

# JAK GEOREFERENCovat STARÉ MAPY?

Jiří CAJTHAML

## How to georeference old maps?

**Abstract:** The article is focused on basic principles of old map georeferencing. Complete process of georeferencing including used reference coordinate system determining, collection of ground control points and image transformation is described. As the main parameter the appropriate transformation method choice is identified. Both global and local transformation methods are briefly introduced. Besides, alternative transformation methods are described. The new proposed method is designed for old map series when the seamless map creation is required. Method uses overall adjustment of transformation parameters with constraints of identity of shared map sheet edges. This method was tested on the maps of the First Military Mapping Survey of Habsburg Empire using affine and second order polynomial transformations. The first results of this testing are promising. Seamless map of the Usti region was created and can be used in environmental applications, such as landscape reconstruction of vanished municipalities.

**Keywords:** georeferencing, old maps, image transformation, map series

## Úvod

Příspěvek teoreticky popisuje princip a základní metody vhodné pro georeferencování starých map. Vzhledem k tomu, že jsou staré mapy v poslední době stále více digitalizovány, příspěvek si klade za cíl osvětlit některé aspekty jejich georeferencování. Nevhodný způsob souřadnicového umístění staré mapy může totiž vést až k mylné interpretaci geografických analýz založených na starých mapách. Klíčovou částí příspěvku je popis vhodných transformačních metod pro různé kategorie starých map.

## 1. Georeferencování starých map

Úvodem je třeba vysvětlit, co všechno je myšleno pojmem georeferencování. Jedná se o umístění rastrového obrazu mapy či jiných obrazových dat (např. letecké snímky) do definovaného souřadnicového referenčního systému. Tento systém je pak chápán jako definice geodetického datumu popisujícího vztah souřadnicového systému k Zemi (zpravidla definice náhradního elipsoidu či náhradní koule) a dále jako definice kartografického zobrazení, pomocí které je možné převádět zeměpisné souřadnice z náhradního tělesa do roviny.

### 1.1 Proč georeferencovat staré mapy?

Před samotným rozebráním možností georeferencování starých map je třeba si položit otázku, proč vlastně staré mapy georeferencovat? Ne všechny mapy jsou totiž vhodné pro takové zpracování. Primárním účelem je zejména převod staré mapy do souřadnicového referenčního systému. Protože jsou tyto systémy zpravidla definované v geografických informačních systémech (GIS), není problém starou mapu využít jako jednu z vrstev jakékoli GIS aplikace. Protože se jedná o rastrová data, bývají staré mapy využitelné jako podkladové vrstvy pro nová vektorová data. Samostatnou kapitolou je pak případná vektorizace vybraných prvků staré mapy tak, aby tato data byla dále využitelná v GIS (Cajthaml, 2010). Je zřejmé, že georeferencování bude vhodné pouze pro takové staré mapy, kde bude zajištěna dostatečná přesnost vzhledem k měřítku mapy tak, aby výsledky interpretované vizuální či jinou analýzou byly věrohodné.

## 1.2 Předpoklady pro georeferencování starých map

Prvním a nejdůležitějším předpokladem pro georeferencování starých map jsou digitální obrazová data. Na parametrech digitalizace map může záviset i následné umístění do souřadnicového systému a je jim tedy třeba věnovat pozornost. Zejména je vhodné předem rozmyslet použité rozlišení (v jednotkách DPI) a barevnou hloubku rastrových dat (Cajthaml, 2007).

Mezi další vhodné předpoklady patří informace o použitém souřadnicovém referenčním systému. Jinými slovy, je velmi vhodné, pokud existuje informace o náhradním tělese, které pro výpočty používal autor mapy a také o použitém kartografickém zobrazení. Tyto informace velmi usnadní vlastní georeferencování. Bohužel však ve většině případů tyto informace neznáme. Podobná situace je u originálních rozměrů mapy. Práci opět usnadní, pokud známe přesné rozměry mapy (tedy zpravidla rozměry tiskových desek). Média, na kterých jsou mapy zobrazeny, totiž v čase mění své rozměry (známé jako srážka papíru) a to poté negativně ovlivňuje výpočty.

## 2. Postup georeferencování

Pro korektní georeferencování je třeba dodržet několik základních pravidel shrnutých do následujícího postupu. Bohužel se lze v praxi setkat s velmi nekorektními postupy, které mohou celý proces znehodnotit. Proto by se mělo postupovat dle následujícího schématu.

### 2.1 Určení použitého souřadnicového referenčního systému

Jak již bylo zmíněno, před georeferencováním je velmi vhodné znát parametry souřadnicového systému použitého autorem. Tuto informaci je buď možné vyhledat v archivních materiálech či v novodobých kartometrických studiích. Pokud informace nelze dohledat, je možné použít matematické metody pro odhad příslušných parametrů (Bayer, 2008). U map velkých měřítek není absence těchto informací tak významná, ale u map malých měřítek se bez znalosti minimálně typu kartografického zobrazení těžko obejdeme.

Při využití standardních transformačních metod není možné eliminovat odlišný geometrický základ obou souřadnicových systémů (původní použitý autorem a novodobý použitý pro georeferencování). Při transformaci mapy, např. z válcového do kuželového zobrazení, tak dostáváme výsledky zatížené chybou způsobenou právě geometrickou rozdílností obou zobrazení.

### 2.2 Sběr identických bodů

Pro zajištění výpočtu vztahů mezi obrazovými souřadnicemi na staré mapě a novodobým souřadnicovým referenčním systémem je důležitý sběr tzv. identických bodů. Jedná se o v realitě tožné body, jejichž dvoje souřadnice slouží pro výpočet geometrické transformace obrazu mapy. I na identické body jsou však kladeny určité nároky. Zejména se jedná o jejich počet a prostorové rozložení.

Počet identických bodů použitých pro transformaci je závislý na možnostech identifikace vhodných objektů na staré mapě. Zpravidla platí, že čím více identických bodů, tím lépe. Je třeba používat zejména takové body, u nichž lze předpokládat identitu, tedy nezměněnou polohu v čase. Je tedy vhodné používat zejména trvalé stavby (kostely, kaple), případně některé další prvky infrastruktury (cestní síť, mosty) nebo přírodní prvky (výškové kóty). Obezřetnost je třeba věnovat stavbám, které mohly být v průběhu času přestavěny, nebo vodním tokům, které mohly být regulovány. U map malých měřítek jsou naopak velmi vhodné vodstvo, významné tvary pobřeží či signatury měst. Identitu použitých bodů je možné statisticky testovat a případná odlehlá měření ze souboru vyloučit.

Správné rozložení identických bodů hraje nezastupitelnou roli. Pro korektní výsledky transformace je třeba identickými body pokrýt celou zkoumanou oblast (celý prostor mapy). Naopak, pro transformaci není příliš vhodná blízkost některých identických bodů. Je tedy zbytečné používat identické body např. na sousedních budovách, ale raději volit body, které reprezentují větší oblast. Pokud jsme schopni odvodit či odhadnout kvalitu jednotlivých kategorií identických bodů (např. kostelů oproti křižovatkám cest) je možné do výpočtu transformací volit váhy jednotlivých identických bodů.

Po výběru a identifikaci identického bodu na staré mapě, je třeba odečíst obrazové souřadnice. Toho lze docílit ve většině GIS software. K obrazovým souřadnicím je pak třeba přiřadit souřadnice v soudobém souřadnicovém referenčním systému. Zpravidla se využívají aktuální (velmi přesné) mapové podklady, případně konkrétní souřadnice objektů (např. z volně dostupných databází). V dnešní době není problém do GIS software připojit aktuální mapová díla pomocí webových mapových služeb a využít tak odečítání souřadnic identických bodů tímto způsobem. Pokud není možné identifikovat na staré mapě dostatek objektů nacházejících se na soudobém podkladu, je také možné využít již georeferencované staré mapy, které se obsahem lépe shodují se starou mapou. Zde je ale velmi důležité znát parametry a přesnost, s jakou byly mapy georeferencovány.

### 2.3 Transformace rastrového obrazu mapy

Zcela zásadní částí celého postupu je výběr a aplikace transformační metody na sadu identických bodů. Transformační metoda určuje matematické vztahy, které budou použity pro převod obrazových dat. Volbu transformační metody ovlivňují zejména následující tři parametry: znalost autorem použitého souřadnicového referenčního systému, znalost originálních rozměrů map a počet mapových listů.

Je zřejmé, že znalost použitého souřadnicového referenčního systému usnadní výběr transformační metody. Při přesné shodě parametrů obou souřadnicových systémů (použitého na staré mapě i použitého v novodobém podkladu) bude stačit použít jednoduché geometrické vztahy (posun, rotace a změna měřítka). Čím budou tyto parametry rozdílnější, tím bude deformace mezi oběma systémy větší a transformační vztahy bude nutné volit složitější.

Znalost originálních rozměrů mapy umožní před samotnou transformací matematicky odstranit srážku analogového média (papíru). Tento vliv tak není nutné zavádět do transformačních metod.

Dále je zřejmé, že počet mapových listů ovlivní přístup k celé metodě. Pokud pracujeme s jediným mapovým listem, je situace velmi jednoduchá. Jakmile požadujeme georeferencovat sadu mapových listů, je třeba použít některou z metod, která pracuje s návazností mapových rámců, či dokonce s návazností mapové kresby.

Všechny základní transformační metody budou popsány dále. Již nyní je však vidět, že sběr identických bodů i volba transformační metody je vysoce individuální a závisí vždy na konkrétní mapě.

### 2.4 Uložení informace o souřadnicovém umístění

Po výpočtu transformačních parametrů rastrového obrazu mapy je třeba uložit informaci o umístění obrazu v souřadnicovém referenčním systému. Pokud byla použita některá z jednodušších (lineárních) transformačních metod, je výhodné ponechat rastrová data v původní podobě (rozlíšení, barevná hloubka, formát dat) a uložit pouze informaci o umístění tohoto rastru do souřadnicového systému. V praxi se tak děje buď uložením této informace přímo do hlavičky souboru (např. formát GeoTIFF) nebo uložením do externího souboru (tzv. world file). Bohužel informace o parametrech a typu použitého souřadnicového referenčního systému je velmi často ignorována. Většina formátů dat uložením této informace nepodporuje. Rastrový obraz tak v praxi sice bývá souřadnicově umístěn, ale bez informace v jakém systému. Korektní možností tak zůstává vedení příslušných metadat k rastrovým datům. Tento problém odpadá při distribuování georeferencovaných rastrů pomocí webových mapových služeb, kde rastrová data mají přiřazen konkrétní souřadnicový referenční systém.

Pokud je při georeferencování použita některá ze složitějších transformací – buď lokální transformace, či polynomické a jiné složité transformační vztahy, je nutné rastrová data převzorkovat a vytvořit tak nový raster mapy. Informace o parametrech složitějších transformací jsou prakticky nepřenositelné mezi jednotlivými GIS produkty, a proto je nutné vytvořit nový raster. Samozřejmě tím dochází k degradaci původního rastru mapy. Velmi zde záleží na zvoleném rozlišení nového rastru a také na metodě převzorkování (doporučuje se použít bikubickou interpolaci a neměnit rozlišení nového rastru).

### 3. Transformační metody

Dle popsaného postupu je klíčovou částí georeferencování výběr transformační metody. Jedná se o matematické vztahy popisující převod souřadnic v rovině z jednoho systému do druhého. V principu je možné rozlišit dvě skupiny transformací:

- globální (využívající jednotné vztahy pro celý raster mapy),
- lokální (používající vztahy pro lokální oblasti či samotné body rastru).

Globální transformační metody jsou založeny na aplikaci matematických rovnic popisujících vztah obou systémů. Parametry těchto rovnic jsou vypočítány ze sady identických bodů. Mezi nejčastěji používané metody patří lineární 2D transformace (podobnostní, afinní, 5-prvková afinní), projekční transformace a polynomické transformace (zpravidla 2. a 3. řádu).

Všechny matematické vztahy i určení parametrů jsou velmi podrobně popsány v literatuře, např. v autorově přehledové monografii (Cajthaml, 2012). Důležitou podmínkou je minimální počet identických bodů, který je dán počtem neznámých v příslušných matematických vztazích. V praxi je tento počet většinou mnohonásobně překročen. Poté jsou parametry v transformačních rovnicích vyrovnávány v geodézii metodou nejmenších čtverců.

Lokální transformační metody využívají buď rozdělení celého obrazu mapy na dílčí oblasti (např. trojúhelníky), pro které jsou vypočítány separátní funkční vztahy, nebo využívají metody, kde je pro každý obrazový bod vypočten samostatný funkční vztah, který je zpravidla závislý na vzdálenosti bodu od identických bodů. Posledně jmenovaná metoda je prakticky založena na interpolačních mechanismech a využívá algoritmy běžně užívané pro interpolaci prostorových dat (Inverse Distance Weighting – IDW, Thin plate splines – TPS). Příslušné vzorce jsou opět podrobně popsány ve zmíněné monografii (Cajthaml, 2012).

#### 3.1 Výběr transformační metody

Podle kombinace třech základních (dříve zmíněných) parametrů je možné staré mapy rozdělit do celkem osmi kategorií. Pro každou z těchto kategorií je navržena vhodná transformační metoda.

Pokud máme k dispozici jednodlistovou mapu, u které známe přesné originální rozměry i použitý souřadnicový systém, je situace jednoduchá. Na základě předchozích znalostí jsme schopni odvodit přímo souřadnice rohů mapy. Poté je vhodné použít projekční transformaci s využitím právě těchto 4 bodů.

V podobném případě, kdy však neznáme použitý souřadnicový systém, je v prvním kroku nejlepší rekonstruovat originální rozměry mapy. Pomocí projekční transformace upravíme obraz tak, aby rozměry odpovídaly přesným známým hodnotám. V druhém kroku je třeba obraz transformovat. Pokud neznáme použitý souřadnicový systém, je možné se pokusit odvodit parametry tohoto systému např. ze zobrazené zeměpisné sítě či rámových značek. Případně je možné alespoň určit typ kartografického zobrazení. Sběr identických bodů pak samozřejmě musí probíhat v systému, který co nejlépe odpovídá autorem použitému, případně některému z často používaných systémů, který je geometricky co nejpodobnější. Jako nejvhodnější se jeví použití podobnostní transformace (neboť srážka mapy by již měla být odstraněna). Pokud nemáme dostatečně přesně určeny parametry autorem použitého souřadnicového systému, je možné použít polynomické transformace (zpravidla 2. stupně), které lépe zohlední nelineární vztah mezi oběma systémy. Identické body však musí být v tomto případě dobře rozmístěny a pokrývat celou oblast mapy.

Pokud v případě jednodlistové mapy známe autorem použitý souřadnicový systém, ale chybí nám informace o přesných rozměrech mapy, je třeba během transformace odstranit případnou srážku papíru. Proto je vhodné použít buď obecnou afinní, nebo 5-prvkovou afinní transformaci (zachovává kolmost souřadnicových os).

Nejhorší situace (a bohužel také nejběžnější) u jednodlistové mapy je taková, kdy neznáme prakticky žádné informace o rozměrech či použitém souřadnicovém systému. Nabízí se přibližné určení typu kartografického zobrazení a poté použití jedné z afinních transformací. Tato kategorie je hojně zastoupena u velmi starých map vytvářených jednotlivci.

U vícelistových mapových děl je situace složitější. Pokud známe u mapového díla originální rozměry i souřadnicový systém, je možné použít projekční transformace na rohy jednotlivých

listů. Ty pak k sobě přesně doléhají, protože využití vždy 4 rohů mapových listů a projektivní transformace zajistí nulové odchylky v rozích mapy.

Když v podobné situaci neznáme použitý souřadnicový systém, je v prvním kroku nejlépe rekonstruovat původní rozměry mapových listů (pomocí projektivních transformací). Poté je možné transformovat jednotlivé listy pomocí podobnostních transformací. Bohužel po samostatných transformacích mapových listů tyto nedoléhají k sobě a vytvářejí mezery nebo překryty. To je možné řešit dvěma způsoby. První možností je odečíst souřadnice rohů mapových listů po samostatných transformacích, zprůměrovat sobě odpovídající rohy a získat tak síť rohů mapových listů. Poté je možné originální data transformovat již na tyto průměrované souřadnice rohů pomocí projektivních transformací. Nevýhodou této metody je nutnost dvojí transformace každého listu. Druhou možností je využití společného vyrovnání transformačních koeficientů mapových listů spolu s podmínkami návaznosti mapových listů. Tato metoda byla autorem odvozena a podrobně popsána (Cajthaml, 2012).

Pokud u vícelistových mapových děl neznáme rozměry mapových listů, ať již ve známém či neznámém souřadnicovém systému, existují prakticky podobné dvě možnosti jako v předchozím případě. Podobnostní transformace zde ale musí být nahrazena obecnou afinní transformací, či transformací polynomickou. Souřadnice rohů jsou potom průměrovány, nebo jsou koeficienty opět vyrovnávány společně pro všechny mapové listy s podmínkou identity společných hran mapových listů.

### 3.2 Alternativní transformační metody

Jak je vidět z předchozího textu, je znalost souřadnicového systému mapy poměrně klíčová. Pokud neznáme přesné parametry původního systému, je možné alternativně odvodit globální transformační klíč mezi původním souřadnicovým systémem map a některým dnes používaným systémem. Globální transformační klíč musí zajišťovat zejména dostatečnou přesnost a správně vystihovat vztah mezi původním a současným souřadnicovým systémem. Nejdříve je třeba definovat identické body v obou systémech. Jako optimální se jeví body, které byly použity přímo při tvorbě map, tedy body geodetických základů. Tyto body je možné dodnes nalézt (často byly používány pro novější geodetické základy). Poté stačí zvolit vhodnou transformační metodu (zpravidla kombinaci globální transformace a lokální metody pro distribuci zbylých odchylek). Globální transformační klíč je tak definován souborem identických bodů a použitou metodou. Pomocí klíče je možné transformovat i souřadnice rohů mapových listů. Při znalosti souřadnic rohů mapových listů v některém ze současných souřadnicových systémů se pak nabízí projektivní transformace jako v předchozích případech. Metoda globálního transformačního klíče se hodí zejména pro rozsáhlá mapová díla, která byla založena na geodetických základech, ale u kterých neexistuje exaktní převod souřadnic do dnešních systémů. Jako příklad je možné uvést globální transformační klíč pro druhé vojenské mapování habsburské monarchie (do současného systému S-JTSK), který odvodil (Čada, 2003).

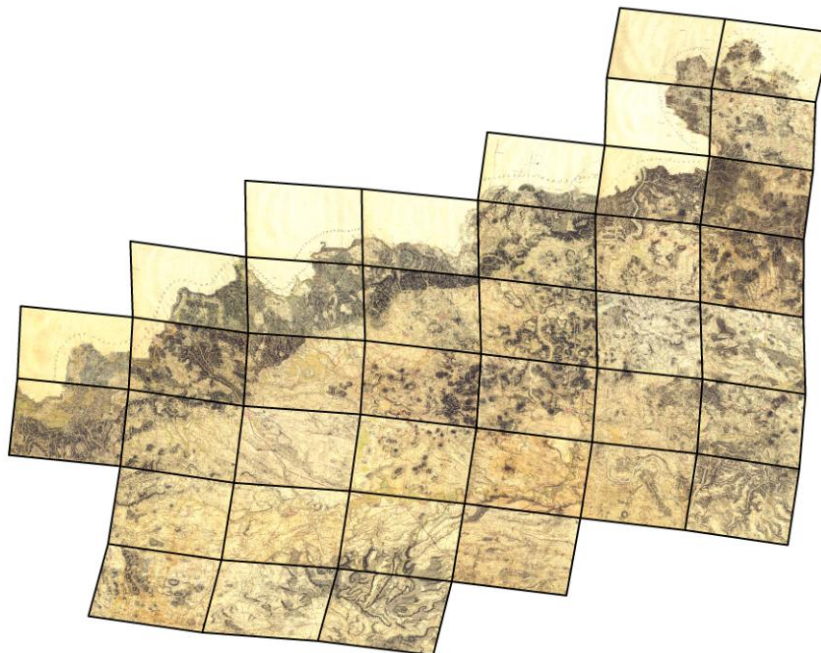
Dalším doplňujícím postupem, který zatím nebyl zmíněn, je odstranění průhybů mapových rámu. U starých map se často stává, že srážka analogového média není rovnoměrná a původně přímkové okraje mapového rámu jsou kvůli srážce deformovány. Zpravidla se setkáváme s průhybem rámu dovnitř nebo vně, méně často s kombinovaným průhybem. Pokud bychom chtěli takovou deformaci rámu mapy odstranit, je nutné dostatečně definovat průběh příslušné hrany. To je možné pomocí kontrolních bodů na rámech map. Při rekonstrukci původních rozměrů mapy je možné původní mapový rám popsat pomocí 4 křivek, které jsou v rámci rekonstrukce transformovány na nové křivky (často přímky), které mají již správný tvar. Matematicky lze tuto metodu popsat jako plátování, kdy se transformovaný obraz chová jako plocha. Plátování je výhodné i z hlediska návaznosti sousedních mapových listů, protože lze zajistit plynulé navazování jednotlivých ploch právě pomocí okrajových křivek. Metoda plátování se dobře hodí tam, kde je možné jednoduše získat kontrolní body na hranách mapových listů. Typicky je tedy využitelná pro mapy s rámovými značkami. Jako příklad je možné uvést využití této metody při transformaci originálních map stabilního katastru do současného systému S-JTSK (Čada, 2003).

Kromě řešení návazností sousedních mapových listů může být pro uživatele souvislé vícelistové mapy důležitá i návaznost samotných mapových prvků. Liniové prvky, přecházející přes hranu mapových listů, by tak měly přesně navazovat. Pro toto řešení je nutné používat identické body na

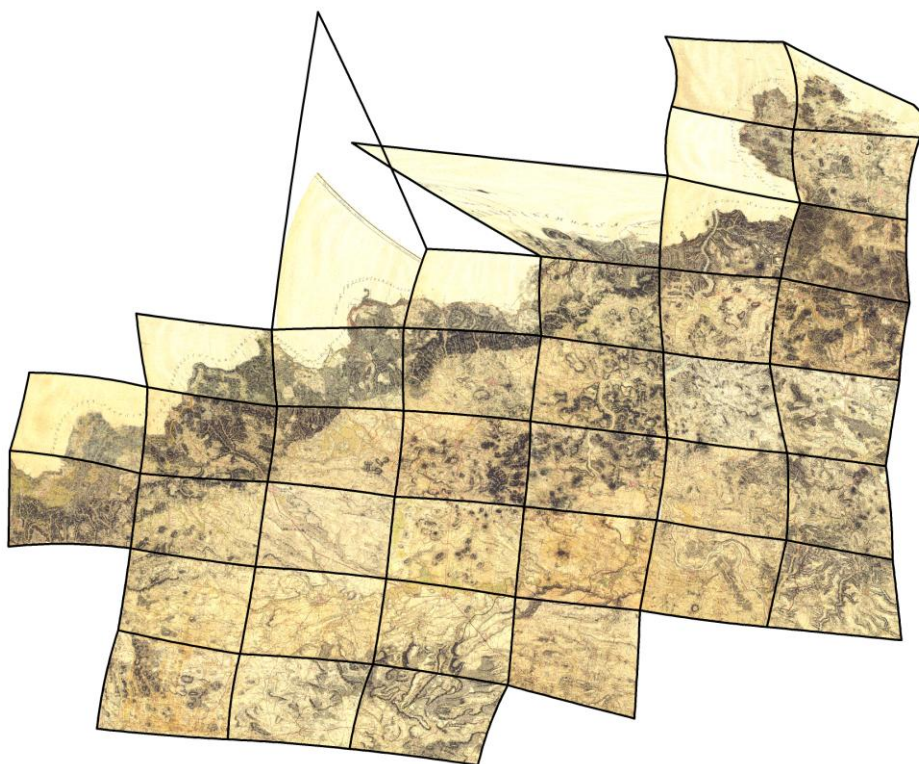
hranách mapových listů. Pomocí dodatečných podmínek je pak možné definovat v rámci společného vyrovnání totožnost těchto bodů po transformaci. Bohužel však tyto podmínky nelze aplikovat u klasických globálních transformačních metod. Kvůli nepřesnostem v kresbě mapy je nutné mapové listy v okrajových částech deformovat tak, aby mapové prvky přesně navazovaly. Pro georeferencování to znamená použití některé z lokálních transformačních metod. Poslední zmíněnou alternativní metodu je možné použít pro vícelistová mapová díla. Návaznost jednotlivých mapových listů může být totiž řešena již před transformací. Mapové listy je možné graficky spojit (navázat) do jediného obrazu a georeferencovat již spojený obraz. Velkým problémem je zde především velikost spojeného obrazu, která může narůstat do obrovských rozměrů. Tato metoda se tedy bude hodit zejména pro mapy složené pouze z několika dílů či mapových listů. Pro rozsáhlá mapová díla bude toto řešení velmi nevhodné.

#### 4. Využití nově navržené metody na příkladu starých map Ústeckého kraje

Jak již bylo zmíněno, autorem byla navržena nová metoda pro společné vyrovnání transformačních koeficientů mapových listů spolu s podmínkami identity společných hran mapových listů. Jedná se tedy o poměrně složitý případ, kdy pracujeme s velkým množstvím mapových listů a požadujeme vytvořit souřadnicově umístěnou bezešvou mapu. Metoda byla důkladně prezentována i na mezinárodním fóru (Cajthaml, 2013). Jako testovací data byly vybrány mapové listy prvního vojenského mapování habsburské monarchie z oblasti Ústeckého kraje. Pro všechny mapové listy (39 listů) byly nasbírány souřadnice identických bodů (průměrně 26,4 bodu na mapový list). Nově navržená metoda byla naprogramována a aplikována na tato data. Výsledek bezešvé mapy po aplikování metody s afinní transformací je možné vidět na obr. 1 a výsledek po aplikování polynomických transformací 2. stupně je vidět na obr. 2. Při výpočtu vyrovnání byly také určeny střední souřadnicové chyby, které dosahují hodnot 552 metrů (pro afinní transformace), resp. 256 metrů (pro polynomicke transformace 2. stupně). Je vidět, že v tomto případě je využití polynomicke transformace vhodnější, neboť lépe eliminuje deformace na použitých mapách.



Obr. 1 Bezešvá mapa po společném vyrovnání afinních transformací



Obr. 2 Bezešvá mapa po společném vyrovnání polynomických transformací 2. stupně

### Závěr

Pro využití maximálního množství informací ze starých map je jistě vhodné jejich georeferencování a následné využití v GIS. Pro provedení kvalitního georeferencování je potřeba splnit několik základních předpokladů a dále korektně pracovat zejména při výběru identických bodů a volbě transformační metody. Jako nejsložitější se jeví případy, kdy potřebujeme georeferencovat vícelistová mapová díla. Autorem byla navržena nová metoda společného vyrovnání transformačních koeficientů spolu s podmínkami identity společných hran mapových listů. Jedná se o jednoduchou metodu, která po prvotním testování vykazuje dobré výsledky. Je tak vhodnou alternativou pro složitější metody plátování či vyrovnávání mapových listů pomocí lokálních transformačních metod.

*Príspevek je podpořen z grantu Ministerstva kultury ČR v programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní kulturní identity (NAKI) DF12P01OVV43 „Rekonstrukce krajiny a databáze zaniklých obcí v Ústeckém kraji pro zachování kulturního dědictví“.*

### Literatura

- BAYER, T. (2008). The importance of computational geometry for digital cartography. *Geoinformatics FCE CTU*, 3 (1).
- CAJTHAML, J. (2007). *Nové technologie pro zpracování a zpřístupnění starých map*. Doktorská disertační práce. Praha (České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební).

- CAJTHAML, J. (2010). Vektorové modely starých map – nový přístup k výzkumu. In *GIVS – Geoinformační infrastruktury pro vědu a společnost, III. národní kongres České asociace pro geoinformace*. Brno (České asociace pro geoinformace).
- CAJTHAML, J. (2012). *Analýza starých map v digitálním prostředí na příkladu Müllerových map Čech a Moravy*. Praha (Nakladatelství Česká technika).
- CAJTHAML, J. (2013). Polynomial georeferencing method for old map series. In *13th International Multi-disciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013*. Albena.
- ČADA, V. (2003). *Robustní metody tvorby a vedení digitálních katastrálních map v lokalitách sáhových map*. Habilitační práce. Praha (České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební).

## S u m m a r y

### How to georeference old maps?

To use the maximum amount of information from the old maps it is usually preferred to project the map into any of the current coordinate reference system. This procedure is known as georeferencing. There are a number of old maps with different parameters, and therefore the best georeferencing method differs for different types of maps. Another approach is to be selected for the only one-sheet maps, a different procedure for the multi-sheet map series. Other important parameters are the knowledge of used cartographic projection and the knowledge of the original dimensions of the map. Various combinations of these characteristics define each category for which the contribution comments appropriate procedures for the georeferencing.

Global methods based on adjusted transformation parameters and local methods using dividing the space into sub-areas or interpolation methods are described. The new method of adjustment of transformation parameters for multi-sheet map series together with the conditions of edge matching of adjoining map sheets is presented. These methods have been tested on maps of the First Military Mapping Survey of the Habsburg monarchy. The first results are very promising and confirm a applicability of these methods for creating seamless mosaic of old maps.

Fig. 1 Seamless map after overall adjustment of affine transformations

Fig. 2 Seamless map after overall adjustment of 2nd order polynomial transformations