

# **Ověřená technologie georeferencování map III. vojenského mapování**

Milan Talich, Lubomír Soukup, Jan Havrlant, Klára Ambrožová,

Ondřej Böhm, Filip Antoš

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.

září 2014

## Obsah

1. Předmět ověřené technologie .....	3
1.1 Hlavní zásady návrhu předkládané technologie .....	3
2. Struktura ověřené technologie .....	4
3. Transformace souřadnic .....	5
3.1 Pořízení vstupních údajů .....	5
Rastrové obrazy původních mapových listů .....	5
Souřadnice vlíčovacích bodů .....	5
Přesnost vlíčovacích bodů.....	6
Zájmová oblast .....	7
3.3 Inverze původního kartografického zobrazení Besselova elipsoidu do roviny .....	9
3.4 Kartografické zobrazení Besselova elipsoidu do roviny S-JTSK .....	10
3.5 Elastická transformace v rovině .....	10
3.5.1 Předpoklady .....	11
3.5.2 Aplikace metody kolokace .....	11
4. Výsledná složená transformace.....	12
5. Kontrola polohového souhlasu .....	12
5.1 Vypouštění podezřelých vlíčovacích bodů.....	12
5.2 Přidávání nových vlíčovacích bodů.....	12
5.3 Testování výsledné přesnosti.....	13
6. Závěr .....	14
7. Seznam použitých zdrojů .....	15

# 1. Předmět ověřené technologie

Předkládaná ověřená technologie popisuje postup transformace rastrových obrazů mapových listů III. vojenského mapování Rakousko-Uherska (1876-1880) do požadovaného současného souřadnicového systému, např. S-JTSK. Originální mapové listy mohou být v měřítku 1:25000 (tzv. topografické sekce). Mapy III. vojenského mapování umístěné v požadovaném současném souřadnicovém systému tak mohou být porovnávány s jinými georeferencovanými mapami, ať již starými nebo stávajícími moderními, příp. s dalšími zdroji polohových dat jako např. letecké či družicové snímky. Využití map III. vojenského mapování pro porovnávání i další odborné účely je umožněno prostřednictvím webových mapových služeb (Web Map Services, WMS). Předkládaný technologický postup byl ověřen na webovém serveru <http://chartae-antiquae.cz/cs/maps/military3>, který byl pro tento účel vytvořen ve Výzkumném ústavu geodetickém, topografickém a kartografickém v. v. i. (VÚGTK). Tato ověřená technologie se opírá o Metodiku georeferencování map III. vojenského mapování, která byla předložena v r. 2013 (viz. [9]). Zmíněná metodika [9] vychází z teoretických i praktických výsledků publikovaných v pracích [7], [8].

## 1.1 Hlavní zásady návrhu předkládané technologie

Předkládaný technologický postup splňuje základní požadavky, které na něj byly kladeny při jeho tvorbě. Tyto požadavky vycházejí z následujících zásad.

1. Je třeba využít co největšího počtu identických (vlíčovacích) bodů. Jejich validita musí být prověřena statistickými testy.
2. Musí být eliminována srážka papíru, respektováno původní kartografické zobrazení map a použita speciální elastická transformace, která dokáže v dostatečné míře korigovat nehomogenní rozložení nepřesnosti starých map (polohový nesoulad se skutečností) a přitom nezpůsobí nepřiměřené deformace jejich původního obsahu.
3. Parametry transformačního modelu musí mít názorný význam, aby jej bylo možno citlivě vyladit.

Tyto zásady se uplatňují v celém postupu transformace, zejména při volbě vhodných transformačních metod. Navržené transformační metody jsou rozděleny do čtyř dílčích kroků, jejichž postupným složením vznikne výsledná transformace.

## 2. Struktura ověřené technologie

Předkládaný technologický postup se skládá ze dvou fází: transformační a kontrolní. V transformační fázi se provádí transformace rastrových obrazů mapových listů III. vojenského mapování do požadovaného současného souřadnicového systému. Tato transformace je založena na transformačním postupu sestávajícím ze čtyř dílčích transformací souřadnic:

- Eliminace srážky mapového listu
- Inverze původního kartografického zobrazení Besselova elipsoidu do roviny sekčního mapového listu (tzv. Sansonova zobrazení)
- Kartografické zobrazení Besselova elipsoidu do roviny (S-JTSK)
- Elastická transformace v rovině

Kontrolní fáze zahrnuje vizuální kontrolu shody kresby staré mapy se současnými mapovými zdroji, např. ortofotomapou nebo ZABAGED (viz. [10]). V rámci této kontroly mohou být vypouštěny některé vlíčovací body nebo naopak přidávány nové vlíčovací body. V takovém případě je třeba znovu provést transformační fázi. Celý postup je tedy iterativní. Kritérium ukončení tohoto iterativního procesu je uvedeno v kapitole 5 tohoto dokumentu. Transformační fáze je popsána v kapitolách 3, 4, kontrolní fáze v kapitole 5.

### **3. Transformace souřadnic**

Účelem předkládaného technologického postupu je napomoci zpřístupnění map III. vojenského mapování na Internetu a umožnění jejich polohového porovnání s jinými georeferencovanými mapami. Aby byl tento účel naplněn, je nutné transformovat digitalizované obrazy mapových listů do současného souřadnicového systému, ve kterém jsou dostupné ostatní mapy určené k porovnávání. Proto je třeba nejprve stanovit výpočetní postup pro transformaci rastrových obrazů mapových listů III. vojenského mapování. Pro kterýkoli bod na libovolném mapovém listu je tedy třeba určit jeho souřadnice v požadovaném výsledném souřadnicovém systému. Současně je třeba odhadnout přesnost transformovaného bodu, tzn. kovarianční matici jeho souřadnic v požadovaném souřadnicovém systému.

#### **3.1 Pořízení vstupních údajů**

Vstupní údaje zahrnují:

1. rastrové obrazy původních mapových listů,
2. rastrové souřadnice vlíčovacích bodů,
3. souřadnice vlíčovacích bodů v požadovaném výsledném souřadnicovém systému,
4. přesnost rastrových souřadnic vlíčovacích bodů,
5. zájmová oblast, která má být přetransformována,
6. parametry Besselova elipsoidu,
7. parametry původního a současného kartografického zobrazení,
8. rastrové souřadnice rohů mapových listů a jejich kovarianční matice.
















#### **Rastrové obrazy původních mapových listů**

Původní mapové listy musí být naskenovány kvalifikovaným pracovníkem na kalibrovaném barevném skeneru s rozlišením alespoň 400 DPI.

#### **Souřadnice vlíčovacích bodů**

Nejvhodnějšími vlíčovacími body jsou trigonometrické body včetně věží kostelů, neboť jejich poloha se většinou nezměnila a jsou k nim známé souřadnice s velmi vysokou přesností (několik cm) v současném souřadnicovém systému. K vyhledávání identických bodů je třeba zobrazit ve vhodném grafickém programu naskenovaný mapový list staré mapy a současně též odpovídající území na současném mapovém podkladu, např. ZABAGED (viz. [10]). Pomocí interaktivních nástrojů použitého grafického programu (překrývání, zprůhledňování, změna měřítko apod.) se zobrazí vybraný identický bod ve staré a v současné mapě. Pak je možné pomocí myši změřit (odečíst) jeho rastrové souřadnice. Vzhled typických identických bodů v mapách III. vojenského mapování ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1 Typické vlíčovací body

Typ IB	Popis IB	Schematická mapová značka	Podoba mapové značky v mapě	
			Barevná	Černobílá
TB	trigonometrický bod			
K1	trigonometrický bod na kostelu			
K2	kostel typ 1			
K3	kostel typ 2			
K4	kostel typ 3			

### Přesnost vlíčovacích bodů

Předpokládá se, že přesnost souřadnic vlíčovacích bodů v požadovaném výsledném souřadnicovém systému je řádově vyšší než přesnost jejich kartometrického určení prostřednictvím měřených rastrových souřadnic. Vliv nepřesnosti určení souřadnic vlíčovacích bodů v požadovaném výsledném souřadnicovém systému je tedy zanedbatelný. Je to dáno tím, že souřadnice trigonometrických bodů jsou určeny geodetickými metodami. To je také hlavní důvod pro volbu trigonometrických bodů za vlíčovací body.

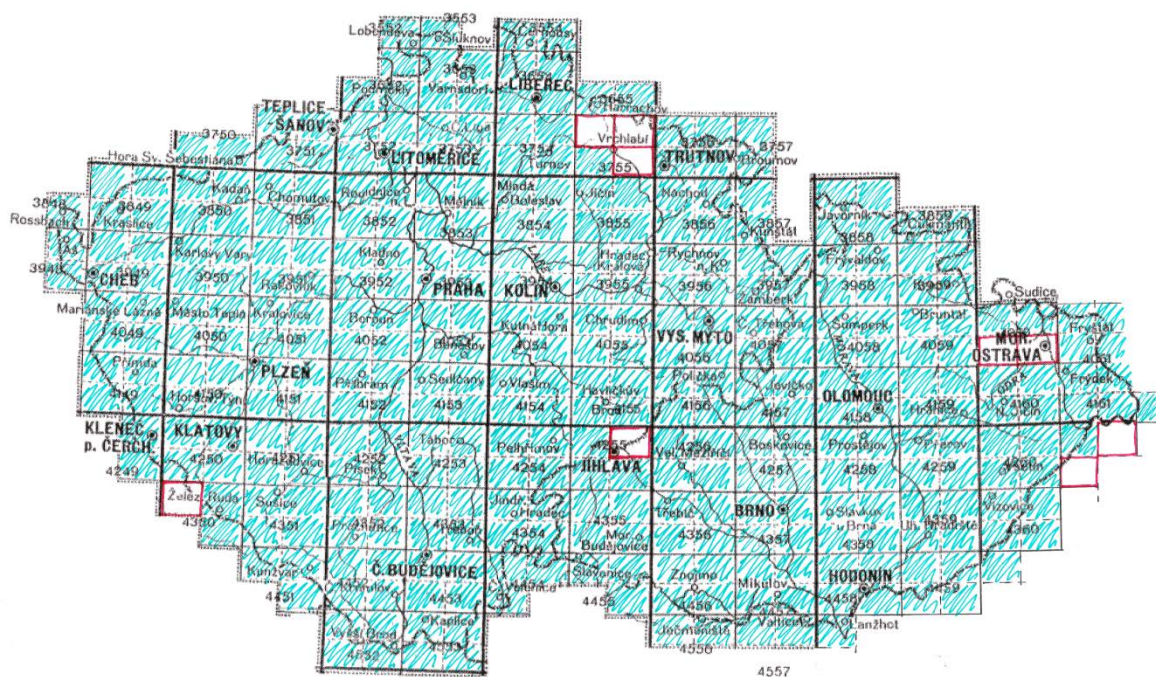
Přesnost rastrových souřadnic vlíčovacích bodů se určí empiricky prostřednictvím kovarianční matice. U vybraného souboru pomocných bodů (sto a více) se změří jejich rastrové souřadnice. Pomocnými body jsou některé reprezentativně vybrané vlíčovací body. Pro změřené rastrové souřadnice pomocných bodů se odhadne příslušná kovarianční matice za těchto předpokladů:

- Přesnost pomocných bodů je isotropní, tj. stejná pro obě měřené souřadnice.
- Přesnost měření rastrových souřadnic pomocných bodů je pro všechny pomocné body stejná.

Výsledkem testování přesnosti vlíčovacích bodů tedy bude kovarianční matice řádu 2 pro rastrový souřadnicový systém. Vzhledem k předpokládané isotropii to bude diagonální matice se stejnými diagonálními prvky. Oba diagonální prvky takovéto kovarianční matice jsou pak rovny kvadrátu výběrové směrodatné odchylky (viz [11]) vypočtené pro všechny souřadnicové rozdíly na pomocných bodech. Takováto kovarianční matice udává přesnost typického vlíčovacího bodu. Bude použita při odhadu přesnosti elastické transformace (kapitola 3.5).

## Zájmová oblast

Zájmová oblast je dána oblastí pokrytou dostupnými originálními mapovými listy. Pro mapové listy III. vojenského mapování v měřítku 1: 25 000 na území českých zemí je zájmová oblast zobrazena na obrázku 1.



Obrázek 1: Dostupné mapové listy III. vojenského mapování v měřítku 1: 25 000

### 3.2 Eliminace srážky mapového listu

Rozměry mapových listů staré mapy odměřené na jejich rastrových obrazech jsou mírně odlišné od původních správných rozměrů navržených v době vzniku mapového díla. Tato odlišnost svědčí o celkové deformaci mapového listu způsobené postupným sesycháním papíru mapy v průběhu jeho stárnutí (tzv. srážkou mapového listu).

Požadovaným výsledkem tohoto kroku jsou transformační rovnice pro převod rastrových souřadnic oskenovaného mapového listu staré mapy na původní lokální souřadnice v souřadnicovém systému nesraženého mapového listu. V souřadnicovém systému původních lokálních souřadnic mají rozměry mapového listu předepsané správné hodnoty odpovídající kartografickému zobrazení Besselova elipsoidu do roviny, které bylo použito při kresbě map III. vojenského mapování (tzv. Sansonovo zobrazení). Přitom se předpokládá, že spolu s napravením rozměrů mapového listu budou též korigovány polohové změny kresby uvnitř mapového listu. Současně je třeba též odhadnout charakteristiku polohové přesnosti této transformace v libovolném bodě mapového listu.



Vzhledem k technologii výroby papíru v 19. stol. lze předpokládat, že míra sesychání papíru v průběhu jeho stárnutí nebyla isotropní. Srážka papíru mapového listu na šířku mapového listu je poněkud odlišná od srážky v kolmém směru, tj. na výšku mapového listu. Nejjednodušším transformačním modelem deformace mapového listu je tudíž afinní transformace. K eliminaci srážky mapového listu se proto použije afinní transformace souřadnic v rovině.

Vstupními údaji pro eliminaci srážky mapového listu jsou:

- rastrové souřadnice rohových bodů mapového listu,
- původní lokální souřadnice rohových bodů mapového listu,
- přesnost rastrových souřadnic rohových bodů mapového listu,
- zájmová oblast, která má být přetransformována.

Rastrové souřadnice rohových bodů mapového listu a jejich přesnost se určí stejným způsobem jako u rastrových souřadnic vlíčovacích bodů, který byl popsán v předchozí kapitole.

Původní lokální souřadnice rohových bodů mapového listu se odvodí od rozměrů mapového listu. Rozměry mapového listu se vypočtou pomocí známých parametrů Besselova elipsoidu a parametrů kartografického zobrazení použitého pro tvorbu map III. vojenského mapování, tj. polyedrického Sansonova zobrazení (viz. [2], kap. 2.3). Tento výpočet pro topografické sekce je podrobně popsán v podkapitole 3.5.1 metodiky [9] (vzorce (34), (35)). Původní lokální souřadnice rohových bodů topografické sekce udává vzorec (37) v [9].

Zájmová oblast je dána mapovým listem o dané signatuře v rámci kladu mapových listů III. vojenského mapování. Signatura sekčního mapového listu se sestává z

- pořadí vrstvy (34 až 45),
- pořadí sloupce (48 až 61).

V závorkách je uveden rozsah vrstev a sloupců pokrývajících území českých zemí (viz. Obrázek 1) Signatura topografické sekce je tvořena signaturou sekčního mapového listu doplněnou o kód příslušné čtvrtiny sekčního mapového listu (1 až 4). Klad mapových listů III. vojenského mapování je podrobně popsán např. v [2], [5].

Koeficienty afinní transformace se odhadnou metodou nejmenších čtverců. Podrobný postup je popsán v [9] (podkapitola 3.5). Přitom se vypočte též kovarianční matice transformačních koeficientů. Vlícovacími body jsou rohy příslušného mapového listu, přičemž opravy se přisuzují jen měřeným rastrovým souřadnicím vlíčovacích bodů. Takto odhadnuté



transformační koeficienty pak definují afinní transformaci původních lokálních souřadnic nesraženého mapového listu na rastrové souřadnice (tzv. dopřednou transformaci, viz [9], podkapitola 3.5.3). Jednoduchou úpravou se tyto koeficienty použijí i pro inverzní transformaci, tj. afinní transformaci rastrových souřadnic na původní lokální souřadnice nesraženého mapového listu (tzv. zpětnou transformaci, viz [9], podkapitola 3.5.3). Pomocí kovarianční matice transformačních parametrů se odhadne přesnost libovolného transformovaného bodu.

### **3.3 Inverze původního kartografického zobrazení Besselova elipsoidu do roviny**

Původně navržené kartografické zobrazení Besselova elipsoidu do roviny bývá v literatuře označováno jako Sansonovo (viz [2]), nebo též Sanson-Flamsteedovo (viz [6]) příp. Mercator-Sansonovo (viz [5]). Žádný z těchto názvů však neodpovídá kartografickému zobrazení použitému při III. vojenském mapování, neboť toto zobrazení je, na rozdíl od Sansonova, polyedrické. To znamená, že zobrazuje Besselův elipsoid do roviny po částech. Tyto části jsou vymezeny dvojrozměrnými elipsoidickými obdélníky  $15' \times 30'$ , které odpovídají lichoběžníkům v rovině mapy (tzv. sekčním mapovým listům). Na sekčním mapovém listu je tak zobrazena čtyřúhelníková oblast elipsoidické plochy o rozměrech  $15' \times 30'$ .

Sansonovo-Flamsteedovo zobrazení jakožto sinusoidální zobrazení (viz [3]) ve skutečnosti platí jen pro rovnoběžné základny lichoběžníkových sekčních mapových listů a pro svislou osu mapového listu (obraz středního poledníku), a to jen pro kulovou referenční plochu. Zobecnění jednoduchých zobrazovacích rovnic sinusoidálního zobrazení (viz [3]) pro elipsoidickou referenční plochu vyjadřují vztahy pro výpočet rozměrů sekčních mapových listů (viz [9], rovnice (34), (35)). Tyto rozměry nejsou délkově zkrácené. Kartografické zobrazení pro jednotlivé sekční mapové listy pak vznikne lineární interpolací mezi body těchto tří nezkrácených úsečků.

K transformaci zeměpisných souřadnic na Besselově elipsoidu do roviny sekčního mapového listu proto bylo použito bilineární zobrazení zachovávající délku středního poledníku a krajních rovnoběžek v každém sekčním mapovém listu (viz [1]). Lichoběžník tvořený čtveřicí oskenovaných topografických sekcí v měřítku 1:25 000 se při něm zobrazí na dvojrozměrný interval zeměpisných souřadnic  $15' \times 30'$  (šířka  $\times$  délka).

Vzhledem ke zmíněné terminologické nejednotnosti bude kartografické zobrazení použité při III. vojenském mapování nadále nazýváno Polyedricky-Sansonovo zobrazení. Při Polyedricky-Sansonově zobrazení se tedy povrch Besselova elipsoidu zobrazuje do roviny po částech vymezených dvojrozměrnými intervaly zeměpisných souřadnic  $15' \times 30'$  (šířka  $\times$  délka).

Požadovaným výsledkem tohoto kroku jsou transformační rovnice bilineárního zobrazení, které zobrazuje lichoběžník o daných rozměrech mapového listu na dvojrozměrný interval zeměpisných souřadnic  $15' \times 30'$  (šířka  $\times$  délka).

Vstupními údaji jsou

- zeměpisné souřadnice rohových bodů dvojrozměrného intervalu  $15' \times 30'$  pro sekční mapový list o dané signatuře.
- rovinné souřadnice rohových bodů sekčního mapového listu o dané signatuře.

Zájmovou oblastí je sekční mapový list o dané signatuře.

Rovnice hledaného bilineárního zobrazení je podrobně popsána v [9] (kapitola 4).

### **3.4 Kartografické zobrazení Besselova elipsoidu do roviny S-JTSK**

Požadovaným výsledkem tohoto kroku jsou transformační rovnice pro transformaci elipsoidických souřadnic bodu na Besselově elipsoidu na kartézské souřadnice v souřadnicovém systému S-JTSK.

Zájmovou oblastí jsou přetransformované původní mapové listy pokrývající území českých zemí (viz. Obrázek 1).

V tomto technologickém postupu se předpokládá Křovákovo zobrazení Besselova elipsoidu do roviny souřadnicového systému S-JTSK. Křovákovo zobrazení je popsáno v mnoha publikacích a učebnicích, naposledy např. v [4]. V metodice [9] je mu věnována kapitola 5.

V případě jiného požadovaného výsledného kartografického zobrazení, které používá jiný než Besselův elipsoid, je třeba transformaci elipsoidických souřadnic bodů na Besselově elipsoidu implementovat ve dvou krocích:

- transformace bodů z Besselova elipsoidu na nový referenční elipsoid použitý požadovaným výsledným kartografickým zobrazením (např. na WGS84),
- kartografické zobrazení bodů z nového použitého referenčního elipsoidu do roviny (např. do UTM).

### **3.5 Elastická transformace v rovině**

Požadovaným výsledkem tohoto kroku jsou transformační rovnice elastické transformace včetně její charakteristiky polohové přesnosti v libovolném bodě. Touto požadovanou charakteristikou přesnosti je střední souřadnicová chyba definovaná jako parametr dvojrozměrného normálního rozdělení vyjadřující isotropní přesnost příslušného bodu.

Vstupními údaji jsou:

- souřadnice vlíčovacích bodů určené v kroku 3.4, o nichž předpokládáme, že jsou elasticky deformované,
- přesnost výše uvedených elasticky deformovaných souřadnic vlíčovacích bodů,
- souřadnice vlíčovacích bodů v požadovaném výsledném souřadnicovém systému,
- zájmová oblast, která má být přetransformována.

Elasticky deformované souřadnice vlíčovacích bodů a jejich charakteristiky přesnosti jsou výsledkem předchozího kroku. Souřadnice vlíčovacích bodů v požadovaném výsledném souřadnicovém systému patří mezi vstupní údaje celkové složené transformace.

Zájmovou oblastí jsou přetransformované původní mapové listy pokrývající území českých zemí (viz. Obrázek 1).

### 3.5.1 Předpoklady

Mezi oběma souřadnicovými systémy platí přibližně podobnostní transformace.

V zájmovém území se předpokládají odchylky od podobnostního vztahu mezi odpovídajícími si souřadnicemi téhož bodu. Tyto odchylky způsobují lokální polohové deformace mapové kresby vůči podobnostní transformaci. Proto budeme tyto odchylky stručně nazývat deformační odchylky. Deformační odchylky dvou blízkých bodů jsou statisticky závislé. Jejich kovariance klesá se vzdáleností obou bodů. Při nekonečné vzdálenosti obou bodů se jejich kovariance anulují. Při nulové vzdálenosti obou bodů se ztotožní i jejich rozdělení pravděpodobnosti, tzn., že statistická závislost deformačních odchylek přejde ve funkční závislost, a sice identitu.

Průběh kovariance deformačních odchylek v závislosti na vzdálenosti odpovídajících bodů je dán prostřednictvím tzv. kovarianční funkce.

### 3.5.2 Aplikace metody kolokace

Pro modelování lokálních polohových deformací byla použita metoda kolokace. Metoda kolokace respektuje statistickou závislost deformačních odchylek od podobnostní transformace a umožňuje tuto závislost popsat pomocí kovarianční funkce.

Postup řešení lze výhodně zapsat pomocí veličin v komplexním číselném oboru. Při použití komplexní aritmetiky se kartézské souřadnice interpretují jako složky komplexního čísla. Podobnostní transformace je pak lineární komplexní funkcí komplexního argumentu. Podrobný postup návrhu elastické transformace pomocí metody kolokace je popsán v [9] (kapitola 6).

## 4. Výsledná složená transformace

Požadovaná výsledná transformace je složeným zobrazením vytvořeným postupnou aplikací uvedených čtyř dílčích transformací. Výsledná složená transformace je výpočetně velmi náročná. S množstvím identických bodů časová náročnost výpočtu stoupá, proto je vhodné netransformovat každý pixel zvlášť, ale pouze uzlové body vhodně zvolené čtvercové sítě. Mezi uzlovými body se pak jednotlivé pixely bilineárně interpolují. Tím se významně zkrátí doba výpočtu při zachování požadované přesnosti.

Aplikací složené transformace na zdrojový rastrový obraz mapového listu vznikne digitální obraz v požadovaném souřadnicovém systému současného kartografického zobrazení (S-JTSK). Z takto přetransformovaných mapových listů pak lze sestavit bezešvou mozaiku pokrývající větší území. Přiřazení barev přetransformovaným pixelům (převzorkování) lze provést buď metodou nejbližšího souseda nebo některou interpolační metodu (bilineární nebo bikubickou). Metoda nejbližšího souseda spočívá v postupném procházení cílového obrazu a přiřazování hodnot jednotlivým pixelům podle barvy pixelů zdrojového rastrového obrazu pomocí zpětné transformace. Při použití bilineární nebo bikubické interpolace je výsledný obraz více vyhlazený.

## 5. Kontrola polohového souhlasu

Po provedení celkové transformace je třeba zkontrolovat polohový souhlas kresby staré mapy se současnou mapou v požadovaném souřadnicovém systému. Při této kontrole se porovnává jak poloha použitých vlíčovacích bodů, tak kresba mapových prvků, jejichž poloha se od doby vzniku staré mapy do současnosti nezměnila (zejm. historické budovy, cesty, silnice nižších řádů, vodní toky).

### 5.1 Vypouštění podezřelých vlíčovacích bodů

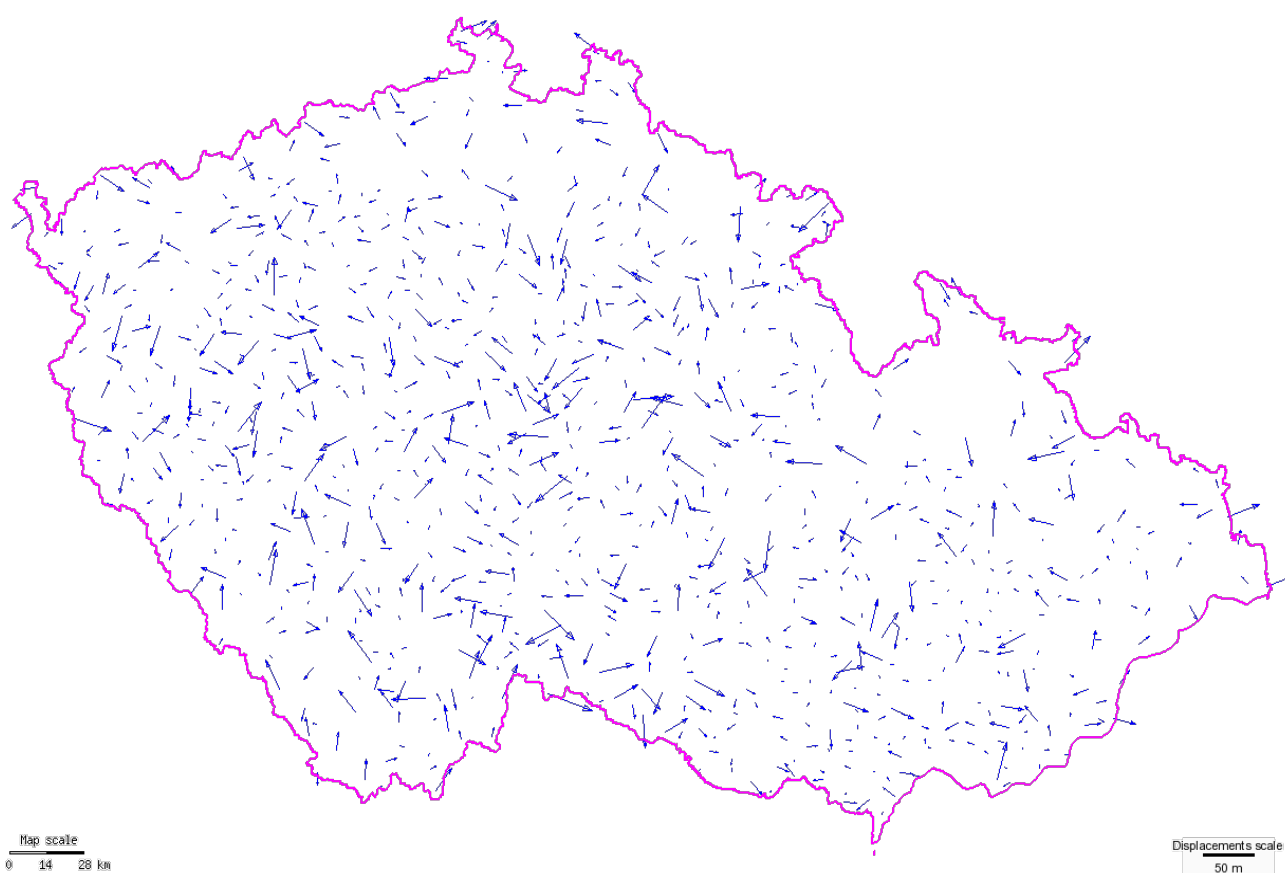
Poloha použitých vlíčovacích bodů se kontroluje statistickým testem na odlehlá měření, který odhalí ty vlíčovací body jejichž identita je zpochybněna nadkritickou velikostí odchylky mezi danými a transformovanými souřadnicemi příslušného vlíčovacího bodu. U takovýchto podezřelých bodů se provede vizuální kontrola kresby nezměněných mapových prvků. Při ní je brán ohled na několikakilometrové okolí podezřelého bodu. V případě polohové shody kresby v tomto okolí je podezřelý vlíčovací bod vypuštěn.

### 5.2 Přidávání nových vlíčovacích bodů

Pro celé zájmové území se určí rozložení přesnosti celkové transformace. V místech s nadprůměrně vysokou polohovou směrodatnou odchylkou (střední souřadnicovou chybou) se provede vizuální kontrola kresby nezměněných mapových prvků. Pokud v oblasti několika kilometrů čtverečních je patrná neshoda kresby, je třeba v této oblasti přidat nový vlíčovací bod. Poloha nového vlíčovacího bodu se volí přibližně uprostřed oblasti neshody, pokud možno v dobře identifikovatelném místě (roh budovy, křižovatka cest nebo silnic, apod.).

### 5.3 Testování výsledné přesnosti

Po skončení vypouštění a přidávání bodů se znovu přetransformuje celé zájmové území. V zájmovém území se zvolí vhodný počet přibližně rovnoměrně rozložených testovacích bodů (několik set) pokrývajících celé zájmové území. Za testovací body se nevolí použité vlíčovací body, aby došlo ke zcela nezávislému ověření dosažené přesnosti georeference mapové kresby. Pro tento soubor testovacích bodů se vypočtou odchylky mezi danými a transformovanými souřadnicemi a z nich se odhadne střední souřadnicová chyba. Pokud se hodnota střední souřadnicové chyby významně neliší od hodnoty z předchozího testování nebo pokud odpovídá požadované přesnosti, je celý postup ukončen. V opačném případě je třeba znovu provést transformační fázi (podle kapitol 3, 4) i kontrolní fázi (podle kapitoly 5).



*Obrázek 2: Odchylky na testovacích bodech*





Obrázek 3: Ukázka porovnání staré mapy (barevně) se současnou (černě) zprůhledňováním

## 6. Závěr

Výše popsaným technologickým postupem byla na webovém serveru <http://chartae-antiquae.cz/cs/maps/military3> vytvořena bežešvá mapa III. vojenského mapování Rakousko-Uherska. Pro statistické testování přesnosti výsledné transformace bylo zvoleno 958 testovacích bodů nezávisle na vlíčovacích bodech. Poloha těchto testovacích bodů a odchylky na nich zjištěné jsou znázorněny šipkami na obrázku 2. Na těchto testovacích bodech byla odhadnuta střední souřadnicová chyba 9,1 m ve skutečnosti, tj. 0,36 mm v kresbě mapy. Takováto přesnost plně postačuje porovnávání obsahu map III. vojenského mapování se současnými mapami.

To současně dokládá webová aplikace na výše zmíněné webové stránce. Tato webová aplikace umožňuje porovnávat mapy III. vojenského mapování s dalšími mapami pomocí interaktivně nastavitelného zprůhledňování různých mapových vrstev.

Touto webovou aplikací a dosaženými číselnými a obrazovými výsledky byla ověřena funkčnost vyvinuté technologie georeferencování map III. Vojenského mapování. Technologie byla ověřena na rastrových obrazech map III. Vojenského mapování získaných 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 zveřejněných prostředků a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o podpoře výzkumu a vývoje), smlouva o využití výsledků.

## 7. Seznam použitých zdrojů

- [1] Václav Čada. *Analýza lokalizace rastrových ekvivalentů III. vojenského mapování do S-JTSK*, In: Geoinformatika ve veřejné správě, ISBN 80-864-31-5, Brno, 2006. [http://home.zcu.cz/~cada/www-kma/download/Analýza\\_lokalizace\\_rastrovych\\_ekvivalentu\\_III\\_VM.pdf](http://home.zcu.cz/~cada/www-kma/download/Analýza_lokalizace_rastrovych_ekvivalentu_III_VM.pdf)
- [2] F. Boguszak, Císař J. *Vývoj mapového zobrazení území Československé socialistické republiky, Mapování a měření českých zemí od poloviny 18. století do počátku 20. století, volume 3*. Ústřední správa geodézie a kartografie, Praha, 1961.
- [3] *Sinusoidal projection*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sinusoidal\\_projection](http://en.wikipedia.org/wiki/Sinusoidal_projection)
- [4] Jan Kostelecký et al. *Realizace S-JTSK/05 – varianta 2*. Technická zpráva č. 1153/2010, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i., červen 2010. [http://www.cuzk.cz/Zememerickevi/Geodeticke-zaklady-na-uzemi-CR/GNSS/Nova-realizace-systemu-ETRS89-v-CR/Metodika-prevodu-ETRF2000-vs-S-JTSK-var2\(101208\).aspx](http://www.cuzk.cz/Zememerickevi/Geodeticke-zaklady-na-uzemi-CR/GNSS/Nova-realizace-systemu-ETRS89-v-CR/Metodika-prevodu-ETRF2000-vs-S-JTSK-var2(101208).aspx)
- [5] Roman Krňoul. *Přesnost zobrazení trigonometrických bodů na mapách III. vojenského mapování*. Bakalářská práce, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň, 2010. <https://stag.ws.zcu.cz/ws/services/rest/kvalifikacni prace/downloadPraceContent?adipIdno=36902>
- [6] Pavel Seemann. Kartometrická analýza souladu polohopisné kresby a kilometrové sítě S-JTSK ve SM75. *Geodetický a kartografický obzor*, ročník 2009, ISSN 0016-7096. [http://maps.fsv.cvut.cz/gacr/publikace/2009/2009\\_Seemann\\_gako.pdf](http://maps.fsv.cvut.cz/gacr/publikace/2009/2009_Seemann_gako.pdf)
- [7] Milan Talich, Lubomír Soukup, Jan Havrlant, Klára Ambrožová, Ondřej Böhm, Filip Antoš. *Georeferencing of the third military survey of Austrian monarchy*. In: 26th International Cartographic Conference, Dresden, May 2013. [http://www.icc2013.org/contxt/medien/upload/proceeding/266\\_proceeding.pdf](http://www.icc2013.org/contxt/medien/upload/proceeding/266_proceeding.pdf)
- [8] Milan Talich, Lubomír Soukup, Jan Havrlant, Klára Ambrožová, Ondřej Böhm, Filip Antoš. Nový postup georeferencování map III. vojenského mapování. *Kartografické listy*, 21(2), 2013. ISSN 1336-5274, <http://gis.fns.uniba.sk/kartografickelisty/archiv/KL21/10.pdf>
- [9] Milan Talich, Lubomír Soukup, Jan Havrlant, Klára Ambrožová, Ondřej Böhm, Filip Antoš. *Metodika georeferencování map III. vojenského mapování*. Příloha 5 výroční zprávy projektu DF11P01OVV021: „Kartografické zdroje jako kulturní dědictví. Výzkum nových metodik a technologií digitalizace, zpřístupnění a využití starých map, plánů, atlasů a glóbů.“, Zdíby 2013, [http://naki.vugtk.cz/media/doc/metodika-3\\_voj\\_mapovani.pdf](http://naki.vugtk.cz/media/doc/metodika-3_voj_mapovani.pdf)
- [10] *Geoportál ČÚZK - přístup k mapovým produktům a službám resortu*. <http://geoportal.cuzk.cz/%28S%28eved0z5fxnorqn1ngz4m2amz%29%29/Default.aspx?mode=TextM eta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod>
- [11] *Výběrová směrodatná odchylka*. [http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodatn%C3%A1\\_odchylka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodatn%C3%A1_odchylka)



UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM

Fakulta životního prostředí

**Fakulta životního prostředí  
Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem**

Králova výšina 3132/7, Ústí nad Labem, 400 96

IČ: 44555601

# **PROTOKOL**

## **o ověření technologie**

**Název technologie:** Ověřená technologie georeferencování map III. vojenského mapování

**Řešitel:** Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
(VÚGTK, v. v. i.)  
Ústecká 98  
250 66 Zdiby  
IČ: 00025615

Výše uvedená technologie je předmětem Smlouvy o využití výsledků dosažených při řešení projektu výzkumu a vývoje uzavřené mezi řešitelem VÚGTK, v. v. i. a uživatelem Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem (FŽP UJEP) dne 15. 10. 2014 pod č. VÚGTK 23 - 1244/2014. Technologie byla ověřena a byla prokázána její realizovatelnost a uplatnitelnost v oblasti působnosti FŽP UJEP.

**Osoba odpovědná za správnost protokolu:**

**Dne: 15. října 2014**

**Ing. Miroslav Richter, Ph.D., EUR ING**  
děkan FŽP UJEP