

Klára AMBROŽOVÁ¹, Milan TALICH¹

METODA DIGITALIZACE STARÝCH GLÓBŮ

Úvod

Staré glóby jsou stejně tak důležitým kartografickým dědictvím jako jiná stará kartografická díla, například mapy nebo atlasy. V dnešní době kdy je maximální snahou převádět veškeré jedinečné archiválie zvláštního významu do digitální podoby a následně je zpřístupňovat veřejnosti on-line prostřednictvím sítě internet, je nastolena otázka digitalizace a zpřístupnění i těchto kartografických děl. Účel je zřejmý. V první řadě je potřeba zamezit poškození originálů a přitom umožnit veřejnosti jejich studium aniž by bylo třeba vážit cestu do příslušné sbírky, archivu, muzea či knihovny, kde jsou originály uloženy. Ovšem i přesto, že se jedná o kartografická díla a je nutno při jejich digitalizaci plně respektovat jejich kartografické vlastnosti, není možné pro glóby použít známé technologie a metodiky pro digitalizaci starých map nebo atlasů. Je tedy zapotřebí vytvořit nové speciální technologie digitalizace starých glóbů včetně příslušných metodik a tyto uvést v praxi. Přitom je vhodné respektovat rozdílnost glóbů od map a atlasů, a zajistit aby se i v digitalizované podobě příslušný glóbus jevil uživateli jako skutečný glóbus a takto s ním mohl i zacházet. Tento úkol tedy dnes stojí před většinou paměťových institucí, které mají ve svých fondech i staré glóby.

V současné době existuje v celosvětovém měřítku cca 10 projektů, které se zabývají problematikou digitalizace starých glóbů. Nejaktuálnějším a také nejrozsáhlejším projektem v této oblasti je Virtuální muzeum glóbů (Gede, 2009, 2010) vytvářené na univerzitě v Budapešti. Přestože postup zpracování je velmi podobný metodě popsané níže je zde několik odlišností, a to zejména ve způsobu pořízení digitálních dat a také v použitých softwarech. Dalším významným projektem je digitální glóbus Gerarda Mercatora (Hruby et al., 2006), u kterého je použit odlišný postup při procesu georeference snímků. Za uvedení stojí jistě i Coronelliův virtuální glóbus (Adami et al. 2008), který byl vytvořen naskenováním glóbu pomocí laserového 3D skeneru.

V tomto příspěvku jsou popisovány výsledky dosažené při vývoji nové technologie digitalizace starých glóbů v rámci projektu DF11P01OVV021: "Kartografické zdroje jako kulturní dědictví. Výzkum nových metodik a technologií digitalizace, zpřístupnění a využití starých map, plánů, atlasů a glóbů." řešeného ve VUGTK Zdiby.

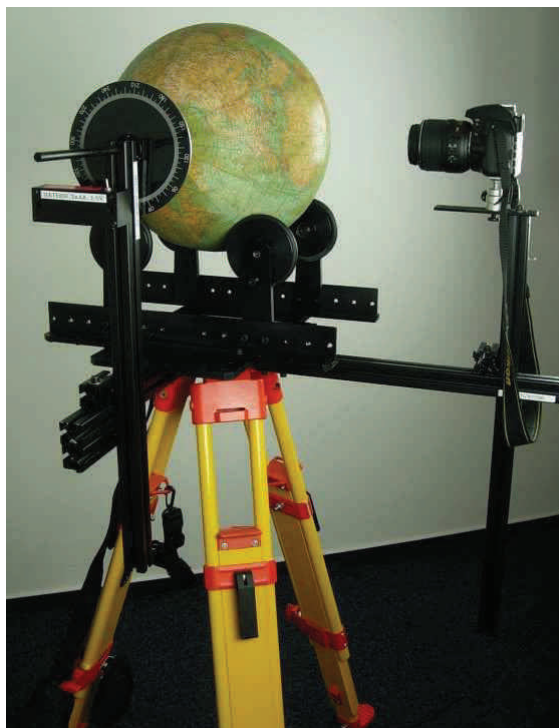
¹ Ing. Klára AMBROŽOVÁ, Ing. Milan TALICH, Ph.D., Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i., Ústecká 98, 250 66 Zdiby, e-mail: Klara.Ambrozova@vugtk.cz, Milan.Talich@vugtk.cz

Metoda digitalizace

Vytvoření digitálního modelu glóbu se skládá z pěti hlavních kroků. Prvním krokem je nasnímání povrchu glóbu digitálním fotoaparátem. V druhém kroku je provedena georeference získaných snímků, pro kterou je důležité správné definování kartografického zobrazení a určení vřícovacích bodů. Následuje transformace snímků do ekvidistantního válcového zobrazení v normální poloze a jejich ořezání v grafickém editoru na požadované oblasti. Z takto zpracovaných snímků je vytvořena vrstva v datovém formátu KML či KMZ, kterou je možné otevřít v programu Google Earth, jež vytváří prezentaci digitálního modelu.

Pořízení digitálních snímků

Pro potřeby digitalizace glóbů bylo na základě předem definovaných technických požadavků vyvinuto ve spolupráci se specializovanou firmou zcela nové speciální mobilní zařízení. Toto zařízení umožňuje šetrnou a bezpečnou manipulaci s glóby v průběhu jejich snímání a díky zajištění neměnných podmínek během digitalizace se podílí na získání velmi kvalitních a přesných dat. Díky své přestavitelnosti je možné zařízením digitalizovat glóby o průměru od 5 cm do 120 cm.



Obr. 1 Mobilní zařízení pro snímání glóbů

Před vlastním snímáním je potřeba přizpůsobit digitalizační zařízení velikosti glóbu a usadit glóbus do zařízení tak, aby spojnice severního a jižního pólu ležela ve vodorovné ose. Důležité je také nastavení fotoaparátu. Fotoaparát má být umístěn ve vhodné vzdálenosti od snímání povrchu a optická osa fotoaparátu má mířit do středu glóbu a být kolmá k jeho povrchu.

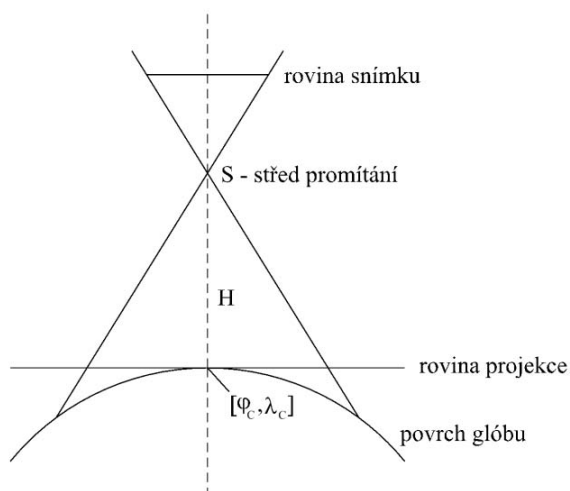
Pořízení snímků probíhá tak, že nejprve se při otáčení glóbu o konstantní úhel kolem jeho svislé osy pořídí série snímků pokrývající oblast poledníkového pásu. Poté se pootočí glóbus o konstantní úhel tentokrát kolem vodorovné osy a pořídí se další pás snímků. Tento postup se opakuje, dokud není nasnímán celý povrch glóbu.

Georeferencování digitálních dat glóbu

Získaná digitální data jsou následně georeferencována, kdy pro proces georeference je důležité definovat přesné zobrazení snímků a určit vlíčovací body. Při určování zobrazení snímků je na snímkování glóbu fotoaparátem pohlíženo jako na snímkování zemského povrchu z vesmíru. Při tomto snímkování, je-li specifikována vzdálenost snímkování a optická osa fotoaparátu prochází středem glóbu, se jedná o zobrazení Vertical Near-Side Perspective, což je azimutální projekce, která je definovaná přímkami konvergujícími v libovolném bodě ležícím na přímce procházející středem glóbu a kolmé k projekční rovině. Definičními parametry jsou výška bodu perspektivy H a zeměpisné souřadnice projekčního centra φ_c, λ_c (Snyder, 1987). Vlívovací body mohou být voleny v průsečících zeměpisné sítě nebo jimi mohou být jakékoliv jiné body o známých zeměpisných souřadnicích.

Proces transformace rastrových dat nezbytný pro jejich georeferencování se skládá z několika dílčích kroků. Jako první jsou přibližně určeny definiční parametry zobrazení. Výška bodu perspektivy H je získána přímým měřením a zeměpisné souřadnice projekčního centra φ_c, λ_c jsou určeny kvalifikovaným odhadem s využitím přibližného středu snímku a známých zeměpisných souřadnic vlíčovacích bodů φ_i, λ_i . Dále jsou ze snímku odečteny obrazové souřadnice v pixelech vlíčovacích bodů $\bar{x}_i, \bar{y}_i$ v souřadnicovém systému snímku.

Prvním krokem transformace je výpočet pravoúhlých souřadnic vlíčovacích bodů x_i, y_i v rovině projekce, která je znázorněna na obrázku 2 (Snyder, 1987).



Obr. 2 Schéma transformace s vyznačenými rovinami projekce a snímku

$$x_i = Rk' \cos \varphi_i \sin(\lambda_i - \lambda_c) \quad (1)$$

$$y_i = Rk' [\cos \varphi_c \sin \varphi_i - \sin \varphi_c \cos \varphi_i \cos(\lambda_i - \lambda_c)] \quad (2)$$

kde:

$$k' = (P - 1) / (P - \cos c_i) \quad (3)$$

kde:

$$\cos c_i = \sin \varphi_c \sin \varphi_i + \cos \varphi_c \cos \varphi_i \cos(\lambda_i - \lambda_c) \quad (4)$$

$$P = H/R + 1 \quad (5)$$

H	...	výška bodu perspektivy (definiční parametr)
φ_c, λ_c	...	zeměpisné souřadnice projekčního centra (definiční parametr)
R	...	poloměr Země
φ_i, λ_i	...	zeměpisné souřadnice vlíčovacích bodů

Z vypočtených souřadnic vlíčovacích bodů x_i, y_i v rovině projekce a získaných obrazových souřadnic týchž vlíčovacích bodů $\bar{x}_i, \bar{y}_i$ v souřadnicovém systému snímku jsou na základě vyrovnání metodou nejmenších čtverců určeny transformační parametry Helmertovy podobnostní transformace. Těmito parametry jsou měřítko q , úhel stočení ω a vzájemný posun počátků (translace) t_x, t_y souřadnicových systémů.

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

q	...	měřítko
ω	...	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

Pomocí výše určených transformačních parametrů se s využitím rovnic podobnostní transformace (7) vypočítají ze souřadnic všech obrazových bodů $\bar{x}_j, \bar{y}_j$ v souřadnicovém systému snímku jejich pravoúhlé souřadnice x_j, y_j v rovině projekce.

$$\begin{pmatrix} x_j \\ y_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q\cos\omega & -q\sin\omega \\ q\sin\omega & q\cos\omega \end{pmatrix}^{-1} \left[\begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \bar{x}_j \\ \bar{y}_j \end{pmatrix} \right] \quad (7)$$

Dále se pomocí rovnic (8) a (9) vypočítají zeměpisné souřadnice všech obrazových bodů φ_j, λ_j (Snyder, 1987).

$$\varphi_j = \arcsin(\cos c_j \sin \varphi_c + y_j \sin c_j \cos \varphi_c / \rho_j) \quad (8)$$

$$\lambda_j = \lambda_c + \arctg[x_j \sin c_j / (\rho_j \cos \varphi_c \cos c_j - y_j \sin \varphi_c \sin c_j)] \quad (9)$$

kde:

$$\rho_j = \sqrt{(x_j^2 + y_j^2)} \quad (10)$$

$$c_j = \arcsin \left\{ \left[P - \sqrt{1 - \rho_j^2 (P + 1) / (R^2 (P - 1))} \right] / [R(P - 1) / \rho_j + \rho_j / (R(P - 1))] \right\} \quad (11)$$

Převod snímků do ekvidistančního válcového zobrazení pro vizualizaci v programu Google Earth

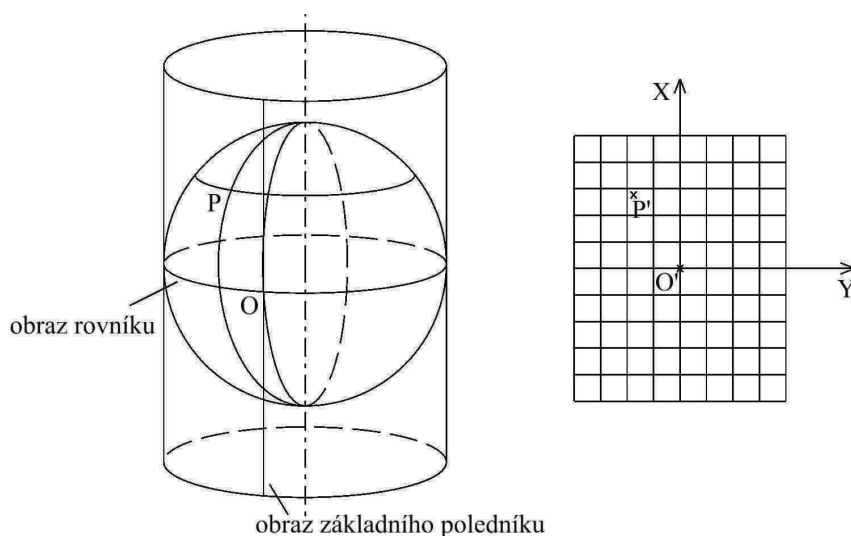
Výše určené zeměpisné souřadnice se dosadí do zobrazovacích rovnic ekvidistančního válcového zobrazení (12), (13) a provede se transformace všech obrazových bodů do tohoto zobrazení.

$$X_j = R \cdot \varphi_j \quad (12)$$

$$Y_j = R \cdot \lambda_j \quad (13)$$

R	...	poloměr Země
φ_j, λ_j	...	zeměpisné souřadnice obrazových bodů (v úhlové míře)
X_j, Y_j	...	pravoúhlé souřadnice obrazových bodů v rovině ekvidistančního válcového zobrazení

U ekvidistančního válcového zobrazení dochází k převedení zobrazení povrchu glóbu na plášť válce, který se poté rozvine do roviny. Jelikož se jedná o zobrazení ekvidistanční, tedy délkojevné, nezkracují se vzdálenosti podél určitého systému čar. Zobrazovací válec u námi použitého zobrazení je v normální poloze, což znamená, že osa válce je totožná s osou glóbu. Obrazem zeměpisné sítě je tedy soustava vzájemně ortogonálních přímk, kdy obrazy poledníků a rovnoběžek jsou od sebe stejně vzdálené (čtvercová mapa).



Obr. 3 Ekvidistanční válcové zobrazení v normální poloze

Výsledné transformované snímky jsou následně v grafickém editoru vhodně ořezány na požadované oblasti, a pokud to je nutné barevně upraveny. Z takto zpracovaných snímků je vytvořena vrstva v datovém formátu KML, kterou lze následně zkomprimovat do formátu KMZ. Vytvořenou vrstvu KML i KMZ je možné otevřít v programu Google Earth, který vytváří virtuální prezentaci glóbu.

Příklad vizualizace starého glóbu z digitálních dat

Před vlastním použitím digitálního fotoaparátu pro účely reprodukce je potřeba znát základní parametry označované jako prvky vnitřní orientace (dále jen PVO), které podávají informaci o vlastnostech použitého fotoaparátu. Pro jejich určení nebo ověření stávajících parametrů slouží technika nazvaná geometrická kalibrace. Pro naše účely byla použita kalibrace pomocí rovinného testovacího pole, které bylo nasnímáno z 5 stanovisek. Během snímkování byly při současném rotování kamery o 90° ve vlastní rovině pořízeny 4 snímky diagonální a 4 snímky frontální. Pro zjištění, jak se mění hodnoty PVO během snímkování a manipulaci s fotoaparátem, byly provedeny 3 etapy snímkování. První etapa zahrnovala snímky pořízené následně po zaostření a nastavení objektivu do krajní polohy ohniskové vzdálenosti. Druhá etapa obsahovala snímky pořízené po ručním přeostržení fotoaparátu s následným navrácením objektivu do původní polohy a třetí etapa snímkování proběhla po opětovném ručním přeostržení, vypnutí a následném zapnutí fotoaparátu. Získané rozdíly hodnot PVO se pohybovaly v řádu desetin až tisícín mm, je tedy zřejmé že se PVO během snímkování příliš nemění.

Při snímkování glóbu bylo potřeba dodržet několik podmínek. Pozice glóbu během snímkování musela být neměnná, současně však musela být umožněna rotace glóbu kolem svých os. Stejně tak pozici fotoaparátu bylo potřeba zafixovat. Splnění těchto podmínek umožnilo zhotovené digitalizační zařízení. Toto zařízení se skládá z dřevěného stativu ustaveného v trojnožce, na němž je pevně připevněna dělicí deska s vypálenou úhlovou stupnicí, která umožňuje úhlové nastavení glóbu ve vodorovné rovině. Na tuto desku je ustaven otočný rám s rolkami, přičemž jeho přesné vystředění zajišťuje čep, kterým je dělicí deska opatřena. K dispozici jsou 3 velikosti přestavitelných rámu s rolkami pro glóby o průměru od 5 cm do 120 cm. Součástí zařízení jsou dále přestavitelný držák na fotoaparát a přestavitelný držák nesoucí laserový zářič a úhlovou stupnici pro úhlové nastavení glóbu ve svislé rovině. Další podmínkou, kterou bylo potřeba dodržet, bylo zajištění vhodných a hlavně neměnných světelných podmínek během snímkování. Splnění této podmínky bylo umožněno díky osvětlovacím lampám a zatemňovacímu stanu, které jsou také součástí zařízení.

Výše popsaná metoda digitalizace byla použita při vytváření digitálního modelu glóbu z roku 1975 s názvem Rāth-Duoglobus, který byl vyroben v Lipsku v bývalé Německé demokratické republice. Jedná se o svítící glóbus politického rozdělení světa o průměru 33 cm a vyhotovený v měřítku 1:38 600 000. Na následujících obrázcích bude demonstrován postup digitalizace po jednotlivých krocích.

Krok 1: Snímkování glóbu po oblastech o velikosti 20° zeměpisné délky x 10° zeměpisné šířky vymezených probíhající zeměpisnou sítí.



Obr. 4 Originál snímku

Krok 2: Georeference snímků s vlčovacími body volenými v průsečících zeměpisné sítě.



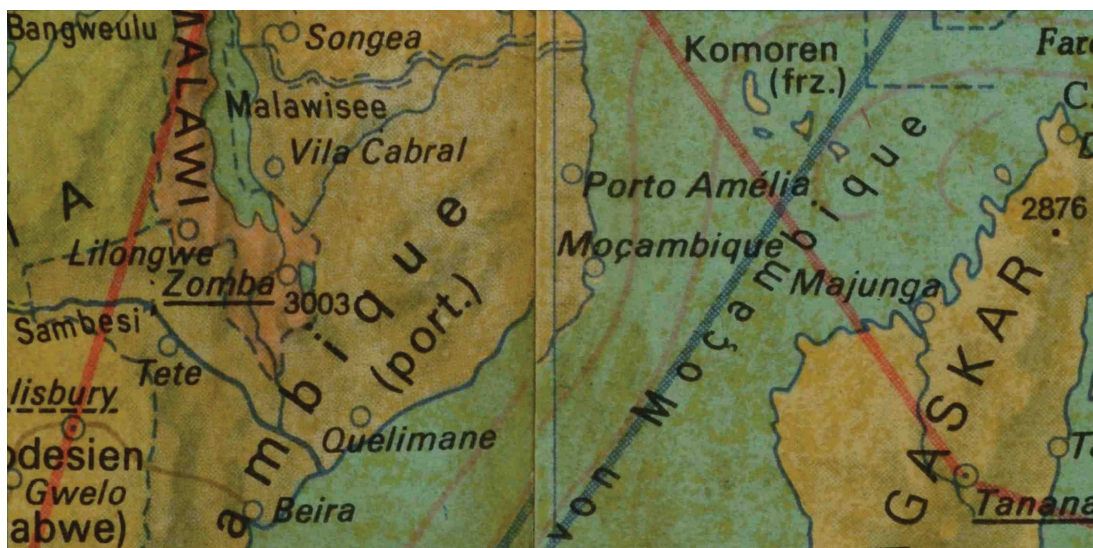
Obr. 5 Georeferencovaný snímek v rovině projekce

Krok 3: Transformace snímků do ekvidistantního válcového zobrazení.



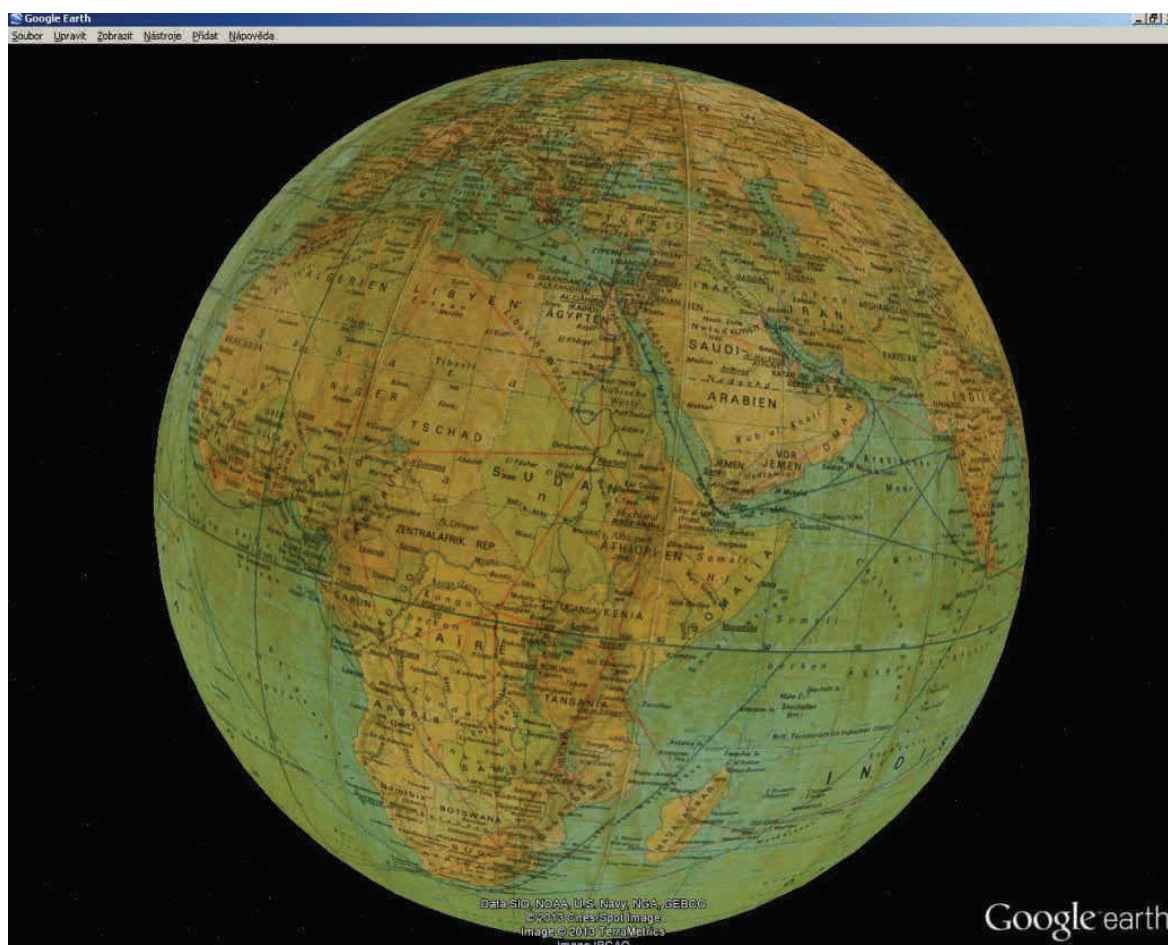
Obr. 6 Výsledný transformovaný snímek

Krok 4: Ořezání snímků na oblasti o velikosti 20° zem ěpisné délky x 10° zem ěpisné šířky. Výsledek je na obrázku 7.



Obr. 7 Ořezaný snímek

Krok 5: Vytvoření vrstvy v datovém formátu KMZ a její zobrazení v programu Google Earth.



Obr. 8 Digitální model glóbu

Výhody a nevýhody postupu

Díky zhotovenému digitalizačnímu zařízení je umožněna velmi šetrná, bezpečná a přesná digitalizace starých glóbů. Výhodou tohoto zařízení je jeho snadná přestavitelnost, která umožňuje digitalizovat glóby o průměru 5 až 120 cm a také možnost rozložit jej na jednotlivé díly. Po rozebrání je možné zařízení transportovat na místo uložení glóbu a vyhnout se tak převážení samotného glóbu. Aby bylo možné glóbus digitalizovat, je však nutné ho vyjmout ze stojanu, v němž je uchycen. To s sebou samozřejmě přináší možnost rizika jeho poškození, proto je toto vyjmutí přenecháváno odborníkům.

Pro vizualizaci digitálního modelu byl vybrán program Google Earth, který umožňuje práci s velkým množstvím dat s vysokým rozlišením. Vytváření vrstev KML s nimiž program pracuje je velmi jednoduché a vrstvy je možné kombinovat s ostatními daty, které program obsahuje. Problémy u tohoto řešení nastávají pouze v oblastech pólů, kde mnohdy dochází ke značnému zkreslení na snímcích. Tyto problémy však nejsou tak podstatné, jelikož v těchto oblastech je kartografický obsah velmi chudý a glóby zde bývají uchyceny do stojanu, jímž jsou oblasti pólů mnohdy z velké části zakryty.

Závěr

V článku je představena nová technologie pro digitalizaci a zpřístupnění starých glóbů prostřednictvím internetu. Ta umožňuje po provedení digitalizace prohlížet staré glóby jako zvláštní vrstvu v softwaru Google Earth a využívat tím všech jeho možností a vlastností. Důležité je dosáhnout při digitalizaci dostatečně rovnoměrné světlosti jednotlivých snímků zakřiveného povrchu glóbu, aby nebyly prakticky viditelné jejich návaznosti. Samotný proces fotografování glóbu není příliš časově náročný, je-li k dispozici potřebné zařízení, které jej umožní provést nejen rychle, ale i v požadované kvalitě. Následný proces zpracování snímků však vyžaduje poměrně zdoluhavou a náročnou práci. Uvedený praktický příklad digitalizovaného glóbu lze nalézt na mapy.vugtk.cz.

Vznik příspěvku byl podpořen projektem DF11P01OVV021: "Kartografické zdroje jako kulturní dědictví. Výzkum nových metodik a technologií digitalizace, zpřístupnění a využití starých map, plánů, atlasů a glóbů." v rámci programu NAKI Ministerstva kultury České republiky.

Literatura

- ADAMI, A., GUERRA, F. (2008). Coronelli's Virtual Globe. *e-Perimetron* [on-line], Vol. 3, No. 4 [cit. 2010-03-31], pp. 243-250. Dostupné z: <www.e-perimetron.org/Vol_3_4/Adami_Guerra.pdf>, ISSN 1790-3769.
- BUCHAR, P. (1996). *Matematická kartografie*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 197 s., ISBN 978-80-01-03765-2.
- GEDE, M. (2009). Publishing globes on the Internet. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, Vol. 4, No. 1, pp. 141-148. ISSN 1217-8977.
- GEDE, M. (2010). The use of the Nelder-Mead Method in estimating projection parameters for globe photographs. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, Vol. 45, No. 1, pp. 17-23. ISSN 1217-8977.
- HRUBY, F., PLANK, I., RIEDL, A. (2006). Cartographic heritage as shared experience in virtual space: A digital representation of the Earth globe of Gerard Mercator (1541). *e-Perimetron* [on-line], Vol. 1, No. 2 [cit. 2010-03-29], pp. 88-

98. Dostupné z: <www.e-perimetron.org/Vol_1_2/Hruby_etal/Hruby_et_al.pdf>., ISSN 1790-3769.

SNYDER, J. P. (1987). Map Projection – A Working Manual. Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, pp. 173-176.

S u m m a r y

Digitalization method of old globes

This paper describes the method of digitalization of old globes, including the method that allows the general public access to the digitalized globes via Internet. The goal is to develop the technologies that enable the use of old globes in their digital form by web. This will provide an opportunity to study the old globes located in various collections of historical items and enable the public to compare it with current or old maps and globes without visiting the collection.

The digitalization is done by photogrammetric method using the original device designed for this purpose. This device allows digitizing globes with a diameter ranged from 5 cm to 120 cm. The paper presents all transformations of raster images necessary for its georeferencing and the issue of calibration of digital camera that is used for the digitalization. The accuracy of georeferencing of the digital image corresponds to the accuracy of the map base on the globe. The digitalized globes are possible to compare by method of increasing the transparency of individual layers with current map data or with old maps and globes. The paper contains the example of the digitalized globe and shows the possibility how to access the model via Internet.

Fig. 1 Mobile device for digitizing globes

Fig. 2 Transformation schema with marked planes of projection and image

Fig. 3 Equirectangular projection

Fig. 4 Original image

Fig. 5 Georeferenced image in the plane of projection

Fig. 6 Transformed image

Fig. 7 Cropped image

Fig. 8 Digital model of globe