

Ověřená technologie zobrazení digitalizovaných map v 3D modelu

Jan Havrlant, Klára Ambrožová, Filip Antoš, 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.
červenec 2015

Obsah

1. Předmět ověřené technologie	3
2. Struktura ověřené technologie.....	4
3. Pořízení digitálních dat.....	5
3.1. Digitální fotoaparát.....	5
3.2. Běžný stolní skener.....	5
3.3. Průtahový (válcový) skener	5
3.4. Velkoformátový stolní skener	5
4. Uložení digitálních dat.....	7
5. Sběr identických bodů	8
6. Georeferencování získaných rastrových dat	9
6.1. Způsoby transformování map	9
7. Vizualizace	10
7.1. WebGL	10
7.2. Převod mapy do ekvidistantního válcového zobrazení	10
8. Zobrazení 3D modelu mapy na internetu pomocí knihovny Cesium.....	11
8.1. Stínování.....	11
8.2. Stupně detailu	11
8.3. Zprůhledňování.....	11
8.4. Nedostatky 3D modelů map	11
9. Ověření technologie vytvořením 3D modelu III. vojenského mapování.....	12
10. Ověření technologie vytvořením 3D modelu II. vojenského mapování	13
11. Závěr	15
12. Seznam použitých zdrojů	16

1. Předmět ověřené technologie

Tato ověřená technologie pro zobrazení digitalizovaných starých map ve 3D modelu obsahuje ověřený postup, kterým je možné jejich zpřístupnění odborné i laické veřejnosti v georeferencované podobě formou 3D modelů na internetu. Možnost prohlížení mapy ve 3D zobrazení přidává další dimenzi při prohlížení mapy a umožňuje lepší studium vývoje krajiny.

Ověřená technologie se zaměřuje hlavně na zpřístupnění starých map uložených ve formátu WMS nebo TMS, který umožňuje prohlížení georeferencovaných map. Je možné ji ale použít i pro novější mapy uložené v uvedených formátech.

Zpřístupnění 3D modelu na internetu se děje pomocí javascriptového API WebGL a k vytvoření 3D modelu terénu se využívá javascriptová knihovna Cesium.

Tato ověřená technologie využívá metodiky [4], kterou autoři vytvořili v roce 2015. Ověření technologie bylo provedeno na mapách III. vojenského mapování uložených ve formě TMS a současně také na mapách II. vojenského mapování uložených ve formě WMS.

2. Struktura ověřené technologie

Technologie je rozdělena do několika hlavních oblastí, kterými jsou:

- pořízení digitálních dat: uvedení podmínek nutných k získání kvalitních digitálních dat s použitím digitalizačního zařízení, převod do Zoomify,
- sběr identických bodů nutných pro georeferencování: popis sběru identických bodů, množství bodů,
- georeferencování a online transformace,
- vizualizace: popis zpracování georeferencovaných digitálních dat vedoucí k vytvoření 3D modelu mapy,
- zpřístupnění: představení možnosti online zpřístupnění 3D modelu mapy odborné i laické veřejnosti,
- ověření technologie - vytvoření 3D modelu II. a III. vojenského mapování.

3. Pořízení digitálních dat

V této kapitole je ve stručnosti shrnuto získávání digitálních dat pro účely tvorby 3D modelů digitalizovaných starých map. Před digitalizací map je dobré zvážit formáty předloh, jejich cenu, množství a časovou náročnost digitalizace a podle toho zvolit nejvhodnější typ digitalizačního přístroje.

3.1. Digitální fotoaparát

Nejjednodušší metodou a zároveň i poměrně levnou je zvolit digitalizaci pomocí digitálního fotoaparátu s vysokým rozlišením. Předlohy se digitalizují tímto způsobem velice rychle. Výsledná kvalita digitálního obrazu je závislá na typu přístroje, především na použitém objektivu fotoaparátu, přes který snímáný obraz prochází a deformuje se. Je ale potřeba si uvědomit, že výsledný digitální obraz je při průchodu optickou soustavou objektivu deformován středovým promítáním, ke kterému ještě přistupují vlastní vady optické soustavy. Pro mapy a plány, které vznikly na podkladech geodetických měření a kartografických postupů, je toto zkreslení zásadní, protože už při digitalizaci je přesnost digitální kopie mapy znehodnocena. Proto je tato metoda pro digitalizaci map a plánů nevhodná a lze ji použít jen v krajní nouzi.

3.2. Běžný stolní skener

Další poměrně levnou metodou je digitalizace map pomocí běžných stolních skenerů. Jedná se o bezpečné bezkontaktní skenování. Nevýhodou těchto skenerů je maximální velikost formátu, která je standardně do formátu A3, ale mapy bývají zpravidla větších rozměrů. To je možné vyřešit postupným skenováním s následným spojením do jednoho výsledného rastrového obrazu. Spojování jednotlivých skenů je věc poměrně náročná a většinou se mapu nepodaří sestavit bez viditelných nespojitostí, a to ani za pomoci transformace jednotlivých rastrů.

3.3. Průtahový (válcový) skener

Tyto problémy se dají odstranit použitím profesionálních velkoformátových průtahových (válcových) skenerů. Výraznou odlišností od ostatních typů skenerů je to, že snímací hlava skeneru se nepohybuje, ale pohybuje se předloha a to tak, že je pomocí válečků transportována skrz skener. Výhodou takového typu skeneru je, že je možné skenovat předlohy do šíře A0+ a délky teoreticky neomezené. Nevýhodou je, že se jedná o kontaktní skenování a existuje tu riziko poškození předlohy při průtahu skenerem. Riziko lze snížit použitím průhledné fólie, do které se předloha vloží a ochrání se tak před poničením. Mínusem může být i to, že průtahové skenery jsou omezeny tloušťkou předloh obvykle na maximálně 15mm, takže na tomto typu skeneru není možné skenovat publikace či atlasy.

3.4. Velkoformátový stolní skener

Posledním typem skeneru, který je pro skenování map nejvhodnější, je velkoformátový stolní skener. Předloha je u tohoto typu skeneru umístěna na desku, která se přitlačí ze spodu ke skenovacímu sklu, po kterém se pak pohybuje skenovací hlava. Jde tedy o bezpečné bezkontaktní skenování, kde je vyloučeno mechanické poškození předloh. Označení velkoformátový skener značí, že se na takovém skeneru dají skenovat předlohy do rozměru A0+ (914 x 1300 mm). Skener může být vybaven kolébkou, díky které lze šetrně a kvalitně

digitalizovat knihy a atlasy i větších rozměrů (formát A1) nebo také do knih vložené rozkládací obrázky.



Obr. 1: Velkoformátový stolní skener Trias Vidar

4. Uložení digitálních dat

Při pořizování digitálního skenu mapy vyvstává otázka do jakého formátu mapu uložit. Pro ukládání originálu skenu je asi nejvhodnější využít formát TIFF, který umožňuje rastrové obrazy ukládat pomocí ztrátové i bezztrátové komprese.

Pro zpřístupnění digitálního obrazu jako je mapa na internetu, je vhodné obraz rozdělit na menší části (dlaždice), aby se stahovala k uživateli vždy jen ta část obrazu, která se má zobrazit.

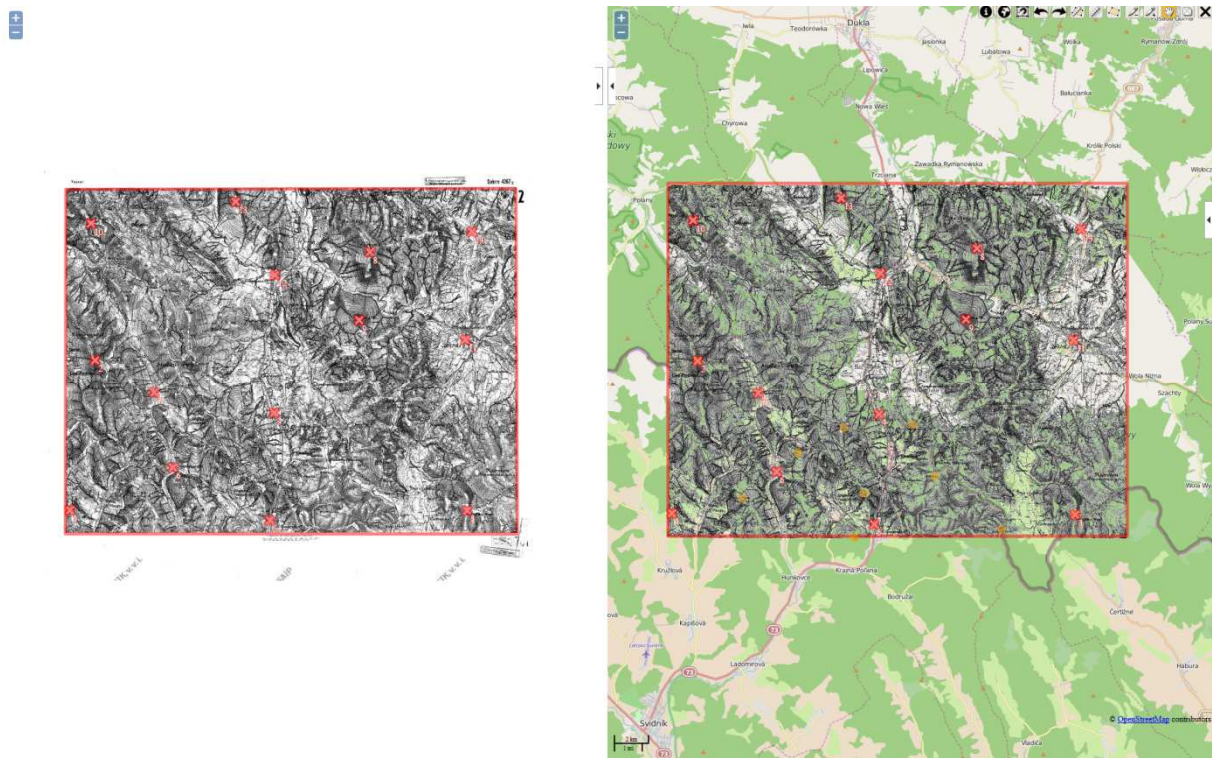
V současnosti je proto pro prohlížení map velmi rozšířený dlaždicový formát Zoomify, který umožňuje rychlé prohlížení velkých rastrových obrazů.

5. Sběr identických bodů

Abychom mohli vytvořit digitální 3D model mapy je potřeba mít mapu georeferencovanou a k tomu potřebujeme identické body. Na naskenované staré mapě je potřeba definovat body o známých zeměpisných souřadnicích, které se použijí při transformaci staré mapy do požadovaného nového souřadnicového systému.

Sběrem identických bodů získáme u každé mapy vždy ke každému identickému bodu dvojici souřadnic a to obrazové a zeměpisné.

Pro sběr identických bodů je dobré použít vhodný program, který umožňuje ukládat body definované uživatelem. Tato práce může být velmi náročná zvláště u starých map, kde je potřeba najít prvky, které se objevují jak na současné mapě, tak na naskenované mapě. V závislosti na velikosti mapy je potřeba nasbírat i několik desítek identických bodů na každém mapovém listě.



Obr. 2: Příklad programu pro sběr identických bodů

Aby byla mapa dobře georeferencovaná musí být identické body na mapě přibližně rovnoměrně rozmístěné. Je výhodné, když program pro sběr identických bodů umožňuje online georeferencování mapy, což má za následek, že při vložení dalšího identického bodu se mapa opětovně transformuje a uživatel tak okamžitě vidí výsledek své práce. Dále je vhodné transformovanou mapu zobrazit na podkladě jiného mapového díla, a zhodnotit tak kvalitu georeferencování. Případně je možné přidat další identické body nebo stávající upravit.

Pokud se jedná o mapu z území České republiky, může se jako podkladová mapa zvolit např. některá z map poskytovaných ČÚZK. V případě mapy zahraniční mohou být podkladem mapy Google nebo OSM.

6. Georeferencování získaných rastrových dat

Georeferenci, tedy určení vztahu mezi obrazovými a zeměpisnými souřadnicemi, můžeme provést několika způsoby. Pokud známe kartografické zobrazení dané mapy je vhodné ho při georeferenci využít. Není potom potřeba definovat tolik identických bodů a je dosažena vyšší polohová přesnost. Pokud kartografické zobrazení mapy neznáme, nezbyvá než použít nějaký druh transformace, který umožňuje natransformovat naskenovanou mapu na dané identické body. Zajímavou možností je využití elastické transformace [7,9]. Její výhodou jsou široké možnosti nastavení a robustnost. Nevýhodou je větší výpočetní náročnost a proto se hodí spíše pro offline transformaci.

Další dnes hojně používanou možností je Thin plate spline (TPS), která je relativně jednoduchá a lze ji tedy použít i pro online transformaci rastrů.

6.1. Způsoby transformování map

Pokud máme množinu identických bodů a definovaný transformační vztah mezi obrazovými a zeměpisným souřadnicemi můžeme přistoupit k transformaci. Zde je potřeba rozhodnout jakým způsobem budeme mapu transformovat. Máme několik možností:

- **transformace offline** - mapu transformujeme předem a na internetový server vystavíme již transformovanou mapu připravenou k tvorbě 3D modelu. Tento postup je vhodný pokud předpokládáme časté použití transformované mapy. Nevýhodou je, že není možné jednoduše přidat další identické body. Navíc vytváříme další kopii mapy, která může zbytečně zabírat místo na serveru.
- **transformace online na klientském počítači** - webový klient stahuje originální mapu ve formátu Zoomify a s ní seznam identických bodů. Vlastní transformace pak probíhá v internetovém prohlížeči pomocí programu napsaném v javascriptu. Nevýhodou tohoto postupu je, že přístup javascriptu přímo k jednotlivým bodům obrázku je velmi pomalý, takže transformace může být na starších počítačích pomalejší a tím se zpomalí zobrazení 3D modelu. Tento problém se dá v některých případech řešit tím, že využijeme WebGL, které umožňuje některé výpočty přesunout na grafickou kartu. Jsou zde ale některá omezení a navíc ne všechny počítače dnes WebGL podporují.
- **transformace online na serveru** - transformace proběhne online na serveru a uživatel potom už stahuje transformovanou georeferencovanou mapu požadovaného výřezu a rozlišení např. prostřednictvím dotazu WMS. Zde může být nebezpečí přetížení serveru, pokud by více uživatelů najednou začalo stahovat transformovanou mapu.

7. Vizualizace

7.1. WebGL

WebGL je javascriptové aplikační rozhraní umožňující zobrazení 3D modelů a současně umožňuje využít hardwarovou akceleraci grafické karty bez které by bylo zobrazení 3D modelu velmi pomalé a tedy nepoužitelné. Je založeno na standardech OpenGL a umožňuje programovat přímo grafickou kartu.

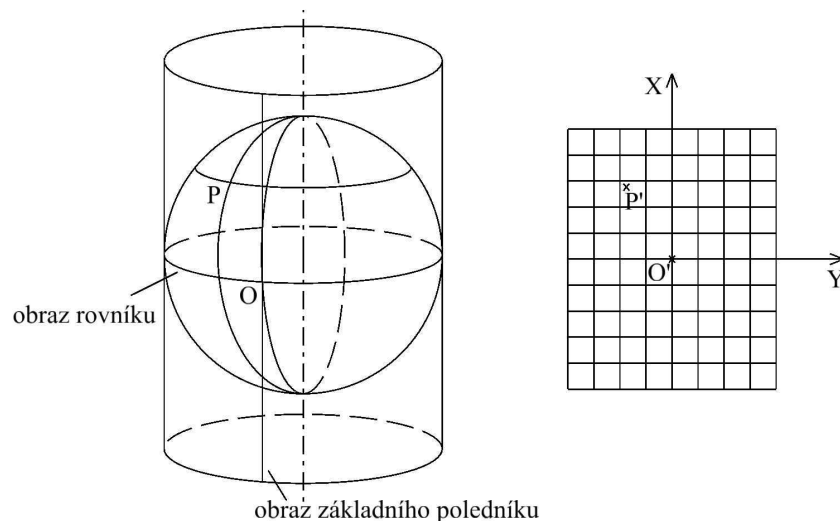
Jeho nevýhodou je, že v současné době nepodporuje starší grafické karty, což se bude s postupem času samozřejmě zlepšovat. Výhodou naopak je podpora i v operačním systému Android, takže je možné prohlížet 3D modely i na výkonnějších mobilních telefonech a tabletech s tímto operačním systémem.

7.2. Převod mapy do ekvidistantního válcového zobrazení

Pro vytvoření 3D modelu mapy je potřeba ji transformovat do ekvidistantního válcového zobrazení. Transformaci do tohoto zobrazení je nutno provést z důvodu následné vizualizace modelu pomocí knihovny Cesium, která umožňuje zobrazit mapu na digitálním modelu terénu.

U ekvidistantního válcového zobrazení dochází k převedení zobrazení mapy na plášť válce, který se poté rozvine do roviny. Jelikož se jedná o zobrazení ekvidistantní, tedy délkojevné, nezkrslují se vzdálenosti podél určitého systému čar. Zobrazovací válec u použitého zobrazení je v normální poloze. Obrazem zeměpisné sítě je tedy soustava vzájemně ortogonálních přímek, kdy obrazy poledníků a rovnoběžek jsou od sebe stejně vzdálené.

Aby byla provedena transformace všech obrazových bodů do ekvidistantního válcového zobrazení, dosadí se zeměpisné souřadnice S , D do zobrazovacích rovnic ekvidistantního válcového zobrazení.



Obr. 3: Ekvidistantní válcové zobrazení v normální poloze

8. Zobrazení 3D modelu mapy na internetu pomocí knihovny Cesium

Pro zobrazení 3D modelu mapy byla vybrána knihovna Cesium využívající WebGL, protože umožňuje relativně snadno zobrazit uživatelskou mapu na 3D modelu terénu. Má k dispozici dostatečně přesný model terénu a je šířen jako open source pod licencí Apache 2.0. Primárně slouží tato knihovna pro tvorbu 3D glóbulů, ale umožňuje také tvorbu 3D modelů map.

Při tvorbě 3D modelů mapy je dobré pamatovat na některé vlastnosti 3D modelu terénu.

8.1. Stínování

Pro zvýšení plasticity modelu je vhodné zapnout stínování modelu, které zlepšuje prostorový dojem. S tím také souvisí nastavení osvětlení. Podle toho jak vysoko je slunce nad obzorem, tak se mění velikost stínu. To lze měnit pomocí časové osy. Zároveň ovládací prvky Cesium umožňují nastavit rychlost pohybu slunce, takže se stínování může plynule měnit.

8.2. Stupně detailu

Digitální model terénu je složen z trojúhelníků. Jejich množství a rozmístění určuje detail modelu. Pokud je trojúhelníků málo není model hladký a dostatečně podrobný. Pokud je naopak trojúhelníků příliš mnoho vykreslování modelu je pomalé a animace pohybu po modelu trhaná. Proto je model rozdělen na čtvercové oblasti a u každé je předem vytvořeno několik stupňů detailu. Podle vzdálenosti od pozorovatele se potom přepíná stupeň detailu. Bližší oblasti mají hustší síť trojúhelníků a vzdálenější řidší. Tento mechanismus má Cesium již v sobě zabudovaný a není potřeba ho nějak zapínat. Pokud je potřeba podrobnější model terénu než má Cesium k dispozici, je možné si udělat vlastní a ten s knihovnou Cesium použít.

8.3. Zprůhledňování

Další možností, která může zlepšit vzhled modelu, je využití zprůhlednění mapy s vhodným podkladem podobně jako u 2D map na internetu.

8.4. Nedostatky 3D modelů map

U starších map se také může stát, že model terénu neodpovídá kresbě staré mapy. To je dobře vidět například u povrchových dolů v severních Čechách, kde se za posledních 50 let velice výrazně změnila krajina a zaniklo mnoho vesnic. Vytvořit původní 3D model terénu odpovídající staré mapě by bylo velmi náročné, především z důvodu chybějících výškových dat.

9. Ověření technologie vytvořením 3D modelu III. vojenského mapování

Pro ověření výše popsané technologie byl vytvořen 3D model III. vojenského mapování 1 : 25 000 získaných převážně z Fakulty životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

Georeferencovaná vrstva byla uložena ve formátu TMS.

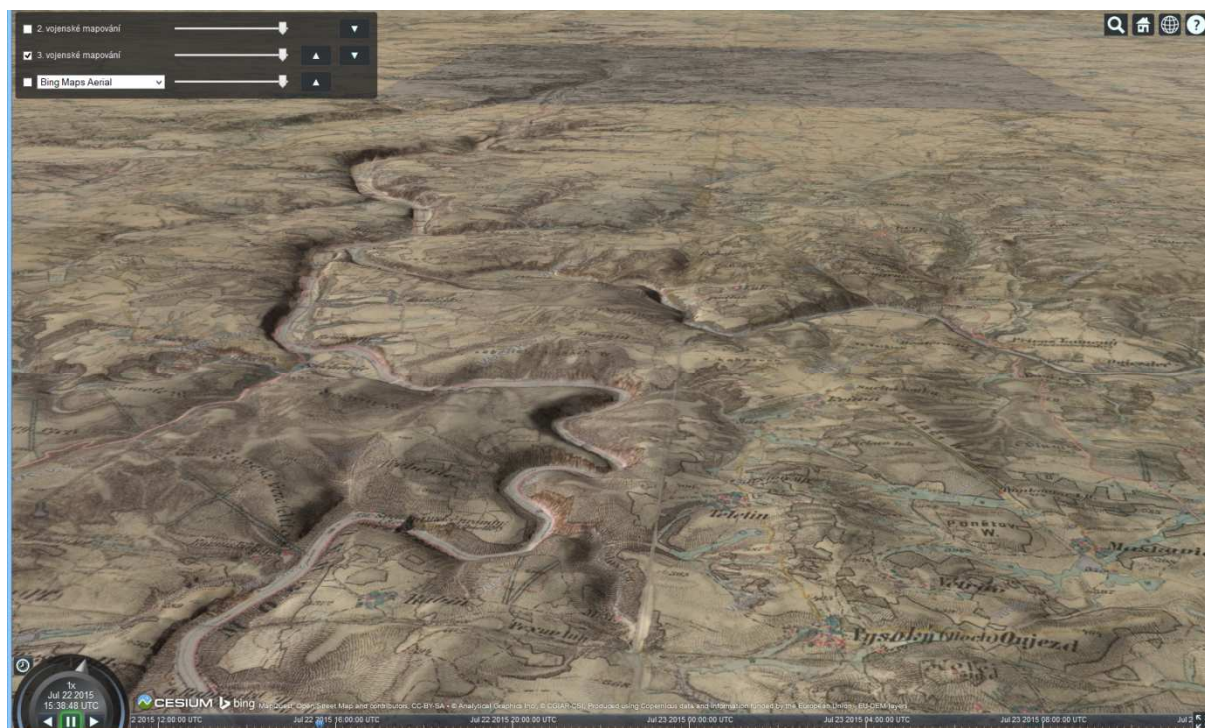
Postup vytvoření modelu byl následující:

1. Georeference mapových listů - sběr identických bodů na jednotlivých listech a rohů topografických sekcí.
2. Transformace mapových listů do souvislého kladu v Mercatorově válcovém zobrazení.
3. Vytvoření vrstvy ve formátu TMS - rozřezání mapy na jednotlivé dlaždice a uložení na webový server.



Obr. 4: Vrstva TMS III. vojenského mapování

4. Vytvoření 3D modelu s použitím knihovny Cesium.



Obr. 5: 3D model III. vojenského mapování

Výsledný 3D model se nachází na adrese:

<http://www.chartae-antiquae.cz/mapsserver/3D/index.php?display=3>

10. Ověření technologie vytvořením 3D modelu II. vojenského mapování

Pro další ověření výše popsané technologie byl vytvořen také 3D model II. vojenského mapování 1 : 28 800, které poskytuje CENIA, Česká informační agentura životního prostředí formou mapové vrstvy WMS.

Při tvorbě 3D modelů ze zdrojů, které nemáme na vlastním webovém serveru, může nastat problém, protože současné webové prohlížeče z bezpečnostních důvodů neumožňují javascriptu přístup k obrázkům pokud to vzdálený server nepovolí.

Tento problém nastal i při tvorbě 3D modelu z WMS vrstvy, které poskytuje CENIA.

Problém se vyřeší s použitím proxy serveru, který stahuje požadované soubory a následně je posílá uživateli.

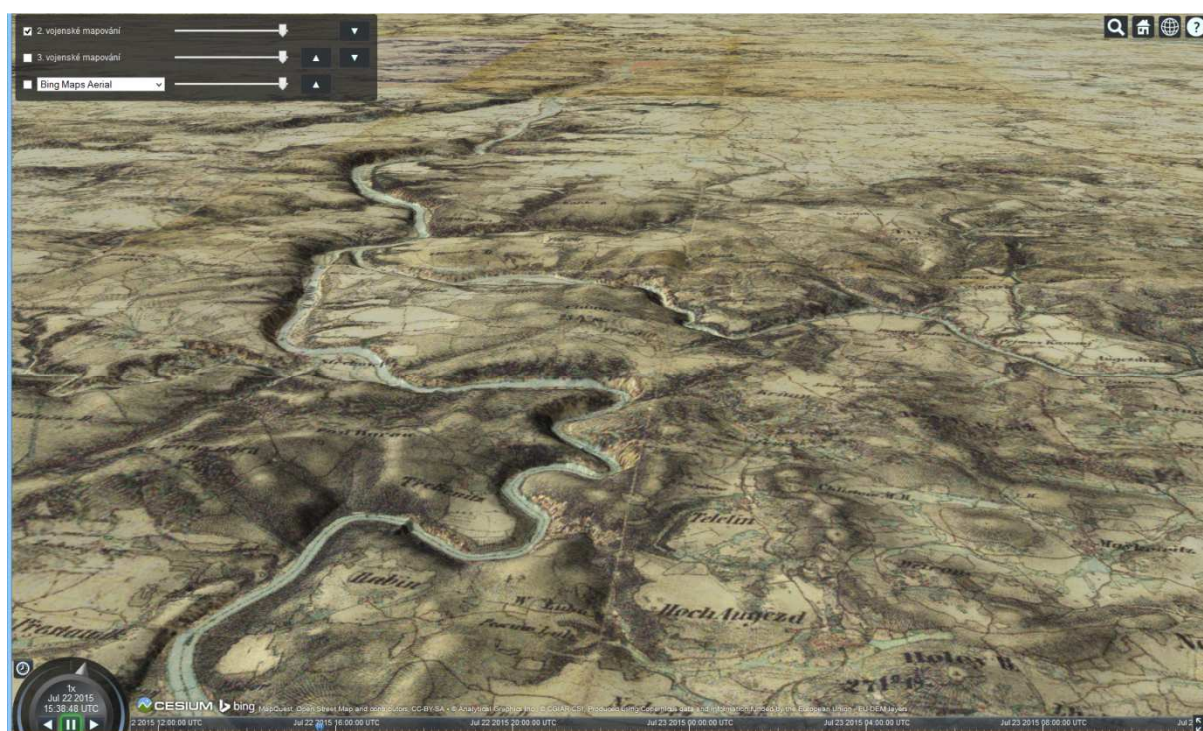
Postup vytvoření 3D modelu se skládal z vytvoření proxy serveru, který stahuje WMS vrstvu ze serveru CENIA a posílá je uživateli a vytvoření 3D modelu s využitím knihovny Cesium

Výsledný 3D model se nachází na adrese:

<http://www.chartae-antiquae.cz/mapsserver/3D/index.php?display=3>



Obr. 6: Vrstva WMS II. vojenského mapování



Obr. 7: 3D model II. vojenského mapování

11. Závěr

Výše popsaným postupem byly vytvořeny 3D modely III. a II. vojenského mapování a tím byla ověřena funkčnost vyvinuté technologie. Rastrové obrazy map III. vojenského mapování byly získány převážně z Fakulty životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, se kterou byla uzavřena ve smyslu ustanovení § 11 odst. 1 písm. a) zákona č. 130/2002 Sb., o podpoře výzkumu, experimentálního vývoje a inovací z veřejných prostředků a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o podpoře výzkumu a vývoje), smlouva o využití výsledků výzkumu a vývoje.

12. Seznam použitých zdrojů

- [1] BUCHAR, P. *Matematická kartografie*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 197 s. ISBN 978-80-01-03765-2.
- [2] *Cesium - WebGL Virtual Globe and Map Engine* [online]. Analytical Graphics, Inc. 2015. Dostupné z: <<http://cesiumjs.org/>>.
- [3] *Cesium-VR* [online]. NICTA, 2015. Dostupné z: <<https://github.com/NICTA/cesium-vr>>.
- [4] HAVRLANT J., AMBROŽOVÁ K., ANTOŠ F., BÖHM O., TALICH M.: *Metodika zobrazení digitalizovaných map v 3D modelu*. Zdivy, VÚGTK, 2015, 22 s.
- [5] Leaflet - a JavaScript library for mobile-friendly maps [online]. Vladimir Agafonkin, 2015. Dostupné z: <<http://leafletjs.com/>>.
- [6] OpenLayers [online]. Open Source Geospatial Foundation, 2015. Dostupné z: <<http://openlayers.org>>.
- [7] SOUKUP L., HAVRLANT J., BÖHM O., TALICH M.: *Elastic Conformal Transformation of Digital Images*. In: FIG Working Week 2012 – Territory, environment, and cultural heritage, Rome, Italy, 6-10 May 2012, str. 10, ISBN 97887-90907-98-3.
- [8] TALICH M., ANTOŠ F.: *Metody a postupy digitalizace a zpřístupnění starých kartografických děl*. INFORUM 2011: 17. konference o profesionálních informačních zdrojích, Praha, 24. - 26. 5. 2011.
- [9] TALICH M., SOUKUP L., HAVRLANT J., AMBROŽOVÁ K., BÖHM O., ANTOŠ F.: *Metodika georeferencování map III. vojenského mapování. 2013*. Dostupné z: <http://naki.vugtk.cz/media/doc/metodika-3_voj_mapovani.pdf>.
- [10] *Thin plate spline* [online]. Wikipedia, 2015 Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Thin_plate_spline>.
- [11] *Web Map Service OGC* [online]. Open Geospatial Consortium, 2015. Dostupné z: <<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>>.
- [12] *WebGL Specification* [online]. WebGL Working Group, 2015. Dostupné z: <<https://www.khronos.org/webgl/>>.
- [13] *Zoomify-Zoomable web images* [online]. Zoomify, Inc., 2015. Dostupné z: <<http://www.zoomify.com/>>.
- [14] *Zoomify-Zoomable web images* [online]. Zoomify, Inc., 2015. Dostupné z: <<http://www.zoomify.com/>>.
- [15] ŽÁRA J., BENEŠ B., SOCHOR J., FELKEL P.: *Moderní počítačová grafika*, Brno 2004.