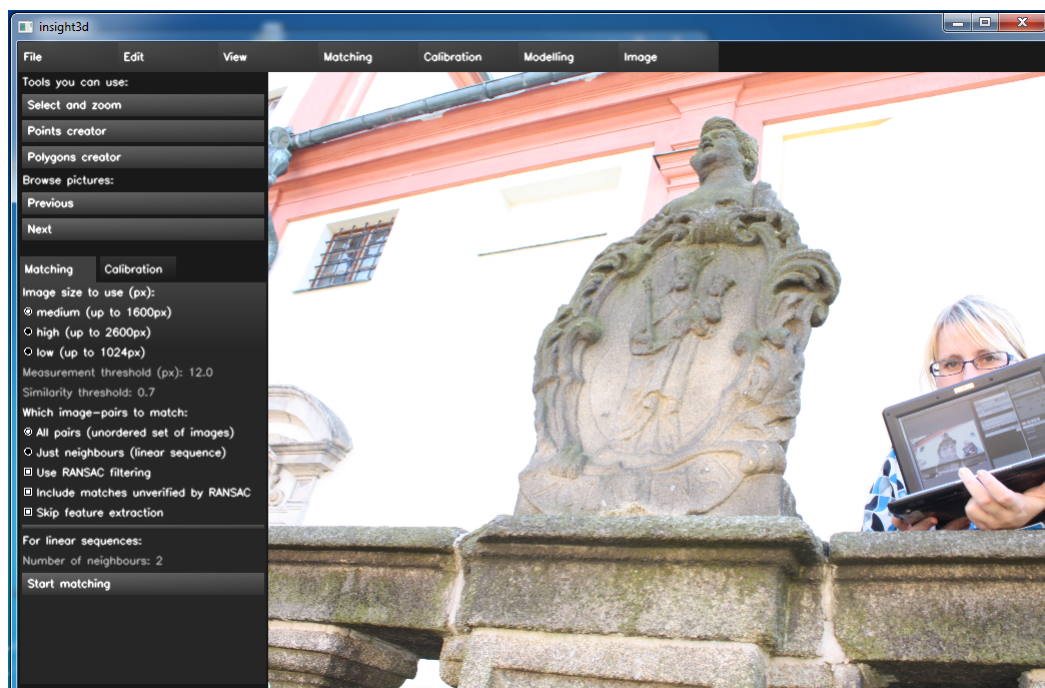
Obr. 4.9: andělíček S6 zobrazený jako mračno bodů

Výstup nelze stáhnout v žádném formátu. Je pouze možné sdílet odkaz na webovou adresu konkrétního synthu. Protože u vstupních snímků bylo odstraněno pozadí, není zde viditelný nadbytečný šum, který by narušoval celkový dojem.

#### 4.1.4 Insight3d

Tento program byl vyvinut Lukášem Machem, momentálně působícím na Univerzitě Karlově na Matematicko-fyzikální fakultě. Původní open source program nazvaný pracovníě „3D model z fotografií – fotogrammetrický software“ byl později vylepšován až do nynější verze programu známé jako Insight3d. I nejnovější verze je stále volně dostupná. Celý program je složen z několika spouštěcích souborů. Opět jde o výpočet polohy podrobných bodů ze známé polohy kamer – fotogrammetrické metody.

#### Prostředí



Obr. 4.10: Prostředí programu Insight3d

Prostředí je velmi tmavé a jednoduché. Nejsou zde žádné grafické spouštěcí ikony. Veškeré funkce jsou umístěny v horní části celého prostředí v hlavním panelu. Na

levém kraji je panel nástrojů s nejčastěji používanými funkcemi. Přestože je program vyvinut českým autorem, je celý v anglickém jazyce, což je výhodné pro zahraniční uživatele.

Práci s programem je vhodné začít nahráním několika fotografií. Ideální počet je čtyři až pět, neboť při vyšším počtu (deset a více) má program potíže data zpracovat. Tento problém lze řešit sekvenčním zpracováním<sup>8</sup>. Dalším krokem je spuštění automatického vyhledání identických bodů na snímcích. Aby proces proběhl správně, je vhodné dodržet několik základních požadavků na fotografie, uvedených v návodu pro tento software. Po ukončení procesu byly vypočteny pozice kamer, a zároveň byly na snímcích vyznačeny nalezené body. Nasledně se musí provést automatická kalibrace. Posledním krokem je výpočet mračna bodů, které si lze prohlédnout v náhledovém okně.

Dále je možné pracovat a zadávat polygony pro aplikaci textur. Na objektu jako je socha se však nenalézají takové plochy, aby byly definovatelné polygony. Tato funkce byla v rámci analýzy prozkoumána a zhodnocena.

Nejčastěji používané funkce:

- *Start matching (Začni hledat shody)* – Automaticky vyhledá možné identické body na fotografiích. Je možné nastavit vyhledávání na sousedních snímcích, či na všech.
- *Automatic calibration (Automatická kalibrace)* – Spustí automatickou kalibraci.
- *Triangulate all (Výpočet triangulace)* – Vypočítá prostorovou polohu všech nalezených bodů na snímcích.
- *Overview mode (Náhled)* – Přepne do okna, kde se zobrazí náhled na vytvořené mračno bodů, či na polohy kamer.

## Hodnocení

Na to, že je program prací jednoho člověka je velmi dobře vyvinut. Prostředí je jednoduché a potřebné funkce se relativně snadno hledají. Jako většina takovýchto

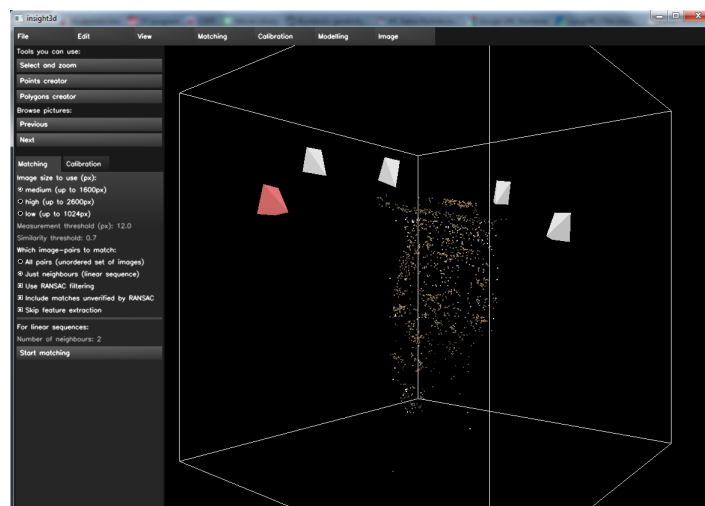
<sup>8</sup>Zpracovat sérii fotografií po malých dávkách

software je schopen vytvořit mračno bodů, kde hustota závisí na kvalitě pořízených snímků a jejich počtu, ale aplikace textur má jistá omezení. V případě software Insight3d je omezení takové, že aplikaci textur provádí pouze na uzavřené polygony. Na pravidelné objekty jako domy či krabice lze snadno aplikovat textury a tvořit povrch. V případě modelace skulptur, jako jsou ty v zájmu této diplomové práce, je aplikace textur tímto způsobem nevhodná. Objekty tvorby – sochy, jsou velmi nepravidelné a těžko by se hledaly takové polygony, aby pokryly celý objekt. Další nevýhodou je omezený počet fotografií, které je software schopen analyzovat. Zpracování po sekvencích prodlužuje dobu tvorby. Je však nutné uznat, že v tomto software lze mračno bodů vytvořit pouze několika kliknutími.

### Ukázka výstupu

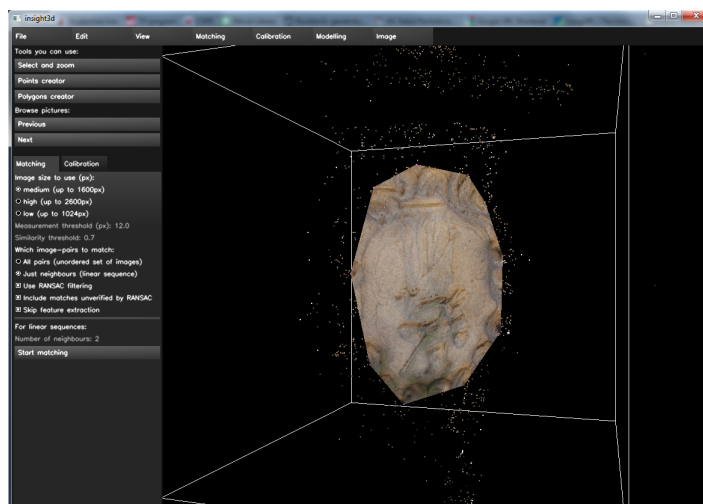
První ukázka (obr.4.11) zobrazuje mračno bodů vytvořené z pěti fotografií andělíčka S6 z pohledu zepředu. Mračno není příliš husté, proto nejde příliš rozeznat tvar. Zároveň jsou zobrazeny polohy kamer, symbolizované čtyřbokými jehlany.

Druhá ukázka (obr.4.12) zobrazuje totožné mračno totožného objektu. Navíc je zde ukázána aplikace textury pomocí polygonu, uměle vytvořeného na ploše erbu.



Obr. 4.11: Vytvořené mračno bodů s polohami kamer

Veškeré výstupy lze exportovat do těchto formátů: *wrl*, *as*, *rzml*, *txt*.



Obr. 4.12: Mračno bodů v programu Insight3d

### 4.1.5 Hypr3D

Hypr3D je jednou z dalších aplikací fungujících na principu cloud computing. Tentokrát se však nemusí stahovat žádná aplikace do vlastního počítače, protože k vytvoření 3D modelu je využíván webový prohlížeč. Na stránkách této služby se stačí zaregistrovat, nahrát pořízené snímky a počkat na výsledek. Jakmile se výsledek vytvoří, je automaticky odeslán informační e-mail na zaregistrovanou adresu. Vytvořený model si lze prohlížet přímo v prohlížeči, je možné jej sdílet a samozřejmě stáhnout v několika formátech. Na stránkách jsou k dispozici také návody a další informace o tom jak postupovat při tvorbě modelů.

#### Prostředí

Jak logo, tak i celkové prostředí programu je laděno do modré barvy. Na úvodní stránce se nachází jednoduché instruktážní video, které představuje princip, na jakém aplikace funguje. V základní nabídce kromě informací o aplikaci a galerii již vytvořených modelů, lze zvolit „upload“ pro nahrání snímků. V dalším kroku je uživatel vyzván k zadání několika informací. Nejprve je nutno vybrat z jakého zdroje se bude model tvořit (fotografie/video). Následně se vloží snímky, ze kterých bude model vytvořen. Je nutné vložit minimálně 5 snímků. Mezitím co se vložené fotografie nahrávají na server, je možné do třetího kroku vyplnit název či popis budoucího

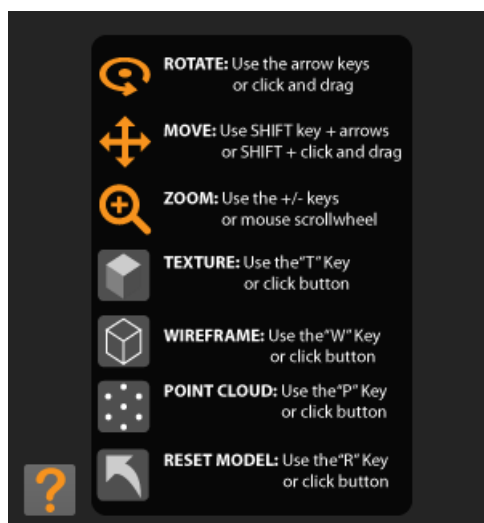


Obr. 4.13: Prostředí aplikace Hypr3D

modelu. Jakmile jsou všechny snímky nahrány a název zadán, lze povolit spuštění procesu. Ukazatel znázorněný několika symboly a umístěný v budoucím pracovním okně naznačuje, jaká část tvorby modelu je již hotová. Když je model vytvořen, lze si ho prohlédnout v galerii modelů. Při zobrazení modelu jsou v horní části stránky základní informace o modelu zadané ve třetím kroku. Většinu webové stránky zabírá pracovní okno, pod kterým lze vidět popis modelu a jeho parametry z tvorby (Počet bodů jež obsahuje mračno, počet nahraných fotografií atd.). Pro prohlížení doporučují tvůrci importovat model do programu MeshLab. Celou vytvořenou práci je samozřejmě možné ihned sdílet přes e-mail nebo podělit se o ni na sociálních sítích jako je Facebook, Twitter, LinkedIn a další.



Možnosti, které se dají při práci s modelem použít, jsou v menu pod ikonou otazníku. Je zde popsáno, která funkce se zapíná jakou klávesovou zkratkou, či myší.



Obr. 4.14: Ovladačí prvky pracovního okna

- *Rotate (Otočení)*– Používá se pro otáčení objektu.
- *Move (Posun)* – Používá se pro posun celého objektu zvoleným směrem.
- *Zoom (Lupa)* – Slouží k přibližování, či oddalování objektu.
- *Texture (Textura)* – Zobrazí model i s texturami.
- *Wireframe (Drátový model)* – Přepne model do režimu, kde je vidět vytvořená trojúhelníková síť.
- *Point cloud (Mračno bodů)* – Zobrazí vytvořené mračno bodů
- *Reset model (Obnovit model)* – Zobrazí model v počáteční poloze.

## Hodnocení

Za velkou výhodu tohoto způsobu tvorby 3D modelů se dá považovat to, že funguje ve webovém prohlížeči. Kromě toho, že není nutné cokoli instalovat, je možné se připojit na jakémkoliv počítači a není potřeba nic jiného, než klient pro prohlížení

webových stránek. Byly vyzkoušeny prohlížeče Mozilla Firefox, Google Chrome, Internet Explorer a na všech Hypr3D funguje bez problémů. Tvorba je jednoduchá, postup sjednocen do několika kroků a není nutné nastavovat žádné parametry. Práce v Hypr3D představuje nejsnadnější tvorbu modelů ze všech testovaných programů. Tento princip je pro nenáročného „modeluchtivého“ uživatele asi nejvýhodnější. Další příjemnou věcí je, že program vytvoří model vždy, pouze v rozdílné kvalitě.

Nevýhodou je práce s vytvořeným objektem. Existuje pouze možnost model prohlížet, ale nelze jej jakkoliv upravit. Doba tvorby modelu je závislá na počtu fotografií, velikosti snímků a rychlosti připojení. Do výpočtů a tvorby opět není vidět a tvůrci výpočetní procesy nezpřístupňují, což znamená, že se nelze dovědět, proč se model vytvořil zrovna tak, jak se vytvořil. Trojúhelníková síť a s ní spojený počet bodů je vypočten v průměrné kvalitě, což způsobuje někdy až zbytečné či nesmyslné deformace rovin nebo hladkých ploch.

## Výstupy

V místech, kde software nedokázal 3D model vytvořit, jsou vidět otvory. Zvláště na nich je patrné, že model byl vypočten s horší kvalitou sítě.



Obr. 4.15: Vytvořený model v programu Hypr3D

Výstupy lze exportovat ve formátech: *dae* & *jpg*, *ply*, *stl*. Průměrná velikost vytvořeného souboru ve formátu *ply* (HighResPointCloud/LowResPointCloud) je

2,9/4,5 MB a ve formátu *dae* & *jpg* (HighResPointCloud/LowResPointCloud) je 20,2/2,0 MB.

#### 4.1.6 Další software

V závěru tvorby této diplomové práce bylo nalezeno několik dalších volně dostupných software, které již nebylo možné dostatečně otestovat. Pro přehled jsou zde alespoň stručně představeny.

##### Visual SFM

Tento software byl vyvinut postgraduálním studentem Changchang Wu, který působil na Washingtonské univerzitě v Seattlu a momentálně pracuje pro firmu Google. Visual je grafické uživatelské rozhraní používající tzv. Structure from Motion (SFM)<sup>9</sup>. Využívá metodu SIFT pro vyhledání identických bodů a Multicore Bundle Adjustment pro efektivnější průběh algoritmů [26].

##### 3DSOM

Profesionální software k tvorbě 3D modelů z fotografií. K dispozici je čtrnáctidenní trial verze. K vytvoření modelu je nutné mít podle velikosti objektu patnáct až třicet fotografií. Podle popisu software není nutné mít nadstandartní osvětlení objektu. Automaticky je odstraněno pozadí, vygenerována trojúhelníková síť a aplikována textura, kterou je možné upravovat [27].

##### Bundler

Tento software dokáže rekonstruovat 3D pozici kamer. Je schopen určit prvky vnitřní i vnější orientace. Dále využívá SIFT (Algoritmus vyvinutý Davidem Lowem, který vyhledá klíčové body a pro každou fotografii zjistí, zda její významné body neleží na jiných fotografiích.) a PMVS<sup>10</sup> algoritmy pro vytvoření mračna bodů [28].

<sup>9</sup>Procesu hledání trojrozměrné struktury objektu v průběhu času. Získávání 3D informací z 2D fotografií.

<sup>10</sup>Patch-based Multiview Stereo Software schpný rekonstruovat 3D strukturu objektu nebo scény.

## aSPECT 3D

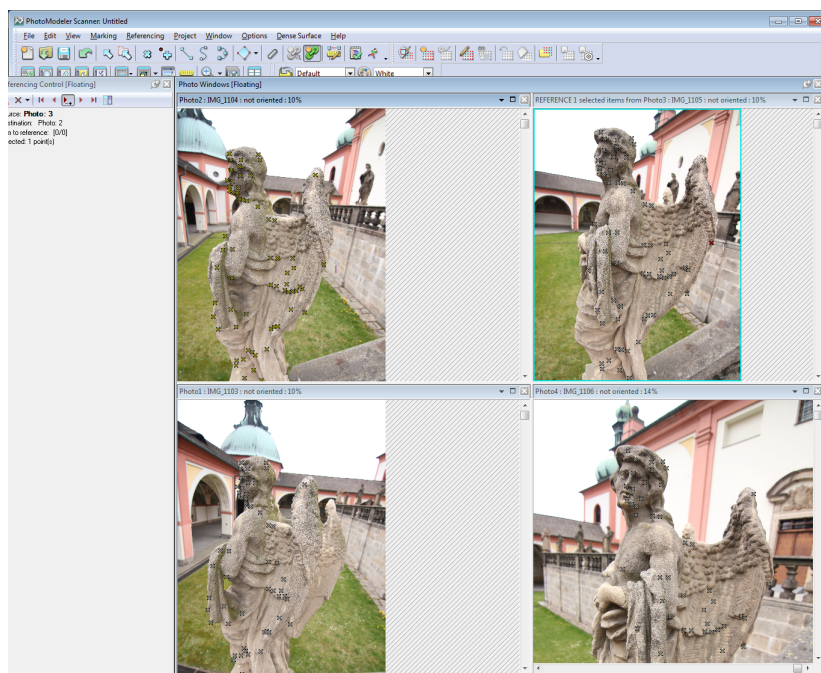
Využívá dvou algoritmů, jejichž výsledkem je 2,5D<sup>11</sup> nebo 3D triangulace. Do aSPECT 3D je možné nahrát souřadnice bodů na objektu a software pomocí Helmertovi transformace objekt zorientuje. Vytvořená data jsou ukládána do vrstev, se kterými je možno dále pracovat [29].

## 4.2 Komerční programy

Na trhu existuje mnoho software, které vytvářejí 3D modely z fotografií. Většina z nich využívá složité výpočetní procesy upravené právě pro konkrétní software. Tyto produkty jsou prodávány uživatelům, většinou profesionálům. Jedním z těchto komplexních produktů je PhotoModeler a jeho vylepšená verze PhotoModeler Scanner.

### 4.2.1 PhotoModeler/PhotoModeler Scanner

Tento program vyvinula kanadská firma Eos Systems Inc. Je založený na principech fotogrammetrie. Software PhotoModeler poskytuje obraz založený na modelování pro analýzu a přesné měření. Tvůrci se snažili program vytvořit tak, aby vyhovoval jak odborníkům, tak uživatelům používajícím fotogrammetrii poprvé. Obsahuje mnoho profesionálních nástrojů, a automatizované procesy, které usnadní tvorbu modelů. Na trhu jsou zatím dostupné dvě verze programu, PhotoModeler a PhotoModeler Scanner. Druhá verze navíc nabízí modelaci organických a přírodních tvarů, modelování ploch (DSM) a SmartMatch (automatické vyhledání identických bodů). Volně dostupná je pouze demo verze, která je omezena možností použít pouze výukové snímky. Firma Eos Systems Inc. však nabízí možnost zaslání trial kódu. Pokud je uživatel dostatečně seznámen s principem fungování programu PhotoModeler, může požádat e-mailem o trial kód na 14 dní.



Obr. 4.16: Prostředí programu PhotoModeler Scanner

## Prostředí

Po spuštění programu se objeví menu s několika nabídkami. Kromě vytvoření nového projektu, si lze zvolit otevření již existujícího projektu, prohlídku návodu, či se připojit na webové stránky poskytovatele programu. Před každým vytvořením modelu je požadován kalibrační protokol fotoaparátu, na kterém byly snímky pořízeny. Je možné nechat program tyto parametry zjistit automaticky, ale s rizikem větších nepřesností ve výpočtu mračna bodů.

Po otevření nového projektu se nahrají pořízené fotografie. Na každé fotografii se buď zvolí vlíčovací body a následně se provede reference těchto bodů, nebo body necháme nalézt automaticky. Je vhodné zadat i několik hran pro lepší vytvoření modelu. Když má program dostatek vlíčovacích bodů je možné spustit proces výpočtu. Pokud vše proběhne správně, je na každém snímku zobrazená ikona fotoaparátu. Tím jsou body zpracovány a lze si je prohlédnout v dalším okně pro 3D náhled. Pomocí funkce pro modelování povrchu se vytvoří trojúhelníková síť a zobrazí se povrch. V této fázi je již vidět model bez textury. V nastavení 3D náhledu je možné

<sup>11</sup>Někdy nazýváno pseudo 3D. Jedná se o 2D projekce, které vytvářejí pocit trojrozměrnosti.

zvolit, aby se textura převzala z fotografií, a tím se vytvoří 3D model nasnímaného objektu.

Popis nejpoužívanějších funkcí při tvorbě modelu:

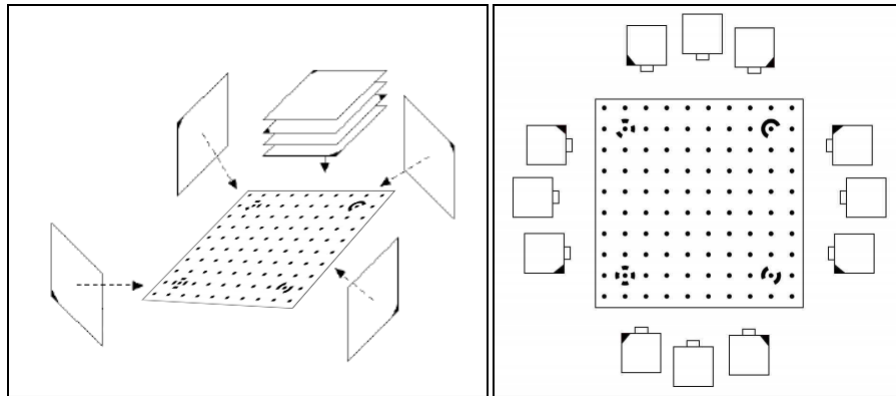
- *Mark Point Mode (Zadání vlícovacích bodů)* – Slouží k zadání jasně definovatelných bodů na objektu.
- *Mark Lines Mode (Zadání hran)* – Definuje konkrétní hrany objektu.
- *Reference Mode (Přiřazení)* – Přiřadí vlícovací body na jednom snímku k bodům na jiném.
- *Process (Výpočet)* – Vypočte síť bodů a polohu kamer.
- *Open a 3D viewer (Otevření okna 3D náhledu)* – Zobrazí model v dalším okně.
- *Point Mesh Option (Nastavení bodové sítě)* – Umožňuje vymodelovat plochy.
- *3D viewer Option (Nastavení 3D náhledu)* – Umožňuje nastavení textury modelu, zobrazení bodů, hran aj.

### Kalibrace fotoaparátu Canon 450D

Pro práci v programu PhotoModeler Scanner byl vytvořen kalibrační protokol pro fotoaparát Canon 450D. Bylo použito jedno z kalibračních polí, které má katedra mapování a kartografie k dispozici. Toto pole bylo vyfotografováno pomocí dvou různých konfigurací snímků (obr. 4.17). První rozložení snímků bylo zvoleno, protože tento způsob je mi znám z předmětu Fotogrammetrie a také byl doporučován ve starší verzi PhotoModeler. Druhá konfigurace byla zvolena, neboť je doporučována ve verzi, kterou jsem testovala. V programu se za pomoci fotografií vytvořil kalibrační protokol. Nejvhodnější parametry měl kalibrační protokol vytvořený druhým typem konfigurace a byl tedy dále použit při testování.

### Hodnocení

Bohužel je tento program komerční a tím příliš nevyhovuje prioritám této diplomové práce. V jeho demo verzi se sice lze naučit funkce programu, ale pouze na



Obr. 4.17: Dvě různé konfigurace kalibračního pole

testovacích „ideálních“ fotografiích, což může také znamenat, že na jiných snímcích ověřené postupy nemusejí fungovat.

Program obsahuje velké množství užitečných funkcí, což je příhodné pro zkušené uživatele. U méně zkušených uživatelů však může první dojem z mnoha menu a ikon vyvolat nejistotu a zmatenost. Celý produkt je v anglickém jazyce, takže nalezení správné funkce by nemělo dělat větší potíže. Verze PhotoModeler je poněkud jednodušší oproti novějšímu PhotoModeler Scanner a tím možná více přátelská, ale nalézt ručně na objektu dostatek bodů, tak aby z následné bodové sítě bylo možné vytvořit trojúhelníkovou síť popisující tvar objektu, je velmi zdoluhavé a namáhavé. Navíc u objektů jako jsou sochy, které nemají výrazné hrany, je nalezení vlíčovacích bodů složité. Tuto skutečnost již samozřejmě vyřešil PhotoModeler Scanner s jeho funkcí SmartMatch.

Pro lepší práci s mračnem bodů vytvořeným programem PhotoModeler je výhodné ho importovat do programu GeoMagic. Zde lze s mračnem lépe pracovat, vymodelovat plochu a následně na ni aplikovat texturu.

Při testování tohoto programu na fotografiích soch ze Svaté Hory nebyl vytvořen žádný výstup. V případě pokusu vyhledat identické body automaticky, se ani s pomocí přesného návodu, nalézt body nepodařilo. Po několika konzultacích a úvahách je možné přiklonit se k teorii, že tento software založený na průsekové fotogrametrii si s fotografiemi pořízenými v různých výškách (výskyt vertikální paralaxy), nedokáže poradit. Při pokusu vyhledat identické body ručně se nepodařilo snímky

zorientovat, neboť bez uměle vytvořených vlíčovacích bodů na objektu, bylo velmi těžké je nalézt na všech snímcích s dostatečnou přesností.



## 5 Testování zvoleného programu

V počátcích tvorby této diplomové práce, byl zvolen jako nejvhodnější software Autodesk 123D Catch. Jedním z rozhodujících kritérií byla možnost exportu do formátu dxf. V tomto programu bylo provedeno několik experimentů. V závěru testování byl objeven software Hypr3d. Tento program dokázal vytvořit i ty modely, se kterými si Autodesk 123D Catch neuměl poradit.

### 5.1 Experiment č. 1

Na webových stránkách firmy Autodesk byl vyhledán testovací projekt. Jako objekt v tomto projektu byla použita vatikánská busta, jež se tvarem a texturou nejvíce blížila sochám na Svaté Hoře (obr.5.1). Výsledek byl věrným obrazem nasnímaného objektu a zdrojové fotografie nevykazovaly známky jakýchkoli speciálních nastavení či zdůraznění barev. Na tomto projektu byly vyzkoušeny základní funkce programu.



Obr. 5.1: Ukázka zdrojové fotografie vatikánské busty [20]

## 5.2 Experiment č. 2

Pro druhý experiment byl zvolen jednoduchý předmět - keramická čajová konvička oválného tvaru ve dvoubarevném provedení. Konvička byla vybrána proto, že se nejvíce blížila objektům testovaným v návodech aplikace Autodesk 123D Catch.

Testovaný objekt byl nasnímán pomocí mobilního telefonu<sup>1</sup>. Kvalita pořízených fotografií byla po zhlédnutí v počítači vyhodnocena jako nedostatečná. V rámci experimentu byly tyto fotografie do programu vloženy, ale výsledkem byl pouze nedokonalý a částečný 3D model (obr.5.2).



Obr. 5.2: Model vytvořený jako první pokus v programu 123D Catch

Z testování je patrné, že nedokonalosti modelu jsou zřejmě způsobené nekvalitními fotografiemi. Dále je možné, že výsledek byl ovlivněn nežádoucími odrazy světla na snímaném objektu.

## 5.3 Experiment č. 3

Pro další testování byly použity série snímků přístupné sochy, pořízené při jedné z prvních návštěv Svaté Hory. Podrobnější informace o fotografování jsou popsány

<sup>1</sup>Sony Ericsson Xperia X10 mini pro - fotoaparát s rozlišením 5 Mpix

níže. Nejprve byl proveden výběr fotografií, při kterém byly odstraněny duplicitní a nevhodné snímky, a následně nahrán přes aplikaci na server. Tvorba modelu trvala déle než bylo očekáváno z návodů aplikace Autodesk 123D Catch. Výsledek představoval kvalitní a realistickou podobu nafoceného objektu, ale při bližším zkoumání bylo zjištěno několik nedostatků, např. špatné vykreslení malých částí objektu nebo rozmazaná textura. Při manipulaci s modelem se mírně projevil trhané sekvence obrazu, ale po vyčištění nadbytečných segmentů, které byly vytvořeny spolu s modelem, začala aplikace pracovat rychleji.

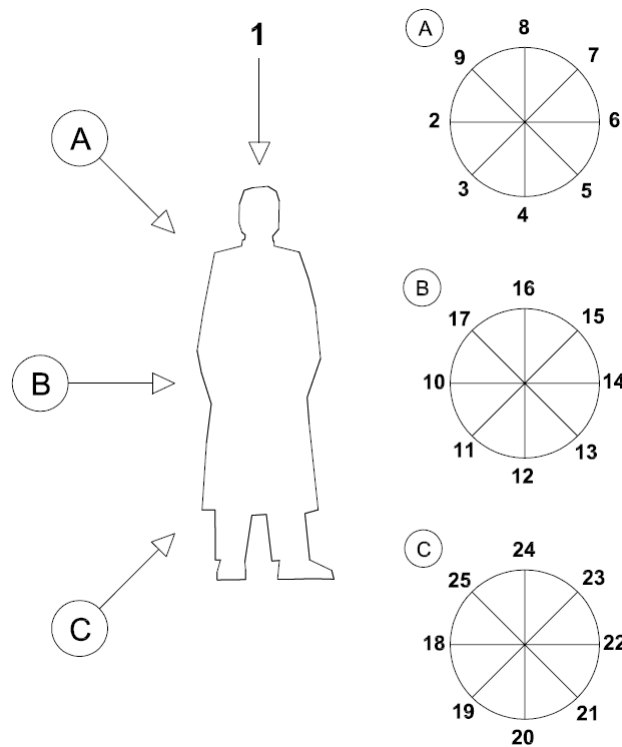


Obr. 5.3: První model vytvořený v programu 123D Catch

## 5.4 Výsledky experimentů

Z experimentů je patrné, že v programu Autodesk 123D Catch není problém vytvořit model objektu s matnou texturou, zachycené při vhodném rozložení světla a s kvalitním fotoaparátém. Program dokáže bez jakéhokoliv složitého nastavení programu, či složitých úprav snímků vytvořit 3D model. Jediným problémem byla mírně rozmazaná textura na vrchní části modelu, což se dá vysvětlit nekvalitním snímkem této části, jelikož při pořizování tohoto snímku nebylo možné dosáhnout dostatečně vysoko. Touto skutečností bylo ověřeno, že aplikace dokáže vytvořit kvalitní model, a lze ji použít pro další práci. Záporom byla deformace textury na vrchní část sochy, která nebyla vyfocena úplně kolmo a která se v aplikaci již nedala opravit.

Při dalším zkoumání bylo z výběru odstraněno několik snímků za účelem zjištění minimálního počtu snímků, které je nutné pro vytvoření dostačujícího 3D modelu. Do aplikace byl vkládán menší počet snímků do chvíle, kdy vytvořený model nebyl uspokojivý. Výsledkem tohoto zkoumání bylo zjištění, že pro vytvoření jednoduchého modelu stačí dvacet pět snímků – vždy devět záběrů kolmo k objektu a devět záběrů nakloněných o 45° od horizontálního řezu objektem směrem nahoru i dolů a nakonec jeden záběr ze shora snímaného objektu(obr. 6.2).



Obr. 5.4: Schéma dostatačného počtu snímků objektu

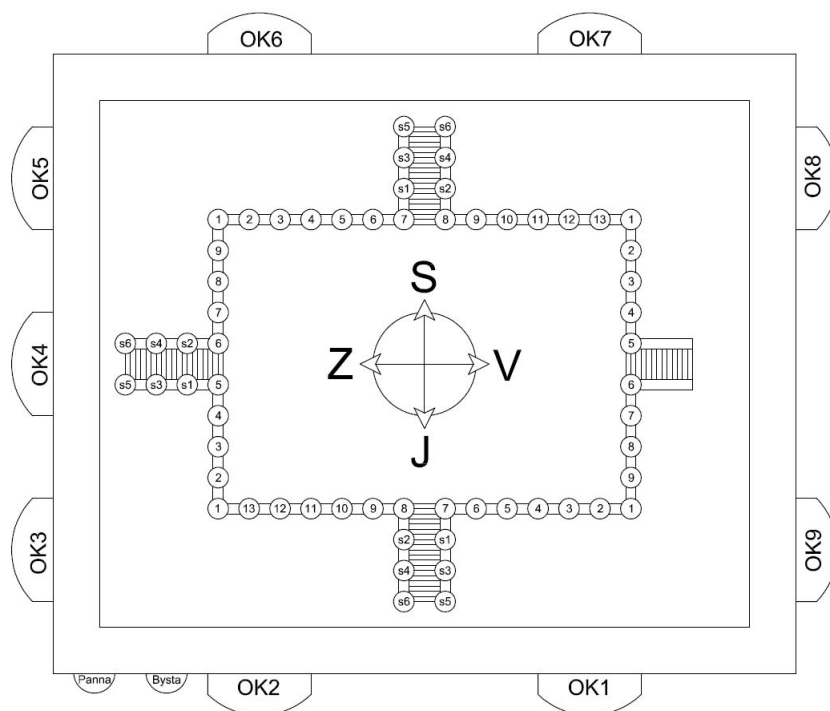
## 5.5 Průběžné experimenty

Po každé návštěvě Svaté Hory, kdy bylo fotograficky zaměřeno několik soch, se pořízené snímky upravily (kap. 6.2) a následně byly zpracovány zvoleným softwarem. 3D model soch se ne vždy podařilo vytvořit a několik výstupů bylo deformovaných nebo obsahovaly chybějící části. To bylo nejprve řešeno pořízením

další serie fotografií problematických objektů za jiných podmínek. Když se nezjistitelné odchylky nepodařilo odstranit ani touto cestou, dalším řešením bylo nalézt lépe vyhovující software.

## 5.6 Otevřené kaple

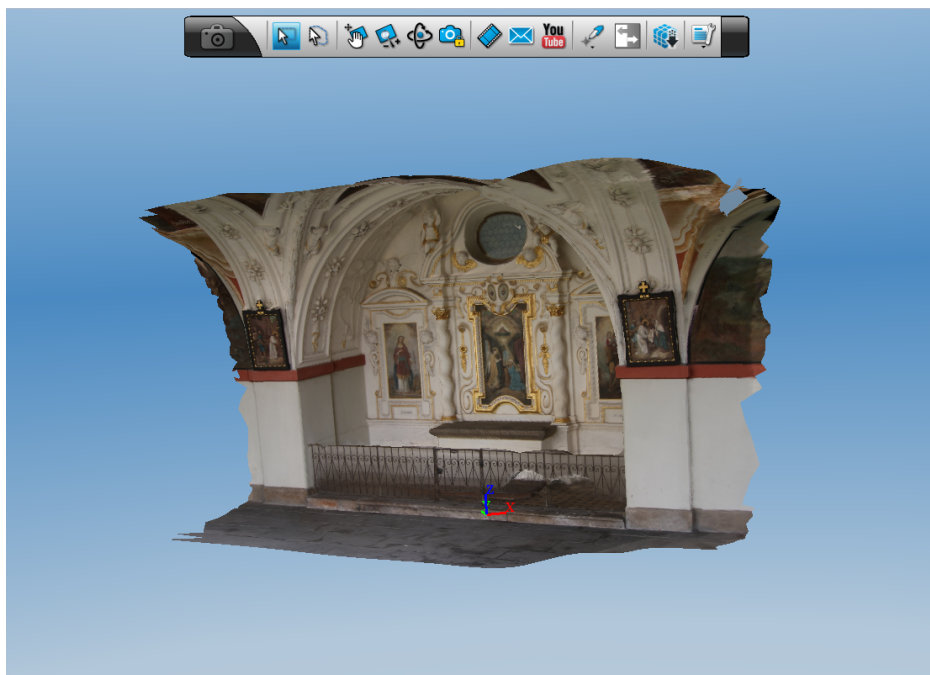
Kromě fotografické dokumentace soch byla část práce věnována otevřeným kaplím, které jsou umístěny pod ambity. V každé chodbě se nachází dvě zdobené průchozí výklenkové kaple. Vyjímkou je západní strana, kde jsou takovéto kaple tři (obr. 5.6. Pro snadnější orientaci byly otevřené kaple označeny zkratkou OK a pořadovým číslem.



Obr. 5.5: Systém značení otevřených kaplí v areálu Svaté Hory

Při focení otevřených kaplí bylo třeba nastavit fotoaparát na odlišné světelné podmínky než pro focení soch, protože otevřené kaple jsou převážně ve stínu. Systém snímání byl podobný jako při fotodokumentaci skulptur, tedy snímky ve třech řadách (horní, střední, spodní) a pro doplnění se nasnímal detaily dekorací vystupujících

do prostoru. Před každou otevřenou kaplí je umístěna asi půl metrová kovová mříž, se kterou si při tvorbě 3D modelu poradil každý software jinak.



Obr. 5.6: 3D model otevřené kaple vytvořený v aplikaci 123D Catch

Obr.5.6 - program 123D Catch vytvořil velmi věrný model jedné z otevřených kaplí. Jediným negativním prvkem je část nevymodelované kovové mříže. Celková velikost vytvořeného souboru je 29 MB.

Obr.5.6 - Na výstupu vytvořeném aplikací Hypr3D jsou patrné nesrovnalosti modelu proti skutečnosti (nerovnosti na stěnách, neúplně vymodelovaný oltář). Průhlednost mříží se však zdá být skutečnější než na modelu vytvořeném aplikací 123D Catch. Celková velikost vytvořeného souboru je 35,7/1,7 MB.



Obr. 5.7: 3D model otevřené kaple vytvořený v aplikaci Hypr3d

## 6 Hledání vhodné metody fotografování

Po příchodu do areálu Svaté hory byla provedena rekognoskace okolí a porovnání se zjištěnými poznatky z internetových serverů. Jak bylo vyhodnoceno již dříve, k některým sochám se bohužel nebylo možné dostat s fotoaparátem vůbec, nebo jen v omezeném úhlu a vzdálenosti. Jednalo se hlavně o sochy umístěné na střeše hlavní budovy a také několik soch umístěných na ambitech nad vchody. Ostatní sochy, umístěné na balustrádě lemující terasu baziliky, jsou ve výšce tři metry nad zemí z jedné a metr ze strany druhé. Pro testování byla určena jako nejvhodnější západní a severní strana, z důvodu výhodných světelných podmínek.

### 6.1 Fotografování v areálu Svaté Hory

Jako testovací vzor byla vybrána plastika zobrazující ozdobnou vázu s květinami, která se nalézá na nejnižším místě západního schodiště, později označená jako Zs6. Výběr této skulptury byl proveden z důvodu, že k ní lze snadno přistupovat z 360° v horizontálním směru.

Po průzkumu prostoru okolo sochy bylo zjištěno, že dostatečný počet fotografií by mohl odpovídat počtu pětadvaceti snímkům na jeden objekt. Protože kvalita a správnost metody pořízených snímků ani jejich dostatečný počet nemohl být v terénu ověřen, pořídilo se několik sérií fotografií s mírně odlišným nastavením a v různém počtu. Na závěr byl objekt změřen na několika místech svinovacím metrem, pro pozdější definici rozměrů. Výška objektu je 67,5 cm a délka delší strany podstavce je 38 cm.

Během pořizování dokumentace byla snaha dodržet několik zásad pro dosažení ideálních výsledků. Jednou z nejdůležitějších zásad bylo dodržení stejného nastavení fotoaparátu, při pořizování série snímků jednoho objektu. Toto se ukázalo vhodné, neboť při pozdějším testování si software s fotografiemi s různým nastavením nedokázal poradit.

Další samozřejmostí bylo pořizovat snímky s dostatečným překrytem. Tento fakt vychází z teoretických základů tvorby 3D modelů a také je připomínán v mnoha



návodech software, zabývající se touto tematikou. Hodnota překrytu je závislá na použité ohniskové vzdálenosti. Čím kratší tato vzdálenost je, tím větší je zkreslení na okrajích snímků. Samozřejmě záleží i na dalších faktorech, jako např. výskyt pohyblivých předmětů v záběru.

Většina tutoriálů testovaných software zakazovala snímat pohyblivé objekty, stejně tak i fotografování s bleskem, protože při tvorbě modelů pak vznikají nežádoucí stíny a rušení. Tyto podmínky byly při snímání dodržovány.

### 6.1.1 Nastavení fotoaparátu

První část fotografické dokumentace byla pořízena fotoaparátem Canon 450D. Je to 12,2 megapixelová jednooká zrcadlovka, která je součástí řady fotoaparátů Canon EOS. Byl použit pro dokumentaci většiny soch na západní straně a několik soch na straně severní. Zbýlá fotografická dokumentace byla vytvořena s využitím fotoaparátu Canon 550D. Oba fotoaparáty mají podobná prostředí a nastavení se provádí stejně. Zde bude popsáno několik parametrů, které byly měněny v závislosti na světelných podmínkách či vzdálenosti objektu od středu snímání. Fotografická dokumentace soch byla pořizována v manuálním režimu, aby bylo možné zvolit optimální hodnoty. Tyto nastavované hodnoty jsou popsány níže.

#### Clona

Nastavení clonového čísla blízce souvisí s délkou expozice. Při prvních pokusech bylo voleno vyšší clonové číslo, aby byla zajištěna co největší hloubka ostrosti obrazu. Pro pozdější pokusy bylo clonové číslo zmenšováno, aby se potlačila ostrost pozadí, ale ustřední motiv - socha zůstala zaostřena. Toto mohlo mít dobrý vliv při zpracování fotografie programem

#### Délka expozice

V první řadě je nutné uvědomit si, že snímky, byly pořizovány bez pevného umístění fotoaparátu na stativu, čemuž musela být délka expozice přizpůsobena. Při nastavení nízkého clonového čísla je vyšší světelný tok, tím pádem je nižší čas

expoziční a tedy nižší hloubka ostrosti. Při opačném nastavení se světelný tok sníží, čas expozice je vyšší a obraz má vyšší hloubku ostrosti. Oba používané fotoaparáty obsahují ukazatele expozice, podle kterého byla nastavována optimální hodnota.

### Citlivost ISO

Hodnota ISO byla většinou volena nižší (100 či 200), aby se zamezilo negativním působením, jako zvýšenému šumu. Toto nastavení souviselo s konkrétními světelnými podmínkami při snímání. Pokud bylo například nutné zvýšit hloubku ostrosti, s nastavením dvojnásobné citlivosti lze adekvátně zvýšit clonové číslo.

### Ohnisková vzdálenost

Závisí na použitém objektivu. Většinou byla volena co nejnižší hodnota, aby bylo možné snímat objekt z co nejbližší vzdálenosti a tím by vynikly detaily. Je ovšem nutné zohledňovat, že při širokoúhlém nastavení budou fotografie vykazovat větší kreslení. Nastavení ohniskové vzdálenosti bylo po celou dobu fotografování stejné. U fotoaparátu Canon 450D byla nastavena na hodnotu 18 mm a u Canon 550D na hodnotu 11 mm.

## 6.1.2 Metoda fotografického zaměření

Na metodě fotografického zaměření testovacího vzoru nebylo nic složitého a vyhovovala požadavkům, ale na ostatní hůře přístupné sochy se tento postup nemohl aplikovat. Z lépe přístupné strany bylo možné objekt zachytit ve dvou ze tří požadovaných poloh a třetí poloha se zachycovala pouze odhadem. Bylo otestováno fotografování objektu ze země, což se ukázalo jako nedostatečné. K dalšímu pokusu byl využit tripod Vanguard Tracker B-100, který má katedra mapování a kartografie k dispozici, a k němu dálková spoušť. Zaměření z větší výšky bylo provedeno z lépe přístupné strany bohužel odhadem, neboť nebylo vidět na displej fotoaparátu. Hůře přístupná strana objektu byla zachycena z kamenného zábradlí. Tento postup byl značně nebezpečný, jak kvůli hrozbě poškození zábradlí, tak také kvůli značně zvýšené síle, která se musela vyvinout pro udržení fotoaparátu v patřičné poloze. Tímto

způsobem se podařilo pořídit sérii snímků, ze kterých byl později vytvořen nedosta-  
tečný model. Po konzultaci možných řešení problémů byl katedrou mapování a kar-  
tografie pořízen monopod, který byl vybrán s ohledem, aby vyhovoval svou délkou  
a váhou. Po pořízení monopodu Manfrotto 681b a také bezdrátové dálkové spouští  
byla vyzkoušena druhá metoda tentokráte s novým vybavením. Poslední realizované  
řešení nakonec tedy vypadalo takto: Fotoaparát jsme přes USB kabel připojili k mini  
notebooku a pomocí programu EOS utility jsme měli možnost živého zobrazení na  
displeji mini notebooku. Program zároveň umožňuje pořizovat snímky, díky čemuž  
nemusela být využita dálková spoušť. S tímto propojením bylo tedy možné foto-  
grafovat při zdviženém monopodu, a tím zajistit i horní snímky objektu. Z hůře  
přístupné strany byly snímky pořizovány pomocí hliníkového rozkládacího žebříku.



Obr. 6.1: Ukázka metody focení

Protože fotografování z žebříku nebylo vždy nejbezpečnější a nejsnazší, bylo za-  
mýšleno pořídit takové vybavení (např. lehké lešení), které by snímání objektu uleh-  
čilo. Bohužel tato myšlenka nebyla realizována, z důvodu vysoké pořizovací ceny  
a hlavně nevyhovovala představám správce areálu Svaté Hory. Navíc by musela být  
zajištěna jeho montáž, demontáž a následně odvoz, aby nepřekáželo běžnému pro-  
vozu areálu.

Pomocí tohoto řešení bylo při každé návštěvě fotograficky zaznamenáno přibližně pět až sedm soch, dokud se přístrojům nevybily baterie. Pořízené snímky byly následně v kanceláři zpracovány a pomocí vybraného software z nich byl vytvořen 3D model. Bohužel se často stalo, že série fotografií některých soch musely být pořízeny znovu buď ve větší kvalitě, či větším počtu fotografií.

## 6.2 Úprava fotografií

Při fotografování v terénu se často stávalo, že se fotografie z určitého úhlu nezdály být v potřebné kvalitě. Tyto snímky byly pořízeny pro jistotu několikrát. Před vložením fotografií do software, bylo nutné tyto snímky prohlédnout a odstranit ze souboru ty, které byly nadbytečné, či neměly dostatečnou kvalitu. V software, který byl vybrán pro tvorbu 3D modelů, je možné si při konkrétním natočení prohlédnout právě tu fotografii, ze které byla ona část modelu vytvořena. Z tohoto důvodu bylo zavedeno přesné označení každého snímku, aby bylo možné okamžitě určit, která fotografie způsobuje deformace, či nepřesnosti. Protože při fotografování nebyly vždy ideální světelné podmínky, byly snímky upraveny pomocí programu Adobe Photoshop CS5. Při prvních pokusech, kdy program pracoval pomaleji, byla každá data navíc, zbytečným zdržením a zátěží pro počítač. Z tohoto důvodu bylo na snímcích odstraněno pozadí soch. Po takovýchto úpravách byl vytvořen soubor fotografií, který bylo možné vložit do aplikace pro zpracování.



Obr. 6.2: Ukázka úpravy snímku pro program 123D Catch



Obr. 6.3: Ukázka úpravy snímku pro prezentaci na webových stránkách

## 7 Presentace výsledků na internetu

Za účelem prezentace výsledků této diplomové práce, byly vytvořeny webové stránky, které jsou dostupné na <http://geo3.fsv.cvut.cz/dp/kratinohova/>. Jsou zde zveřejněny základní informace o Svaté Hoře, stručný přehled programů, ve kterých byly modely vytvořeny a jejich výstupy. Tyto informace jsou rozděleny do několika kategorií. V kategorii Modely soch, si lze po výběru konkrétní sochy stáhnout hotový model či mračno bodů v několika formátech.

### 7.1 Tvorba webových stránek

Z webových stránek <http://www.oswd.org/design/preview/id/3557> byla stažena šablona, vybrána podle pěkného design. Nejprve byly odstraněny nepotřebné elementy jako např. datum. Do šablony pak byly postupně vkládány potřebné texty. Menu bylo upraveno podle konkrétních potřeb. V horní části stránky byl vyměněn obrázek za fotografii pohledu na jižní část balustrády se sochami. Protože byly změněny i rozměry, dostala stránka osobitější vzhled. Na hlavní stránce bylo přehozeno pořadí sloupců, aby fotografie a informace o autorce byly na levé straně. Tento přesun přispěl k lepší orientaci na stránce. Na dalších podstránkách bylo sloupcové zobrazení úplně odstraněno. Úpravy byly prováděny pomocí CSS<sup>1</sup>. Pro funkci interaktivního klikání je použit Javascript a knihovna jQuery. Webové stránky byly napsány v jazyce HTML s využitím návodů na internetu. [30]

### 7.2 Obsah webových stránek

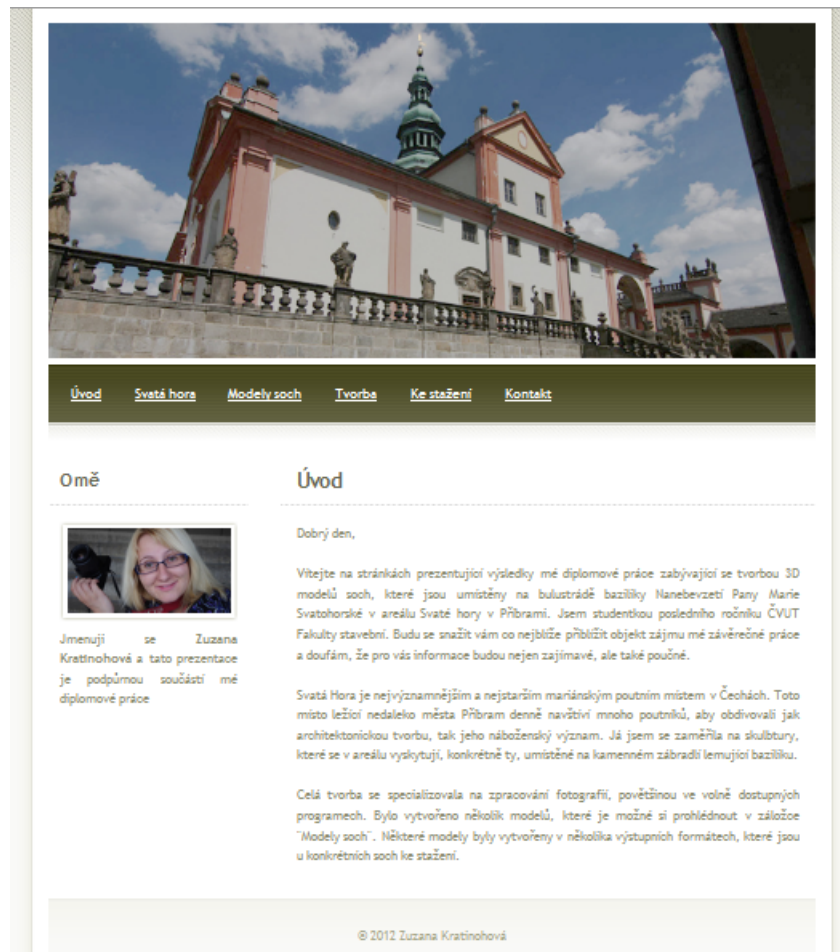
Hlavní stránka obsahuje úvod, ve kterém je popsán účel vytvoření tohoto webu, stručné informace o diplomové práci a fotografii autorky. Zároveň je zde fotografie jižní části balustrády se sochami a základní menu.

Položky tohoto menu jsou:

---

<sup>1</sup>Kaskádové styly (Cascading Style Sheets) je jazyk pro popis způsobu zobrazení stránek napsaných v jazycích HTML, XHTML nebo XML.

- Úvod - Hlavní stránka obsahující základní informace
- Svatá Hora - Obsahuje stručný popis Svaté Hory a její historie.
- Modely soch - Obsahuje plánec areálu Svaté Hory s vyznačenými sochami, o kterých se po kliknutí zobrazí podrobnější informace.
- Tvorba - Popisuje postup, jak byly sochy fotograficky dokumentovány.
- Ke stažení - Zde se nachází několik odkazů, kde si lze stáhnout programy používané pro tvorbu 3D modelů a celý text diplomové práce.
- Kontakt - Obsahuje kontaktní informace autorky.



Obr. 7.1: Náhled webových stránek

## 8 Využití modelů v Google SketchUp

Původně bylo zamýšleno výsledky z programu 123D Catch exportovat do formátu *dwg*, neboť je podporován také aplikací Google SketchUp. Bohužel při konverzi formátů dochází ke ztrátě dat, což má za následek otevření zdánlivě<sup>1</sup> prázdného souboru. Z tohoto důvodu byl vyhledán software, který by s co nejmenší datovou újmou konvertoval alespoň jeden z výstupních formátů 123D Catch do datového formátu podporovaného Google SketchUp. Takovým software se ukázal být MeshLab.

MeshLab je volně dostupný software zaměřený na pomoc typických nestrukturovaných modelů vznikajících ve 3D skenování. Pro takto vzniklá data poskytuje soubor nástrojů pro editaci, čištění, kontrolu a převádění formátů. Byl vyvíjen jako součást předmětu FGT<sup>2</sup> od roku 2005 studenty Univerzity v Pise. Tento software je aktivně podporován projektem 3D-CoForm. Exportní formáty, které MeshLab podporuje jsou: *3ds, ply, stl, obj, dae, ctm, gts, json, m, u3d, x3d, idtf*. Podporované importní formáty jsou: *ply, stl, off, obj, 3ds, collada, ptx, v3d, pts, apt, xyz, gts, tri, asc, x3d, x3dv, vrml, aln*. [31]

Právě pro jeho četné exportní a importní formáty byl vybrán jako prostředek pro konverzi. Mezi požadovanými software byl nalezen průnik formátů. Průběh konverze: 123D Catch → MeshLab → Google SketchUp.

Výsledný model byl ze software 123D Catch exportován ve formátu *obj* a následně v MeshLab převeden do formátu *dxf*, který je v Google SketchUp podporován jako importní formát.

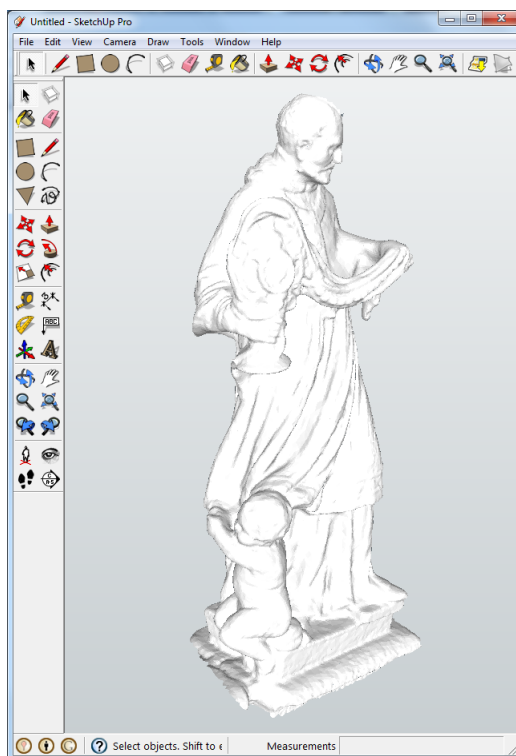
Nevýhodou této migrace formátu bylo rozložení textury do vlastních souborů *jpg*, což se v konečném importu projevilo tím, že k modelu nebyla textura připojena (obr.8). I přesto, že model v programu Google SketchUp neobsahoval texturu, jeho datová velikost byla cca 18,3 MB. Soubor padesáti osmi vymodelovaných soch by byl natolik veliký, že by nebylo možné importovat jej do stávajícího modelu.

Aplikace Google SketchUp podporuje i další formáty, které lze exportovat z MeshLab. Jedním z nich je formát *3ds* a pomocí něj lze také importovat modely do požadovaného programu. Nevýhodou však je omezený počet vrcholů v souboru,

<sup>1</sup>Soubor, má velikost cca 15 kb, ale při otevření v programu se nezobrazí žádný objekt

<sup>2</sup>Fondamenti di Grafica Tridimensionale



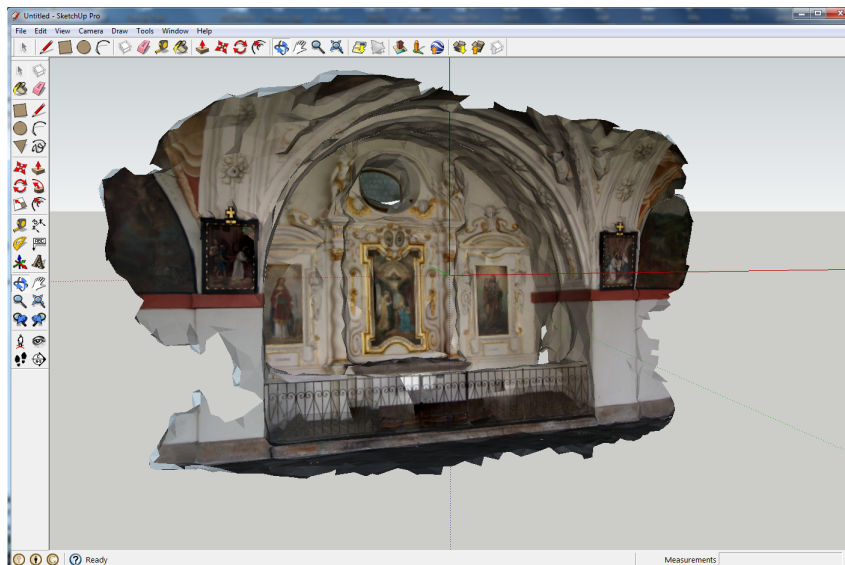


Obr. 8.1: Model S5 importovaný do aplikace Google SketchUp z 123D Catch

kde maximální množství je 65 535 vrcholů. Bohužel většina modelů soch má více jak dvojnásobný počet vrcholů a zmenšením jejich počtu se výrazně zhorší kvalita výstupu.

V pozdější části tvorby, kdy byl objeven software Hypr3D, byl nalezen jednodušší způsob jak vytvořené modely importovat do Google SketchUp. Výsledky vytvořené programem Hypr3D si lze stáhnout v několika formátech (kap. 4.1.5), z nichž jeden je *dae* & *jpg*. Při pozdějším testování se ukázalo, že tento formát (pouze ve verzi Low Res Flash Viewer Model) lze importovat do aplikace Google SketchUp. Nejsou zde problémy s načítáním textur, avšak kvalita vytvořeného modelu je značně nevyhovující (obr.8). Tato cesta je jednou z možností, jak vyřešit problém exportu do požadovaného programu, ale stále není nejdokonalejším řešením.

Průměrná velikost modelu importovaného do Google SketchUp v nižší kvalitě je 20 MB. Pokud by se do stávajícího modelu, jež má velikost 9,1 MB mělo importovat všech padesát osm soch, měl by celkový model kolem 1170 MB. Tato velikost souboru



Obr. 8.2: Model OK importovaný do aplikace Google SketchUp z Hypr3D

by byla opět neúnosnou zátěží pro aplikaci Google SketchUp a vedla by k jejímu kolapsu.

Další cesty, jak doplnit stávající model areálu Svaté Hory o chybějící sochy, se zatím nalézt nepodařilo.

## Závěr

V rámci tvorby této diplomové práce bylo pořízeno 2 800 fotografií, které zachycují 44 soch a 9 otevřených kaplí. Ze všech zachycených objektů byla snaha vytvořit 3D modely. Mimo fotografie soch a otevřených kaplí bylo pořízeno 22 snímků celého areálu Svaté Hory u Příbrami pro tvorbu orientačního plánu soch a další účely. Celkový datový objem pořízené fotografické dokumentace je 14,006 GB.

Bylo otestováno 6 programů zabývajících se tvorbou 3D modelů. Aplikace Autodesk 123D Catch a Hypr3D byly ohodnoceny jako nejvhodnější pro objekty zájmu této diplomové práce. V aplikaci Hypr3D bylo vytvořeno 22 výstupů a v programu Autodesk 123D 31 výstupů. Tyto výstupy mají různou míru kvality. Podařilo se vymodelovat několik výstupů odpovídajících skutečným objektům, ale většina výstupů obsahuje deformace či díry. Aplikace Hypr3D vykazuje horší kvalitu výstupů, než modely vytvořené v Autodesk 123D a lze si je prohlédnout online na internetových stránkách aplikace. Průměrná velikost jednoho modelu odpovídajícího skutečnosti programu Autodesk 123D je asi 20 MB a je závislá na počtu zdrojových fotografií a průměrná velikost jednoho modelu aplikaci Hypr3D je 1,7 MB.

Součástí práce byla také tvorba webových stránek, které byly následně umístěny na školní server [geo3.cvut.fsv.cz/kratinohova](http://geo3.cvut.fsv.cz/kratinohova). Vznikly za pomoci přednastavené šablony a s využitím návodů pro tuto tematiku. Použity zde byly kaskádové styly a pro některé prvky javascript. Tyto webové stránky obsahují základní informace o Svaté Hoře, tvorbě 3D modelů soch a soubory s vytvořenými modely ke stažení.

Na závěr práce bylo experimentováno s importními formáty programu Google SketchUp. Byla snaha vložit vytvořené 3D modely do požadovaného programu tak, aby se příliš nezvětšila datová velikost původního modelu areálu Svaté Hory a zároveň, aby modely soch měly dostatečně vypovídající hodnotu. Výsledky výzkumu dokazují, že import do software Google SketchUp lze provést několika cestami s různými výsledky. Jednou z možností je použít výsledky z aplikace 123D Catch, které se zkonvertují pomocí programu MeshLab do vhodného formátu pro Google SketchUp Pro 8. Tato cesta má několik nevýhod např.:

- Výsledný model neobsahuje texturu a zobrazí se v základním bílém odstínu
- Velikost vytvořeného souboru je natolik unačná, že by jej nebylo možné importovat do požadovaného programu, aniž by se výrazně nezvětšila datová kapacita.
- Importní formát *dxif* podporuje pouze komerční verze programu Google SketchUp Pro 8.

Další nalezená cesta, jak importovat modely, byla přes program Hypr3D. Tento software vytváří soubor *dae & jppg*, který lze importovat přímo do Google SketchUp. Textura je sice opět od formátu oddělena, ale není zde problém při jejím načítání. Bohužel model lze do programu importovat pouze v horší kvalitě vytvořené sítě, a to se na výsledku projeví jeho nedostatečnou kvalitou. Přesto, že importovaný model je v horší kvalitě, jeho velikost je stále natolik značná, že také nevyhovuje podmínce výrazně nezvětšovat datovou kapacitu původního modelu.

Při dosavadních možnostech technologií volně dostupných programů zatím nebyl nalezen vhodný způsob, jak splnit podmínky doplnění modelů soch do stávajícího 3D modelu areálu Svaté Hory vytvořeného v aplikaci Google SketchUp. Během testování použitých software byl patrný jejich vývoj a lze proto předpokládat, že i tato překážka bude brzy překonána.

Celá diplomová práce byla napsána v sázecím programu Latex.

Pro lepší vizualizaci byly dva reprezentativní 3D modely převedeny do 3D pdf. Za tímto účelem byly modely pomocí programu MeshLab exportovány do formátu *u3d*.

## Použité zdroje

- [1] *Informace o městě Příbram a jeho okolí*: WWW stránky, [online], [cit. 9. 2. 2012], URL: <http://www.pribram.eu>
- [2] *Informace o areálu Svaté Hory* : WWW stránky, [online], [cit. 9. 2. 2012], URL: <http://svata-hora.cz>
- [3] *Historické pohledy*: WWW stránky, [online], [cit. 2. 5. 2012], URL:<http://www.fotohistorie.cz>
- [4] *Webové stránky vytvořené v rámci diplomové práce Bc. Marie Rajdlové a Bc. Michala Šatavy*: WWW stránky, [online], [cit. 3. 5. 2012], URL: <http://geo3.fsv.cvut.cz/sh>
- [5] *Mapový server* : WWW stránky, [online], [cit. 9. 2. 2012], URL: <http://maps.google.cz>
- [6] MACH, L.: WWW stránky, [online], [cit. 24. 2. 2012], URL: <http://labts.troja.mff.cuni.cz/~mach15bm/programs/dokumentace/>
- [7] PAVELKA, K.: *Fotogrammetrie 10*. 2. přepracované vydání. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 194 s. ISBN 80-01-02649-3.
- [8] HODAČ, J.: *Přednáška Stereofotogrammetrie* : WWW stránky, [online], [cit. 5. 5. 2012], URL: <http://lfgm.fsv.cvut.cz>
- [9] BAYER, T. *Rovinné triangulace a jejich využití*. : WWW stránky, [online], [cit. 5. 5. 2012], URL: <http://web.natur.cuni.cz/~bayertom/Adk/adk5.pdf>
- [10] BAYER, T. *Problémy a algoritmy*. : WWW stránky, [online], [cit. 6. 5. 2012], URL: <http://web.natur.cuni.cz/~bayertom/IM/idm1.pdf>
- [11] *Algoritmus sweep line*. : WWW stránky, [online], [cit. 7. 5. 2012], URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Sweep\\_line\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Sweep_line_algorithm)

- [12] SURYNKOVÁ, P. *Triangulace* . : WWW stránky, [online], [cit. 6. 5. 2012], URL: [http://www.surynkova.info/dokumenty/mff/PG/Prednasky/prednaska\\_10.pdf](http://www.surynkova.info/dokumenty/mff/PG/Prednasky/prednaska_10.pdf)
- [13] ZÁBRANSKÝ J.: [cit. 21. 5. 2012], *Triangulace povrchu a úlohy na nich* Diplomová práce. Plzeň 2005.
- [14] *Informace o datových formátech* : WWW stránky, [online], [cit. 8. 5. 2012], URL: <http://www.fileinfo.com/filetypes/data>
- [15] *Informace o datovém formátu dwg* : WWW stránky, [online], [cit. 8. 5. 2012] URL: <http://www.coolutils.com/Formats/DWG>
- [16] *Geometrické datové formáty* : WWW stránky, [online], [cit. 9. 5. 2012], URL: [http://www.eg-models.de/formats/Format\\_Obj.html](http://www.eg-models.de/formats/Format_Obj.html)
- [17] *Internetová encyklopedie - česká verze* : WWW stránky, [online], [cit. 17. 3. 2012] URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wiki>
- [18] *Internetová encyklopedie - anglická verze* : WWW stránky, [online], [cit. 17. 3. 2012] URL: <http://www.wikipedia.org>
- [19] *Datový formát ply* : WWW stránky, [online], [cit. 21. 5. 2012], URL: [http://www.cc.gatech.edu/projects/large\\_models/ply.html](http://www.cc.gatech.edu/projects/large_models/ply.html)
- [20] *Webová stránka firmy Autodesk věnovaná produktům 123D* : WWW stránky, [online], [cit. 25. 5. 2012] URL: <http://www.123dapp.com/catch>
- [21] *Webové stránky cadfora* : WWW stránky, [online], [cit. 9. 5. 2012], URL: [http://www.cadforum.cz/forum/forum\\_posts.asp?TID=11262](http://www.cadforum.cz/forum/forum_posts.asp?TID=11262)
- [22] *Události a novinky v CAD software* : WWW stránky, [online], [cit. 9. 5. 2012] URL: <http://www.cadstudio.cz/autodesk-photofly-pre-3d-modely-z-fotografii-art1475>
- [23] *Informace o produktu Photosynth* : WWW stránky, [online], [cit. 27. 4. 2012], URL: <http://photosynth.net/about.aspx>

- [24] *Novinky ze světa windows* : WWW stránky, [online], [cit. 17. 5. 2012], URL: <http://extrawindows.cnews.cz/photosynth-novy-rozmer-pro-vase-fotografie>
- [25] *Manuál software Insight3d* : WWW stránky, [online], [cit. 28. 4. 2012], URL: [http://insight3d.sourceforge.net/insight3d\\_tutorial.pdf](http://insight3d.sourceforge.net/insight3d_tutorial.pdf)
- [26] *Informace o software Visual SFM* : WWW stránky, [online], [cit. 23. 5. 2012], URL: <http://www.cs.washington.edu/homes/ccwu/vsfm/>
- [27] *Informace o software 3DSOM* : WWW stránky, [online], [cit. 23. 5. 2012], URL: <http://www.3dsom.com/index.html>
- [28] *Informace o software Bundler* : WWW stránky, [online], [cit. 23. 5. 2012], URL: <http://phototour.cs.washington.edu/bundler/>
- [29] *Informace o software aSPECT 3D* : WWW stránky, [online], [cit. 23. 5. 2012], URL: [http://www.arctron.de/en/products/software/aspect\\_3d/](http://www.arctron.de/en/products/software/aspect_3d/)
- [30] *Návody jak vytvořit webové stránky* : WWW stránky, [online], [cit. 3. 5. 2012], URL: <http://www.jakpsatweb.cz/>
- [31] *Informace o software MeshLab*: WWW stránky, [online], [cit. 8. 5. 2012], URL: <http://meshlab.sourceforge.net/>
- [32] *Latex v kostce*: WWW stránky, [online], [cit. 3. 4. 2012], URL: <http://www.it.cas.cz/manual/latex/>

# Seznam obrázků

1.1	Zobrazení města Příbram na mapě [5]	11
1.2	Historický pohled na Příbram se Svatou Horou v pozadí z roku 1927 [3]	12
1.3	Systém značení soch v areálu Svaté Hory	15
1.4	Stávající model areálu [2]	16
2.1	Princip získání bodů [6]	17
2.2	Princip snímkování průřezovou metodou ze tří stanovisek	18
2.3	Znázornění normálního případu [7]	20
2.4	Dvě různé triangulace pro 4 body v rovině	21
2.5	Greedy triangulace [9]	23
2.6	Delaunay triangulace [12]	23
2.7	Dva lokálně optimální trojúhelníky [12]	24
2.8	Srovnání vrstevnic Delaunay triangulace a Datově závislé triangulace [12]	25
4.1	Princip cloud computing [17]	33
4.2	Autodesk Photofly	34
4.3	Model vytvořený v software Autodesk Photofly	35
4.4	Prostředí programu Autodesk 123D Catch	36
4.5	Hlavní nástrojová lišta aplikace 123D Catch	37
4.6	Vytvořený 3D model v programu 123D Catch	39
4.7	Prostředí aplikace Photosynth	41
4.8	Andělíček S6 série fotografií	42
4.9	andělíček S6 zobrazený jako mračno bodů	42
4.10	Prostředí programu Insight3d	43
4.11	Vytvořené mračno bodů s polohami kamer	45
4.12	Mračno bodů v programu Insight3d	46
4.13	Prostředí aplikace Hypr3D	47
4.14	Ovladačí prvky pracovního okna	48
4.15	Vytvořený model v programu Hypr3D	49



4.16	Prostředí programu PhotoModeler Scanner . . . . .	52
4.17	Dvě různé konfigurace kalibračního pole . . . . .	54
5.1	Ukázka zdrojové fotografie vatikánské busty [20] . . . . .	56
5.2	Model vytvořený jako první pokus v programu 123D Catch . . . . .	57
5.3	První model vytvořený v programu 123D Catch . . . . .	58
5.4	Schéma dostatečného počtu snímků objektu . . . . .	59
5.5	Systém značení otevřených kaplí v areálu Svaté Hory . . . . .	60
5.6	3D model otevřené kaple vytvořený v aplikaci 123D Catch . . . . .	61
5.7	3D model otevřené kaple vytvořený v aplikaci Hypr3d . . . . .	62
6.1	Ukázka metody focení . . . . .	66
6.2	Ukázka úpravy snímku pro program 123D Catch . . . . .	68
6.3	Ukázka úpravy snímku pro prezentaci na webových stránkách . . . . .	68
7.1	Náhled webových stránek . . . . .	70
8.1	Model S5 importovaný do aplikace Google SketchUp z 123D Catch . . . . .	72
8.2	Model OK importovaný do aplikace Google SketchUp z Hypr3D . . . . .	73

# Seznam příloh

A	Přehled použitých programů	82
B	Obsah datového disku	84
C	Modely ve 3D pdf	85

## A Přehled použitých programů

### **Adobe Photoshop CS5**

Program na úpravu fotografií

### **Autodesk Photofly**

Program pro tvorbu 3D modelů z fotografií

### **Autodesk 123D Catch**

Program pro tvorbu 3D modelů z fotografií

### **Bundler**

Program pro tvorbu 3D modelů z fotografií

### **Canon EOS Utility 2.10**

Program pro nastavení fotoaparátu a přenosu dat

### **Google Chrome v19**

Internetový prohlížeč

### **Google SketchUp 7**

Program pro tvorbu, editaci a sdílení 3D modelů

### **Google SketchUp Pro 8**

Program pro tvorbu, editaci a sdílení 3D modelů

### **Hypr3D**

Program pro tvorbu 3D modelů z fotografií

### **Insight3d**

Program pro tvorbu 3D modelů z fotografií

### **Internet Explorer v9.0.6**

Internetový prohlížeč

### **IrfanView 4.20**

Program na úpravu fotografií

### **Latex**

Program umožňující sázet a tisknout dokumenty

### **MeshLab**

Program pro editaci 3D modelů

### **Mozilla Firefox v13**

Internetový prohlížeč

**PhotoModeler Scanner**

Program pro tvorbu 3D modelů z fotografií

**Photosynth**

Program pro tvorbu sinthu z fotografií

**Visual SFM**

Program pro tvorbu 3D modelů z fotografií

## B Obsah datového disku

- Text diplomové práce ve formátu PDF (*DP Zuzana Kratinohova.pdf*)
- Latexový soubor se skripty nutnými k překladu do PDF (*Latex*)
- Soubor vybraných fotografií (*Fotografie*)
- Soubor vytvořených modelů ve formátu 3DS (*Modely 3dp*)
- Soubor vytvořených modelů ve formátu DAE & JPG (*Modely dae*)
- Přílohy ve formátu PDF (*Priloha S5.png, Priloha Zs6.png*)
- Soubor s vytvořenými webovými stránkami (*web*)

# C Modely ve 3D pdf

3D model skulptury.

Nastavení pohledu na scénu

3D model skulptury.

Nastavení pohledu na scénu