České vysoké učení technické v Praze Fakulta stavební Katedra mapování a kartografie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TVORBA DATOVÉHO MODELU CRIGINGEROVY MAPY V ARCGIS

Creation of Data Model of Criginger's map of Bohemia in ArcGIS

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Cajthaml Ph. D. Autor: Jana Malimánková

Praha 2008

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Jiřího Cajthamla Ph. D. a jsou zde uvedeny všechny literární a internetové prameny, ze kterých jsem při své tvorbě čerpala.

V Bílině 1. června 2008

Poděkování

Ráda bych poděkovala za pomoc a ochotu Ing. Jiřímu Cajthamlovi Ph. D. při vedení mé bakalářské práce. Také za materiály, které mi poskytl, a doporučenou literaturu, ze které jsem čerpala.

Dále chci poděkovat rodině za podporu po celou dobu studia a všem mým přátelům, kteří mě podporovali, jmenovitě pak Kateřině Peterové za pomoc s anglickým překladem anotace.

Také nesmím zapomenout na firmu ARCDATA, která mi zapůjčila software ArcGIS 9.2, ve kterém je celá práce zpracována.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá historií a přesností staré mapy. Předmětem práce je druhá nejstarší mapa Čech - Crigingerova mapa. Není zde zpracován přímo originál, který se dochoval jen ve dvou neúplných exponátech, ale je využito věrné kopie Crigingerovy mapy, kterou zpracoval Abraham Ortelius a v roce 1570 ji uveřejnil ve svém atlase. Pro jakoukoliv další práci bylo potřeba mapu digitalizovat.

Je zde zpracována problematika vektorizace mapy a georeferencování rastru. Pomocí zjištěného transformačního klíče je pak vše přetransformováno do souřadnicového systému S-JTSK. Výsledkem je zjištěná přesnost mapy, která je porovnána s přesností první mapy Čech - Klaudyánovou mapou, kterou v minulém roce ve své bakalářské práci zpracovala Aneta Pomykaczová.

Annotation

The bachelor work considers history and accuracy of an old map. An object of this work is the second oldest map of Bohemia – Criginger's map. It doesn't work directly with the original map, which was extant only in two incomplete exhibits, but there is used a true copy of Criginger's map which was processed by Ortelius and he published it in his atlas in the year 1570. For any other work the map had to be digitized.

The work deals with problems of vectorisation of the map and georeference of the grid. By means of an ascertained transformation key everything is transformed into the grid system S-JTSK. The result of the work is research accuracy which is compare with accuracy of 1st. map of Bohemia – Claudyan's map, which was processed by Aneta Pomykaczová in her bachelor work last year.

Obsah

1. Úvo	od	3
2. Hist	torie Crigingerovy mapy	4
2.1.	Stručný úvod do historie map	4
2.2.	Johann Criginger	6
2.3.	Vznik a popis Crigingerovy mapy	6
2.4.	Obsah Crigingerovy mapy	7
2.5.	Kopie Crigingerovy mapy	9
3. GIS	a použitý software	
3.1.	Co je to GIS	
3.2.	Stručně o historii GIS	
3.3.	Základní funkce	11
3.4.	Data	
3.4.	1. Rastrová data	
3.4.2	2. Vektorová data	
3.5.	Program ArcGIS 9.2	
4. Vek	torizace rastrové předlohy Crigingerovy mapy	
4.1.	Digitalizace mapy	
4.2.	Georeference rastru	16
4.3.	Vlastní vektorizace	17
4.4.	Příprava pro transformaci	
5. Tran	nsformace v GIS	
5.1.	Úvod do transformací	
5.2.	Definice základních matematických vztahů:	
5.2.	1. Posunutí	
5.2.2	2. Otočení	
5.2.	3. Změna měřítka	
5.2.4	4. Zkosení	
5.3.	Použité metody rovinných transformací	
5.3.	1. Podobnostní transformace	
5.3.	2. Afinní transformace	
5.3.	3. Projektivní transformace	
5.3.4	4. Polynomické transformace druhého a vyšších řádů	

5.3.5.	Transformace "rubber sheeting" (triangulace)	
5.3.6.	Transformace "edge snap"	
5.3.7.	Transformace "spline" a "adjust"	
5.4. Výj	počet transformací pro Crigingerovu mapu	
5.5. Vyl	nodnocení přesnosti mapy	
5.5.1.	Vyhodnocení transformace vektorových dat	
5.5.2.	Vyhodnocení transformace rastrových dat	
5.6. Por	ovnání Crigingerovy mapy s Klaudyánovou mapou	
6. Závěr		

1. Úvod

Mapy provázejí člověka již od počátku lidstva. V dávné době se samozřejmě nejednalo o mapy, jaké známe teď. Šlo například jen o jednoduchý záznam tábořiště nebo okolí na mamutí kel, ale pro tehdejší společnost měl tento nákres jistě nedocenitelný význam. S rozvojem vědy, obzvláště matematiky, se mapy stále zdokonalovaly. Hledaly se stále nové způsoby vytváření, nové materiály, na které by bylo možné mapy zakreslit. Každé mapové dílo bylo velice cenným a jedinečným originálem a šířit ho dál bylo možné jen pečlivým překreslováním. Až Guttenbergův knihtisk přinesl další velký rozkvět map. Mapová díla mohla vznikat ve více kopiích, a stát se tak o mnoho přístupnější pro všechny. Byla snaha vytvářet mapy stále přesnější a podrobnější .Toho je dosaženo i díky neuvěřitelnému vývoji vědy po průmyslové revoluci na přelomu 18. a 19. století, což do té doby nemělo obdoby.

Další velký skok ve vývoji map přinesla až informační technika a internet v druhé polovině 20. století. Téměř zcela se ustoupilo od tradiční tvorby map a jejich velké množství je vytvářeno především pomocí informační techniky. Dosahuje se velkých přesností, o kterých se tvůrcům map z dávné doby ani nesnilo.

Díky internetu je umožněn přístup k nesčetnému množství map. Nejvíce jsou využívány turistické mapy a mapy plánů měst, ale ani na historické mapy není zapomínáno. Díky digitalizaci starých map je možné jejich umístění na internetu a přístup k těmto starým unikátům všem zájemcům. Pomocí starých map je možné sledovat vývoj osídlení, změny hranic, postupné zásahy lidstva do krajiny a její změny.

Předmětem mé bakalářské práce je jedna ze starých map, která mapuje České království v roce 1568. Jedná se o druhou mapu Čech, Crigingerovu mapu. O jejím vzniku je jen málo dochovaných pramenů a o samotné mapě toho moc nevíme. V práci se snažím zachytit její historii. Dále pak pomocí informační technologie objevit nové poznatky, které byly dosud utajeny. Celá analýza je provedena v programu ArcGIS a všechna vytvořená data budou uložena, aby mohla být zpřístupněna všem, kteří by se mapou chtěli dále zabývat a prozkoumat části, kterých se tato práce nedotýká.

2. Historie Crigingerovy mapy

2.1. Stručný úvod do historie map

Kdy byla vyhotovena první mapa, není přesně známo. Je však jisté, že první nákresy map vznikly dříve než samo písmo. Důkaz o těchto mapách potvrzují archeologické nálezy dochované na mamutích klech, vyryté do kamene a na hliněných destičkách. Za jeden z nejstarších nálezů mapy je považován objev na Moravě. Byla zde nalezena kresba vyrytá do hrotu mamutího klu z doby asi 25 000 let před n. l. (obr. 2.1). Vzniklo mnoho otázek o tom, co je na klu skutečně vyobrazeno. Pokud ale kresba znamená mapový zákres okolní krajiny tábořiště lovců, jednalo by se pak o nejstarší nákres krajiny na světě.



Obr. 2.1: Kresba vyrytá do hrotu mamutího klu nalezeného u Pavlova v roce 1962 [10]

Postupný přechod z pravěké společnosti, založené převážně na lovu a sběru, směrem k zemědělským společnostem vytvořil potřebu mapování jako nástroje pro vyměřování pozemků, budování sídel, závlahových systémů a monumentálních staveb. S velkým rozvojem matematiky ve starověku vznikly základy zeměměřictví, které je spjato také s kartografií. Došlo i k rozvoji dalších přírodních věd, především astronomie. To vše vedlo k tomu, že se mapování stalo ve vyspělých starověkých civilizacích běžnou součástí života. Za hlavní centra starověkých civilizací považujeme oblast mezi řekami Eufrat a Tigris, Egypt, Čínu a v pozdější době oblast Řecka a Říma.

Velký vliv na tvorbu map měla také kultura a zejména pak náboženství. Proto také v době středověku a křesťanství došlo zejména z počátku k velkému útlumu rozvoje vědy a vzdělanosti. Naše země ležely až do pozdního středověku daleko od tehdejších starověkých kulturních center, jako byly Athény, Alexandrie nebo Cařihrad. K rozvoji mapování ve středověku přispěla zejména mořeplavba a objevné cesty. První vyobrazení Čech, Moravy a Slezska na raně středověkých mapách světa a Evropy bylo velmi jednoduché. Většinou se omezilo jen na zobrazení charakteristických valů horských pásem obklopujících českou kotlinu a na zobrazení toku největší řeky Labe nebo hlavního města Prahy. Nejednalo se však o původní domácí tvorbu. Zakreslení českých zemí se objevovalo také na tzv. "navigačních mapách", neboli portulánech, ale jen pokud na nich bylo vykresleno vnitrozemí. Většinou bylo vyobrazeno pouze pobřeží a vnitrozemí zůstávalo prázdné. Tyto mapy vznikaly již od 13. století s rozvojem mořeplavby. Vyobrazení Čech zde bylo velmi jednoduché, bylo zakresleno Labe, které vytékalo z České kotliny.

Nejstarší známá česká mapa světa je obsažena v kronice mistra Vavřince z Březové z počátku 15. století. V mapě nejsou vykresleny obrysy zemí, ale ve schématu T jsou česky vepsaná jména tehdejších zemí bez jakéhokoliv zeměpisného uspořádání. I když byly znalosti matematiky, geometrie a zeměměřictví v českých zemích využívány od první. poloviny 13. století při vyměřování pozemků, zakládání nových vesnic a měst, ve stavitelství a dolování, objevily se nejstarší původní domácí mapy českých zemí teprve v 16. století.

První podrobnější mapa Čech byla vydána v roce 1518. Vytvořil jí Mikuláš Klaudyán. Mapa je jižně orientovaná, s čímž se již na mladších starých mapách v české kartografii nesetkáme. Klaudyánovou mapou se ve své bakalářské práci zabývala minulý rok (2007) Aneta Pomykaczová. Já se pokusím na ni svou bakalářskou prací navázat druhou nejstarší mapou Čech, Crigingerovou mapou z roku 1568.

2.2. Johann Criginger

Johann Criginger se narodil roku 1521 v Jáchymově. Den narození není přesně znám. První zmínky o něm se objevují až roku 1538 na imatrikulačním listě university ve Wittenbergu. Zde byl roku 1546 promován na magistra svobodných umění. Studoval také na školách v Lipsku a Tübingenu. Působil jako luteránský kněz na české i saské straně Krušných hor (např. v Marienbergu nebo v Horním Slavkově).V roce 1548 se trvale usadil v Marienbergu, kde vyučoval ve škole a působil zde také jako farář až do své smrti. Zemřel 27. prosince 1571.

Svou činnost orientoval třemi směry. Zabýval se literární tvorbou, činností teologickou a prací kartografickou, která se stala důležitým článkem ve vývoji mapového zobrazení Čech. Z jeho děl jsou známá právě díla kartografická, zatímco jeho básně a teologické spisy již téměř upadly v zapomnění. Kolik map přesně Johann Criginger vytvořil a nechal vyrýt, není přesně známo. Nejvíce upoutala díla, která uvedl ve svém atlase *Theatrum orbis terrarum* kartograf Abraham Ortelius. Jedná se o Crigingerovu mapu Čech, mapu Saska a Durynska.

Jako své první kartografické dílo vytvořil mapu Saska s okolními zeměmi, kterou vyryl do mědi lipský mědirytec Wolf Meyerpeck. Myšlenka o vytvoření mapy Johanna Crigingera napadla, když četl o stolech ze zlata a stříbra, na nichž měl Karel Veliký mapu světa. Sám měl v úmyslu vytvořit pro panovníka čtyři takové stoly, ale pro svou chudobu neměl na takovou práci dostatek financí. Přesto vytvořil mapu Saska a žádal kurfiřta o podporu, aby mohl pokračovat v práci a mapu vydat. Ten ale jeho dílem nebyl nějak zvlášť potěšen. Neměl zájem o zveřejňování přesnější mapy jeho zemí, a to hlavně z hlediska politického. Poté, co nechal Johann Criginger z tiskové desky vyhladit jeho portrét, znak a titul, aby mapa neměla úřední charakter, a místa vyplnil jinak, dostal povolení k tisku a 50 zlatých za vynaloženou námahu a jako úhradu výloh.

2.3. Vznik a popis Crigingerovy mapy

Z doby mezi vydáním první a druhé mapy Čech víme o dvou pokusech, které měly Čechám opatřit novou mapu. Jedním z tvůrců měl být mistr pražské univerzity Jan Zahrádka. Jeho záměr vydat novou mapu Čech se však neuskutečnil. Krátce po něm usiloval o totéž Tadeáš Hájek z Hájku, ale z nedostatku financí nebyl ani tento záměr realizován. Úspěšný byl až třetí pokus – Crigingerův.

O vzniku Crigingerovy mapy Čech (druhé mapy Čech) toho víme jen velmi málo. Zdá se, že mapu tvořil sám a doma bez cestování. V dnešní době jsou známy jen dva neúplné a poškozené výtisky. První je uložen ve veřejné knihovně v Salzburgu. Jeho horní část, nazývaná *parergon*, byla odříznuta. Druhý výtisk byl nalezen v knihovně Strahovského kláštera, zde zase chybí spodní část listu. Na tomto výtisku je také uveden originální název mapy *Bohemiae regni chorographica descriptio*.

Mapa byla vydána v Praze roku 1568. Celá rytina má rozměry 510 x 340 mm. Plocha, kterou zaplňuje vlastní mapa Čech, je vykreslena do oválu, jehož osy mají rozměry 486 mm a 412 mm. Kartometrickým vyhodnocením bylo určeno měřítko mapy jako 1 : 683 500. Desky mapy pravděpodobně zůstaly u mědirytce Wolfa Meyerpecka, který je používal k tisku mapy za vlády císaře Rudolfa II. Z této doby také pocházejí oba dochované výtisky. Prázdné rohy jsou vyplněny figurální a heraldickou výzdobou. Jsou zde umístěny znaky Čech, Moravy, Slezska a Horní a Dolní Lužice. Uprostřed horní části mapy je položen kruhový rámeček s medajlonkem zobrazujícím profil císaře Rudolfa II. (obr. 2.2)



Obr. 2.2: Medajlonek umístěný v horní části Crigingerovy mapy s profilem císaře Rudolfa II. [4]

2.4. Obsah Crigingerovy mapy

Crigingerova mapa obsahuje 292 sídelních znaků, které jsou znázorněny mapovou značkou a popiskem. Lokalizace sídla je vyznačena kroužkem, k němuž je přiřazena obrázková značka skupiny staveb. Ta je na mapě u každého místa jiná, nejde

tedy o stereotyp. Kroužky jsou v mapě ve dvou velikostech, některé jsou bez výplně, některé jsou s výplní žlutou. Sídelní značky jsou v mapě rozděleny do čtyř skupin.

Jednu z kategorií tvoří města, městečka a obce (obr. 2.3). Jsou vyznačeny skupinou budov, které stojí na rovině. Celkem je takto vyznačeno 224 sídel. Velikost těchto značek se liší podle velikosti města. Významné metropole jeho doby mají oproti menším obcím značku větší a zdobnější. Toto rozdělení bylo nejspíše provedeno ze subjektivního pohledu Johanna Crigingera.



Obr. 2.3: Ukázka mapových značek pro kategorii města [4]

Druhou kategorii značek tvoří skupiny budov vykreslené na kopci, představující hrady a zámky. V mapě jich je zachyceno 59. Třetí mapovou značkou, zachycující kresbu kostela se dvěma věžemi, byly vykresleny významné kláštery té doby. Johann Criginger jich takto zaznamenal v mapě 9. Poslední čtvrtou značkou jsou v mapě zobrazena menší sídla s jednoduchým znakem budovy. Popisky jsou převážně v německém, ale i v českém jazyce. Některá města mají svůj popis dokonce i dvojjazyčný. V Ortelově kopii Crigingerovy mapy jsou pak mnohé názvy měst zcela zkomolené, a znesnadňují tak jejich přesné určení a přiřazení názvu v dnešní době.

Ke znázornění hor je na Crigingerově mapě použita kopečková metoda. Obrázky kopců jsou navíc po východní straně vystínovány, což dodává výškopisu větší plastičnost. Mapa velmi dobře vystihuje horskou hradbu kolem české kotliny. Poměrně dobře je například zachyceno i České středohoří. Přestože je horopis jen velmi málo popsán, jsou některé horské celky na mapě pojmenovány vůbec poprvé. Do jihozápadního konce Krušných hor je položen název *Sudeti Mo*, pro České středohoří je zde název *Mittelberg*.

Vodopis je ve srovnání s Kladyánovou mapou méně přesný. Některé řeky byly zcela vynechány a u jiných byl zkrácen jejich tok. Jen málo ze zakreslených řek má také svůj popis.

2.5. Kopie Crigingerovy mapy

Nejvýznamnější kopie Crigingerovy mapy pochází z Orteliova atlasu *Theatrum orbis terrarum* (1570). Jde o první moderní atlas zeměpisných map jednotně zpracovaných a vydaných podle pevné koncepce. Jako předloha pro jeho mapu mu pravděpodobně sloužil jeden z dochovaných výtisků, který je uložen ve veřejné studijní knihovně v Salzburgu. Z mapy odstranil území, která nepatřila k Čechám, a omylem i výběžky severních Čech.

Méně známé jsou kopie de Joda a Mercatora. Kopie Mercatorova (obr. 2.4) byla doplněna o místopis jižních Čech. K popisu je použito latinské kurzívy, která je na rozdíl od původního písma drobnější a jednoznačně čitelná. Do mapy je také dokreslena řeka Otava, která byla Crigingerem vynechána.

V příloze je ukázka Crigingerovy mapy a její Orteliova kopie. (Pro tuto bakalářskou práci byla použita nejznámější Orteliova kopie Crigingerovy mapy.)



Obr. 2.4: Kopie Crigingerovy mapy od Mercatora [4]

3. GIS a použitý software

3.1. Co je to GIS

GIS je zkratka pro geografický informační systém, který pracuje oproti klasickým informačním systémům s prostorovými daty. Lze také říci, že je kvalitním nástrojem geověd a umožňuje efektivně realizovat tyto vědy v počítačovém prostředí.

Pro GIS neexistuje jednotná definice, pro představu jsou zde uvedeny tři.

DEFINICE 1: Organizovaná kolekce počítačového technického vybavení, programového vybavení, geografických dat a personálu určená k účinnému sběru, pamatování, údržbě, manipulaci, analýze a zobrazování všech forem geograficky vztažené informace \rightarrow 3 komponenty (technologie, databáze a infrastruktura). [11]

DEFINICE 2: GIS je organizovaný soubor počítačového hardwaru, softwaru a geografických údajů (naplněné báze dat) navržený pro efektivní získávání, ukládání, upravování, obhospodařování, analyzování a zobrazování všech forem geografických informací. [11]

DEFINICE 3: GIS je na počítačích založený informační systém na získávání obhospodařování, analýzu, modelování a vizualizaci geoinformací. Geodata, která využívá, popisují geometrii, topologii, tématiku (atributy) a dynamiku (změny v čase) objektů. [11]

Z uvedených definic je možné GIS charakterizovat softwarem, který ho tvoří, ale také ostatními komponenty, jako jsou data, hardware a způsob použití. GIS je počítačový systém schopný ukládat, udržovat a využívat údaje popisující místa na zemském povrchu.

3.2. Stručně o historii GIS

V 50. letech 20. století začaly první pokusy s automatizovaným mapováním za využití výpočetní techniky. Postup vývoje je rozdělen do několika bodů.

Historie vývoje:

- První pionýrské období: poč. 60. let 1975
 - vliv průkopnických osobností, univerzit a institucí
- Druhé období: 1973 do zač. 80. let
 - ujednocení pokusů a činností na lokální úrovni
- Třetí období: 1982 do konce 80. let
 - komercionalizace problematiky
 - běžně dostupné softwarové systémy pro GIS
- Čtvrté období: 90. léta
 - velký rozvoj uživatelského využívání, standardizace,
 - budování otevřených systémů (konsorcium OpenGIS)
- Páté období: konec 90. let a současnost
 - vývoj objektově orientovaných systémů, masivní propojení s databázemi,
 - vzdálený přístup přes internet, mobilní GIS.

[11]

3.3. Základní funkce

Získávání dat

Prostorová data je možné získat několika způsoby:

- primárně (přímou tvorbou, měřením, GPS)
- sekundárně (digitalizací existujících podkladů)
- importem (v digitální podobě již existujících dat)

Kontrola

Kontrola je nedílnou součástí programu pro kvalitní zpracování dat, např. nalezení a zobrazení chyb, jako jsou přetahy, nedotahy, chybějící identifikátory polygonů.

Transformace

Důležitý předpoklad další práce s pořízenými daty je jejich transformace do uvažovaného souřadného systému. Tato problematika bude podrobněji popsána v kapitole 4.

Databáze

GIS umožňuje vytvářet, používat a aktualizovat databáze s tematicky různorodými daty. Dovoluje různě kombinovat údaje v databázi, a tím vytvářet a určovat polohu, tvar a kvalitu různých modelovaných situací.

Dotazy a analýzy

Dotazy je možné provádět kombinací manipulačních operací nad databázemi.

Prezentace a vizualizace

Data v GIS mohou být prezentována nejrůznějšími způsoby, např. grafy, tabulkami, mapami. Používá se vektorových a rastrových modelů, kdy jejich spojením vzniká hybridní prezentace.

3.4. Data

Data v GIS jsou uložena odděleně v samostatných prostorových vrstvách, které lze libovolně skládat na sebe. (obr. 3.1). Rozlišujeme dva typy dat, prostorová (určují polohu, tvar a jejich prostorové vztahy k různým geografickým prvkům) a tematická (obsahují popisné informace o daných prvcích). V GIS se setkáváme se dvěma základními typy dat, vektorovými a rastrovými.



Obr. 3.1: Prostorové vrstvy v GIS [16]

3.4.1. Rastrová data

Základem těchto dat je překrytí povrchu pravidelnou sítí plošek (pixelů). Daný jev je pak popsán hodnotami, které jsou vztaženy k bodům nebo plochám sítě. Polohová lokalizace jevu je určena souřadnicemi bodů sítě, které daný bod představují. Pro rastrová data je typická přímá vazba mezi polohovou a tematickou složkou. Na základě souřadnic je možné rychle nalézt daný pixel (digitální obraz s navzájem na sebe navazujícími ploškami). Výhodou rastrových dat je rychlé nalezení odpovědi na polohové dotazy. Nevýhodou oproti tomu je velká paměťová náročnost daná velikostí pixelu.

3.4.2. Vektorová data

Při použití vektorových dat je hlavní snahou vyjádřit geometrické vlastnosti jevů na Zemi pomocí lineárních charakteristik. Základními prvky vektorových dat jsou: bod, linie, plocha (polygon).

Bodový prvek daný svými souřadnicemi reprezentuje objekty, u kterých není důležitá jejich velikost, nebo je také možné reprezentovat objekty, které žádný rozměr nemají. Daný objekt má dimenzi nula a nelze u něj měřit žádnou velikost. Liniový prvek definovaný svým počátečním a koncovým bodem reprezentuje objekty jako řeky, silnice, potrubí nebo také objekty, které nemají definovanou šířku (vrstevnice). Je to objekt s dimenzí jedna, u kterého je možné měřit délku, ale jen v jednom směru. Plošný prvek je uzavřený obrazec tvořený linií, její hranice uzavírá nějakou homogenní oblast. Jeho dimenze je dva, lze ho měřit ve dvou rozměrech.

Typickým příkladem je vektorizace mapového podkladu. Toho využiji i ve své práci, kdy mi jako podklad slouží digitalizovaná Crigingerova mapa. Výhodou vektorizace je možnost pracovat s jednotlivými objekty jako samostatnými celky, další výhodou je menší náročnost na paměť.

3.5. Program ArcGIS 9.2

Program *ArcGIS* poskytuje firma ESRI, která je největším světovým výrobcem softwaru pro geografické informační systémy. *ArcGIS Desktop* poskytuje kompletní software pro GIS a je k dispozici ve třech licencích: *ArcView, ArcEditor, ArcInfo*, které se liší svou různou úrovní. *ArcView* poskytuje rozsáhlé nástroje pro tvorbu map

a získávání informací. *ArcEditor* má plnou funkcionalitu *ArcView* a navíc obsahuje rozšířené editační možnosti pro *shapefile* a *geodatabáze*. *ArcInfo* rozšiřuje funkcionalitu obou předchozích produktů o další prostorové operace. Protože všechny tři uvedené části mají jednotnou architekturu, mohou uživatelé pracující s kteroukoliv z nich sdílet výsledky své práce s ostatními uživateli.

Produkty z kategorie *ArcGIS Desktop* jsou tvořeny třemi vzájemně propojenými integrovanými aplikacemi *ArcCatalog, ArcMap, ArcToolbox*.

ArcMap je hlavní aplikací *ArcGIS Desktop*, která slouží pro všechny mapově orientované úlohy včetně kartografie, prostorových analýz a editace dat. Prostřednictvím této aplikace je možné vytvářet mapy a aktivně s nimi pracovat. Pomocí dotazů se dají procházet prostorová data a nalézat vztahy mezi geografickými prvky.

Aplikace *ArcCatalog* pomáhá organizovat a spravovat data GIS, jako jsou mapy, glóby, datové sady a modely. Obsahuje nástroje pro prohlížení a vyhledávání geografických informací, zaznamenávání, prohlížení a správu metadat, definování, export a import schémat a návrhů geodatabáze a vyhledávání a nalézání GIS dat na místních sítích nebo na internetu. Nabízí základní rámec pro ukládání velkého a různorodého množství GIS dat. Pomocí různých způsobů prohlížení dat je možné rychle nalézt to, co je potřeba.

Poslední částí je *ArcToolbox*, což je jednoduchá aplikace obsahující kompletní sadu funkcí pro zpracování prostorových dat včetně nástrojů pro správu a konverzi dat, vektorové i rastrové analýzy a statistické analýzy. *ArcToolbox* je k dispozici v produktech *ArcView*, *ArcEditor* a *ArcInfo*. Každá úroveň produktu obsahuje různý počet nástrojů pro zpracování prostorových dat. *ArcView* poskytuje základní sadu nástrojů pro jednoduché načítání a převod dat, *ArcEditor* přidává menší počet nástrojů pro tvorbu a načítání geodatabáze, *ArcInfo* poskytuje úplnou sadu nástrojů pro vektorové analýzy, konverzi dat, načítání dat a zpracování prostorových dat ve formátu *Coverage*. [15]

4. Vektorizace rastrové předlohy Crigingerovy mapy

Vektorizace mapy není prováděna na původním dochovaném originálu od Crigingera. Bylo využito velice zdařilé Orteliovy kopie z roku 1570, který pro ni použil původní předlohu Crigingerovy mapy, která je uložena ve veřejné studijní knihovně v Salzburgu.

4.1. Digitalizace mapy

Digitalizací se obecně rozumí převod grafické předlohy do digitální formy. V této práci jde konkrétně o převod analogové historické mapy do digitální předlohy. Digitální obraz lze rozdělit na vektorový a rastrový. Vektorová data se vytváří procesem nazývaným vektorizace a skládají se z jednoduchých prvků. Rastrová data vznikají při procesu zvaném skenování.

Skenování je založeno na principu snímání obrazových elementů ve třech barevných složkách (systému barev RGB). Dvěma důležitými parametry, na kterých závisí výsledná kvalita digitálního obrazu, jsou hustota skenování a hloubka barev.

Hustota skenování se udává v jednotkách DPI (Dot Per Inch). Po přeložení do češtiny to znamená počet bodů na palec. Označuje v podstatě hustotu obrazové informace. Charakterizuje velikost pixelu, který je základní stavební jednotkou rastru. Pro skenování historických map je nejideálnější hustota někde mezi 300 až 500 DPI. V některých případech lze použít i většího rozlišení, ale kvalita obrazu se již výrazně nezlepší. Vždy zaleží hlavně na konkrétní mapě. Menší hustota, než je 300 DPI, by se volit neměla, mohlo by tak dojít k degradaci mapové předlohy.

Dalším důležitým parametrem je hloubka barev. Počet barev, kterých může pixel nabývat, určuje počet bitů. Čím je větší počet bitů, tím více barev může pixel nabývat, ale tím větší bude i výsledný rastrový soubor. Počet bitů je tedy rozhodující pro množství barev v rastru. Barevná hloubka výrazně ovlivňuje kvalitu digitálního obrazu. Pro skenování Crigingerovy mapy je využito metody 24-bitového snímání obrazu pro tři barevné složky RGB (tzv. *true color*). Vyjádřeno v počtu bitů mají barvy 24 bitů na pixel, což se rovná 16 777 216 barev .

4.2. Georeference rastru

Neskenovaná mapa je uložena ve formátu TIFF. Po natčení rastru řeší ArcGIS dva základní problémy, souřadnicové umístění rastru a pyramidování. Formát TIFF má tu výhodu, že v sobě umí uložit několik stejných obrazů v různém rozlišení (pyramidování), což se projeví na rychlosti načítání při přibližování obrazu. Program nám hned po načtení rastru do prostředí *ArcMap* nabídne pyramidování rastru, což nám umožní při dalším postupu rychlejší práci s rastrem. Pyramidy (náhledy) se uloží do souboru s příponou RRD.

Protože načtený rastr nemá žádné jednoznačné určení polohy souřadnicového systému, je třeba ho souřadnicově umístit. Jako první je nadefinován souřadnicový systém v prostředí *ArcMap*, ve kterém se bude dále mapa zpracovávat. Zvolíme si souřadnicový systém S-JTSK krovak EastNorth, jehož počátek je automaticky umístěn do levého spodního rohu rastru.

Pro následnou vektorizaci a další výpočty je třeba si rastr umístit do vlastního souřadnicového systému. K tomu je použita sada nástrojů *Georeferencing* a s jejich pomocí je provedena podobnostní transformace do vlastní souřadnicové soustavy. Provádí se pomocí vlícovacích bodů, kdy jsou danému pixelu rastru určeny konkrétní souřadnice. Každému pixelu výsledného obrazu je přiřazena nová hodnota vypočtená na základě obrazu původního, tento proces nazýváme převzorkování. Na obrazových datech je třeba vybrat jednoznačně identifikovatelné body. Kliknutím na zvolený bod přiřadíme pomocí pravého tlačítka funkcí *Input X and Y* každému bodu dané souřadnice a dojde k transformaci rastru. Ke georeferenci do vlastní souřadnicové soustavy postačí dva body. Zvolené souřadnice bodů byly zadávány přímo do mapy. Nula (x = 0, y = 0) byla vložena do německého města Elnstock (obr. 4.1), směr osy byl určen polským městem Brauna (obr. 4.2) a byly mu přiřazeny souřadnice x = 1000 a y = 0. Osa x byla volena rovnoběžně s horní stranou rastru, také s ohledem na to, aby byla zachována co nejdelší vzdálenost. Během transformace tak došlo k minimálnímu natočení rastru.



Obr. 4.1: Počátek místní soustavy: x = 0 a y = 0



Obr. 4.2: *Směr osy x:* x=1000 a y = 0

K ukončení transformace rastru je použita funkce *Update georeferencing*. Dojde k vytvoření souboru s příponou TFW, která obsahuje informace o umístění v obecném dvojrozměrném souřadném systému, a soubor s příponou AUX, který obsahuje údaje, o jaký souřadnicový systém se jedná. Pro práci s rastrem umístěném v daném systému je vždy nutné kopírovat všechny tři soubory (TIFF, AUX, TFW). Společně s nimi se také ukládá ještě jeden soubor XML, který nese informace o historii zpracování dat.

4.3. Vlastní vektorizace

Další částí bakalářské práce je vytvoření vektorového modelu mapy nad rastrem. Vektorizací rozumíme obecně činnost převodu analogových rastrových podkladů do digitální vektorové podoby. Primárním výstupem vektorizace je jednoduchý datový model, kde jsou jednotlivé grafické elementy rozdělovány do vrstev a jsou jim přiřazeny základní atributy, jako je barva, tloušťka a typ čáry.

Před samotnou vektorizací je potřeba si v *ArcCatalogu* vytvořit vlastní *geodatabázi*. Program *ArcGIS* podporuje několik druhů geodatabází, k této práci postačí formát *Personal Geodatabase*. Vyznačuje se tím, že v jednom okamžiku může být čtena více uživateli, ale editována pouze jedním. Je to soubor s příponou MDB. Tato databáze je vhodná pro projekty menšího rozsahu, které nepotřebují větší velikost než 2 GB. *Personal Geodatabase* má tři klíčové komponenty, zde je použit typ *Feature Classes*, který je definován množinou prvků shodného geometrického typu (bod, linie nebo polygon) a atributů vyjádřených ve shodném souřadnicovém systému. Před samotným nadefinováním jednotlivých prvků je potřeba si rozmyslet počet tříd a jejich atributy. Při vytváření jednotlivých tříd je třeba u každé definovat název, geometrický typ, souřadnicový systém a její atributy.

Podrobnějším prohlížením a zkoumáním mapy bylo zjištěno, že Orteliova kopie se od původní Crigingerovy mapy dost liší. Je patrné, že Ortelius částečně generalizoval. Mapu sice zjednodušil a vytvořil ji přehlednější, ale mapa již neodpovídá původní verzi. Také chybí značná část jejího popisu. U sídelních značek vynechal znak pro kláštery a z některých značek hradů vytvořil nejspíše města, protože hradů oproti původní mapě ubylo a měst naopak přibylo.

Pro Crigingerovu mapu bylo vytvořeno 5 tříd: *Města, Zaniklá města, Hrady, Řeky, Hranice* (tab. 4-1).

NÁZEV TŘÍDY	GEOMETRICKÝ PRVEK	POČET OBJEKTŮ
Města	Bod	285
Zaniklá města	Bod	2
Hrady	Bod	32
Řeky	Linie	28
Hranice	Polygon	1

Tab. 4-1: Přehled tříd použitých při vektorizaci

Největší třídu tvořila vrstva *Města*. Byla vytvořena bodovým prvkem. K ní byly vytvořeny atributy, které nám dávají informace o starém názvu města, dnešním názvu

města a o významu měst. Podle velikosti a zdobnosti je možné určit důležitá centra tehdejší doby. Jde o rozdělení na významná města (= VM), městečka a osady (= M). Význam města byl určen intuitivně podle mapy, přesnější rozeznání nebylo možné. Toto označení se zcela liší i od původní Crigingerovy mapy, v Orteliově kopii jsou města červeně zabarvená, kdežto původní mapa byla černobílá. Osobní srovnání je možné provést pomocí přílohy č. 1 a 2, kde jsou obě mapy uvedeny.

Dalším bodovým prvkem byla vytvořena nejmenší třída nazvaná Zaniklá města. V dnešní době na jejich místě stojí už jen opuštěné zříceniny. Jedná se o zříceninu hradu Radyně u Plzně a hrad Kašperk v jižních Čechách, na jejich místě se nevyskytuje ani malá vesnička.

Posledním bodovým prvkem je třída *Hrady*. Opět je popsán jejich původní název, dnešní název a současný stav hradu, kdy dnes na jejich místě najdeme přestavěný zámek. zříceninu, nebo i stále zachovalý hrad.

Jediným zástupcem liniového prvku je zde třída *Řeky*. Největší problém při jejich vektorizaci vznikl u řeky Lužnice. Ve staré mapě je pravděpodobně tato řeka rozdělena do tří ramen, které nemají žádný popis. Criginger se nejspíše snažil o zachycení řeky s dnešním názvem Lužnice. Dnes je v nejbližším okolí také vybudována spousta rybníků, což bezpochybně mělo vliv na tok řeky. Dnešní Lužnice protéká městy Veselí nad Lužnicí, Soběslav, Tábor. Pokud sledujeme tato města také na staré mapě, je vidět, že každým protéká řeka. Z toho jsem usoudila, že se jedná pravděpodobně o řeku Lužnici, která není přesně zachycena a v jejím zakreslení vznikla poměrně velká chyba.

Poslední třídu tvoří polygonový prvek, který již neobsahuje žádné atributy. Třída je nazvána *Hranice* a zachycuje oblast českého království. Tento polygon již nezasahuje do oblasti Chebska a také chybí celá Morava, která do Českého království nepatřila.



Obr. 4.3: Ukázka vektorizace

Přiřadit všem historickým názvům měst a hradů dnešní jména bylo poměrně komplikované. Dost se lišila i od původní Crigingerovy mapy (tab. 4-2). Názvy měst byly ve staré němčině, která se ne vždy dala přeložit a pouze u několika z nich se objevil dvojjazyčný název. Některé názvy se zcela lišily od dnešní podoby. K vyhledání původu byl použit Slovník zeměpisných jmen v Čechách, na Moravě a ve Slezsku, ale ani tam nebylo možno najít vývoj názvu všech měst. Nakonec se povedlo přiřadit název 198 městům, která byla použita jako identické body pro výpočet transformací. Tato část byla důležitá zejména pro pozdější transformaci mapy do S-JTSK.

DNEŠNÍ NÁZEV MĚSTA	CRIGINGEROVA MAPA	ORTELIOVA KOPIE C.M.
Ústí nad Labem	Austy	Auβig
Žatec	Zatzie	Satz
Děčín	Tetzseen	není na mapě
Kadaň	Cadani	Lada
Hradec Králové	Kralowi Hradetz	Konigingretz
Litoměřice	Lytomüritz	Leutmeritz

Tab. 4-2: Vývoj názvů měst na Crigingerově mapě

4.4. Příprava pro transformaci

Pro výpočet transformací je třeba si připravit data v textovém formátu, která budou využita jako transformační klíč.

Pro zvektorizovanou třídu města jsou vytvořeny další dva atributy, které nazveme x a y. V atributové tabulce měst jsou vypočteny nad sloupcem x souřadnice ve vlastní souřadnicové soustavě pomocí funkce *Calculate geometry*. Totéž je provedeno také pro atribut y. Pro vytvoření transformačního klíče je potřeba získat souřadnice měst v systému S-JTSK. Ty lze najít na stránkách Českého statistického úřadu (http://www.czso.cz). Z jeho stránek je možné pomocí prohlížeče UIR-ZSJ stáhnout datové pakety pro celou Českou republiku, které obsahují i souřadnice měst v S-JTSK. UIR-ZSJ je zkratka pro Územně identifikační registr. ÚIR je soustava databázových číselníků jednotek územně správního, technického a sídelního členění státu do úrovně podrobnosti částí obcí, katastrálních území a ZSJ (základních sídelních jednotek). Obsahuje jejich názvy, kódy, vzájemné vazby a doplňující informativní údaje.

Získaný soubor s názvem *OBCE* je ve formátu dBaseIV s příponou DBF. Pro další práci je potřeba si soubor upravit, k tomu je využit program *Excel*. Tabulka je upravena tak, aby obsahovala pouze názvy měst a jejich souřadnice. Pro velké množství dat jsou ponechána jen města s počtem obyvatel nad 1000. Na mapě se vyskytují také menší města, která musí být zpětně doplněna. Protože tabulka obsahuje jen města v České republice, je třeba si zjistit ještě souřadnice měst, která jsou také zvektorizována a leží za hranicemi republiky. Týká se to některých polských a německých měst. K určení jejich souřadnic je použita webová služba *mapy.cz*. Souřadnice byly odečteny v systému WGS-84. Pro převod souřadnic do systému S-JTSK byl použit geografický kalkulátor program VB 105, který je součástí softwaru MATKART.

Software ArcGIS Deskop používá matematické umístění souřadnicových os. Osa x směřuje na východ a osa y směřuje na sever. Systém S-JTSK je založen na opačné orientaci souřadnicových os. Osa y směřuje na západ a osa x na jih. Pro správné natočení mapy v programu ArcGIS musí být v tabulce obě osy prohozeny a souřadnicím jsou přiřazena záporná znaménka (x = -y, y = -x). Území celé České Republiky leží tedy po přepočítání ve třetím kvadrantu.

Upravenou tabulku si uložíme opět ve formátu DBF. Protože dBase a ArcGIS pracují s jinými národními znakovými sadami (Latin 2, Win1250), je nutné převést soubor pomocí konvertoru kódování. Já jsem použila konvektor *prevod10.exe*. Jde o konvertor

pracující v systému MS-DOS. Spouští se z příkazového řádku Windows. Vstupní a výstupní soubory musí svými jmény vyhovovat konvencím MS-DOS (maximálně 8 znaků + 3 znaky přípona). Po konverzi kódování jsou data připravena.

Pro připojení vytvořené tabulky k vrstvě města v *ArcGIS* je využita funkce *Join*. Ke spojení dat dojde na základě stejného názvu měst v dnešní podobě. Pomocí atributové tabulky měst je zkontrolován výsledek propojení. Nespojená by měla zůstat jen města, u kterých se nepodařilo určit dnešní název. Pokud jsou nalezena ještě další nespojená města, je třeba najít důvod, proč se města nepodařilo propojit. Ve většině případů se jednalo o nepřesně určený název města. Pro propojená města je vytvořena exportem nová vrstva ve formátu *Shapefile*. V její atributové tabulce jsou ponechány jen sloupce se souřadnicemi v obou soustavách, ostatní jsou smazány. Takto upravená data jsou pomocí funkce *Options* exportovány do formátu DBF, kde jsou upravena a ještě jednou exportována, tentokrát do formátu TXT. Nově vytvořená tabulka bude použita pro výpočet transformací jako základní transformační klíč, ze kterého je ještě potřeba vyloučit chybné identické body.

5. Transformace v GIS

5.1. Úvod do transformací

Transformací souřadnic je obecně nazýván přechod od jedné soustavy souřadnic k jiné soustavě souřadnic. Jelikož předmětem transformace je téměř 500 let stará mapa, která je nadefinována v místním systému pomocí dvou rovinných souřadnic x a y, omezíme se jen na transformace v rovině. Lze je rozdělit do dvou základních skupin, na transformace s lokálním a na transformace s globálním klíčem.

• Transformace s globálním klíčem

Transformace, která je přesně definována matematickými vztahy mezi danými souřadnicovými soustavami. Dá se vyjádřit transformačními rovnicemi, kterým se říká jednotně transformační klíč. Příkladem této transformace je například afinní nebo podobnostní transformace.

• Transformace s lokálním klíčem

Pro vybrané území, kde má být provedena transformace není použit jeden transformační klíč, ale k transformaci dochází po částech vždy jen s lokálním klíčem pro daný bod nebo plochu (trojúhelníky či čtyřúhelníky).

V další části práce se zaměříme na transformace s globálním klíčem. Ty jsou popsány pomocí tzv. homogenních souřadnic, kterými je snadné popsat základní matematické vztahy, jako jsou posunutí, otočení, změna měřítka a zkosení.

Definice homogenních souřadnic:

Jedná se o uspořádanou trojici čísel $[x_p, y_p, z_p]$, která představuje homogenní souřadnice bodu P s kartézskými souřadnicemi [x, y] ve dvou rozměrech, platí-li:

$$x = \frac{x_P}{w_P}, \ y = \frac{y_P}{w_P}, \ w_P \neq 0$$

5.2. Definice základních matematických vztahů:

5.2.1. Posunutí

Posunutí známe pod cizím slovem také jako translace. Je dáno vektorem posunutí: $\vec{p} = (X_t, Y_t)$.

Matice posunutí T má tvar:

$$T(X_{t}, Y_{t}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & X_{t} \\ 0 & 1 & Y_{t} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

5.2.2. Otočení

Rotace kolem daného počátku soustavy souřadnic o úhel α je dána maticí rotace *R* :

$$R(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0\\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

5.2.3. Změna měřítka

Změnou měřítka je ovlivňována poloha i velikost transformovaného objektu. Pokud se absolutní hodnota koeficientu nachází v intervalu (0,1), dochází k posunutí směrem k počátku a ke zmenšení transformovaného objektu. Jestliže je daný koeficient větší než jedna, daný objekt se zmenší a vzdálí od počátku soustavy. Pokud je koeficient záporný, dochází ke zvětšení a zmenšení v opačném směru. Dané osy x a y mohou mít každá jinou změnu měřítka, a tím dochází ke změně měřítka v různých směrech.

Matice změny měřítka má tvar:

$$S(s_{x}, s_{y}) = \begin{pmatrix} s_{x} & 0 & 0 \\ 0 & s_{y} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

5.2.4. Zkosení

Zkosení lze provést ve směru daných os pomocí koeficientů (sh_x, sh_z) . Matice zkosení ve směru os mají tvar:

$$Sh_{x}(sh_{x}) = \begin{pmatrix} 1 & sh_{x} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad Sh_{y}(sh_{y}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ sh_{y} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$(71)$$

5.3. Použité metody rovinných transformací

Jde-li o případ staré mapy, jedná se o převod pixelových souřadnic v místní soustavě do referenčního geodetického souřadnicového systému S-JTSK. Volba metody transformace (georeferencování) také samozřejmě závisí na metodě digitalizace a na způsobu pozdějšího využití natransformované mapy. V případě potřeby zachování původních prostorových vztahů se jedná o transformace nižších řádů. Pokud je potřeba maximálně ztotožnit původní kresbu se současným stavem, je třeba využít transformací s vyšším řádem, kde dochází k poměrně velké deformaci obrazu. V tomto případě se budeme zajímat o transformaci *podobnostní, afinní, projektivní, polynomickou, rubber sheeting, edge snap, adjust, spline.*

5.3.1. Podobnostní transformace

Je vhodná pro transformace mezi souřadnicovými systémy, které jsou navzájem posunuty, pootočeny a ve směrech obou souřadnicových os mají ve stejném poměru změněno měřítko. Tato transformace je konformní (zachovává úhly) a zároveň ekvidistantní (zachovává délkové poměry). Z toho vyplývá, že je také ekvivalentní (zachovává poměry ploch). Je vhodná pro jednoduchou georeferenci starých map pomocí identických bodů, obraz se nedeformuje a zachovávají se prostorové vztahy mezi objekty. Využívá se hlavně v geodézii. K jednoznačnému určení čtyř konstant transformačních rovnic jsou potřeba dva body určené souřadnicově jak v první, tak i v druhé soustavě souřadnic. Předpokládá se, že souřadnicově určený bod je v obou soustavách identický.



Obr. 5.1: Podobnostní transformace [14]

- x, y ... souřadnice soustavy první (původní souřadnice)
- X, Y... souřadnice soustavy druhé (transformované souřadnice)
- β ... úhel rotace, pootočení
- q ... měřítko
- $a = X_t \dots$ posun po ose x

 $b = Y_t \dots$ posun po ose y

Po úpravách dostáváme tvar transformačních rovnic:

$$X = qx\cos(\beta) + qy\sin(\beta) + X_t$$

$$Y = -qx\sin(\beta) + qy\cos(\beta) + Y_t$$

Jestliže máme více identických bodů než dva, je možné provést vyrovnání pomocí MNČ (metody nejmenších čtverců). Tato metoda se nazývá Helmertova transformace. Při využití transformace u starých map je vhodné rozmístit identické body rovnoměrně po obraze, tím docílíme nejlepšího určení koeficientu změny měřítka. Pokud měřítko q vyjde rovno jedné, jedná se o speciální případ podobnostní transformace, která se nazývá shodnostní transformace.

5.3.2. Afinní transformace

Afinní transformace je speciálním případem polynomické transformace, jinak řečeno polynomem prvního stupně. Geometricky se jedná o posun, rotaci a změnu měřítka každé souřadnicové osy původního souřadnicového systému. Není konformní, ale zachovává rovnoběžnost přímek. Je nejvhodnější pro transformaci obrazových dat, která jsou ovlivněna například srážkou papíru, protože ji afinní transformace dokáže rozeznat v různých směrech. Obraz mapy je částečně deformován, protože dochází ke zkosení.



Obr. 5.2: Afinní transformace [14]

Na obrázku (obr. 5.2) je ukázáno, jak může tato transformace deformovat původní data. Je vidět, že čtverec se vůči počátku souřadnicového systému posunul a pootočil. Navíc se ještě zvětšil a zkosil.

Pro výpočet afinní transformace je nezbytné znát minimálně tři identické body v obou soustavách. U této transformace se nedá mluvit jen o jednom úhlu stočení. Pro vyjádření rovnic se používá koeficientů posunutí a dále obecných koeficientů představujících změnu měřítka a stočení $(a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22})$.

Transformační rovnice pak mají tvar:

$$X = a_{11}x + a_{12}y + X_{t}$$
$$Y = a_{21}x + a_{22}y + Y_{t}$$

Při využití této transformace u starých map je opět nutné volit identické body rovnoměrně. Při nadbytečném počtu identických bodů dochází k vyrovnání, nejpoužívanější metodou je obvykle MNČ (metoda nejmenších čtverců).

5.3.3. Projektivní transformace

Mezi další používané transformace patří projektivní, jinak také nazývaná kolineární, která se využívá hlavně ve fotogrammetrii a tvoří základ jednosnímkové fotogrammetrie. Jde o transformaci, kdy obraz bodu je pomocí středového promítaní zobrazen z jedné roviny na druhou. Tato transformace není konformní, měřítko není konstantní, zachovává se tzv. *dvojpoměr* v rámci čtveřice bodů ležících na přímce. Přímky se zobrazují opět jako přímky. Přímky rovnoběžné v originále po transformaci směřují do společného bodu (úběžníku). Protože jde o vztah dvou rovin, je možné správně transformovat jen objekty ležící v jedné rovině.



Obr. 5.3: Projektivní transformace [14]

Na obrázku (obr. 5.3) je vidět, že se lineární změna měřítka projevuje deformací čtverce na lichoběžník nebo obecný čtyřúhelník a hrany se v prodloužení protínají v úběžnících.

Po úpravách získáme tyto transformační rovnice:

$$X = \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + 1}$$
$$Y = \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + 1}$$

V transformačních rovnicích vystupuje osm neznámých, je tedy potřeba znát osm identických souřadnic, tedy čtyři identické body. Tato transformace se používá nejčastěji v případech, kdy se obraz transformuje právě na 4 identické body, např. rohy mapového listu.

5.3.4. Polynomické transformace druhého a vyšších řádů

Pokud má deformace souřadnicové soustavy transformované mapy, snímku nebo jiného zdroje komplikovanější průběh a nebo lokální charakter, je výhodnější použít polynomickou transformaci vyššího řádu. Pro výpočet koeficientů polynomické transformace n-tého řádu je potřebných alespoň N_n dvojic identických bodů:

$$N_n = \frac{n^2 + 3n + 2}{2}$$
 kde n je stupeň polynomu

Speciální případ polynomické transformace je afinní transformace, kdy pro n = 1 je minimální počet identických bodů tři. V případě polynomu druhého řádu je zapotřebí znát souřadnice šesti identických bodů , při použití polynomu třetího řádu pak deseti identických bodů . Nedoporučuje se však používat minimální počet bodů, ale spíše přidat další body, které zmenší polohovou chybu. V praxi se používají pouze řády 2. a 3. stupně, jelikož vyšší řády nepřinášejí podstatnější zvýšení přesnosti.

Transformační rovnice polynomů 2. stupně po vyjádření vypadají následovně:

$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 x^2 + a_5 y^2$$
$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 xy + b_4 x^2 + b_5 y^2$$

Čtverec deformují polynomické transformace vyšších řádů obdobným způsobem jako afinní transformace. Jeho hranice v cílové soustavě pak tvoří křivky. Zatímco u prvního řádu to byly úsečky, u druhého řádu se jedná o části parabol. Také dochází k lokálním deformacím podle kvadratické nebo kubické plochy. Změna měřítka zde není konstantní ani lineární, a proto není vhodná pro georeferencování map s geodetickým základem. Transformace je vhodná hlavně pro mapy, které byly deformovány díky vlhkosti (např. nevhodné uskladnění, poškození při povodních).

Transformace mimo oblast vybraných vlícovacích bodů se nedoporučuje, protože průběh v těchto místech může výrazně deformovat kresbu.

Dále bude stručně pojednáno o transformacích s lokálním transformačním klíčem, se kterými program ArcGIS také pracuje. Princip fungování těchto výpočtů je složitý, zejména pak zjištění transformačního klíče. Postup výpočtu bývá popsán v různých publikacích jen velice obecně, tato práce nebude výjimkou.

5.3.5. Transformace "rubber sheeting" (triangulace)

Jedná se o transformaci, u které dochází k lokální deformaci podle vlícovacích bodů. Mezi vlícovacími body je prováděna lokální transformace po trojúhelnících, jejichž vrcholy jsou tvořeny identickými body. Tím se zajistí, že na vlícovacích bodech nejsou žádné odchylky (nedochází k přeurčení). Tato transformace je vhodná při velkém množství bodů pro transformaci starých map bez geodetického základu do současných referenčních systémů tak, aby důležité objekty (města) ležely ve správné poloze a úměrně tomu byly deformovány mezilehlé prostory (lesy, cesty apod.).

5.3.6. Transformace "edge snap"

Využívá se hlavně u map, které jsou rozděleny na mapové listy, kde dochází k nežádoucím transformacím na okrajích. Proces je identický s transformací *rubber sheeting*, ale zájmovou oblastí jsou pouze hrany map.

5.3.7. Transformace "spline" a "adjust"

Jedná se o nereziduální transformace, které mají tu vlastnost, že provádějí ztotožnění na identických bodech nezávisle na jejich počtu či konfiguraci. Často jsou využívány jako druhý krok po globálních transformacích kvůli odstranění zbytkových odchylek na identických bodech. Transformace *spline* využívá matematicky generovaných křivek, které vymodelují daný povrch. Základem transformace *adjust* je kombinace polynomické transformace a interpolační techniky. Zachovává lokální přesnost a je vhodná také kvůli využití metody MNČ.

5.4. Výpočet transformací pro Crigingerovu mapu

Výpočty transformací jsou v programu ArcGIS rozděleny do dvou částí podle toho, zda se pracuje s vektorovými nebo rastrovými daty. Nástroj pro transformace vektorových dat se jmenuje *Spatial Adjustment* a obsahuje *afinní, projektivní, podobnostní, rubber sheet* a *edge snap* transformaci. Nástroj pro rastrová data se nazývá *Georeferencing* Setkali jsme se s ním již při definování místního souřadnicového systému ve druhé kapitole. Ten pak obsahuje *afinní, adjut, spline* transformaci a transformaci *polynomem 2. a 3. stupně*.

Před samotnou transformací jak vektorových, tak i rastrových dat je potřeba zjistit chybně určené body v transformačním klíči. Ten byl vytvořen pomocí identických bodů (zvektorizovaných měst), u kterých jsou známé souřadnice v místním souřadnicovém systému i v současně využívaném souřadnicovém systému pro Českou republiku S-JTSK. Celkem jich bylo 196 .Vytvořený klíč byl uložen do textového souboru. Pro určení chyb v transformačním klíči je potřeba mít v prostředí *Arcmap* současně načtené identické body jak v místní soustavě, tak i v systému S-JTSK. Dále je využit nástroj *Spatial Adjustment*, kdy je přes funkci *Open links file* načten textový soubor s identickými body, které se mezi sebou propojí v místní soustavě a v soustavě S-JTSK. Přesnost transformačního klíče je možné sledovat v tabulce *Links table*, kde je vypočtena jak střední kvadratická chyba každého identického bodu, tak i celková střední chyba. Spojnice propojených bodů by měly být rovnoběžné. Pokud nejsou, je možné již na pohled dobře odhadnout hrubé chyby. Příklad je uveden na obrázku (obr. 5.4).



Obr. 5.4: Chybný identický bod při výpočtu transformačního klíče

Největší chyby byly zjištěny u měst Písek a Zbraslav, kde byly špatně určeny souřadnice města v S-JTSK, které ležely zcela mimo ostatní určené identické body. Podle souřadnic v S-JTSK by jejich poloha odpovídala Moravě, kde se nachází stejnomenná obec Písek v okrese Frýdek Místek a Zbraslav v okrese Brno. Dále pak byly vyloučeny postupně body s dnešním názvem Nové Hrady, Prostějov, Domažlice. Proč zrovna u těchto měst vznikly odchylky, není zcela jasné, lze to přisuzovat nejspíše chybnému zobrazení na Crigingerově mapě. Bylo také důležité dbát na rovnoměrné rozmístění vyloučených bodů. Pokud by byly vyloučeny body jen z jedné části mapy, mohlo by i přes možné zlepšení přesnosti transformačního klíče dojít k negativnímu dopadu na transformaci. Při zkoumání vlivu chyb jiných měst již nedocházelo k výraznému zpřesnění.

5.5. Vyhodnocení přesnosti mapy

5.5.1. Vyhodnocení transformace vektorových dat

U každého druhu transformace byly postupně vyloučeny body, u kterých byly při vytváření opraveného transformačního klíče zjištěny chyby. Jejich vliv na přesnost jednotlivých transformací lze sledovat v tabulce (tab. 5-1)

STŘEDNÍ CHYBA [km]		AFINNÍ	PROJEKTIVNÍ	PODOBNOSTNÍ
Bez vyřazených bodů		31,8	32,3	32,1
Postupně vypuštěné body	Písek (Piscka)	21,1	20,1	22,1
	Zbraslav (Konigs Sal)	18,0	16,5	19,0
	Nové Hrady (Nouirad)	14,7	12,6	16,1
	Prostějov (Prisen)	14,1	12,2	15,7
	Domažlice (Tauss)	13,9	12,0	15,4

Tab. 5-1: Přesnost transformace zvektorizovaných dat do S-JTSK

Po vyloučení chybných měst a vytvoření opraveného transformačního klíče byly u každého druhu transformace přetransformovány také všechny složky geodatabáze. Několikrát se mi stalo, že transformace neproběhla. Bylo to způsobeno chybou v atributové tabulce, kterou bylo nutné opravit. Po dalším spuštění transformace již nenastal problém a postupně se přetransformovaly všechny složky geodatabáze podle jednotlivých transformací do S-JTSK.

Mezi výslednými hodnotami středních chyb u afinní, projektivní a podobnostní transformace nedošlo k velkým rozdílům. Nejpřesněji vychází transformace projektivní, u které střední chyba dosahuje 12 kilometrů. U zbylých dvou transformací *rubber sheeting* a *edge snap* dochází k vyrovnání, na identických bodech nevznikají žádné odchylky a výsledné chyby jsou pak nulové.

Za nejpřesnější transformaci i přesto považujeme transformaci projektivní, u které vyšla střední chyba 12 kilometrů a jsou zde zachovány prostorové vztahy mezi objekty.

5.5.2. Vyhodnocení transformace rastrových dat

Pro transformaci rastrových dat je použit nástroj *Georeferencing*. Nejdříve byla zjištěna u všech transformací střední chyba s původním transformačním klíčem. Protože ten ještě obsahoval chybné identické body, docházelo k velkým odchylkám a k deformaci rastru. Bylo potřeba opět vypustit body, na kterých vznikaly největší rozdíly. Nebylo možné si daný bod označit a jednoduše smazat, jak tomu bylo u vektorizovaných dat. Bylo potřeba si bod vyhledat v tabulce *Links table* a smazat ho zde. Z tabulky bylo vyloučeno pět chybných bodů (Písek, Zbraslav, Nové Hrady, Prostějov, Domažlice) a znovu byly postupně provedeny transformace rastru. Jejich přesnost je uvedena v tabulce (tab. 5-2)

STŘEDNÍ CHYBA	TRANSFORMACE			
[km]	Polynom 1. stupně	Polynom 2. stupně	Polynom 3. stupně	Adjust
Bez vyřazených bodů	31,8	31,0	30,6	2,0
Po vypuštění pěti bodů	14,0	11,4	10,0	1,1

Tab. 5-2: Georeference rastru do S-JTSK

Na níže uvedených obrázcích můžeme sledovat rozdíly mezi použitými transformacemi. U polynomických transformací je výsledná hodnota střední chyby přibližně stejná. Nejlépe jsou zachované původní prostorové vztahy u transformace polynomem prvního stupně. Jedná se o případ afinní transformace, která je speciálním případem polynomické transformace prvního stupně. Geometricky se jedná o posun, rotaci a změnu měřítka souřadnicové osy původního souřadnicového systému. Zachovává se rovnoběžnost přímek. Obraz mapy je minimálně deformován, protože dochází ke zkosení. Přetransformovaný rastr je také velice dobře čitelný (obr. 5.5). U polynomické transformace 2. řádu nedošlo oproti předešlé transformaci k velkým změnám, jen střední chyba se o něco zmenšila (obr. 5.6).



Obr. 5.5: Přetransformování rastru polynomem 1. stupně do S-JTSK

Obr. 5.6: Přetransformování rastru polynomem 2. stupně do S-JTSK

Nejpřesněji z polynomických transformací vychází polynom třetího stupně (obr. 5.7), ale dochází zde k velké deformaci jižní části České republiky (obr. 5.8). Města jsou v jižní části špatně čitelná a celkový vzhled přetransformovaného rastru není dobrý.

U transformace *adjust* (obr. 5.9) je dosaženo nejmenší střední chyby. U transformace *spline* se chyby úplně vyrovnají a na identických bodech nevznikají žádné odchylky. Dochází k celkové deformaci rastrů a v mapě již nejsou zachovány původní prostorové vztahy. Jen těžko bychom hledali jeho další využití, význam mapy se zcela vytrácí.



Obr. 5.7: Přetransformování rastru polynomem 3. stupně do S-JTSK



Obr. 5.8: Deformace jižní části mapy u transformace polynomem 3. stupně



Obr. 5.9: Rastr po transformaci "Adjust"

Za nejvhodnější transformaci rastru bych v případě Crigingerovy mapy volila transformaci polynomem 2. stupně, obraz mapy je minimálně deformován a přetransformovaný rastr je dobře čitelný (obr. 5.6).

5.6. Porovnání Crigingerovy mapy s Klaudyánovou mapou

Pro porovnání přesnosti map jsem použila vektorová data po projektivní transformaci. Ta měla u obou map nejmenší střední chybu. V tabulce je uvedeno porovnání jednotlivých transformací (tab. 5-3).

ννβρανά	STŘEDNÍ KVADRATICKÁ ODCHYLKA				
MAPA	[km]				
	Projektivní t.	Podobnostní t.	Afinní t.		
Klaudyánova mapa	13,1	15,1	13,9		
Crigingerova mapa	12,0	15,4	14,0		

Tab. 5-3: Porovnání středních kvadratických odchylek u Crigingerovy a Klaudyánovy mapy

Do prostředí *ArcMap* jsem si načetla z databází vrstvy *Města, Hrady, Řeky.* Pro lepší představu jsem si také připojila současné hranice České republiky. Po načtení databáze zvektorizované Crigingerovy mapy je hned patrné, že chybí severní část Čech. Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, vycházelo se z Orteliovy kopie, které sloužil jako předloha originál Crigingerovy mapy, který je uložen v Salzburgu. Nedochoval se v celé své podobě a byla mu z neznámých důvodů odříznuta horní část severních Čech. Proto vytvořená vektorizace nezasahuje až k severním výběžkům naší republiky.

Pro porovnání měst jsem si do prostředí *ArcMap* načetla zvektorizovaná města z databáze Crigingerovy mapy a Klaudyánovy mapy. Sídla na Klaudyánově mapě nesahala až na hranice jižních Čech, oproti Crigingerově mapě vznikaly značné rozdíly. V příloze číslo 6 je vytvořen výřez jižních Čech, kde jsou města na Crigingerově a Klaudyánově mapě v S-JTSK a pro dobrou představu také města s dnešní polohou S-JTSK.

Abych zjistila možnou shodu map, vybrala jsem si z každé části Čech pět větších měst pro porovnání jejich rozptylu v mapě (tab. 5-4). Z tabulky je vidět, že nejlépe se shodují města ve středních Čechách, největší rozptyly pak vznikají směrem k hranicím republiky, zejména pak v jižních Čechách. Největší rozptyl vznikl Českého Krumlova. Chybu v mapě nejspíše provedl Mikuláš Klaudyán. V příloze číslo 6 je možné porovnat

dnešní polohu a polohu měst, jak ji určili oba kartografové. Klaudyánova chyba je dobře viditelná.

Při načtení vrstev hradů bylo již na první pohled vidět, že se nejedná o zakreslení stejných sídel. Shodovalo se jich jen minimum, například hrad Karlštejn, kde byl rozptyl 12 kilometrů.

Porovnání řek můžeme sledovat v příloze číslo 5. Nezdá se mi, že v zakreslení řek v Crigingerově mapě by bylo méně přesné než zakreslení řek v Klaudyánově mapě, jak uvádějí ve svých knihách historikové. Myslím, že jejich zakreslení je poměrně srovnatelné, u Crigingera ještě o něco podrobnější. Největší chyba vznikala u zakreslení Otavy, kde se oba zcela liší. Řeky u Klaudyána opět nesahají až na hranice jižních Čech, tento jev bylo možné sledovat již u měst.

Z porovnání map nelze říct, že se Criginger nechal Klaudyánem inspirovat. Myslím, že tvořil zcela sám a Klaudyánova mapa mu jako podklad nesloužila.

ČÁST	MĚSTO	ROZPTYL
ČECH	MLS10	[km]
	Kutná Hora	1,1
echy	Český Brod	1,9
ní Č	Benešov	8,4
Ìtřed	Zbraslav	2,4
01	Praha	6,0
	Ústí nad Labem	12,2
echy	Úštěk	12,4
ní Č	Trutnov	11,1
ever	Roudnice nad Labem	1,7
S	Litoměřice	7,6
	České Budějovice	22,5
chy	Český Krumlov	46,1
í Čech	Pelřimov	7,2
Jižn	Milevsko	3,7
	Klatovy	22,5
/	Cheb	28,2
echy	Žatec	8,1
lní Č	Plzeň	14,7
ápac	Chomutov	7,5
N	Kadaň	13,8
y	Jaroměř	7,3
dní Čech	Havlíčkův Brod	12,6
	Náchod	9,7
ýcho	Týn nad Vltavou	6,8
V	Miličín	8,1

Tab. 5-4: Rozptyl měst na mapě mezi Crigingerem a Klaudyánem

6. Závěr

Bakalářská práce byla věnována druhé nejstarší mapě Čech, Crigingerově mapě, o které se toho ví jen velice málo. Mým cílem bylo přispět něčím novým. Tato bakalářská práce je jedním z výstupů výzkumu, který je prováděn v rámci projektu GA ČR 205/07/0385 "Kartometrická a semiotická analýza a vizualizace starých map českých zemí z období 1518-1720", vedeného prof. Veverkou.

Mapa byla zpracována v programu *ArcGIS*, k výzkumu byla použita digitalizovaná Orteliova kopie Crigingerovy mapy. Byla provedena vektorizace mapy, jejím předmětem byly hrady, řeky a města a tehdejší hranice českých zemí. Všem městům se nepodařilo přiřadit dnešní název. Popis na Orteliově kopii Crigingerovy mapy je převážně v němčině a často nebylo možné určit, o jaké město se jedná.

Po dokončení vektorizace byla provedena transformace. Při výpočtu správného transformačního klíče, který byl sestaven z určených měst, bylo vyloučeno pět chybných bodů. Pro vektorizovaná data nejlepších výsledků dosahovala projektivní transformace s chybou 12 kilometrů. Pro transformaci rastru jsou nejvhodnější polynomické transformace, obraz mapy je minimálně deformován a přetransformovaný rastr je dobře čitelný. Za nejvhodnější jsem zvolila transformaci polynomem 2. stupně. U polynomu 3. stupně docházelo k poměrně velké deformaci rastru v jižní části Čech.

Při porovnávání s Klaudyánovou mapou byly zjištěny poměrně velké rozdíly. Nejmenší rozptyly mezi městy vznikaly ve středních Čechách, směrem k hranicím se pak zvětšovaly. Nemyslím si, že by se Johann Criginger při tvorbě mapy nechal ovlivnit Klaudyánovou tvorbou.

Jistě by bylo zajímavé v dalším zkoumání této mapy porovnat rozdíly mezi původní mapou Crigingera a jejími dalšími kopiemi, ať už zmíněnou Orteliovou kopií, nebo kopií Mercatorovou. Těchto map je poměrně mnoho a jejich různorodost je často viditelná na první pohled.

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Kresba vyrytá do hrotu mamutího klu nalezeného u Pavlova v roce 1962 [10]	4
Obr. 2.2: Medajlonek umístěný v homí části Crigingerovy mapy s profilem císaře Rudolfa II. [4]	7
Obr. 2.3: Ukázka mapových značek pro kategorii města [4]	8
Obr. 2.4: Kopie Crigingerovy mapy od Mercatora [4]	9
Obr. 3.1: Prostorové vrstvy v GIS [16]	12
Obr. 4.1: Počátek místní soustavy	17
Obr. 4.2: Směr osy x	17
Obr. 4.3: Ukázka vektorizace	20
Obr. 5.1: Podobnostní transformace [14]	26
Obr. 5.2: Afinní transformace [14]	27
Obr. 5.3: Projektivní transformace [14]	28
Obr. 5.4: Chybný identický bod při výpočtu transformačního klíče	31
Obr. 5.5: Přetransformování rastru polynomem 1. stupně do S-JTSK	34
Obr. 5.6: Přetransformování rastru polynomem 2. stupně do S-JTSK	35
Obr. 5.7: Přetransformování rastru polynomem 3. stupně do S-JTSK	35
Obr. 5.8: Deformace jižní části mapy u transformace polynomem 3. stupně	36
Obr. 5.9: Rastr po transformaci "Adjust"	36

Seznam tabulek

Tab. 4-1: Přehled tříd použitých při vektorizaci	. 18
Tab. 4-2: Vývoj názvů měst na Crigingerově mapě	. 20
Tab. 5-1: Přesnost transformace zvektorizovaných dat do S-JTSK	. 32
Tab. 5-2: Georeference rastru do S-JTSK	. 34
Tab. 5-3: Porovnání středních kvadratických odchylek u Crigingerovy a Klaudyánovy mapy	. 37
Tab. 5-4: Rozptyl měst na mapě mezi Crigingerem a Klaudyánem	. 39

Seznam příloh

Příloha 1: Crigingerova mapa z roku 1567

Příloha 2: Orteliova kopie Crigingerovy mapy z roku 1570

Příloha 3: Zobrazení Českého království na Crigingerově mapě od Ortelia z roku 1570

Příloha 4: Porovnání polohy měst na Crigingerově mapě a v současnosti v S-JTSK

Příloha 5: Porovnání řek na Klaudiánově a Crigingerově mapě po projektivní transformaci

Příloha 6: Porovnání polohy měst na Klaudiánově a Crigingerově mapě s dnešní polohou v S-JTSK-výřez jižních Čech

Příloha 7: CD s digitalizovanými daty Crigingerovy mapy

Seznam literatury:

- KUCHAŘ, Karel.: Naše mapy odedávna do dneška
 Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1958
- [2] SEMOTANOVÁ, Eva: Mapy Čech, Moravy a Slezska v zrcadle staletí. Praha: Libri, 2001
- [3] KUČERA, Zdeněk; VACEK, Miroslav: Bílinsko na starých mapách. Bílina: vydalo město Bílina, 2003
- [4] KUČERA, Zdeněk: Ústecko na starých mapách. Ústí nad Labem: vydalo město Ústí nad Labem, 2002
- [5] SEMOTANOVÁ, Eva a kolektiv: Česko Ottův historický atlas. Praha: Ottovo nakladatelství, 2007
- [6] LUTTERER, Ivan; ŠRÁMEK, Rudolf: Slovník vybraných zeměpisných jmen s výkladem jejich původu a historického vývoje. Havlíčkův Brod: nakladatelství Tobiáš, 2004
- [7] CAJTHAML, Jiří: Nové technologie pro zpracování a zpřístupnění map.
 Doktorská disertační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha 2007
- [8] ANTOŠ, Filip: Problematika skenování historických map a jejich následné prezentace na internetu. Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha 2006
- [9] POMYKACZOVÁ, Aneta: Analýza Klaudyánovy mapy v prostředí GIS.
 Bakalářská práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha 2007

- [10] DRÁPELA, M.; PODHRÁZSKÝ, Z.; STACHOŇ, Z.; TAJOVSKÁ, K.: Multimediální učebnice Dějin kartografie. On-line učebnice, Brno, Geografický ústav PřF MU Brno, 2006. Dostupné z: http://www.geogr.muni.cz/ucebnice/dejiny/obsah.php
- BŘEHOVSKÝ, M.; JEDLIČKA, K.; ŠÍMA,J.: Úvod do geografických informačních systémů GIS. On-line učební text , ZČU Plzeň, Fakulta aplikovaných věd, 2007.
 Dostupné z: http://gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/index1.htm
- [12] DOLANSKÝ, T.: Způsoby zpracování starých mapových podkladů. Univerzita J. E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, 2008, formou PDF souboru.
 Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/kig/obecne/lidi/dolansky/publikace/StudOecologica01.pdf
- [13] ARCDATA PRAHA, s. r. o.Dostupné z: Dostupné z: http://www.arcdata.cz/software/esri/arcgis/desktop
- [14] FAJT, Jaromír: Geometrické transformace v GIS. ZČU Plzeň KMA, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň, 2006, formou PDF souboru.
 Dostupné z: http://gis.zcu.cz/studium/ugi/referaty/05/GeometrickeTransformace/index.html
- [15] Digitální zpracování dat v ArcGIS. Ústav geoinformačních technologií, součást
 Vysoké školy zemědělské v Brně, Brno, 2006
 Dostupné z: http://mapserver.mendelu.cz/wiki/index.php/ArcGIS
- [16] PECHANEC, Vilém. Geografické informační systémy (GIS).Dostupné z: http://www.gvp.webz.cz./gis.php
- [17] MAPY.CZ. Dostupné z: http://www.mapy.cz/

[18] SALAY, Ivan. Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS.. Praha: Computer Press, 1999.