

UNIVERZITA KARLOVA  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)  
Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Bc. Michal Kowalski

## **METODY DIGITALIZACE A VIZUALIZACE HISTORICKÝCH GLÓBŮ**

THE DIGITALISATION AND VISUALISATION OF HISTORICAL  
GLOBES

*Diplomová práce*

Vedoucí práce: Ing. Eva Štefanová, Ph.D.  
Praha 2017

## **Prohlášení o samostatném zpracování práce**

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

V Praze dne 28. dubna 2017

.....

Michal Kowalski

## **Poděkování**

Vedoucí práce, Ing. Evě Štefanové, Ph.D., velice děkuji za vynikající vedení práce, cenné připomínky a věnovaný čas. Velký dík patří paní PhDr. et Mgr. Evě Novotné z Mapové sbírky Univerzity Karlovy za poskytnutí zázemí pro digitalizaci glóbů. Rád bych také poděkoval své rodině za podporu během práce i studia.

# Metody digitalizace a vizualizace historických glóbů

## Abstrakt

Cílem diplomové práce je navrhnout a prakticky ověřit (polo)-automatizovaný způsob digitalizace historických glóbů. Problematika vytvoření bodového mračna je zajištěna pomocí programu Agisoft PhotoScan. Následné zpracování obrazu (filtrace dat, interpolace, zvýraznění hran) probíhá pomocí vlastního programu v jazyce Matlab.

Výsledkem práce je univerzální metodika digitalizace glóbů použitelná téměř ve všech případech. Vstupní data představuje série snímků glóbu a výstupem je rastr nebo mozaika rastru, zobrazující povrch glóbu v příslušném zobrazení. Výsledek je prezentován také ve formě virtuálního modelu glóbu.

Použité metody jsou podrobně popsány včetně matematických základů a jsou podrobeny kritice.

**Klíčová slova:** historické glóby, fotogrammetrie, kartografická zobrazení, sjednocení obrazu, Matlab

# The Digitization and Visualisation of Historical Globes

## Abstract

The aim of this thesis is to design and verify in practice (semi)automated way of digitalisation of historical globes. Problematics of point cloud is secured by program Agisoft PhotoScan.

The subsequent image processing (data filtering, interpolation, edge enhancement) are performed by own program in Matlab.

The result is a universal methodology digitization Globes applicable in almost all cases. As input are included in photos of globe and the output is a raster or mosaic grid showing the surface of the globe. The result is presented in the form of a virtual model of the globe. The methods are described in detail, including mathematical foundations and are subject to criticism.

**Key words:** historical globes, photogrammetry, map projection, image correlation, Matlab

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>8</b>
1.1 Úvod do problematiky . . . . .	8
1.2 Cíle práce . . . . .	10
<b>2 Současná situace na poli digitalizace glóbu</b>	<b>11</b>
2.1 Digitalizace dvojúhelníků . . . . .	11
2.2 Transformování snímků glóbu . . . . .	13
2.3 Laserové skenování doplněné snímky . . . . .	16
2.4 Struktura z pohybu . . . . .	17
2.5 Zhodnocení metod používaných ve světě . . . . .	19
<b>3 Teoretická část</b>	<b>20</b>
3.1 Snímkování . . . . .	20
3.1.1 Výpočet hloubky ostroti a nastavení clony . . . . .	21
3.1.2 Výpočet překryvů snímků a návrh postupu snímání . . . . .	23
3.1.3 Nasvícení glóbu . . . . .	25
3.2 Metody zpracování snímků . . . . .	26
3.2.1 Snímkové souřadnicové systémy . . . . .	26
3.2.2 Obrazová korelace . . . . .	28
3.3 Geografické souřadnicové systémy . . . . .	30
3.3.1 Zeměpisný souřadnicový systém . . . . .	30
3.3.2 Souřadnicový systém Mercatorova zobrazení . . . . .	31
3.4 Kartografická zobrazení . . . . .	31
3.4.1 Marinovo (Čtvercové) zobrazení . . . . .	31
3.4.2 Mercatorovo zobrazení . . . . .	32
3.5 Interpolace . . . . .	33
3.5.1 Metoda nejbližšího souseda . . . . .	33
3.5.1.1 Growing circle . . . . .	33
3.5.2 Lineární interpolace . . . . .	34
3.5.3 Interpolace IDW . . . . .	34
3.6 Filtrace obrazu . . . . .	35
3.6.1 Low pass filtry . . . . .	35
3.6.2 High pass filtry . . . . .	36
<b>4 Návrh metodiky</b>	<b>38</b>
<b>5 Aplikace</b>	<b>40</b>
5.1 Zpracovávání glóby . . . . .	40
5.2 Snímkování . . . . .	43
5.2.1 Fotografické přístroje . . . . .	43
5.2.2 Ateliérové vybavení a jeho nastavení . . . . .	44
5.2.3 Výpočet nastavení parametrů snímání . . . . .	44
5.2.4 Snímání a automatizované snímkovací zařízení . . . . .	47
5.2.5 Úpravy snímků . . . . .	48
5.3 Tvorba 3D modelu . . . . .	48
5.4 Tvorba glóbu z bodového mračna . . . . .	51
5.4.1 Vstupní data . . . . .	52
5.4.2 Zápis běhu programu . . . . .	52
5.4.3 Mercatorovo zobrazení . . . . .	54

5.4.4	Zjištění základní úrovně segmentace . . . . .	54
5.4.5	Segmentace a třídění . . . . .	54
5.4.6	Interpolace a její řízení . . . . .	55
5.4.7	Filtrace . . . . .	59
5.4.8	Tvorba segmentů nižších úrovní . . . . .	60
5.4.9	Export virtuálního glóbu . . . . .	61
5.5	Tvorba glóbu z georeferencovaných snímků . . . . .	62
5.5.1	Vstupní data . . . . .	62
5.5.2	Georeferencování snímků a konverze na bodové pole . . . . .	62
5.5.3	Modifikace programu konverze bodového pole na glóbus . . . . .	63
5.6	Tvorba georeferencovaných segmentů z bodového mračna . . . . .	63
5.6.1	Vstupní data . . . . .	64
5.6.2	Velikost snímků a segmentace . . . . .	64
5.6.3	Zpracování bodového mračna a uložení . . . . .	65
5.7	Distribuce glóbu . . . . .	65
5.7.1	WebGL Earth . . . . .	65
5.7.2	JSC 3D Viewer . . . . .	67
5.7.3	Adobe Reader . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Diskuze</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>Přílohy</b>	<b>78</b>

## Přehled použitých zkratk

2D	Dvojměrný
3D	Trojměrný
CCD	<i>Charge-coupled device</i>
ČVUT	České vysoké učení technické
DLA	<i>Diffraction Limited Aperture</i>
DMR	Digitální model reliéfu
DPZ	Dálkový průzkum Země
Exif	<i>Exchangeable image file format</i>
GIS	Geografický informační systém
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HW	Hardware
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
PřF	Přírodovědecká fakulta
RAW	<i>Raw data</i> - primární data
SW	Software
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
TEMAP	Technologie pro zpřístupnění mapových sbírek ČR
UK	Univerzita Karlova

## Seznam tabulek

1	Výzkumné skupiny na poli digitalizace glóbulů . . . . .	11
2	Parametry výpočtu pravouhlých souřadnic vlíčovacích bodů v rovině projekce	14
3	Parametry Helmertovy podobnostní transformace . . . . .	14
4	Neueter Erd-Globus - glóbus G5 . . . . .	40
5	Neueter Himmels-Globus - glóbus G6 . . . . .	41
6	Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe - Reliéfní glóbus . . . . .	42
7	Canon EOS 60D . . . . .	43
8	Canon EOS 5D Mark IV . . . . .	43
9	Přínos paralelního zpracování - globus G5 . . . . .	55
10	Rychlost interpolace . . . . .	58

## Seznam obrázků

1	Portál Mapové sbírky PřF UK . . . . .	8
2	Glóbus G6 - Neuester Himmels-Globus . . . . .	9
3	Dvojúhelník a transformovaný dvojúhelník . . . . .	12
4	Arch s glóbovými dvojúhelníky . . . . .	13
5	Schéma transformace . . . . .	13
6	Zařízení na digitalizaci glóbu . . . . .	15
7	3D skenování reliéfního glóbu . . . . .	16
8	Princip průsekové fotogrammetrie . . . . .	17
9	Wernerovo zobrazení školního glóbu . . . . .	18
10	Princip odrazu elektromagnetického záření . . . . .	20
11	Hloubka ostrosti . . . . .	21
12	Kamera a sféra glóbu . . . . .	22
13	Rotace glóbu kolem os . . . . .	23
14	Pootočení glóbu . . . . .	25
15	Odraz paprsku světelného zdroje od glóbu . . . . .	25
16	Ukázka nasvícení glóbu . . . . .	26
17	Vztah mezi snímkovými souřadnicemi a referenčním systémem . . . . .	27
18	Vyhledávání - vzorová a vyhledávací matice . . . . .	29
19	Jednorozměrný model situace vzorové a vyhledávací matice . . . . .	29
20	Epipolární geometrie . . . . .	30
21	Zeměpisné souřadnice . . . . .	30
22	Marinovo zobrazení . . . . .	32
23	Mercatorovo zobrazení . . . . .	32
24	Interpolace metodou nejbližšího souseda . . . . .	33
25	Lineární interpolace . . . . .	34
26	Interpolace IDW . . . . .	35
27	Průměrový filtr . . . . .	36
28	Gaussův filtr . . . . .	36
29	Laplaceův filtr - 4 směry . . . . .	37
30	Laplaceův filtr - 8 směrů . . . . .	37
31	Laplaceův filtr - zostření snímku . . . . .	37
32	Ukázka chybného vytvoření modelu . . . . .	38
33	Neuester Erd-Globus - glóbus G5 . . . . .	40
34	Neuester Himmels-Globus - glóbus G6 . . . . .	41
35	Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe - Reliéfní glóbus . . . . .	42
36	Fotoaparáty Canon EOS 60D a Canon 5D Mark IV . . . . .	43
37	Schéma snímání . . . . .	44
38	Kalkulátor ostřící vzdálenosti a clony . . . . .	45
39	Hloubka ostrosti - F/4 a F/22 . . . . .	46
40	Modifikované snímkovací zařízení - Gigapan Epic Pro . . . . .	47
41	Základní bodové mračno . . . . .	49
42	Vlčovací body na glóbu . . . . .	50
43	Program na tvorbu glóbu z bodového mračna . . . . .	51
44	Stručný náskres běhu programu . . . . .	53
45	Tvorba základní úrovně segmentace ze subsegmentů . . . . .	54
46	Chybné napojení 4 segmentů - velké přiblížení . . . . .	55
47	Interpolační metoda <i>Growing circle</i> a IDW - 2. mocnina . . . . .	58
48	Průměrový filtr . . . . .	59

49	Gaussův filtr - $\sigma = 0.9$ . . . . .	59
50	Laplaceův filtr . . . . .	59
51	Kombinace průměrového a Laplaceova filtru . . . . .	60
52	Kombinace Gaussova ( $\sigma=0.9$ ) a Laplaceova filtru . . . . .	60
53	Tvorba segmentů nižší řádovostní úrovně . . . . .	61
54	Tvorba pixelů nižší řádovostní úrovně . . . . .	61
55	Georeferencované mapy zobrazené na glóbu . . . . .	63
56	Segmentace GeoPNG . . . . .	64
57	GeoPNG segmenty v SW ArcGIS . . . . .	65
58	WebGL Earth - Globus G5 . . . . .	67
59	JSC 3D Viewer - Globus G5 během načítání textur . . . . .	68
60	JSC 3D Viewer - Reliéfní glóbus - zobrazované textury a zdrojové textury .	69
61	Adobe Reader - Globus G5 . . . . .	70
62	Globus G5 - Porovnání kvality zpracovaného segmentu a originálního snímku - detail Aleut . . . . .	72

# 1 Úvod

## 1.1 Úvod do problematiky

Dynamický vývoj počítačových technologií ovlivňuje celou společnost. Nejrozšířenějším datovým nosičem z hlediska množství uchovaných dat již není papír, ale jsou to digitální média. Ruku v ruce s vývojem technologií dochází obecně k poklesu nákladů na zpracování a uchování dat. Dotklo se to také mapových sbírek a kartografických dokumentů. Dnešní zákony České republiky umožňují mapovým sbírkám a archivům fyzicky prezentovat dokumenty libovolného stáří a veřejně elektronicky publikovat díla, ke kterým mají autorská práva nebo svolení autora.

Obrázek 1: Portál Mapové sbírky PřF UK



Zdroj: Mapová sbírka PřF UK (2016)

Projekty zpřístupňování mapových sbírek a publikování map pomocí on-line mapových serverů a portálů umožňují komukoliv zdarma nahlédnout do starých map, aniž by se s mapou, jakožto fyzickým nosičem, manipulovalo. Mapy jsou digitálně archivovány, minimalizuje se riziko poškození mapy vlivem manipulace a zároveň se šetří čas nejen zaměstnancům sbírky.

Digitalizace a zpřístupňování mapových sbírek má také pro stát vysoký význam. Digitalizace map v Mapové sbírce Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze proběhla

v letech 2011-2015 v rámci projektu TEMAP. TEMAP je zkratkovým slovem odvozeným z názvu Technologie pro zpřístupnění mapových sbírek ČR: metodika a software pro ochranu a využití kartografických děl národního kartografického dědictví, společného projektu Moravské zemské knihovny, Masarykovy univerzity a Univerzity Karlovy (TEMAP, 2016). V rámci výše zmíněného projektu došlo k digitalizaci desetitisíců map, v současné době (březen 2016) čítá repozitář Mapové sbírky UK 58 440 zdigitalizovaných map a 91 atlasů (Mapová sbírka PřF UK, 2016). Portál mapové sbírky Univerzity Karlovy je na obr. č. 1, glóbus G5 z Mapové sbírky PřF UK je zobrazen na obrázku č. 2. Dalším stupněm digitalizace kartografických dokumentů je digitalizace historických glóbusů. Tyto kartografické dokumenty jsou na rozdíl od klasických map trojrozměrnými modely Země nebo vesmírných těles a vyžadují kompletně novou metodiku digitalizace, která je zároveň podstatně náročnější na zpracování.

**Obrázek 2:** *Glóbus G6 - Neuester Himmels-Globus*



Zdroj: Michal Kowalski, *Mapová sbírka PřF UK (2016)*

Problémem digitalizace glóbusů se zabývalo nebo stále zabývá, 8 výzkumných skupin po celém světě. Obstojnou digitalizaci ve vysokém rozlišení jich však zvládlo jen několik. Pro většinu výzkumníků je digitalizace glóbusů pouze druhořadé téma. Publikují články o digitalizaci glóbu a zpravidla je zde uveden pouze stručný postup tvorby. Bohužel nejsou zveřejněny detaily, které jsou důležité pro aplikaci postupu bez vlastního výzkumu. Zároveň se spokojí s nízkou kvalitou a rozlišením glóbu. Mohou sice prohlásit, že úspěšně zdigitalizovali historický globus, ale jejich metody jsou ve většině případů obtížně uchopitelné a nejsou z hlediska běžného uživatele prakticky použitelné. Často jsou časově velmi náročné na zpracování. Dle názoru autora diplomové práce by ideální metoda měla umožňovat zpracovat také glóbus, který je fixně upevněn na podstavci. Některé metody totiž vyžadují kompletní vyjmutí glóbu z podstavce a mezikruží, což může být u spousty glóbusů velký

problém.

Tato práce se zabývá kompletní digitalizací a distribucí modelu glóbu a veškeré postupy zde budou objasněny. Na základě literární rešerše je popsána současná problematika digitalizovaných glóbů a je navržen nový postup digitalizace glóbů umožňující podstatné zvýšení přesnosti a kvality modelu.

Vlastní text diplomové práce je členěn na část teoretickou a aplikační.

V teoretické části je obsažena krátká vsuvka do historie glóbů a jejich tvorby. Je zde podrobně popsána digitalizace obsahující snímkovací metody, tvorbu 3D modelu, georeferencing, tvorbu textury a také metody distribuce.

Aplikační část představuje vlastní metodu tvorby digitalizovaného glóbu, která se opírá o teoretickou část. Řeší se zde použité snímání, tvorba 3D mračna bodů představujících glóbus, jejich filtrace, zpracování a transformace do rastru. Jsou zde také kapitoly věnující se testování přesnosti modelu vzhledem k originálu a také distribuci glóbu.

## 1.2 Cíle práce

Hlavním cílem práce je nalezení ucelené metodiky digitalizace historických glóbů. Dílčí cíle jsou následující:

- Výpočet ideálního nastavení fotoaparátu vzhledem k velikosti glóbu a požadovanému výstupnímu rozlišení.
- Nalezení optimálního algoritmu snímání glóbu, jenž zajistí dostatečný překryt snímků ve všech oblastech.
- Tvorba 3D modelu glóbu.
- Zpracování textury glóbu, použití vhodných interpolačních a filtračních metod použitelných v přijatelném čase zpracování.
- Distribuce glóbu formou 3D virtuálního modelu glóbu a zhotovení glóbu jakožto georeferencovaných podkladů zobrazitelných v GIS.

## 2 Současná situace na poli digitalizace glóbulů

Jak bylo zmíněno v úvodu, výzkumem historických glóbulů se zabývalo vícero výzkumných skupin z celého světa, včetně zastoupení z České republiky. Aktuální situace na světovém poli digitalizace glóbulů je v současnosti ustrnulá. Hlavní výzkum a vývoj aplikací byl soustředěn mezi roky 2006 až 2012. V tabulce č. 1 jsou uvedeny jednotlivé výzkumné skupiny a jejich metody digitalizace.

**Tabulka 1:** Výzkumné skupiny na poli digitalizace glóbulů

Vedoucí skupiny	Země	Metody
Adami A.	Itálie	Transformace dvojúhelníků a laserové skenování glóbu
Gede M.	Maďarsko	Georeferencing jednotlivých snímků
Hruby F.	Rakousko	Georeferencing snímků
Kühmstedt P.	Německo	Kombinace snímků a laserového skenování glóbu
Maeyer P.	Belgie	Fotogrammetrie
Menna F.	Itálie	Kombinace snímků a laserového skenování glóbu
Pavelka K.	ČR	Fotogrammetrie
Talich M.	ČR	Georeferencing snímků

Na základě rešerše lze rozpoznat trend, jakým směrem se současný výzkum digitalizace glóbulů ubírá. Před rokem 2012 dominovala technologie georeferencingu snímků a využití pozemních 3D skenerů. V této době byli aktivní především autoři Adami (2008), Gede (2009), Hruby (2006), Kühmstedt (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IO, 2016) a Menna (2012). Bohužel již dále nepublikují v oblasti digitalizace historických glóbulů a zřejmě považují tuto problematiku za uzavřenou.

Oblast digitálního zpracování obrazu však v posledních několika letech zažila velmi dynamický rozvoj nových technologií. Současné SW umí zpracovat 3D model objektu ve velmi vysokém rozlišení a jsou koncipovány i pro měřické nasazení (Agisoft, 2016). Naskytlo se využití této technologie v oblasti digitalizace glóbulů a jako první ji za tímto účelem použila skupina prof. Pavelky (Bílá, 2013). Výše zmíněnou metodu využil prof. Pavelka k digitalizaci glóbu.

V současné době na poli digitalizace glóbulů působí aktivně pouze Ing. Talich (2013), jež využívá metodu georeferencingu.

Celkově lze rozlišit 4 základní přístupy k digitalizaci glóbulů, které používají rozdílné vstupy i použité SW a HW technologie:

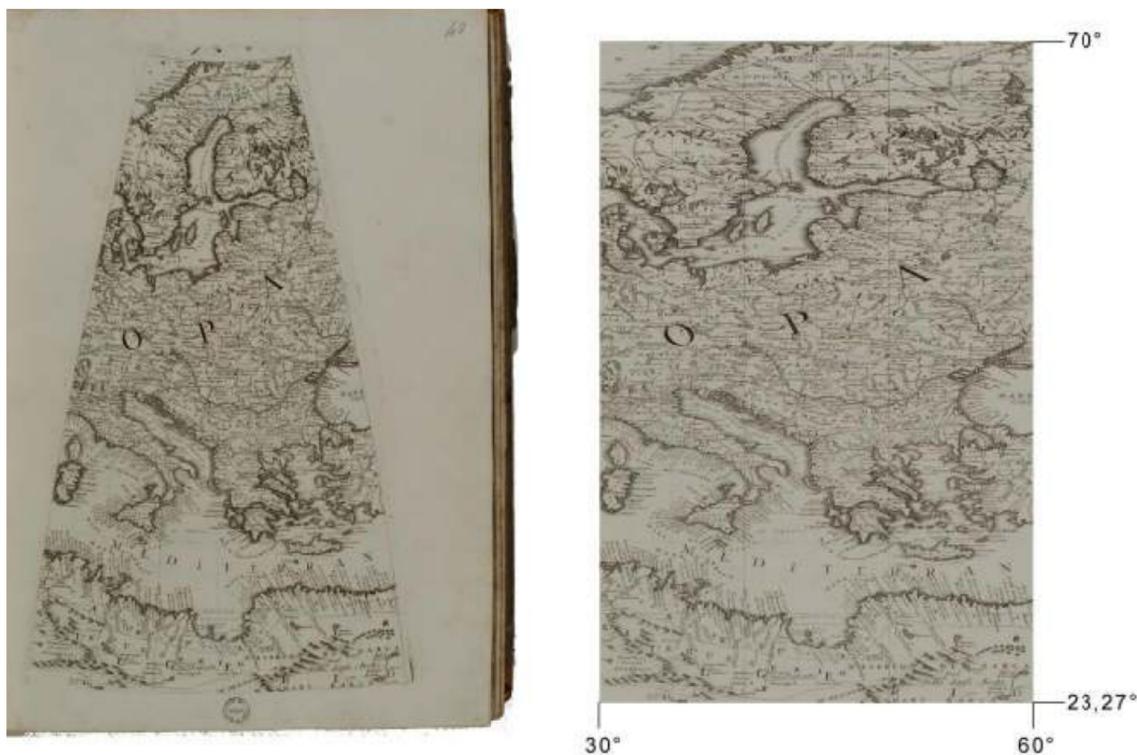
### 2.1 Digitalizace dvojúhelníků

Procesně nejjednodušší zpracování rekonstrukce glóbu je digitalizace dvojúhelníků (také nazývány jako glóbové mapy). Dvojúhelník je plošný segment představující základní konstrukční prvek glóbu - je to výřez mezi poledníky. Sahá zpravidla od severního pólu glóbu k jižnímu a je široký 6-30° a může být také segmentovaný po rovnoběžkách. Nalepením příslušného počtu dvojúhelníků nebo jejich segmentů, na kouli s adekvátním poloměrem vznikne model glóbu. Příklad archu s dvojúhelníky a polárními segmenty, z nichž lze zhotovit kompletní povrch glóbu, je na obrázku č. 4.

Dvojúhelníky byly vytištěny tiskařským strojem na plošné médium a před nalepením

na kouli byly rozřezány na jednotlivé díly. K vlastní digitalizaci bylo nutno dvojúhelníky naskenovat klasickým skenerem (nebo je nasnímat měřickou kamerou) a podrobit je transformaci a zgeoreferencování. Tato metoda byla použita při tvorbě např. Coronelliho virtuálního glóbu (Adami, 2008). Ukázka dvojúhelníku a dvojúhelníku po transformaci je na obr. č. 3.

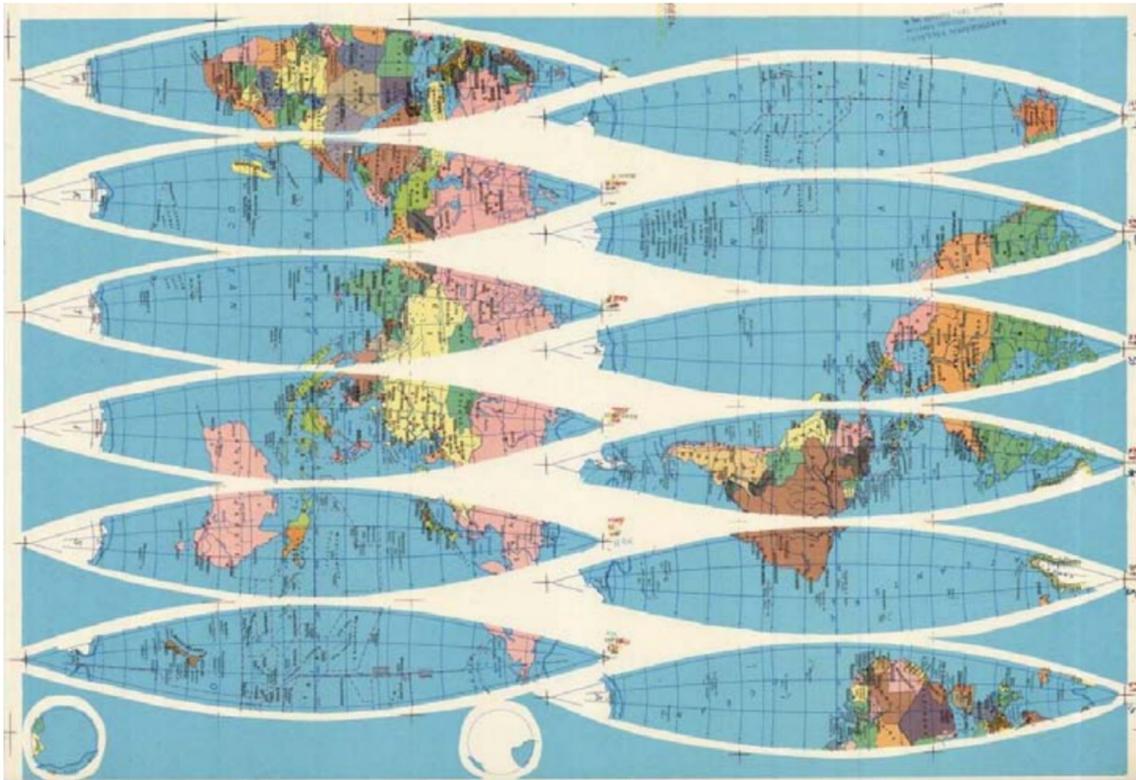
**Obrázek 3:** Dvojúhelník a transformovaný dvojúhelník



Zdroj: Adami (2008)

Je to efektivní a přesná metoda, která je náročnější na zpracovatele (musí být ručně provedena georeference všech dvojúhelníků). Kvalita modelu se odvíjí od rozlišovací schopnosti použitého skeneru (nebo kamery) a přesnosti georeferencování. Arch dvojúhelníků je podle Gedeho (2009) nejlepší zdrojový materiál na digitalizaci glóbu. Má ovšem jednu velkou nevýhodu. Musí být k dispozici soubor původních dvojúhelníků, jenž byl vytištěn. Metoda není použitelná na dvojúhelníkách, které jsou již nalepeny na glóbu. Fyzický glóbus tu není snímán. Nejedná se tedy o přímou dokumentaci glóbu (jakožto 3D objektu), ale spíše o jeho rekonstrukci, která je využita pro virtuální prezentaci (Bílá, 2013). Vzhledem k faktu, že všechny dochované glóby v Mapové sbírce PřF UK jsou fyzicky uloženy jako 3D modely a původních archů dvojúhelníků je jen několik, proto se tato práce výše uvedenou problematikou digitalizace glóbu skenováním dvojúhelníků nebude zabývat.

Obrázek 4: Arch s glóbovými dvojúhelníky

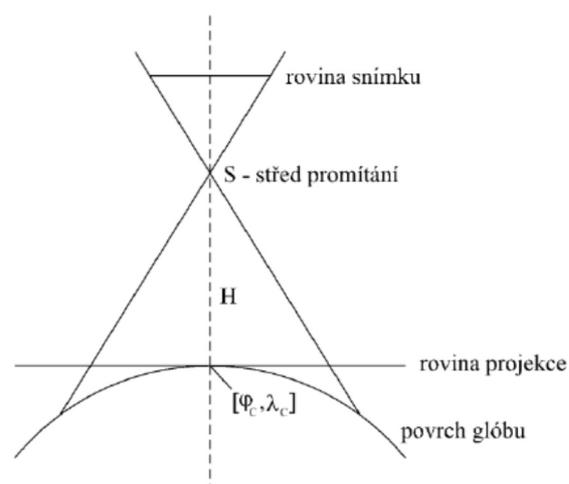


Zdroj: Gede (2009)

## 2.2 Transformování snímků glóbu

Snímky glóbu jsou pořízeny kalibrovaným fotoaparátém, nebo měřickou komorou. Obrázek č. 5 popisuje vzniklou situaci.

Obrázek 5: Schéma transformace



Zdroj: Talich (2013)

Po nasnímání celého povrchu glóbu je potřeba jednotlivé snímky zgeoreferencovat. Talich

(2015) využívá ke georeferencování vlíčovacích bodů o přibližných zeměpisných souřadnicích. Těmi mohou být průsečíky zeměpisné sítě nebo jakékoliv jiné významné body kresby. Důležité je také jejich rovnoměrné rozmístění na snímku, aby byla zajištěna numerická stabilita výpočtu. Vlíčovací body jsou určeny metodou ručního nebo poloautomatického sběru (Talich, 2013).

Na základě vlíčovacích bodů je pak provedena transformace skládající se z následujících kroků:

1) Výpočet pravoúhlých souřadnic vlíčovacích bodů v rovině projekce. Dle Talicha (2013) je tento krok nutný k eliminaci vlivu zakřivení glóbulu (viz obr. č. 5). Tuto problematiku řeší následující rovnice a nejdůležitější proměnné jsou zobrazeny v tabulce č. 2.

$$x_i = R k' \sin(\lambda_i - \lambda_C) \quad (1)$$

$$y_i = R k' [\cos(\varphi_C) \sin(\varphi_i) - \sin(\varphi_C) \cos(\varphi_i) \cos(\lambda_i - \lambda_C)] \quad (2)$$

kde:

$$P = \frac{H}{R} + 1 \quad (3)$$

$$\cos(c_i) = \sin(\varphi_C) \sin(\varphi_i) - \cos(\varphi_C) \cos(\varphi_i) \cos(\lambda_i - \lambda_C) \quad (4)$$

$$k' = \frac{P - 1}{[P - \cos(c_i)]} \quad (5)$$

**Tabulka 2:** Parametry výpočtu pravoúhlých souřadnic vlíčovacích bodů v rovině projekce

Proměnná	Vysvětlivka
$H$	výška bodu perspektivy (definiční parametr)
$\varphi_C, \lambda_C$	zeměpisné souřadnice projekčního centra (definiční parametr)
$R$	poloměr Země
$\varphi_i, \lambda_i$	zeměpisné souřadnice vlíčovacích bodů

2) V další fázi je nutno vyčíslit transformační parametry Helmertovy podobnostní transformace ze získaných souřadnic vlíčovacích bodů v rovině snímku a vypočtených souřadnic těchto vlíčovacích bodů v rovině projekce (Talich, 2013). Parametry Helmertovy podobnostní transformace jsou uvedeny v tabulce č. 3.

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_i \\ \bar{y}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} - q \begin{pmatrix} \cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} \quad (6)$$

**Tabulka 3:** Parametry Helmertovy podobnostní transformace

Proměnná	Vysvětlivka
$q$	měřítko
$\omega$	úhel stočení souřadnicových systémů
$t_x, t_y$	posun počátků souřadnicových systémů
$x_i, y_i$	pravoúhlé souřadnice vlíčovacích bodů v rovině projekce
$\bar{x}_i, \bar{y}_i$	pravoúhlé souřadnice vlíčovacích bodů v souřadnicovém systému snímku

3) Podobnostní transformace pravoúhlých souřadnic všech obrazových bodů (pixelů) v rovině snímku do roviny projekce.

4) Výpočet zeměpisných souřadnic všech obrazových bodů pomocí inverzních rovnic projekce.

$$\varphi_j = a \sin \left( \cos(c_j) \sin(\varphi_C) + \frac{y_j \sin(c_j) \cos(\varphi_C)}{\rho_j} \right) \quad (7)$$

$$\lambda_j = \lambda_C + \operatorname{atan} \left[ \frac{x_j \sin(c_j)}{[\rho_j \cos(\varphi_C) \cos(c_j) - y_j \sin(\varphi_C) \sin(c_j)]} \right] \quad (8)$$

kde

$$c_j = a \sin \left( \frac{\lfloor P - \sqrt{1 - \frac{\rho_j^2 (P+1)}{R^2 (P-1)}} \rfloor}{\frac{R (P-1)}{\rho_j} + \frac{\rho_j}{R (P-1)}} \right) \quad (9)$$

5) Dosazení určených zeměpisných souřadnic do zobrazovacích rovnic ekvidistantního válcového zobrazení a následná vizualizace a distribuce.

**Obrázek 6:** Zařízení na digitalizaci glóbu



Zdroj: Talich (2013)

Tato metoda má výhodu ve své relativní jednoduchosti, náročná je však pro zhotovitele, jelikož všechny snímky musí být zpravidla ručně zgeoreferencovány. Talich (2015) využívá ke snímkování speciální zařízení (viz obr. č. 6), které umožňuje glóblem otáčet v zeměpisné šířce i délce, a díky logickému algoritmu snímkování může být použita poloautomatická (ne však plně automatická) metoda zpracování. Finanční náročnost a konstrukce snímkovacího zařízení téměř vylučuje dostupnost pro běžné uživatele a instituce, kteří nechtějí digitalizovat desítky glóbulů. Tito uživatelé musí využít jiné metody snímkování.

Je nutno zdůraznit, že tato poloautomatizovaná metoda s využitím snímkovacího zařízení však není použitelná pro všechny glóby. Před vlastní digitalizací je nejprve potřeba vyjmout glóbovou kouli ze stojanu (Talich, 2015). Bohužel spousta glóbulů je ve stojanu s okružím velmi pečlivě ukotvena a nejsou ve stavu, kdy je lze vyndat z okruží bez poškození. I při manipulaci s glóby, které lze vyjmout z okruží je nutno zvážit situaci a vyvarovat se použití hrubé síly. Je také užitečné požádat o pomoc restaurátora. Ve spoustě případů i zkušený restaurátor odmítne vyjmout glóbus z okruží, jelikož by došlo k trvalému poškození glóbu. Tento problém lze vyřešit použitím šikmého snímkování, ale celkový proces zpracování je poté podstatně náročnější.

### 2.3 Laserové skenování doplněné snímky

Obrázek 7: 3D skenování reliéfního glóbu



Zdroj: Kühmstedt (2016)

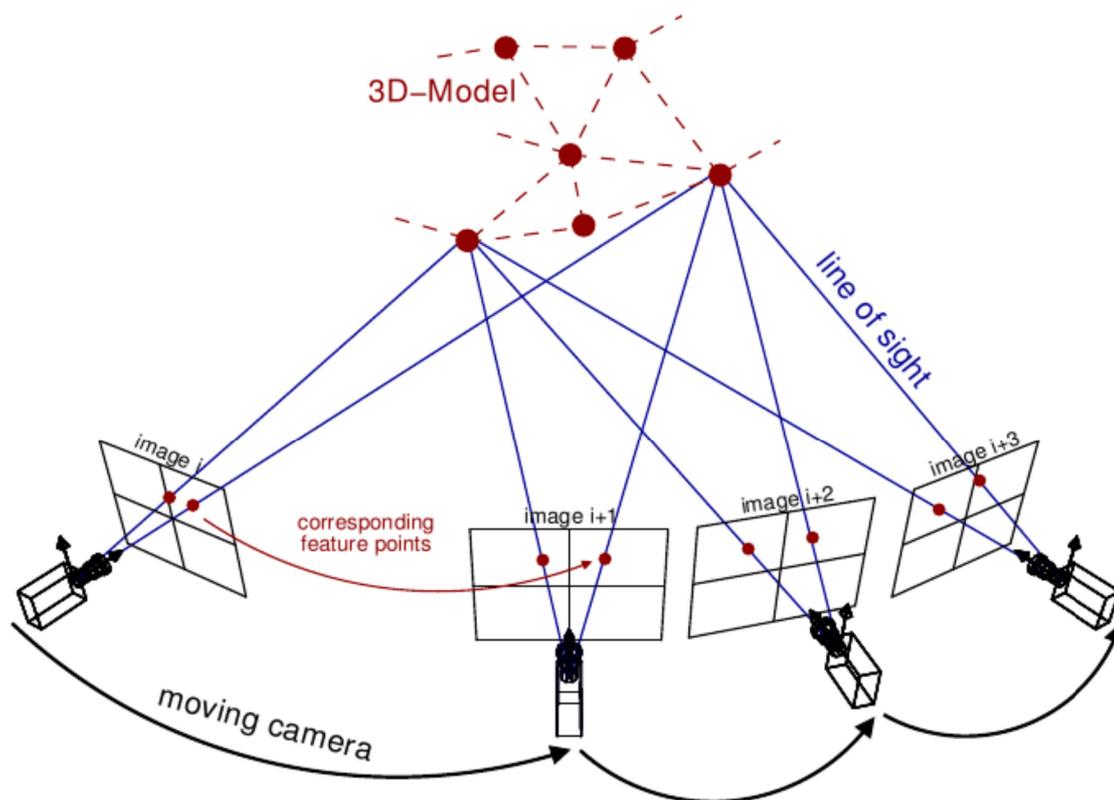
K vytvoření digitálního modelu glóbu lze také využít pozemní 3D skener, který podporuje snímkování (viz obr. č. 7). Vytvoření glóbu předchází dle Stala (2012) poměrně náročná operace spojení bodových mračen. Nicméně v současné době v souvislosti s technologickým rozvojem se lépe s těmito daty pracuje. Mračno lze pak filtrovat a i manuálně ořezat, např. od okruží. Tuto metodu využil k digitalizaci glóbu Fraunhofer-Institut für Angewandte

Optik und Feinmechanik IO pod vedením Dr. Kühmstedta (2016). Při použití skeneru nepodporujícího snímkování je zapotřebí udělat separátní snímky, uvádí Stal (2012). Bohužel u této metody převažují negativa nad pozitivy. Současné běžné 3D pozemní skenery jsou koncipovány na pozemní stavby. Nejlepší současné skenery mají polohovou přesnost 3 mm, která je ve stavebním sektoru vynikající, ale na povrch glóbu a vykreslení detailů je přesnost nedostatečná. Přesnost bodového mračka také souvisí s výslednou hustotou, ale i s časem skenování. Podle Stala (2012) je také obtížná manipulace s bodovými mračky a použití běžným uživatelem vylučuje finančně velmi náročný HW.

## 2.4 Struktura z pohybu

Struktura z pohybu (*angl.* Structure from motion) je v současné době nejrozšířenější metoda modelování 3D objektu. Nevyužívá obvyklých metod letecké fotogrammetrie, tzn. známou pozici a orientaci měřické kamery nebo poměrně vysoký počet geodeticky zaměřených vlčovacíh bodů (Webstoy, 2012). Jedná se o průřezovou fotogrammetrii (viz obr. č. 8).

Obrázek 8: Princip průřezové fotogrammetrie



Zdroj: Sweeney (2016)

Princip fotogrammetrické dokumentace objektu spočívá v pořízení série snímků kolem zkoumaného objektu. Tyto snímky se musí vzájemně překrývat, aby bylo možné nalézt identické body, jež jsou potřeba k následnému propojení jednotlivých snímků (Bílá, 2013). Programů, které mohou být využity ke zpracování 3D modelu glóbu, je vícero. Nejjednodušší a zároveň freewarový program je 123D Catch od společnosti Autodesk. Umožňuje

nahrát fotografie na internet, kde se v cloudu Autodesku zpracuje 3D model, jenž si uživatel může stáhnout. Program bohužel neumožňuje zpracování vysokého počtu snímků a při nastavení vyšší kvality zpracování velmi často "zamrzne" (Boháč, 2012). Dalšími využívanými programy jsou například Neitra 3D Pro a PhotoModeler.

Řada výzkumných týmů, kteří se vydají touto fotogrammetrickou cestou, využívají produkt ruské firmy Agisoft: PhotoScan Professional. Je to velice robustní SW na tvorbu 3D objektů všech velikostí. Využívá se především ke tvorbě DMR, ortofota a také běžného modelování (Bílá, 2013).

Po vytvoření 3D modelu je možnost vyexportovat model do 3D \*.pdf formátu, jež si může kdokoliv s programem Adobe Reader prohlédnout, nebo exportovat do \*.obj formátu. Formát \*.obj obsahuje 3D souřadnice vrcholů v souřadnicovém systému glóbu a k němu jsou uloženy příslušné textury s povrchem glóbu. Glóbus je poté rozvinut do roviny mapy, popisuje postup Bílá (2013). Velkou výhodou postupu zároveň spatřuje v levnosti zařízení - snímání lze provádět i s nekalibrovaným fotoaparátem. Parametry kalibrace jsou ze snímků programem automaticky dopočítány, a i s levným fotoaparátem lze nasnímkovat kvalitní podklady.

**Obrázek 9:** *Wernerovo zobrazení školního glóbu*



*Zdroj: Bílá (2013)*

Výše popsaná metoda odstraňuje nedostatky metody skenování dvojúhelníků a přímého georeferencování snímků glóbu. Body, které byly chybně detekovány, nebo zasahují do modelu glóbu (např. rezidua okružní) mohou být odstraněny filtrací, nebo vymazáním části bodového mračna.

V porovnání s ostatními metodami umožňuje efektivně zpracovat i glóby, které nejdou vynadat z okružní nebo ze stojanu. Ačkoliv se tato metoda může jevit jako všemocná, při bližším seznámení se s problematikou autor této diplomové práce odhalil několik neřešených úkonů, které by mohly proces zpracování podstatně vylepšit. Jedná se především o optimalizaci procesu zpracování 3D modelu, jelikož použitá technologie vyžaduje neúměrný čas vzhledem k výsledkům. Podle informací, které autor diplomové práce získal od prof. Pavelky, vedoucího Bílé, trvá zpracování 12 MPix textury v řádu dní. Ukázka transformovaného glóbu je na obrázku č. 9.

## 2.5 Zhodnocení metod používaných ve světě

Na základě předchozí literární rešerše lze říci, že digitalizaci glóbulů z praktického hlediska nejlépe vyřešil Talich (2015), který georeferencoval jednotlivé snímky. Jeho metody však vyžadují nemalou manipulaci s glóbul (vyjmutí glóbul z podstavce a okružní), a také pouze poloautomatické zpracování snímků glóbul. Nejdou také řešit plastické (reliéfní) glóby.

Nadějněji se však jeví metoda *Structure from motion*, která umí automatizovaně zpracovat glóbul a umožňuje zpracování snímků nepohyblivého glóbul i s okružím (body představující okružní lze v SW vymazat). Nevýhodou je však velmi pomalé zpracování 3D objektu glóbul a nepřiliš kvalitně vyřešená vizualizace.

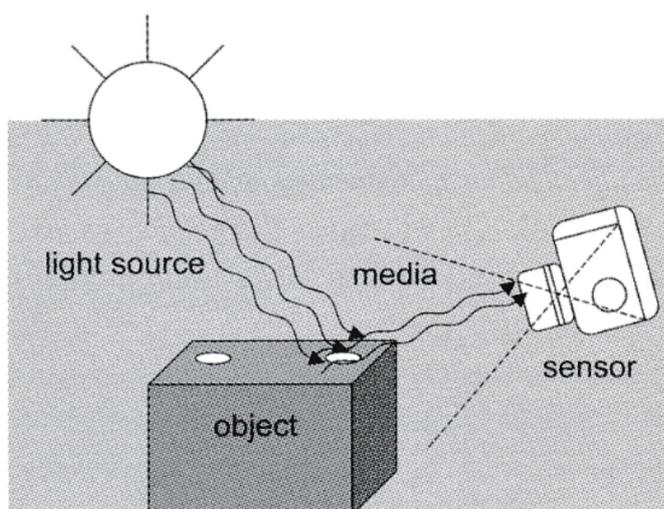
Autor práce si vybral metodu *Structure from motion* jako dominantní, jelikož skýtá mnohé možnosti, avšak ještě nebyla v oblasti digitalizace glóbulů adekvátně prozkoumána.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Snímkování

Snímkování představuje první fázi procesu zpracování glóbu. Je zde snímáno elektromagnetické záření, které je odraženo od snímaného objektu. Odráží se dle Zákona odrazu. Zdrojem záření je pro potřeby digitalizace glóbů zářič, který vyzařuje elektromagnetické záření v oblasti viditelného spektra (Slunce, zářivka, fotografický blesk ...). Senzor snímacího zařízení také musí umožňovat snímání v oblasti viditelného spektra. Schema lze spatřit na obrázku č. 10.

**Obrázek 10:** *Princip odrazu elektromagnetického záření*



*Zdroj: Luhmann (2006)*

Na začátku projektu je dobré si předem určit parametry snímkování.

#### **Vstupní parametry:**

- velikost snímacího senzoru
- rozlišení snímacího senzoru
- konstanta kamery
- maximální/minimální clona objektivu
- výstupní rozlišení rastru
- velikost glóbu

#### **Výstupní parametry:**

- optimální nastavení clony
- počet snímků
- hodnoty překryvů
- výstupní reálně dosažitelné rozlišení rastru

### 3.1.1 Výpočet hloubky ostrosti a nastavení clony

Pro dosažení kvalitních výsledků je nutno fotoaparát adekvátně nastavit. Nejdůležitějším prvkem expozice je v tomto případě hloubka ostrosti. Celá aktuálně snímaná plocha by měla být na snímku ostrá.

Dle Fleminga (2003) lze určit hloubku ostrosti pomocí následujících vztahů:

$$H = \frac{f^2}{(N \cdot c) + f} \quad (10)$$

$H$  - hyperfokální vzdálenost [mm],  $f$  - konstanta kamery [mm],  $N$  - clonové číslo,  $c$  - circle of confusion [mm] - "rozptylový kroužek", konstanta pro daný fotoaparát

$$D_n = s \cdot \frac{H - f}{H + s - 2 \cdot f} \quad (11)$$

$D_n$  - nejkratší ostrá vzdálenost,  $s$  - ostřicí vzdálenost

$$D_f = s \cdot (H - f) / (H - s) \quad (12)$$

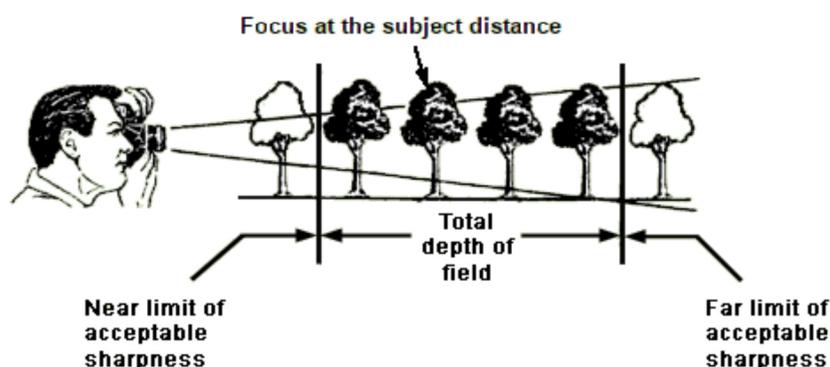
$D_f$  - nejdelší ostrá vzdálenost

Po úpravě lze ze soustavy vyjádřit ostřicí vzdálenost  $s$ :

$$s = \frac{2 \cdot D_f \cdot D_n}{D_f + D_n} \quad (13)$$

Pokud je fotoaparát zaostřen na hyperfokální vzdálenost  $H$ , objekty vzdálenější než  $1/2 H$  se jeví dle Fleminga (2005) jako ostré až do nekonečné vzdálenosti. Problematika ohledně snímání glóbbů však vyžaduje zaostření na podstatně menší vzdálenosti, než je hyperfokální vzdálenost. Na obrázku č. 11 je znázorněna hloubka ostrosti.

Obrázek 11: Hloubka ostrosti



Zdroj: Fleming (2005)

Pro dostatečně ostré snímky je také důležitě kromě patřičné ostřicí vzdálenosti určit optimální clonové číslo. Jacobson (2000) uvádí vztah na výpočet clony, který lze v našem případě výhodně použít:

$$N = \frac{f^2}{c} \cdot \frac{D_f - D_n}{2 \cdot D_n \cdot D_f} \quad (14)$$

Jelikož je glóbus kulový útvar, lze pomocí geometrických výpočtů určit ideální ostřicí vzdálenost. K tomu je také zapotřebí znát vzdálenost ohniska objektivu od glóbu a zorné pole fotoaparátu. Zorné pole fotoaparátu lze určit ze vztahu:

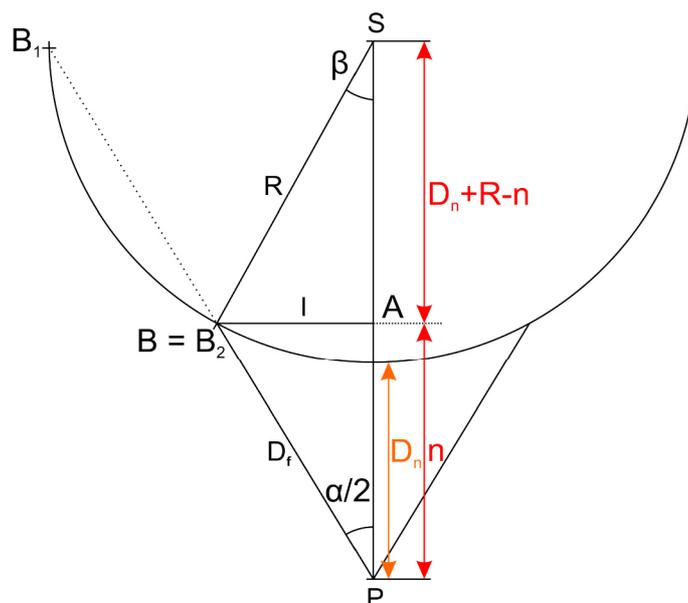
$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{atan} \left( \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2 \cdot f} \right) \quad (15)$$

kde  $\alpha$  je diagonální zorné pole fotoaparátu,  $f$  je konstanta kamery a rozměry snímacího senzoru fotoaparátu  $a$  a  $b$  (Šlezig, 2010).

Kombinací vztahů, které byly uvedeny výše v této kapitole, lze vyjádřit ostřicí vzdálenost  $s$  a požadované clonové číslo  $N$ .

Nejkratší ostrá vzdálenost  $D_n$  je vzdálenost ohniska objektivu od povrchu glóbu. Glóbus je definován středem  $S$  a poloměrem  $R$ . Z bodu  $P$  bude vedena přímka  $d$ , která svírá se spojnicí bodů  $P$  a  $S$  úhel rovný  $\alpha/2$ . Průnikem přímky  $d$  s plochou glóbu vznikne bod  $B$  a spojnice bodů  $B$  a  $P$  je nejdelsí zaostřenou vzdáleností  $D_f$ . Pokud bude přímka sečnou, vzniknou průnikem body  $B_1$  a  $B_2$ , u nichž je určena vzdálenost od bodu  $P$ . Bod s kratší vzdáleností je hledaným bodem  $B$  a dotyčná vzdálenost je  $D_f$ . Situace je znázorněna na obrázku č. 12.

Obrázek 12: Kamera a sféra glóbu



Zdroj: Vlastní tvorba

Vstupní rovnice do výpočtu  $D_f$ :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{l}{n} \quad (16)$$

$$R^2 = l^2 + (R + D_n - n)^2 \quad (17)$$

Po úpravě lze vyjádřit vzdálenost  $l$  pomocí vztahu:

$$l = \frac{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot (D_n + R - \sqrt{R^2 - D_n^2 \cdot \tan^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 2 \cdot D_n \cdot R \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)})}{\tan^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 1} \quad (18)$$

Vzdálenost  $D_f$  lze určit dosazením vzdálenosti  $l$  a úhlu  $\alpha$  do rovnice:

$$D_f = \frac{1}{\sin(\alpha/2)} \quad (19)$$

Existuje však také celá řada dalších faktorů, které mohou ovlivnit ostrost. Mezi nejvíce důležité faktory patří kvalita optiky, a také rozlišovací schopnost objektivu (čili schopnost rozlišit od sebe dva velmi blízké body pozorovaného objektu) a známá limitní difrakční clona.

Limitní difrakční clona (DLA - *angl. Diffraction Limited Aperture*) je clonové číslo, od kterého začíná klesat ostrost s narůstajícím clonovým číslem. Snímek s clonovým číslem vyšším než je DLA, má nižší ostrost, než když je pořízen s clonovým číslem nižším nebo rovným DLA. Paprsky dopadající na snímáče mají větší velikost rozptylu, než je rozptylový kroužek daného snímáče. Platí tak, že pro daný fotoaparát je hodnota DLA konstantní - není závislá na konstantě kamery (Dooley, 2016).

Vzorec na výpočet DLA (Stack Exchange, 2012):

$$DLA = \frac{a/n}{1.22 \cdot \lambda} \quad (20)$$

$a$  - velikost strany snímáče [m]

$n$  - počet pixelů na straně snímáče

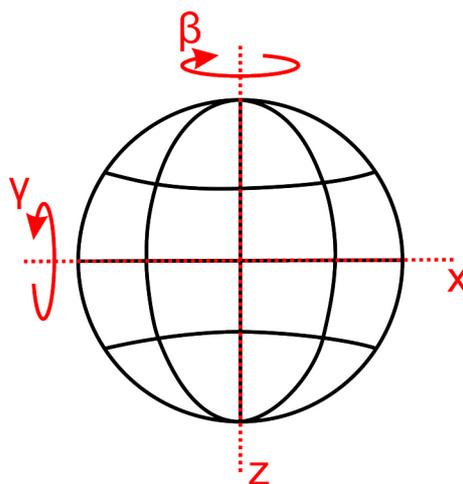
$\lambda$  - vlnová délka světla [m]

Dle Kleczka (2002) se vlnové délky světla pohybují od  $3.8 \cdot 10^{-7}$ m do  $7.6 \cdot 10^{-7}$ m, přičemž v optických výpočtech se nejčastěji používá vlnová délka  $5.65 \cdot 10^{-7}$ m.

### 3.1.2 Výpočet překryvů snímků a návrh postupu snímání

Zvolená metoda průsekové fotogrammetrie k výpočtu polohy 3D bodu vyžaduje, aby se tento bod nalézal nejméně na 3 snímcích pořízených z různých poloh. Je nutno proto zajistit adekvátní překryv snímků.

Obrázek 13: Rotace glóbu kolem os



Zdroj: Vlastní tvorba

Proces snímání se liší dle typu glóbu. Glóbus, který je vyjmutý z okruží a není na stojanu, je vhodné snímat kolem vertikální osy z procházející středem glóbu po úhlech  $\alpha$ . Při každém otočení kolem osy  $z$  se musí glóbus potočit o úhel  $\beta$  kolem vodorovné osy

$x$ , jež prochází středem glóbu (viz obr. č. 13). Pokud má glóbus okružít, je nutno s ním manipulovat tak, aby se nenacházelo na žádném snímku. V obou těchto případech může být fotoaparát umístěn na jednom místě a glóbus bude rotovat kolem os  $z$  a  $x$ .

Glóbus, který je umístěn na stojanu a nejde z něj vyjmout, lze rotovat v ose  $z$  a z praktického hlediska nebude realizovatelná rotace glóbu kolem osy  $x$ . Vzniklou situaci lze vyřešit rotací fotoaparátu kolem osy  $x$ .

### Výpočet překryvů pracuje s následujícími vstupními parametry:

- šířka snímáče  $a$  a výška snímáče  $b$
- konstanta kamery  $f$
- poloměr glóbu  $R$
- vzdálenost povrchu glóbu od hlavního snímkového bodu P
- nejmenší zaručený počet překryvů

Nejprve je nutno určit úhel  $\beta$ , o který se musí glóbus potočit v ose  $z$ , aby bylo možno teoreticky dosáhnout dvojitého překryvu v oblasti. Na obrázku č. 12 je zobrazena přehledová situace. Lze vyjít z rovnic č. 15, 16, 17, 18, 19, kde rozměr snímáče  $b = 0$ , jelikož v této prvotní fázi je uvažováno pouze se snímáním kolem osy  $z$ . Úhel  $\alpha$  zde musí být proto přepočítán, včetně všech výpočtů, které úhel  $\alpha$  přímo či nepřímo ovlivňují.

Pro výpočet úhlu  $\beta$  je použit pravoúhlý trojúhelník ASB:

$$\beta = a \sin \left( \frac{l}{R} \right) \quad (21)$$

Analogicky lze z rovnic č. 15, 16, 17, 18, 19, kde je rozměr snímáče  $a = 0$ , určit pootočení glóbu o úhel  $\gamma$  kolem osy  $x$ . Úhel  $\alpha$  zde také musí být přepočítán včetně následujících výpočtů.

$$\gamma = a \sin \left( \frac{l}{R} \right) \quad (22)$$

Je nutno zdůraznit, že díky algoritmu snímání uživateli stačí glóbus potočit v ose  $x$  pouze o  $180^\circ$ .

Z obrázku č. 12 vyplývá, že úhel  $\beta$  je úhlem, který zajistí překryv dvou snímků. Jelikož se však během snímání mohou mírně změnit parametry polohy glóbu nebo fotoaparátu, zorný úhel může být ovlivněn distorzí objektivu, a také na okrajích snímku dochází k mírnému poklesu rozlišovací schopnosti vlivem zakřivení glóbu. Je vhodné glóbus natočit o menší úhel  $\beta'$ , než je vypočtený úhel  $\beta$ . Tato rezerva je pojmenována jako  $\delta$  a její doporučená hodnota je:  $\delta = 20$ . Úhel  $\beta'$  ze své podstaty tedy určuje následující vztah:

$$\beta' = \frac{\beta}{1 + \delta/100} \quad (23)$$

Analogicky vznikne z úhlu  $\gamma$  menší úhel  $\gamma'$

$$\gamma' = \frac{\gamma}{1 + \delta/100} \quad (24)$$

Z údajů výše popsaných je možno odvodit, že otáčení glóbu kolem osy  $z$  o úhel  $\beta'$  následované po každé otočce o  $360^\circ$  pootočením glóbu kolem osy  $x$  o úhel  $\gamma'$ , zajistí celkové pokrytí plochy glóbu minimálně 1 vrstvou snímků. Optimální počet překryvů pro

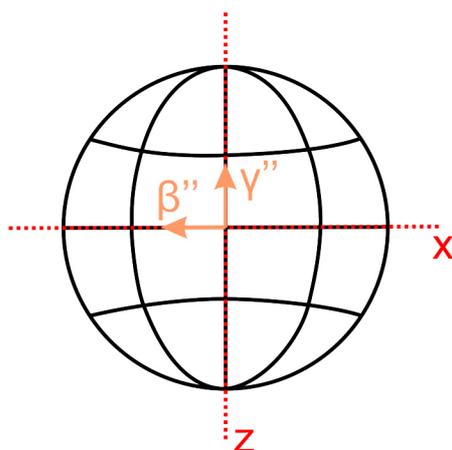
fotografování jsou 4 překryvy. Tohoto počtu překryvů lze dosáhnout polovičními úhly  $\beta'$  a  $\gamma'$ , protože se v každé ose snímkování glóbu dosáhne minimálně 2 překryvů, kde  $q$  je požadovaný počet překryvů. Jednotlivé kroky vyjadřuje obrázek č. 14.

Výpočet úhlů při větším počtu překryvů:

$$\beta'' = \frac{\beta'}{\lceil \sqrt{q} \rceil} \quad (25)$$

$$\gamma'' = \frac{\gamma'}{\lceil \sqrt{q} \rceil} \quad (26)$$

Obrázek 14: Pootočení glóbu

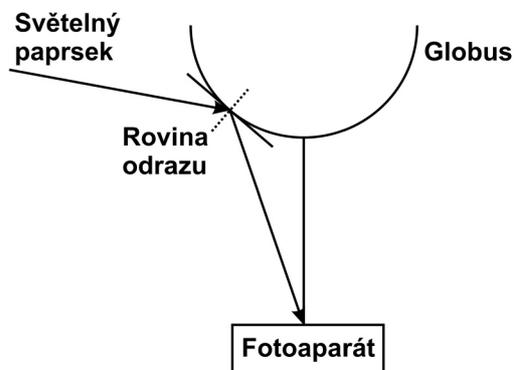


Zdroj: Vlastní tvorba

### 3.1.3 Nasvícení glóbu

Pro zajištění kvalitních snímků je zapotřebí zajistit rovnoměrnou intenzitu osvětlení v celé snímané oblasti. Glóbus je kulovým útvarem, který je schopen odrazit světlo do kamery z mnoha různých směrů. Extrémní situace je popsána na obrázku č. 15, kde boční světlo ovlivní snímek.

Obrázek 15: Odraz paprsku světelného zdroje od glóbu



Zdroj: Vlastní tvorba

Teoreticky lze tuto situaci vyřešit vložením glóbu do difúzního boxu, který dokáže efektivně potlačit ostré bodové zdroje světla.

**Obrázek 16:** Ukázka nasvícení glóbu



Zdroj: Talich, 2015

Další způsob, jakým lze docílit rovnoměrné intenzity osvětlení, použil Talich (2015). Fotoaparát je umístěn mezi 2 studiová světla, které při snímání vytvoří v částech snímku přesvětlené části, ale centrální část je z hlediska intenzity dopadu světla konstantní. Okrajové části snímku jsou dále při zpracování oříznuty a je zpracována pouze středová část (viz obr. č. 16).

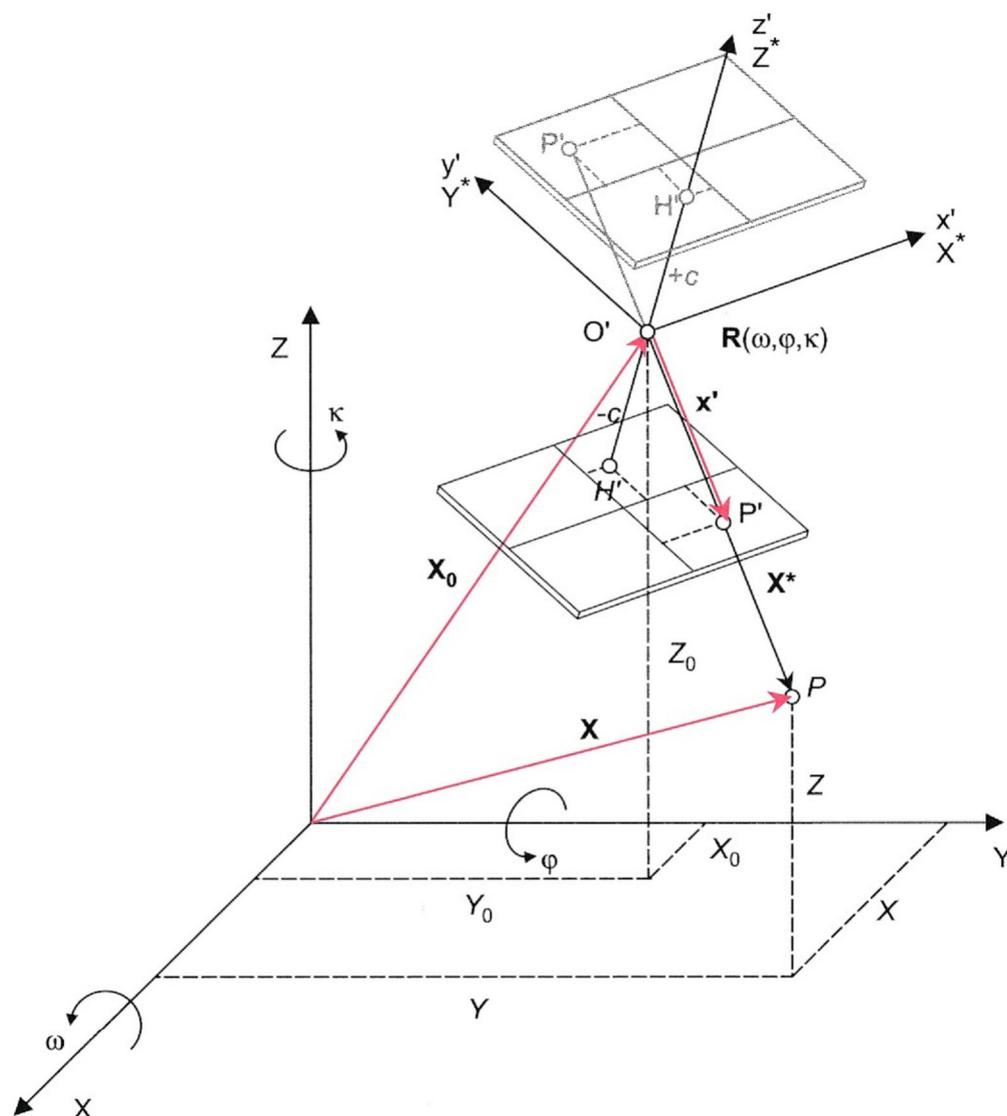
## 3.2 Metody zpracování snímků

### 3.2.1 Snímkové souřadnicové systémy

Definice souřadnicových systémů (viz obr. 17):

- Lokální referenční souřadnicový systém  $x, y, z$  je vztažen ke středu promítání  $O$ .
- Souřadnicový systém snímkových souřadnic má počátek v bodě  $S$  a je definován osami  $x_s$  a  $y_s$ .
- Bod  $P$  je bodem, který je snímán a paprsek z bodu  $P(X_P, Y_P, Z_P)$  prochází středem promítání  $O$  a promítá se na snímač, na kterém vytvoří svůj obraz  $P'$  a je definován souřadnicemi  $(x_{sP'}, y_{sP'}, -f)$ .

Obrázek 17: Vztah mezi snímkovými souřadnicemi a referenčním systémem



Zdroj: Luhmann (2006)

Jelikož zvolená fotogrammetrická metoda pracuje s více snímky, je nutné zavést globální referenční souřadnicový systém, který je definován osami X, Y a Z. Právě v tomto systému je také definován střed promítání  $O(X_0, Y_0, Z_0)$  a bod  $P(X_P, Y_P, Z_P)$ . Je potřeba určit vztah mezi lokálním souřadnicovým systémem  $x, y, z$  a globálním systémem X, Y, Z. Dle Atkinsona (1996) lze uplatnit pro bod P a jeho obraz na snímku vzorec č. 27.

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \mu^{-1} \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ -f \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$r_{11} = \cos(\varphi) \cdot \cos(\kappa) \quad (29)$$

$$r_{12} = -\cos(\varphi) \cdot \sin(\kappa) \quad (30)$$

$$r_{13} = \sin(\varphi) \quad (31)$$

$$r_{21} = \sin(\omega) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\kappa) + \cos(\omega) \cdot \sin(\kappa) \quad (32)$$

$$r_{22} = -\sin(\omega) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\kappa) + \cos(\omega) \cdot \cos(\kappa) \quad (33)$$

$$r_{23} = -\sin(\omega) \cdot \cos(\varphi) \quad (34)$$

$$r_{31} = -\cos(\omega) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\kappa) + \sin(\omega) \cdot \sin(\kappa) \quad (35)$$

$$r_{32} = \cos(\omega) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\kappa) + \sin(\omega) \cdot \cos(\kappa) \quad (36)$$

$$r_{33} = \cos(\omega) \cdot \cos(\varphi) \quad (37)$$

kde

$(X_P, Y_P, Z_P)$  - souřadnice bodu P v referenčním souřadnicovém systému

$(X_0, Y_0, Z_0)$  - souřadnice středu promítání v referenčním souřadnicovém systému

$(x_{sP'}, y_{sP'}, -f)$  - souřadnice bodu P' v systému snímkových souřadnic

$\mu$  - měřítko

$\mathbf{R}$  - matice rotace

Jednoznačně lze definovat vztah mezi bodem v prostoru a jeho odpovídajícím obrazem na snímku, pokud jsou známy souřadnice promítání a poloha středu promítání. Měřítko  $\mu$  je bez dalších dodatečných informací neznámé (např.: vzdálenost prostorového bodu od středu promítání).

Bod P' na snímku má souřadnice  $(x_{sP'}, y_{sP'}, -f)$ :

$$\begin{bmatrix} x_{sP'} \\ y_{sP'} \\ -f \end{bmatrix} = \mu^{-1} \mathbf{R}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ Z_P - Z_0 \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$x_{sP'} = -f \frac{r_{11} \cdot (X_P - X_0) + r_{21}(Y_P - Y_0) + r_{31}(Z_P - Z_0)}{r_{13} \cdot (X_P - X_0) + r_{23}(Y_P - Y_0) + r_{33}(Z_P - Z_0)} \quad (39)$$

$$y_{sP'} = -f \frac{r_{12} \cdot (X_P - X_0) + r_{22}(Y_P - Y_0) + r_{32}(Z_P - Z_0)}{r_{13} \cdot (X_P - X_0) + r_{23}(Y_P - Y_0) + r_{33}(Z_P - Z_0)} \quad (40)$$

### 3.2.2 Obrazová korelace

Tvorba adekvátně přesného 3D modelu vyžaduje nalezení totožných bodů (*tie points*) na snímcích pořízených z různých poloh fotoaparátu. Obecně lze říci, že se vzrůstajícím počtem snímků, na kterých je detekován tie point, roste i kvalita a přesnost 3D modelu. Totožné body jsou detekovány pomocí vzorového a vyhledávacího okénka (Kraus, 2007). Situaci vyjadřuje obrázek č. 18 a v příklad průřezu vyhledávací maticí je zobrazen na obr. č. 19.

Obrázek 18: Vyhledávání - vzorová a vyhledávací matice

1	1	9	1	1
1	1	9	1	1
9	9	9	9	9
1	1	9	1	1
1	1	9	1	1

Vzorová matice

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	9	2	1	1	1	1	1
1	1	1	1	8	9	9	9	9	2	1	1	1
1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

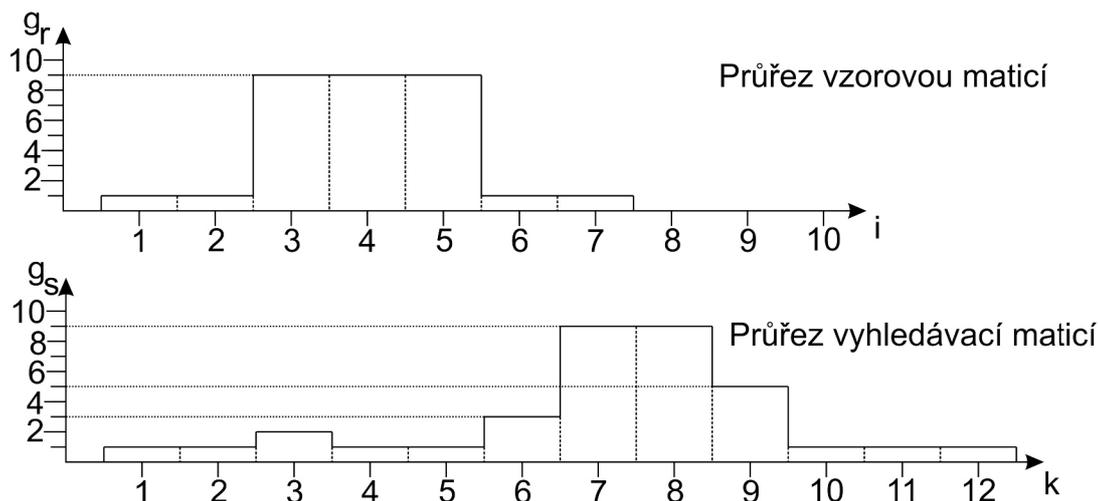
Vyhledávací matice

Zdroj: Kraus (2007)

*Tie point* je detekován na základě korelace mezi dvěma snímky. Měřítkem podobnosti je zde korelační koeficient  $r$ , který je vypočítán ze směrodatných odchylek  $\sigma_r$  a  $\sigma_s$  šedotónového obrazu obou snímků  $g_r$  a  $g_s$ , a také kovariance šedotónových obrazů obou snímků  $\sigma_{rs}$ . Proměnné  $\bar{g}_r$  a  $\bar{g}_s$  jsou aritmetickými průměry hodnot jasu v příslušných šedotónových obrazech (Kraus, 2007).

$$r = \frac{\sigma_{rs}}{\sigma_r \cdot \sigma_s} = \frac{\sum (g_r - \bar{g}_r) \cdot (g_s - \bar{g}_s)}{\sqrt{\sum (g_r - \bar{g}_r)^2 \cdot \sum (g_s - \bar{g}_s)^2}} \quad (41)$$

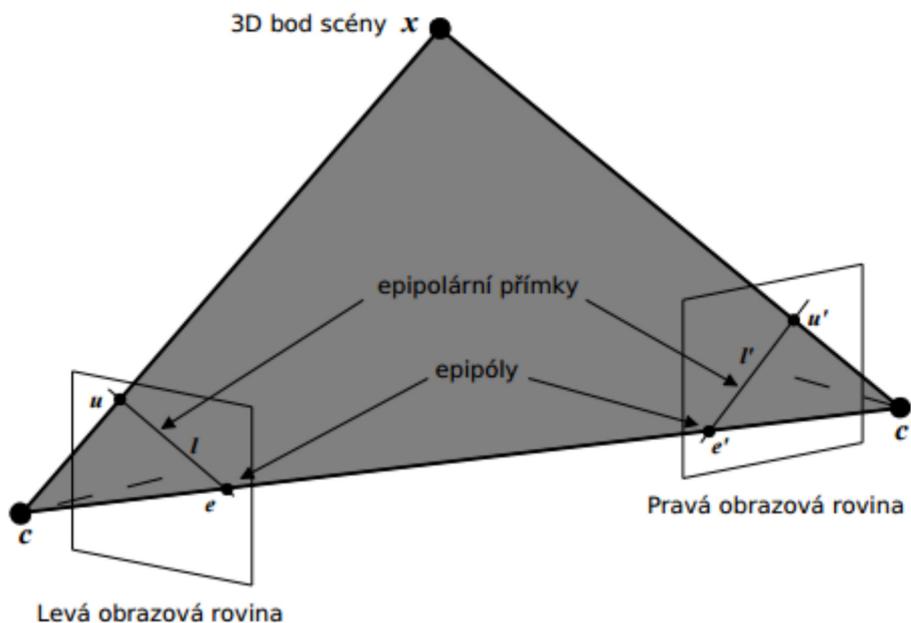
Obrázek 19: Jednorozměrný model situace vzorové a vyhledávací matice



Pro získání subpixelové přesnosti lze také snímek převzorkovat na větší velikost pomocí bilineární či kubické interpolace a nad tímto snímkem provést výše popsání výpočty. Vyhledávání *tie points* je možno řádově urychlit použitím tzv. epipolární geometrie (viz

obr. č. 20). Bod  $x$ , který má být na obou snímcích nalezen, bude ležet na epipolárních přímkách, nebo v jejich velmi těsné blízkosti (Bureš, 2013). Postupným vyhledáním *tie points* lze zpřesňovat prvky vnější orientace a docílit tak zkvalitnění modelu.

Obrázek 20: *Epipolární geometrie*

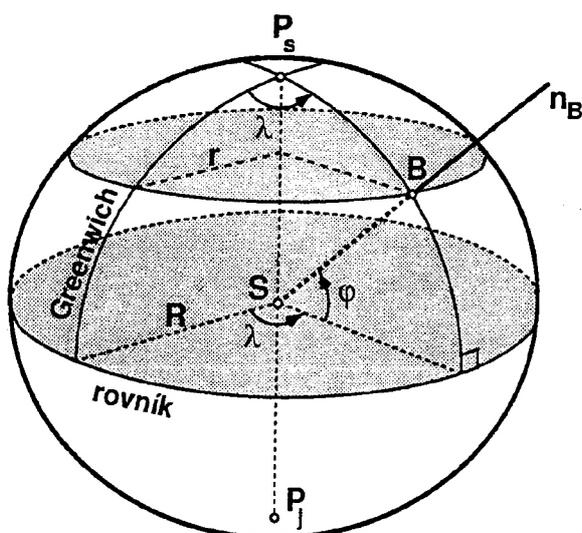


Zdroj: Bureš (2013)

### 3.3 Geografické souřadnicové systémy

#### 3.3.1 Zeměpisný souřadnicový systém

Obrázek 21: *Zeměpisné souřadnice*



Zdroj: Čada (2017)

Pro udávání polohy bodů na zemském povrchu je zapotřebí mít vhodnou souřadnicovou síť. V geografii a kartografii se používá zeměpisná síť (zobrazena na obr. č. 21), v níž je poloha určena dvěma sférickými polárními souřadnicemi - zeměpisnou délkou  $\lambda$  a zeměpisnou šířkou  $\varphi$ .

Zeměpisná šířka  $\lambda$  je úhel mezi dvěma polorovinami vycházejícími ze zemské osy. Jedna z polorovin prochází bodem zvoleným jako základní, druhá určeným bodem. Mezinárodně uznávaný nultý poledník prochází greenwichskou hvězdárnou v Anglii.

Rovník je definován jako hlavní kružnice, vzniklá jako průsečnice zemského povrchu a roviny procházející středem Země kolmo k zemské ose. Úhel mezi rovinou rovníku a normálou v určeném bodě je zeměpisná šířka  $\varphi$  (Čapek, 1992).

### 3.3.2 Souřadnicový systém Mercatorova zobrazení

Zeměpisné souřadnice zobrazené v Mercatorově zobrazení (viz. kapitola 3.4.2) jsou definovány v kartézském souřadnicovém systému, jež je daný osami  $x$  a  $y$ . Pro potřeby segmentace (kapitola 5.4.5) je vhodné Mercatorovo zobrazení transformovat do velikosti 1000 x 1000 jednotek.

Geografický střed  $\varphi = 0^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$  leží po transformaci na souřadnicích  $S = [500, 500]$  a rovník je definován souřadnicemi  $P_1 = [0, 500]$ ,  $P_2 = [1000, 500]$ . Je nutno zdůraznit, že v Mercatorově zobrazení ze své podstaty nelze zobrazit polární oblasti. Aby byl zachován poměr výšky zobrazené oblasti ku délce rovníku 1:1 na úrovni segmentace 0, jak vyžaduje prohlížeč WebGL 5.7.1, jsou polární oblasti - tzn. oblasti s  $\varphi > 85.05113^\circ$  a  $\varphi < -85.05113^\circ$  vypuštěny. Tyto zeměpisné šířky mají v místním souřadnicovém systému hodnoty  $y_{max} = 0$  a  $y_{min} = 1000$ .

## 3.4 Kartografická zobrazení

Kartografická zobrazení představují řadu početních a konstrukčních metod, jimiž lze v rovině vytvořit obraz zeměpisné sítě.

Zobrazení lze rozdělit na jednoduchá (pravá) zobrazení, vznikající převedením glóbu do roviny přímo nebo prostřednictvím válce či kužele a obecná zobrazení, jejichž konstrukci nelze vysvětlit prostřednictvím jediné zobrazovací plochy. V aplikaci budou použity především 2 druhy jednoduchých zobrazení, jejich zobrazovací plocha je válec - Marinovo (Čtvercové) a Mercatorovo zobrazení.

V normální poloze je dotykovou kružnicí u obou zobrazení rovník. Zobrazovací rovnice pro normální polohu udávají rovinné pravoúhlé souřadnice  $x$  a  $y$ . Osou  $y$  je přímkový obraz základního poledníku, osou  $x$  je přímkový obraz rovníku (Čapek, 1992).

### 3.4.1 Marinovo (Čtvercové) zobrazení

Poledníky se zobrazují jako úsečky o délce  $\pi \cdot R$ ; jejich vzdálenost je dána rovnicí

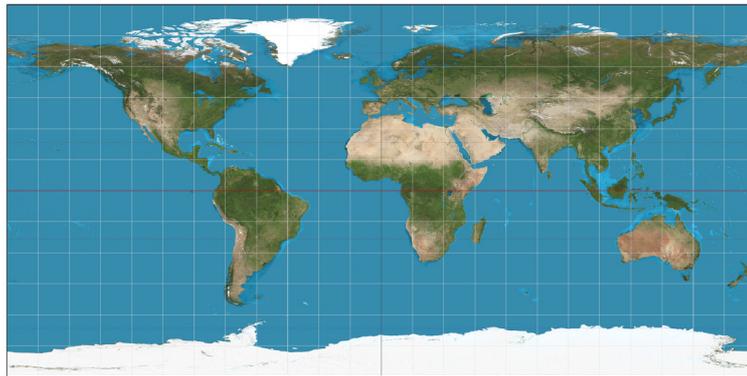
$$x = R \cdot \lambda \quad (42)$$

kde  $R$  je poloměr referenční koule a  $\lambda$  je zeměpisná délka.

Rovnoběžky se zobrazují jako úsečky o délce  $2 \cdot \pi \cdot R$ , kolmé k obrazům poledníků. Jejich vzdálenost od obrazu rovníku se určuje z rovnice

$$y = R \cdot \varphi \quad (43)$$

kde  $\varphi$  je zeměpisná šířka. Marinovo zobrazení je zobrazeno na obrázku č. 22.

Obrázek 22: *Marinovo zobrazení*

Zdroj: Gearhart (2012)

### 3.4.2 Mercatorovo zobrazení

Kuchař (1992) uvádí, že obrazy poledníků jsou nekonečně dlouhé přímky, jejichž vzdálenost od osy  $y$  udává vztah:

$$x = R \cdot \lambda \quad (44)$$

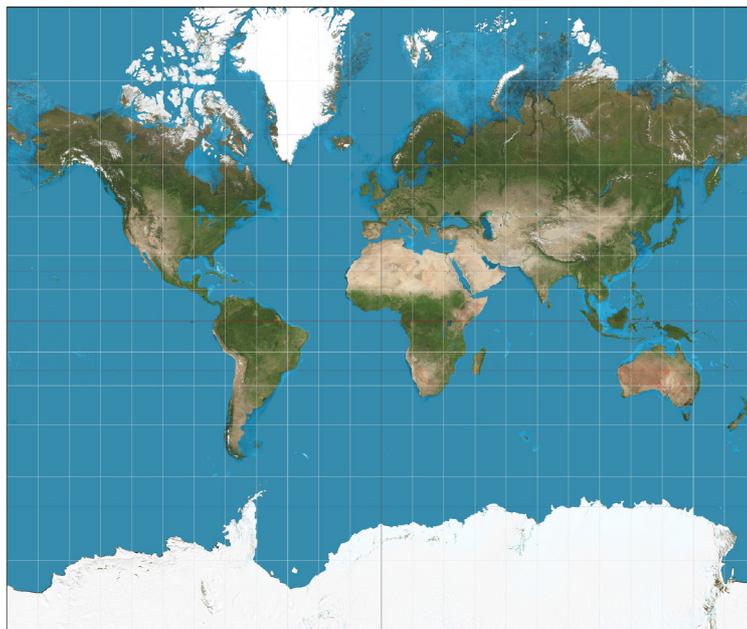
Rovnoběžky se určují jako úsečky o délce  $2 \cdot \pi \cdot R$ , přičemž se jejich vzdálenost od obrazu rovníku určuje z rovnice:

$$y = R \cdot \ln(\cot(\delta/2)) \quad (45)$$

kde  $\delta$  je vzdálenost rovnoběžky od severního pólu.

$$\delta = 90 - \varphi \quad (46)$$

Nutno dodat, že kvůli těmto vlastnostem v Mercatorově zobrazení (viz obr. č. 23) nelze zobrazit póly, které jsou nekonečně daleko od rovníku.

Obrázek 23: *Mercatorovo zobrazení*

Zdroj: Gearhart (2012)

### 3.5 Interpolace

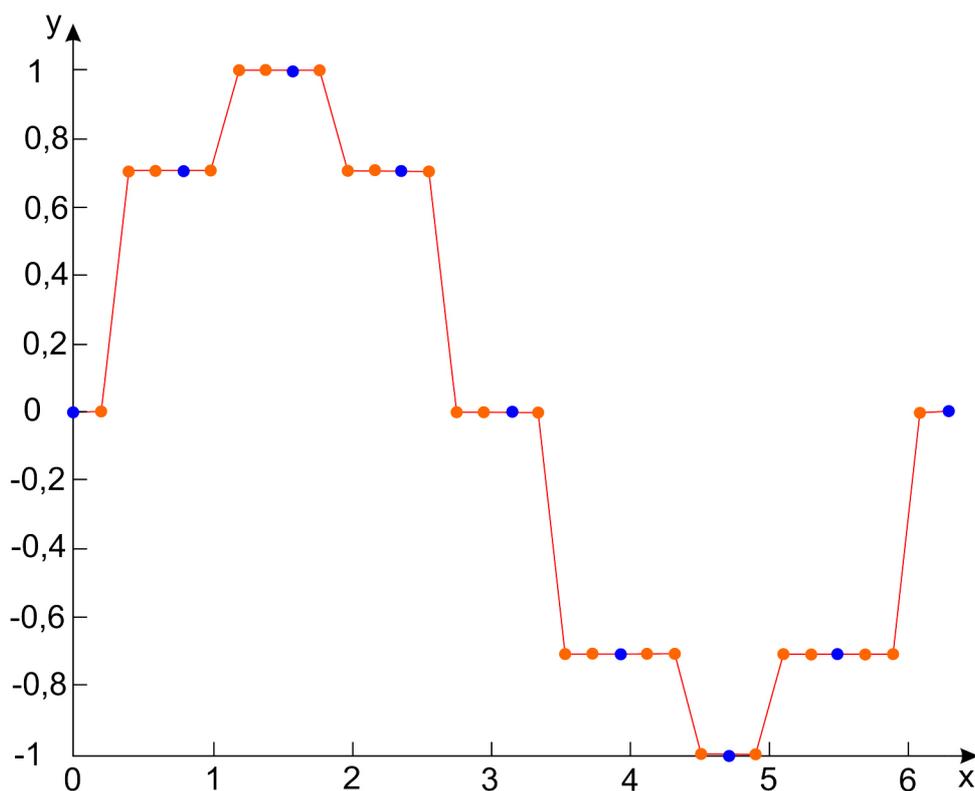
Výsledkem interpolace je nalezení přibližné hodnoty funkce v bodě s neznámou hodnotou (ale známými souřadnicemi) na základě souřadnic a hodnot okolních bodů. Jednotlivé interpolační metody mají svá specifika - volba metody závisí na použití a chybně zvolenou interpolační metodou může dojít k velmi nepřesným výsledkům (Ježek, 2015).

Ve vyjmenovaných nejčastěji používaných interpolačních metodách jsou zobrazeny grafy funkce  $y = \sin(x)$ . Pro přehlednost se jedná o 2D funkci, kterou lze vnímat jako řez 3D objektem. Modré body na obrázcích uvedených v této kapitole jsou body, jejichž  $y$  hodnoty jsou dány zmíněnou funkcí. Červené body jsou vypočteny na základě interpolace a jejich lineární propojení zajišťuje tenká přerušovaná červená čára.

#### 3.5.1 Metoda nejbližšího souseda

Metoda nejbližšího souseda (*Nearest neighbor*) patří k nejjednodušším interpolacím. Interpolovaný bod získá hodnotu nejbližšího bodu. Ve 3D interpolaci dochází k vytvoření polygonů s jednou neměnnou hodnotou, které jsou ohraničeny ostrými přechody. Interpolační metoda je zobrazena na obrázku č. 24.

Obrázek 24: Interpolace metodou nejbližšího souseda



Zdroj: Vlastní tvorba, Matlab

##### 3.5.1.1 Growing circle

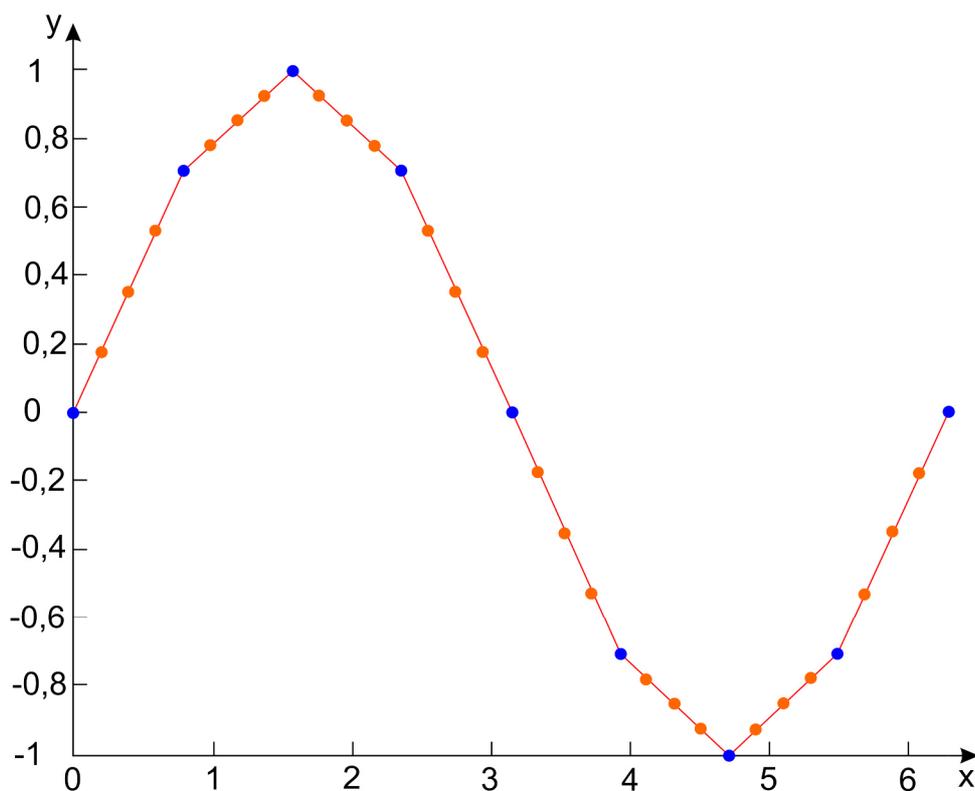
Metoda nejbližšího souseda pomocí šíření zóny vlivu bodu (*growing circle*) byla navržena autorem práce. Do pravidelné matice o velikosti budoucího obrázku jsou dány zdrojové body, které své parametry (barvu RGB) uloží na příslušné políčko v gridu. Tyto body

poté s každou iterací zvětšují svůj poloměr a "obarvují" tak svou barvou buňky, které ještě nemají přidělenou barvu. Pokud není v iteraci u daného bodu obarven ani jeden okolní bod (čili narazilo se na kraj matice, nebo jsou již všechny okolní buňky zabarveny ostatními body), je tento bod ze seznamu bodů vyloučen a v další iteraci se s ním již nepočítá. Program provádí iterace do té doby, než je seznam s body vyprázdněn. Poté je interpolace dokončena a všechny buňky z matice mají přidělenou barvu.

### 3.5.2 Lineární interpolace

Při použití lineární interpolace v daném bodě dochází k proložení dvou sousedících bodů úsečkou, z jejíž rovnice lze určit hodnotu v interpolovaném bodě. Je zobrazena na obrázku č. 25. Varianta ve 3D prostoru se nazývá bilineární.

Obrázek 25: Lineární interpolace



Zdroj: Vlastní tvorba, Matlab

### 3.5.3 Interpolace IDW

Metoda inverzních vzdáleností (*Inverse Distance Weighing*) je založena na váženém průměru, jehož váhy jsou nepřímo úměrné nějaké mocnině (nejčastěji 2.) vzdálenosti mezi interpolovanými a datovými body. Pokud je datový bod blíže, má větší vliv na výsledek. Zinterpolovaná křivka má hladký průběh a je zobrazena na obrázku č. 26.

Vzorec 3D varianty (Ježek, 2015):

$$z_0 = \frac{\sum \frac{1}{r_k^\alpha} \cdot z_i}{\sum \frac{1}{r_j^\alpha}} \quad (47)$$

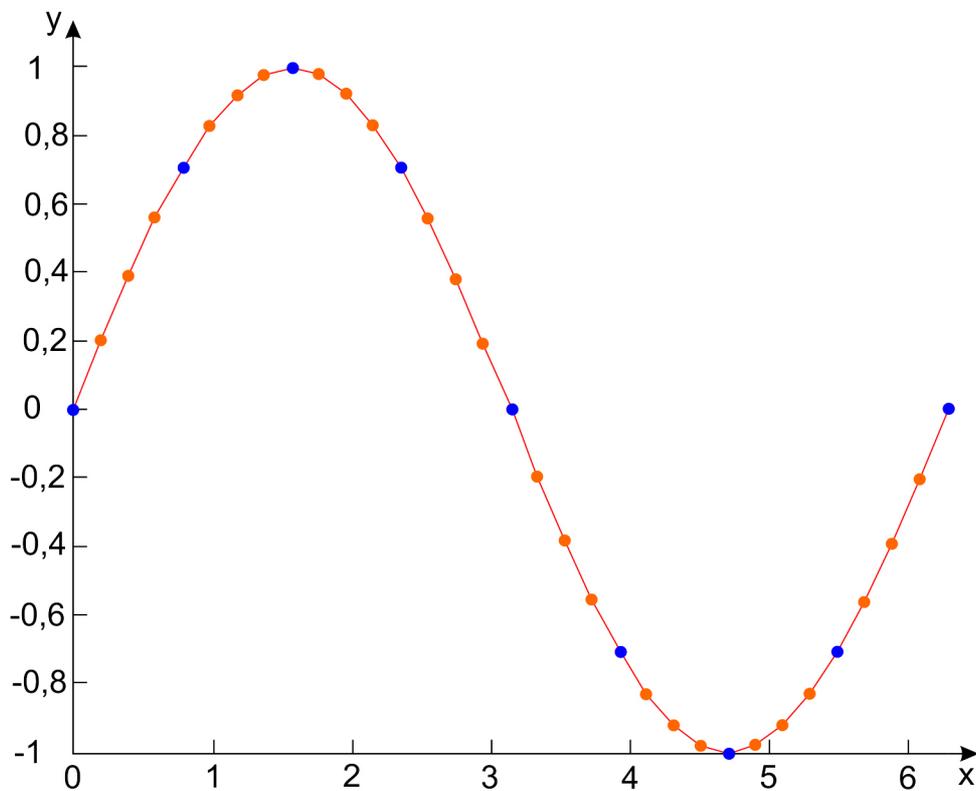
$z_0$  - zinterpolovaná hodnota

$z$  - datové body

$r$  - vzdálenosti interpolovaného bodu od datových bodů

$\alpha$  - použitá mocnina

Obrázek 26: *Interpolace IDW*



Zdroj: Vlastní tvorba, Matlab

### 3.6 Filtrace obrazu

Filtrace slouží ke zvýraznění nebo potlačení určité informace na snímku. Vzhledem k velkému rozsahu digitálních dat není technicky vhodné řešit tyto úlohy najednou v celém obraze. Užívá se posunujícího obrazového okénka, jakéhosi okolí pixelu, pro který vypočteme jeho novou hodnotu v závislosti na hodnotách sousedních pixelů v okénku. Nejčastěji se používá okolí 3x3 nebo 5x5 pixelů a nová hodnota se počítá pro středový pixel (Kolář, 1997).

Dle Koláře můžeme rozdělit filtry na 2 základní kategorie:

- filtry s nízkou propustností (low pass), které ořezávají vysoké frekvence v obraze (ztrácejí se ostře vystupující detaily)
- filtry s vysokou propustností (high pass), které zdůrazňují vysoké frekvence - jsou to zejména ostřicí filtry a hranové operátory.

#### 3.6.1 Low pass filtry

##### Průměrový filtr

Ve vyhledávacím okénku je spočten aritmetický průměr hodnot pixelů a dosadíme jej

po zaokrouhlení na celé číslo jako novou hodnotu středového pixelu (Kolář, 1997). Ukázka filtrovacího okénka je na obr. č. 27.

$$p(x, y) = \frac{1}{9} \cdot \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 f(x+k, y+l) \quad (48)$$

**Obrázek 27:** Průměrový filtr

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

Zdroj: Vlastní tvorba

### Mediánový filtr

Při této filtraci se počítá ve vyhledávacím okénku medián, tj. prostřední člen uspořádané posloupnosti všech hodnot ve zvoleném okolí. Poskytuje často lepší výsledky, než průměrový filtr (Kolář, 1997).

### Gaussův filtr

Filtrace je založená na vážené vzdálenosti, kde záleží na velikosti směrodatné odchylky  $\sigma$ , uvádí Fischer (2003). Ukázka filtrovacího okénka je na obr. č. 28.

$$p(x, y) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (49)$$

**Obrázek 28:** Gaussův filtr

	1	2	1
1/16*	2	4	2
	1	2	1

Zdroj: Vlastní tvorba

## 3.6.2 High pass filtry

Zdůrazňují vysoké frekvence v obraze, jsou proto vhodné pro detekci hran a přechodů.

### Laplaceův filtr

Laplaceův filtr definován tak, že hodnota vah středového členu je rovna součtu vah sousedních členů a zároveň suma všech vah je rovna nule (Kolář, 1997).

Varianta se 4 směry je zobrazena na obr. č. 29.

$$p(x, y) = 4f(x, y) - f(x-1, y) - f(x, y-1) - f(x, y+1) - f(x+1, y) \quad (50)$$

**Obrázek 29:** Laplaceův filtr - 4 směry

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

Zdroj: Vlastní tvorba

Varianta s 8 směry je zobrazena na obr. č. 30.

$$\begin{aligned}
 p(x, y) = & 8f(x, y) - f(x - 1, y - 1) - f(x - 1, y) - f(x - 1, y + 1) - \\
 & -f(x, y - 1) - f(x, y + 1) - f(x + 1, y - 1) - f(x + 1, y) - f(x + 1, y + 1)
 \end{aligned}
 \tag{51}$$

**Obrázek 30:** Laplaceův filtr - 8 směrů

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Zdroj: Vlastní tvorba

Varianta použitelná na zvýšení ostrosti hran obrazových dat dle Wanga (2006) je zobrazena na obr. č. 31.

$$\begin{aligned}
 p(x, y) = & 1/8 \cdot [16 \cdot f(x, y) - f(x - 1, y - 1) - f(x - 1, y) - f(x - 1, y + 1) - \\
 & -f(x, y - 1) - f(x, y + 1) - f(x + 1, y - 1) - f(x + 1, y) - f(x + 1, y + 1)]
 \end{aligned}
 \tag{52}$$

**Obrázek 31:** Laplaceův filtr - zostrnění snímku

	-1	-1	-1
1/8*	-1	16	-1
	-1	-1	-1

Zdroj: Vlastní tvorba

## 4 Návrh metodiky

Na základě literární rešerše a důkladného seznámení se s oblastí digitalizace glóbu je patrné, že nejvýhodnější digitalizační metodou se jeví *Structure from motion*, jež by měla být náležitě přepracována. Pro efektivní a snadné zpracování jsou navrženy následující cíle:

**1) Výpočet nastavení fotoaparátu** umožňuje definovat základní parametry projektu. Jsou brány v potaz následující charakteristiky:

- velikost a rozlišení snímače
- konstanta kamery
- minimální zaostřovací vzdálenost objektivu
- vzdálenost objektivu fotoaparátu od glóbu

Na základě těchto charakteristik lze určit velikost zorného pole a potřebnou hloubku ostrosti. Pokud je aktuální hloubka ostrosti snímku vyšší, než je teoreticky potřebná hloubka ostrosti, lze konstatovat, že snímek bude na celé své ploše ostrý.

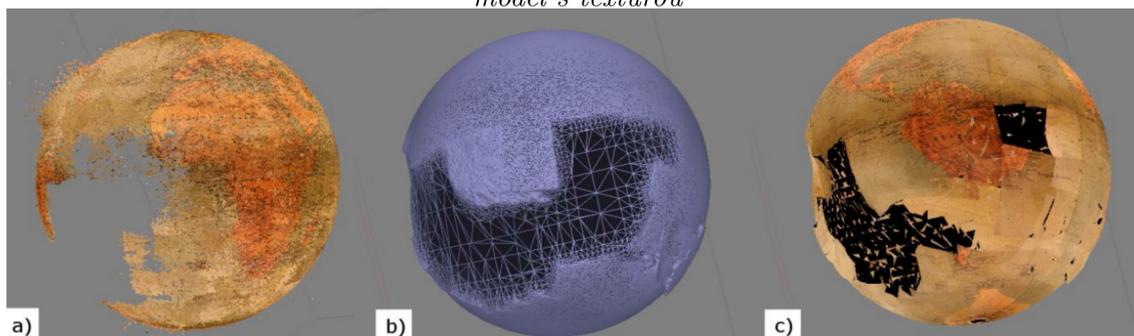
Z velikostí zorného pole, snímače a glóbu lze také přibližně určit výstupní rozlišení glóbu.

**2) Určení potočení glóbu při snímkování** v závislosti na poloměru glóbu, konstantě komory a požadovaných přesazích eliminuje vznik nedostatečně pokrytých oblastí a slouží jako prevence před vznikem děr v modelu. Ukázka chybně vytvořeného modelu s dírami je na obr. č. 32.

Systematické a poměrně přesné snímkování řeší v současnosti pouze snímkovácí zařízení Ing. Talicha (viz kapitola 2.2).

**Obrázek 32:** Ukázka chybného vytvoření modelu

a) mračno bodů s chybějící částí v oblasti oceánu, b) vygenerovaná polygonová síť, c) model s texturou



Zdroj: Bílá (2013)

**3) Zpracování 3D modelu** glóbu proběhne pomocí programu Agisoft PhotoScan. Na rozdíl od současného postupu prof. Pavelky, jenž extrahoval vygenerované textury modelu glóbu, je výhodné využít export bodového mračna obsahujícího polohovou a barevnou (RGB) složku. Vlastní 3D model sice bude v SW PhotoScan vytvořen, poslouží však ke geo-referencingu a k rychlému zhodnocení kvality generovaného modelu formou náhledu.

4) **Transformace zeměpisných souřadnic na zobrazení** bude záviset na zvolené distribuci glóbu. Nabízí se zde převody do základních zobrazení typu Mercatorovo a Marinovo zobrazení.

5) **Interpolace bodového mračna** do rastru umožňuje vytvoření georeferencovaného snímku, který bude představovat povrch glóbu. Rastr musí být vytvořen velmi efektivní interpolací.

Pokud bude vstupní bodové mračno obsahovat 1 miliardu bodů a výstupní rastr bude mít rozlišení 10 GPix (10 000 MPix - odpovídá přibližně 2000 snímkům o velikosti 18MPix včetně překryvů), musí počítač zpracovat základním algoritmem hledání nejbližšího souseda  $10^9 \cdot 10^{10} = 10^{19}$  cyklů, což odpovídá (při rychlosti zpracování v jazyce Java  $10^9$  cyklů/s) času 317 let.

Je nutno si vytvořit vlastní třídící a vyhledávací algoritmus, jež umožní efektivně interpolovat data. Nabízí se použití struktury typu Quadtree, nebo K-D tree, které mají asymptotickou vyhledávací složitost  $O = \log(n)$ , takže na interpolaci potřebují jen  $10^{10} \cdot \log(10^9) = 2.0723 \cdot 10^{11}$  cyklů. Vyhotovení rastru by využilo (se zanedbáním čtení/ukládání) v ideálně optimalizovaném případě 207 sekund výpočetního času PC. Optimalizace radikálně sníží výpočetní čas a umožní vytváření velice rozměrných GeoTIFF v akceptovatelném čase minut až hodin.

V článcích, popisujících digitalizaci glóbů, není uveden žádný čas výpočtu. Pouze od prof. Pavelky byla sdělena informace, že SW, jenž využívá spolu s Bílou, zpracuje 10 MPix texturu v řádu dní. Je předpoklad, že ostatní výzkumné skupiny také mohou využívat silně neoptimalizovaný software. Kromě nevhodné distribuce glóbu je to jeden z hlavních důvodů, proč nemohou produkovat glóby ve velmi vysokém rozlišení.

6) **Filtrace snímku** umožňuje eliminovat obrazové nedostatky vzniklé nesprávnou detekcí bodů a také případně zvýraznit hrany.

7) **Výstupní formát** bude závislý na distribuci glóbu.

- Optimalizovaná verze využívající Mercatorovo zobrazení bude prezentována pomocí technologie WebGL Earth.
- Verze pro prezentační účely bude zveřejněna v běžných 3D formátech typu \*.obj, nebo \*.pdf včetně internetového prohlížeče.
- Verze pro GIS bude založena na georeferencovaných snímcích a bude ji možno publikovat například jako WMS službu.

Kombinace fotogrammetrické metody *Structure from motion*, patřící v současné době mezi nejdynamičtější se rozvíjející technologie v oblasti zpracování obrazu, a vlastního algoritmu zpracování 3D modelu umožní digitalizovat různorodé glóby ve velmi vysoké kvalitě. Nabídne vyšší rychlost zpracování, než umožňují ostatní metody, a poskytne také podstatně jemnější rastr s vyšším rozlišením. Na rozdíl od ostatních metod algoritmus efektivně zpracuje data a zároveň uživatel bude mít celý proces tvorby modelu pod kontrolou a je možnost verifikace mezivýsledků. Výsledný model může být exportován do formátů, jež jsou vhodné k internetové distribuci modelu, nebo ke tvorbě kopie glóbu či kartometrii. Nespornou výhodou navržené metody je i možnost efektivního poloautomatického snímání. Proces digitalizace glóbu bude moci obsluhovat i proškolená osoba, která nemá odborné geografické vzdělání.

## 5 Aplikace

V aplikační části je detailně popsán postup zpracování glóbu včetně praktických ukázek.

### 5.1 Zpracovávané glóby

V rámci práce byly zpracovány 3 glóby:

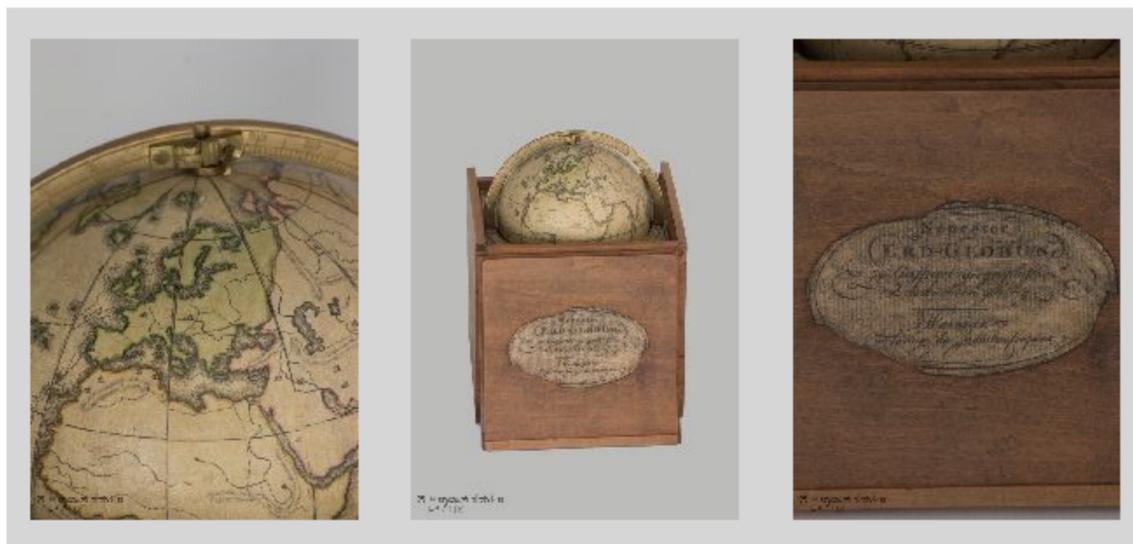
#### Neuester Erd-Globus, alias glóbus G5

Základní informace o glóbu jsou uvedeny v tabulce č. 4 a glóbus je zobrazen na obrázku č. 33 a výsledný model je uveden v příloze (str. č. 80) a na CD.

**Tabulka 4:** *Neuester Erd-Globus - glóbus G5*

Autorské údaje:	Güsfefeld, Franz L. (Ludwig), 1744-1807
Nakladatelské údaje:	Weimar : im Verlage des Industrie Comptoirs, [1781?]
Fyzický popis:	barevný, 12 mědirytových papírových dílů na sádře, mosazný poledníkový kruh s vyrytou stupnicí, průměr 11 cm, v dřevěné krabici 13x14x14 cm
Výška glóbu	15 cm
Poloha nultého poledníku	nultý poledník probíhá ostrovem Ferro
Vlastník autorských práv a zdroj informací:	Mapová sbírka PřF UK

**Obrázek 33:** *Neuester Erd-Globus - glóbus G5*



Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

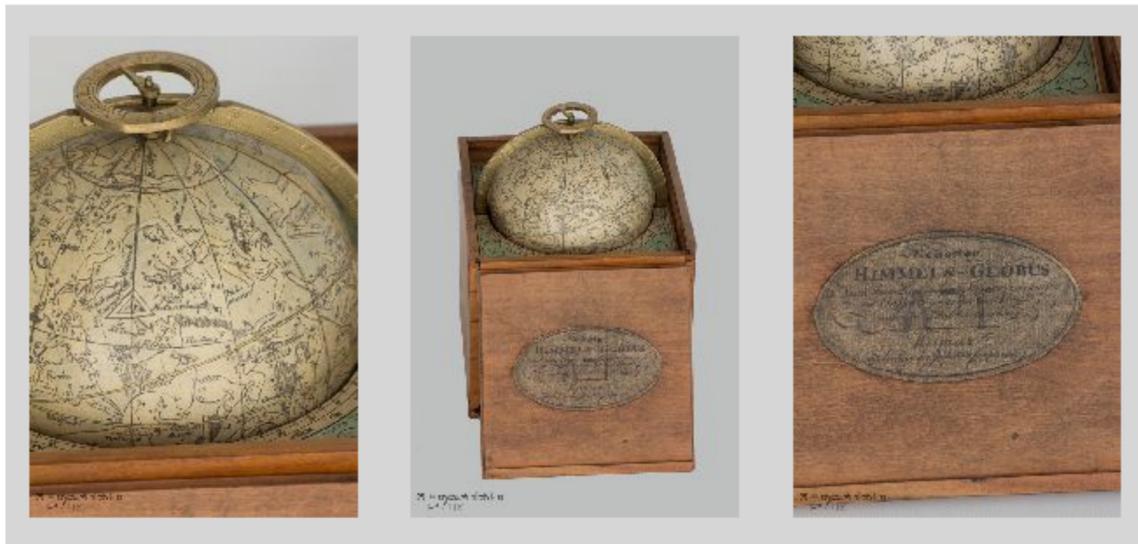
### Neuester Himmels-Globus, alias glóbus G6

Základní informace o glóbu jsou uvedeny v tabulce č. 5 a glóbus je zobrazen na obrázku č. 34 a výsledný model je uveden v příloze (str. č. 82) a na CD.

**Tabulka 5:** *Neuester Himmels-Globus - glóbus G6*

Autorské údaje:	Güsefeld, Franz L. (Ludwig), 1744-1807
Nakladatelské údaje:	Weimar : im Verlage des Industrie Comptoirs, 1798
Fyzický popis:	barevný, 12 mědirytových papírových dílů na sádře, mosazný poledníkový kruh s vyrytou stupnicí a ručičkou, volně přiložený mosazný časový terč, průměr 11 cm, v dřevěné krabičce 13x14x14 cm
Výška glóbu	15 cm
Vlastník autorských práv a zdroj informací:	Mapová sbírka PřF UK

**Obrázek 34:** *Neuester Himmels-Globus - glóbus G6*



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK*

**Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe, alias Reliéfní glóbus**

Základní informace o glóbu jsou uvedeny v tabulce č. 6 a glóbus je zobrazen na obrázku č. 35 a výsledný model je uveden v příloze (str. č. 84) a na CD.

**Tabulka 6:** *Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe - Reliéfní glóbus*

Nakladatelské údaje:	geo-institut Columbus GmbH
Fyzický popis:	barevný, průměr 63 cm, stojan libovolně nastavitelný kolem všech os, převýšený reliéf
Převýšení reliéfu	nadmořské výšky 0-1000 m 60x, vyšší nadm. výšky a moře 40x
Výška glóbu	119 - 130 cm
Vlastník autorských práv:	geo-institut Columbus GmbH
Zdroj informací	1-World Globes (2017)

**Obrázek 35:** *Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe - Reliéfní glóbus*



*Zdroj: 1-World Globes (2017)*

## 5.2 Snímkování

### 5.2.1 Fotografické přístroje

Snímkování probíhalo s využitím fotoaparátů Canon EOS 60D (detaily uvedeny v tabulce č. 7) s objektivem Canon EF-S 18-135mm f/3,5-5,6 IS a Canon EOS 5D Mark IV (detaily uvedeny v tabulce č. 8) s objektivem Canon EF 24-105mm f/4L IS II USM. Zmíněné fotoaparáty i s objektivy jsou zobrazeny na obrázku č. 36.

**Tabulka 7:** *Canon EOS 60D*

Velikost snímacího senzoru:	22,3 × 14,9 mm
Typ snímacího senzoru	CMOS
Doba expozice	1/8000 s až 30 s
Velikost snímku:	5184 × 3456 = 17,916 MPix
Zdroj informací:	Canon EOS 60D (2017)

**Tabulka 8:** *Canon EOS 5D Mark IV*

Velikost snímacího senzoru:	36 × 24 mm
Typ snímacího senzoru	CMOS
Doba expozice	1/8000 s až 30 s
Velikost snímku:	6720 × 4480 = 30,106 MPix
Zdroj informací:	Canon EOS 5D Mark IV (2017)

**Obrázek 36:** *Fotoaparáty Canon EOS 60D a Canon 5D Mark IV*

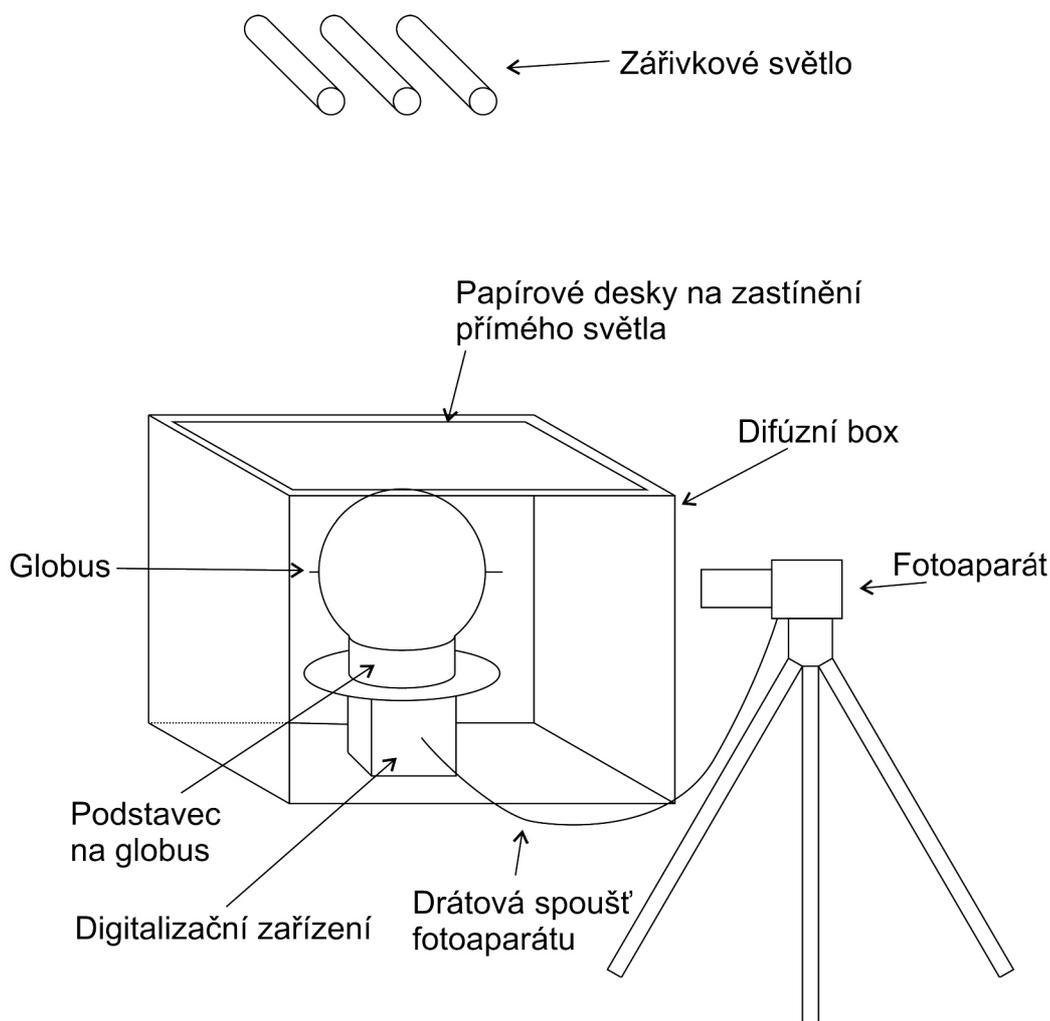


*Zdroj: Archiv autora*

S fotoaparátem Canon EOS 60D byly nasnímány glóby G5 a G6 a fotoaparátem Canon EOS 5D Mark IV byl nasnímán Reliéfní glóbus (charakteristiky všech glóbů jsou popsány v kapitole 5.1).

### 5.2.2 Ateliérové vybavení a jeho nastavení

Obrázek 37: Schéma snímání



Zdroj: Vlastní tvorba

Jelikož nebyl k dispozici plně vybavený ateliér, pouze archiv s glóby, bylo nutno improvizovat na místě s dostupnou fototechnikou. Z materiálních a prostorových důvodů proběhlo snímání glóbů v difúzním boxu s použitím zdejších běžných zářivkových světel na stropě. Aby se předešlo reflexním odrazům světla, jak bylo popsáno v kapitole 3.1.3, bylo nutno některé části difúzního boxu zastínit deskami nebo látkou. Situaci znázorňuje obr. č. 37.

Pro zajištění neutrální barvy snímků při zpracování je vhodné na pozici glóbu umístit šedou tabulku a vytvořit referenční snímek.

### 5.2.3 Výpočet nastavení parametrů snímání

Pro snadné určení ostřicí vzdálenosti, nastavení clony a výpočtu pootočení glóbu byl navržen program, který dokáže tyto hodnoty určit. Tento program je napsán v programovacím jazyce Java a je uložen v příloze na CD.

Obrázek 38: Kalkulátor ostřicí vzdálenosti a clony

Kalkulátor ostřicí vzdálenosti a clony

Vzdálenost objektivu od glóbu [mm]:	500
Konstanta kamery [mm]:	50
Rozptylový kroužek [mm]:	0.030
Poloměr glóbu [mm]:	150
Šířka senzoru [mm]:	36
Výška senzoru [mm]:	24
Rozlišení senzoru [MPix]:	30
Rezerva přesahu [%] (doporučeno 10 - 30):	20
Nejmenší zaručený počet přesahů:	4

**Spočítej**

Odhad počtu pixelů glóbu v Marinově zobrazení: 167 MPix  
 Nejvzdálenější ostrá vzdálenost: 632,46 mm  
 Ostřicí vzdálenost: 558,49 mm  
 Nejnižší clona zaručující ostrost: 17,46  
 Nejvyšší použitelná clona bez limitace objektivu: 11,58  
 Pootočení glóbu v horizontálním směru: 29,26°  
 Pootočení glóbu ve vertikálním směru: 31,88°

**Na snímku bude vidět pozadí glóbu.**

Zdroj: Vlastní tvorba

Vstupní proměnné jsou následující:

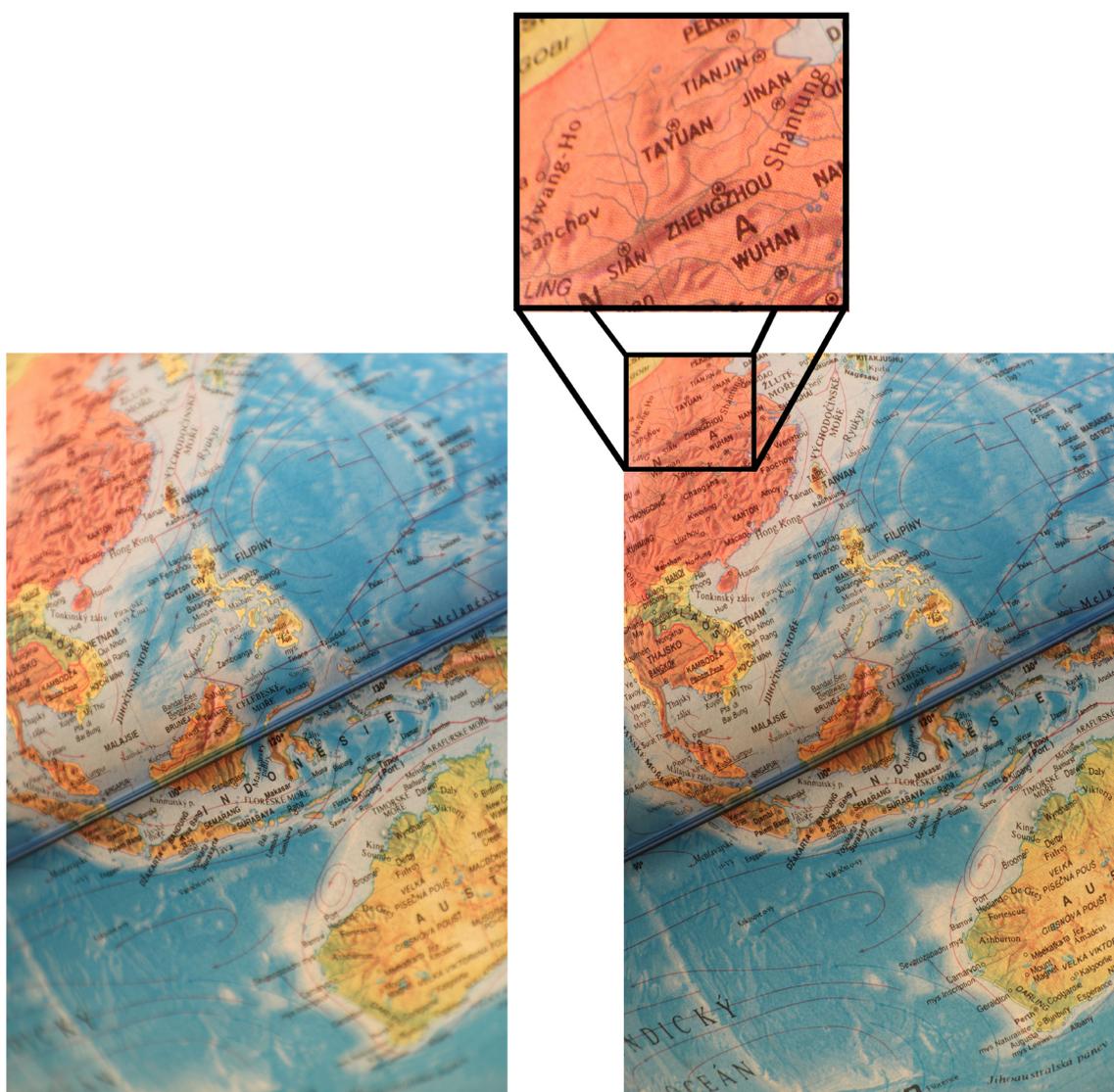
- $D_n$  - nejkratší vzdálenost ohniska od povrchu glóbu [mm]
- $f$  - konstanta kamery [mm]
- $c$  - rozptylový kroužek (*angl.* circle of confusion) [mm]
- $R$  - poloměr glóbu [mm]
- $a$  - šířka snímacího senzoru [mm]
- $b$  - výška snímacího senzoru [mm]
- $res$  - rozlišení snímacího senzoru [MPix]
- $\delta$  - rezerva přesahů [%]
- $q$  - nejmenší požadovaný počet překryvů

Program, jehož grafický interface znázorňuje obr. č. 38, využívá vzorce uvedené v kapitole 3.1.1 a je doporučeno dle získaných výsledků adekvátně nastavit fotoaparát. Nejnižší clona zaručující ostrost je parametr, který zajistí adekvátní hloubku ostrosti

na celém snímku včetně rohů. Obrázek č. 39 ukazuje 2 snímky, které byly pořízeny s clonou 4 a 22, přičemž 22 je maximální clonové číslo použitého objektivu. Clonu 17,5, kterou určil program (viz obr. č. 38), lze na objektivu poměrně přesně nastavit. Limitní clona je však pro tento fotoaparát 11,58. V tomto případě se doporučuje změnit některé z parametrů snímkování (konkrétně vzdálenost objektivu od glóbu, nebo konstanu kamery), aby objektiv snímek nedegradoval. Nicméně i s clonou o několik čísel vyšší se snímek jeví kvalitní. Pokud je vypočtená clona vyšší, než lze na objektivu nastavit, autor práce doporučuje nastavit na objektivu maximální clonu, jelikož si zpracovatelský SW s drobnou neostrotí v rozích snímků poradí. Praktické ukázky vlivu velikosti clony na glóbus jsou zobrazeny na obr. č. 39.

Je vhodné snímat glóbus s takovými parametry snímání, aby nebylo vidět pozadí glóbu. V případě většího a výraznějšího pozadí může dojít k chybnému spojení snímků.

Obrázek 39: Hloubka ostrosti -  $F/4$  a  $F/22$



Zdroj: Vlastní tvorba, archiv autora, neznámý školní glóbus

### 5.2.4 Snímání a automatizované snímkové zařízení

Jak bylo řečeno v kapitole 3.1.2, existují 2 základní případy, které mohou nastat při snímání glóbu:

- Statický glóbus a fotoaparát během snímkování mění polohu.
- Glóbus, který je možno otáčet kolem své osy nebo lze vyjmout. Fotoaparát je zde statický.

**Obrázek 40:** *Modifikované snímkové zařízení - Gigapan Epic Pro*



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK*

V prvním případě je nutno fotoaparát manuálně přesouvat a neustále přestřevovat. Ostřicí vzdálenost a doporučený úhel pootočení lze určit za pomoci programu uvedeného v kapitole 5.2.3. Za této situace, kdy se fotoaparát musí pohybovat kolem glóbu, platí důležitá zásada: pokud si zhotovitel není jistý, jestli nasnímkoval s dostatečnými překryvy danou

oblast, raději by měl danou oblast přesnímkovat znovu, aby nevznikly mezery. Lépe je více překrývajících se snímků, než méně. Je zde bohužel příliš velký prostor k chybám zhotovitele glóbu.

Druhý případ umožňuje efektivnější snímání. Glóbus lze postavit na otočný podstavec, kterým je možno pohybovat vždy o určitý úhel, a usnadnit si tak práci a redukovat čas snímání. Pokud je glóbus správně vycentrován, nastane velká výhoda - není potřeba při každém pootočení glóbu přestřovat fotoaparát.

Výhodné a užitečné vylepšení se skýtá ve využití automatických otočných zařízení. Z důvodu absence plně automatického digitalizačního zařízení (Talich, 2013 - kapitola 2.2) bylo pro snímání většiny glóbů využito automatické snímkové zařízení sloužící původně ke tvorbě panoramatických fotografií - Gigapan Epic Pro (viz obr. č. 40). Je zde možnost velmi bohatého nastavení - mezi nejdůležitější prvky patří: nastavení doby expozice, úhel pootočení mezi dvěma sousedícími snímky, rychlost motorů, nastavení délky pauzy po pootočení (aby se zabránilo rozmazání snímku kvůli vibracím).

Pro potřeby digitalizace glóbů byl ze zařízení vyjmut držák fotoaparátu, který původně pohyboval fotoaparátem ve vertikálním směru. Zařízení bylo otočeno a umístěno na podstavec vyrobený na míru. Otvor se šroubem, který původně sloužil k upevnění panoramatické hlavy ke stativu, je nyní nahoře a je do něj namontován držák s vypolstrovaným okrajem, do kterého je usazen glóbus. Glóbus by měl být usazen s osou umístěnou vodorovně.

Pomocí propojovacího kabelu 2,5mm jack je snímkové zařízení připojeno k fotoaparátu. Následuje výpočet hloubky ostrosti a výpočet pootočení glóbu (dle kapitoly 3.1.2). Zařízení je spuštěno, a když se během snímování otočí o 360°, samo se zastaví a uživatel začne rotovat glóblem kolem vodorovně umístěné osy glóbu (viz obrázek č. 14 na str. č. 25). Teoreticky je tato situace popsána v kapitole 3.1.2.

### 5.2.5 Úpravy snímků

Jednotlivé snímky byly upraveny v SW Adobe Photoshop Lightroom 6. Doporučené úpravy je nutno provést pro všechny snímky daného glóbu:

- Vyvážení bílé barvy dle referenčního snímku šedé tabulky.
- Drobné úpravy jasnosti a histogramu pro lepší zřetelnost snímku.

## 5.3 Tvorba 3D modelu

Modely glóbů byly vytvořeny v SW Agisoft Photoscan, který umožňuje automatizované vytvoření 3D modelu v několika krocích. Využívá průsekové fotogrammetrie (viz kapitola 3.2). Ukázkový projekt i se zdrojovými snímky je uveden na příloženém CD.

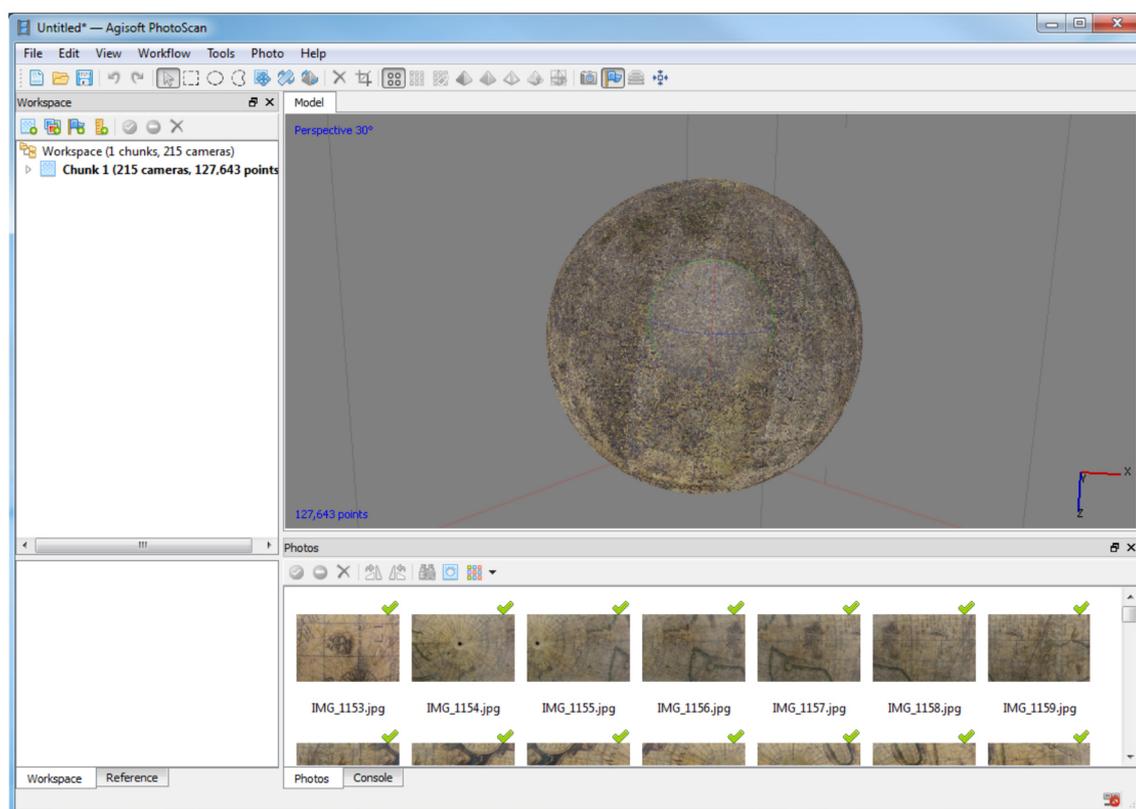
Na vstupu programu jsou snímky nasnímané dle kapitoly 5.2.4 a řádně upravené (kapitola 5.2.5). Distorze byla korigována při úpravě snímků. Je nutno zdůraznit, že dle návodu k použití (Agisoft, 2017) tento SW umožňuje automatickou korekci distorze objektivu pomocí Brownova distorzního modelu. Je zde také možnost využít modul, do kterého lze zadat parametry kalibrace:

- $f$  - konstanta kamory
- $c_x, c_y$  - souřadnice hlavního snímkového bodu
- $b_1, b_2$  - transformační koeficienty afinity a zkosení
- $k_1, k_2, k_3, k_4$  - koeficienty radiální distorze
- $p_1, p_2, p_3, p_4$  - koeficienty tangenciální distorze

Nicméně autor musí z praktických důvodů doporučit automatickou kalibraci - během snímkování se v některých případech musí přestřovat a díky přestřeni se také mírně změní konstanta kamery.

Snímky byly spojeny pomocí funkce *Align* s nastavením vysoké kvality. Obvykle je detekováno řádově několik desítek až stovek tisíc bodů. Výsledek detekce lze spatřit na obrázku č. 41. Detailnější bodové mračno je uvedeno v příloze na straně č. 81.

**Obrázek 41:** Základní bodové mračno



*Zdroj: Vlastní tvorba, SW Agisoft, Mapová sbírka PřF UK*

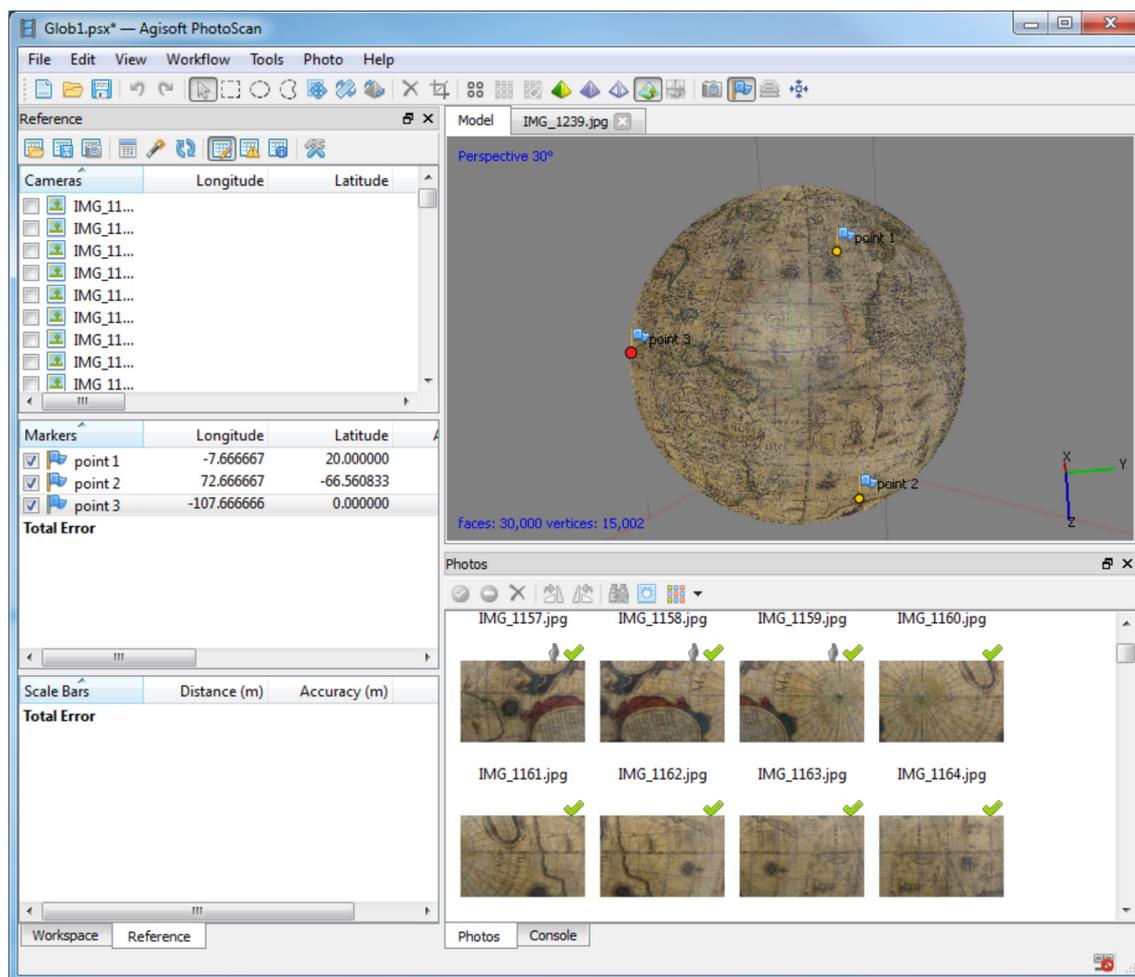
Dále je nutno globus zgeoreferencovat - pro usnadnění byla vytvořena trojúhelníková síť s 30 000 trojúhelníky a byly vygenerovány textury. Po této operaci byly určeny vlíčovací body pro georeferencování.

Uživatel by neměl při digitalizaci historických glóbů zapomenout na fakt, že se v minulosti také používaly jiné základní poledníky - v případě glóbu G5 se jedná o ferrský poledník. Ve zpracovatelském programu uvedeném v kap. 5.4 je při tvorbě georeferencovaných segmentů možnost si vybrat mezi souřadnicovým systémem definovaným greenwichským nebo ferrským poledníkem. V případě glóbu G5 stačí v SW PhotoScan georeferencovat glóbus dle jeho zeměpisné sítě (80° v. d. bude georeferencováno jako 80° v. d. od Greenwiche) a při zpracování stačí pouze zakliknout, že nultý poledník je ferrský. Uživatel si však tuto drobnost musí zapamatovat, nebo poznamenat. Při pouhé vizualizaci glóbu formou WebGL Earth nebo dalšími prohlížeči není nutné tento přepočít provádět.

Při georeferencování je také potřeba vyřešit rozpor mezi skutečností a kartografickou přesností glóbu. Jelikož dvojúhelníky mohou být nepřesně nalepeny na glóbu, běžně dochází na glóbech k nepřesnostem v řádu milimetrů. Pokud zvolíme více než 3 vlíčovací body,

dojde k deformaci modelu, jelikož SW se bude snažit docílit faktické přesnosti vlčovacíh bodů. Pokud jsou zvoleny právě 3 vlčovací body, glóbus je zgeoreferencován s nulovou odchylkou, avšak vlčovací body musí být kvalitně určeny neměly by být v místech, která budí podezření, že nejsou kartometricky správně. Autor práce se domnívá, že je výhodnější zvolit pouze 3 vlčovací body, které by však z důvodu odchylek měly být od sebe dosti vzdálené. Vlčovací body na glóbu zobrazuje obr. č. 42.

Obrázek 42: Vlčovací body na glóbu



Zdroj: Vlastní tvorba, SW Agisoft, Mapová sbírka PřF UK

Jednotlivé vlčovací body byly na příslušných fotografiích ručně zpřesněny. Photoscan poté znovu provedl zarovnání (*Align*) na vysokou kvalitu. Dále byla spuštěna funkce *Build Dense cloud* s kvalitativním parametrem *High*, která vytvoří zahuštěné bodové mračno. Tato operace vyžaduje v závislosti na požadované kvalitě velmi výkonný počítač, protože na méně výkonném stroji může trvat i několik dní.

Po vygenerování zahuštěného bodového mračna byly georeferencované body exportovány do textového souboru s následujícími parametry: zeměpisná šířka a délka (elipsoid WGS84), nadmořská výška a barevná složka (RGB bodů). Na těchto vyexportovaných bodech je postaven SW, který umožní vytvořit glóbus ve velmi vysokém rozlišení.

Pro získání modelu jakožto reálného 3D objektu (avšak v malém rozlišení) lze vytvořit trojúhelníkovou síť (doporučuje se v této fázi z kvalitnějšího zahuštěného bodového mračna)

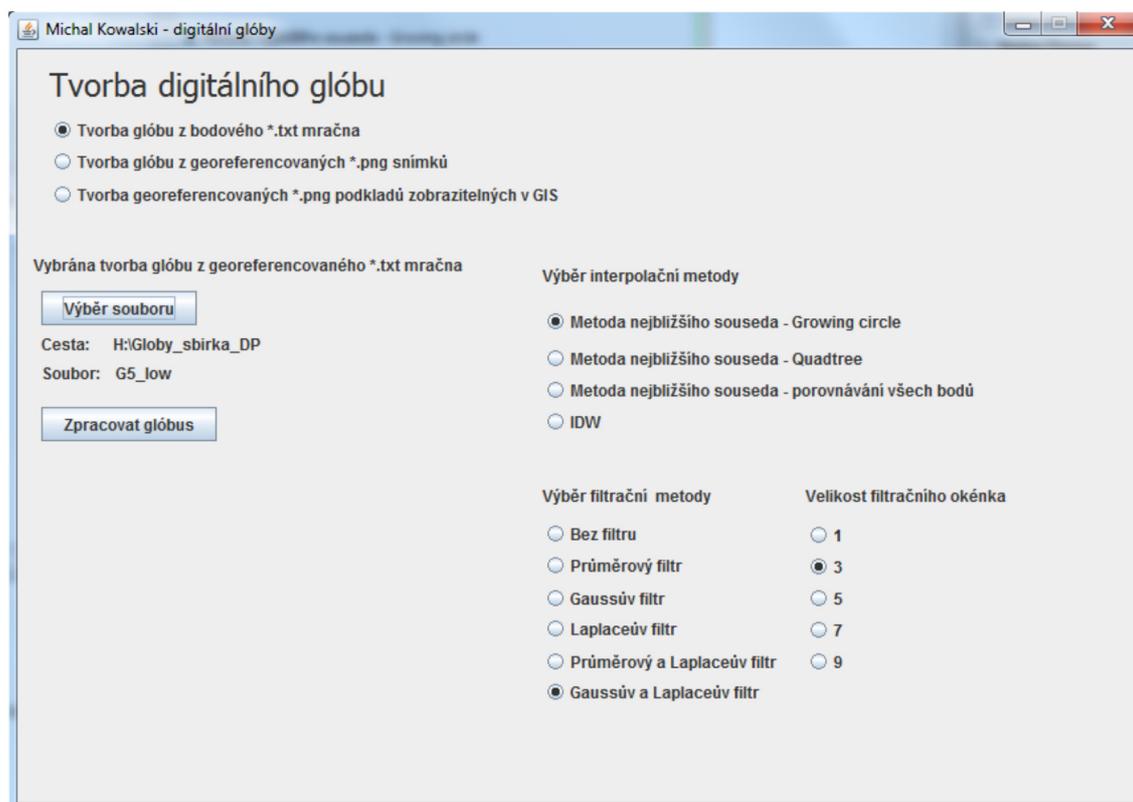
a na tento povrch nechat vytvořit texturu. Výsledný produkt lze exportovat do \*.obj souboru, který je velmi užívaný v 3D grafice a modelářství.

Tento formát s texturou má ale jednu velkou nevýhodu: není možno vygenerovat textury ve velmi vysokém rozlišení - Photoscan na to není koncipován, a také pravděpodobně neexistuje SW, který by dokázal online prohlížet 3D objekt s texturami v rozlišení větším, než je několik stovek megapixelů. Mimo jiné, finální produkt Bílé (2013) je 3D model glóbu s texturami v poměrně malém rozlišení a kvalitě. Proto je jako hlavní produkt této diplomové práce SW, který vyjde z bodového mračna (které má podstatně méně omezení) a poskytne tak zobrazování textur ve výrazně vyšší kvalitě. Nicméně autor práce připouští, že pokud zpracovatel nemá k dispozici PhotoScan ve verzi Professional, k vytvoření 3D modelu glóbu ve formátu \*.obj postačí standardní verze za podstatně nižší cenu, než je nabízena verze Professional. Tento nezgeoreferencovaný glóbus lze prohlížet například v JSC 3D vieweru (viz kapitola 5.7.2) a nebo v \*.pdf prohlížeči, kterému se věnuje kapitola 5.7.3.

#### 5.4 Tvorba glóbu z bodového mračna

Jak již bylo zmíněno v literární rešerši, velkou slabinou digitalizace glóbů je zpracování nedostatečná kvalita textury. Zpracovatelský SW PhotoScan dokáže generovat velice podrobná bodová mračna, se kterými ale nedokáže obstojně pracovat a generovat adekvátně kvalitní textury. Z tohoto důvodu byl vytvořen program, který dokáže zpracovat takřka libovolně velké georeferencované bodové mračno a zpracovat ho tak, aby šel glóbus vizualizovat a uchovat v adekvátní kvalitě.

**Obrázek 43:** Program na tvorbu glóbu z bodového mračna



*Zdroj: Vlastní tvorba*

Program byl vytvořen v programovacím jazyce Java a je optimalizován pro relativně nízké HW nároky. Využívá hojně metodu rozděl a panuj (*divide and conquere*) umožňující pomocí segmentace významně zrychlit běh programu. Tento program je také uveden v příloze na CD. Grafický interface je zobrazen na obr. č. 43. Workflow programu je znárodněno na obr. č. 44.

Hlavní část kódu programu je univerzální a nabízí se vytvoření 3 základních funkcí programu:

- **Tvorba glóbu z bodového \*.txt mračna** získaného ze SW Photoscan umožňuje vytvořit virtuální reprodukci glóbu ve vysoké kvalitě.
- **Tvorba glóbu z georeferencovaných \*.png snímků** dovoluje z libovolného počtu georeferencovaných \*.png snímků automaticky vytvořit 3D model glóbu. Metoda je vhodná pro zobrazování satelitních snímků. Tato specifická funkce je popsána v kapitole č. 5.5.
- **Tvorba georeferencovaných \*.png podkladů zobrazitelných v GIS** vytvoří z bodového mračna georeferencované segmenty, se kterými lze pracovat i v běžných GIS. S dosavadními výstupy nelze pohodlně pracovat, ledaže by uživatel zpracovával velké bodové mračno, na které však většina GIS nejsou koncipovány. Výstupy lze pohodlně prohlédnout v GIS a lze s nimi provádět analýzy, jelikož jsou georeferencovány. Nadstavba je podrobně popsána v kapitole č. 5.6.

#### 5.4.1 Vstupní data

##### Jméno glóbu

Cesta textovému souboru, kde je uloženo bodové mračno příslušného glóbu. Příklad:

```
"C:\\test\\globy\\Globus_hvezdny.txt"
```

##### Výběr interpolační metody

Lze zvolit ze 4 variant interpolace - bližší informace jsou uvedeny v kapitole č. 5.4.6.

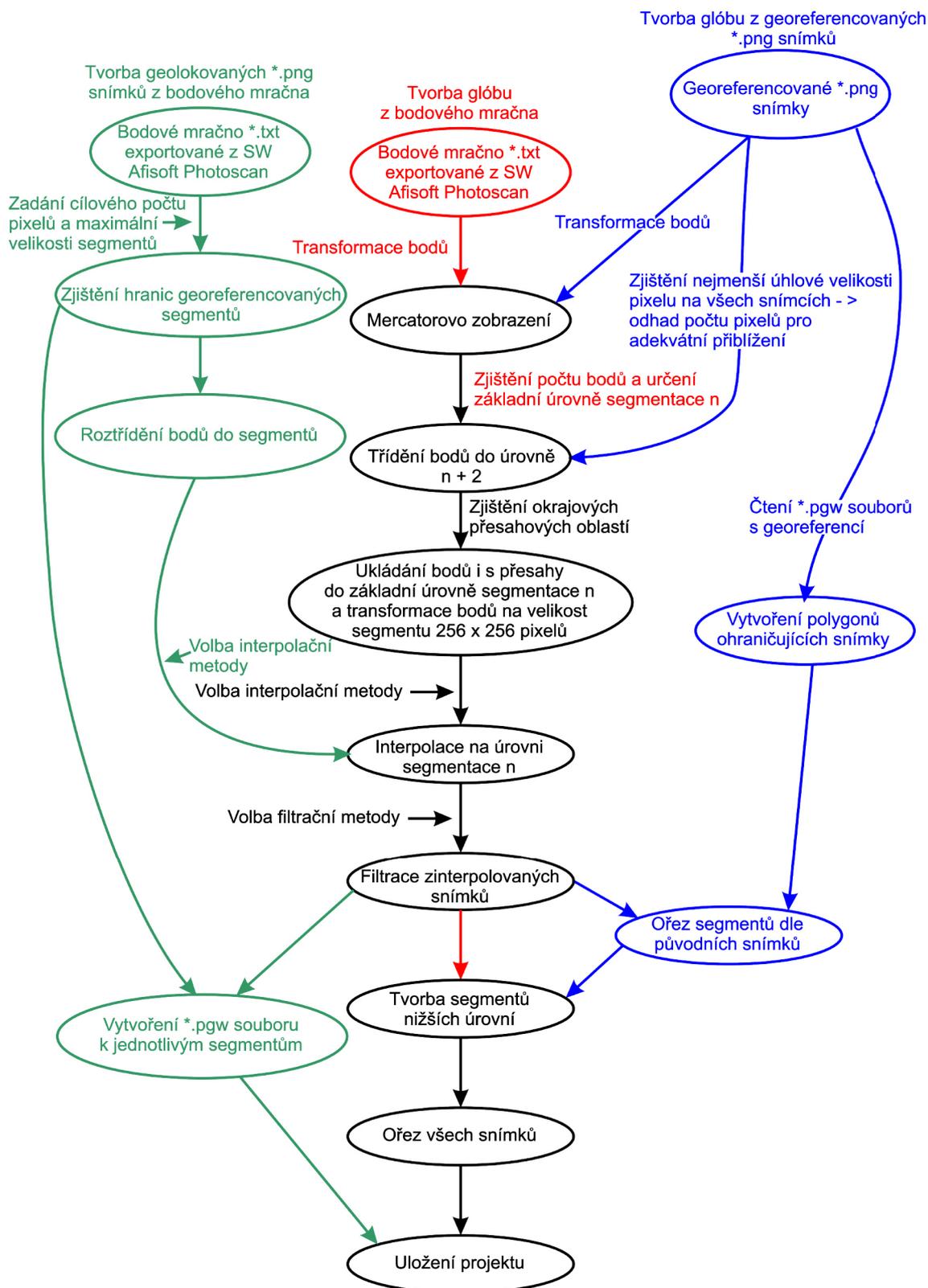
##### Výběr filtrační metody

Lze zvolit ze 6 variant filtrace a 5 velikostí filtrovacího okénka - bližší informace jsou uvedeny v kapitole č. 5.4.7.

#### 5.4.2 Zápis běhu programu

Během celého běhu programu se tvoří podrobná textová zpráva, ve které jsou zaznamenány všechny důležité události během tvorby glóbu - jejich přesný čas, délka trvání příslušného kroku, a také parametry projektu - např. počet vstupních bodů, výstupní rozlišení glóbu v MPix, počet úrovní segmentace, průměrný počet pixelů na segment.

Obrázek 44: Stručný náskres běhu programu



Zdroj: Vlastní tvorba

### 5.4.3 Mercatorovo zobrazení

Body exportované z programu Agisoft Photoscan (viz kapitola č. 5.3) jsou uvedeny ve formátu zeměpisné délky a šířky, avšak webová aplikace WebGL Earth (viz kapitola č. 5.7.1), která slouží k zobrazení virtuálního glóbu, vyžaduje segmenty definované v Mercatorově zobrazení (viz kapitola č. 3.4.2). Program souřadnice bodů zkonvertuje do Mercatorova zobrazení dle vzorců 44, 45 a 46.

Získané body jsou ještě podrobeny transformaci do souřadnicového systému, který je definován v kapitole č. 3.3.2.

V tomto kroku je také zjištěn počet bodů bodového mračna.

### 5.4.4 Zjištění základní úrovně segmentace

Tento krok určí základní úroveň segmentace, ze které jsou čerpána data v prohlížeči při největším přiblížení.

V základním nastavení má segment velikost  $256 \times 256 = 65536$  pixelů. Je zde proměnná *long limit*, která představuje 1/4 počtu pixelů v segmentu. Nastavení limitu určuje maximální přípustný průměrný počet bodů na segment základní úrovně segmentace. Limit si může uživatel nastavit vlastní.

Úroveň je pak v programu zjištěna příkazem:

```
level = (int)Math.ceil(Math.log10(Math.sqrt(pocet_bodu/limit))/Math.log10(2));
```

### 5.4.5 Segmentace a třídění

Při interpolaci (viz kapitola 3.5) jednotlivých segmentů může docházet ke vzniku nenavazujících spojů mezi dvěma sousedními segmenty, jelikož se oba segmenty interpolují separátně. Proto je vhodné vložit ke každému segmentu okolní body.

Předsegmentační třídění vyžaduje vytvoření úrovně o 2 vyšší, než je základní úroveň. Do nové úrovně jsou poté dávkovaně kopírovány jednotlivé body v Mercatorově zobrazení a jsou také přiřazeny do příslušného segmentu.

**Obrázek 45:** Tvorba základní úrovně segmentace ze subsegmentů

Ú. 5 S. 3,7	Ú. 5 S. 4,7	Ú. 5 S. 5,7	Ú. 5 S. 6,7	Ú. 5 S. 7,7	Ú. 5 S. 8,7
Ú. 5 S. 3,8	Ú. 5 S. 4,8	Ú. 5 S. 5,8	Ú. 5 S. 6,8	Ú. 5 S. 7,8	Ú. 5 S. 8,8
Ú. 5 S. 3,9	Ú. 5 S. 4,9	Ú. 5 S. 5,9	Ú. 5 S. 6,9	Ú. 5 S. 7,9	Ú. 5 S. 8,9
Ú. 5 S. 3,10	Ú. 5 S. 4,10	Ú. 5 S. 5,10	Ú. 5 S. 6,10	Ú. 5 S. 7,10	Ú. 5 S. 8,10
Ú. 5 S. 3,11	Ú. 5 S. 4,11	Ú. 5 S. 5,11	Ú. 5 S. 6,11	Ú. 5 S. 7,11	Ú. 5 S. 8,11
Ú. 5 S. 3,12	Ú. 5 S. 4,12	Ú. 5 S. 5,12	Ú. 5 S. 6,12	Ú. 5 S. 7,12	Ú. 5 S. 8,12

Úroveň 3  
Segment 1,3

Zdroj: Vlastní tvorba

Segmenty v základní úrovni jsou naplněny příslušnými body z předsegmentačního třídění včetně okrajových bodů (u okrajů kolem poledníku  $\lambda = 180^\circ$  je nutno provést přepočít souřadnic).

Aby bylo možno jednoduše vytvořit v segmentech jednotlivé rastry bez dalšího přepočítání souřadnic v dalších fázích zpracování segmentů, jsou všechny body v této fázi transformovány na velikost příslušného segmentu tak, aby hlavní část, která zůstane po ořezu, měla souřadnice 0-255 x 0-255 bodů. Okrajové části, které poslouží k interpolaci a filtraci, zde mají souřadnice x, y od -64 do -1 a od 256 do 320. O vlastním ořezu fotografií je také zmínka v kapitole 5.4.9.

Situaci nesprávně navazujících spojů znázorňuje obrázek č. 45, kde lze spatřit, že segment 7,11 úrovně 5 může ovlivnit výsledky interpolace v sousedních segmentech 3. úrovně - segmentech 1,4; 2,3 a 2,4. Na obr. č. 46 je zobrazen přechod mezi 4 sousedícími segmenty, u kterých nebyly brány v potaz přesahy při interpolaci. Tyto jevy lze spatřit především při velkém přiblížení.

**Obrázek 46:** *Chybné napojení 4 segmentů - velké přiblížení*



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK  
Pozn.: Část písmena "a"*

#### 5.4.6 Interpolace a její řízení

Uživatel programu má možnost si vybrat interpolační metodu, která zinterpoluje body daného segmentu a program poté vytvoří rastr. V programu jsou zahrnuty interpolační metody IDW a metoda nejbližšího souseda, které jsou uvedeny v kapitole č. 3.5.

Aby šlo jednoduše měnit metodu interpolace, je zde proto uděláno řízení interpolace, které spustí zvolenou interpolační metodu. Program si vytvoří seznam se všemi segmenty, jež je třeba zinterpolovat, a poté jsou tyto segmenty zpracovány. V tabulce č. 9 je uvedeno významné zrychlení interpolace díky paralelnímu zpracování.

**Tabulka 9:** *Přínos paralelního zpracování - globus G5*

Počet vláken procesoru	čas
1	45.0048 s
4	19.442 s

Dle dalšího měření segment 9,5 byl interpolován metodou *Growing circle* a filtrován Gaus-

sovým a Laplaceovým filtrem po dobu 0.247 sekund. Bohužel čtení bodů a zápis obrázku trval 0.396 sekund. Autor práce se domnívá, že kvůli zaneprázdnění počítače čtením a zápisem souborů nemůže být plně využit potenciál vícevláknových procesorů. Rychlost lze také ovlivnit použitím rychlejšího SSD disku nebo RAM disku.

Řízení vícevláknové interpolace probíhá následujícím způsobem:

Je zjištěn počet jader procesoru (fyzických i virtuálních) a nově vytvořeným vláknům je vždy ze seznamu segmentů přidělen jeden segment, jež je celý zpracován příslušným vláknem. Poté, co všechna vlákna přidělenou prací dokončí, jsou jim ze seznamu přiděleny další segmenty na zpracování. Tento proces se stále opakuje až do zpracování všech segmentů. Díky této strategii v systému nedojde ke kolizní situaci, kdy by již program začal tvořit segmenty nižší úrovně, zatímco některá opožděná vlákna by ještě pracovala na interpolaci. Ukázka řízení vícevláknové interpolace:

```
int thread_count = Runtime.getRuntime().availableProcessors(); //Zjistí pocet
    dostupnych logickyh procesoru
if(thread_count > 4) //Pokud je to vicejadrový procesory, jsou 2 vlakna prirazeny
    pro rezii SW
    thread_count -= 2;
Stack<String> st = new Stack<>(); //Zasobnik, od ktereho jdou ukladat textove
    soubory
for(int i=0; i< Math.pow(2, level); i++) //Program projde vsemi segmenty
{
    for(int j=0; j< Math.pow(2, level); j++){
        st.add(methode + " " + j + " " + i + " " + level + " " + Can + " " + path)
            ; //Pro kazdy segment vyrobi textovy retezec s udaji, který bude
            pridelen jadru.
    }
}
int arr_size = st.size();
int cn = 0;
while(!st.empty()){
    ArrayList<MyThread> threads = new ArrayList<MyThread>(); //Seznam vlaken
    int cnt = 0; // Pokud je zasobnik vycerpan, tato promenna zaruci, ze vlakna
        nebudou brát informace z prazdneho zasobniku
    for(int i = 0; i < thread_count; i++){ //Do te doby, nez je zasobnik prazdny,
        bude kazde vlakno zaukolovano
        if(!st.empty())
        {
            MyThread v = new MyThread(st.pop()); //Vytvori vlakno s informaci o
                danem segmentu
            threads.add(v); //Vlozi vlakno do seznamu vlaken
            cnt++;
            cn++;
        }
    }
    for(int i = 0; i < threads.size(); i++){
        if(i < cnt)
        {
            threads.get(i).start(); //Inicializace vlakna
        }
    }
    for(int i = 0; i < threads.size(); i++){
        if(i < cnt){
            try{
                //v.join();
            }
        }
    }
}
```

```

        threads.get(i).join(); //Program pocka, nez jsou vsechna vlakna
            dokoncena.
    }
    catch(InterruptedException ie){
        ie.printStackTrace();
    }
}
}
}
System.out.println(cn + " of " + arr_size + " segments");
}

```

Zajímavostí tohoto kódu je posílání informací o daném segmentu příslušným vláknům. Jednotlivá vlákna si musí tyto informace detekovat a podle toho zvolí správnou metodu interpolace správného segmentu. Ukázka kódu:

```

package Globe_from_raster;
import java.io.IOException;
import java.util.logging.Level;
import java.util.logging.Logger;

class MyThread extends Thread {
    public MyThread(String par) {
        super(par);
    }
    @Override
    public void run() {
        String s = getName();
        String [] splited = s.split(" "); //zjisteni promennych z textoveho
            retezce
        int methode = Integer.parseInt(splited[0]);
        int i = Integer.parseInt(splited[1]);
        int j = Integer.parseInt(splited[2]);
        int level = Integer.parseInt(splited[3]);
        String path = splited[5];
        int Can = Integer.parseInt(splited[4]);

        try{
            switch (methode) {
                case 1: Globus.Interpolation_circle(i, j, level, path, Can); //
                    Interpolace metodou Growing circle
                    break;
                case 2: Globus.Interpolation_quadtree(i, j, level, path, Can); //
                    Interpolace metodou nejbližseho souseda s vyuzitim quadtree
                    struktury
                    break;
                case 3: Globus.Interpolation_nn(i, j, level, path, Can); // Metoda
                    nejbližsiho souseda - prohleda vsechny prvky v seznamu
                    break;
                case 4: Globus.Interpolation_IDW(i, j, level, path, Can); //
                    Interpolace metodou IDW
                    break;
            }
        }
        catch (IOException ex) {
            Logger.getLogger(MyThread.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex)
                ;
        }
    }
}

```

}  
}

Dvě základní použité interpolační metody - tj. metoda Nejbližšího souseda a IDW jsou zobrazeny na obrázku č. 47. Jako ukázkové segmenty byly zvoleny segmenty 0,1 a 6,8 ze 4. úrovně glóbu G5.

Jednotlivé interpolační metody jsou různě časově náročné (viz tabulka č. 10).

**Tabulka 10:** *Rychlost interpolace*

Segment	0,1 - 4. level
Velikost segmentu:	256 x 256 pixelů
Počet zdrojových bodů:	1433
<b>Doba interpolace:</b>	
<i>Growing circle</i> NN:	0.329 s
Čas interpolace metodou IDW:	8.746 s
Segment	6,8 - 4. level
Velikost segmentu:	256 x 256 pixelů
Počet zdrojových bodů:	133874
<b>Doba interpolace:</b>	
<i>Growing circle</i> NN:	0.699 s
Čas interpolace metodou IDW:	13 min 19.360 s

Jak je patrné z tabulky, tak se vzrůstajícím počtem bodů roste také čas zpracování. V případě nízké hustoty bodů je metoda *Growing circle* rychlejší 27krát než metoda IDW. V případě vysoké hustoty bodů je však dle měření až 1144krát rychlejší. Z důvodu časové úspory při zpracování glóbu je proto jako hlavní interpolační metoda v této práci zvolena metoda *Growing circle*.

**Obrázek 47:** *Interpolační metoda Growing circle a IDW - 2. mocnina*



Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK

### 5.4.7 Filtrace

Jak bylo řečeno v kapitole 3.6, filtrace slouží ke zvýraznění, nebo potlačení určité informace na snímku. Z předchozí kapitoly vyplývá, že nejpoužitelnější metodou interpolace se jeví metoda *Growing circle*, která však produkuje ostré přechody (viz obr. č.47), je potřeba tyto přechody pomocí vhodně zvoleného filtru vyhladit.

Testování probíhalo na glóbu G5 - konkrétně se jednalo o výřez ze segmentu 9,5 úrovně 4. Výsledky pro jednotlivé metody jsou zobrazeny na obrázcích č. 48, 49, 50, 51 a 52.

**Obrázek 48:** *Průměrový filtr*



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK*

*Pozn.: Původní snímek a snímky po filtraci s velikostí filtrovacího okénka 3x3, 5x5*

**Obrázek 49:** *Gaussův filtr -  $\sigma = 0.9$*



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK*

*Pozn.: Původní snímek a snímky po filtraci s velikostí filtrovacího okénka 3x3, 5x5*

**Obrázek 50:** *Laplaceův filtr*



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK*

*Pozn.: Původní snímek a snímek po filtraci s velikostí filtrovacího okénka 3x3*

**Obrázek 51:** *Kombinace průměrového a Laplaceova filtru*

*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK*

*Pozn.: Původní snímek a snímky po filtraci s velikostí filtrovacího okénka 3x3, 5x5 u průměrového filtru, u Laplaceova filtru vždy 3x3*

**Obrázek 52:** *Kombinace Gaussova ( $\sigma=0.9$ ) a Laplaceova filtru*

*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK*

*Pozn.: Původní snímek a snímky po filtraci s velikostí filtrovacího okénka 3x3, 5x5 u průměrového filtru, u Gaussového filtru vždy 3x3*

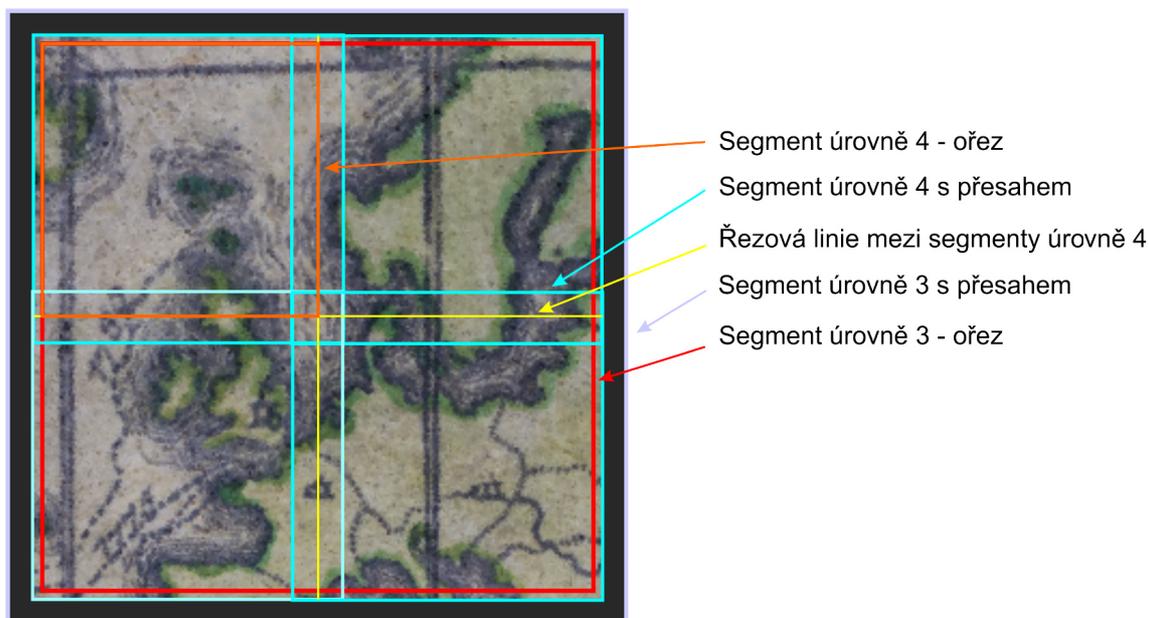
Z výše uvedených ukávek je patrné, že je nejvíce vhodná kombinace Gaussova filtru, nebo průměrového s Laplaceovým filtrem s filtrovacím okénkem o velikosti 3x3 pixely.

#### 5.4.8 Tvorba segmentů nižších úrovní

Pro dynamické zobrazování používající pouze segmenty, které prohlížeč aktuálně potřebuje, je potřeba vytvořit úrovně nižšího řádu. Tyto úrovně jsou generovány z úrovní o 1 stupeň vyšších. Každý segment nižší úrovně je generován ze 4 segmentů vyšší úrovně, které jsou v lokaci segmentu nižší úrovně.

Aby se zamezilo špatnému napojení mezi segmenty, jsou všechny segmenty generovány s přesahem, který je při exportu (viz kapitola č. 5.4.9) oříznut. Ukázkou segmentu 4,2 úrovně 3 s popisem zobrazuje obrázek č. 53.

Z obrázku je patrné, že pokud chceme, aby byla zachována stejná velikost segmentů, nově generovaný segment musí mít 4x menší počet pixelů, než je součet pixelů v příslušných segmentech vyšší úrovně.

**Obrázek 53:** *Tvorba segmentů nižší řádovostní úrovně*

Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK

Tento problém lze vyřešit převzorkováním, které ze čtyř pixelů (buňka 2x2) vytvoří jeden pixel. Během testování vykazovala nekvalitnější výsledky metoda, která ony 4 pixely zprůměrovala a tuto hodnotu dosadí do převzorkovaného rastru. Situaci zobrazuje obrázek č. 54.

**Obrázek 54:** *Tvorba pixelů nižší řádovostní úrovně*

Pixel úrovně 4 R = 120 G = 160 B = 60	Pixel úrovně 4 R = 118 G = 161 B = 50	Pixel úrovně 3: R = 111 G = 156 B = 67
Pixel úrovně 4 R = 100 G = 150 B = 90	Pixel úrovně 4 R = 107 G = 154 B = 69	

Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PŘF UK

#### 5.4.9 Export virtuálního glóbu

Při exportování projektu se zkopírují do příslušných složek segmenty všech úrovní. Všechny snímky jsou v této fázi ořízlé, aby bylo zajištěno kvalitní napojení segmentů. Dále je zde vygenerován základní \*.html layout, který umožňuje využívat vizualizační technologii WebGL Earth (kapitola č. 5.7.1) na exportovaném glóbu. V layoutu je doplněno jméno

aktuálního projektu a maximální úroveň přiblížení.

Nakonec jsou všechny dočasné soubory smazány a do exportní složky je zkopírován kompletní zápis běhu programu a API technologie WebGL Earth.

## 5.5 Tvorba glóbu z georeferencovaných snímků

Součástí programu na zpracování bodového mračna glóbu (viz kapitola č. 5.4.2) je i modul, který umožňuje dávkově zpracovat georeferencované snímky a promítnout na virtuální glóbus. Zdrojová data jsou uložena v příloze na CD.

### 5.5.1 Vstupní data

#### Pracovní složka

Cesta k pracovní složce, kde jsou uloženy \*.png snímky na zpracování.

Příklad:

```
"C:\\test\\Raster2globe\\"
```

#### Výběr interpolační metody

Lze zvolit ze 4 variant interpolace - bližší informace jsou uvedeny v kapitole č. 5.4.6.

#### Výběr filtrační metody

Lze zvolit ze 6 variant filtrace a 5 velikostí filtrovacího okénka - bližší informace jsou uvedeny v kapitole 5.4.7.

#### Vstupní formát snímků

Doporučuje se použití \*.png formátu, který by měl být 8-bit unsigned. Formát \*.png byl zvolen z důvodu obtížné kompatibility \*.TIFF souborů v jazyce Java. Řešení je následující: v SW ESRI ArcGIS lze libovolný RGB snímek v zobrazení WGS84 zkopírovat do formátu \*.png kliknutím pravým tlačítkem na snímek a zadáním Data/Export data. Poté se použije funkce Copy Raster a jako Pixel Type se nastaví 8\_BIT\_UNSIGNED. Tento snímek je zkopírován do složky, kterou bude program zpracovávat.

Příklad:

```
String file_formate = "*.png";
```

### 5.5.2 Georeferencování snímků a konverze na bodové pole

Pokud je \*.png snímek správně georeferencován, vedle RGB snímku se vytvoří soubor se stejným názvem, jako má snímek, ale s koncovkou \*.pgw.

#### Příklad souboru \*.pgw:

```
0.0906720000  
0.0000000000  
0.0000000000  
-0.0906720000  
-32.9825018925  
77.5736503412
```

První prvek vyjadřuje velikost pixelu ve stupních ve směru zeměpisné délky. Čtvrtý prvek vyjadřuje velikost pixelu ve směru zeměpisné šířky. Jelikož je snímek definován z levého horního rohu a ve směru na jih ubývá zeměpisná šířka, je tato hodnota záporná. Poslední 2 souřadnice vyjadřují zeměpisnou délku a šířku levého horního rohu snímku. Program poté zjistí velikost snímku a uloží jeho rozsah pro další využití.

Jednotlivé pixely ze snímku jsou díky známé snímkové souřadnici zkonvertovány do formátu

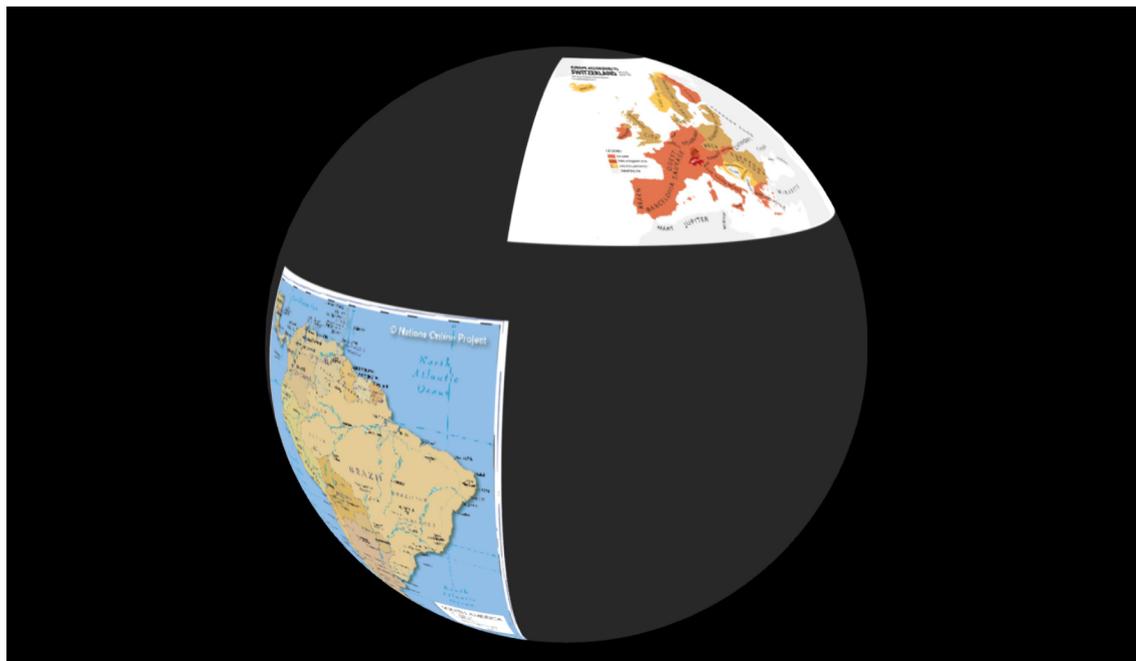
WGS84 a uloženy do textového souboru. Veškerá konverze a georeferencování proběhne cyklicky pro všechny snímky daného formátu ve složce. Ze všech \*.pgw souborů, které detekoval program, je vybrána nejmenší úhlová velikost pixelu - od velikosti tohoto nejmenšího úhlu se bude odvíjet výstupní rozlišení projektu.

### 5.5.3 Modifikace programu konverze bodového pole na glóbus

Body získané z jednotlivých snímků jsou dále zpracovány algoritmem na zpracování bodového mračna a vytvoření glóbu, který je však mírně modifikován. Vlivem interpolace základní úrovně segmentace dochází k interpolování oblastí, které se původně nenacházely na snímcích. Kromě toho, že tyto oblasti modifikují okolí mapy a mohou uživateli poskytovat nepravé údaje, působí také neesteticky.

Do interpolace je zahrnut algoritmus, který zjišťuje, zda je daný pixel obsažen v alespoň jednom snímku. Analýza je prováděna na základě dat získaných při georeferencování snímků. Pokud bod neleží v žádném snímku, je jeho barva určena jako tmavě šedá:  $R = 40$ ,  $G = 40$ ,  $B = 40$ , a to z praktického důvodu viditelnosti celého povrchu glóbu při vizualizaci, jejíž zobrazení je na obr. č. 55. Další zpracování je již totožné od kapitoly č. 5.4.8.

**Obrázek 55:** Georeferencované mapy zobrazené na glóbu



*Zdroj: Vlastní tvorba*

*Podklady: Europe according to Switzerland 2010 (2010), Map of South America (2017)*

## 5.6 Tvorba georeferencovaných segmentů z bodového mračna

Do programu na zpracování glóbů byl začleněn modul, který umožňuje vytvoření georeferencovaných segmentů z bodového mračna. Využívá bodů, které byly vygenerovány v SW Agisoft PhotoScan a s výslednými snímky lze pracovat v GIS. Snímky jsou uloženy ve formátu \*.png a v Marinově zobrazení (viz kapitola 3.4.1). Formát \*.png byl zvolen z důvodu obtížné kompatibility \*.TIFF souborů v jazyce Java. Výstupy jsou uvedeny v příloze na CD.

### 5.6.1 Vstupní data

#### Pracovní složka

Cesta k pracovní složce, kde jsou uloženy \*.png snímky na zpracování.

Příklad:

```
"C:\\test\\Raster2globe\\"
```

#### Výběr interpolační metody

Lze zvolit ze 4 variant interpolace - bližší informace jsou uvedeny v kapitole 5.4.6.

#### Výběr filtrační metody

Lze zvolit ze 6 variant filtrace a 5 velikostí filtrovacího okénka - bližší informace jsou uvedeny v kapitole 5.4.7.

#### Výběr velikosti finálního rastru a segmentu

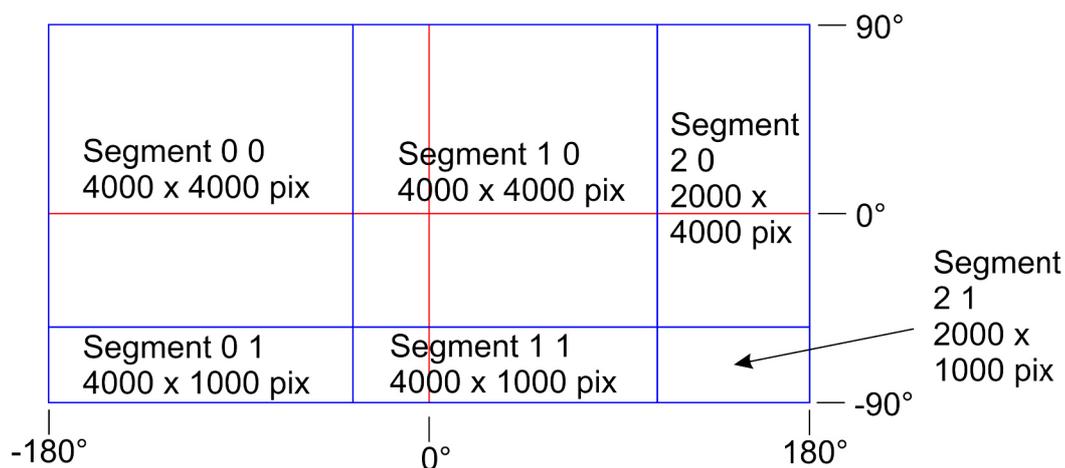
Uživatel má možnost si zvolit cílovou velikost rastru glóbu - do programu zadává šířku glóbu na rovníku v pixelech. Pro snadnější zpracování a především manipulaci s velkými snímky je zde možnost vytvoření mozaikových segmentů a lze nastavit jejich velikost. Více informací k segmentům je uvedeno v kapitole 5.6.2.

### 5.6.2 Velikost snímků a segmentace

Uživatel si nejprve zvolí velikost glóbu (počet pixelů na rovníku), a dále musí nastavit maximální velikost segmentu. Podle těchto dvou parametrů se automaticky vygenerují rozsahy jednotlivých segmentů.

Pokud bude velikost glóbu menší nebo rovna maximální velikosti segmentu, vygeneruje se pouze 1 obrazový soubor, který zahrnuje celý glóbus. V případě, že velikost segmentu bude menší než maximální velikost segmentu, vytvoří se strukturovaná mozaika. Situace na obrázku č. 56 popisuje generování segmentů, kdy je zadána rovníková šířka výsledného mozaikového snímku 10 000 pixelů (výška bude tedy 5000 pixelů) a maximální velikost segmentu je 4000 x 4000 pixelů.

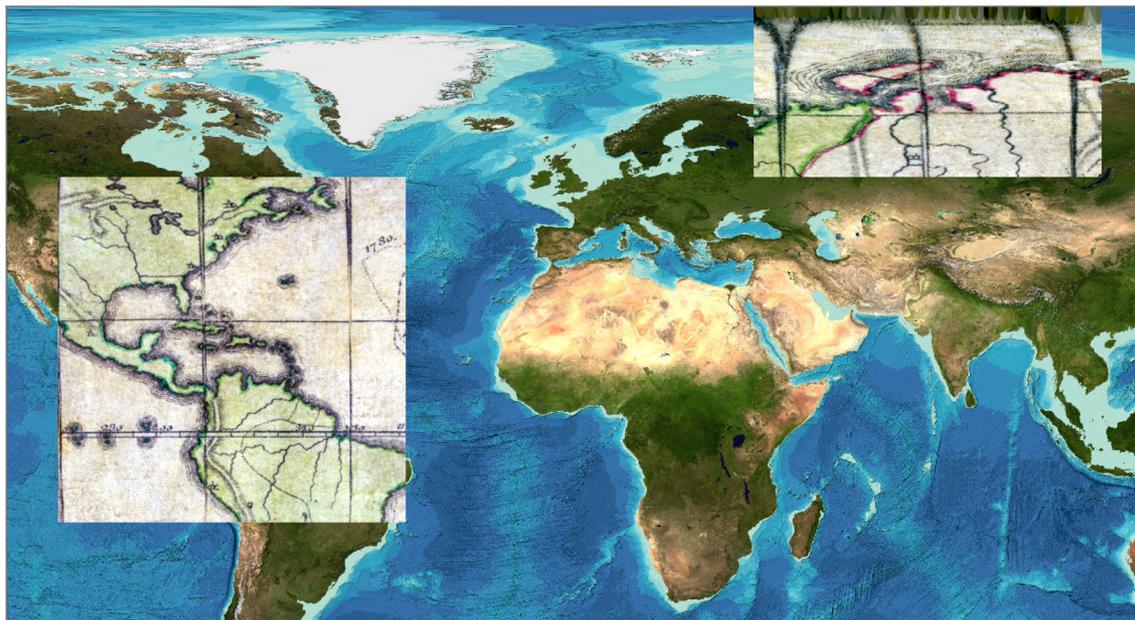
Obrázek 56: Segmentace GeoPNG



Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

### 5.6.3 Zpracování bodového mračna a uložení

Obrázek 57: GeoPNG segmenty v SW ArcGIS



Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

Vstupní bodové mračno je rozříděno do jednotlivých segmentů, které jsou poté interpolovány. Je nutno doporučit interpolační metodu nejbližšího souseda - konkrétně modifikovanou metodu *Growing circle* (viz kapitola č. 3.5.1.1). Bylo uděláno porovnání s interpolační metodou IDW (viz kapitola č. 3.5.3) na glóbu G5 s rovníkovou velikostí 20000 pixelů a maximální velikostí segmentu 10000 x 10000 pixelů. Segment 0;0 (o počtu 2 790 432 zdrojových bodů) se zpracovával metodou *Growing circle* 78,940 sekund a metodou IDW zpracování do 2 hodin neproběhlo. Poté byl určen čas výpočtu hodnoty 1 pixelu metodou IDW a bylo odhadnuto, že by se rastr vytvořil přibližně za 294 dní. Tento fakt činí metodu IDW nepoužitelnou při generování větších segmentů.

Jednotlivé segmenty poté projdou filtrací (popsána v kapitole č. 5.4.7) a jsou uloženy do formátu \*.png. Aby je bylo možno prohlédnout v GIS se správnou polohou, je ke každému segmentu vygenerován příslušný \*.pgw soubor (viz kapitola č. 5.5.2). Vizualizace je zobrazena na obrázku č. 57.

## 5.7 Distribuce glóbu

Vytvořené projekty je třeba adekvátním způsobem distribuovat a zpřístupňovat i neznalým uživatelům, kteří nemají na svém mobilním zařízení, nebo počítači nainstalován žádný specializovaný SW. Proto jsou zde uvedeny a popsány příslušné SW, které umožní shlédnutí glóbů.

### 5.7.1 WebGL Earth

WebGL Earth (2016) je dle autora nejvhodnější ke zveřejňování glóbů ve vysokém rozlišení. Je to hlavní produkt programu na zpracování glóbů z bodového mračna. Pro úspěšnou funkčnost prohlížeče je nutno všechny soubory (složky se segmenty, \*.html soubor a

api.js) umístěné v exportu nahrát na server a prohlížet online. Ukázka souborů je uložena na příloženém CD.

WebGL Earth pracuje na systému dynamického načítání segmentů, které jsou promítány na virtuální glóbus. Do prohlížeče se načtou pouze segmenty, které jsou potřeba k zobrazení aktuálního pohledu a svojí podrobností jsou adekvátní zobrazovanému rozlišení na monitoru. Segmentace je podrobně popsána v kapitole č. 5.4.8.

Ačkoliv SW pracuje pouze s rastrovými 2D daty, WebGL Earth zobrazuje glóbus jako fyzický 3D objekt. Vizualizace glóbu G5 v prostředí WebGL Earth je na obr. č. 58.

Zobrazování glóbu pomocí WebGL Earth má spoustu pozitiv, ale vyskytne se zde také několik negativ.

#### **Pozitiva:**

- Snadná interpretovatelnost systému - segmenty jsou logicky uspořádány.
- Úspornost systému na přenos dat - ze serveru se do počítače přenášejí pouze ta data, která aktuálně prohlížeč potřebuje.
- Největší pozitivem technologie je však schopnost dosáhnout velmi vysoké kvality a velikosti uchovaných dat díky segmentaci po úrovních.

Maximální počet uložených dat závisí na daném operačním systému a použitém souborovém systému - podle fóra superuser.com (2010) lze v nejčastěji používaném souborovém systému NTFS uchovat až 256 TB dat a maximální počet souborů je 4,294,967,295.

Matematicky lze pomocí vztahu  $pocetsegmentu = 2^{2 \cdot level}$  dojít k výsledku, že lze do souborového systému uložit segmenty až do úrovně 15. Pokud budeme počítat, že průměrná velikost jednoho segmentu bude 100 kB, těchto 15 úrovní zabere přibližně 150 TB diskového prostoru.

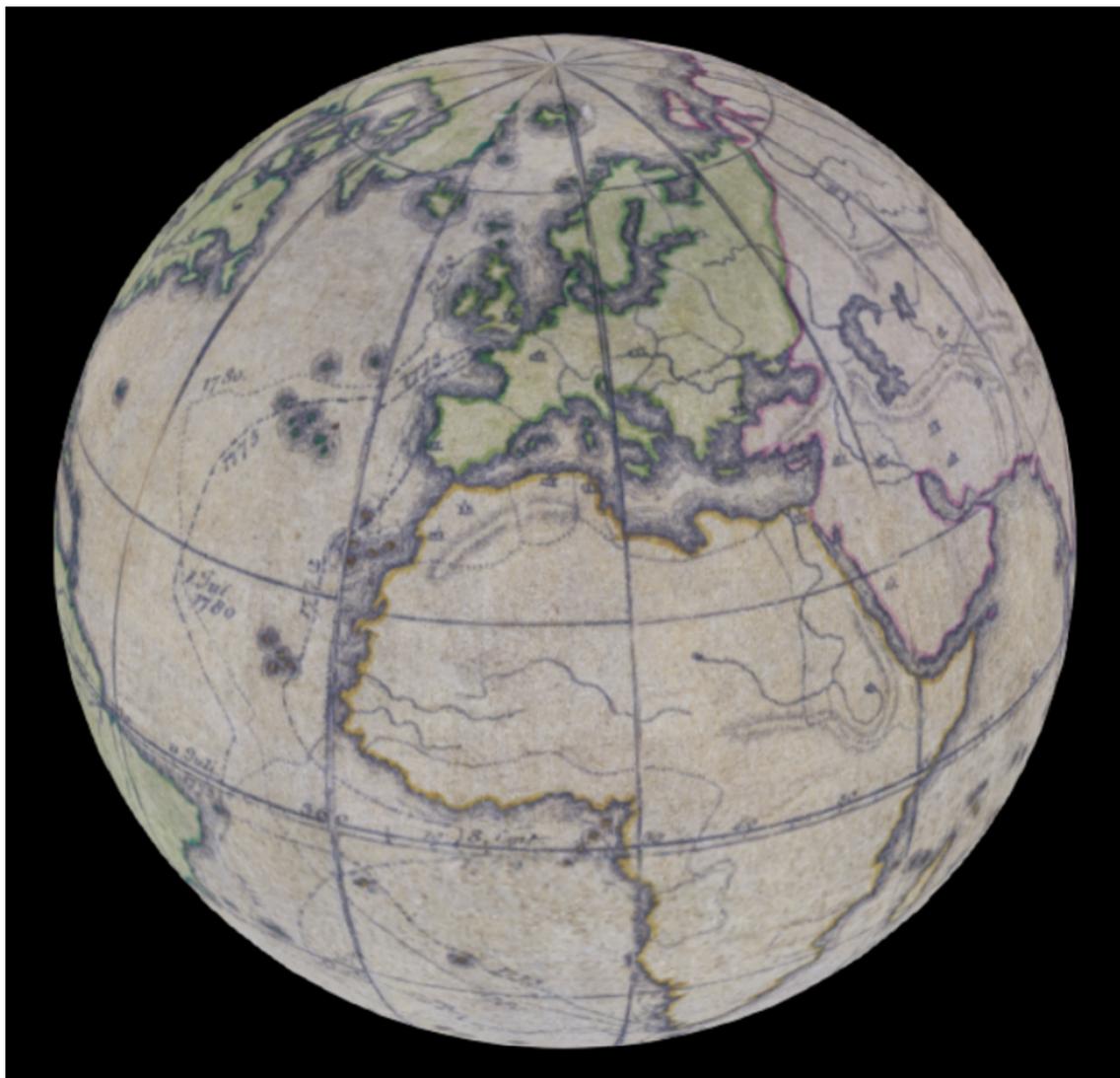
Jeden segment bude poté na rovníku odpovídat velikosti 1220 metru (vztah  $d = R_{Zeme} \cdot \pi \cdot 2/2^{15}$ ), což odpovídá velikosti pixelu 4,77 metru. Tato vzdálenost by na zdrojovém glóbu o průměru 30 cm představovala velikost 36 nanometrů.

Pokud by uživatel toužil ještě po větším rozlišení, musel by pravděpodobně využít specializované databázové systémy a příslušně upravit zdrojové cesty v kódu.

#### **Negativa:**

- Nemožnost zobrazit polární oblasti - kvůli použitému Mercatorovu zobrazení (viz kapitola 3.4.2) nelze zobrazit polární oblasti - tzn. oblasti s  $\varphi > 85.05113^\circ$  a  $\varphi < -85.05113^\circ$  (viz kapitola č. 3.3.2).
- Nelze zobrazit 3D reliéfní povrch glóbu, protože technologie WebGL Earth pracuje pouze s 2D rastrovými segmenty. Glóby s 3D reliéfem jdou zobrazit například technologií uvedenou v kapitole č. 5.7.2.
- Program pracuje pouze na serveru - k prohlížení je třeba celý projekt uložit na server, nebo si na příslušném počítači nastavit vlastní server (např. pomocí SW Apache).

Obrázek 58: WebGL Earth - Globus G5



Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

### 5.7.2 JSC 3D Viewer

JSC 3D Viewer (2017) je prohlížeč založený na javascriptové technologii, který umožňuje v internetovém prohlížeči zobrazit 3D objekty. Zobrazené objekty lze také přiblížit a natočit z libovolného pohledu.

Program pracuje s 3D souborem typu \*.obj, který lze exportovat ze SW Agisoft PhotoScan uvedeným v kapitole č. 5.3. Pro zobrazení je nutno na web nahrát soubory uvedené v příloze na CD a v \*.html souboru s konfiguračními údaji na řádce 17 upravit příslušnou cestu k \*.obj souboru s 3D modelem. Lze zde také nastavit počáteční natočení objektu a nebo barvu pozadí. Pro úspěšnou funkčnost prohlížeče je nutno všechny soubory (složku s \*.obj modelem a texturami a dále \*.html souborem a všemi \*.js soubory) nahrát na server a prohlížet online.

Glóbus během načítání textur v prohlížeči JSC 3D Viewer je zobrazen na obrázku č. 59.

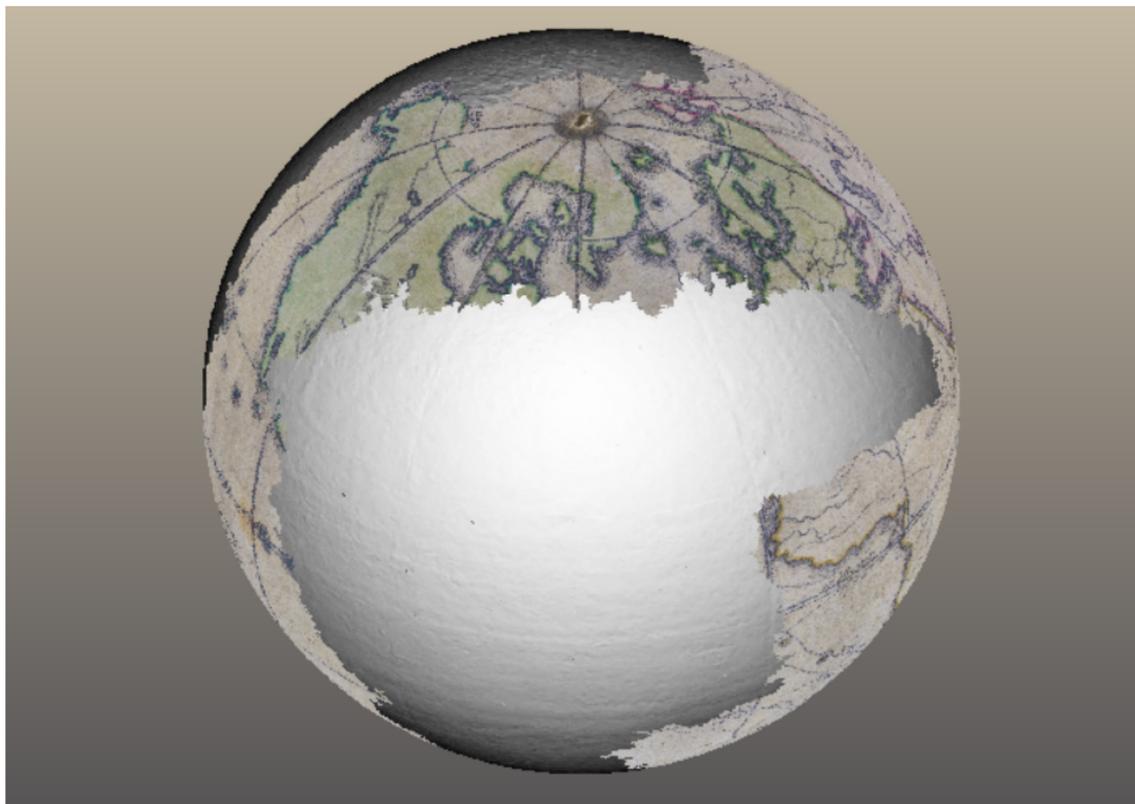
**Pozitiva:**

- Zobrazuje polární oblasti, jelikož se s glóbem zachází jako s 3D objektem.
- Zobrazuje členitost povrchu glóbu - použitelnost pro reliéfní glóby.
- 3D model glóbu nemusí být georeferencovaný - k vytvoření \*.obj souboru stačí standardní verze SW Agisoft PhotoScan za přijatelnou sumu.

**Negativa:**

- Nedostatečná kvalita, rozlišení textur a přenos velkého množství dat je největší slabinou tohoto SW - webový prohlížeč musí načíst všechny textury a uložit si je do paměti. S většími texturami nelze pohodlně pracovat - dochází k velkým prodávám ve vzorkovací frekvenci (hovorově sekání). Z těchto důvodů také nelze zobrazit textury s velmi vysokým rozlišením, nehledě na to, že je ani SW PhotoScan nedokáže vygenerovat.
- Prohlížeč nedokáže zobrazit detailní textury, ačkoliv podklady jsou kvalitní. Situaci zobrazených textur a zdrojových textur vyjadřuje obrázek č. 60.
- Prohlížet lze pouze projekty umístěné na serveru.

**Obrázek 59:** *JSC 3D Viewer - Globus G5 během načítání textur*



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK*

Obrázek 60: JSC 3D Viewer - Reliéfní glóbus - zobrazované textury a zdrojové textury



Zdroj: Vlastní tvorba, 1-World Globes (2017)

### 5.7.3 Adobe Reader

Glóbus lze také ze SW Agisoft PhotoScan (viz kapitola č. 5.3) exportovat do formátu \*.pdf, který v SW Adobe Reader umožňuje offline prohlížet 3D objekty. Ukázky jsou také uvedeny v příloze na CD.

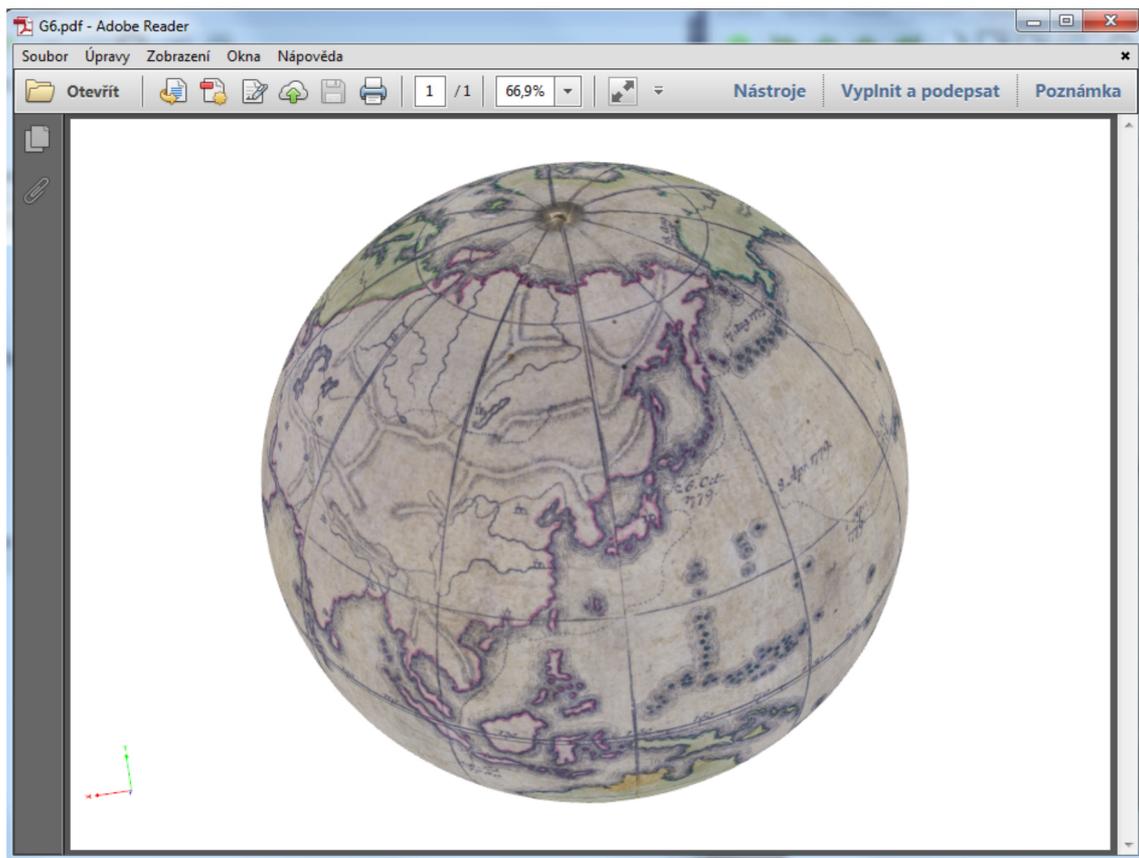
#### Pozitiva:

- Adobe Reader je k dispozici zdarma ke stažení a většina uživatelů ho má již na svém PC nebo na mobilním telefonu.
- Velkou výhodou je možnost zobrazení glóbu offline - bez použití lokálního serveru nebo stahování dat z internetu.

#### Negativa:

- Nedostatečná kvalita, rozlišení textur a přenos velkého množství dat je největší slabinou tohoto SW. Glóbus s dostatečnou kvalitou textur má velikost ve formátu \*.pdf řádově v desítkách až několika stovkách MB. Dochází také k zamrznutí Adobe Readeru. Z těchto důvodů, stejně jako v JSC 3D Vieweru zobrazeném v kapitole č. 5.7.2, nelze zobrazit textury s velmi vysokým rozlišením, nehledě na to, že je ani SW PhotoScan nedokáže vygenerovat.

Obrázek 61: Adobe Reader - Globus G5



Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

## 6 Diskuze

Metodika navržená v této práci umožňuje efektivní zpracování prakticky jakéhokoliv historického glóbu. Použitá fotogrammetrická metoda *Structure from motion* dokáže, na rozdíl od laserového skenování, poskytnout mnohem detailnější výstupy a v porovnání s metodou transformování snímků dokáže korektně pracovat i s jiným než čistě kulovým tvarem.

Navržená metoda digitalizace má mnohá pozitiva, ale i několik negativ převážně spojených s financemi.

### Pozitiva

- Glóbus lze nasnímat běžným fotoaparátém s manuálním nastavením - není potřeba drahého měřického vybavení.
- Osa objektivu fotoaparátu nemusí směřovat přesně do středu glóbu - akceptovatelné je i šikmé snímkování.
- Možnost automatizovaně zpracovávat stovky i tisíce snímků.
- Robustnost navrženého SW - možnost zpracovávat velmi podrobné výstupy v akceptovatelném čase.
- Vhodná vizualizace s nízkými nároky na přenosný objem dat a umožňující zobrazit takřka libovolné množství úrovní přiblížení
- Exportovaný glóbus lze ve formě georeferencovaných segmentů zobrazit v GIS a provést například komparativní kartometrické analýzy.
- Preferovaná vizualizace pomocí WebGL Earth neumožňuje zobrazení pólu a jeho okolí.

### Negativa

- Finančně náročný zpracovatelský SW (v konkrétním případě Agisoft Photoscan Pro).
- Poměrně vysoké nároky na výpočetní výkon počítače. Autor práce doporučuje alespoň 4 jádrový procesor, 16 GB RAM a SSD disk.
- Algoritmus neumí rozpoznat chybně detekované body (viz malý šum na obr. č. 62) a dále s nimi pracuje. Pokud by byla nasazena agresivnější filtrace, obraz ztratí detaily.

**Obrázek 62:** *Globus G5 - Porovnání kvality zpracovaného segmentu a originálního snímku - detail Aleut*



Velikost na glóbu 0 1 mm  
 Skutečnost 0 100 km  
 Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

V rámci dalšího výzkumu digitalizace glóbulů se autor práce doporučuje zaměřit na následující neřešené problémy a témata:

- Lépe vyřešit georeferencování glóbu - vytvoření postupu na zjištění ideálních vlíčovacích bodů, který bude zohledňovat kartometrickou přesnost glóbu
- Zhodnocení přesnosti a porovnání reálného a zdigitalizovaného glóbu.
- Kartometrická analýza glóbu s využitím 3D modelu, vliv tiskových a zpracovatelských chyb na přesnost glóbu.
- V modulu sloužícím na převedení georeferencovaných snímků na vizualizační pochu glóbu lépe vyřešit problematiku překrývajících se snímků.
- Detekce chybně detekovaných bodů s jinou barvou, než mají okolní body - prvotní odstranění šumu v datech.
- Tvorba glóbulů z jejich digitálních předloh.

Porovnání použitých metod tvorby glóbulů a jejich distribuce ukázalo, že navržená metodika je nejvhodnější pro archivaci a vizualizaci historických glóbulů. Díky metodě *Structure from motion* je možno zpracovat glóbus s libovolným tvarem - na rozdíl metodiky popsané Talichem (2013). Talich také využívá k vizualizaci pouze 2D (vizualizující 2D rastrové segmenty jako 3D objekt) prohlížeč, s nímž lze zobrazit poměrně kvalitní a detailní podklady, nicméně se dle zdrojů ani okrajově nezabýval variantou zobrazování 3D objektů, jako například reliéfních glóbulů nebo telurií.

Preferovaná zobrazovací technologie WebGL Earth podporuje velmi vysoké detaily a přiblížení glóbu, nicméně je závislá na dosti vysoké přenosové rychlosti internetu a jeho odezvy. Je velice vhodná pro distribuci glóbulů. Autor práce také nevyklučuje využití JSC 3D vieweru pro méně náročné uživatele, kteří si vystačí s menšími detaily a s levnějším zpracovatelským SW (postačí standardní verze SW Agisoft PhotoScan). Nicméně JSC 3D viewer zobrazuje

objekty ve skutečném 3D, takže je i vhodný pro glóby s atypickým tvarem. Poslední doporučeným vizualizačním SW je Adobe Reader, který dokáže zobrazit 3D \*.pdf objekty, které jsou vytvořit také jako \*.obj soubory za pomoci standardní verze SW PhotoScan. Vhodnost výše popsaných metod závisí na využití virtuální prezentace a také na typu a případném stupni ochrany glóbu jakožto autorského díla. Autor práce se domnívá, že zdrojové soubory typu \*.pdf, nebo \*.obj ve standardním režimu prezentace na serveru nejsou tak kvalitně zabezpečeny proti krádeži, jako jednotlivé segmenty ve verzi WebGL Earth. Potenciální útočník by musel mít odborné znalosti, aby ze segmentů zpětně zrekonstruoval fyzický 3D model glóbu a i přístupy k jednotlivým segmentům by teoreticky šlo zaheslovat pomocí jazyka PHP.

## 7 Závěr

Tato práce si brala za hlavní cíl nalezení optimálního a univerzálního postupu snímkování, zpracování a distribuce digitálního glóbu. V rámci výzkumu bylo celkem zdigitalizováno 8 glóbů, převážně pro Mapovou sbírku PřF UK (webová stránka: <http://www.mapovasbirka.cz/globy/>), které také posloužily i ke zdokonalování metod. Další ukázky glóbů a projektů jsou zobrazeny na webové stránce autora práce <http://michal-kowalski.cz/Globy.html>.

Je zřejmé, že fotogrammetrická metoda *Structure from motion*, zažívající velký rozmach v oblastech pozemní a letecké fotogrammetrie v posledních letech, má také v oblasti digitalizace glóbů velký potenciál a řeší nedostatky jiných metod.

Výsledky práce ukazují, že digitalizace glóbu byla provedena úspěšně a v porovnání s většinou současně digitalizačních metod vykazuje podstatně vyšší kvalitu a detailnost modelu. Pouze metoda transformace snímků je schopna poskytnout stejnou či mírně větší detailnost modelu - avšak s mnohými nedostatky (nelze například zpracovávat nepravidelné, plastické reliéfní a poškozené glóby).

Mezi přínosy navržené metody patří:

- Tvorba programu na umožňujícího zjistit ostřící vzdálenost, clonu a také pootočení glóbu a návrh systematického snímkování zaručujícího požadovaný nejmenší počet překryvů.
- Tvorba 3D modelu glóbu a zjištění nedostatku SW (nemožnost zpracovat textury detailního modelu).
- Tvorba programu umožňujícího zpracovat georeferencované bodové mračno získané ze SW PhotoScan. Bodové mračno může být libovolně velké a limitujícím faktorem z praktického hlediska je velikost paměti na pevném disku. Rychlost zpracování je adekvátní počtu bodů - pro glóby tvořené z několika set milionů zdrojových bodů je čas zpracování řádově v desítkách minut.  
Jako vedlejší produkt jsou do programu začleněny funkce umožňující tvorbu glóbu jakožto georeferencovaných segmentů zobrazitelných v GIS (včetně podpory ferrského nultého poledníku) a také vizualizovat na glóbus libovolný počet georeferencovaných snímků.
- Nalezení vhodné vizualizace glóbu formou WebGL pro webové prohlížení klasických glóbů (funkce integrována do předchozího programu) a nalezení prohlížeče vhodného pro zobrazení plastických (reliéfních glóbů).

Navržená metodika je vhodná pro všechny typy glóbů a díky poměrně jednoduchým a přímočarým úkolům může digitalizovat glóby zaškolený pracovník i bez odborného geografického vzdělání. Mezi potenciální uživatele patří studenti se zájmem o fotogrammetrii, knihovny a mapové sbírky, kterým digitalizace umožní glóby publikovat, prezentovat na výstavách a také uchovat podobu svých exponátů i pro případ krádeže, zničení či poškození.

## 8 Seznam literatury

ADAMI, A., GUERRA F. (2008): Coronelli's Virtual Globe. *e-Perimetron*, 3, č. 4, s. 243-250.

ADAMI, A. (2009): From real to virtual globe: new technologies for digital cartographic representation. *e-Perimetron*, 4, č. 3, s. 144-160.

ATKINSON, K. (1996): *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing, London. 371 s.

BOHÁČ, O. (2012): 123D Catch - Testování nástroje pro tvorbu detailních 3D modelů. Bakalářská práce, FS ČVUT, Praha, 91 s.

BUREŠ, L. (2013): Sledování pohybu rukou ve 3D pomocí dvou kamer. Diplomová práce, Fakulta aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni, 82 s.

ČAPEK, R., MIKŠOVSKÝ M., MUCHA, L. (1992): *Geografická kartografie*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 372 s.

GEDE, M. (2011): Digital reconstruction of Perczel's globe. *e-Perimetron*, 6, č. 2, s. 68-76.

HRUBY F. (2006): Cartographic heritage as shared experience in virtual space: A digital representation of the earth globe of Gerard Mercator (1541). *e-Perimetron*, 1, č. 2, s. 88-98.

JACOBSON, R. (2000): *Manual of Photography*. Taylor & Francis, 9. edice, 464 s.

JEŽEK, J. (2015): *Geostatistika a prostorová interpolace*. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha, 199 s.

KLECZEK, J. (2002): *Velká encyklopedie Vesmíru*. Academia, Praha, 584 s.

KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (1997): *Dálkový průzkum Země 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 164 s.

KRAUS, K. (2007): *Photogrammetry. Geometry from Images and Laser Scans*. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 459 s.

LUHMANN, T. (2006): *Close Range Photogrammetry*. Whittles Publishing, Dunbeath, 510 s.

LUHMANN, T. , ROBSON, S. , KYLE, S. HARLEY, I. (2006): *Close Range Photogrammetry. Principles, techniques and applications*. Whittles Publishing, Dunbeath, Scotland, UK, 510 s.

MENNA, F. , RIZZI, A. , NOCERINO, E. , REMONDINO, F. , GRUEN, A. (2012): High resolution 3D modeling of the Behaim globe. *Internal Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 39(5), pp. 115-120.

STAL, C. , WULF, A. , MAEYER, P. , NUTTENS, T., ONGENA, T. (2012): Digital Representation of Historical Globes: Methods to Make 3D and Pseudo-3D Models of Sixteenth Century Mercator Globes. *The Cartographic Journal*, 49, č. 2, s 107-117.

ŠTEFANOVÁ, E. (2008): *Kalibrace digitálních kamer pro blízkou fotogrammetrii*. Disertační práce, FS ČVUT, Praha.

WEBSTOY, M., BRASINGTON, J., GLASSER, N., HAMBREY, M., REYNOLDS, J. (2012): "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, s. 300-314.

## Elektronické zdroje:

Alphadesigner (2010): Europe according to Switzerland 2010. Dostupné z: <http://alphadesigner.com/wp-content/uploads/europe-according-to-switzerland.png>, [cit. 17. dubna 2017].

Agisoft (2016): Orthomosaic and DEM Generation with Agisoft PhotoScan Pro 1.2 (with Ground Control Points) [online]. Dostupné z: [http://www.agisoft.com/pdf/PS\\_1.2%20-Tutorial%20\(BL\)%20-%20Orthophoto,%20DEM%20\(with%20GCPs\).pdf](http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.2%20-Tutorial%20(BL)%20-%20Orthophoto,%20DEM%20(with%20GCPs).pdf), [cit. 24. dubna 2016].

BÍLÁ, Z. (2013): Fotogrammetrická dokumentace historických glóbů. Sborník referátů: Digitální technologie v geoinformatice, kartografii a dálkovém průzkumu Země (2013) [online]. Dostupné z: <http://gkinfo.fsv.cvut.cz/2013/sbornik2013.pdf>, [cit. 13. března 2016].

Canon EOS 60D (2017): Specifikace produktu. Dostupné z: [http://www.canon.cz/for\\_home/product\\_finder/cameras/digital\\_slr/eos\\_60d/specification.aspx](http://www.canon.cz/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_60d/specification.aspx), [cit. 9. dubna 2017].

Canon EOS 5D Mark IV (2017): Specifikace produktu. Dostupné z: <http://www.canon.cz/cameras/eos-5d-mark-iv/specifications/>, [cit. 9. dubna 2017].

ČADA, V. (2017): Přednáškové texty z geodézie. Tvar zemského tělesa a referenční plochy. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s02.html>, [cit. 24. ledna 2017].

DOOLEY, D. (2016): Diffraction Limited Aperture and Image Sharpness. Dostupné z: [http://www.dooleystreasurechest.com/photography/photo\\_dla\\_1.htm](http://www.dooleystreasurechest.com/photography/photo_dla_1.htm), [cit. 19. listopadu 2016].

FISCHER, R., PERKINS, S., WALKER, A., WOLFART, E. (2003): Image processing learning resources. Gaussian Smoothing. Dostupné z: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>, [cit. 24. ledna 2017].

FLEMING, D. (2003): Depth of Field Equations. Dostupné z: <http://www.dofmaster.com/equations.html>, [cit. 28. října 2016].

FLEMING, D. (2005): Depth of Field Calculator. Dostupné z: <http://www.dofmaster.com/dofjs.html>, [cit. 28. října 2016].

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IO (2016): Digitale Weltansichten online. Historische Globen in 3D [online]. Dostupné z: <http://www.iof.fraunhofer.de/de/kompetenzen/messverfahren-und-charakterisierung/3d-messverfahren/digitale-weltansichten-online-historische-globen-in-3d.html>, [cit. 3. dubna 2016].

GEARHART, M. (2012): Mapping and cartography expeditions. Equirectangular or Mercator? Dostupné z: <http://www.mgearhart.com/?p=2497>, [cit. 24. ledna 2017].

GEDE, M. (2009): The Projection Aspects of Digitising Globes. XXIVth International Cartographic Conference, Santiago, Chile [online]. Dostupné z: [http://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2009/html/refer/10\\_1.pdf](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/refer/10_1.pdf), [cit. 13. března 2016].

JSC 3D Viewer (2017): A web 3d object viewer using pure javascript and html canvas. Dostupné z: <https://code.google.com/archive/p/jsc3d/>, [cit. 17. března 2017].

Nationsonline (2017): Map of South America. Dostupné z: [http://www.nationsonline.org/oneworld/map/south\\_america\\_map.htm](http://www.nationsonline.org/oneworld/map/south_america_map.htm), [cit. 17. dubna 2017].

Stack Exchange (2016): The Realities of Resolution. Dostupné z: <http://photo.blogoverflow.com/2012/06/the-realities-of-resolution/>, [cit. 28. listopadu 2016].

Superuser (2010): Forum: Is there a limit to the number of files I can place in a given folder? Dostupné z: <https://superuser.com/questions/104220/is-there-a-limit-to-the-number-of-files-i-can-place-in-a-given-folder>, [cit. 17. března 2017].

SWEENY, S. (2016): Structure from Motion [online]. Dostupné z: <http://www.theia-sfm.org/sfm.html>, [cit. 3. dubna 2016].

ŠTELZIG, J. (2010): Zorné pole CCD. Dostupné z: <http://www.astrofoton.cz/informace/zorne-pole-cipu-ccd-vypocet/>, [cit. 2. listopadu 2016].

TALICH, M., SEMOTANOVÁ, E. (2015): Kartografické zdroje jako kulturní dědictví [online]. Dostupné z: [http://naki.vugtk.cz/media/doc/katalog\\_2015.pdf](http://naki.vugtk.cz/media/doc/katalog_2015.pdf), [cit. 12. března 2016].

TALICH, M., AMBROŽOVÁ K., ANTOŠ F., BOHM O., HAVRLANT J., SOUKUP L. (2013): Metoda digitalizace starých glóbů respektující jejich kartografické vlastnosti. Virtuální mapová sbírka Chartae-Antiquae.cz [online]. Dostupné z: [http://naki.vugtk.cz/media/doc/publikace/NTM\\_2013\\_Talich-at-all.pdf](http://naki.vugtk.cz/media/doc/publikace/NTM_2013_Talich-at-all.pdf), [cit. 12. března 2016].

TEMAP [online]. Dostupné z: <http://www.temap.cz/o-projektu>, [cit. 12. března 2016].

Mapová sbírka Univerzity Karlovy v Praze [online]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/mapova-sbirka/digitalizace-map>, [cit. 12. března 2016].

WANG, Y. (2006): Image Filtering: Noise Removal, Sharpening, Deblurring. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/fcbf/0322f336f5d2470b623fe4115dd4efbea9b7.pdf>, [cit. 28. února 2017].

WebGL Earth (2016) [online]. Dostupné z: <http://examples.webglearth.com/>, [cit. 20. dubna 2016].

1-World Globes (2017): Extreme Raised Relief - 25" Classroom Globe. Dostupné z: [http://www.1worldglobes.com/1WorldGlobes/classroom\\_relief\\_globe.htm](http://www.1worldglobes.com/1WorldGlobes/classroom_relief_globe.htm), [cit. 9. dubna 2017].

## 9 Přílohy

### Seznam obrazových příloh:

- 1) **Globus G5**
- 2) **Globus G5** - detail
- 3) **Globus G5** - detail bodového mračna
- 4) **Globus G6**
- 5) **Globus G6** - detail
- 6) **Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe, alias Reliéfní glóbus**
- 7) **Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe, alias Reliéfní glóbus** - detail
- 8) **Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe, alias Reliéfní glóbus** - detail ve JSC 3D vieweru

### Obsah CD:

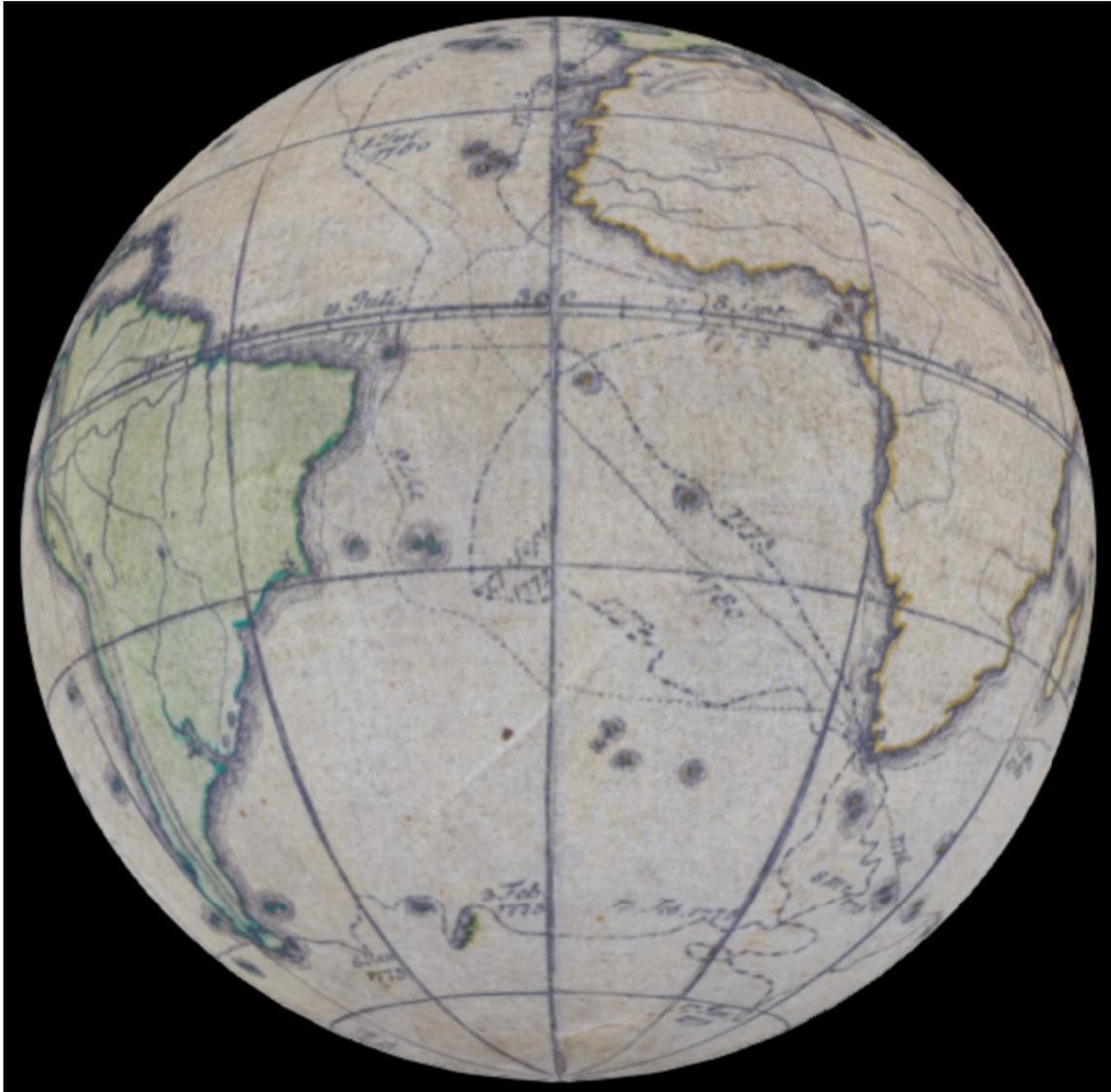
- 1) **Program\_zpracovani\_globu** - program napsaný v jazyce Java a slouží ke komplexnímu zpracování glóbu z bodového mračna (viz kapitola č. 5.4).
- 2) **Program\_vypocet\_snimani** - program napsaný v jazyce Java a umožňuje vypočítat optimální parametry snímání (uveden v kapitole č. 5.2.3).
- 3) **JSC3D\_viewer** - v této složce je uložen Reliéfní glóbus a glóbus G6 ve formátu \*.obj a oba glóby jsou připraveny pro vizualizaci ve JSC 3D vieweru. Příslušný \*.html soubor s javascriptovými soubory musí být nahrán na serveru, aby byla zajištěna správná funkčnost. Prohlížeč je uveden v kapitole č. 5.7.2.
- 4) **PDF** - obsahuje glóby ve formátu \*.pdf umožňující snadno zobrazit a přenést 3D modely v offline režimu i na běžně vybavených počítačích či mobilních telefonech. Více informací je uvedeno v kapitole č. 5.7.3.
- 5) **PhotoScan** - zde je uložen projekt programu Agisoft PhotoScan s georeferencovaným glóblem G5 vygenerovaným na nízkou kvalitu. Příložené snímky jsou ve formátu \*.jpg značně zmenšené kvůli paměťovým nárokům na médium (v plném rozlišení a 16-bit barevných kanálech by zdrojové snímky zabíraly na disku velikost 20 GB). Je zde také přiložen ukázkový snímek ve formátu \*.jpg. O zpracování glóbu v programu PhotoScan pojednává kapitola č. 5.3.
- 6) **georeferencovane\_segmenty** - složka obsahující georeferencované segmenty glóbu G6. Mozaika má výslednou velikost 20 000 x 10 000 pixelů a jednotlivé segmenty mají maximální velikost 8 000 x 8 000 pixelů. Tyto segmenty lze zobrazit v GIS. Podrobnější detaily obsahuje kapitola č. 5.6.
- 7) **konverze\_snimku\_na\_globus** - uchovává georeferencované \*.png obrazové soubory, které program na zpracování glóbů dokáže zpracovat a vizualizovat na glóbu. Pro správné zpracování stačí pouze vybrat tuto složku a program automaticky detekuje všechny potřebné obrazy a zahájí zpracování. Bližší informace jsou uvedeny v kapitole č. 5.5.
- 8) **zdrojove\_bodove\_mracno** - složka obsahující textový soubor s bodovým mračnem

glóbu

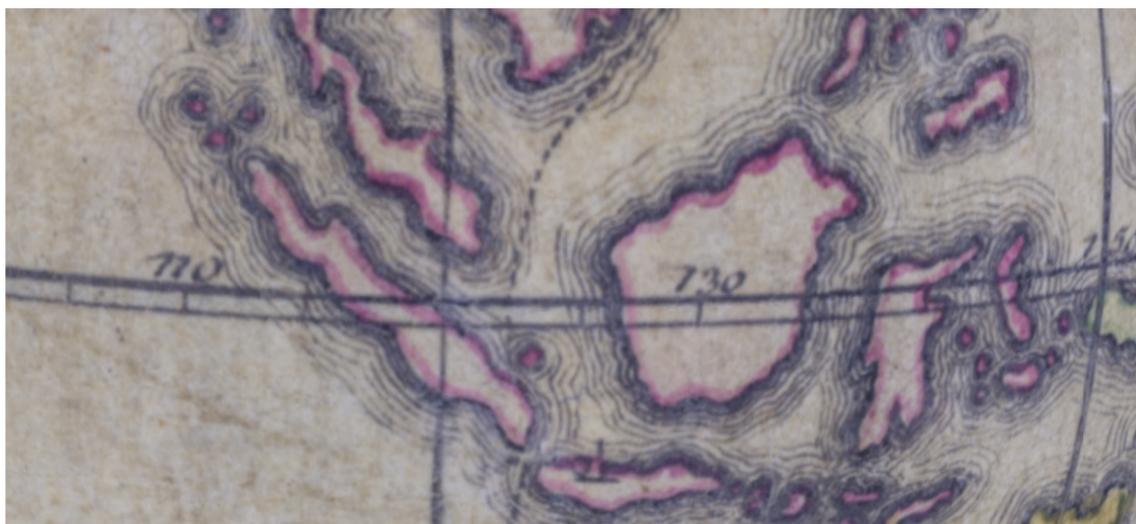
**9) WebGL\_Earth** - hlavní produkt programu na zpracování glóbů. Jsou to segmenty s API a příslušným \*.html souborem umožňujícím po nahrání na server prohlížet 2D segmenty pospojené a transformované ve vizuálně trojrozměrný glóbus. Podrobné informace jsou k nalezení v kapitole č. 5.7.1.

**Obrazové přílohy:**

## 1) Globus G5



*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK*

**2) Globus G5 - detail**

*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK*

**3) Globus G5 - detail bodového mračka**

*Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK*

## 4) Globus G6



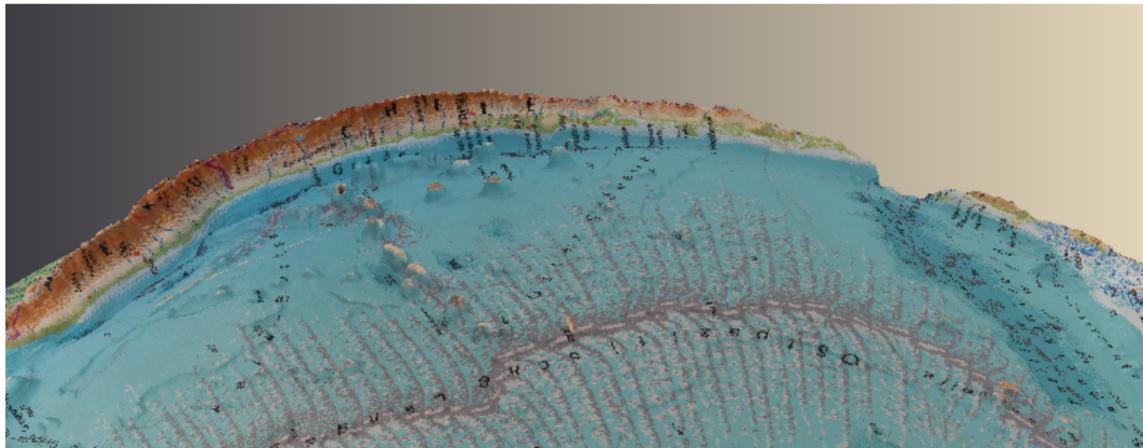
Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

## 5) Globus G6 - detail



Zdroj: Vlastní tvorba, Mapová sbírka PřF UK

## 6) Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe, alias Reliéfní glóbus - detail



Zdroj: Vlastní tvorba, 1-World Globes (2017)

## 7) Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe, alias Reliéfní glóbus



*Zdroj: Vlastní tvorba, 1-World Globes (2017)*

8) Extreme Raised Relief Classroom Floor Globe, alias Reliéfní glóbus - detail ve JSC 3D vieweru



*Zdroj: Vlastní tvorba, 1-World Globes (2017)*