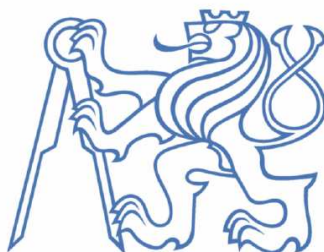


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
STAVEBNÍ FAKULTA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

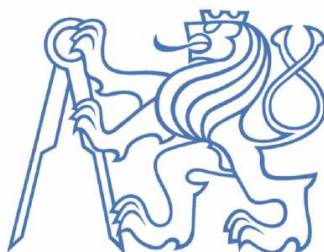
**VIZUALIZACE KARTOMETRICKÝCH
CHARAKTERISTIK NAŠICH NEJSTARŠÍCH
MAP V SOFTWARE MAPANALYST**

Libuše Vejrová

2008

PRAHA

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
STAVEBNÍ FAKULTA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VIZUALIZACE KARTOMETRICKÝCH
CHARAKTERISTIK NAŠICH NEJSTARŠÍCH
MAP V SOFTWARE MAPANALYST

Visualization of Cartometric Characteristics of the Czech Oldest
Maps in Software MapAnalyst

Libuše Vejrová

Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
vedoucí práce

2008

PRAHA

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracovala samostatně, prameny jsem doložila v seznamu použité literatury.“

V Praze dne

.....

Libuše Vejrová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé práce Ing. Jiřímu Cajthamlovi, Ph.D. za pomoc, připomínky, podporu a trpělivost v průběhu zpracování bakalářské práce. Dále děkuji archiváři Mgr. Janu Štěpánovi za odborné konzultace.

Abstrakt

Cílem této práce je hodnocení nepřesností vybraných starých map Čech pomocí kartometrického softwaru MapAnalyst. Byla provedena vizualizace izolinií měřítka, deformační sítě a sítě odchylek pro hodnocené mapy tak, aby je bylo možné vzájemně porovnávat. Součástí práce je studium možností softwaru MapAnalyst, popis jeho základních funkcí a metod, které používá pro analýzu starých map.

Klíčová slova

software MapAnalyst, nejstarší mapy Čech, transformace map, izolinie měřítka a rotace, deformační síť, vektory posunů

Abstract

The aim of this bachelor thesis is classify the inaccuracy of selected Czech old maps using cartometric software MapAnalyst. It was performed a visualization of the scale isolines, distortion grid and displacement vectors for given maps so that they can be compared with each other. An important part of this thesis research for possibilities of the MapAnalyst software, description of its principal functions and methods, which are used to analyse of old maps.

Keywords

software MapAnalyst, the oldest maps of Czech, transformation of maps, isolines of scale and rotation, deformation grid, displacement vectors

Obsah

1 ÚVOD	8
2 STARÉ MAPY ČECH	9
2.1 Klaudyánova mapa Čech z roku 1518	9
2.2 Crigingerova mapa Čech z roku 1568	11
2.3 Aretinova mapa Čech z roku 1619	12
2.4 Vogtova mapa Čech z roku 1712	14
2.5 Müllerova mapa Čech z roku 1720	15
3 SOFTWARE MAPANALYST	19
3.1 Analýza planimetrických nepřesností	19
3.2 Popis softwaru MapAnalyst	20
3.3 Vizualizace planimetrických nepřesností starých map	21
3.4 Práce v softwaru MapAnalyst	22
3.5 Možnosti vizualizace	25
3.6 Možnosti rozšíření MapAnalystu, směr budoucího výzkumu	28
4 GEOMETRICKÉ TRANSFORMACE	30
4.1 Helmertova transformace	30
4.2 Afinní transformace – šestiprvková	31
4.3 Afinní transformace – pětiprvková	33
4.4 Robustní Helmertova transformace	34
4.5 Zhodnocení transformací	35
5 VIZUALIZACE NEPŘESNOSTÍ STARÝCH MAP ČECH	36
5.1 Klaudyánova mapa Čech z roku 1518	37
5.2 Crigingerova mapa Čech z roku 1568	38
5.3 Aretinova mapa Čech z roku 1619	39
5.4 Vogtova mapa Čech z roku 1712	40
5.5 Müllerova mapa Čech z roku 1720	41
6 ZÁVĚR	42

SEZNAM OBRÁZKŮ	44
SEZNAM PŘÍLOH	45
PRAMENY A LITERATURA	46

1 Úvod

Chceme-li se dozvědět něco o historii naší země, vzniku měst a správním rozdělení, staré mapy nám mohou posloužit jako bohatý zdroj informací. Na mapách je zaznamenáván vývoj krajiny i rozvoj měst, jsou zde zobrazena některá sídla, která již v dnešní době nemají takový význam jako v dané době či dokonce zanikla, nebo jejichž význam naopak vzrostl.

Staré mapy se od sebe liší dobou vzniku, měřítkem, způsobem zpracování, obsahem a v neposlední řadě i výtvarným pojednáním. Na mapách je také patrný vývoj grafických mapovacích technik. Lze říci, že se postupně přechází od dekoru k symbolickým zkratkám, od snahy zachytit krajinu v její dojemové plnosti k vytváření sériově používaných znaků.

Mapy zobrazující naše území vznikaly nejspíše již počátkem 10. století, ovšem první dochované dokumenty pocházejí až ze 16. století. Tyto unikáty jsou však uloženy ve státních archivech a veřejnost k nim tak nemá volný přístup, existuje však mnoho různých kopií, které jsou zveřejňovány na internetu nebo v knižních publikacích. V této práci jsou zpracovány neskenované reprinty nejstarších map Čech od 16. do 18. století, které jsou celoživotním dílem jednotlivců.

Jelikož mapy Klaudyánova, Crigingerova, Aretinova a Vogtova byly vyhotoveny bez měření a některé z nich byly dokonce zakresleny bez autorova procestování daným krajem, lze říci, že důležitým faktorem při tvorbě map je autorova znalost zobrazovaného území. Kvalitu vytvořené mapy ovlivnila i použitá předloha starších map. Oproti zmíněným čtyřem mapám Müllerova mapa byla prvním dílem založeným na skutečném měření. Význam mapy lze vidět nejen v tom, že byla vytvořena pro vojenské účely, ale že se též jedná o první státní mapové dílo v Čechách.

Aby bylo možné pracovat se starými mapami a porovnávat je jak navzájem, tak i s dnešním stavem, je potřeba zjistit nepřesnosti jednotlivých map, které mohly být způsobeny různými vlivy, dokonce i pečlivostí autora.

Právě nepřesné zakreslení měst či neznalost jejich polohy a měřítko, ve kterém se staré mapy vyhotovovaly, jsou v této práci zkoumány pomocí švýcarského software MapAnalyst, který je navržen pro zjišťování a vyobrazení nepřesností daných podkladů na základě znalosti souřadnic dnešních poloh měst.

Součástí této práce je nejen analýza historických mapových podkladů, ale též popis programu MapAnalyst z praktického, teoretického a matematického hlediska.

2 Staré mapy Čech

V této kapitole bude charakterizováno pět nejstarších map Čech. Pojmem *stará mapa* byla dříve označována díla, která měla sběratelský smysl, a která byla zhotovena asi do poloviny 19. století. Jelikož se tvorba mapových děl rozvíjí velmi rychle, mohou se zdát i mapy z dvacátých let starými. Z mapového obsahu lze za starou mapu považovat dokonce i takovou mapu, která již neodpovídá současnému stavu zobrazovaného území.

Pojmy *stará mapa* a *historická mapa* se mnohdy zaměňují, avšak tyto pojmy představují dvě rozdílné věci. Historická mapa je především tematickou mapou, znázorňuje výsledky historického výzkumu moderními kartografickými prostředky na podkladě obecně zeměpisného a jiného kartografického díla.

Při zkoumání starých map je potřeba zjistit nemálo informací, aby bylo možné obsah mapy správně interpretovat. Je důležité zjistit dobu, ze které mapa pochází, zda se jedná o rukopisnou či tištěnou mapu, jde-li o mapu původní, její kopii či jen reprodukci, jaké má mapa měřítko, jak je vysvětlován obsah mapy apod.

Cílem této kapitoly je představit nejstarší mapy Čech vytvářené jednotlivci.

2.1 Klaudyánova mapa Čech z roku 1518

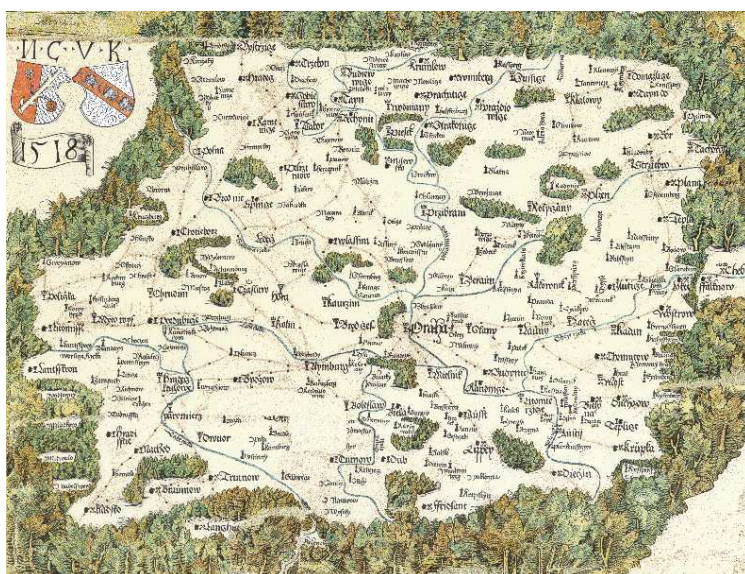
Mikuláš Klaudyán, zvaný pravděpodobně podle své tělesné vady Kulha (kulhavý = lat. claudianus), byl mladoboleslavský lékař a knihtiskař. Podporoval činnost Jednoty bratrské. Do dějin české kartografie vstoupil jako tvůrce první tištěné mapy Čech a tím i první tištěnou mapou střeoevropského státu. Předlohu Klaudyánovy mapy nejspíše tvořily mapy střední Evropy od Eduarda Etzlauba, se kterými se mohl setkat při svých cestách do Norimberka nebo při svém působení v Německu. Tyto mapy mají jižní orientaci, aby si poutníci putující ve středověku do Říma nestínili, neboť se orientovali pomocí kompasu spojeným s malými slunečními hodinami, a aby písmo na mapách bylo čitelné.

Roku 1517 Klaudyán odcestoval do Norimberka za účelem vydat „Herbář aneb zelinář“. Při tisku knihy byly Ondřejem Košickým vyhotoveny také dřevořezy pro Klaudyánovu mapu. Vše bylo tištěno v dílně Jeronýma Höltzela. Samozřejmě přísná cenzura nemohla vynechat ani takováto díla, ale norimberská rada neshledala na mapě nic závažného proti katolické víře. Mapa tak mohla být vydána. Po roce 1518 si Klaudyán zřídil v Mladé Boleslavi českobratrskou tiskárnu.

Originální Klaudyánova mapa Čech je uložena ve Státním oblastním archivu v Litoměřicích. Mapový obraz zabírá pouze spodní třetinu mapy a má rozměry 46 × 55 cm, ale celý tisk je 126 cm vysoký a 64 cm široký. Nabízí se otázka, k jakým účelům byla mapa vydána. Horní dvě třetiny nemají s praktickou mapou nic společného. Tyto dvě horní třetiny mapového

listu jsou vyplněny alegorickou a heraldickou výzdobou. Především se jedná o vyobrazení českého a uherského krále Ludvíka Jagellonského se znaky zemí, kterým vládl, a erby významných českých rodů. Pod ním je znázorněna alegorie spravedlnosti a dobových poměrů. Následuje pět řad znaků nejvyšších zemských hodnostářů a znaky Prahy, Kutné Hory a Žatce. Mezi vlastní mapovou kresbou a heraldickou výzdobou je zachycena alegorie vozu taženého v obou směrech jízdy.

Vlastní mapa obsahuje 280 sídlištních značek a názvů, z toho 37 královských měst, 53 měst panských, 59 ostatních sídlišť a 131 hradů, zámků, klášterů a tvrzí. Značky měst jsou zobrazeny podle víry. Města se dále dělí na města královská, označena korunou, a panská, se značkou zobrazující štít. Tím se Klaudyánova mapa považuje za první mapu na světě, která rozlišovala sídla podle náboženského vyznání. Katolická města jsou lokalizována obrázkem dvou zkřížených klíčů, města kališnická podobou kalicha. Dalším prvkem z obsahové části mapy jsou sídla označena neuzavřeným kroužkem. Hradý, zámky, kláštery a tvrze jsou klasifikovány obrázkem věže. Názvosloví na mapě je české a relativně správné, proto lze usoudit, že se jedná o pečlivé vypracování autorovy předlohy. Všechna místa v Klaudyánově mapě můžeme identifikovat, což u některých pozdějších map není možné. Navíc mapa obsahuje tématické informace týkající se sídel.



(a) mapová část



(b) detail

Obrázek 2.1: Klaudyánova mapa Čech z roku 1518

Mapa obsahuje symbolický výškopis, který je znázorněn značkou listnatého porostu. Tato značka však symbolizuje lesy i pohoří. Jediným naznačeným pohořím jsou Krkonoše. Hory však obklopují téměř celé území Čech. Ve vnitrozemí jsou zobrazena některá pohoří a lesní celky.

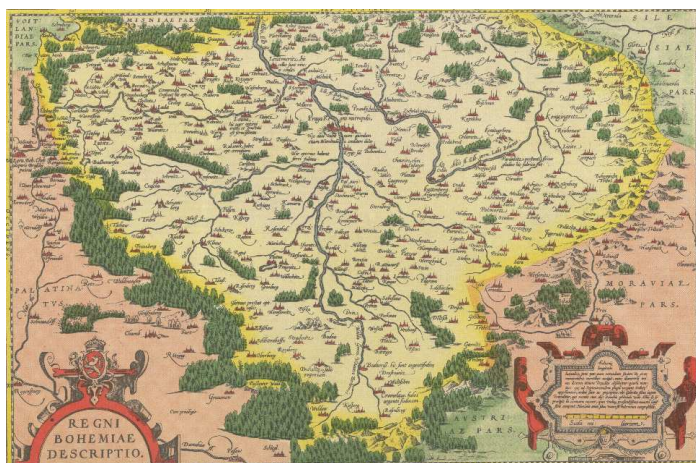
V mapě jsou zakresleny také některé řeky, ale bez popisu. Obchodní cesty jsou představovány řadami teček, což bylo převzato z Etzlaubových map.

Jedna z nepřesností mapy je nesouhlas rámu se světovými stranami. Měřítko mapy se uvádí v rozmezí 1 : 637 000 až 1 : 685 000.

Další Klaudyánovy mapy byly vydány v letech 1545 a 1550. Zachovaly se také kopie z počátku 19. století, které vytvořil František Jakub Jindřich Kreibich. Později mapu převzal italský rytec Zalteri, který ji převedl na mědirytinu a změnil její orientaci na severní.

2. 2 Crigingerova mapa Čech z roku 1568

Autorem druhé přehledné mapy Čech je jáchymovský rodák Johannes Criginger, který studoval ve Wittenbergu, Lipsku a Tübingenu. Jeho činnost se ubírala třemi směry. Za první literárním, když vydal svou první dramatickou báseň, za druhé teologickým, kdy působil jako protestantský duchovní na české i saské straně Krušných hor (v Marienbergeru nebo v Horním Slavkově) a za třetí kartografickým. Na básnickém a teologickém poli nesklidil tolik úspěchů, proto se soustředil na kartografickou profesi. Kolik map Criginger navrhl a dal rýt, není známo.



(a) celkový pohled



(b) detail

Obrázek 2.2: Crigingerova mapa Čech z roku 1568

Jeho prvním mapovým dílem byla mapa Saská s okolními zeměmi, která byla vyryta do mědi. Druhá Crigingerova mapa, která též byla vyryta do mědi, již zobrazuje Čechy. Tato mapa se považuje za významnou mapovou památku, ačkoli o ní mnoho nevíme. Sloužila jako předloha Antverpskému kartografovi Abrahamu Orteliovi pro jeho mapu, kterou použil ve svém atlase *Theatrum orbis terrarum*. Další významné kopie jsou Münsterova či Mercatorova mapa, která byla doplněna o místopis jižních Čech.

Crigingerova mapa je odvozena z neznámých podkladů. V originále se nedochovala, avšak jedna kopie je uložena ve Veřejné studijní knihovně v Salzburgu, tzv. Salzburská mapa, druhá ve strahovském klášteře. Obě kopie nejsou zcela kompletní, neboť za svých časů byly některé části výzdoby (ornamentální a figurální) odstriženy.

Čechy jsou na mapě vyryty do oválu, jehož osy mají rozměry 486×412 mm, na západě a východě je doplněna polokruhovými výběžky. Mapa je orientovaná k severu.

Horské partie jsou znázorňovány schematickými obrazy kopců a jejich skupin. Velké zalesněné plochy v horách i v nížinách zakreslil rytec pouze schematicky kresbou korun stromů jakoby listnatých. Velmi dobře vystihují tyto lesní celky krušnohorskou oblast, lesní val Českého lesa a Šumavy. Obraz Krkonoš a Jizerských hor již není tak dobře vyjádřen. Názvy připojil autor pouze u několika míst k horským a lesním skupinkám. Na mapě je vidět, že autor měl o jihovýchodní hranici poměrně dobré zprávy.

Mapa má i hustou říční síť. Většina řek je doplněna jménem a vždy zkratkou *fl.* Je zajímavé, že v mapě není zakreslena řeka Otava. Stejná chyba se vyskytuje i na kopiích této mapy. Otava je doplněna jen na kopii od Bernarda Mercatora, což byl vlámský kartograf, a po kterém je pojmenováno Mercatorovo zobrazení.

Poloha sídlišť je znázorněna malými kroužky. Ke zpestření mapového obrazu je každé sídliště znázorněno obrazem buď jedné budovy nebo celé jejich skupiny. Hrady jsou většinou zobrazeny schematickým obrazem na vrchol obrazu kopce. Místa velikých klášterů jsou zobrazena obrázkem kostela se dvěma věžemi.

Na mapě nalezneme 292 sídel s českým a německým popisem. Přibližné měřítko mapy se v literatuře uvádí 1 : 638 000. Mapa byla vytištěna v Lipsku. Po Crigingerově smrti byly tyto mapy výhodně prodávány, přičemž do prázdných míst se vlepovaly portréty vládnoucích panovníků.

Každá kopie Crigingerovy mapy se od ostatních odlišuje nejen obsahem znázorněného území a obrazovými částmi kolem mapy, ale též rozměry mapového listu a měřítkem. Všechny kopie jsou přibližně geometricky shodné. Například Ortelius z mapy odstranil všechna území, která nepatřila k Čechám a omylem, možná neznalostí, odstranil i výběžky severních Čech.

2. 3 Aretinova mapa Čech z roku 1619

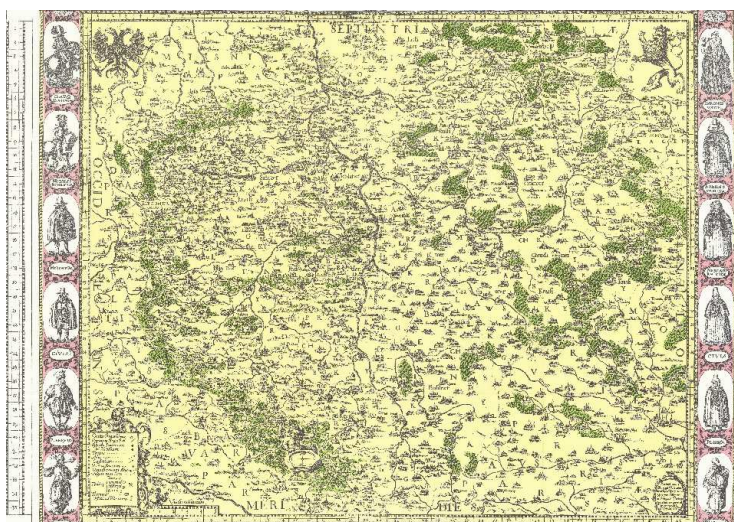
Za autora třetího mapového obrazu Čech se považuje rodák z Uherského Brodu, pražský měšťan Pavel Aretin z Ehrenfeldu. Působil v Praze jako druhý písař Starého města pražského. Poté přijal funkci českého sekretáře na dvoře vladaře Petra Voka z Rožmberka, kde získal měřické znalosti při tvorbě rukopisné mapy zábřežského panství. Po smrti Petra Voka se Pavel Aretin vrátil zpět do Prahy. V roce 1627 musel opustit Čechy a odešel do saského města Pirna. Příčinou jeho nuceného odchodu bylo jeho náboženské vyznání, neboť Pavel Aretin nechtěl přijmout katolickou víru.

Mapa Království českého (*Regni Bohemia nova et exacta descriptio*) vyšla poprvé pod Aretinovým jménem v roce 1619 a také v roce 1632 v revidované a doplněné verzi. Aretin se však neprohlásil za jejího autora, pouze za vydavatele, který mapu věnoval a zasvětil užítu vlasti.

První dvě vydání byla tištěna z měděných desek, které měly celkový formát 766 × 574 mm. Na rámu jsou vyznačené mílové stupnice, pomocí nichž lze určit měřítko mapy, které by mělo být přibližně 1 : 504 000. Mílový rámec vedl k prvnímu pokusu určit velikost Čech. Vypočtené údaje nebyly daleko od skutečného stavu. Kromě mílového rámce je při levém okraji vytištěno mílové měřítko. Mapa se pravděpodobně používala pro válečné účely během třicetileté války.

V zevní úpravě se obě vydání od sebe lišila jen v písmeni O ve slově „descriptio“. Ve všech vydáních nese mapa v pravém horním rohu obraz českého lva a vlevo nahoře císařského orla. Na svislých stranách třetího vydání z roku 1665 je zakresleno dvanáct postav v dobových krojích, z toho šest ženských postav vpravo a šest mužských postav vlevo.

Aretinova mapa je první českou mapou s hranicemi politického rozdělení země. Je zde zakresleno celkem 15 krajů, jejichž jména jsou napsána na ploše kraje česky i německy.



(a) celkový pohled



(b) detail

Obrázek 2.3: Aretinova mapa Čech z roku 1619

Mapa obsahuje 1157 abecedně seřazených sídel, společně s jejich pravoúhlými souřadnicemi v českých mílích počítaných od levého horního rohu mapy. V mapě je použito 16 smluvených značek pro rozlišení druhů měst, usedlostí, dolů apod. Popis mapy je opět v jazyce českém i německém.

Horopisná a vodopisná složka je zpracována dokonaleji než u Crigingerovy mapy. K horopisu je jen málo popisu, ale je poměrně přesný, kdežto vodstvo je zde zobrazeno daleko podrobněji, ale nepřesněji. Mnoho vodních toků je zakresleno, ale nepojmenováno. Nejnápadnější změny ve vydáních Aretinovy mapy se týkaly zpřesnění zobrazení řek ve východních Čechách.

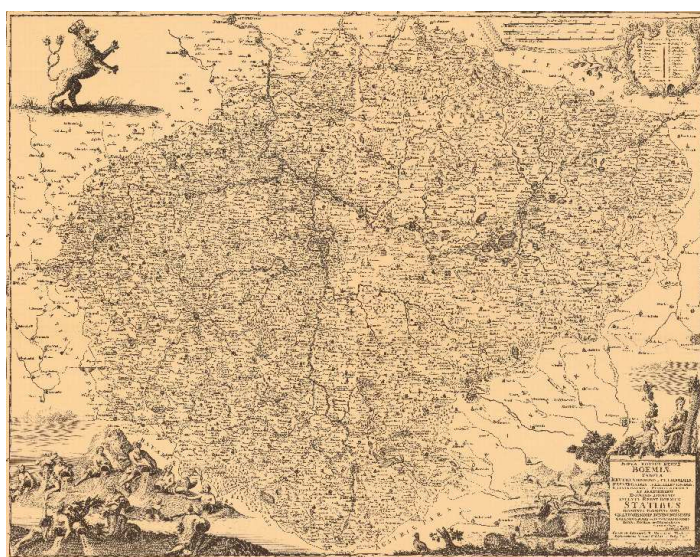
Západní polovina mapy je stočena asi o 9° k východu. Cesty jsou na mapě zakresleny jen dvě. Zlatá stezka, vedoucí přes Prachatice, a Nová cesta, vedoucí přes Český Krumlov.

Aretinova mapa Čech byla vydávána v mnoha nizozemských a anglických atlasech. Často se také používala jako předloha pro rukopisné mapy.

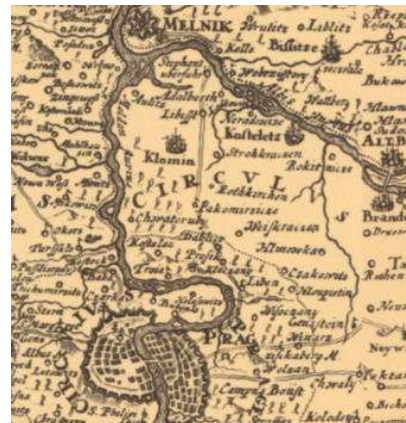
2. 4 Vogtova mapa Čech z roku 1712

Na počátku 18. století vznikla ještě jedna samostatná mapa Čech, nebyla však tak rozšířena jako Klaudyánova, Crigingerova či Aretinova mapa. Za autora se považuje kněz cisterciáckého kláštera, Johann Georg Mořic Vogt (1669-1730) narozený v Plasech. Vedle kněžství se Vogt zabýval také hudbou, zeměměřičstvím, zeměpisem a dějinami Čech.

Do literatury se uvedl spisem o Čechách, který obsahuje zeměpisný a dějepisný přehled, stručný popis českých krajů, popis panství a přehled českých sídel. O knihu byl nejspíše velký zájem, neboť byla tištěna několikrát v krátké době. Význam této knihy přetrvává dodnes díky přiložené mapě Čech.



(a) celkový pohled



(b) detail

Obrázek 2.4: Vogtova mapa Čech z roku 1712

Vogtova mapa má formát 853 × 656 mm a její měřítko je podle délky středního poledníku 1 : 396 800. Měděné tiskové desky zhotovil norimberský rytec Johann Leonhard Blanck, první vydání mapy se uskutečnilo u Jana Zieglera v Norimberku. Mapový obraz je vložen do zeměpisné sítě, dělené po 2' délkových a šířkových. Kartografické zobrazení mapy, ve kterém byla mapa zhotovena, nelze jednoznačně identifikovat, neboť nejsou přes mapu narýsovány obrazy poledníků a rovnoběžek.

Vogt na mapě zakreslil správní členění Čech na čtrnáct tehdejších krajů. Na mapě je zobrazeno 3110 lokalit. Jedná se o naši první mapu s tematickým obsahem, neboť kromě sídel, řek a horstev jsou zde zakresleny také doly, sklárny, vinice, celní stanice apod. Vše je zakresleno pomocí 24 smluvených značek, které jsou vysvětleny v legendě umístěné v levém horním rohu mapového listu. Vedle těchto značek použil Vogt i některé drobnokresby hradů a zámků. V mapě je však použito ještě několik značek, které v seznamu nejsou vysvětleny, např. zkřížená kladiva pro doly, mosty, značky pro lesy aj. Lesní porosty jsou zakresleny pouze na Šumavě a v jižních částech Krušných hor.

Horstva jsou vykreslena nesouvisle, čili hlavní rysy horopisu Čech zanikají. V oblasti Krkonoš je připomenut Krakonošův revír. Vodní síť je na rozdíl od horstva zakreslena dosti detailně, je velmi hustá a dokonalejší než tomu bylo u předchozích map. Na Vogtově mapě je již zaznamenán vltavský meandr v Praze. Pozornost při tvorbě mapy byla věnována zvláště rybníkům, které jsou na mapě dosti zveličeny.

Ve Vogtově mapě je zakreslena dost hustá silniční síť, ve které se Praha objevuje jako hlavní východisko cest. Cesty se dále větví v důležitějších místech. V druhém vydání z roku 1750 se objevuje tabelární přehled mílových vzdáleností předních královských měst (poliometrie).

Přehledná mapa Čech je bohatě zdobena alegorií řek, kterou představují dvě skupiny postav vylévající vodu z nádob a která je situována do levého dolního rohu mapového listu, a alegorií zemědělství v pravém dolním rohu mapového listu. Tato mapa nebyla svého času dosti ceněna, brzy ji nahradila přesnější Müllerova mapa Čech z roku 1720. Vogtovo dílo je posledním soukromým dílem staršího období české kartografie.

Jeden výtisk Vogtovy mapy je uložen v mapové sbírce Historického ústavu AV ČR v Praze.

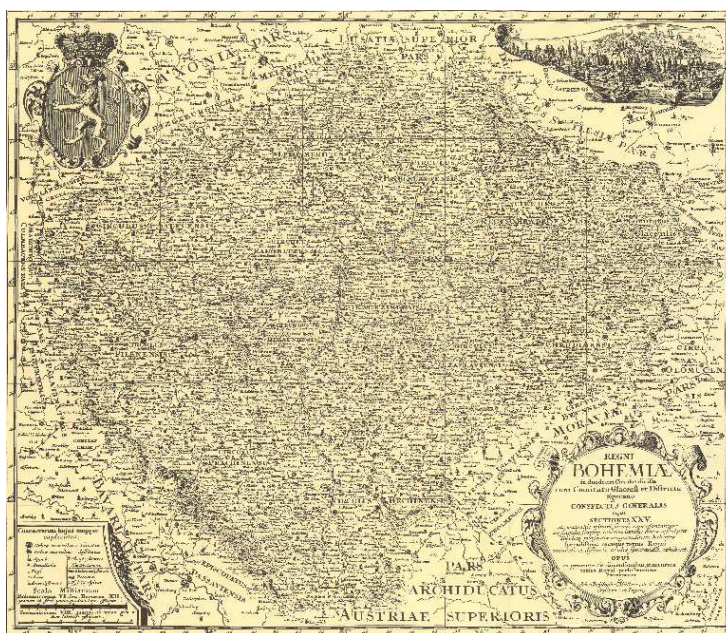
2. 5 Müllerova mapa Čech z roku 1720

Pravděpodobně nejcennější, nejpodrobnější a graficky nejpovedenější kartografická díla naší minulosti vytvořené jednotlivcem jsou díla Jana Kryštofa (Johanna Christopha) Müllera. Kryštof Müller byl rakouským vojenským inženýrem. Studoval nejprve matematiku a kreslení u mědirytce a astronoma Georga Christopha Eimmarta v Norimberku.

V dalším vzdělání Müller pokračoval ve službách císařského plukovníka, geografa a přírodovědce Luigiho Gerdinanda Marsigliho ve Vídni. Zde získal nové, odborné znalosti pro své pozdější kartografické práce. Počátkem 18. století se se účastnil nového mapování Uher, Sedmihradska a Chorvatska u Marsigliho štábu důstojníků a vojenských inženýrů. Müller měl pořídit mapu pohraničních oblastí. Při této práci stačil ještě konat astronomická pozorování



Obrázek 2.5: Müllerova mapa Čech z roku 1720 – mapový list č.8



Obrázek 2.6: Müllerova mapa Čech z roku 1720 – přehledný list

a zaměřil buzolou větší řeky se všemi zákrutami. Později byl pověřen zpracováním přehledné mapy Uher. Tato mapa vyšla roku 1709 v měřítku asi 1 : 550 000.

Ještě před vydáním mapy Uher se rozhodl zmapovat další části rakouské monarchie, ze kterých chtěl sestavit velký Atlas Austriacus. Jako první měly být zpracovány mapy Českých zemí v pořadí Morava, Čechy a Slezsko.

Mapování Moravy probíhalo v letech 1708–1712. Müller s mapováním postupoval po jednotlivých krajích. Měl zaznamenat všechny lokality a silnice. Pro měření směrů používal buzolu, pro délky používal viatoria, což byl povoz s registračním otáčecím kolem, které sloužilo k určení vzdálenosti. Müller znal také princip triangulace a pro vybrané body použil zeměpisné souřadnice získané astronomickým měřením. Mapa Moravy byla dokončena roku 1712 a byla vyryta v Brně do čtyř měděných desek. Originál mapy je uložen v Rakouské národní knihovně.

Po zmapování Moravy pokračoval Müller na doporučení císaře Karla IV. od roku 1712 v mapování Čech. Postupoval obdobně jako u mapování Moravy po jednotlivých krajích, použil stejných principů a pomůcek.

Müllerova mapa Čech je rozdělena do 25 listů, které lze sestavit do obdélníku o rozměrech 2822×2403 mm. Vznikla tak největší mapa na světě nakreslená jednotlivcem. Měřítko mapy je přibližně 1 : 132 000. Z obsahu mapy je v titulu Müllerova díla zdůraznění především rozdělení země na 12 krajů. Dílo obsahuje celkem 12 495 sídlišť. Veškeré použité značky, celkem 48, jsou uvedeny v obsáhlé legendě v latině a němčině.

Hory jsou i na tomto díle zobrazeny kopečkovou metodou, která je správně odstupňovaná. Hlavní pokrok Müllerovy mapy je nezvyklé množství názvů pro horopis Čech. Místy nechybí ani pomístní názvy. Výškové údaje zde nejsou uvedeny. Vodní toky a plochy jsou bohatě prokresleny a popsány. Zakresleny jsou tehdejší hranice jednotlivých krajů podle správního rozdělení z roku 1744.

Mapa byla ve skutečnosti dokončena až roku 1722, ale je datována rokem odevzdání k rytině, 1720. Mapu vyryl do měděných desek Mikuláš Kauffer v Augšpurku. Mapový obraz ozdobil Daniel Herz podle předlohy Václava Vavřince Reinerera. Do levého horního rohu umístil pohled na Pražský hrad a Karlův most. V pravém horním rohu je alegorie českých řek.

Aby se v mapě lépe orientovalo, vyhotovil Jan Kryštof Müller přehledný list, který je ozdoben jednodušeji. Měřítko přehledného konceptu je 1 : 649 180 a jeho rozměry jsou 546 × 464 mm. Z originálu byla také odvozena praktičtější mapa menšího měřítka, kterou obstaral vojenský poručík Johann Wolfgang Wieland v roce 1726. Zachoval při tom 25 sekcí a zmenšil je na 4/7 původní velikosti. Měřítko této zmenšeniny je tak 1 : 231 000.

Mapový rám obsahuje zeměpisné souřadnice po jedné minutě. Kartografické zobrazení je válcové, ekvidistatní v polednících s nezkreslenou rovnoběžkou 50°. Tímto rámcem byla mapa opatřena dodatečně. Na rukopisných elaborátech je nezkreslena rovnoběžka 54°15′.

Müllerova mapa byla z počátku kvůli velkému množství geografických a hospodářských údajů utajována. Přesto se brzy stala předlohou mnoha jednotlivých, zmenšených map vycházejících u německých, francouzských a rakouských vydavatelů až do počátku 19. století.

Tiskové desky Müllerovy mapy se zachovaly a jsou uloženy v Národním technickém muzeu v Praze. Müllerovy rukopisné mapy, většinou ve větším měřítku, se nezachovaly.

Originální tisky Müllerovy mapy Čech jsou uloženy např. v Ústředním archivu zeměměřictví a katastru (ÚAZK) se sídlem v Praze 8 nebo v Mapové sbírce Historického ústavu AV ČR v Praze.

V mapování Slezska již Müller nemohl pokračovat. Zemřel po zhoršení vážného onemocnění pohybové soustavy. Dalších kartografických prací se ujal již zmíněný Johann Wolfgang Wieland.

Müllerovy mapy ukončily významnou etapu mapování českých zemí, kde kartografické dílo bylo záležitostí jednotlivce. Jako podklad pro mapy převážně neúředního charakteru sloužily Müllerovy mapy až do počátku 19. století.

3 Software MapAnalyst

Moderní digitální technologie umožňuje převádět mapy do různých nových formátů, nejen pro jednodušší archivaci, ale také pro jejich analýzu a další zpracování. Právě digitální technologie mají velký potenciál zjednodušit analýzu a vizualizaci geometrických vlastností starých map. Kromě zjišťování geometrických vlastností starých map je potřeba k mapám přiřadit informace o prostorovém umístění (georeferencování), což je důležité pro pozorování změn obsahu různých starých map mezi sebou, případně pro porovnání se současným stavem.

3.1 Analýza planimetrických nepřesností

Cílem kartometrické analýzy starých map je studium polohopisné nepřesnosti – rozložení vzdáleností a směrů mezi identifikovatelnými objekty shodujícími se s jejich skutečnou hodnotou. Graficky viditelné geometrické nepřesnosti se odvíjejí od použité techniky, která zobrazuje výsledky kartometrických analýz, např. vektory posunů nebo deformační síť. Musíme brát na vědomí, že se ve vizualizaci odráží geometrická nepřesnost způsobená dvěma zdroji: zaprvé kartograf se mohl dopustit chyb v různých etapách při tvorbě mapy (např. při geodetickém měření, sběru dat, vykreslování map a kopírováním); zadruhé je dobře známé, že papír i jiná média, na kterých se uchovávají mapy, nejsou trvalé materiály a podléhají jistým vlivům, výsledkem je např. srážka či pokřivení geometrie mapy. V některých speciálních případech lze jednotlivé deformace určit. Mnohem častější je případ, kdy není možné od sebe odlišit zdroje výskytu chyb.

Velké množství vizualizací nepřesností pochází ze dvou sad obsahujících polohy identických bodů. Jedna sada obsahuje polohy bodů na staré mapě, druhá sada obsahuje pozice odpovídajících si bodů v nové referenční mapě. Před samotnou vizualizací musí být tyto sady bodů umístěny do souřadnicového systému. To samozřejmě vede k transformaci jedné sady do souřadnicového systému druhé sady. Ve většině případů se používá afinní transformace, neboť staré mapy nejsou mnohdy deformovány souměrně.

Důležitým aspektem afinní transformace je její směr. Můžeme transformovat starou mapu na novou referenční mapu, nebo lze transformovat i referenční mapu na starou mapu. Numerické i grafické výsledky (např. deformační síť) záleží na této volbě.

Matematicky správné by bylo transformovat novou referenční mapu na souřadnicový systém staré mapy, jelikož správný měřítkový faktor je inverzní měřítkový faktor afinní transformace. Výběr směru transformace však závisí také na sledované změně, např. pokud došlo v průběhu let k posuvu půdy či zemětřesení, je vhodnější pro čitelnost ve vizualizaci transformovat systém staré mapy na systém nové mapy. Pro vzájemné porovnání nepřesností starých map byla použita transformace staré mapy na systém nové referenční mapy.

Pro další analýzu je někdy vhodné zvolit alternativní postup a generovat tak model na souřadnicový systém nové mapy. To umožňuje porovnání s moderními georeferencovanými daty, např. georeferencovaný digitální model terénu by mohl být použit ke zjištění korelace mezi historickou nepřesností mapy a výškami terénu. Stejným pojetím by se daly porovnat staré mapy navzájem: stará mapa by mohla vygenerovat deformační síť pro každou historickou mapu, pomocí níž by bylo možné porovnat mapy v souřadnicovém systému referenční mapy.

Důležitý je měřítkový faktor a rotační úhel staré mapy, které jsou určeny afinní transformací. Jedná se o transformaci nové referenční mapy na starou mapu, kde správný měřítkový faktor je až inverzní měřítkový faktor afinní transformace.

Výsledky dvou analýz jsou srovnatelné, pouze pokud je použita stejná vizualizace a statistický ukazatel, stejně jako stejná metoda a algoritmus pro výpočet. Porovnat měřítkové faktory a úhly rotace starých map je možné, pokud:

1. výpočet měřítkového faktoru a úhlů rotace se vypočítá pomocí afinní transformace a metody nejmenších čtverců (MNČ)
2. afinní transformace převádí souřadnice moderní referenční mapy na starou mapu
3. počet identických bodů se použije tolik, kolik je možné identifikovat ve staré mapě

Dohromady s měřítkovým faktorem a úhlem rotace se zaznamená typ použité afinní transformace, počet identických bodů, odchylky a polohové chyby identických bodů.

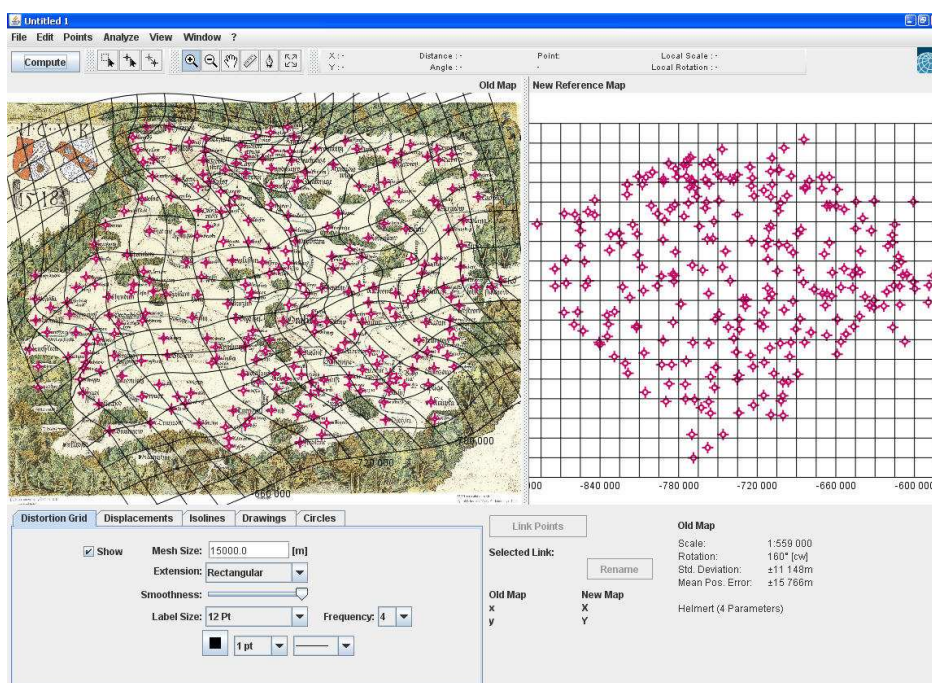
3. 2 Popis softwaru MapAnalyst

Kartometrická analýza starých map je nepochybně rychlejší a spolehlivější při použití počítačového softwaru než tradiční manuální metody. Přestože ve skutečnosti různé vizualizace a statistické hodnoty mohou být počítány v krátkém čase, nebyl dlouho přístupný široké veřejnosti žádný vhodný uživatelský software. Většina existujících aplikací nebyla jednoduše přístupná, případně byla částečně závislá na drahých GIS¹. Dostupné aplikace nebyly příliš rozšířeny nebo neposkytovaly jednoduše ovladatelné rozhraní. Stručně řečeno, k úspěšnému analyzování mapy bylo potřeba znalosti v oblastech programování, matematiky, počítačové grafiky a teorie chyb.

Potřebou vyvinout nový, podobný software se inspiroval Kartografický institut ETH Zurich. Vznikl tak software MapAnalyst, který navrhl za svých studií Švýcar Bernhard Jenny. Některé části softwaru doplnil jeho kolega Adrian Weber. Jedná se o uživatelsky příjemný software, který je volně dostupný na <http://mapanalyst.cartography.ch/> [3].

¹GIS = geografické informační systémy

MapAnalyst je Java aplikace, kterou lze spustit pod všemi hlavními operačními systémy – Windows, Linux, Mac OS X. Zdrojový kód softwaru může pozměnit kdokoli, kdo umí programovat v Javě. Program je navrhován se speciálním zaměřením na uživatelské rozhraní, které dokáže snadno analyzovat geometrii starých map.



Obrázek 3.7: Ukázka z prostředí MapAnalystu

Hlavním účelem softwaru je analýza a vyhodnocení nepřesností starých map výpočtem a vizualizací deformační sítě a vektorů posunů, které znázorňují geometrické nepřesnosti a deformace starých map. K výpočtům se používají dvojice odpovídajících si bodů, které identifikují stejné místo na staré a nové referenční mapě. Tyto body jsou použity k výpočtům a konstrukci deformační sítě, izolinií lokálních měřítek a rotací, vektorů posunů a kružnic chyb. MapAnalyst současně spočítá i průměrné měřítko, rotaci a odchylku celé analyzované mapy. Dokonce je k dispozici protokol o těchto výsledcích vypočtených třemi nejpoužívanějšími transformacemi (Helmertova, afinní šestiprvková a afinní pětiprvková transformace). Existuje mnoho parametrů nastavení při grafickém výstupu, který může být exportován do standardních grafických formátů.

3.3 Vizualizace planimetrických nepřesností starých map

Planimetrická nepřesnost starých map je rozsah vzdálenosti a směru identifikovatelného objektu na mapě od jejich skutečné hodnoty. Vizualizace planimetrických nepřesností ukazuje, jak se na mapě mění rotace, srážka, apod.

Staré mapy mohou potvrzovat předpoklady, které plynou z použitých měřických metod, např. jaké byly použity zdroje mapy při sestavení mapy nebo jaké základní projekce a geodetické reference byly v té době používány. Případně by analýza mohla ukazovat geometrickou spolehlivost informací získaných z historického výzkumu, např. studium změn krajiny, vegetace apod. Grafické znázornění planimetrických nepřesností usnadňuje porozumět nově získaným faktům z mapy. Je to znamenitý prostředek pro ilustraci těchto objevů. Je nutné mít k dispozici řadu pomocných vizualizací, které znázorňují lokální geometrické charakteristiky mapy.

Existují rozmanité techniky podporované počítačem, které pracují s vizualizací planimetrických deformací a nepřesností. Mnohé vizualizace lze získat ze dvou sad odpovídajících si bodů; jedna sada pochází z moderní referenční mapy a je považována za naprosto přesnou, zatímco body v druhé sadě pochází z identifikace na staré mapě a tudíž se předpokládá, že jejich poloha je chybná, neboť stará mapa většinou podlehl deformacím, navíc použité metody dřívějšího mapování dnes neodpovídají svou přesností dnešním požadavkům měření. Dále i nepřesnost vynesení bodu chybou měřiče nebo neznalost polohy bodu je důvodem předpokladu chybnosti získaných souřadnic ze staré mapy.

Před vizualizací je nutné vytvořit dvě sady bodů, jednu v souřadnicovém systému staré mapy, druhou v běžném souřadnicovém systému nové referenční mapy. Afinní transformace vede k souladu těchto dvou sad souřadnicových systémů, což představuje transformaci jedné sady bodů na souřadnicový systém druhé sady. Toho je docíleno posunem počátku souřadnicového systému, rotací a změnou měřítka jedné sady tak, aby rozdílnosti obou sad byly minimalizovány pomocí metody nejmenších čtverců (MNC). Ve srovnání s jinými typy transformací má afinní transformace velkou výhodu za předpokladu, že odhadneme měřítko a rotaci staré mapy. Pro určení měřítka afinní transformace je samozřejmě vhodnější zprůměrované měřítko použitím všech měřených délek na staré i nové referenční mapě. V takovém případě je transformace objektivnější a méně podléhající chybám.

3. 4 Práce v softwaru MapAnalyst

Prostředí softwaru je intuitivní a lehce ovladatelné. Bohužel nejsou k dispozici „obvyklé“ ani „neobvyklé“ klávesové zkratky či menu pod pravým tlačítkem myši. Bylo by užitečné mít takovou možnost minimálně u funkce „Compute“, která vypočítá veškeré údaje, nebo „Zoom“, která přiblíží vybranou oblast. Tyto dvě funkce se často používají v průběhu práce v MapAnalystu.

Při načítání obrázků map (staré i nové) je vhodné, aby se jednalo o rastrové soubory uložené v jednom z následujících formátů: JPEG (.jpg), PNG, GIF nebo BMP. Za nejvhodnější se považují formáty JPEG nebo GIF. Rastry lze načíst obdobně jako u běžných programů (*File – Import Old Map Image* nebo *File – Import New Map Image*).

Naskenované mapy mohou být příliš objemné, což může mít za následek nedostatečné množství požadované paměti počítače. Doporučuje se proto maximální velikost obrázku přibližně 5000×5000 pixelů. Maximální velikost načítaných rastrových obrázků tak závisí na množství přístupné paměti počítače.

Pro správné výpočty měřítka staré mapy je nutné, aby MapAnalyst mohl správně přečíst formát staré a nové mapy. MapAnalyst užívá DPI² informace uložené v souboru obrazu, které jsou uloženy v použitém formátu staré mapy. Některé softwary generují soubory obrázků bez DPI informace nebo je tato informace nekorektní. Před jakoukoli prací v MapAnalystu se doporučuje nejprve změřit vzdálenost a úhel pomocí funkce *Measure Distance and Angle*, která se vyskytuje v hlavní liště programu, a takto si ověřit, že formát staré mapy je správně interpretován. Pokud se nejedná o správný formát, doporučuje se obrázek přeložit do formátu JPEG.

Analýza pomocí MapAnalystu začíná načtením obrázku staré a nové georeferencované mapy. Při načítání nové referenční mapy musí být k dispozici tzv. *world file*, který georeferencuje novou mapu. Bez tohoto *world file* by veškeré výpočty nebyly korektní. Jedná se o jednoduchý ASCII textový soubor, obsahující informace o umístění a velikosti referenční mapy, který může být distribuován spolu s rastrem. Tento soubor je potřebný pouze pro novou mapu. Pokud nová mapa není georeferencována, při načítání této mapy se objeví dialogové okno, které upozorní, že je nutné mít mapu georeferencovanou.

World file musí mít stejný název jako obrázek mapy, ale musí se lišit příponu, která by měla odpovídat formátu obrázku:

<i>jpg</i>	potřebuje	<i>jgw</i>	soubor
<i>png</i>	potřebuje	<i>pgw</i>	soubor
<i>gif</i>	potřebuje	<i>gfw</i>	soubor
<i>bmp</i>	potřebuje	<i>bpw</i>	soubor

World file lze editovat v textovém editoru schopném psát ASCII textové soubory. Struktura *World file* je velmi jednoduchá. *World file* sestává z šesti řádek textu:

Řádek 1: velikost pixelu v x-ovém směru

Řádek 2: první rotace okolo osy y (obvykle 0)

Řádek 3: druhá rotace okolo osy x (obvykle 0)

Řádek 4: záporná velikost pixelu v y-ovém směru

Řádek 5: x-ová souřadnice středu levého horního pixelu

Řádek 6: y-ová souřadnice středu levého horního pixelu

²DPI = (angl. dots per inch) údaj určující počet pixelů v jednotce palce (2.54 cm)

Soustava souřadnic je brána v matematickém smyslu, proto je nutné, aby byla v řádku 4 velikost pixelu záporná. Pomocí těchto šesti parametrů lze definovat afinní transformaci mezi souřadnicemi pixelu v obraze a souřadnicemi použitého souřadnicového systému. Pomocí této transformace je možné vypočítat souřadnice libovolného pixelu rastru v souřadnicovém systému.

MapAnalyst vyžaduje stejnou velikost pixelu v obou směrech x-ovém a y-ovém. Navíc obě rotace musí být 0. Níže je napsaný příklad *world file* s velikostí pixelu 25 metrů a souřadnicemi středu levého horního pixelu $x = 600\,000$ a $y = 200\,000$.

```
25
0
0
-25
600000
200000
```

Umístění nového bodu ve staré nebo nové mapě se provádí pomocí funkce *Set New Point*, kterou lze zapnout pomocí tlačítka v liště programu. Poté stačí jen pomocí tlačítek myši umístit body na mapu. Nově umístěný bod je vyznačen jinou barvou, a to červenou. Touto barvou se označují vybrané body, zatímco ostatní, nevybrané body jsou barevně odlišeny. Vybrat body lze pomocí funkce v liště *Rectangular Selection of Points*.

Pokud chceme vybrané body kopírovat, užijeme funkci v nabídce *Edit – Copy* případně *Paste*, při vkládání bodů do jiného dokumentu. Tyto funkce se moc nevyužívají, neboť rozmístění bodů je různě rozvrstveno a body mají mezi sebou různé vzdálenosti a úhly.

Důležitá funkce je spojení bodů. Tyto spojené body jsou nezbytné pro různé vizualizace a výpočet statistických hodnot, jako je měřítko a rotace. Pro výpočty se použijí pouze spojené dvojice bodů, ostatní nespojené body jsou ignorovány. Aby byly výpočty provedeny, je nutné mít alespoň pět spojených dvojic bodů. Čím více rovnoměrně rozmístěných spojených párů bodů bude k dispozici, tím budou vypočítané výsledky spolehlivější (např. odhad měřítka a rotace staré mapy). Samozřejmě je vhodné mít body rozmístěné rovnoměrně po celé ploše analyzované mapy.

Ke spojení dvou bodů je potřeba mít vybraný jeden bod ve staré mapě a jeden bod v nové mapě pomocí funkce v nástrojové liště *Select Points*. Je nutné pamatovat na to, že po umístění nového bodu se automaticky označí tento nově umístěný bod jako vybraný a ostatní body se na mapě, kam se umístil tento bod, odoznačí. Označené body v poli druhé mapy zůstanou označené jako vybrané. Pokud máme v nové i staré mapě označen právě jeden bod, lze tyto body spojit pomocí tlačítka *Link Points* umístěném ve spodní části programu. Posledním krokem je pojmenování spojených bodů jedním názvem. Ve jméně se může vyskytovat jakýkoli počet

písmen včetně české diakritiky. Jméno může obsahovat jakékoli znaky včetně mezer, kromě čárky a tečky. Název bodu a jeho souřadnice se objeví ve spodní části okna pod *Link Point*.

Pokud je právě označen bod, který je spojen, automaticky je označen i jeho obraz na druhé mapě. Místo tlačítka *Link Point* se objeví tlačítko *Unlink Point* pro rozpojení těchto bodů. Dále je možné ve spodní části softwaru přejmenovat označený bod pomocí funkce *Rename*.

Body lze importovat i exportovat z/do ASCII formátu funkcí *File – Import/Export points*. MapAnalyst nabízí tři různé možnosti importovaných a exportovaných bodů:

1. import nebo export všech bodů staré mapy (- *For Old Map*),
2. import nebo export všech bodů nové mapy (- *For New Map*),
3. import nebo export všech spojených bodů (- *Linked Points for Old and New Map*). Při exportu bodů tato možnost spojí souřadnice bodů na staré mapě a nové mapě. Nespojené body tímto způsobem nelze importovat ani exportovat.

Pokud načítáme odděleně sady bodů staré a nové mapy a jejich jména si odpovídají, MapAnalyst se pomocí dialogového okna zeptá, zda chceme body automaticky spojit.

MapAnalyst načítá a exportuje seznam bodů v 1. a 2. případě v následujícím formátu:

první sloupec	druhý sloupec	třetí sloupec
název bodu	X-ová souřadnice	Y-ová souřadnice

Pro 3. případ MapAnalyst užívá tento formát:

první sloupec	druhý sloupec	třetí sloupec	čtvrtý sloupec	pátý sloupec
název bodu	X-ová souřadnice na staré mapě	Y-ová souřadnice na staré mapě	X-ová souřadnice na nové mapě	Y-ová souřadnice na nové mapě

Oba formáty používají ASCII textový soubor, kde jsou jednotlivé sloupce od sebe odděleny čárkou. V sadě bodů se nesmí vyskytovat žádné prázdné řádky, jinak se importují pouze body nad první prázdnou řádkou.

Pokud jsou některé body pojmenovány stejným názvem, MapAnalyst si je od sebe označí příponou *_x*, kde *x* značí číslo duplikovaného názvu. Například máme-li tři body s názvem *abc*, pak prvnímu bodu zůstane původní jméno, druhý bod bude identifikován pod názvem *abc_1*, a třetí bod pod názvem *abc_2*.

3. 5 Možnosti vizualizace

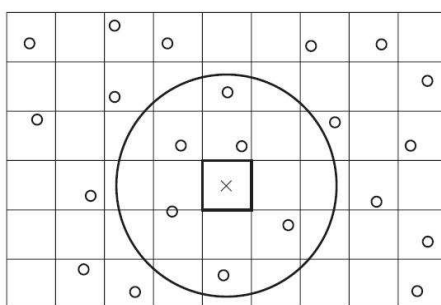
MapAnalyst nabízí při práci se starými mapami zajímavá nastavení pro analýzu a vizualizaci planimetrických vlastností starých map. Ve srovnání s ručními technikami,

MapAnalyst značně usnadňuje a urychluje analýzu a zvyšuje spolehlivost výsledků. Uživatelsky příjemné rozhraní podporuje tvorbu různých druhů doplňkových vizualizací ve velmi krátkém čase.

Vektory posunů jsou nejjednodušším nástrojem vizualizace. Tyto vektory posunů jsou jednoduché nejen pro výpočty, ale i na pochopení. Každý vektor posunu začíná na bodě dříve určeném ve staré mapě a končí v místě, kde by byl bod, kdyby byla stará mapa ztotožněna s novou referenční mapou. Tento konečný bod je vypočten pomocí transformace mezi dvěma sadami bodů. Zvláště dlouhé vektory posunů lze snadno identifikovat. To ukazuje na velké posuny, které jsou způsobeny hrubými chybami v identifikaci pozice bodů v mapě.

Pootočená, stlačená nebo zvětšená část deformační sítě znázorňuje lokální deformaci a rotaci staré mapy. Pokud je deformační síť ručně zhotovená, deformační linie jsou založeny v poli referenčních bodů spíše na subjektivních odhadech. Konstrukce pomocí počítače objektivizují a urychlují tyto zdoluhavé manuální konstrukční procesy.

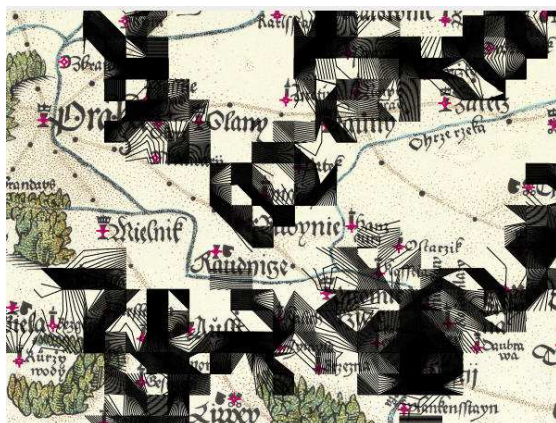
MapAnalyst používá metodu vyvinutou Dieterem Beinekem (2001), která je založena na multikvadratické interpolaci. Tato metoda nabízí výhodu minimalizace vlivu bodů s hrubými chybami a zabraňuje tak vytvoření uzavřené kruhové linie. Deformační síť je postavena následujícím způsobem. Nejprve se při vyhodnocení starých map vypočítají vektory posunů, jak je popsáno výše. Tyto vektory posunů jsou poté použity k určení parametrů multikvadratické interpolace, kde tato multikvadratická interpolace poskytne očekávané vektory posunů pro libovolné body při studiu mapy. Následuje konstrukce pravoúhlé sítě v souřadnicovém systému referenční mapy a její afinní transformace, která má za následek vytvoření běžné deformační sítě, ale opatřené měřítkem a rotací, v souřadnicovém systému staré mapy. V závěrečném kroku zpracování je tato síť zdeformována multikvadratickou interpolací použitou již v dřívější fázi výpočtu.



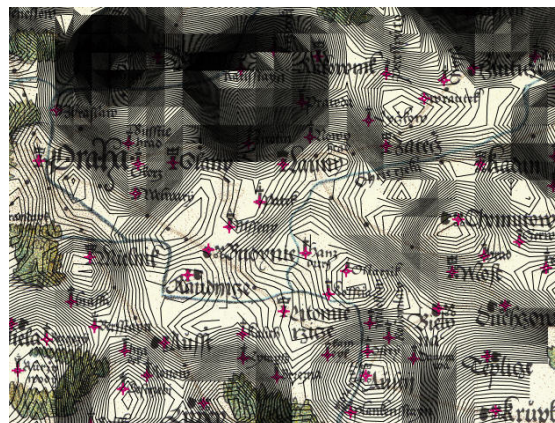
Obrázek 3.8: Ukázka buňky, šest bodů uvnitř kruhu ovlivňuje hodnoty měřítka a rotace pro střed kruhu

Novými prostředky vizualizace lokálních změn jsou právě izolinie měřítka a rotace. Jedná se o linie, které spojují místa se stejnými hodnotami měřítka a rotace. Podkladový algoritmus

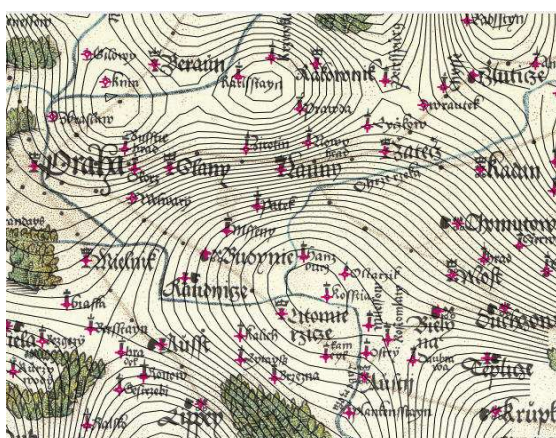
používá dvě neviditelné rastrové sítě, které si udržují pravidelně rozložené měřítkové a rotační hodnoty. K výsledným hodnotám se lze dopracovat pomocí tří následujících kroků: nejprve se vytvoří dvě rastrové sítě, které nesou hodnoty měřítka a rotace; poté se vypočítají měřítkové a rotační hodnoty pro každou buňku rastrové sítě; nakonec se za použití algoritmu vytvářejícího obrysové linie získají výsledné izolinie rastrové sítě.



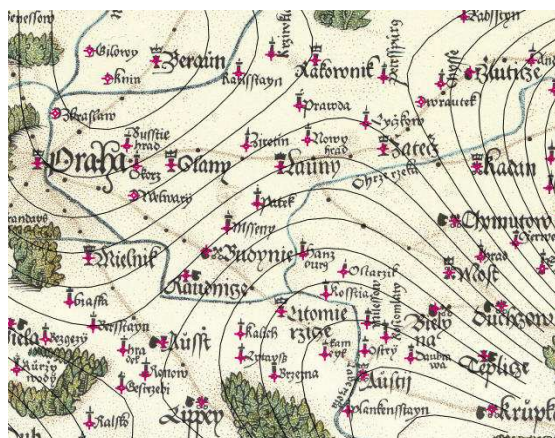
(a)



(b)



(c)



(d)

Obrázek 3.9: Ukázky izolinií v závislosti na zvoleném poloměru kruhu vlivu

(a) poloměr kruhu vlivu zvolen 10 000 m, (b) 25 000 m, (c) 50 000 m, (d) 100 000 m

Rastrové sítě a odvozené obrysové linie jsou obvykle používány k modelování a vizualizaci prostorově spojitého jevu, např. digitálního modelu terénu. Neobvyklou část navržené metody tvoří lokální odhad měřítkových a rotačních hodnot. Pokud jsou vypočítány hodnoty pro jednotlivé buňky rastrové sítě místo použití všech párů bodů, které jsou k dispozici, použijeme pouze ty body, které leží v kruhu o zvoleném poloměru kolem buňky. Vypočítají se tak hodnoty měřítka a rotace těchto bodů z jedné mapy a natransformují se tak na odpovídající si body v druhé

mapě, opět použitím afinní transformace a metody nejmenších čtverců (MNČ). Afinní transformace dále poskytuje odhady měřítkových koeficientů a úhlů stočení, které se používají k transformaci rastrových sítí. Je zřejmé, že body, které leží dál od středu kruhu, mají menší vliv na výpočty než body ležící blíže tomuto středu. Toho je dosaženo přiřazením individuální váhy jednotlivým bodům. Tato váha závisí na vzdálenosti bodu od centra kruhu. Při těchto vahách se uvažuje Gaussova křivka rozdělení.

Tvary výsledných izolinií závisí na určení velikosti poloměru kruhu vlivu v každém bodě, (viz obrázek 3.9), která vymezuje maximální vzdálenost bodů, které mají vliv na výslednou hodnotu nesoucí střed kruhu. S malým poloměrem kružnice vlivu jednotlivé křivky znázorňují lokální změny. Při určité velikosti tohoto poloměru dokonce jednotlivé izoliny nejsou vzájemně spojeny v oblasti celé mapy, kdežto s velkým poloměrem kruhu vlivu tyto lokální změny nemají takový vliv na plynulost křivky a proto se zobrazí jako více hladká izoliny. Pečlivý výběr tohoto poloměru je proto zásadní krok k použití této metody.

3. 6 Možné rozšíření MapAnalystu, směr budoucího výzkumu

MapAnalyst nabízí množství zajímavých nastavení a nástrojů pro zjištění analýzy nepřesností starých map. Existují různé možnosti, jak analyzovat staré mapy. Některé z těchto možností představuje MapAnalyst, jehož struktura se dovoluje přizpůsobit starým mapám. Dokonce je jednoduché rozšířit jeho funkčnost za předpokladu ovládnutí programování v Javě. Již od počátku výzkumu starých map byla analýza starých map velký problém. MapAnalyst by mohl velmi zjednodušit průzkum starých map a možná by mohl pomoci vyřešit staré nevyřešené problémy v historii nejen kartografie, ale i dalších věd.

Velké množství různých technik vizualizací, použitých pro analýzu starých map, bylo vyvinuto ještě před tím, než byly osobní počítače dostupné široké veřejnosti. Moderní počítačová technologie nabízí různá zajímavá nastavení pro vytvoření alternativních vizualizací nepřesností starých map. Možné oblasti budoucího výzkumu starých map by mohly využívat trojrozměrnou vizualizaci nepřesností. Staré mapy by tak mohly získat nový pohled na charakteristiky map, pokud by nové specializované nástroje dovozovaly automatickou tvorbu podobně schopných pohledů na třetí dimenzi.

Jiná oblast, kde lze vidět potřebu dalšího výzkumu je problém s vizualizací a určováním lokální spolehlivosti přesnosti vizualizace. Např. pokud jsou identické body nerovnoměrně rozmístěny po celé mapě či území, odvozená deformační síť ukazuje více zvlněné linie deformační sítě v oblastech, kde je hustota bodů vysoká, zatímco v oblastech s malou hustotou bodů se deformační síť zdá být hladší a vyjadřuje tak vyšší přesnost analyzované mapy, ačkoli opak je pravdou.

Horské oblasti jsou obvykle jen řídce osídleny, z toho důvodu lze nalézt v těchto oblastech méně antropogenních objektů se zřetelně identifikovatelnou polohou. Navíc je planimetrická kvalita v horských oblastech často mnohem nižší než v rovinných oblastech. Zde se jedná o očekávaný topografický problém. Z toho důvodu se zobrazují v deformační síti pravidelně tvarované části sítě v horských oblastech, ačkoli je geometrická nepřesnost v těchto oblastech větší než v rovinných oblastech. Tento problém samozřejmě není omezen deformační sítí, ale ovlivňuje typ vizualizace nepřesností. Metody pro výpočty a vizualizace lokálních proměnlivosti spolehlivosti přesnostních analýz by tak mohly být dále rozvinuty.

Deformační sítě se nepoužívají jen u starých map, ale také v jiných oblastech jako jsou změny geometrie v čase, např. vizualizace paleontologického vývoje, vizualizace pohybu litosférických desek v čase apod. Různá pole výzkumu tak mohou využívat vzájemné možnosti pro výpočet deformační sítě.

4 Geometrické transformace

MapAnalyst se opírá o geometrické transformace při výpočtech všech statistických hodnot, jako např. měřítko či rotace, a jejich vizualizaci. Geometrická transformace transformuje body jedné mapy na body jiné mapy, při minimalizaci odlišností mezi oběma sadami bodů.

MapAnalyst podporuje několik druhů transformací. Před samotným spuštěním výpočtu je potřeba nastavit zvolený typ transformace, podle níž pak budou přizpůsobené vizualizace výsledných hodnot. Výsledky zahrnují měřítkový faktor, hodnotu rotace, směrodatnou odchylku a střední polohovou chybu každé transformace. Směrodatná odchylka je důležitým ukazatelem při výběru vhodné transformace. Doporučuje se výběr takové transformace, která má relativně malé odchylky.

V následujícím textu budou představeny jednotlivé transformace. Více informací o těchto transformacích a odhadech robustní Helmertovy transformace se lze dozvědět v doktorské práci Dietera Beineka [1].

4.1 Helmertova transformace

Helmertova transformace je podobnostní lineární konformní transformace, která vyrovnává koeficienty podle metody nejmenších čtverců. U této transformace nedochází díky konformitě ke zkreslení křivosti křivek. Tato Helmertova transformace převádí bodové pole do cílového souřadnicového systému pomocí čtyř parametrů: posun počátku soustavy souřadnic (X_0 , Y_0), úhel otočení mezi původním a novým systémem (α) a měřítkový koeficient (m). Předpokládá se, že operace charakterizující tyto operace jsou konstantní v celé oblasti transformace. Vnitřní úhly a poměry délek se zachovávají. Nedochází tak k deformacím tvarů. Tato transformace se využívá v případech, kdy chceme zachovat prostorové vztahy mezi objekty v obraze. Helmertova transformace je výhodná, pokud stará mapa nemá deformaci ani v jednom směru a pokud vysoce neutrpěla deformací zkosením (*shear*), pak je zachována rovnoběžnost přímek. Samozřejmě je zde velké omezení na konstantní změnu měřítka v celé mapě. Po úpravách získáváme tvary základních rovnic

$$X = X_0 + m \cos(\alpha) x - m \sin(\alpha) y$$

$$Y = Y_0 + m \sin(\alpha) x + m \cos(\alpha) y$$

Zavedením substituce

$$a_1 = X_0$$

$$a_2 = Y_0$$

$$a_3 = m \cos(\alpha)$$

$$a_4 = m \sin(\alpha)$$

lze prakticky získat výpočetní rovnice lineární transformace

$$X_i = a_1 + a_3 x_i - a_4 y_i$$

$$Y_i = a_2 + a_3 y_i + a_4 x_i$$

V maticovém tvaru lze tyto vztahy vyjádřit následovně:

$$l = H a$$

kde

$$l = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_1 & -y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & x_n & -y_n \\ 0 & 1 & y_1 & x_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 1 & y_n & x_n \end{pmatrix} \quad a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix}$$

K určení čtyř neznámých transformačních parametrů jsou nutné alespoň dva body ve výchozím a cílovém systému souřadnic. S více než dvěma body jsou nadbytečná měření vyrovnána vyrovnáním zprostředkujícím..

Vyrovnané neznámé mohou být považovány pomocí metody nejmenších čtverců (MNC) za opravený vyrovnávací systém

$$v = H\hat{a} - l$$

po minimalizaci podmínky $v^T v = \min$. Vyrovnaný vektor řešení lze odhadnout následovně

$$\hat{a} = (H^T H)^{-1} H^T l$$

z čehož základní parametry transformace ve spojení s vektorem oprav v mohou být odvozeny

$$X_0 = a_1$$

$$Y_0 = a_2$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{a_4}{a_3}\right)$$

$$m = \sqrt{a_3^2 + a_4^2}$$

4. 2 Afinní transformace - šestiprvková

Afinní transformace je speciálním případem transformace kolineární (projektivní). Rovnoběžky v originále zachovávají rovnoběžnost. Afinní transformace se šesti parametry převádí bodové pole pomocí posunu počátku soustavy (X_0, Y_0), dvěma rotacemi souřadnicových os mezi původním a novým systémem (α_x, α_y) a měřítkovým koeficientem v x -ovém směru (m_x) a v y -ovém směru (m_y). Tato transformace se využívá, pokud je analyzovaná mapa relativně ve vysoké míře deformována zkosením, tzn. x -ový směr není ortogonální s y -ovým směrem. Dále se využívá pro transformaci takových map, které jsou ovlivněny srážkou původního média

(papír). Tato srážka může být specifická v různých směrech. Prvky transformační matice nejsou vázány vzájemnými vazbami, nelze z nich tedy určit geometrické transformační parametry. Minimální počet identických bodů pro tento typ transformace vzroste na tři.

Afinní transformace není konformní (zkreslují se úhly), avšak zachovává rovnoběžnost přímek.

S výše uvedenými šesti parametry transformace ($X_0, Y_0, \alpha_x, \alpha_y, m_x, m_y$) lze definovat základní rovnice šestiparametrové transformace následujícím způsobem.

$$X = X_0 + m_x \cos(\alpha_x) x - m_y \sin(\alpha_y) y$$

$$Y = Y_0 + m_x \sin(\alpha_x) x + m_y \cos(\alpha_y) y$$

Provedeme-li substituci

$$a_1 = X_0 \qquad b_1 = Y_0$$

$$a_2 = m_x \cos(\alpha_x) \qquad b_2 = m_x \sin(\alpha_x)$$

$$a_3 = -m_y \sin(\alpha_y) \qquad b_3 = m_y \cos(\alpha_y)$$

zjednoduší se základní rovnice:

$$X_i = a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i$$

$$Y_i = b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i$$

což odpovídá tzv. obecné lineární transformaci.

V maticovém zápisu lze oddělit jednotlivě x-ové a y-ové souřadnice. Z následujícího odvození vyplývá početní zjednodušení, lze tak pracovat s menšími vektory a maticemi.

$$\mathbf{x} = \mathbf{A} \mathbf{a}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{b}$$

kde

$$\mathbf{x} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{Bmatrix} \quad \mathbf{y} = \begin{Bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{Bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{Bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n \end{Bmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{Bmatrix} \quad \mathbf{a} = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix}$$

K určení šesti neznámých pomocných parametrů transformace ($\mathbf{a}, \mathbf{b}$) jsou potřeba minimálně tři identické body ve výchozím a cílovém systému. S nadbytečnými pozorováními zní rovnice oprav následovně

$$\mathbf{u} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{a}} - \mathbf{x}$$

$$\mathbf{w} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{b}} - \mathbf{y}$$

ze kterých lze vypočítat vyrovnané pomocné a základní parametry transformace pomocí MNČ s minimalizujícími podmínkami $u^T u = \min$ a $w^T w = \min$

$$\hat{a} = (A^T A)^{-1} A^T x$$

$$\hat{b} = (A^T A)^{-1} A^T y$$

z čehož základní parametry transformace ve spojení s vektory oprav u , w mohou být odvozeny

$$X_0 = a_1$$

$$Y_0 = b_1$$

$$\alpha_x = \arctan\left(\frac{b_2}{a_2}\right)$$

$$\alpha_y = \arctan\left(\frac{-a_3}{b_3}\right)$$

$$m_x = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}$$

$$m_y = \sqrt{a_3^2 + b_3^2}$$

4.3 Afinní transformace – pětiprvková

Pětiprvková afinní transformace převádí bodové pole do cílového souřadnicového systému pomocí posunu počátku soustavy souřadnic (X_0, Y_0) , úhlem stočení mezi původním a novým systémem (α) a měřítkovým koeficientem v x -ovém směru (m_x) a v y -ovém směru (m_y) . S touto pětiparametrovou transformací zůstává po transformaci pravoúhlá výchozí soustava zachována. Místo jednoho úhlu stočení a dvou měřítkových koeficientů může být transformace definována jedním měřítkovým koeficientem (m) a dvěma úhly stočení (α_x, α_y) . Pro zkoumání starých map je tato možnost výběru zajímavá, ale nemá takový význam. Podobnost obrazců obecně není zachována, ale rovnoběžnost přímků zůstává.

Tento typ transformace vyžaduje alespoň tři identické body. Tato transformace se používá při jednosměrné deformaci analyzované mapy.

Analogicky lze odvodit základní rovnice pro pětiprvkovou transformaci $(X_0, Y_0, \alpha, m_x, m_y)$

$$X = X_0 + m_x \cos(\alpha) x - m_y \sin(\alpha) y$$

$$Y = Y_0 + m_x \sin(\alpha) x + m_y \cos(\alpha) y$$

Pětiprvková afinní transformace počítá obdobně jako šestiprvková. Lze tak zapsat základní rovnice v maticovém tvaru následovně

$$l = A a$$

K určení pěti neznámých pomocných parametrů transformace (a) jsou potřeba minimálně tři identické body ve výchozím a cílovém systému.

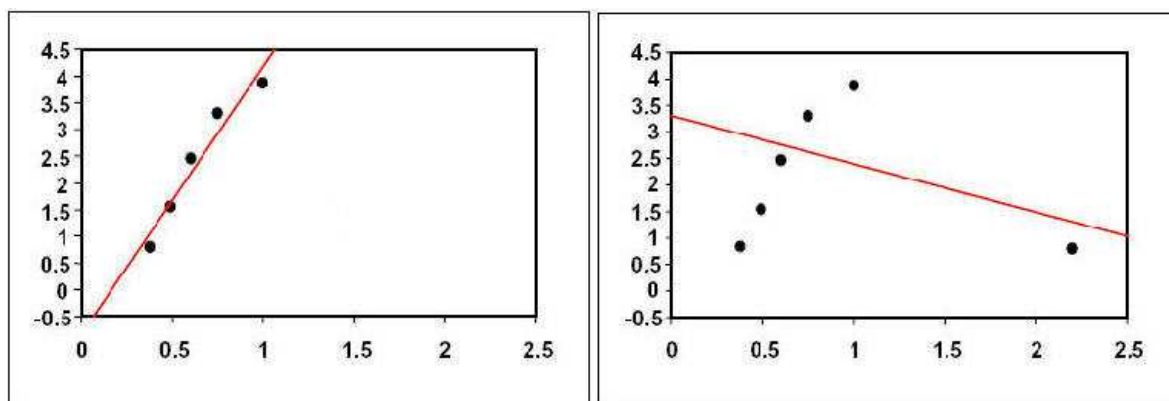
$$v = A\hat{a} - l$$

Vyrovnané pomocné a základní parametry transformace můžeme vypočítat pomocí MNČ s minimalizující podmínkou $v^T v = \min$

$$\hat{a} = (A^T A)^{-1} A^T l$$

4. 4 Robustní Helmertova transformace

Robustní Helmertovu transformaci lze použít, pokud jsou body v mapě uspořádány velmi nepravidelně. Při použití této transformace mají odlehlé body menší váhu při výpočtech. Robustní Helmertova transformace používá tzv. odhad, který je použit k určení váhy každého páru bodů. Odlehlá data se řeší filtrováním.



Obrázek 4.10: Citlivost odhadu na odlehlá pozorování

Obrázek 4.10 ukazuje, co může nastat v případě odhadu pořízeného metodou nejmenších čtverců, obsahuje-li soubor některá vychýlená data proti své skutečné pozici. Jak je z obrázku patrné, i pouze jedno pozorování může odhad znehodnotit. Takové odlehlé body lze označit za znečištění. Samozřejmě tím vyvstává otázka, kdy je vhodné klasické postupy ještě použít.

Intenzivní výzkumy v teorii odhadů přivedly celou řadu metod, nejen robustních, z nichž každá má svou silnou i slabou stránku. Pro praktické použití to přináší možnost vybrat si metodu, která je nejlepším řešením pro konkrétní data, ale na druhé straně tím vyvstává problém, jak vybrat v této široké nabídce optimální metodu. Obecně mohou být data takové povahy, že je lze vysvětlit více modely. Proto je vhodné použít více metod.

MapAnalyst podporuje tři různé odhady pro výpočet robustní Helmertovy transformace. Každý odhad má své specifické parametry.

Huberův odhad, nazývaný též Huberův M-odhad, počítá s jediným parametrem 'k'. Pokud je 'k' malé, odlehlý bod má jen malý vliv na transformaci a naopak. Doporučená hodnota pro 'k' je pro začátek 1.5.

V-odhad počítá se dvěma parametry 'k' a 'e'. Parametr 'k' má stejný význam jako v Huberově odhadu. Bod s vypočteným malým 'k' jen málo ovlivňuje transformaci. Parametr 'e'

představuje stupeň znečištění. Pokud je stará mapa lehce znečištěna, doporučuje se zvolit hodnotu parametru 'e' malou (0 až 0.3), pokud jsou body velmi znečištěné, vhodná hodnota parametru se volí 0.7 až 1. V-odhad byl navržen D. Beinekem kvůli analýze starých map.

Hampelův odhad, nazývaný Hampelův M-odhad, ovlivňují tři parametry: 'a', 'b', 'c'. Je zvykem stanovit poměr parametrů $a : b : c = 1 : 2 : 4$. První parametr 'a' má stejný význam jako 'k' parametr v Huberově či V-odhadu. Pokud bude 'a' malé, nespolehlivý bod bude mít jen malý vliv při výpočtech transformace. Parametr 'c' označuje hraniční mez. Pokud se body vyskytují za touto hranicí, nemohou být zahrnuty do výpočtů. Nastavením parametru 'b' se potlačí podezřelý bod, který svou váhou odlehlosti neleží mimo intervalu hodnot mezi 'a' a 'c'.

4.5 Zhodnocení transformací

Nelze s určitostí říci, která transformace je nejlepší. Každá má své specifické vlastnosti. Pro staré mapy je v dnešní době nejpoužívanější afinní transformace. Ta je také nejčastěji zakomponována do výpočtů v mnoha softwarech. Záleží na mnoha faktorech, které ovlivňují výběr transformace a následně věrohodnost a přesnost výsledných hodnot.

Při transformaci je důležité, aby použité body byly co nejlépe rovnoměrně rozmístěny po celé analyzované mapě. Dále je vhodné si uvědomit například srážku mapy. Srážka mapy se dá odstranit znalostí přesných rozměrů originálního výtisku.

Pokud není v mapě zakreslen mapový rám se souřadnicemi, nebo nikde není poznamenáno použité zobrazení týkající se mapy, lze jen těžko s určitostí převést starou mapu do některého ze současných souřadnicových systémů.

5 Vizualizace nepřesností starých map Čech

Veškeré vizualizace a výpočty starých map byly zobrazeny a určeny pomocí softwaru MapAnalyst.

Před samotnou analýzou a vizualizací starých map bylo potřeba vytvořit seznam měst, která jsou zobrazena v dané staré mapě, a jejich souřadnic vztažených k dnešnímu stavu.

Většina měst a sídel byla s určitostí identifikována, jiná byla označena s jistou možností záměny s jiným místem. Bohužel několik názvů na starých mapách nebylo rozpoznáno ani po konzultaci s archivářem, některá z těchto míst byla možná srovnána se zemí a nezanechala tak po sobě žádné stopy. U novějších map (Vogtova a Müllerova mapa) nebyla vyhledávána veškerá města a sídla, neboť jich je na mapě velké množství a pro analýzu map je dobré mít co nejvíce sídel, ale ne až v takovéto míře. Navíc, jak bylo řečeno v kapitole 3, horské oblasti jsou obvykle jen řídce osídleny. Není třeba mít hustou síť bodů v rovinatých oblastech a řídkou síť v horských oblastech. Je lepší mít body rovnoměrně rozmístěné po celé mapě.

ČÚZK³ poskytuje souřadnice v S-JTSK⁴, které má osy souřadnicové sítě orientované obráceně než je definován matematický systém, který je používán v MapAnalystu. Veškeré souřadnice měst a sídel byly získány z <http://www.geoportal.cuzk.cz/wmsportal/> [16]. Ovšem tento portál pracuje se souřadnicovým systémem S-JTSK Křovák EastNorth, jehož souřadnicové osy odpovídají osám matematického systému. Pokud jsou souřadnice určeny v běžném S-JTSK, je velmi důležité, aby byly opatřeny záporným znaménkem.

Souřadnice sídel byly odečítány na celé metry, za vztažné body sídel byl nejčastěji označen nejstarší kostel, hrad nebo zámek. Pro analýzu celé mapy takováto přesnost odečtení nebyla nezbytná, neboť nejstarší mapy (výjimku tvoří Müllerova mapa) byly vyhotoveny bez měření a některé z nich dokonce byly zakresleny bez autorova procestování daným krajem. Čili zakres jednotlivých sídel závisel především na znalosti autora celého území, navíc v mapách malých a středních měřítek nehraje jeden metr žádnou roli. Některé mapy byly dokonce vyhotoveny pouze pro hrubou orientaci v území.

Jelikož byly k dispozici názvy měst a sídel a jejich současné souřadnice, nebylo pro analýzu potřeba mít zobrazenou v softwaru MapAnalyst současnou mapu Čech. Pro identifikaci sídel ve staré mapě byly načítány postupně analyzované staré mapy.

Při vizualizaci nepřesností starých map bylo možné zvolit typ transformace, podle níž se pak vyobrazí veškeré druhy vizualizací nepřesností dané staré mapy.

³ČÚZK = Český úřad zeměměřičký a katastrální

⁴S-JTSK = Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální, je definován vlastním Křovákovým zobrazením, což je konformní kuželové zobrazení v obecné poloze

Pro lepší srovnání starých map navzájem byl použit pro všechny analyzované staré mapy stejný typ transformace. U jednotlivých možností vizualizace byly nastaveny stejné hodnoty parametrů. Dokonce byly použity stejné identické body, které byly pro některé mapy doplněny dalšími body pro rovnoměrnější rozmístění bodů. Samozřejmě nebyly použity všechny body, které mohly být identifikovány ve staré mapě, neboť novější mapy z analyzovaných starých map obsahují velké množství sídel, což v takovém množství není pro analýzu potřeba.

Po analýze map pomocí všech typů transformací a následném zjištění minimálních odchylek vypočtených hodnot u jednotlivých transformací byla určena za nejlepší typ Helmertova transformace, která vytvářela ve většině případů nejmenší polohové odchylky. Dokonce jí určené průměrné měřítko se nejvíce přibližovalo k již určeným přibližným měřítkům, které jsou uvedeny v textu 2.kapitoly. Při vizualizaci nepřesností map nebyly odlišnosti jednotlivých transformací zřetelné.

Velký problém při analýze byla velikost naskenovaných starých map. Pro analýzu je potřeba mít starou mapu v originální velikosti, neboť vizualizace jsou poté pouze orientační. Vektory posunů a deformační síť se zobrazují víceméně stejně jako u originální velikosti map, ovšem uvedené hodnoty jednotlivých linií neodpovídají skutečnosti. Rastrové mapy mají většinou odlišnou velikost než originály. Navíc vzhledem k tomu, že jednotlivé staré mapy měly mnoho kopií, bylo potřeba zjistit, kterou kopii máme k dispozici, což tvořilo větší obtíže. I každá kopie má jinou velikost, jiné měřítko, pozměněný obsah apod.

Při vizualizaci nepřesností izoliniemi byl nastaven poloměr kružnice vlivu pro všechny mapy 50 000 m.

Veškeré zjištěné výsledné hodnoty a následné vizualizace se vztahují k souřadnicovému systému S-JTSK. Tento systém je definován konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze, tudíž jeho osy nejsou rovnoběžné se světovými stranami. Konvergence není pro celé území České republiky konstantní. Pro Prahu, která leží přibližně ve středu Čech, činí meridiánová konvergence $7^{\circ}50'$. Proto se zjištěné rotace jednotlivých map Čech liší od stočení uváděných v literatuře.

5. 1 Klaudyánova mapa Čech z roku 1518

Jelikož Klaudyánova mapa nemá kolem mapové části ani kolem celé mapy mapový rám, nelze určit, jak se určily rozměry Kladuyánovy mapy 46×55 cm, které jsou uváděny u této mapy. Proto nebylo možné jakkoli změnit rozměry rastrového podkladu, který jsem měla k dispozici. Předpokládám tedy, že rastrová mapa je v původní velikosti originálu. Pro orientaci lze tuto mapu použít, ovšem průměrné měřítko a polohové odchylky je dobré brát s nadhledem. Deformační síť je však stejná pro jakoukoli velikost mapy, jen souřadnice jednotlivých bodů budou jistě jiné.

V pramenech je uvedeno průměrné měřítko originálu mapy v rozmezí 1 : 637 000 až 1 : 685 000. Mapa má navíc jižní orientaci, čili je otočena o 180°.

Při analýze mapy byly zjištěny následné údaje u základních typů transformace.

1) Při použití Helmertovy transformace je průměrné měřítko Klaudyánovy mapy 1 : 559 000. Mapa je otočena o 160° po směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka byla zjištěna $\pm 11\,148$ m a střední polohová chyba $\pm 15\,766$ m.

2) Při použití pětivrčkové afinní transformace bylo zjištěno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 548 800 a ve vertikálním směru 1 : 576 400. Touto transformací byl zjištěn úhel otočení 160° po směru hodinových ručiček, směrodatná odchylka $\pm 11\,121$ m a střední polohová chyba $\pm 15\,728$ m.

3) Při použití šestivrčkové afinní transformace bylo vypočítáno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 549 000 a ve vertikálním směru 1 : 575 000. Touto transformací byly zjištěny dva úhly otočení. V x-ovém směru byla mapa otočena o 163° po směru hodinových ručiček, v y-ovém směru 154° proti směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka mapy činí $\pm 10\,153$ m a střední polohová chyba $\pm 14\,358$ m.

Jak lze ze zjištěných hodnot vidět, měřítko mapy opravdu neodpovídá uváděným údajům v literatuře.

Při analýze Klaudyánovy mapy bylo označeno a při výpočtech použito 266 bodů, což je maximum, které mohlo být identifikováno, ač se uvádí, že mapa obsahuje celkem 280 sídel. Z Klaudyánovy mapy byla vyříznuta menší oblast severovýchodně od Prahy, což má samozřejmě vliv na veškeré výpočty a vizualizace. Zbylých 14 sídel je tedy nejspíše umístěných v chybějící vyřízlé části mapy.

5. 2 Crigingerova mapa Čech z roku 1568

Rozměry původní, oválné Crigingerovy mapy Čech jsou 486×412 mm, přibližné měřítko mapy se uvádí 1 : 638 000. Mapa je orientovaná k severu.

Bohužel však nebyla k dispozici tato původní mapa, nýbrž s největší pravděpodobností kopie z Orteliova atlasu *Theatrum orbis terrarum*. Rozměry této kopie jsou 510×340 mm. Poskytnutá rastrová mapa byla netransformována na tyto rozměry pomocí vnějšího okraje mapového rámu mapy. Měřítko této kopie není známo. Menší výška Orteliovy kopie připravila mapu o severní část Čech.

Při analýze mapy byly zjištěny následné údaje u základních typů transformace.

1) Při použití Helmertovy transformace je průměrné měřítko Crigingerovy mapy 1 : 731 400. Mapa je otočena o 11° proti směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka byla zjištěna $\pm 10\,819$ m a střední polohová chyba $\pm 15\,300$ m.

2) Při použití pětiprvkové afinní transformace bylo zjištěno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 728 100 a ve vertikálním směru 1 : 737 900. Touto transformací byl zjištěn úhel otočení 11° proti směru hodinových ručiček, směrodatná odchylka $\pm 10\,850$ m a střední polohová chyba $\pm 15\,344$ m.

3) Při použití šestiprvkové afinní transformace bylo vypočítáno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 738 000 a ve vertikálním směru 1 : 745 000. Touto transformací byly zjištěny dva úhly otočení. V x-ovém směru byla mapa otočena o 8° proti směru hodinových ručiček, v y-ovém směru 16° po směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka mapy činí $\pm 10\,135$ m a střední polohová chyba $\pm 14\,333$ m.

Pro analýzu Crigingerovy mapy bylo použito pouze 189 bodů. Více bodů nebylo identifikováno ani po odborné konzultaci. Navíc jsou v mapě použity česko-německé názvy, které dohromady označují velmi zvláštní názvy sídel, které je těžké rozpoznat. Navíc Crigingerova mapa neobsahuje velké množství měst a sídel, tudíž ani v Orteliově kopii není hojnost těchto sídel.

Zjištěné měřítko Orteliovy kopie Crigingerovy mapy je přibližně 1 : 731 400. Mapa je otočena o 11° proti směru hodinových ručiček. Toto platí, pokud analyzovaná mapa je skutečně Orteliova kopie. Pokud se jedná o jinou kopii Crigingerovy mapy, měřítko neodpovídá, neboť jiná kopie bude mít jiné rozměry než Orteliova kopie.

5.3 Aretinova mapa Čech z roku 1619

Rozměry původní Aretinovy mapy Čech jsou 766 × 574 mm. Analyzovaná rastrová mapa byla netransformována na vnější okraj mapového rámu, aby odpovídal těmto rozměrům.

Přibližné měřítko mapy se uvádí 1 : 504 000. Mapa je stočena o 9° k východu, čili 9° po směru hodinových ručiček.

Při analýze mapy byly zjištěny následné údaje u základních typů transformace.

1) Při použití Helmertovy transformace je průměrné měřítko Aretinovy mapy 1 : 510 500. Mapa je otočena o 11° proti směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka byla zjištěna $\pm 5\,606$ m a střední polohová chyba $\pm 7\,928$ m.

2) Při použití pětiprvkové afinní transformace bylo zjištěno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 511 100 a ve vertikálním směru 1 : 509 700. Touto transformací byl zjištěn úhel otočení 11° proti směru hodinových ručiček, směrodatná odchylka $\pm 5\,609$ m a střední polohová chyba $\pm 7\,932$ m.

3) Při použití šestiprvkové afinní transformace bylo vypočítáno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 511 000 a ve vertikálním směru 1 : 509 000. Touto transformací byly zjištěny dva úhly otočení. V x-ovém směru byla mapa otočena o 10° proti směru hodinových

ručiček, v y-ovém směru 12° po směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka mapy činí $\pm 5\,540$ m a střední polohová chyba $\pm 7\,835$ m.

Pro analýzu Aretinovy mapy bylo použito celkem 326 bodů.

Zjištěné měřítko Aretinovy mapy je přibližně $1 : 510\,000$. Mapa je stočena o 11° k východu. Ze středních polohových chyb lze odvodit, že tato mapa je již přesnější než předchozí dvě staré mapy Čech, neboť tyto chyby nepřekračují hranici $8\,000$ m.

5. 4 Vogtova mapa Čech z roku 1712

Rozměry původní Vogtovy mapy Čech 853×656 mm, přibližné měřítko mapy se uvádí $1 : 396\,800$. Mapa je orientovaná k severu. Tato mapa je tedy největšího měřítka ze všech analyzovaných map.

Rastrová mapa byla převedena na výše uvedené rozměry pomocí vnitřního mapového rámu.

Při analýze mapy byly zjištěny následné údaje u základních typů transformace.

1) Při použití Helmertovy transformace je průměrné měřítko Vogtovy mapy $1 : 434\,100$. Mapa je otočena o 10° proti směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka byla zjištěna $\pm 5\,944$ m a střední polohová chyba $\pm 8\,406$ m.

2) Při použití pětiprvkové afinní transformace bylo zjištěno průměrné měřítko v horizontálním směru $1 : 436\,400$ a ve vertikálním směru $1 : 430\,800$. Touto transformací byl zjištěn úhel otočení 10° proti směru hodinových ručiček, směrodatná odchylka $\pm 5\,926$ m a střední polohová chyba $\pm 8\,381$ m.

3) Při použití šestiprvkové afinní transformace bylo vypočítáno průměrné měřítko v horizontálním směru $1 : 436\,000$ a ve vertikálním směru $1 : 430\,000$. Touto transformací byly zjištěny dva úhly otočení. V x-ovém směru byla mapa otočena o 10° proti směru hodinových ručiček, v y-ovém směru 11° po směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka mapy činí $\pm 5\,847$ m a střední polohová chyba $\pm 8\,269$ m.

U Vogtovy mapy bylo identifikováno a použito pro analýzu 409 bodů.

Ačkoli se jedná o mapu většího měřítka než tomu je u předchozích map, střední polohová chyba je větší než u Aretinovy mapy, tudíž lze říci, že je Vogtova mapa méně přesná než právě Aretinova mapa.

Navíc je Vogtova mapa stočena o 10° k východu. Přibližné měřítko Vogtovy mapy bylo zjištěno $1 : 434\,000$, což se od měřítka uváděného v literatuře již celkem odlišuje.

5. 5 Müllerova mapa Čech z roku 1720

Pro analýzu Müllerovy mapy Čech byl použit přehledný list, protože při práci v MapAnalystu je potřeba mít jednu starou mapu. Aby byla použita původní Müllerova mapa, bylo by potřeba mít všech 25 listů, do kterých je mapa rozdělena, spojených v jeden celek. Spojení těchto listů byl úkol jiné práce a není zřejmé, zda se jednotlivé listy při spojení nezdeformovaly. Bylo možné analyzovat Müllerovu mapu po listech a poté zjištěné hodnoty zprůměrnovat, což by přineslo jisté chyby ve výpočtech. Proto byl použit pro analýzu „pouze“ přehledný list Müllerovy mapy Čech.

Rozměry přehledného listu Müllerovy mapy Čech jsou 546×464 mm, přibližné měřítko listu se uvádí 1 : 649 180. Mapa je orientovaná k severu.

Vnitřní okraj mapového rámu byl změněn na rozměry výše uvedené.

Při analýze mapy byly zjištěny následné údaje u základních typů transformace.

1) Při použití Helmertovy transformace je průměrné měřítko Müllerovy mapy 1 : 668 400. Mapa je otočena o 4° proti směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka byla zjištěna $\pm 1\,820$ m a střední polohová chyba $\pm 2\,573$ m.

2) Při použití pětiprvkové afinní transformace bylo zjištěno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 669 700 a ve vertikálním směru 1 : 666 400. Touto transformací byl zjištěn úhel otočení 4° proti směru hodinových ručiček, směrodatná odchylka $\pm 1\,814$ m a střední polohová chyba $\pm 2\,565$ m.

3) Při použití šestiprvkové afinní transformace bylo vypočítáno průměrné měřítko v horizontálním směru 1 : 670 000 a ve vertikálním směru 1 : 667 000. Touto transformací byly zjištěny dva úhly otočení. V x-ovém směru byla mapa otočena o 5° proti směru hodinových ručiček, v y-ovém směru 4° po směru hodinových ručiček. Směrodatná odchylka mapy činí $\pm 1\,726$ m a střední polohová chyba $\pm 2\,441$ m.

Pro analýzu Müllerovy mapy Čech bylo použito 354 bodů.

Ze zjištěných hodnot je vidět, že Müllerova mapa je nejpřesnější ze starých map Čech. Střední polohové chyby nepřekračují hranici 2 600 m. Přehledný list Müllerovy mapy Čech je stočena o 4° k západu. Zjištěné měřítko přehledného listu zcela neodpovídá uváděnému měřítku v literatuře, které činí 1 : 649 180. Podle vyhodnocení v MapAnalystu by mělo být měřítko tohoto přehledného listu Müllerovy mapy přibližně 1 : 667 000 až 668 000.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení pěti nejstarších map Čech pomocí švýcarského kartometrického softwaru MapAnalyst. Součástí práce bylo také studium možností tohoto softwaru MapAnalyst a popis jeho základních funkcí a metod, které používá pro výpočet a analýzu starých map.

Před samotnou analýzou starých map bylo potřeba shromáždit souřadnice sídel a měst, která se vyskytují na starých mapách. Tyto souřadnice byly získány z webových mapových služeb ČÚZK v systému S-JTSK.

Systém S-JTSK je definován konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze, což způsobuje konvergenci celého systému, která není konstantní pro celé území Čech. Meridiánová konvergence v Praze je přibližně $7^{\circ}50'$, což se dá považovat za střed analyzovaného území. Kvůli této konvergenci neodpovídají zjištěné rotace starých map skutečnosti, nýbrž jsou výsledkem vzhledem k souřadnicovému systému S-JTSK.

Veškeré výpočty a vizualizace nepřesností starých map probíhaly v softwaru MapAnalyst. MapAnalyst je jednoduše ovladatelná Java aplikace, kterou lze spustit pod všemi hlavními operačními systémy. K analýze a vyhodnocení nepřesností starých map jsou použity dva souřadnicové systémy, ve kterých se určují identické body, a které jsou na sebe následně transformovány. Na základě těchto bodů se pak vypočítají a zkonstruuji deformační síť, vektory posunů a izolinie lokálních měřítek a rotací. Pro analýzu staré mapy není potřeba mít zobrazenou starou i novou georeferencovanou referenční mapu, pokud jsou k dispozici souřadnice identických bodů.

Bohužel tento software nemá k dispozici žádné neobvyklé klávesové zkratky, které by usnadnily práci při analýze starých map, ale je možné software vylepšit, za předpokladu znalosti programování v Javě.

V tomto softwaru lze nastavit typ transformace, pro kterou se zobrazí výsledné nepřesnosti. Průměrné hodnoty, které charakterizují celou mapu, se však vypočtou pro tři typy transformace, což jsou Helmertova transformace, afinní šestiprvková transformace a afinní pětiprvková transformace. Při vizualizaci nepřesností podle výpočtů jednotlivých transformací a následném porovnání nebyly zřetelné odlišnosti. K dispozici je také možnost výpočtu pomocí robustní Helmertovy transformace. Tato transformace je založena na statistických metodách a u nás, v České republice, není příliš rozšířena.

Pro správnou analýzu starých map bylo nezbytné změnit velikosti rastrových map na skutečné velikosti originálů starých map. Některé poskytnuté staré mapy však byly kopiemi originálů. Jednotlivé kopie se mnohdy liší nejen velikostí, ale také obsahem. U některých map

bylo obtížné zjistit nejen původní velikost staré mapy, ale také ke kterým částem mapy se zjištěné rozměry vztahovaly.

Jelikož Klaudyánova mapa nemá mapový rám, je dobré brát některé výsledné údaje a vizualizace nepřesností pouze orientačně. U analyzované Crigingerovy mapy se nejspíše jedná o Orteliovu kopii, neboť poměr rozměrů Orteliovy kopie nejlépe odpovídal poměru rozměrů rastrové mapy.

Výsledné vizualizace nepřesností starých map jsou přiloženy k této práci.

Seznam obrázků

2.1	Klaudyánova mapa Čech z roku 1518	10
2.2	Crigingerova mapa Čech z roku 1568	11
2.3	Aretinova mapa Čech z roku 1619	13
2.4	Vogtova mapa Čech z roku 1712	14
2.5	Müllerova mapa Čech z roku 1720 – mapový list č.8	16
2.6	Müllerova mapa Čech z roku 1720 – přehledný list	16
3.7	Ukázka z prostředí MapAnalyst	21
3.8	Ukázka buňky	26
3.9	Ukázky izoliní v závislosti na zvoleném poloměru kruhu vlivu	27
4.10	Citlivost odhadu na odlehlá pozorování	34

Seznam příloh

A. Grafické přílohy

Klaudyánova mapa Čech z roku 1518 – deformační síť
Klaudyánova mapa Čech z roku 1518 – izolinie měřítka
Klaudyánova mapa Čech z roku 1518 – vektory posunů
Crigingerova mapa Čech z roku 1568 – deformační síť
Crigingerova mapa Čech z roku 1568 – izolinie měřítka
Crigingerova mapa Čech z roku 1568 – vektory posunů
Aretinova mapa Čech z roku 1619 – deformační síť
Aretinova mapa Čech z roku 1619 – izolinie měřítka
Aretinova mapa Čech z roku 1619 – vektory posunů
Vogtova mapa Čech z roku 1712 – deformační síť
Vogtova mapa Čech z roku 1712 – izolinie měřítka
Vogtova mapa Čech z roku 1712 – vektory posunů
Müllerova mapa Čech z roku 1720 – deformační síť
Müllerova mapa Čech z roku 1720 – izolinie měřítka
Müllerova mapa Čech z roku 1720 – vektory posunů

B. Obsah přiloženého CD

Struktura adresářů:

/MapAnalyst/
/použité mapy/
/sady bodů/
/text/

V adresáři text je možné nalézt text bakalářské práce.

V adresáři MapAnalyst je k dispozici použitý software pro analýzu nepřesností starých map.

Verzi přiloženého softwaru lze spustit pod operačním systémem Windows.

Ostatní adresáře obsahují použité staré mapy Čech ve změněné velikosti odpovídající velikosti originálních map. Spolu s těmito mapami jsou v adresářích obsaženy zjištěné souřadnice sídel a měst. V těchto sadách souřadnic jsou uloženy odpovídající si polohy bodů v souřadnicovém systému S-JTSK s polohami těchto bodů ve staré mapě.

Prameny a literatura

- [1] BEINEKE, Dieter. *Verfahren zur Genauigkeitsanalyse für Altkarten*. [s.l.], 2001. 155 s. Universität der Bundeswehr München. Dizertační práce. Dostupný z WWW: <http://www.unibw.de/ipk/karto-en/publications/pubbeineke-en/books/docbeineke-en/down1/at_download>.
- [2] CAJTHAML, Jiří: Nové technologie pro zpracování a zpřístupnění map. Doktorská disertační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2007.
- [3] JENNY, Bernhard, WEBER, Adrian. *MapAnalyst-MapAnalyst* [online]. 2005-2008 , 28.3.2008 [cit. 2008-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://mapanalyst.cartography.ch/>>.
- [4] JENNY, Bernhard, WEBER, Adrian, LORENZ, Hurni. *Cartographica*. [s.l.] : [s.n.], 2007. Dostupný z WWW: <http://jenny.cartography.ch/pdf/2007_Jenny_etal_MapAnalyst.pdf>. Visualising the planimetric accuracy of historical maps with MapAnalyst, s. 89-94.
- [5] JENNY, Bernhard. *E-Perimetron*. [s.l.] : [s.n.], 2006. Dostupný z WWW: <http://www.e-perimetron.org/Vol_1_3/Jenny.pdf>. MapAnalyst - A digital tool for the analysis of the planimetric accuracy of historical maps, s. 239-245.
- [6] KÁNSKÝ, Ladislav: Sledování změn krajiny pomocí starých map v prostředí GIS, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2007.
- [7] *Kartografie a Geoinformatika - multimediální učebnice* [online]. 2005 [cit. 2008-03-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.geogr.muni.cz/ucebnice/kartografie/>>.
- [8] KUCHAR, Karel: *Mapa Čech z 2.poloviny XVI. století, typu Crigingerova*. Praha: Geografický ústav Karlovy Univerzity, 1932, 26s.
- [9] KUCHAR, Karel: *Vývoj mapového zobrazení území Československé republiky I*. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1959, 68 s. a 12 příloh.

- [10] MATOUŠEK, Jiří. *Úvod do robustní statistiky, aplikace v geodézii* [online]. [2006] [cit. 2008-04-07]. Dostupný z WWW:
<http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie%20a%20kartografie/6_02_Teoreticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Matousek_Jiri.pdf>.
- [11] PLÁNKA, Ladislav: *Vývoj světové a české kartografie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2004, ISBN 80-214-2675-6, 125 s.
- [12] POMYKACZOVÁ, Aneta: *Analýza Klaudyánovy mapy v prostředí GIS*, bakalářská práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2007.
- [13] RAYMOND, David. *Cartographica*. [s.l.] : [s.n.], 2007. Dostupný z WWW:
<http://mapanalyst.cartography.ch/background/assets/Raymond-%20MapAnalyst_Review.pdf>. Software Review: MapAnalyst 1.2.1(Bernhard Jenny and Adrian Weber, Institute of Cartography, ETH Zurich, 2005/2006), s. 95-97.
- [14] SEMOTANOVÁ, Eva: *Mapy Čech, Moravy a Slezska v zrcadle staletí*. Praha: Libri, 2001, ISBN 80-7277-078-6, 263s.
- [15] VEVERKA, Bohumil: *Topografická a tematická kartografie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, ISBN 80-01-01245-X, 203s.
- [16] *WMS PORTAL ZU* [online]. c2007 [cit. 2008-03-18]. Dostupný z WWW:
<<http://geoportal.cuzk.cz/wmsportal/>>.