

Metodika zpřístupnění digitalizovaných glóbů webovou mapovou službou

Klára Ambrožová, Jan Havrlant, Ondřej Böhm, Milan Talich

Realizováno z programového projektu DF11P01OVV021:
Program aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity
financovaného MK ČR v rámci projektu

„Kartografické zdroje jako kulturní dědictví. Výzkum nových metodik
a technologií digitalizace, zpřístupnění a využití starých map, plánů, atlasů
a glóbů.“

Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.
červen 2015

Obsah

1. Předmět metodiky	3
2. Struktura metodiky	4
3. Pořízení digitálních dat.....	5
4. Tvorba digitálního modelu.....	6
4.1. Určení vlíčovacích bodů	6
4.2. Výpočet prvků vnější orientace	7
4.3. Komplexní vyrovnání	7
5. Vizualizace	8
5.1. Úprava obrazu glóbu	9
5.2. Zpřístupnění glóbu.....	10
6. Využití metodiky v praxi	12
7. Seznam použitých zdrojů	13

1. Předmět metodiky

Tato metodika by měla sloužit jako návod pro tvorbu digitálního obrazu starých glóbů v podobě georeferencované mapy ve vysoké kvalitě. Cílem je vytvořit takový georeferencovaný digitální model glóbu rozvinutého do roviny, který bude věrně kopírovat originál a umožní jeho detailní studium. To znamená, že bude stejně čitelný jako originál nebo i lépe, a to díky prohlížení v počítači s možností přiblížení. Přesná georeference pak umožní porovnávání digitálního obrazu starého glóbu se současným stavem nebo s jinými starými glóby a mapami. Lze tak nejen pohodlně sledovat objevování Země či nebeské oblohy, ale i hodnotit přesnost práce starých kartografů.

Digitalizací starých glóbů se v současnosti zabývají i další projekty. Výsledky těchto projektů však mohou sloužit maximálně pro náhled daného glóbu, ale kvality digitální kopie, na které jsou čitelné všechny texty, většinou nedosahují.

2. Struktura metodiky

Metodika je rozdělena do několika hlavních oblastí, kterými jsou:

- pořízení digitálních dat: uvedení podmínek nutných k získání kvalitních digitálních dat s použitím digitalizačního zařízení,
- určení vlíčovacích bodů: detekce vlíčovacích bodů, hledání odpovídajících si bodů pomocí obrazové korelace, získání skutečně korespondujících bodů pomocí Ransac algoritmu,
- složení digitálního modelu ze zdrojových snímků s pomocí komplexního vyrovnání,
- vizualizace: finální úprava rastrového obrazu, zpracování georeferencovaných digitálních dat,
- zpřístupnění: představení možnosti online zpřístupnění glóbů v podobě 3D modelu a ve formě mapy v georeferencované podobě.

3. Pořízení digitálních dat

V této kapitole bude ve stručnosti představen způsob získávání digitálních dat pro účely tvorby digitálního obrazu glóbu rozvinutého do roviny.

Pro snímkování glóbu je vhodné použít kvalitní fotoaparát např. digitální zrcadlovku s vysokým rozlišením snímků, u kterého jsou známy základní parametry označované jako prvky vnitřní orientace, které nám podávají informaci o vlastnostech použitého fotoaparátu. Jelikož se v případě digitální zrcadlovky jedná o tzv. neměřickou komoru, u které tyto parametry neznáme, je potřeba je nejdříve určit. Pro určení prvků vnitřní orientace nebo ověření stávajících parametrů slouží technika nazvaná geometrická kalibrace.

Pro potřeby snímkování je potřeba zajistit temnou místnost nejlépe bez oken, čímž se vyloučí nežádoucí vliv venkovního osvětlení a pro nasvícení objektu je vhodné použít profesionální fotografické studiové osvětlení se studeným světlem a difuzní mřížkou. Rovnoměrné osvětlení je velmi důležité pro docílení barevného souladu jednotlivých snímků. Díky tomuto barevnému souladu je ve výsledku možné vytvořit model, na kterém budou jen minimálně patrná místa styků jednotlivých snímků. Pokud se tato podmínka nepodaří splnit, je potřeba použít barevné vyrovnání snímku, aby na výsledném digitálním glóbu nebyly vidět rušivé barevné přechody. Důležitá je opravdu pečlivá kontrola, protože tato chyba nemusí být na první pohled patrná.

Pro potřeby digitalizace glóbů je vhodné použít speciální digitalizační zařízení, které umožňuje šetrnou, bezpečnou a přesnou digitalizaci glóbů. Toto zařízení by mělo umožnit jednoduché otáčení glóbu při zachování konstantní vzdálenosti od fotoaparátu a mělo by zajišťovat neměnnou pozici fotoaparátu. Dále musí optická osa fotoaparátu mířit do středu glóbu a být kolmá k jeho povrchu. Všechny tyto podmínky jsou důležité pro následné výpočty. Jak takové digitalizační zařízení může vypadat je ukázáno na Obr. 1.



Obr. 1: Digitalizační zařízení pro snímkování glóbů

Snímkování probíhá po jednotlivých poledníkových pásech. V závislosti na velikosti glóbu se určí velikost snímané oblasti. U nejmenších glóbů oblast zabírá velikost 20° zeměpisné šířky x 20° zeměpisné délky. S narůstající velikostí glóbu se pak velikost oblasti může zmenšit až na $5^\circ \times 5^\circ$. Tyto hodnoty platí pro oblasti kolem rovníku a směrem k pólům se adekvátně zvětšují.

4. Tvorba digitálního modelu

4.1. Určení vlíčovacích bodů

Aby bylo možné provést komplexní vyrovnání, je potřeba zajistit rovnoměrné rozmístění vlíčovacích bodů na pořízených snímcích. Při nesplnění této podmínky může být výpočet nestabilní. Minimální počet je 6 - 8 bodů rovnoměrně rozmístěných na snímku.

Pro detekci vlíčovacích bodů na snímcích je použito metody s názvem Harrisův operátor [16], jehož účelem je vyhledání bodů v obraze hran a poté hledání korespondujících bodů v sekvenci snímků, získaných jednou kamerou. Touto metodou jsou získány množiny bodů na všech snímcích, v nichž jsou jednotlivé odpovídající si body hledány pomocí obrazové korelace. Pro korelaci je použito Pearsonova korelačního koeficientu, kdy se nejprve určí dostatečně velké čtvercové okolí hledaného bodu na vzorovém snímku (vzor) a poté se hledá tento vzor na ostatních snímcích (cíl).

Problémem je, že vzor i cíl si musí být dostatečně podobné, to znamená že, musí být stejně natočené a mít stejné měřítko. To však u zdrojových snímků není zajištěno. Tento problém je možné vyřešit zjištěním přibližných prvků vnější orientace každého snímku, pomocí kterých získáme přímý vztah mezi souřadnicemi snímku a zeměpisnými souřadnicemi. Pokud známe tento vztah, můžeme vzorový i cílový snímek transformovat do stejného kartografického zobrazení a zde korelaci provést. Jako jedno z možných zobrazení vhodných pro korelaci můžeme použít azimutální zobrazení v obecné poloze konkrétně gnómonickou projekci. Aby nebyla korelace příliš výpočetně náročná, je dobré převést všechny snímky z barevného prostoru RGB do stupňů šedi a provádět korelaci pouze na černobílých snímcích.

Nyní máme nalezeny pravděpodobné korespondující si body na jednotlivých snímcích, avšak ne všechny si odpovídají. Vyskytují se zde i body, které jsou určeny špatně. Pro získání skutečně korespondujících si bodů a tedy vyloučení bodů určených špatně použijeme Ransac algoritmus [16]. Tento algoritmus odhaduje parametry matematického modelu z měřených dat. Měřenými daty jsou tedy korespondující body a matematickým modelem transformační matice mezi snímky. Pro potřeby algoritmu jsou náhodně vybrány 4 korespondující si body, ze kterých je vypočtena transformační matice pomocí metody nejmenších čtverců a následně je provedena transformace všech detekovaných bodů ze vzorového snímku do cílového. Pokud je transformační matice správná musí se souřadnice bodů na vzorovém a cílovém snímku shodovat. Shoda není absolutní, rozdíl souřadnic však nesmí překročit předem určenou toleranci. Tato tolerance se pohybuje kolem 17 pixelů. Tento postup je opakován dokud není dosaženo shody alespoň u 5 transformovaných bodů. Body u kterých je dosaženo shody se stávají vlíčovacími body potřebnými pro další výpočty.

4.2. Výpočet prvků vnější orientace

K vytvoření digitálního modelu glóbu, je zapotřebí získat pro každý snímek jeho prvky vnější orientace, pomocí kterých je následně získán přímý matematický vztah mezi snímkovými souřadnicemi x, y a zeměpisnými souřadnicemi U, V .

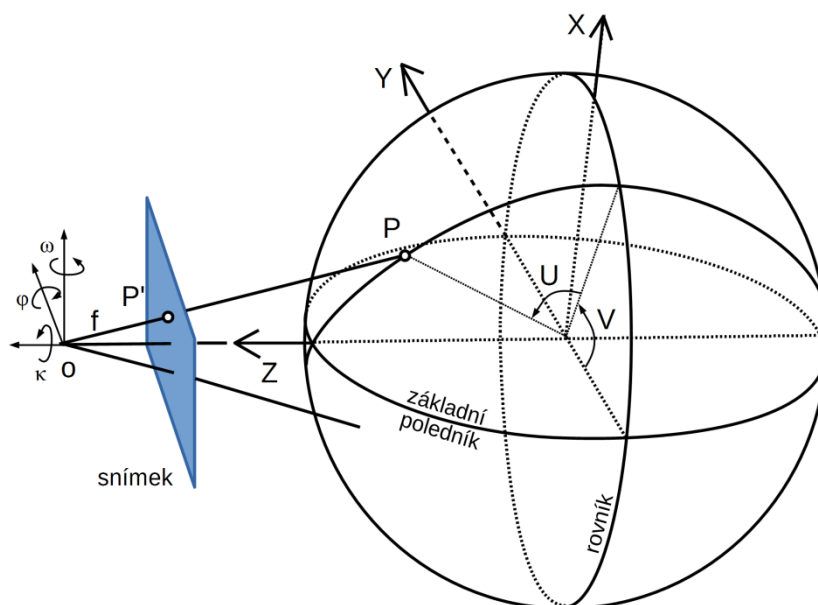
Prvky vnější orientace jsou 3 úhly rotace snímku ω, φ, κ a dále prostorové souřadnice středu vstupní pupily X_0, Y_0, Z_0 (projekčního centra - na Obr. 2 označen jako O). Střed souřadnicové soustavy je umístěn do středu glóbu.

Při výpočtech předpokládáme, že globus je ideální koule o poloměru r_g .

Nejdříve je potřeba získat přibližné hodnoty prvků vnější orientace. Ty získáme ve dvou krocích. Nejprve je určíme pomocí přibližné zeměpisné šířky a délky středu snímku, kterou zjistíme odečtením ze zeměpisné sítě. Z nich vypočteme přibližnou matici rotace, pomocí které následně určíme přibližné hodnoty prvků vnější orientace.

V druhém kroku vypočteme zpřesněné prvky vnější orientace vyrovnaním pomocí metody nejmenších čtverců z vlíčovacích bodů na snímku. Protože máme 6 neznámých, potřebujeme alespoň 3 body na snímku.

Pokud jsou na snímku pouze 2 vlíčovací body, nebo mají body špatnou konfiguraci, můžeme přidat ještě další podmínky. A to v tom případě jestliže je vzdálenost fotoaparátu od středu glóbu neměnná a optická osa fotoaparátu míří do středu glóbu. Výpočet se potom řeší jako zprostředkující vyrovnaní s podmínkami.



Obr. 2: Schéma snímání glóbu

4.3. Komplexní vyrovnaní

V případě, že jsou prvky vnější orientace dostatečně přesně vypočtené, můžeme přejít ke komplexnímu vyrovnaní celého glóbu. Při tomto vyrovnaní se opět berou jako neznámé prvky vnější orientace, navíc se jako neznámé berou zeměpisné souřadnice vlíčovacích bodů na glóbu. Dále se jako neznámé mohou přidat také prvky vnitřní orientace komory. Výpočet se opět řeší vyrovnaním pomocí metody nejmenších čtverců. Aby byl výpočet stabilní, je vhodné

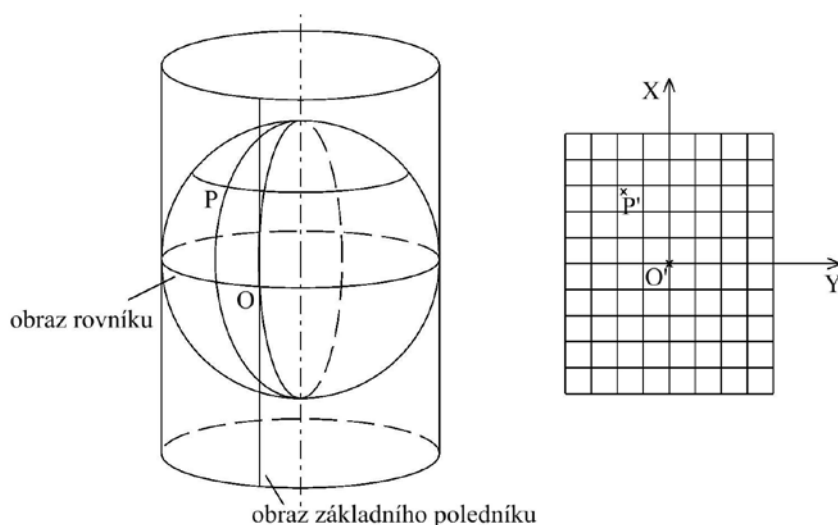
vybrat některé vlíčovací body jako pevné a jejich zeměpisné souřadnice nevyrovnávat. Pro potřeby rychlejšího výpočtu, je vhodné použít některé metody pro řešení lineárních rovnic s řídkými maticemi, protože v průběhu výpočtu pracujeme s maticí, kde je mnoho prvků nulových.

Vyrovnaním se získají přesné hodnoty prvků vnější orientace každého snímku a tím se získá i přímá transformace mezi zeměpisnými a snímkovými souřadnicemi. Výsledným produktem je tedy transformační vztah umožňující každému obrazovému bodu na každém snímku určit jeho odpovídající zeměpisné souřadnice. Ty je možné dále transformovat do vhodně zvoleného kartografického zobrazení, které je použito k následné vizualizaci. Podrobnější popis postupu výpočtu včetně potřebných matematických vzorců je uveden v [8].

5. Vizualizace

Pro vytvoření bezešvého digitálního modelu glóbu rozvinutého do roviny je potřeba snímky transformovat do vhodně zvoleného kartografického zobrazení, kterým může být například ekvidistantní válcové zobrazení.

U ekvidistantního válcového zobrazení dochází k převedení zobrazení povrchu glóbu na plášť válce, který se poté rozvine do roviny. Zobrazovací válec u použitého zobrazení je v normální poloze, což znamená, že osa válce je totožná s osou rotace glóbu. Obrazem zeměpisné sítě je tedy soustava vzájemně ortogonálních přímků, kdy obrazy poledníků a rovnoběžek jsou od sebe stejně vzdálené.



Obr. 3: Ekvidistantní válcové zobrazení v normální poloze

Transformace všech obrazových bodů do ekvidistantního válcového zobrazení se provede dosazením jejich výše určených zeměpisných souřadnic do zobrazovacích rovnic ekvidistantního válcového zobrazení.

$$\begin{aligned} X_j &= R \cdot U_j \\ Y_j &= R \cdot V_j \end{aligned}$$

kde

R ... poloměr Země,
 U_j, V_j ... zeměpisné souřadnice obrazových bodů,

X_j, Y_j ... pravouhlé souřadnice obrazových bodů v rovině ekvidistantního válcového zobrazení.

Při transformaci snímků do válcového zobrazení je potřeba pamatovat na to, že u mnoha starých glóbů prochází nultý poledník přibližně ostrovem Ferro nebo jeho okolím a proto aby byl glóbus správně georeferencován, je potřeba výsledný obraz posunout o odpovídající hodnotu. Ze zkušenosti vyplývá, že hodnota tohoto posunu není konstantní a tedy že tento nultý poledník není na glóbech zakreslen vždy ve stejné poloze.

Transformované snímky jsou nakonec spojeny do jedné celistvé vrstvy, která nám vytváří výsledný obraz glóbu ve válcovém zobrazení. Příklad takovéto vytvořené vrstvy je znázorněn na Obr. 4. Na pólech lze pozorovat mírné zdeformování poledníků, které je způsobeno vyrovnáním vlíčovacích bodů na glóbu umocněné roztažením pólů ve válcovém zobrazení (kartografickým zkreslením) při kterém se i nepatrná chyba mnohonásobí. Tento nedostatek lze částečně odstranit vhodnou volbou pevných bodů při vyrovnání, ale může také signalizovat špatnou konfiguraci vlíčovacích bodů na snímcích.



Obr. 4: Transformovaný obraz glóbu

5.1. Úprava obrazu glóbu

V některých případech se může stát, že je na výsledném modelu patrné napojení jednotlivých snímků projevující se jako nepatrný posun obrazu. To je dáno většinou tím, že glóbus není ideální koule nebo se papír s kresbou od glóbu odlepuje, případně to mohou ovlivňovat i další vlivy.

Pokud nechceme, aby tyto přechody byly patrné, existují v zásadě dvě možnosti, jak tento problém vyřešit:

- První možností je na styku dvou snímků zadat řadu vlíčovacích bodů, které určí jak velká přesně je odchylka na styku, a poté pomocí dotransformace tuto chybu odstranit. Nutné je ale určit velké množství vlíčovacích bodů, které pokud nebudou dostatečně přesné, tak tento problém zcela neodstraní.
- Druhou možností je mezi jednotlivými snímky použít plynulý přechod, kdy mezi sousedními snímky dochází v místě jejich styku k prolnutí. Tato metoda je jednodušší, ale pokud je odchylka větší, dochází k určitému rozmazání v místě přechodu.

5.2. Zpřístupnění glóbu

Zpřístupnění digitálních kopií snímaných glóbů je možné realizovat v zásadě dvěma způsoby. První možností je v podobě 3D modelu například prostřednictvím JavaScript knihovny Cesium nebo pluginu Google Earth ve webovém prohlížeči. Druhou možností, která je předmětem této metodiky a bude popsána níže, je v podobě georeferencované mapy pomocí některé z webových služeb určených pro tento účel. Takovouto službou může být například Web Map Service (WMS), Web Map Tile Service (WMTS) nebo Tile Map Service (TMS). Zde bude popsán případ použití TMS.

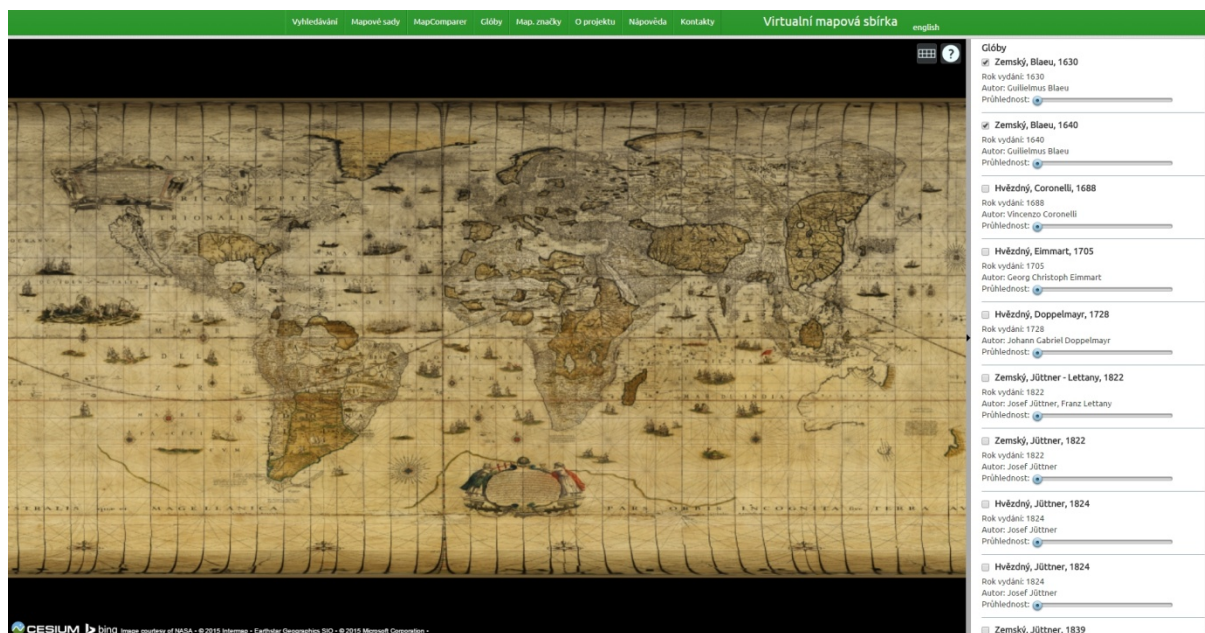
Problémem při zpřístupňování glóbů je značná velikost výsledného modelu, která může mít za následek zdlouhavé načítání modelu při prohlížení na internetu. Před vlastním publikováním je tedy ještě provedeno pyramidování výsledného transformovaného obrazu glóbu, které urychluje zpracovávání obrazových dat webovou aplikací. To znamená, že výsledný obraz je rozdělen na menší části tzv. dlaždice, které jsou vytvářeny pro různé úrovně zvětšení obrazu obvykle tak, že jedna dlaždice na určité úrovni přiblížení odpovídá čtyřem dlaždicím na úrovni následující. Při prohlížení se tedy načítá pouze určitá část obrazu. Dlaždice jsou ukládány ve standardních grafických formátech (obvykle jpg nebo png). Vnitřní uspořádání dlaždic pak obvykle dodržuje určitou strukturu, velmi často jde o struktury Zoomify nebo TMS. Práci s takovými dlaždicemi na straně klienta pak umožňují nástroje vytvořené ve flashi nebo javascriptu, tedy dnes běžně rozšířené technologie.

TMS tedy umožňuje přístup ke georeferencovaným kartografickým dílům s využitím dlaždicového zobrazení. Jedná se o webovou službu, která je založena na protokolu HTTP standardu 1.0 a dotazy jsou realizovány pomocí Representational State Transfer (REST). REST je koncept pro design distribuované architektury. Distribuovaná architektura v tomto smyslu znamená, že části programu běží na různých strojích a pro svoji komunikaci využívají síť. REST může mít různé reprezentace (XML, HTML, JSON, SVG, PDF), klient tedy nepracuje přímo se zdroji, ale s jejich reprezentací. V případě TMS se využívá XML reprezentace, která je dnes definována ve verzi 1.0. Provozování aplikace vyžaduje funkční tmserver, který je uveden v XML specifikaci, například <http://tms.osgeo.org>.

Struktura XML souboru, který obsahuje specifikaci může vypadat takto:

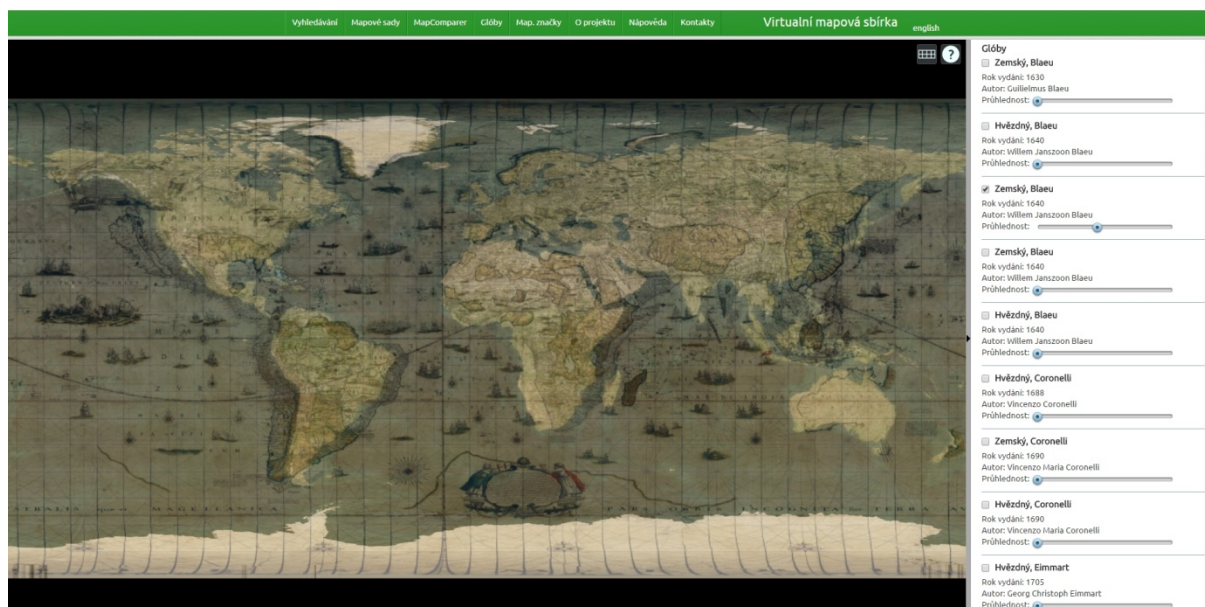
```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<TileMap version="1.0.0" tilemapservice="http://tms.osgeo.org/1.0.0">
  <Title>2394.vrt</Title>
  <Abstract></Abstract>
  <SRS>EPSG:4326</SRS>
  <BoundingBox minx="-90.00000000000000" miny="-180.00000000000000"
maxx="90.00000000000000" maxy="180.00000000000000"/>
  <Origin x="-90.00000000000000" y="-180.00000000000000"/>
  <TileFormat width="256" height="256" mime-type="image/png" extension="png"/>
  <TileSets profile="geodetic">
    <TileSet href="0" units-per-pixel="0.70312500000000" order="0"/>
    <TileSet href="1" units-per-pixel="0.35156250000000" order="1"/>
    <TileSet href="2" units-per-pixel="0.17578125000000" order="2"/>
    <TileSet href="3" units-per-pixel="0.08789062500000" order="3"/>
    <TileSet href="4" units-per-pixel="0.04394531250000" order="4"/>
    <TileSet href="5" units-per-pixel="0.02197265625000" order="5"/>
    <TileSet href="6" units-per-pixel="0.01098632812500" order="6"/>
  </TileSets>
</TileMap>
```

Příklady výsledných digitálních kopií glóbů jak ve formě 3D modelu tak i ve formě mapy v georeferencované podobě jsou zpřístupněny na internetové stránce <http://chartae-antiquae.cz/cs/globes/>. Ukázka zpřístupnění glóbu v podobě georeferencované mapy pomocí služby TMS je zobrazena na Obr. 5.



Obr. 5: Digitální glóbus v podobě georeferencované mapy

V této aplikaci je možné porovnávat pomocí zprůhlednění digitální kopie starých glóbů se současným stavem nebo mezi sebou.



Obr. 6: Porovnání digitální kopie starého glóbu se současným stavem

6. Využití metodiky v praxi

Uplatnění metodiky je především v paměťových organizacích, jako jsou muzea, knihovny nebo zámky a kláštery, které vlastní staré (historické) glóby a chtějí je zpřístupnit široké veřejnosti ke studiu prostřednictvím Internetu. Dále pak v organizacích, které se zabývají digitalizací historických sbírek kartografických děl.

V současné době je tato metodika uplatňována při digitalizaci glóbů zapůjčených ze sbírek Národního technického muzea, Královské kanonie premonstrátů na Strahově, Vlastivědného muzea v Olomouci, Arcidiecézního muzea Kroměříž a dalších soukromých sbírek.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] ADAMI, A. From real to virtual globe: new technologies for digital cartographic representation. *e-Perimetron* [online]. 2009, vol. 4, no. 3 [cit. 2010-03-31], s. 144-160. Dostupné z: <www.e-perimetron.org/Vol_4_3/Adami.pdf>. ISSN 1790-3769.
- [2] AMBROŽOVÁ K., TALICH M.: Metoda digitalizace starých glóbů. In: *Sborník referátů z vědecké konference „Historické mapy“, 24. 10. 2013*, Bratislava, Katedra mapování a pozemkových úprav, SvF STU, 2013, str. 7 - 16, ISBN 978-80-89060-22-1, Dostupné z: <http://naki.vugtk.cz/media/doc/publikace/HM_2013_Ambrozova_Talich.pdf>
- [3] AMBROŽOVÁ, K.; TALICH M., BÖHM O.: *Metodika digitalizace glóbů*. Zdiby: VÚGTK, v.v.i., 2013, 20 s. Dostupné z: <http://naki.vugtk.cz/media/doc/metodika-digitalizace_globu.pdf>.
- [4] BUCHAR, P. *Matematická kartografie*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 197 s. ISBN 978-80-01-03765-2.
- [5] GEDE, M. Publishing globes on the Internet. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*. 2009, vol. 4, no. 1, s. 141-148. ISSN 1217-8977.
- [6] GEDE, M.; MÁRTON, M. Globes on the Web – The Technical Background and the First Items of the Virtual Globes Museum. In GARTNER, G.; ORTAG, F., eds. *Cartography in Central and Eastern Europe*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2009, s. 279-290. ISBN 3-642-03293-1.
- [7] GÖRZ, G.; HOLST, N. The Digital Behaim Globe (1492). *Museum Interactive Multimedia 1997: Cultural heritage systems design and interfaces - Selected Papers from ICHIM 97*. Paris, 1997. s. 157-153. ISBN 1-885626-14-2.
- [8] HAVRLANT, J.; AMBROŽOVÁ, K.; TALICH M., BÖHM O.: *Metodika georeferencování glóbů*. Zdiby: VÚGTK, v.v.i., 2014, 25 s. Dostupné z: <http://naki.vugtk.cz/media/doc/metodika_georeferencovani_globu.pdf>.
- [9] HRUBY, F.; PLANK, I.; RIEDL, A. Potential of Virtual 3D-Facsimiles – Exemplified by the Earth globe of Gerard Mercator (1541). In *Proceedings of 22nd ICA Cartographic Conference*, A Coruña, Spain, 2005.
- [10] KUNST, C.; DOLZ, W.; BUCHROITHNER, M. The Digital True-3D Globe from Willem Janszoon Blaeu. In *Proceedings of 1st International Conference on 3D Maps*. Dresden, Germany, 2009.
- [11] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 1*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2009. 200 s. ISBN 978-80-01-04249-6.
- [12] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 2*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2011. 163 s. ISBN 978-80-01-04719-4.
- [13] RIEDL, A. Digital Globes – from Virtual to Real. In *Proceedings of 22nd ICA Cartographic Conference*, A Coruña, Spain, 2005.

- [14] RIEDL, A. Digital Globes. In CARTWRIGHT, W.; PETERSON, M.P.; GARTNER, G.; eds. *Multimedia Cartography*. Springer, Berlin-Heidelberg, 2006, s. 255-266. ISBN 3-540-36650-4.
- [15] *Virtual Globes Museum* [online]. Department of Cartography and Geoinformatics, Eötvös Loránd University. Budapest, Hungary, 2009. Dostupné z: <<http://terkeptar.elte.hu/vgm/info.php?lang=en>>.
- [16] VOBORA, V. *Automatické vyhledávání vřícovacích bodů pro polynomiální rektifikaci*. Plzeň, 2007. 66 s. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky.