

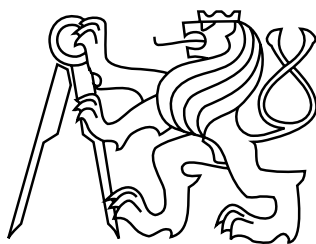
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PRAHA 2014

Bc. Kateřina ČECHUROVÁ

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



DIPLOMOVÁ PRÁCE
SOUČASNÉ MOŽNOSTI PREZENTACE HISTORICKÝCH
OBJEKTŮ

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

leden 2014

Bc. Kateřina ČECHUROVÁ



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: 2013/2014

Jméno a příjmení diplomanta: Bc. Kateřina Čechurová
Zadávající katedra: Katedra mapování a kartografie
Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Soukup, Ph.D.
Název diplomové práce: Současné možnosti prezentace historických objektů
Název diplomové práce
v anglickém jazyce: Current Possibilities of Presentation of Historical Buildings

Rámcový obsah diplomové práce: Přehled způsobů prezentace prostorových modelů staveb. Analýza možností interaktivní prezentace modelů na webu. Generalizace modelu kláštera sv. Anežky České v Praze. Princip a tvorba panoramatických fotografií interiéru kláštera.

Datum zadání diplomové práce: 23.9.2013 Termín odevzdání: 20.12.2013
(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: 26.9.2013

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

Cílem této práce je vytvořit přehled o dostupných možnostech prezentace historických objektů. Pro účely diplomové práce byl využit Anežský klášter v Praze. První část textu práce je věnována moderní technologii 3D tisku, která převede virtuální prostorový model do fyzické podoby. Druhá část práce pojednává o tvorbě panoramatických scén. Současně s tím je analyzován princip tvorby panoramat v prostředí programu Hugin. Získané výsledky budou dále využity pro studijní i dokumentační účely a jsou prezentovány na vytvořených webových stránkách.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk, interaktivní prostorový model, Hugin, panoramatická scéna, virtuální procházka

ABSTRACT

The aim of this master thesis is to create an overview of the available possibilities to present of historical buildings. For the purposes of the thesis was used St. Agnes Bohemia Convent in Prague. The first part of the text is devoted to the modern technology of 3D printing, which converts virtual spatial model into physical form. The second part deals with creation of the panoramic scenes. At the same time is analyzed principle of creating panoramas in program Hugin. The results will also be used for education and documentary purposes and are presented in the created website.

KEYWORDS

3D print, Interactive spatial model, Hugin, Panorama scene, Virtual tour

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Současné možnosti prezentace historických objektů“ jsem vypracovala samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Petru Soukupovi, Ph.D. za jeho odborné rady, ochotu a pomoc při zpracování této práce. Dále bych ráda poděkovala paní Mgr. Štěpánce Chlumské za umožnění přístupu do interiéru kláštera a povolení k fotografování. Děkuji členům studentského projektu RepRap 3D tiskárna SH za pomoc při 3D tisku prostorového modelu Anežského kláštera. V neposlední řadě děkuji své rodině za trpělivost a podporu po celou dobu studií.

Obsah

Úvod	8
1 Prezentace prostorových modelů staveb	9
1.1 Prezentace objektu s využitím 3D tisku	9
1.1.1 3D tiskárna	10
1.1.2 Technologie 3D tisku	11
1.1.3 Programy používané při 3D tisku	13
1.1.4 Vlastní zpracování a příprava 3D tisku	14
1.2 Digitální prezentace	18
1.2.1 Generalizace modelu	18
1.2.2 Další možnosti digitální prezentace	20
2 Interaktivní prezentace modelů na webu	21
2.1 Vybrané souborové typy	21
2.2 Aplikace k prohlížení modelu	22
3 Panoramatické scény	27
3.1 Princip tvorby panoramatických scén	27
3.1.1 Hledání identických bodů	28
3.1.2 Interpolace obrazu	32
3.1.3 Spojování sousedních snímků	35
3.1.4 Projekce širokoúhlých pohledů	36
3.2 Sběr dat pro tvorbu panoramat	41
3.3 Úprava snímků technologií HDR	43
3.3.1 Tvorba HDR	43
3.3.2 Mapování tónů	44
3.4 Vlastní tvorba panoramat	45
4 Prezentace panoramatických scén	48
4.1 Tvorba virtuální procházky	48
4.1.1 PTVIEWER	49

4.1.2	Program Easypano Tourweaver	50
4.2	Webová prezentace	50
4.2.1	Nový obsah webových stránek	51
Závěr		52
Použité zdroje		54
Seznam obrázků		58
Seznam tabulek		58
Seznam příloh		60
A	Seznam použitých programů	61
B	Obsah datového disku DVD	63
C	Rozvinutá sférická panoramata	64
D	Vzhled webových stránek	71

Úvod

Za nejrozsáhlejší zdroj informací současné moderní doby je považován internet. Dalo by se tvrdit, že se stal již nedílnou součástí civilizovaného života. Lidé sdílejí své poznatky a tím obohacují ostatní. Internetem se dnes rozumí hlavně nepřeborné množství webových stránek s nejrůznějším obsahem. Atraktivnost webových stránek je stěžejní pro první dojem a obvykle rozhoduje o tom, zda si návštěvník web prohlédne.

Internetová prezentace historického stavebního objektu ve formě webových stránek by měla poskytovat rozsáhlé informace o daném místě nejen pro studijní účely, ale i pro širokou veřejnost. Vizualizace a různé aplikace pro interaktivní prohlížení prostorových modelů staveb hrají v současných prezentacích významnou roli. Uživatelé se tak nabízejí možnost si daný model stavebního objektu prohlédnout ze všech stran a získat tak představu jak reálný stavební objekt vypadá ve skutečnosti.

Další možnosti vizualizace představují virtuální procházky. Virtuální procházka je v dnešní době velmi oblíbená forma prezentace interiéru i exteriéru. Je tvořena sadou panoramatických snímků, které jsou vzájemně propojeny a doplněny aktivními prvky. V této práci je mimo jiné popsán i základní princip tvorby samotných panoramat v prostředí programu Hugin.

V mnoha případech je však stále nutné objekt prezentovat ve fyzické (hmotné) podobě. Uplatnění nachází především na různých výstavách jako hmotná zmenšenina historického objektu. Fyzické modely mohou být také využity jako učební pomůcky pro nevidomé a slabozraké. Modely objektů lze vytvořit pomocí rozličných materiálů jako je karton, plast, dřevo aj. nebo pomocí moderní technologie 3D tisku. Tato technologie umožňuje vytvořit hmotnou zmenšeninu modelu objektu z digitálního prostorového modelu vytvořeného v počítačovém programu. Část této práce se zabývá právě technologií 3D tisku s využitím open source 3D tiskárny RepRap.

Pro účely této práce byl využit digitální prostorový model Anežského kláštera v Praze, který byl vytvořen v rámci mé bakalářské práce obhájené v červnu 2012.

1 Presentace prostorových modelů staveb

Presentace stavebního objektu si dává za cíl ve srozumitelné a jednoduché formě podat co nejobsáhlejší informace o daném díle. Sdílené informace slouží pro nejrůznější studijní a dokumentační účely, ale i pro širokou veřejnost.

V dnešní době jsou na pomyslném prvním místě poskytované informace na internetu. Je dobré proto znát a vědět, v jakých formách a za jakým účelem může být daný historický objekt prezentován. Za pomoci dostupných webových aplikací je možné prezentovat stavební objekt ve formě interaktivního prostorového modelu. Procházení interiérem resp. exteriérem objektu např. ve formě virtuální prohlídky nebo animace, je další možnost jak uživatele blíže seznámit s daným objektem.

Avšak není nutné se omezovat pouze na skupinu lidí, která vyhledává informace na internetu. I když je tato skupina dosti velká, je dobré mít k dispozici a umět využít i jiné nástroje k reálné prezentaci. Velký potenciál se nabízí u technologie 3D tisku. Na 3D tiskárně se vytiskne zmenšený model stavebního objektu, jenž poslouží právě k prezentačním účelům. O technologii 3D tisku bude popsáno více v následující kapitole 1.1.

1.1 Presentace objektu s využitím 3D tisku

V dnešní době je možné vymodelovat si v některém počítačovém softwaru 3D model objektu. Hotový prostorový model si lze interaktivně prohlížet v dostupných aplikacích (viz kap. 2.2). Avšak vjem hmatový dosud stále převyšuje nad vjemem vizuálním. Proto se v posledních letech stále častěji mluví o technologii 3D tisku. A co si pod tím máme vlastně představit? Jednoduše řečeno převod prostorového digitálního modelu do hmotné podoby.

K vytvoření reálného trojrozměrného objektu pomocí digitálních technologií a 3D tisku však vede dlouhá cesta. Nejprve je nutné zhotovit digitální prostorový model.

Prostorový model se dá vytvořit s využitím *3D laserového skenování*. Naskenovaná data určitého objektu představují mračno bodů. Abychom získali digitální trojrozměrný model, je nutné mít specializovaný software ke zpracování naskenovaných dat. Po jednotlivých úpravách dostáváme kompletní prostorový model, který lze vytisknout na 3D tiskárně.

Další možností jak získat model objektu v digitální podobě, je *vlastní tvorba modelu* v některém z dostupných programů pro 3D modelování (viz kap. 1.1.3). Na trhu jsou dostupné programy, které se již snaží přizpůsobovat tvorbu modelu pro případný export do požadovaného formátu 3D tiskárny. Existují však i programy, které export modelu do požadovaného formátu nepodporují. Bude nutné najít doplňující plugin nebo program, který provede správnou konverzi souborů.

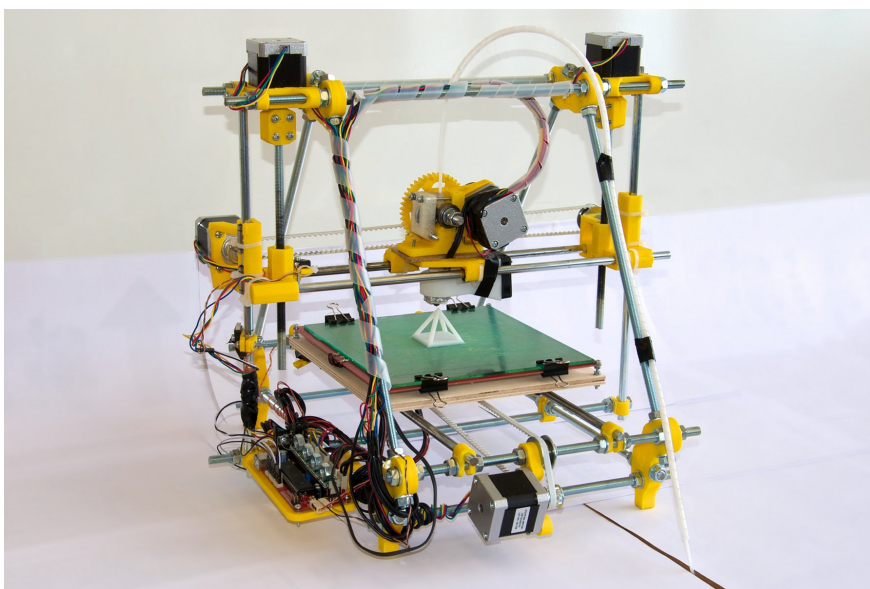
Technologie 3D tisku vytváří předměty bez nutnosti použití jakékoliv formy. 3D tisk je velmi populární v designu, lékařství, architektuře, výzkumu nebo strojním průmyslu. Zde se uplatňuje především při výrobě prototypů. 3D tiskárny pomáhají i v nejrůznějších oblastech, jako např. nevidomí si díky této technice mohou vytisknutý reálný předmět sami osahat a představit. Na této technologii mohou vznikat různé výstavy pro zrakově postižené. Je zřejmé, že trojrozměrný tisk má velký potenciál a v budoucnu se bude i nadále vyvíjet.

1.1.1 3D tiskárna

O 3D tisku by se mohla napsat celá kniha. V této diplomové práci se zmíním pouze o základním principu 3D tiskárny.

Zprvu je nutné si uvědomit, že 3D tiskárny jsou stroje, které můžeme pořídit za sta tisíce, ale i za pár tisíc korun. Některé z nich zabírají mnoho místa v kanceláři, jiné se bez problému vejdou na pracovní stůl. Tiskárny rozlišujeme také podle technologie tisku tak, jak bude popsáno v kap. 1.1.2. Existuje však i řada 3D tiskáren, které si šikovný jedinec může svépomocí vyrobit sám za pár dní. Takovéto tiskárny se nazývají RepRap [3]. Zkratka vznikla z anglického výrazu *Replicating Rapid prototyper*, což v češtině znamená replikující se rychlý výrobce prototypů.

Je možné si poměrně v krátké době tuto tiskárnu sestavit. Navíc součástky tiskárny RepRap se dají vytisknout na jiné tiskárně RepRap, což jí dělá unikátní. Tato tiskárna je vhodná k výrobě atypických součástí v menším počtu. Jedná se o kompletní open source projekt 3D tiskárny (software i hardware). To znamená, že software pro tiskárnu se dá pořídit bezplatně i se zdrojovými kódy. Uživatel si tak může software dále vylepšovat nebo rozšiřovat. Jako open source hardware se označuje produkt, ke kterému je uvedena kompletní dokumentace. V dokumentaci jsou často popsány návody a schémata na sestavení vlastního zařízení. Na obrázku 1.1 je zobrazena vyrobená 3D tiskárna RepRap. Tento typ tiskárny byl využit při výtisku vlastního modelu Anežského kláštera (viz kap. 1.1.4).



Obr. 1.1: 3D tiskárna RepRap [14]

1.1.2 Technologie 3D tisku

Při 3D tisku dochází k výrobě trojrozměrného objektu postupným přidáváním materiálu. Existují různé typy technologií, zde budou uvedeny pouze ty nejpoužívanější.

Tiskárna RepRap tiskne na principu *termální tavné pistole*. Do tiskové hlavy je postupně nasouván úzký plastový drát, který se zahřívá a taví. Hlavice pod tlakem

nanese roztavený plast na pohyblivou tiskovou plochou, kde po chvíli ztuhne. Tyto nástroje řídí sada servomotůrků. Tisková hlava se pohybuje vůči tiskové podložce po třech osách. Hlavice tiskne objekt od základu po jednotlivých vodorovných vrstvách, a po tisku každé vrstvy se posune o tloušťku vrstvy výš po vertikální ose (u jiných modelů tiskáren, se po vertikální ose pohybuje tisková deska). Veškerý materiál jde na samotnou výrobu objektu. Tato technologie je zastoupená ve značné míře na středních a vysokých školách, ale i ve výzkumu firmy Škoda Auto. Na trhu je množství různých materiálů, které jsou vhodné pro tuto technologii. Nejpoužívanější materiál je Akrylonitril-Butadien-Styrenu (ABS), z tohoto materiálu jsou vyrobeny i kostičky známého Lega. Dalším z materiálů je např. termoplast, kov, sklo nebo čokoláda. Stručně řečeno tisknout lze z čehokoliv, co je možné roztavit a následně nechat opět ztuhnout. Novější technologie využívají pro roztavení hmoty laser nebo UV záření.

Další používaná technologie, je *technologie prášková*. Tato technika tisku je např. použita ve 3D tiskárně typu ZPrinter[®]450 na ČVUT v Praze v laboratoři fotogrammetrie (obr. 1.2). Jako pracovní materiál pro výrobu modelu je použit speciální prášek, který je spojen biologickým lepidlem. Na pracovní plochu uvnitř tiskárny je nanesena tenká vrstva prášku. Poté je z tiskových hlav vytlačováno lepidlo, které prášek spojí na příslušných místech. Nevyužitý prášek z výroby jednoho modelu lze zužítkovat pro výrobu dalšího. Vyrobené produkty jsou poměrně křehké, proto vyžadují povrchovou úpravu, např. nátěr vhodným pojivem.

Jedna z nejstarších technologií se nazývá *SLA – stereolitografie*. Princip tisku je založen na vytvrzování tekuté/gelové hmoty laserovým paprskem. Technika SLA je patentována již od roku 1986 Charlesem Hullem, který později založil americkou společnost 3D Systems [4]. Tato společnost se stala průkopníkem v tomto oboru a dodnes je jedním z vůdčích výrobců 3D tiskáren.


 Obr. 1.2: 3D tiskárna ZPrinter[®]450 [4]

1.1.3 Programy používané při 3D tisku

Jak již bylo zmíněno v kap. 1.1, modely v digitální podobě se dají pořídit pomocí laserového skenování anebo si lze trojrozměrný objekt vytvořit ve vhodném softwaru pro 3D modelování. V dnešní době je k dispozici mnoho počítačových programů, které umožňují tvorbu prostorových modelů. Komerční CAD systémy, ve kterých se projektují modely, umožňují přímý export prostorových souborů do softwaru 3D tiskárny nebo alespoň do preferovaného formátu STL [5].

Formát STL (STereoLitography či Standard Triangulation Language) byl vyvinut společností 3D Systems jako výstupní formát po 3D skenování a vstupním souborem do 3D tiskárny. Model v tomto formátu je reprezentován trojúhelníkovými ploškami. Celý soubor tak tvoří nepravidelná trojúhelníková síť. Každá trojúhelníková ploška je definována vrcholy a normálou. Normála (orientovaná úsečka) určuje rub a líc dané plochy. Pro 3D tisk je nutné, aby všechny normály směřovaly ven z daného objektu. Každý prvek plošky je popsán třemi souřadnicemi, které musejí být kladné.

Některé bezplatné programy možnost exportu do formátu STL nenabízejí, a proto je nutné zvolit vhodný způsob konverze do tohoto formátu např. přes doplňující plugin nebo další program. Jedná se o některé volně dostupné CAD softwary jako např. Trimble SketchUp [6]. Pokud bychom se chtěli vyhnout konverzi formátů, ale zůstat u nekomerčních softwarů, nabízí se možnost pro 3D modelování využít program OpenSCAD [8] nebo Blender [9].

Některé vytvořené modely nemusejí splňovat potřebná kritéria pro další postup. Jedná se hlavně o překrývající se plochy, nežádoucí mezery, přílišná složitost modelu a podobně. Je dobré tyto chyby opravit. Vhodný program, který na model aplikuje různé filtry, včetně opravných a zjednodušovacích se nazývá MeshLab, který je volně dostupný na oficiálních webových stránkách [10]. MeshLab je nástroj pro vytváření a úpravu trojrozměrných modelů. Umožňuje importovat a exportovat množství různých formátů 3D dat. Dalším vhodným programem pro úpravu STL souborů je Netfabb [11]. Kompletní program je za úplaty, ale základní verzi Netfabb Basic si lze stáhnout zdarma. Základní verze je zcela dostatečná pro editaci STL souborů.

Opravený STL soubor se rozřeže na jednotlivé vrstvy. Dále následuje proces převedení 3D modelu (ve formátu STL) na sadu instrukcí pro danou 3D tiskárnu. Pro jednotlivé tiskové vrstvy modelu se spočítá množství potřebného materiálu a průběh tiskové hlavy. Vygenerovaný soubor (nazývaný GCODE) je závislý na daných parametrech tiskárny, a proto není přenosný na rozdíl od souboru STL. Moderní tiskárny mají tyto algoritmy integrované přímo ve svých ovládacích panelech. Open source 3D tiskárny RepRap využívají samotné volně dostupné programy např. Slic3r [12]. Soubor GCODE se poté předává ovládací elektronice tiskárny.

1.1.4 Vlastní zpracování a příprava 3D tisku

Jedním z cílů diplomové práce je, pokusit se o vytvoření zmenšeného modelu Anežského kláštera s využitím 3D tiskárny. Prostorový model byl vytvořen v rámci mé bakalářské práce (obhajoba v r. 2012) v programu SketchUp podle stavebních plánů. Model byl pro další prezentaci vhodně generalizován (viz kap. 1.2.1).

SketchUp vytváří soubor prostorového modelu ve formátu SKP. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1.3, je nutné pro další postup převést tento soubor do formátu STL. Jednotlivé souvislé plochy modelu musí být definovány trojúhelníkovou sítí. Čím více bude trojúhelníků v síti, tím bude výsledek přesnější. Volně dostupný program SketchUp nemá přímo ve svých ovládacích panelech nástroj na převod ploch do trojúhelníkové sítě. Je proto nutné doinstalovat plugin CADspan [7], který vygeneruje trojúhelníkovou síť ze souvislých ploch a ze souboru SKP vytvoří soubor formátu STL. Tento plugin je za úplaty. Oproti registraci je však možné využívat po 30 dní zkušební verzi pluginu bezplatně. Zkušební verze nabízí pouze několik nástrojů z rozsáhlé nabídky placeného pluginu CADspan, avšak pro účel diplomové práce je zcela dostatečná. Aby se mohla vytvořit trojúhelníková síť, bylo nutné uzavřít všechny plochy (včetně ploch půdorysu). Každá hrana tedy musí být sdílena právě dvěma ploškami. Plugin CADspan má nastaven omezený počet vzniklých trojúhelníků, proto bylo nutné redukovat počet ploch. Dále bylo nutné, soubor STL upravit, vyplnit nežádoucí mezery a odebrat nepotřebné trojúhelníkové plošky. K tomu byl využit program Netfabb Basic [11].

Dalším podstatným úkolem bylo najít vhodnou 3D tiskárnu. Službu 3D tiskáren nabízí několik firem nejen v Praze, ale i v celé České Republice. Avšak v mém případě se komerční sféra zavrhlá především z finančních důvodů. Cena tisku se pohybuje mezi 230-1500Kč/hod za čas provozu stroje. Cena se odvíjí od zpracovávaného množství, typu materiálu a složitosti modelů.

Nemusela jsem však dlouho hledat jiné řešení. ČVUT v Praze – Fakulta informačních technologií (FIT) podporuje projekt RepRap 3D tiskárna SH [13]. Cílem projektu je zdarma zpřístupnit členům Silicon Hillu¹ 3D tisk a seznámit je s touto technologií. Studenti FIT tak na počátku roku 2012 postavili v prostorách Strahovských kolejí vlastní RepRap 3D tiskárnu [3]. Tato tiskárna pracuje na technologii termální tavné pistole, která je popsána v kap. 1.1.2. Jako materiál je použito ABS v různých barvách. Tiskárna umí vyrábět prototypy o velikosti 180 × 150 × 100 mm.

¹Silicon Hill je největším klubem Studentské unie ČVUT. Klub sídlí na Kolejích Strahov v Praze, kde jsou až na výjimky ubytováni jeho členové.

Na webových stránkách projektu [13] lze získat zdrojové kódy pro doporučené nastavení programu Slic3r [12], tak aby bylo kompatibilní s tiskárnou. Lze si tak předem připravit výstup z tohoto programu ve formátu tzv. GCODE, který je zdrojovým souborem pro spuštění samotného tisku ve 3D tiskárně.

V případě prostorového modelu Anežského kláštera bylo postupováno podle výše uvedeného postupu.

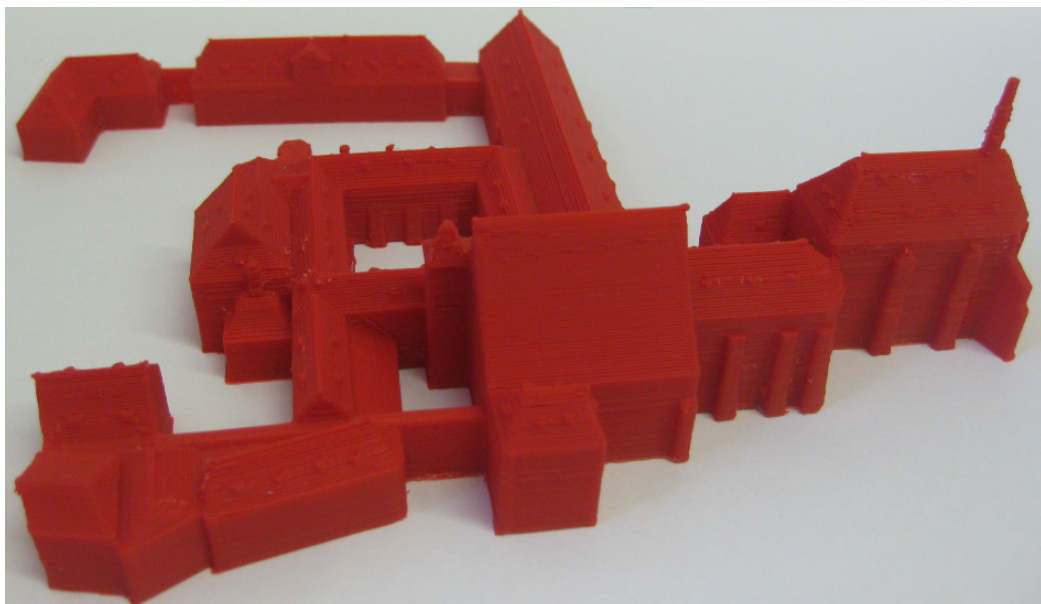
Tab. 1.1: Výčet programů a provedených akcí při 3D tisku

Pořadí	Použitý program	Formát souboru	Velikost souboru
1.	SketchUp	SKP	700KB
Vytvoření 3D modelu – uzavřené plochy a hrany			
2.	SketchUp + CADspan	STL	900KB
Nahrazení ploch nepravidelnou trojúhelníkovou sítí			
3.	Netfabb Basic	STL	897KB
Úpravy modelu: vyplnění mezer			
4.	Slic3r	GCODE	5,9MB
Model nařezán na jednotlivé tisknutelné vrstvy			
Vstup do tiskárny: 111 vrstev, doba tisku 6 hodin, spotřeba materiálu 10 metrů, rozměr 15 × 18 cm, hmotnost 70 gramů.			

V tabulce 1.1 je uveden chronologický postup provedených operací v jednotlivých programech. Prvotní výsledek získaný z 3D tiskárny je nutné nejprve očistit od ochranné vrstvy a vzniklých chyb (obr. 1.3). Po začištění dostáváme konečný výsledek – zmenšený model Anežského kláštera v přibližném měřítku 1 : 700 (viz obr. 1.4). Zmenšený model kláštera se může dále využívat pro různé prezentační účely. Musíme však brát na vědomí, že výsledný model Anežského kláštera byl vytisknut na studentské 3D tiskárně, a proto můžeme menší nepřesnosti tolerovat. Dalo by se tvrdit, že nejdůležitější částí při procesu 3D tisku je stále prvotní tvorba prostorového modelu objektu ve formátu STL.



Obr. 1.3: Vytisknutý model s ochrannou vrstvou



Obr. 1.4: Zmenšený model Anežského kláštera vytvořený na 3D tiskárně

1.2 Digitální prezentace

Vytisknutý zmenšený model Anežského kláštera je možné představit na výstavách a přednáškách jako věc, kterou si lidé mohou osahat. Avšak tento model si mohou prohlédnout pouze lidé, kteří se fyzicky zúčastní dané výstavy. Digitální prezentace prostorových modelů s využitím internetu poskytuje uživatelům pohodlné prohlížení objektu, aniž by museli vykročit ze svého domova.

Digitální prostorový model objektu, je možné interaktivně prohlížet v programu, ve kterém byl model vytvořen. To ovšem vyžaduje instalaci daného programu nebo i jiného, který podporuje určitý formát. Takovéto lokální prohlížení je časté mezi odborníky, kteří mají většinou požadovaný desktopový program nainstalovaný ve svém počítači, a kteří vyžadují detailní a přesný prostorový model.

Sdílení 3D modelů přes prostředí internetu je dnes velmi populární, především proto, že uživatelé si prezentovaný objekt mohou sami v klidu prohlédnout odkudkoliv. Aby bylo možné digitální prostorové modely interaktivně prohlížet přes webové aplikace, je nutné je vhodně generalizovat, aby načítání modelu netrvalo příliš dlouho.

1.2.1 Generalizace modelu

Prostorový model Anežského kláštera v Praze byl vhodně generalizován, tak aby jej bylo možno vložit do Trimble galerie 3D objektů [16] a mohl být celosvětově sdílen v aplikaci Google Earth. Původní model představoval soubor ve formátu SKP o velikosti 20MB. Takto objemný soubor nebylo možné vložit do Galerie 3D objektů. Limit pro vložení a sdílení modelů je nastaven na velikost souboru SKP 10MB. Generalizace modelu byla provedena v programu Trimble SketchUp².

²V červnu 2013 společnost Google prodala program SketchUp firmě Trimble. Od 1. října 2013 byl ukončen proces 3D modelování pro Google Earth.

Jednotlivé kroky generalizace:

1. Odstranění prvků:

Prvky, které netvořily hlavní budovy kláštera, byly odstraněny. Jedná se o vy-modelované zdi na severovýchodní a jihovýchodní straně areálu.

2. Úpravy textur:

Fotografie fasád, které byly v rámci bakalářské práce nasnímány, byly využity pro tvorbu textur. V tomto případě bylo nezbytně nutné obrázky ve formátu JPG zmenšit na co nejmenší velikost s požadavkem zachovat přiměřený detail fotografie. U každé textury byla zvlášť provedena komprese, a tak byla zmenšena její velikost. Textury v modelu mají průměrně velikost 10KB a jsou vhodně upraveny pro zobrazení na webu.

Dalším požadavkem proto, aby model mohl být přidán do vrstvy prostorových budov v aplikaci Google Earth je, že veškeré textury musí být fotorealistické, tzn. vytvořené z pořízených fotografií fasád. Tak se zaručí skutečný vzhled modelů. U modelu Anežského kláštera se tímto způsobem nahradily střechy jednotlivých budov.

3. Geografické umístění modelu:

Pro přesné geografické umístění modelu je nutné zadat lokalizační údaje přímo v programu SketchUp, tzn. určit kde a v jaké oblasti se modelovaný objekt nachází ve skutečnosti. Po zvolení aktuálního pohledu se automaticky na pracovní plochu vloží výřez digitálního modelu terénu zájmového území z aplikace Google Earth. Podle výškových rozdílů se 3D model „napasuje“ na terén a případně se upraví.

Po splnění všech kritérií, která pomáhají zajistit stejný standard všech modelů, a správném geografickém umístění, lze prostorový model nahrát do databáze Trimble galerie 3D objektů [16]. K objektu, jenž má být v databázi sdílen, je vhodné přidat doplňující informace o stavbě (popis objektu, název, klíčová slova aj.) V případě, že je model neúplný nebo nesplňuje některá kritéria, vyzvou správci databáze tvůrce modelu k jeho opravení. Do října roku 2013 bylo možné vytvořený prostorový model



Obr. 1.5: Generalizovaný prostorový model Anežského kláštera

(po schválení správce Google Earth) celosvětově sdílet v aplikaci Google Earth. Nyní je možné do galerie 3D objektů vkládat stále modely, avšak už nebudou součástí vrstvy „3D budovy“ v aplikaci Google Earth.

Odkaz na model Anežského kláštera v databázi Trimble galerie 3D objektů:

<http://sketchup.google.com/3dwarehouse/details?mid=1bf9c1445f63183f41c48d2cd93806e1>.

1.2.2 Další možnosti digitální prezentace

Další možností, jak vhodně vystihnout prezentovaný objekt, je pořídit jeho fotografie. Fotografie plní funkci dokumentační k určitému okamžiku. Ze sady snímků můžeme vytvořit panorama, které dokáže vystihnout celý prostor. Zvlášť jedná-li se o panorama sférické, které uživateli umožňují vidět z jednoho místa (z místa pořízení snímků) ve všech úhlech pohledu zobrazovaný prostor. Propojením sférických panoramat vznikne virtuální procházka. Virtuální procházka má nalákat návštěvníka na skutečnou návštěvu objektu, nebo ukázat místo lidem, kteří se na návštěvu z jakýkoliv důvodů nemohou dostavit.

Ilustrační video, animace nebo jakákoliv video ukázka patří též do skupiny digitálních technologií a lze ji využít také jako upoutávku na historický objekt.

V neposlední řadě je důležitá správná volba a vzhled webových stránek, které prezentují daný objekt.

2 Interaktivní prezentace modelů na webu

Interaktivní prezentace modelů je v dnešní době častým nástrojem jak si modelovaný objekt prohlížet, natáčet a přibližovat z různých stran. Tato kapitola se zabývá možnostmi jak interaktivně prohlížet digitální prostorový model objektu za pomoci volně dostupných aplikací a s využitím internetu.

2.1 Vybrané souborové typy

Různorodost formátů, které obsahují trojrozměrná data, je široká. Každá aplikace převážně umí číst pouze své soubory. Nyní je však viditelná snaha o sjednocení či vytvoření takových formátů, aby je bylo možné spustit ve více aplikacích.

- Formát 3D PDF

Z téměř každé dostupné 3D CAD aplikace, lze získat konverzí dokument ve formátu 3D PDF. Hlavní výhoda tohoto formátu spočívá v jednoduchém interaktivním prohlížení modelu ve známém a široce používaném prohlížeči PDF dokumentů – Acrobat Reader. Prohlížeč nabízí s prostorovým modelem interaktivně manipulovat tj. otáčet, přibližovat, osvětlovat aj.

- Formát KML

Soubor ve formátu KML (*Keyhole Markup Language*) [17] je primárně určen pro aplikaci Google Earth nebo Google Maps. Formát lze získat z programu SketchUp (z formátu SKP) nebo z některých komerčních CAD softwarů. Soubory KML jsou určeny především pro prezentaci geografických dat, která využívají pro svoji lokalizaci světový geodetický souřadnicový systém WGS84. Data, která soubor obsahuje, mají formu geoprvků – body, linie, plochy. Formát dále nese informace o prvcích, obrázcích a jejich popisu anebo o 3D modelech. Někdy je uváděn soubor ve formátu KMZ. Jedná se v podstatě o přejmenovanou příponu archivu zip. Soubor KMZ obsahuje hlavní soubor KML a další dodatečné soubory v podobě obrázků JPG využité pro textury. Tento formát je vhodný pro vizualizace prostorových modelů budov v aplikaci Google Earth.

- Formát VRML

Rozšířený jazyk VRML [18], neboli *Virtual Reality Modeling Language* je 3D grafický formát pro popis virtuální reality. Trojrozměrná tělesa se v tomto formátu mohou popsat pomocí seznamu souřadnic vrcholů. Dále podporuje textury, které je možno editovat. Soubory typu VRML mají většinou příponu `.wrl`. Jsou textové, hierarchicky popsané ve stromové struktuře, takže je lze upravovat či spojovat v běžném textovém editoru. Internet v dnešní době nabízí mnohé jiné výhody, a proto dnes již tento formát chápeme jako poněkud zastaralý.

- Formát X3D

Nástupcem předešlého souborového typu je X3D (*Extensible 3D*) [18]. Tento typ formátu, jenž má příponu `.x3d`, je založený na obecném značkovacím jazyce XML a navíc rozšiřuje původní myšlenku jazyka VRML. Trojrozměrnou scénu ve formátu X3D je tak možno zapsat dvěma rovnocennými způsoby. Lze využít syntaxi zápisu založenou na XML anebo ve stromové struktuře VRML.

Existují další souborové typy, které popisují trojrozměrné scény např. `3ds`, `Collada` (přípona `.dae`) aj. Vždy však záleží na dané aplikaci, jaký formát lze v programu spustit.

2.2 Aplikace k prohlížení modelu

Aby bylo možné prostorové modely interaktivně prohlížet, musí být většinou v počítači nainstalovaná aplikace nebo nějaký doplněk pro správné zobrazení modelu. S rozvojem internetu se však začali vytvářet aplikace, které fungují v libovolném prohlížeči na základě standardních webových technologií (Flash, Java, HTML atd.), bez nutnosti instalace speciálních pluginů. V následujícím textu je uveden výčet aplikací, které mají vazbu na program SketchUp.

- Google Earth

Jedním z programů, které vyžadují instalaci, je aplikace Google Earth [19]. Tato aplikace od společnosti Google umožňuje prohlížet satelitní snímky, mapy, terén, trojrozměrné budovy, vzdálené galaxie ve vesmíru a největší hlubiny oceánů. Aplikaci tzv. virtuálního glóbu je nutné nainstalovat. Je k dispozici i zásuvný modul Google Earth, který umožňuje trojrozměrná data prohlížet prostřednictvím webového prohlížeče.

Aplikace je prioritně určena pro prohlížení trojrozměrných scén ve formátu KML (KMZ). Je však možné v aplikaci otevřít i soubory typu Collada (přípona .dae).



Obr. 2.1: Prostorový model v prostředí Google Earth

- SketchUp Web Exporter

Plugin SketchUp Web Exporter (Beta) nabízí prohlížení modelu, které je založeno na přecházení mezi jednotlivými 2D snímky v kruhu 360°. Prohlížení modelu na webu využívá Java scriptu (model rotuje posunem myši). Nejedná se tedy v podstatě o klasické interaktivní prohlížení. Výstupem je HTML soubor, který lze otevřít ve webovém prohlížeči. Plugin Web Exporter (Beta) je k dispozici pouze pro program SketchUp verze 6. Na oficiálních stránkách již tento modul není dostupný.

- Spread3D

Spread 3D [20] v základní verzi nabízí vytvoření nového souboru s trojrozměrnou scénou. Vstupem do programu je prostorový model ve formátu SKP vytvořený v programu SketchUp. V prostřední programu se mohou definovat pohledy, nebo lze scénu vylepšit nastavením jiné světelnosti či změnou barvy pozadí. Výstup v podobě HTML by měl být snadno zobrazitelný v jakémkoliv webovém prohlížeči s doplňujícím Adobe Flash Playerem.

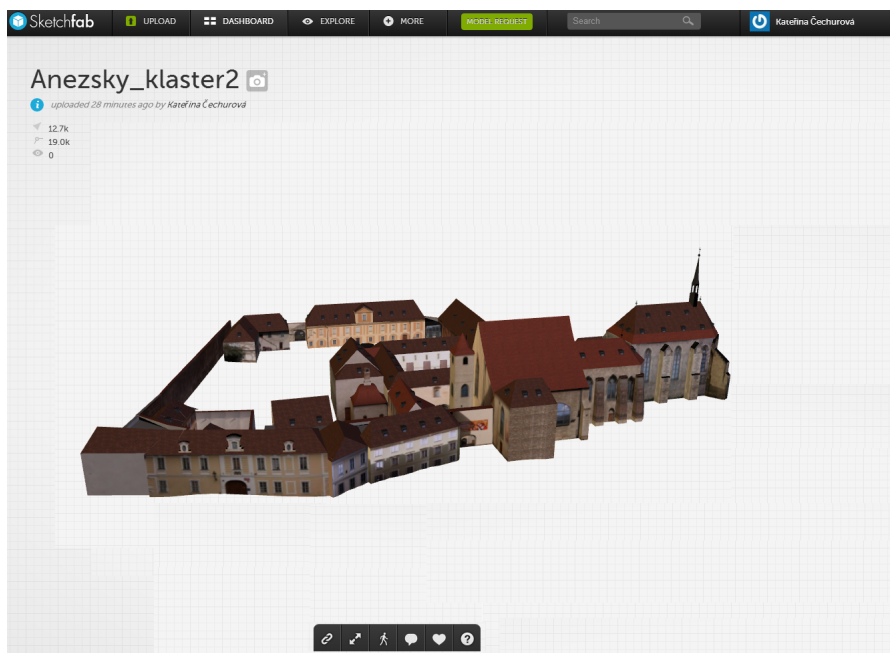
Z důvodu špatného zobrazení textur na modelu Anežského kláštera, lze v aplikaci Spread3D interaktivně prohlížet pouze generalizovaný prostý model bez realistických textur.

- Sketchfab

Dalším prohlížečem modelů je Sketchfab [21]. Sketchfab je v podstatě databáze, která funguje jako úložiště prostorových modelů. Registrovaní uživatelé mohou do této databáze svůj trojrozměrný objekt přidat a sdílet ho s ostatními. Databáze podporuje různé formáty jako např. WRL, KMZ, 3DS, DAE aj., avšak ne formát SKP. To lze vyřešit doplňujícím pluginem pro SketchUp (SketchUp exporter), který lze stáhnout na stránkách databáze Sketchfab [21]. Model vytvořený v programu SketchUp lze s pomocí tohoto pluginu přímo nahrát do databáze. Uložený model v databázi je možné natáčet, přibližovat a sdílet s ostatními uživateli. Prostorový model v databázi lze umístit ve formě vloženého okna na vlastní webové stránky. Správné zobrazení prostorového modelu závisí na velikosti vnitřní paměti počítače (obr. 2.2).

- Prohlížeč formátu VRML

Pro prohlížení virtuálních prostorových modelů formátu VRML v prostředí internetového prohlížeče je nutné mít nainstalovaný příslušný plugin. Jedním z takových pomocných modulů je volně dostupný 3D prohlížeč Cortona3D Viewer [22]. Tento plugin podporují téměř všechny internetové prohlížeče. Po nainstalování lze trojrozměrnou scénu interaktivně prohlížet v internetovém



Obr. 2.2: Prostorový model v databázi Sketchfab

prohlížeči. U starších počítačů (s nízkou vnitřní pamětí) se příliš objemné modely nemusí zobrazit správně nebo načítání prostorového modelu bude trvat příliš dlouho.

- WalkAbout3d

Tento program umožňuje virtuálně procházet model vytvořený v programu SketchUp. Dalo by se říci, že se jedná o prohlížení modelu na bázi počítačové hry (obr. 2.3). Na oficiálních stránkách WalkAbout3d [23] lze stáhnout oproti registraci zkušební verzi, která trvá 120 minut. Soubor prostorového modelu ve formátu SKP lze vložit do programu. Doplňující nastavení programu určuje parametry tzv. avatara¹ jako například jeho výšku, rychlost pohybu aj. Program nabízí export přímo do spustitelného souboru s příponou `.exe`.

¹Virtuální postava ovládaná uživatelem.



Obr. 2.3: Procházení modelu v aplikaci WalkAbout3d

3 Panoramatické scény

Jak již bylo v úvodu zmíněno, fotografie jsou dobrým dokumentačním prostředkem a v digitální formě je lze navíc i různě modifikovat. Ze sady pořízených snímků je možné vytvořit širokoúhlý pohled na krajinu nebo na uzavřený prostor. Takovéto pohledy nabízí panorama. Často se používá také označení širokoúhlá reprezentace obrazu. V této kapitole bude řeč především o tvorbě sférických panoramat. Sférické (kulové) panorama je širokoúhlý obraz, který zachycuje prostor z jednoho bodu (ze středu sféry) v rozsahu 360° v horizontálním a 180° ve vertikálním směru.

3.1 Princip tvorby panoramatických scén

V současné době je k dispozici mnoho programů, které nám dokážou spojit pořízené fotografie. Některé kvalitnější fotoaparáty mají dokonce tyto funkce naprogramované ve svém systému, kde se snímky spojí přímo v terénu. Avšak pro získání kvalitní panoramatické fotografie je nutný manuální zásah do tvorby s pomocí některého z dostupných programů. Lze získat programy komerční, které nabízejí nepřehledné množství funkcí pro tvorbu a editaci panoramat jako např.: Zoner Photo Studio [24], Adobe Photoshop [25] aj. Kvalitní panorama je však možné získat i s pomocí volně dostupného softwaru, který používají i pokročilí tvůrčí fotografové. Jedním z nich je i volně dostupný program Hugin [26]. Hugin není v podstatě program pro tvorbu panoramat v pravém slova smyslu. Jedná se o hlavní grafické rozhraní, které koordinuje ostatní nástroje. Integrované pomocné nástroje tvoří balík Panorama-tools [27]. Panorama-tools je nástroj k vytváření, zobrazování a upravování panoramatických scén. V aktuální verzi jej tvoří doplňky Autopano sift, Nona, Enblend a Enfuse.

- *Autopano sift* – vyhledává kontrolní (identické) body na překrývajících se částech snímků
- *Nona* – intepolátor, přemapovač vstupních snímků
- *Enblend* – spojuje „sešívá“ snímky
- *Enfuse* – pokročilé spojování snímků, expoziční prolínání

Pomocí těchto integrovaných nástrojů se postupně vytvoří panoramatická fotografie. Až na několik málo jiných nastavení a parametrů, se v podstatě vždy jedná o stejný princip tvorby panoramat, ať už jde o komerční či bezplatné programy. V následujících odstavcích bude popsáno, na jakém principu tyto jednotlivé nástroje pracují a jaká je jejich vzájemná vazba.

3.1.1 Hledání identických bodů

Vyhledávání identických (kontrolních) bodů je prováděno ve dvou krocích. Princip spočívá ve vyhledání bodů, které si sobě korespondují na více fotografiích, a zjištění relativní orientace kamery. Identické body lze vyhledat manuálně, ale vzhledem k množství snímků by ruční vkládání bodů bylo velmi obtížné a zdlouhavé. Pro vyhledání kontrolních bodů bylo vytvořeno několik programů. Jedním z takových je program Autopano sift, jehož autorem je Sebastian Nowozin [28]. Autopano sift je jedním z open source programů napsaných v C++ jako nástroj pro Hugin. Jak z názvu vyplývá, vyhledávání identických bodů pracuje na principu algoritmu *SIFT* — *Scale Invariant Feature Transform*, který zpracoval David G. Lowe [29].

Při spuštění metody SIFT se v obrazu lokalizují zájmové body (charakteristické body obrazu, ostré hrany). U každého charakteristického bodu zájmu se utvoří vektor obsahující 128 hodnot, jak bude vysvětleno níže. Algoritmus SIFT se využívá v programech, které tvoří „sešívají“ panoramatické scény. Dále je možné tuto metodu obecně využít ke klasifikačním úlohám a k rozpoznávání objektů na snímku. Mezi základní vlastnosti metody patří nezávislost na měřítku, intenzitě osvětlení a úhlu pohledu a vzájemná korelace podrobných bodů.

Algoritmus je rozdělen do několika fází. Nastavení konstant je zvoleno tak, jak jej doporučuje tvůrce algoritmu. Zprvu algoritmus utvoří z původního obrázku pyramidu, která je rozdělena do čtyř vrstev (oktáv). První vrstva se skládá z obrazu o rozměrech $2N \times 2M$, kde N je šířka a M výška původního obrazu. Druhá vrstva obsahuje obrázky o rozměru $N \times M$. Další oktávy následně zahrnují rozměr $N/2 \times M/2$ a $N/4 \times M/4$. V každé vrstvě se rozkopírují příslušné obrázky. Na každý kopírovaný obraz je aplikován Gaussův filtr o hodnotě σ . Gaussův filtr rozostřuje obraz. Tato

operace se nazývá Gaussovské rozostření, jehož výsledkem je rozmazání obrazu. Gaussovo rozostření nastaví na každý pixel novou hodnotu, která bude výsledkem průměrných hodnot pixelů v jeho okolí. Čím bude větší rozměr okolí určovaného pixelu, tím bude obraz více rozostřen. Tento filtr je široce používán v grafických softwarech, nejčastěji pro snížení hladiny šumu a pro detekci hran v obraze.

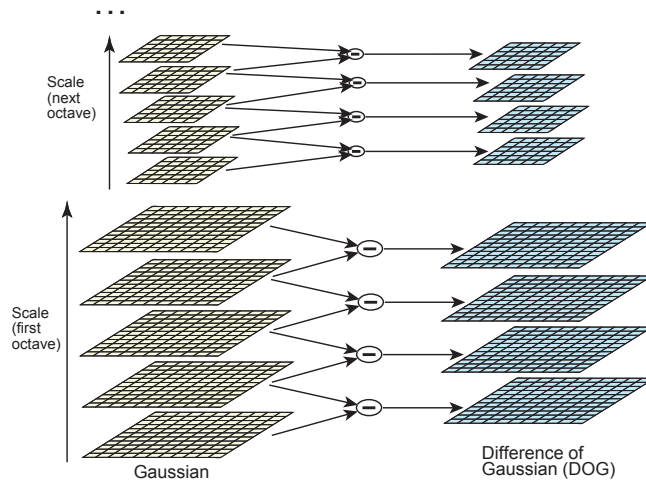
Obraz je rozmazán v každé vrstvě celkem $5 \times$. Algoritmus zkoumá tentýž obraz pokaždé s jinými rozměry, proto je metoda SIFT nezávislá na měřítku. U Gaussova filtru se jedná v podstatě o konvoluci, která je provedena i v dalším kroku. Digitální obraz využívá dvourozměrné diskrétní konvoluce (označováno operátorem \star). Jak je uvedeno v [30], konvoluční jádro $h(x)$, přirovnáváme k oknu (tabulce) o rozměrech $(-k, k) \times (-k, k)$, které se pohybuje po obraze. Konvoluční jádro h_{ij} se pohybuje po každém bodě vstupního obrazu I_{ij} . Každý pixel obrazu překrytý konvolučním oknem se vynásobí koeficientem v příslušné buňce tabulky a vypočítá se součet všech těchto hodnot podle vztahu 3.1. Tím získáme nový pixel výstupního obrazu I'_{ij} .

$$I'_{ij} = I_{ij} \star h_{ij} = \sum_{x=-k}^k \sum_{y=-k}^k I_{i-x, j-y} h_{ij} . \quad (3.1)$$

Konvoluce se používá často při práci s diskrétním obrazem. Touto operací se například odstraňuje šum nebo slouží k detekci hran. V algoritmu metody SIFT je při konvoluci využito konvoluční jádro Difference of Gaussian (DoG) což znamená, že se v každé vrstvě odečtou dva po sobě jdoucí obrazy (viz obr. 3.1). Tím se redukuje počet zkoumaných obrazů do dalšího postupu.

Rozdíl dvou gaussovsky rozostřených obrázků je aproximací druhé derivace obrázku tzv. Laplaciánu obr. 3.2. V „rozdílovém“ obrazu algoritmus vybere lokální extrémy. Černá barva vykazuje nulový rozdíl a jedná se povětšinou o hrany a velké homogenní oblasti, které do výpočtu nevstupují. Pro nás je však na „rozdílovém“ obrazu důležitá bílá barva. Ta určuje velké rozdíly, jako oblasti vedle hran a středy malých kruhů.

V obrazech se vyberou lokální minima/maxima. Každý bod obrazu se porovná s pixely ve svém okolí, ale i v sousedních obrazech vrstvy tzn. celkem 26 sousedů (obr 3.3). Polohu lokálního extrému získáme s přesností na 1 pixel. Tato přesnost



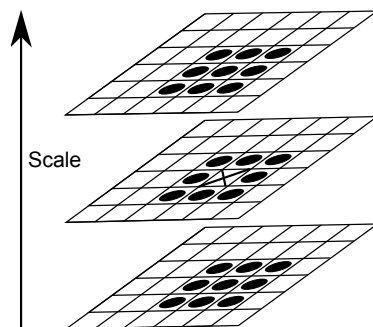
Obr. 3.1: Vlevo: Gaussovsky rozostřené obrazy v jednotlivých vrstvách, vpravo: Rozdílové obrazy (DoG) [29]



Obr. 3.2: Rozdíl dvou gaussovsky rozostřených obrazů (negativ)

však není vyhovující. Pixely reprezentují pouze získané vzorky, proto je nutné zajistit subpixelovou lokalizaci bodu. Na okolí 3×3 každého nalezeného extrému se proloží kvadratická funkce. Vrchol kvadratické funkce – paraboly je pozice hledaného minima/maxima se subpixelovou přesností. V algoritmu je tento krok proveden iterativně.

Je velmi pravděpodobné, že se v obrazu vyhledaly lokální extrémy, které nevyovídají o žádné hodnotě. Jedná se především o nestabilní body s nedostatečným



Obr. 3.3: Okolí bodu – celkem 26 sousedů [29]

kontrastem nebo ležící podél hran. Odstranění těchto nežádoucích bodů je provedeno na základě výpočtu gradientů v ose x a v ose y . Pokud oba na sebe kolmé směry jsou malé, jedná se o rovnou plochu. Je-li jeden směr velký a druhý malý znamená to, že bod leží na hraně. Oba dva případy jsou nežádoucí a tyto body je nutné odstranit. Zajímavé body s vysokou autokorelací (křížení, roh, aj.) mají oba gradienty velké. Tyto body splňují kritéria, a proto je ponecháme. Body s nízkým kontrastem se eliminují na základě výpočtu změn intenzity v daném bodě.

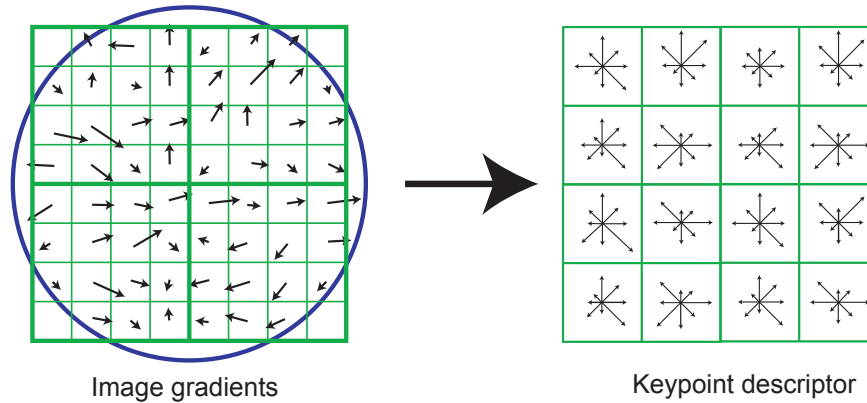
V okolí každého pixelu je vypočítaná orientace a velikost dle vztahů 3.2. V rozostřeném obrazu vypočteme první derivaci v charakteristickém bodě ve směru osy x a y (d_x, d_y).

$$\text{Velikost: } L = \sqrt{(d_x^2 + d_y^2)},$$

$$\text{Orientace: } \alpha = \arctan \frac{d_y}{d_x}. \quad (3.2)$$

Popis okolí je proveden relativně vzhledem k orientaci bodu. Tím se objasnila další vlastnost metody SIFT – nezávislost na rotaci. Deskriptor (SIFT klíč) je rozměrný vektor o 128 hodnotách, vypočítaný na základě gradientů v okolí bodu.

Kolem zájmového bodu je utvořeno okénko 16×16 px, které je sestaveno ze 4 čtvercových mřížek, každá o rozměru 4×4 px. V každém čtverci (pixelu) mřížky je vypočten histogram orientací z příslušných gradientů a rozdělen na 8 směrů (obr. 3.4). Histogram všech gradientů ve čtvercové mřížce je SIFT klíč o $4 \times 4 \times 8 = 128$ hodnot. Bod zájmu může mít i více orientací, proto je možné u takového bodu sestavit více deskriptorů.



Obr. 3.4: Deskriptor – SIFT klíč [29]

Každý charakteristický bod obrazu je popsán vektorem. Korespondující body najdeme na druhém obrázku na základě podobnosti vektorů.

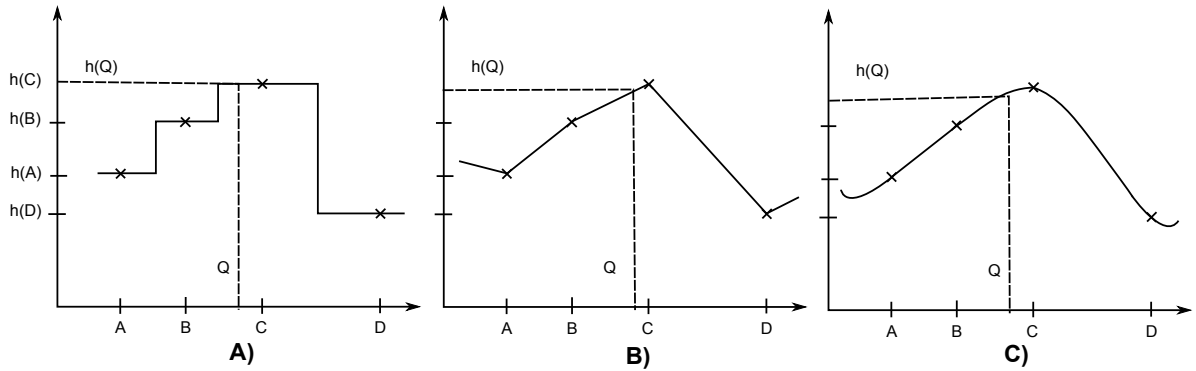
3.1.2 Interpolace obrazu

Úprava digitálních dat často vyžaduje tzv. převzorkování pixelů. Převzorkování obrazových dat je nalezení spojitého obrazu k obrazu diskrétnímu. Je tedy nutné vyhledat správný algoritmus interpolace, který určitým způsobem odvodí rozdíly mezi pixely původních a transformovaných obrazových dat. Na tomto kroku transformace závisí kvalita výsledného obrazu.

Přemapovač Nona provádí geometrické a fotometrické změny na obraze a výsledky zapisuje do nových obrazových souborů. Parametry nastavení jsou specifikovány v projektu. Tento program nahradil dosavadní původní aplikaci PTStitcher z balíku Panorama-tools.

V počítačové grafice lze využít několik způsobů interpolace, platí však pravidlo, že vyšší kvalita znamená vyšší výpočetní náročnost.

Interpolací určujeme neznámou hodnotu pixelu ($h(Q)$) v daném místě obrazu (Q). Ze známých hodnot ($h(A), h(B), h(C), h(D), \dots$) v jeho bezprostředním okolí (A, B, C, D, \dots) se snažíme tuto hodnotu odhadnout [30].



Obr. 3.5: Interpolace – A) metoda nejbližšího souseda, B) lineární a C) kubická [30]

Nejjednodušší metoda interpolace se nazývá *metoda nejbližšího souseda* (*nearest neighbour interpolation*) viz obr. 3.5 A). Tato metoda je sice výpočetně nejrychlejší, avšak vykazuje nejhorší výsledky. Jedná se o kopírování hodnoty nejbližšího souseda v okolí hledaného vzorku. U výsledného obrazu však dochází k nápadným skokům mezi pixely, které se projevují jako pixelizace¹ obrazu.

Dalším ze způsobů je *lineární interpolace* obr. 3.5 B). Známé hodnoty sousedních bodů se proloží přímkou. Hledaná hodnota $h(Q)$ se vyjádří dle vztahu 3.3.

$$h(Q) = h(A) + (h(B) - h(A)) \frac{|Q - A|}{|B - A|}. \quad (3.3)$$

V běžných počítačových aplikacích se nejvíce využívá *bilineární interpolace*. Je to rychlá metoda, která není příliš obtížná na výpočet. Pro zjištění hodnoty bodu se využívají pouze čtyři body z jejího nejbližšího okolí. Známé body se nahradí lomenou plochou. Hledaná hodnota se nejprve interpoluje lineárně mezi řádky obrazu, poté se celá operace aplikuje na sloupce (viz obr. 3.6).

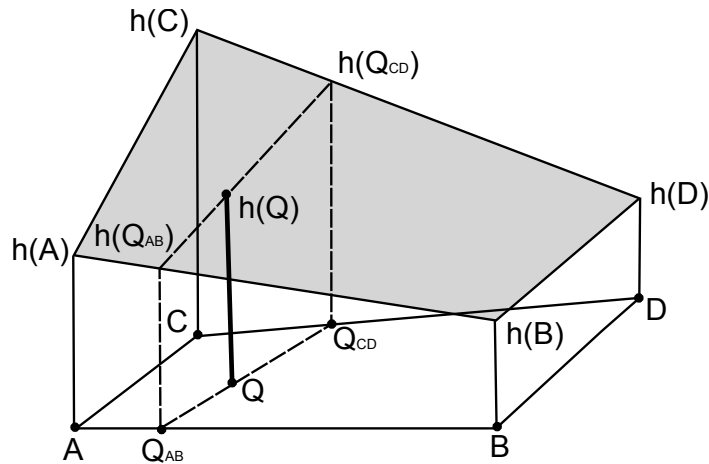
Nejprve se vypočtou lineární interpolací ze vztahu 3.3 hodnoty v bodech Q_{AB} a Q_{CD} . Ze stejného vztahu se pomocí těchto hodnot určí hledaná hodnota $h(Q)$ podle vzorce 3.4.

$$h(Q_{AB}) = h(A) + (h(B) - h(A)) \frac{|Q_{AB} - A|}{|B - A|},$$

¹Obraz je složen z mozaiky čtverců.

$$h(Q_{CD}) = h(C) + (h(D) - h(C)) \frac{|Q_{CD} - C|}{|D - C|},$$

$$h(Q) = h(Q_{AB}) + (h(Q_{CD}) - h(Q_{AB})) \frac{|Q - Q_{AB}|}{|Q_{CD} - Q_{AB}|}. \quad (3.4)$$



Obr. 3.6: Bilineární interpolace

Bilineární interpolace poskytuje dostatečné výsledky, ale má sklon k rozmazávání obrazu.

Kubická interpolace (obr. 3.5 C) zajišťuje pomocí polynomů hladký průběh interpolovaných hodnot v určitém rozsahu pro jednorozměrný případ. Je nutné znát podmínky pro určení kubického polynomu. Jedna z možných podmínek je, že křivka bude procházet čtyřmi body.

Hledáme křivku (kubický polynom) která v bodech A, B, C, D bude nabývat hodnot $h(A), h(B), h(C), h(D)$. Pro vyhledání bodu Q mezi body B, C se může využít interpolace pomocí B-spline². Nejprve se vypočte parametr $t = (Q - B)/(C - B)$; $t \in \langle 0..1 \rangle$, který určuje relativní pozici bodu Q mezi body B, C . Interpolovaná hodnota je vypočtena jako součet hodnot $h(A), h(B), h(C), h(D)$ násobených polynomy $C_0(t), C_1(t), C_2(t), C_3(t)$.

²Parametrická lomená křivka, která se často používá ve 3D modelování.

$$\begin{aligned}
 C_0(t) &= 1 - t^3 \\
 C_1(t) &= 3t^3 - 6t^2 + 4 \\
 C_2(t) &= -3t^3 - 3t^2 + 3t + 1 \\
 C_3(t) &= t^3 \\
 h(Q) &= C_0(t)h(A) + C_1(t)h(B) + C_2(t)h(C) + C_3(t)h(D) . \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

Kubická interpolace pro dvourozměrný prostor se nazývá *bikubická interpolace*. Vykazuje obvykle hladší převzorkování než bilineární interpolace, rychlost zpracování se však zpomalí.

Interpolace plochami vyššího stupně poskytují kvalitní výsledky, jsou však výpočetně náročné. Kromě polohy bodů je nutné znát ještě některé další podmínky, např. tečné vektory.

Digitální obraz je většinou opraven o tzv. *gama korekci*. Jedná se o požadovanou korekci pro zobrazení obrazu v nelineárních zařízeních. V běžných monitorech svítivost roste nelineárně, a proto barvy RGB nemusí přímo odpovídat skutečné svítivosti. Tuto nelinearitu odstraňuje gama korekce – nelineární transformace. Hlavním důvodem proč využívat gama korekci, je přenositelnost obrazu. Očekává se, že se obrazová data budou zobrazovat stejně na různých monitorech či televizních obrazovkách a bude využit celý rozsah hodnoty pixelu (0–255).

3.1.3 Spojování sousedních snímků

Grafické rozhraní Hugin, využívá pro spojování sousedních snímků panoramat nástroj Enblend [31], který vytvořil Andrew Mihal a je volně dostupný na oficiálních stránkách [32]. Nástroj Enblend spojuje obrázky (fotografie) tak, aby šev překrytí byl co nejméně viditelný. Uživatel díky tomuto nástroji mezery mezi spojenými obrázky prakticky nevidí. Spoje obrazů, které mají být co nejméně viditelné, Enblend vytváří na základě určitých vlastností barev částí obrazu vzhledem k celkovému obrazu. Nástroj se bude snažit spojit dva obrazy a vytvořit neviditelný šev například v místě

výskytu zeleně. Důvodem jsou rychle se měnící barevné odstíny, které lidské oko nedokáže rozlišit. Lidský vjem očekává změnu barvy, až na okraji zeleně. Nevhodné (viditelné) spojení se projeví tedy na rozhraních objektů. Tato spojení je nutné řešit v co nejširším měřítku tak, aby změna barvy nezpůsobila patrné barevné přechody.

Vstupem do programu Enblend jsou uspořádané obrázky, které zajistí jiný nástroj. Program zpracovává obrazy v uvedeném pořadí, jak bylo předem nastaveno. Nejprve spojuje obrazy v horizontálním směru (jednotlivé obrázky v řadě) a následně ve vertikálním.

3.1.4 Projekce širokoúhlých pohledů

Neméně důležité při tvorbě panoramatických snímků je vybrat vhodné zobrazení (projekci) obrazu [33]. Zobrazením nazýváme matematicky definované vztahy mezi identickými body na referenční a zobrazovací ploše. V některých případech, kdy je vztah možné realizovat geometricky (promítáním bodů), je zobrazení nazýváno projekce.

Vložené seřazené obrázky program Hugin umísťuje na jednotlivé části sféry. Podle zorného pole se zvolí projekce, která převede obraz ze sférické (kulové) plochy do rovinného obrazu. Panoramatický snímek, který obsahuje úhel záběru 360° v horizontálním směru a 180° ve vertikálním směru, využívá obvykle zobrazení equi-rectangulární. Projekce zaznamenávající tentýž pohled v horizontálním směru, ale bez vrchlíku a podstavy (vertikální úhel je menší než 180°) se nazývá válcová. Tyto projekce/zobrazení jsou nejčastěji využívány při tvorbě panoramatických scén a v následujícím textu budou podrobněji popsány jejich základní vlastnosti podle [33], [34] a [35].

Projekce/zobrazení širokoúhlých pohledů patří do skupiny *válcových (cylindrických) zobrazení*.

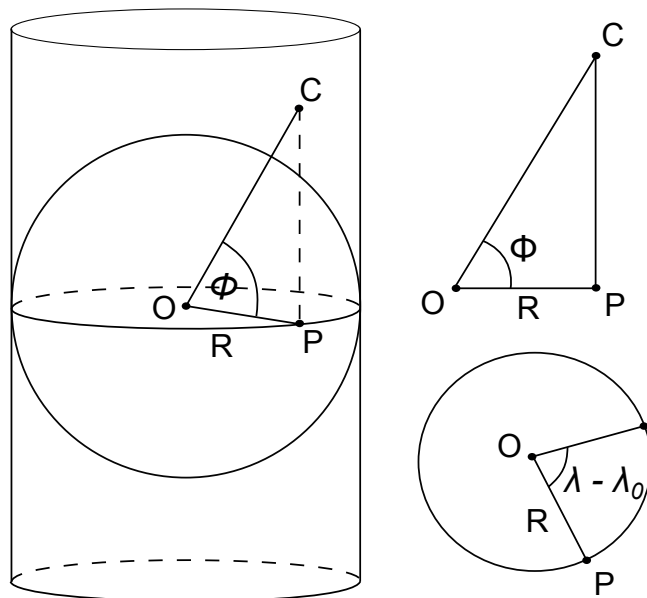
- *Cylindrická projekce – centrální válcová projekce v normální poloze*

Tato projekce je vhodná pro úhly pohledu cca od 120° až do 360° horizontálně. Není však vhodná pro vertikální panoramata nebo pro zobrazení vrcholíku či podstavy. Cylindrická projekce zachovává přímky a relativní velikosti předmětů. Nejmenší zkreslení je kolem dotykové kružnice³. Naopak největší zkreslení mají předměty blížíící se k zenitu resp. nadiru. Střed promítání leží ve středu pomyslného válce.

Zobrazovací rovnice:

$$X = R(\lambda - \lambda_0) \qquad Y = R \operatorname{tg}(\phi) ,$$

kde X a Y jsou rovinné souřadnice. Souřadnice sférické jsou ϕ a λ . Souřadnice ϕ je definována jako úhel mezi průvodičem bodu a rovinou dotykové kružnice. Výraz $(\lambda - \lambda_0)$ udává úhel odklonu průvodiče bodu od roviny základní vertikální přímky (viz obr. 3.7). Poloměr sféry R je vzdálenost bodu od počátku soustavy.



Obr. 3.7: Válcová projekce v normální poloze [34]

³Hlavní kružnice, která tvoří pomyslnou osu zobrazovaného území.

- *Equirectangulární zobrazení – ekvidistantní válcové zobrazení v normální poloze*

Pomocí tohoto zobrazení je možné zaznamenat pohled v rozsahu 360° horizontálně a 180° vertikálně. V zobrazovací rovině je obraz zenitu resp. nadiru umístěn v horním resp. dolním okraji výsledného obrazu a je horizontálně roztažen na celou šířku. Zobrazení zachovává svislost přímek. Přímký vodorovné se zkreslují se vzdáleností od základní horizontální přímky. Maximální zkreslení (tvaru i plochy) je v oblastech kolem zenitu a nadiru.

Zobrazovací rovnice:

$$X = R(\lambda - \lambda_0) \quad Y = R\phi .$$

- *Mercatorovo zobrazení – konformní válcové zobrazení v normální poloze*

Jedná se o zobrazení, které je velmi podobné válcové projekci nebo equirectangulárnímu zobrazení. Zachovává svislost. Se vzdáleností od základní horizontální přímky roste zkreslení vodorovných přímek. Singulárními body jsou zenit a nadir.

Zobrazovací rovnice:

$$X = R(\lambda - \lambda_0) \quad Y = R \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\Pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) ,$$

kde Π představuje hodnotu 180° .

Další možnost, jak lze zobrazit panoramatický snímek, představují *azimutální projekce*. Tyto projekce jsou osově souměrné kolem středu obrazu a využívají se pro zobrazení části panoramat s malým úhlem záběru. Azimutální projekce vznikají promítáním povrchu referenční koule o poloměru R z libovolného bodu na zobrazovací rovinu, která je kolmá ke spojnici středu promítání S se středem sféry.

- *Rectilineární projekce – přímočará*

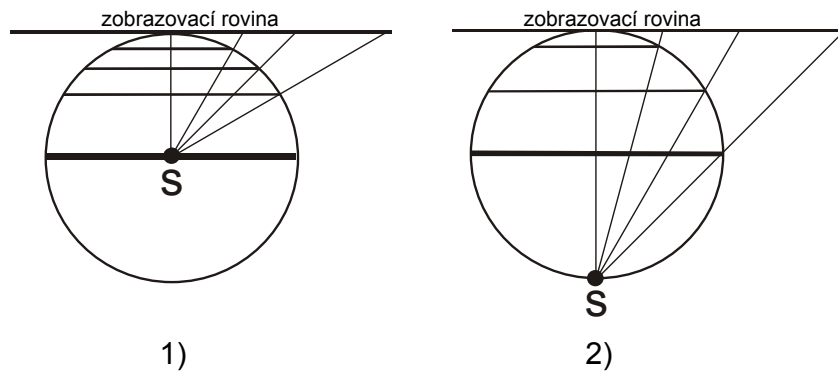
Přímocharý typ projekce neboli tzv. gnómonická projekce v příčné poloze vzniká středovým promítáním bodů z části kulové plochy na zobrazovací rovinu (viz

obr. 3.8). Tuto projekci využívá většina objektivů. Rovné přímky ve skutečnosti se zobrazí jako rovné přímky na snímku. Deformuje však okraje obrazu, proto je vhodná pro malé úhly záběru, zhruba do 120° . Projekce je symetrická podle základní vertikální a horizontální přímky. Střed promítání S je totožný se středem sféry. Oblast zenitu a nadiru se nezobrazuje. Projekce není konformní, ekvivalentní ani ekvidistantní.

Zobrazovací rovnice:

$$X = R \operatorname{tg}(\lambda - \lambda_0)$$

$$Y = R \frac{\operatorname{tg}(\phi)}{\cos(\lambda - \lambda_0)} .$$



Obr. 3.8: Projekce: 1) gnómonická, 2) stereografická

- *Stereografická projekce*

Stereografická projekce je konformní, tzn.: zachovává velikost úhlů. Střed promítání je na povrchu koule (obr. 3.8). Od středu obrazu rychle dochází k osově souměrnému zkreslení. Vertikální přímky se zobrazují jako části kružnic, které se protínají v zenitu a nadiru. Přímky v horizontálním směru se zobrazují také jako části kružnic, které jsou konkávní vzhledem k zenitu resp. nadiru (viz obr. 3.9). Zenit a nadir se v této projekci zobrazí jako body.

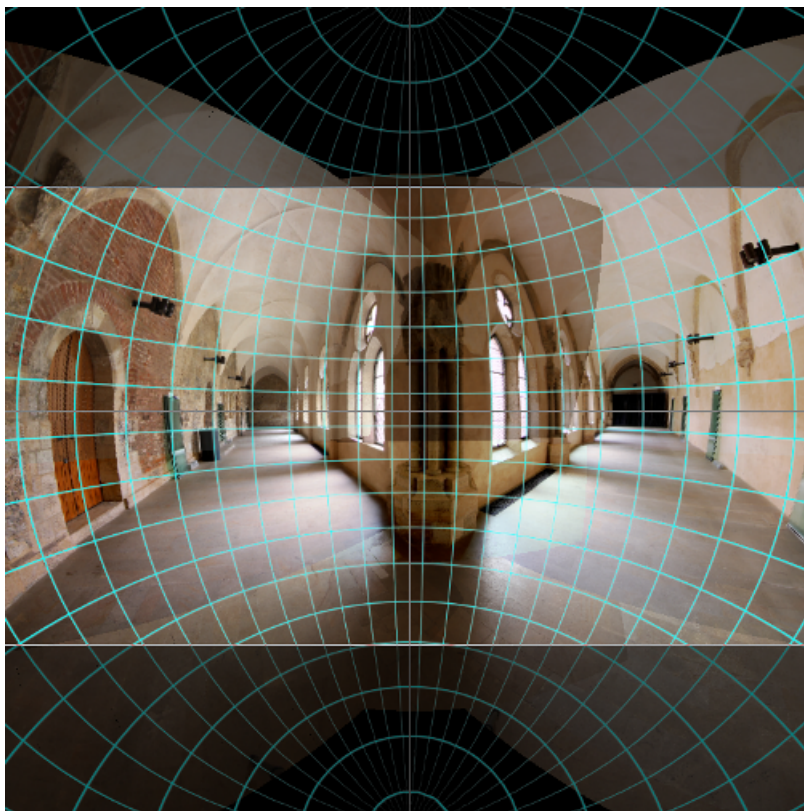
Zobrazovací rovnice:

$$X = R K \cos(\phi) \sin(\lambda - \lambda_0)$$

$$Y = R K \sin(\phi) ,$$

kde se hodnota K vypočítá dle vztahu

$$K = \frac{2}{(1 + \cos(\phi) \cos(\lambda - \lambda_0))} .$$



Obr. 3.9: Ukázka obrazu sítě stereografické projekce

Fotografové často využívají projekci *Rybí oko*. Tato projekce patří do skupiny azimutálních projekcí. Má geometrický základ obdobný stereografické nebo ortografické⁴ projekci. Takto zobrazené širokoúhlé záběry se používají pro tvorbu uměleckých fotografií. Projekce Rybí oko má značné soudkovité zkreslení.

Existují i další projekce, které program Hugin nabízí pro zpracování panoramatických scén, jsou to např. projekce kubická, sinusová, architektonická, Pannini aj. Tyto projekce se používají jen omezeně, a proto zde nejsou detailně uvedeny.

Obecně lze říci, že nejvhodnější pro zobrazení panoramatických snímků je projekce válcová či equirectangulární zobrazení, které byly uvedeny výše.

⁴Ortografická projekce není konformní ani ekvivalentní.

3.2 Sběr dat pro tvorbu panoramat

Fotografie interiéru Anežského kláštera byly pořízeny fotografickou sestavou, která se skládá z pevného stativu, digitální zrcadlovky CANON EOS 550D s širokoúhlým objektivem Tokina a automatizovanou panoramatickou hlavou GigaPan EPIC Pro. Využití, montáž a nastavení těchto pomůcek bylo podrobně popsáno již v bakalářské práci, a proto zde bude uvedena jen krátká charakteristika nastavení při vlastním sběru dat (tab.3.1).

Tab. 3.1: Základní nastavení fotoaparátu – pro všechna stanoviška stejná

Ohnisková vzdálenost	11 mm
Režim řízení	kontinuální snímání
Expoziční režim	manuální
Vyvážení bílé	automaticky
Blesk	ne

Výhoda manuálního expozičního režimu spočívá v tom, že všechny snímky budou stejně exponované. Fotograf však musí nastavit tři základní expoziční hodnoty sám: čas expozice, clonové číslo, citlivost ISO. V následující tabulce (tab.3.2) jsou uvedeny tyto expoziční hodnoty, jak byly nastaveny pro jednotlivá stanoviška.

V klášteře bylo pořízeno celkem 8 panoramatických scén. Na každém stanovišku bylo pořízeno 30 snímků. Panorama bylo pomocí robotické hlavy snímáno po čtyřech řadách a sedmi sloupcích se 40% překrytem. Na závěr byl pořízen snímek stropní konstrukce (směr k zenitu) resp. podlahy (směr k nadiru). Obrazová data byla ukládána ve formátu RAW a JPG.

V rámci připravované výstavy „CM 863. Svatí Cyril a Metoděj. Dějiny, tradice, úcta.“ jsou na některých scénách zachyceny předměty pro výstavbu začínající expozice a nepatrně tak ruší vzhled interiéru kláštera.

Sběr (fotografování) podkladových snímků pro tvorbu panoramat bylo realizováno v interiéru Anežského kláštera. Fotografování interiéru není zdaleka tak jednoduché, jak by se na první pohled mohlo zdát. Světelné kontrasty jednotlivých prostor interiéru přináší fotografovi mnoho nemalých úskalí, která nemají jediné

Tab. 3.2: Nastavení expozičních hodnot pro jednotlivá stanoviška

pořadí	interiér	clona (f)	expoziční čas (sec)			ISO
1.	Presbytář kostela sv. Františka	5.6	1/2	1/8	2	200
2A.	Kostel sv. Františka	5.6	1	1/4	4	200
2B.	Kostel sv. Františka	4.5	1	1/4	4	400
3.	Svatyně Salvátora	5.6	1/10	1/25	1/4	200
4.	Oratoř sv. Anežky České	5.6	1	1/2	2.5	200
5.	Kaple Panny Marie	5.6	1/3	1/13	1.3	200
6.	Refektář	5.6	0.8	1/5	3.2	200
7.	Ambit klarisek	5.6	0.6	1/6	2.5	200
8.	Mezi místnost	5.6	0.8	1/5	3.2	200

správné řešení. Tmavé místnosti, nedostatek světla nebo stinné části prostoru vyžadují delší dobu expozice s nižším clonovým číslem. Naopak na osvětlená místa je vhodné nastavit krátkou expoziční dobu a vyšší clonové číslo. Důležitý parametr, který nesmíme opomenout, je citlivost snímáče. Citlivost má vliv na přítomnost šumu na snímku. Tímto nastavením lze ovlivnit množství světla, které vniká přes objektiv na snímací čip a dosáhnout tak lepšího výsledku. Jednotlivé scény byly zachyceny pomocí vícenásobné expozice (viz kap. 3.3.1).

Výslednou fotografii, kterou chceme dále prezentovat, lze získat částečnými úpravami v některém z počítačových programů. Mnohem lepším řešením je však využití techniky nazývané HDR (*High Dynamic Range*, což v češtině znamená *vysoký dynamický rozsah*).

Dynamickým rozsahem se rozumí rozdíl mezi nejjasnějším a nejtmaším místem na fotografované scéně. Hraniční body existujícího dynamického rozsahu reálné scény jsou většinou pro fotoaparát nedosažitelné. Snímáč kamery zaznamenává pouze omezený dynamický rozsah. Množství světla, které dopadne na snímací čip, se měří v jednotkách EV (Exposure Value – Expoziční stupeň). Jednotka EV vyjadřuje hodnotu expozice, jako kombinaci expozičního času a clony. Nejčastěji využíváme EV při kompenzaci expozice tj. manuální posunutí expozice oproti hodnotě změřené

a nastavené automatikou (výchozí hodnoty). Kompenzace o +1EV znamená, že na senzor pronikne dvojnásobně větší množství světla oproti výchozí hodnotě. Fotoграфování s kompenzací −1EV sníží průnik světla na poloviční hodnotu vzhledem k výchozí hodnotě 0EV.

3.3 Úprava snímků technologií HDR

Technika HDR umožní fotografii zaznamenat a dodat realistický vzhled. Výsledné fotografie tak lépe vystihnou skutečnost. Nadměrné úpravy HDR mohou však vést i k naprosto nereálným odstínům v daném snímku. Technologie vysokého dynamického rozsahu se využívá v nejrůznějších odvětvích počítačové grafiky, v dálkovém průzkumu země, v obrazových analýzách, v astronomii, v mikroskopii a v neposlední řadě jako způsob pro tvorbu uměleckých fotografií.

HDR fotografie dnes dokáže vytvořit většina programů na úpravu fotografií. Lze využít již zmíněné komerční programy jako je Zoner Photo Studio [24] nebo Adobe Photoshop [25]. Existuje však i množství volně dostupných programů. Zde uvedu například program Picturenaut [36] nebo FDRTools Basic [37]. Tyto programy obsahují různé nástroje a funkce pro úpravu a tvorbu kvalitní HDR fotografie.

3.3.1 Tvorba HDR

Abychom získali komplexní záznam informací o světelné scéně, je třeba exponovat snímky pomocí vícenásobné expozice tzv. bracketingu [2]. Úlohou bracketingu je vícenásobné snímání scény s měnící se expozicí. Většinou se jedná o troj- nebo pětiexpoziční bracketing. Hodnoty expozice se mění o $\pm 1\text{EV}$ podle možností nastavení kamery. Pro fotoграфování statických scén je vhodné použít kvalitní stativ proto, aby snímky byly stabilní a při tvorbě HDR se nemusely nikterak zarovnávat nebo ořezávat. Minimální počet snímků, který se doporučuje pro vytvoření HDR fotografie, je tři. Jedná se o snímek se správně nastavenou expozicí, snímek podexponovaný a snímek přeexponovaný. HDR fotografie vznikne spojením všech snímků s různou dobou expozice. Pixely všech fotografií se sjednotí. Bude-li platit, že kamera má lineární odezvu senzoru, lze provést výpočet každého pixelu, který se vydělí daným

expozičním časem. Výsledný HDR obraz vznikne jako průměr korespondujících si pixelů, při vyloučení nejsvětlejších a nejtmavších hodnot pixelů. Vygenerovanému HDR souboru se tak mnohonásobně zvětší dynamický rozsah.

HDR obraz vyžaduje větší rozsah barevných odstínů (32bit) než klasické LDR (*Low Dynamic Range*) fotografie, kterými se rozumí obraz s omezeným rozsahem jasů (16/8bit) [2]. Nejčastěji je využíván pro digitální obrazový formát tříkanálový barevný model R–G–B. Zkratky představují tři základní barvy Red (červená), Green (zelená), Blue (modrá). Běžná data digitální fotografie jsou uložena ve 24bitovém režimu, což označuje 8bitů na jeden kanál. Jeden kanál má možnost definovat barevný odstín o rozsahu 256 úrovní (2^8). Obrazový bod (pixel) tak může v obrazových datech obsahovat barevný odstín z palety 256^3 (2^{24}) tzn. přibližně 16 miliónů barev. Odstín v HDR datech v režimu 96bitů barevného modelu RGB tj. 32bitů na jeden kanál by tak mohl být definován z palety barev až 2^{96} úrovní. Současná zobrazovací zařízení však ještě nedokážou zobrazit takto plnohodnotný HDR obraz. Všechny HDR fotografie, které lze vidět na monitoru jsou v podstatě LDR snímky, které byly vytvořeny kompresí HDR dat pomocí procesu Tone Mapping (mapování tónů).

3.3.2 Mapování tónů

Od techniky mapování tónů se očekává řešení dvou úloh: snížit dynamický rozsah a do jisté míry zachovat skutečný obraz. Oba cíle si na první pohled odporují. Avšak díky lidskému vjemu je možné tyto požadavky splnit. Výsledek tak není jednoznačný a neexistuje jediné řešení. Mapování tónů můžeme rozdělit do dvou kategorií [30]. Jedná se o globální a lokální metodu.

Globální metoda redukuje barevné tóny pro celý obraz současně. V jednom kroku převede celý původní rozsah HDR do obrazu LDR. Jedna vstupní hodnota pixelu je pokaždé v rámci celého obrazu převedena na jednu identickou výstupní hodnotu. Tato technika nabízí jednodušší výpočet pro úpravu obrazu, ale zanedbává relativní poměry jasů.

Lokální metoda dává možnost uživatelům pracovat s lokálními kontrasty. Technika je výpočetně náročnější, avšak zachovává věrnost reprodukce HDR. Jedna vstupní hodnota jasu je mapována v závislosti na určitém okolí, a proto může nabývat různých výstupních hodnot.

Úpravy tónového mapování obrazu se provádějí za pomoci algoritmů, které nelze rozdělit na ty, které vykazují věrnější výsledky nebo naopak. Některé scény upraví jeden algoritmus lépe, jiné zase hůře [38]. Převážně záleží na subjektivním pocitu uživatele. Při tvorbě HDR se doporučuje vytvořit alespoň dva snímky s různými parametry nastavení a nechat výsledky porovnat nezávislou osobou.

Dle vlastního uvážení byly některé pořízené fotografie interiéru Anežského kláštera převedeny právě do HDR. Vybrané snímky byly zpracovány v programu Picturonaut [36]. HDR snímek byl vytvořen ze tří fotografií stejného pohledu (snímek se správně nastavenou expozicí, snímek podexponovaný a snímek přexponovaný). Vygenerovaná HDR fotografie byla uložena do formátu JPG.

3.4 Vlastní tvorba panoramat

Pro vlastní tvorbu panoramatických scén byl využit program Hugin [26], jehož doplňující nástroje jsou popsány výše. V následujících odstavcích bude popsána tvorba sférických panoramat, které budou dále využity při tvorbě virtuální prohlídky (viz kap 4.1).

Při vytváření panoramat není možné použít jedno správné nastavení parametrů a aplikovat ho na všechny ostatní panoramatické scény. Každé panorama vyžaduje konkrétní nastavení a manuální zásah do tvorby je nutný. Proto je tvorba panoramat časově náročná, a ne vždy se podaří získat požadovaný výsledek. Nejdůležitější částí je pořizování snímků (viz kap. 3.2). Pokud jsou fotografie zachyceny ze stativu správně a kvalitně, polovina úspěchu je zaručena.

Při fotografování v klášteře byly pořízeny snímky ve formátu RAW a JPG. Program Hugin formát surových dat RAW nepodporuje, a proto byly využity snímky

ve formátu JPG. Pokud by se snímek ve formátu JPG nepovedl (byl špatně expozován, nebo kvalita byla nedostatečná), může se přistoupit k editaci surových dat ve formátu RAW a snímek případně v některém grafickém editoru upravit a převést do jiného formátu. Do formátu JPG byly ukládány také vytvořené HDR fotografie (viz kap. 3.3). Vstupem do programu je sada fotografií ve formátu JPG, ze kterých se panorama má vytvořit. V tomto případě se jedná o 28 snímků pořízených ze stativu a 2 snímky pořízené z ruky (snímky zenitu a nadiru). Je důležité, aby obrázky obsahovaly informace o fotografii tzv. EXIF (Exchangeable Image File Format). EXIF obsahuje informace o použité cloně, ohniskové vzdálenosti, expozičním čase, vlastnostech obrázku, informace o použitém fotoaparátu atd. Na základě EXIF informací se počítá zorné pole a velikost plátna celého panoramatu. Jeden z nahraných obrázků bude použit jako fixní pro pozici a expozici. U vybrané fotografie se zobrazí symboly „AC“. Ostatní snímky se budou řídit podle tohoto vybraného obrázku.

Grafické rozhraní Hugin má k dispozici několik integrovaných nástrojů pro detekci kontrolních bodů. Jedním z nich je i program Autopano-SIFT-C (popsaný v kap. 3.1.1), který byl při tvorbě sférických panoramat interiéru kláštera použit. V nastavení programu je nutné zadat druh výsledného panoramatu. U sférických panoramata se vždy musí nastavit druh víceřadé panorama. Pro detektor kontrolních bodů je to tak signál, že korespondující si body bude hledat nejen na sousedním snímku vlevo resp. vpravo, ale i na snímku sousedícím ze shora resp. zdola.

Po vyhledání kontrolních bodů bylo postupně ověřeno, zda si body na sousedních snímcích vzájemně korespondují. Tato kontrola je poněkud zdlouhavá, ale vyplatí se, protože žádný detektor není bezchybný. V případě sférických panoramat interiéru to platí dvojnásobně, zvláště proto, že jsou zde využity snímky pořízené z ruky bez použití stativu (snímky zenitu a nadiru). Tyto snímky se od ostatních liší jinými parametry nastavení fotoaparátu, nejsou centrovány přesně na místo stativu a v neposlední řadě jsou pořízeny z jiné výšky. Někdy ani detektor bodů nedokáže vyhledat na těchto snímcích identické body, a proto se musí přistoupit k ručnímu zadávání kontrolních bodů. Pokud vše souhlasí, může se přejít k dalšímu kroku, kde

je provedena optimalizace tj. geometrické transformace obrázků tak, aby na sebe vzájemně navazovaly. Výsledkem optimalizace je přehled o průměrné a maximální vzdálenosti bodů. To znamená, jak sobě navzájem odpovídají resp. neodpovídají kontrolní body. Čím nižší hodnota vzdálenosti bodů, tím bude dosaženo lepšího „sešití“ snímků. Před samotným bezešvým slepením snímků je vhodné editovat dílčí obrázky, zvláště ve spodní či horní části panoramatu. To je možné za pomoci nástroje *Maska*. Nežádoucí oblasti se vyberou pomocí uzavřeného polygonu. Jedná se hlavně o zachycené nohy stativu, které chceme vytěsnit z výsledného panoramatu. Vytěsněné místo bude nahrazeno totožnou oblastí, ale ze sousedního snímku (z jiného pohledu kde nežádoucí objekt již není).

V poslední řadě, je přistoupeno k bezešvému slepení snímků. V nastavení je vybrána vhodná projekce (pro sférická panorama – equirectangulární zobrazení), velikost plátna panoramatu, formát a druh komprese. Výsledné vygenerované panorama má podobu rovinného snímku (v poměru stran 2:1) a bylo uloženo ve formátu TIFF o velikosti cca 180 MB. Pro prohlížení v aplikacích by načítání panoramatu s takovou velikostí trvalo příliš dlouho, v aplikacích na internetu by se možná ani nenačetlo, a proto bylo převedeno v grafickém editoru do formátu JPG s nižší kvalitou. Ukázky rozvinutých panoramat jsou ke zhlédnutí v obrazové příloze C.

Ve výsledném panoramatu byly někdy zjištěny nedostatky, a proto bylo nutné celý proces opakovat a hledat lepší řešení pro dokonalé spojení snímků. Ne vždy se však podařilo nedostatky odstranit. Největší problémy se spojením vykazoval spodní snímek panoramatické scény. Ve všech prostorách interiéru Anežského kláštera je dlažba. Dlažební spáry na sebe v některých místech správně nenavazují. To je způsobené kvůli zcela jinému nastavení fotoaparátu při fotografování z ruky spodního snímku.

4 Presentace panoramatických scén

Aby bylo možné vytvořené panoramatické snímky prezentovat, je nutné nalézt vhodnou aplikaci pro jejich prohlížení. Panorama lze prohlížet lokálně například v aplikaci FSPViewer. Tato aplikace je volně dostupná a lze ji stáhnout z [40]. Pro správné prohlížení musí být panoramatické scény vytvořeny ve válcové projekci nebo v equirectangulární zobrazení (viz kap. 3.1.4). Aplikace tak převádí obrazovou rovinu (rovinný snímek) na plášť sféry.

Jednou z dalších rozvíjejících se aplikací je aplikace Google Maps Javascript API V3. Okno aplikace vkládané na webové stránky se vytvoří za pomoci HTML¹ kódu s vloženým JavaScriptem². Je možné si prohlížet válcové i sférické panorama. Jedná se však o prohlížení rovinného snímku v rozsahu 360°, kde je patrná deformace obrazu. Dokumentace se zdrojovými kódy je dostupná na stránkách [41].

4.1 Tvorba virtuální procházky

Pod pojmem virtuální prohlídka se označuje interaktivní prezentace trojrozměrného prostoru umožňující prohlížet dané místo ve všech úhlech pohledu tzn. 360° horizontálně a 180° vertikálně. Základem toho je tedy sférické (celokulové) panorama. Uživatel má jedinečnou možnost pozorovat daný prostor jako ve skutečnosti. Skupina vzájemně na sebe navazujících virtuálních prohlídek (panoramatických scén) se nazývá virtuální procházka.

Virtuální prohlídka/procházka má širokou škálu uplatnění. Stále častěji se objevuje na webových stránkách historických objektů, muzeí nebo jiných turistických zajímavostí. Je možné ji využít všude tam, kde chceme daný prostor co nejlépe prezentovat, proto se stává také součástí realitní inzerce, propagace restaurací, hotelů atd.

Ve většině případů je požadavek virtuální procházku prezentovat v prostředí internetu. Je tedy nutné zvolit vhodnou aplikaci, která bude přes webový prohlížeč poskytovat daný výsledek. Aplikace fungují na základě komponent, které podporují

¹Je hlavním ze značkovacích jazyků pro vytváření WWW stránek.

²Programovací jazyk. Jsou jím obvykle ovládány různé interaktivní prvky.

webové prohlížeče. Jedná se například o nejrozšířenější Adobe Flash Player, Java, QuickTime aj.

Programy, které umějí vytvářet virtuální prohlídku, můžeme rozdělit na komerční a volně dostupné. Komerční programy s grafickým rozhraním a intuitivními funkcemi jsou pro uživatele jistě přívětivější, avšak v této práci nebudou využity, a proto zde nebudou popsány.

Virtuální pocházka interiéru Anežského kláštera bude zpracována pomocí volně dostupného programu PTViewer podle [42].

4.1.1 PTViewer

Aplikace PTViewer s pomocným Java appletem³ je používána pro prohlížení panoramatické fotografie v prostředí internetu. Je možné prohlížet panoramata, která mají horizontální zorné pole 360°. Vertikální zorné pole může být v jakékoliv hodnotě v rozmezí 0–180°.

Virtuální pocházka je sestavena z jednotlivých panoramatických scén. Aby byly scény propojeny, je nutné zadávat přímo do virtuálních prohlídek aktivní body tzv. Hotspoty. Hotspoty lze využít i pro vkládání doplňkových prvků, jako jsou např. texty, obrázky, audio aj. Aplikaci je možné ovládat myší nebo přes klávesnici. Díky tomu je možné se ve virtuální procházce posouvat, otáčet a přibližovat. Klikne-li uživatel na aktivní bod, přesune se do další scény anebo se mu zobrazí informace ke stávající prohlídce.

PTViewer je řízen HTML souborem, který s pomocí Java appletu nastaví příslušné parametry. Java kód je obsažen v souboru *ptviewer.jar*, který musí být umístěn ve stejném adresáři jako HTML soubor. Syntaxe a další specifikace podoby HTML kódu jsou uvedeny v [42].

Program poskytuje dostatečné a kvalitní výsledky virtuální prohlídky. Umožňuje vkládat širokou škálu natavení a parametrů, avšak pro nezkušeného uživatele by se mohla tvorba virtuální procházky v programu zdát poněkud náročnější.

³Applet je softwarová komponenta, která běží v kontextu jiného programu (webového prohlížeče).

Jeden z problémů, který může při prohlížení virtuální procházky nastat, je, že Java applet se při lokálním prohlížení nemusí správně spustit na novějších verzích Javy. Přes internetové připojení by však tento problém neměl nastat.

4.1.2 Program Easypano Tourweaver

Kvůli možným potížím při lokálním prohlížení virtuální procházky byla využita zkušební verze komerčního programu Easypano Tourweaver [43] jako alternativní způsob tvorby virtuální procházky. Program umožňuje propojení sférických panoramat bez jakéhokoliv programování, a je tedy pro mnohé uživatele příjemnějším řešením. Zkušební verze však na panoramatických scénách při exportu vytvoří vodoznak loga společnosti Easypano. Popis pracovního postupu v programu Easypano Tourweaver nebude příliš rozveden, jelikož jsem s programem pracovala jen okrajově. Výsledný soubor s virtuální procházkou lze nalézt na příloženém DVD.

Výhodou programu je vizuální přehled o celé tvorbě virtuální procházky a počet užitečných funkcí. Po založení nového projektu a volbě vzhledu přehrávače procházky se vloží do programu panoramatické snímky a mapa. Lze na scény umisťovat aktivní body, které mohou sloužit jako odkazy či vyskakovací okna nesoucí konkrétní informace o daném objektu.

Výsledný projekt lze exportovat do podoby spustitelného souboru s příponou `.exe` nebo do formy webových stránek.

4.2 Webová prezentace

Webové stránky Anežského kláštera byly již vytvořeny v rámci mé bakalářské práce. Tyto stránky byly upraveny a rozšířeny o dosažené výsledky z této práce. Zejména o interaktivní prohlížení prostorového modelu kláštera a virtuální procházku vnitřních prostor. Vznikla tak ucelená prezentace areálu Anežského kláštera.

Výsledné webové stránky jsou dostupné na adrese:

<http://geo3.fsv.cvut.cz/dp/cechurova/index.html>.

4.2.1 Nový obsah webových stránek

U webových stránek byla zachována původní grafika i struktura stránek (viz obrazová příloha D). Úvodní stránka byla aktualizována.

Nový obsah webu je především v záložce „3D model kláštera“. Tato záložka se týká interaktivního prohlížení modelu s využitím aplikací Spread3D, databáze Sketchfab, WalkAbout3d nebo SketchUp Web Exporter. Model Anežského kláštera si lze prohlédnout i v databázi Trimble galerii 3D objektů [16].

Na webových stránkách jsou dále ke stažení soubory s prostorovým modelem ve formátu KMZ, 3D PDF, WRL (již vytvořené v bakalářské práci).

Obsah záložky „Sférická panoramata“ je rozšířen o celokulová panoramata interiéru Anežského kláštera. Scény vnitřních prostor kláštera jsou propojeny aktivními body a utvářejí tak virtuální procházku. Uživatel se v areálu celého kláštera může snadno orientovat s využitím vytvořené klikací mapy⁴, která odkazuje na jednotlivá sférická panoramata.

⁴Klikací mapa určuje aktivní místa obrázku, která budou odkazem.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo utvořit přehled dostupných a známých možností prezentace stavebních objektů. Jedná se zejména o možnosti interaktivního prohlížení prostorových modelů v prostředí internetu. Diplomová práce volně navazuje na bakalářskou práci, a proto byl již k dispozici digitální prostorový model Anežského kláštera vytvořený v programu SketchUp. Pro vizualizaci byly přednostně vyhledávány volně dostupné aplikace a moduly, které mají návaznost právě na program SketchUp. Jednou z takových aplikací je oblíbený systém Google Earth, kde se vytvořené prostorové modely mohou prohlížet. Aplikace Spread3D umožňuje model sledovat přímo ve vloženém okně na vlastních webových stránkách.

Internet je mocné globální masmédiu, které se mění doslova každým okamžikem a lze jen stěží odhadovat, jakým směrem spěje vývoj v oblasti prohlížení trojrozměrných scén. Je pravděpodobné, že některé aplikace pro interaktivní prohlížení modelu (komerční i volně dostupné), nebyly v této práci uvedeny. Tato skutečnost vznikla z důvodu nenalezení jiné vhodné aplikace, která by byla volně dostupná na internetu.

Prezentace stavebního objektu však nemusí být vždy jen tvořena pro uživatele internetu. Neméně důležitá je v některých situacích i fyzická prezentace. Z využitím technologie 3D tisku byla vytvořena hmotná zmenšenina Anežského kláštera, která je součástí této práce. Fyzický model objektu v přibližném měřítku 1:700 byl vytvořen za pomoci volně dostupných programů s využitím open source 3D tiskárny RepRap. Prostorový model byl nejprve vhodně generalizován v programu SketchUp a poté pomocí rozšiřujícího modulu převeden do preferovaného formátu STL. Digitální model v této podobě (ve formátu STL) je možné vytisknout téměř na všech 3D tiskárnách. Technologie 3D tisku skrývá velký potenciál a v budoucnosti bude mít jistě široké uplatnění v nejrůznějších odvětvích.

Jedním z dalších cílů práce bylo prezentovat interiér Anežského kláštera, a to formou sférických panoramat. Vytvořená sférická panorama jsou základem pro virtuální procházku, která je vhodným vizualizačním nástrojem vnitřních prostor. Z tohoto důvodu je podstatná část textu věnována teoretickým a praktickým principům tvorby panoramat v prostředí programu Hugin.

I přes některé menší chyby, které se během práce vyskytly, si myslím že, cíle stanovené v zadání práce se podařilo naplnit. Výsledky práce je možné si prohlédnout na přiloženém DVD a vytvořených webových stránkách.

Konkrétní výstupy byly konzultovány s Národní galerií v Praze, která spravuje objekt Anežského kláštera. Předpokládá se, že dosažené výsledky diplomové práce přispějí k propagaci tohoto významného historického objektu.

Použité zdroje

- [1] SOUKUPOVÁ, Helena: *Anežský klášter v Praze*. 2. vyd. Praha: Vyšehrad, 2011. ISBN 978-80-7429-012-1.
- [2] BOČÍK, Andrej: *Velká kniha HDR fotografie*. 2. aktualizované vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2011. ISBN 978-80-251-3367-5.
- [3] RepRap. [online]. [cit. 2013-11-29]. Dostupné z URL: <<http://www.reprap.org>>.
- [4] 3D Systems. [online]. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z URL: <<http://www.3dsystems.com/>>.
- [5] Wikipedie: *STL (file format)* [online]. [cit. 2013-11-21]. Dostupné z URL: <[http://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))>.
- [6] Sketch Up. [online]. [cit. 2013-10-29]. Dostupné z URL: <<http://www.sketchup.com/>>.
- [7] Cadspan. *3D printing solutions*. [online]. [cit. 2013-10-8]. Dostupné z URL: <<http://www.cadspan.com/>>.
- [8] OpenSCAD. *The Programmers Solid 3D CAD Modeller*. [online]. [cit. 2013-11-12]. Dostupné z URL: <<http://www.openscad.org/>>.
- [9] Blender. [online]. [cit. 2013-11-12]. Dostupné z URL: <<http://www.blender.org/>>.
- [10] MeshLab. [online]. [cit. 2013-11-12]. Dostupné z URL: <<http://meshlab.sourceforge.net/>>.
- [11] Netfabb. *Software for 3D Printing*. [online]. [cit. 2013-11-21]. Dostupné z URL: <<http://www.netfabb.com/>>.
- [12] Slic3r. *G-code generator for 3D printers*. [online]. [cit. 2013-11-21]. Dostupné z URL: <<http://slic3r.org/>>.

- [13] RepRap 3D tiskárna SH. [online]. [cit. 2013-12-1]. Dostupné z URL: <<http://3dtiskarna.sh.cvut.cz/cs>>.
- [14] Linuxexpres. *3D tiskárny RepRap: Open-source mašinky, které vám usnadní život.* [online]. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z URL: <<http://www.linuxexpres.cz/hardware/3d-tisk>>.
- [15] Fedora. *Programy používané při 3D tisku.* [online]. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z URL: <<http://fedora.cz/programy-pouzivane-pri-3d-tisku/>>.
- [16] Trimble. – *galerie 3D objektů* [online]. [cit. 2013-11-9]. Dostupné z URL: <<http://sketchup.google.com/3dwarehouse/>>.
- [17] Wikipedia. *Keyhole Markup Language.* [online]. [cit. 2013-12-3]. Dostupné z URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Keyhole_Markup_Language>.
- [18] root.cz. – *Seriál Grafické formáty* [online]. [cit. 2013-12-4]. Dostupné z URL: <<http://www.root.cz/serialy/graficke-formaty/>>.
- [19] Google Earth. [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z URL: <<http://www.google.com/intl/cs/earth/index.html>>.
- [20] Spread3D. [online]. [cit. 2013-12-8]. Dostupné z URL <<http://review.spread3d.com/>>.
- [21] Sketchfab [online]. [cit. 2013-12-7]. Dostupné z URL <<http://sketchfab.com>>.
- [22] Cortona3D Viewers. [online]. [cit. 2013-12-7]. Dostupné z URL <<http://www.cortona3d.com/cortona3d-viewers>>.
- [23] WalkAbout3d. [online]. [cit. 2013-12-14]. Dostupné z URL <<http://www.walkabout3d.com/index.php>>.
- [24] Zoner Photo Studio. [online]. [cit. 2013-10-21]. Dostupné z URL: <<http://www.zoner.cz/>>.

- [25] Adobe Photoshop CC. [online]. [cit. 2013-10-21]. Dostupné z URL: <<http://www.adobe.com/cz/products/photoshop.html>>.
- [26] Hugin - *Panorama photo stitcher*. [online]. [cit. 2013-11-18]. Dostupné z URL: <<http://hugin.sourceforge.net/>>.
- [27] PanoTools wiki. [online]. [cit. 2013-11-18]. Dostupné z URL: <<http://wiki.panotools.org/>>.
- [28] Autopano – SIFT by Sebastian Nowozin. [online]. [cit. 2013-10-12]. Dostupné z URL: <<http://www.nowozin.net/sebastian/tu-berlin-2006/autopano-sift/>>.
- [29] LOWE, David G.: *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*. University of British Columbia Vancouver, B.C., Canada. January 5, 2004 [online]. [cit. 2013-10-12]. Dostupné z URL: <<http://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/ijcv04.pdf>>.
- [30] ŽÁRA Jiří, BENEŠ Bedřich, SOCHOR Jiří, FELKEL Petr: *Moderní počítačová grafika*. 2.přeprac. a rozš. vyd. BRNO : Computer Press, 2005. ISBN 80-251-0454-0.
- [31] MIHAL, Andrew: *Enblend* August, 2010. [online]. [cit. 2013-11-10]. Dostupné z URL: <http://enblend.sourceforge.net/enblend.doc/enblend_4.0.0.pdf>.
- [32] Enblend/Enfuse. [online]. [cit. 2013-11-10]. Dostupné z URL: <<http://enblend.sourceforge.net/>>.
- [33] BUCHAR, Petr: *Matematická kartografie*. 3. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03765-2.
- [34] Panotools. *Projections*. [online]. [cit. 2013-11-11]. Dostupné z URL: <<http://wiki.panotools.org/Projections>>.

- [35] HAMPL, Radek: *Přehled kartografických zobrazení a projekcí*. [online]. [cit. 2013-11-11]. Dostupné z URL: <http://hampl.varnsdorf.net/mk/prehledzobrazeni.html>.
- [36] Picturenaut. *HDRI Generator/Tone-Mapping*. [online]. [cit. 2013-11-2]. Dostupné z URL: <http://picturenaut.com/>.
- [37] Full Dynamic Range Tools: *FDRTools Basic*. [online]. [cit. 2013-11-2]. Dostupné z URL: http://www.fdrtools.com/fdrtools_basic_e.php.
- [38] Gallery of Reference Tone Mapped Images. (*Srovnání algoritmů pro zpracování tónového mapování*). [online]. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z URL: <http://www.mpi-inf.mpg.de/resources/tmo/NewExperiment/TmoOverview.html>.
- [39] PAVLÍK, Matěj: *HDR a LDR fotografie- rozdíly ve vnímání*. Únor, 2009. [online]. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z URL: www.mpavlik.com/prace.html?.
- [40] FSPViewer. [online]. [cit. 2013-12-17]. Dostupné z URL: <http://www.fsoft.it/panorama/FSPViewer.htm>
- [41] Google Maps Javascript API V3. [online]. [cit. 2013-12-15]. Dostupné z URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/streetview>
- [42] DERSCH, Helmut. *PTViewer Documentation*. October, 2001. [online]. [cit. 2013-12-15]. Dostupné z URL: <http://webuser.fh-furtwangen.de/~dersch/PTVJ/doc.html>
- [43] Easypano. *The virtual tour way*. [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z URL: <http://www.easypano.com/>

Seznam obrázků

1.1	3D tiskárna RepRap [14]	11
1.2	3D tiskárna ZPrinter [®] 450 [4]	13
1.3	Vytisknutý model s ochrannou vrstvou	17
1.4	Zmenšený model Anežského kláštera vytvořený na 3D tiskárně	17
1.5	Generalizovaný prostorový model Anežského kláštera	20
2.1	Prostorový model v prostředí Google Earth	23
2.2	Prostorový model v databázi Sketchfab	25
2.3	Procházení modelu v aplikaci WalkAbout3d	26
3.1	Vlevo: Gaussovsky rozostřené obrazy v jednotlivých vrstvách, vpravo: Rozdílové obrazy (DoG) [29]	30
3.2	Rozdíl dvou gaussovsky rozostřených obrazů (negativ)	30
3.3	Okolí bodu – celkem 26 sousedů [29]	31
3.4	Deskriptor – SIFT klíč [29]	32
3.5	Interpolace – A) metoda nejbližšího souseda, B) lineární a C) kubická [30]	33
3.6	Bilineární interpolace	34
3.7	Válcová projekce v normální poloze [34]	37
3.8	Projekce: 1) gnómonická, 2) stereografická	39
3.9	Ukázka obrazu sítě stereografické projekce	40
C.1	Kaple Panny Marie	65
C.2	Oratoř sv. Anežky České	66
C.3	Refektář – pracovna sester	67
C.4	Svatyně Salvátora – pohřebiště Přemyslovců	68
C.5	Presbytář kostela sv. Františka	69
C.6	Dvoulodí kostela sv. Františka	69
C.7	Ambit klarisek	70
C.8	Kapitulní síň	70
D.1	Ukázka webových stránek – klikací mapa	71
D.2	Ukázka webových stránek – aplikace Spread3D free	71

Seznam tabulek

1.1	Výčet programů a provedených akcí při 3D tisku	16
3.1	Základní nastavení fotoaparátu – pro všechna stanoviska stejná	41
3.2	Nastavení expozičních hodnot pro jednotlivá stanoviska	42

Seznam příloh

A Seznam použitých programů	61
B Obsah datového disku DVD	63
C Rozvinutá sférická panoramata	64
D Vzhled webových stránek	71

A Seznam použitých programů

Google SketchUp Pro 8 – komplexní program pro tvorbu, úpravu a sdílení 3D modelů (využit pro export do 3D formátů). *Komerční* [6].

Trimble SketchUp 8 – program pro tvorbu, úpravu a sdílení 3D modelů. *Volně dostupný* [6].

Netfabb Basic, MeshLab – programy pro prohlížení a úpravu STL souborů. *Volně dostupné* [11], [10].

Slic3r – program, který rozřeže 3D model na jednotlivé vrstvy, generování GCODE. *Volně dostupný* [12].

Google Earth – aplikace pro prohlížení satelitních snímků, map, terénu a trojrozměrných budov. *Volně dostupný* [19].

Spread 3D free – vytvoření souboru s trojrozměrnou scénou, kterou lze prohlížet na webu. *Volně dostupný* [20].

WalkAbout3d – vytvoření souboru s trojrozměrnou scénou, kterou lze procházet formou počítačové hry. *Zkušební verze* [23].

Picturenaut – program pro tvorbu HDR fotografií. *Volně dostupný* [36].

Hugin 2012.0.0 – multiplatformní program, zaměřený k tvorbě a optimalizaci panoramatických fotografií. *Volně dostupný* [26].

FSPViewer 1.51 – program určený k prohlížení panoramatických scén. *Volně dostupný* [40].

Gimp 2.6.10 – grafický rastrový editor. *Volně dostupný.*

HTML–Kit 1.0 – textový editor pro tvorbu HTML stránek. *Volně dostupný.*

Internet Explorer 9 – webový prohlížeč. *Volně dostupný.*

Mozilla Firefox 25.0.1 – webový prohlížeč. *Volně dostupný.*

B Obsah datového disku DVD

- Text diplomové práce (DP_Cechurova_Katerina.pdf)
- Sférická panoramata (panorama)
 1. Podkladové snímky pro tvorbu panoramat formát JPG (podkladove_snimky)
 2. Rozvinutá sférická panoramata formát JPG (sfericka_panoramata)
 3. Prohlížeč FSPViewer (FSPViewer)
 4. Virtuální procházka v programu Easypano (prochazka_easypano)
- 3D model Anežského kláštera (model)
 1. 3D model (klaster.skp)
 2. 3D model připravený do aplikace Google Earth (klaster.kmz)
 3. 3D model ve formátu 3D PDF (klaster.pdf)
 4. 3D model ve formátu STL (klaster.stl)
- Webové stránky - soubory potřebné k prezentaci na internetu (web)
 1. Virtuální prohlídka (panorama.html)
 2. 3D model v aplikaci Spread3D (spread.html)
 3. 3D model v aplikaci WalkAbout3d (walk3d.html)
 4. 3D model v aplikaci Sketchfab (sketchfab.html)

C Rozvinutá sférická panoramata



Obr. C.1: Kaple Panny Marie



Obr. C.2: Oratoř sv. Anežky České



Obr. C.3: Refektář – pracovna sester



Obr. C.4: Svatyně Salvátora – pohřebiště Přemyslovců



Obr. C.5: Presbytář kostela sv. Františka



Obr. C.6: Dvoulodí kostela sv. Františka



Obr. C.7: Ambit klarisek



Obr. C.8: Kapitulní sň

D Vzhled webových stránek



Obr. D.1: Ukázka webových stránek – klikací mapa



Obr. D.2: Ukázka webových stránek – aplikace Spread3D free