

# Kartometrická analýza starých map českých zemí: mapa Čech a mapa Moravy od Petra Kaeria

Tomáš Bayer | Markéta Potůčková | Miroslav Čábelka

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 120 78, Praha 2, Česká republika

## **Abstrakt:**

*Článek se zabývá problematikou hodnocení kartometrické přesnosti dvou významných kartografických děl z první poloviny 17. století zobrazujících území Čech, Moravy a Slezska: mapa Čech a mapa Moravy od Petra Kaeria (\*1571, †1646). Dle dostupné literatury mapa Čech od Petra Kaeria vychází z Aretinovy mapy Čech, Kaeriova mapa Moravy představuje kartografické dílo odvozené od Fabriciovy mapy Moravy. Tato fakta budou ověřena za použití kartometrických analýz. Kartometrické analýzy budou provedeny jak na obou testovaných mapách, tak i na jejich domnělých předlohách. Metodika hodnocení je založena na geometrických analýzách množin identických bodů ve staré mapě a v referenční mapě, využívá techniku multikvadratické interpolace. Jako referenční mapa byla použita vrstva databáze DMÚ-25. Výsledky analýz zahrnující vektory odchylek na identických bodech, izolinie měřítka a stočení, byly vizualizovány v programu MapAnalyst.*

**Klíčová slova:** digitální kartografie, kartometrické analýzy, staré mapy, MapAnalyst.

## **1 Úvod**

Kartometrické analýzy starých či historických map představují jeden z prostředků k získání nových poznatků o kartografických dílech. Na základě výsledků kartometrických analýz lze ověřit, vyvrátit či upřesnit fakta dokládající způsob konstrukce mapy, existenci geometricko-kartografických základů či použité reprografické techniky. Kartometrické analýzy map poskytují cenný zdroj informací, doplňují klasické metody kartografického výzkumu. Využívají složitý matematický aparát založený zejména na aplikaci robustních statisticko-geometrických analýz (Beineke, 2000, Beineke, 2007). Snaží se nalézt, popsat a interpretovat nové vztahy, vazby či zákonitosti mezi obsahovými prvky mapy, které za použití klasických analytických metod nemusí být patrné.

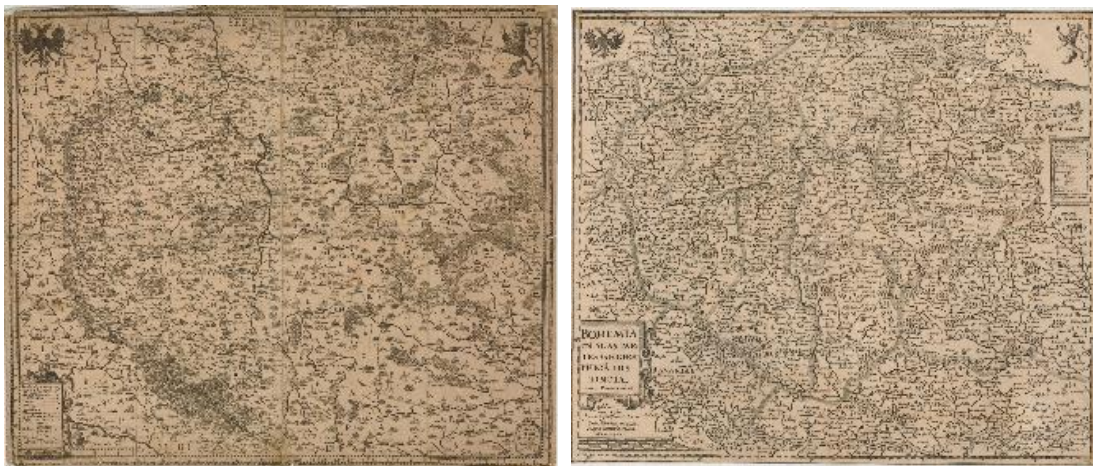
Příspěvek navazuje na předchozí článek autorů zabývajících se kartometrickou analýzou Vogtovy mapy (Bayer et al., 2009). Cílem příspěvku je provedení kartometrických analýz s následnou slovní i grafickou interpretací jejich výsledků u dalších mapových exemplářů z fondů Mapové sbírky Univerzity Karlovy v Praze. Předmětem kartometrických analýz budou dvě významná kartografická díla datovaná do 2. poloviny 16. století až 1. čtvrtiny 17. století, a to mapa českých zemí “Bohemia in suas partes geographicae distincta” a mapa Moravy “Moravia Marchionatus. Mehren” pocházejících od Petra Kaeria<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Na první mapové dílo se budeme v dalším textu odkazovat s jistou mírou zjednodušení jako na mapu Čech od Petra Kaeria, na druhé dílo jako na mapu Moravy od Petra Kaeria.

## 2 Mapa českých zemí od Petra Kaeria

Obě kartografická díla nepatří mezi kartografické produkty známé širší veřejnosti, uvedme proto jejich stručnou charakteristiku. Po Klaudyánově, Crigingerově a Aretinově mapě představuje Kaeriova mapa Čech další (čtvrtou) dochovanou mapu českých zemí. Rozměry mapy činí 770 x 660 mm, jako přibližné měřítko vztažené ke střednímu poledníku je uváděna hodnota 1 : 504 000 (Kuchař, 1959). Mapa znázorňuje území vymezené rovnoběžkami 48°16' až 50°58' s.š. a poledníky 29°30' až 34°54' v.d. Společně s Aretinovou mapou se jedná se o první kartografické dílo zobrazující politické uspořádání v českých zemích. V mapě jsou zakresleny hranice 15 krajů, jejich názvy jsou uváděny v českém i německém jazyce. Používá celkem 16 typů kartografických symbolů, rozlišuje sídla na města královská, šlechtická, městečka, vesnice, hrady, tvrze. Podrobně je znázorněno vodstvo i horopisná složka, v porovnání s dříve analyzovanou Vogtovou mapou jsou však tyto obsahové složky zobrazeny detailněji. Na rozdíl od Vogtovy mapy není zakreslen meandr řeky Vltavy v Praze. Figurální dekorace mapy jsou v porovnání s ostatními kartografickými díly poměrně strohé. V levé horní části nalezneme dvouhlavou rakouskou orlici, v pravé horní části českého lva.



Obrázek 1: Aretinova mapa českých zemí (vlevo) a mapa českých zemí Petra Kaeria (vpravo).

Mapa vykazuje značnou podobnost s Aretinovou mapou Čech (1619) a s Zimmermanovou mapou Čech (1619)<sup>2</sup>. Na rozdíl od Aretinovy mapy však zobrazuje i západní část Moravy a severní část Rakouska až k řece Dunaj, liší se i rozměry mapového pole. Aretinova i Kaeriova mapa byly opakovaně vydávány, jednotlivá vydání se liší drobnými změnami v zákresu obsahových prvků mapy, zejména vodstva.

V Mapové sbírce Univerzity Karlovy byly nalezeny následující vydání Kaeriových map: Clopp<sup>3</sup>, Johannes Janssonius (1620), Johannes Janssonius (1630). Podkladem pro kartometrické analýzy uskutečněné v tomto článku bylo Janssoniovo vydání Kaeriových mapy z roku 1620. Poznamenejme, že Cloppovo vydání se po obsahové stránce výrazněji liší od obou Janssoniových vydání. Použité kartografické symboly vykazují výraznější podobnost s Aretinovou mapou. Lze usoudit, že byla zřejmě vyhotovena před Janssoniovými vydáními. Cloppovo vydání je navíc zdobeno bohatými figurálními dekoracemi, v levé dolní části mapy nalezneme siluetu Prahy, v pravé dolní siluetu Vídně doplněnou dvěma postavami.

<sup>2</sup> V literatuře bývá Kaeriova mapa Čech označována jako dílo odvozené od Aretinovy mapy Čech, vlastnosti Kaeriových mapy Čech budou velmi podobné Aretinově mapě.

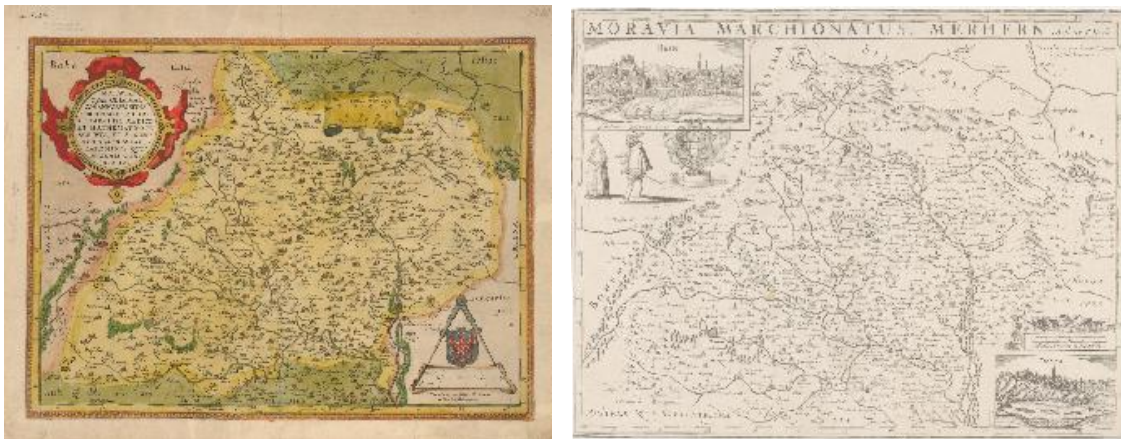
<sup>3</sup> Datum vydání této mapy nebylo dohledáno.

Zimmermanova mapa Čech se dochovala pouze v jediném výtisku, který se nachází ve Velké Británii. Vzhledem k její nedostupnosti provedeme kartometrické srovnání parametrů Kaeriovoy mapy Čech pouze s Aretinovou mapou Čech, konkrétně s jejím druhým vydáním (1632)<sup>4</sup>. Na základě dosažených výsledků se pokusíme potvrdit předpoklad, že Aretinova mapa Čech byla geometrickým resp. obsahovým podkladem pro mapu Čech Petra Kaeria<sup>5</sup>.

### 3 Mapa Moravy od Petra Kaeria

Druhé analyzované kartografické dílo představuje mapa Moravy od Petra Kaeria z roku 1625. Rozměry mapy činí 500 x 385 mm, měřítko mapy vztažené ke střednímu poledníku je cca 1 : 530 000. Znárodnuje území Moravy, Slezska, jižního Polska, západního Slovenska a severní části Rakouska vymezené rovnoběžkami 48°25' až 50°25' s.š. a poledníky 38°15' až 41°40' v.d.

Hustota mapové kresby je značně nerovnoměrná, tento rys je patrný zejména v oblastech severní Moravy a Slezska. Slezsko je zastoupeno pouhými třemi městy z celkového počtu 532 sídel. V některých místech je tak grafická zaplněnost mapy nadměrná, jiné oblasti jsou téměř prázdné. Velmi podrobně jsou v této mapě znázorněny horopisná a vodopisná složka, které poměrně výrazně dominují mapovému obrazu. Za zajímavý fakt lze považovat způsob vykreslení lesů stromečkovou metodou a jejich umístění v mapě. Lesní porosty nenalezneme po celé ploše mapy, ale pouze v nižších polohách či kolem zemských hranic. Názvosloví mapy je uvedeno v německém jazyce, charakteristický rys představuje výrazné označení řady sídel či zákres v té době neexistujících sídel. Figurální výzdobu mapy tvoří v levém horním rohu silueta Brna, v pravém dolním rohu silueta Znojma.



Obrázek 2: Fabriciova mapa Moravy (vlevo) a mapa Moravy od Petra Kaeria (vpravo).

Fabriciova mapa Moravy z roku 1569 představuje první mapu Moravy. Existuje v řadě kopií, formátech a variantách. Originální mapa má rozměry 946 x 846 cm, kopie z roku 1573 zařazená v Orteliově atlasu opravená o řadu nedostatků má rozměry 469 x 345 mm (nachází se v Mapové sbírce Univerzity Karlovy)<sup>6</sup>. Z dalších zajímavých kopií uveďme také zmenšeninu Fabriciovy mapy s rozměry 485 x 402 mm znázorňující pouze území Moravy.

<sup>4</sup> V Mapové sbírce Univerzity Karlovy se nachází i třetí vydání od D. Wussina (1655).

<sup>5</sup> Všechna výše uvedená kartografická díla vykazují značnou míru podobnosti. K. Kuchař vyslovil domněnku, že autorem předlohy by mohl být Jiljí Sadeler.

<sup>6</sup> Tato kopie byla zřejmě dodatečně kolorována.

Podobnost Kaeriovoy mapy Moravy a Fabriciovoy mapy je výrazně větší než podobnost Kaeriovoy mapy Čech a Aretinovy mapy Čech. Nejvýraznějšími rozdíly nalezneme horopisu, který je v Orteliově kopii potlačen. Některá města byla doplněna či posunuta, Kaeriova mapa používá pro jejich znázornění jiné symboly, u řady sídel byly vytvořeny i nové popisy. V tomto případě není pochyb, že Fabriciova mapa Moravy byla podkladem pro Kaeriovu mapu Moravy, s využitím kartometrických analýz se pokusíme posoudit a zhodnotit přesnost obou map. Mapu Moravy od Petra Kaeria můžeme zřejmě označit jako mapu odvozenou od Fabriciovoy mapy Moravy, obsahuje pouze minimum změn.

## 4 Digitalizace

Digitalizace čtyř výše uvedených map proběhla v prostorách Mapové sbírky Univerzity Karlovy v rámci projektu GAČR č. 205/04/088, “Kartometrická a semiotická analýza a vizualizace starých map českých zemí z období 1518-1720”. Originály byly naskenovány na kamerovém skeneru Contex CRYSTAL XL 42 s rozlišením 200 dpi, velikost pixelu činila 0.127 mm. Rastrové obrazy map byly uloženy v bezeztrátovém formátu TIFF. Před vlastním zpracováním rastrového obrazu map nebyly prováděny žádné korekce geometrického rázu, pouze došlo k softwarovému odstranění nečistot rastru, a to s využitím nástroje Remove Speckles (MicroStation Descartes XM). Mapové pole každé mapy se nachází na jednom samostatném listu, proces rekonstrukce souvislého rastrového obrazu se výrazně zjednodušil.

### 4.1 Georeferencování rastrových obrazů map

Při kartometrických analýzách je prováděno srovnání množin identických bodů v různých souřadnicových systémech. Referenční mapu představuje vrstva databáze DMÚ-25 (transformovaný do souřadnicového systému S-JTSK), analyzovaná mapa je vyhotovena v neznámé projekci. Otázkou je, zda v případě, kdy mapa nevznikla na geodetickém podkladu ani za použití geometricko-konstrukčních postupů, lze hovořit o existenci projekce. Vzhledem k faktu, že je zobrazované území poměrně malé (představuje zhruba čtverec o straně 200 km) můžeme považovat souřadnicové systémy referenční mapy a analyzované mapy pro účely kartometrické analýzy za stejnorodé. Polohovou přesnost databáze DMÚ-25 lze pro tyto účely také považovat za dostatečnou.

Pro přibližné georeferencování referenční a analyzované mapy byla použita stejná metodika jako u Vogtovy mapy (Bayer et al, 2009) vycházející z pěti parametrové afinní transformace prvního stupně dané rovnicemi

$$X = m_x x \cos \alpha - m_y y \sin \alpha + \Delta x$$

$$Y = m_x x \sin \alpha + m_y y \cos \alpha + \Delta y$$

kde  $x, y$  představují souřadnice v místním souřadnicovém systému (analyzovaná mapa),  $X, Y$  souřadnice v globálním souřadnicovém systému (referenční mapa),  $m_x, m_y$  měřítkové koeficienty ve směru os  $x, y$ ,  $\alpha$  úhel rotace.

Tento typ transformace provede pouze lineární změny rozměrů analyzované mapy, její posun a natočení. Na rozdíl od polynomických transformací vyšších stupňů nedochází k typickému “zprohýbání”, které by negativně ovlivnilo výsledky kartometrických analýz. Parametry afinní transformace byly určeny s využitím metody nejmenších čtverců.

**Identické body.** Volba identických bodů použitých pro výpočet transformačního klíče představuje zásadní krok kartometrických analýz. Žádná z analyzovaných map neobsahuje zákres zeměpisné sítě, pro výběr identických bodů byly proto použity snadno identifikovatelné body v mapové kresbě. Jejich výběr byl podřízen požadavku, aby pokrývaly rovnoměrně celé území mapy. Tuto podmínku se nepodařilo zaručit u obou map Moravy, které vykazují značné nerovnoměrnou zaplněnost. Zejména v oblastech severní Moravy a Slezska je proto nízká hustota identických bodů. K podobné situaci dochází v menší míře i u obou map Čech, nižší hustota bodů v severních a jižních oblastech Čech je dána fyzicko geografickými charakteristikami území.

Při volbě identických bodů se autoři snažili respektovat historický i společenský vývoj území a podřídit jejich umístění v referenční mapě těmto aspektům. Identické body představovaly převážně sídla doplněná hrady, zámky či sakrálními stavbami. Tento postup je obtížnější realizovat u větších měst, kde autoři předpokládali polohu identického bodu v historickém centru původní obce. V některých případech je identifikace těchto bodů poměrně obtížná, zvláště pokud sídlo disponuje rozsáhlým historickým centrem (hrad, zámek, náměstí nacházející se daleko od sebe). Pokud navíc nelze ze značky sídla rozlišit jeho typ (např. zámek, hrad, sakrální stavba), není zřejmé, které místo v referenční mapě zvolit jako odpovídající.

U některých sídel, zejména v oblastech severní Moravy a Slezska (Ostravsko), došlo v důsledku důlní činnosti k narušení tradičních historických center. V případě Ostravy byl jako historické centrum určen kostel Svatého Václava v Moravské Ostravě. Upozorníme však, že vzhledem k přesnosti vyhotovení mapy nehrají tyto faktory natolik důležitou roli, aby významněji ovlivnily výsledky kartometrických analýz. Vzhledem k přibližným měřítkům obou map postačuje určit polohu identického bodu s přesností cca 0.5 km.

Volba identických bodů u Aretinovy mapy a Kaeriový mapy Čech. U Aretinovy mapy Čech resp. mapy Čech od Petra Kaeria byly množiny identických bodů tvořeny 163 body (cca 14%) resp. 172 body. Aretinova mapa Čech má menší územní rozsah než mapa Čech od Petra Kaeria, nejsou zde zobrazeny oblasti nacházející se jižně od Šumavy (zejména tok Dunaje) či oblasti střední Moravy východně od Brna. Devět identických bodů z transformačního klíče nebylo pro Aretinovu mapu možné použít. Některé ze sídel byly zakresleny nepřesně, tyto odchylky (cca 15 -18km) však autoři nepovažovali za natolik významné, aby byly odpovídající body odstraněny z transformačního klíče. Vzájemné polohy identických bodů v obou mapách se liší výrazněji (v řádech km) než u obou map Moravy. Hodnoty parametrů afinní transformace nalezneme v tab. 1.

*Tabulka 1: Hodnoty parametrů afinní transformace Aretinovy mapy Čech (vlevo) a mapy Čech od Petra Kaeria (vpravo), hodnota  $\sigma$  představuje směrodatnou odchylku určeného koeficientu.*

Koeficient	Hodnota	$\sigma$
$m_x$	560259	3435
$m_y$	529 273	3576
$\Delta x$	1.27719	0.00080
$\Delta y$	2.56357	0.00080
$\alpha$	9.9532	0.261

Koeficient	Hodnota	$\sigma$
$m_x$	848475	4663
$m_y$	789758	5058
$\Delta x$	0.84961m	0.00052
$\Delta y$	1.71369	0.00052
$\alpha$	9.6894	0.242

Volba identických bodů u Fabriciový mapy a Kaeriový mapy Moravy. U Fabriciový mapy Moravy a mapy Moravy od Petra Kaeria byla zvolena stejná množina identických bodů



představující 186 bodů z celkového počtu 532 bodů (cca 35%). Řadu sídel se z důvodu nepřesného uvedení názvu nepodařilo identifikovat, v některých oblastech také nebylo možné nalézt dostatečné množství identických bodů. Z transformačního klíče byly vyloučeny body 116 (Mikulčice) a 130 (zřejmě prameny v okolí Nezdenic), které byly zakresleny chybně. V případě Mikulčic činí chyba zákresu cca 30 kilometrů.

Vzájemné polohy identických bodů v obou mapách se liší v intervalu 3-16 pix. (viz kap. 5.1) což svědčí pro fakt, že Kaeriova mapa Moravy zřejmě nebude přímou kopií Fabriciovy mapy, ale bude mapou odvozenou z této mapy. Hodnoty parametrů afinní transformace nalezneme v tab. 2.

Tabulka 2: Hodnoty parametrů afinní transformace Fabriciovy mapy Moravy (vlevo) a mapy Moravy od Petra Kaeria (vpravo).

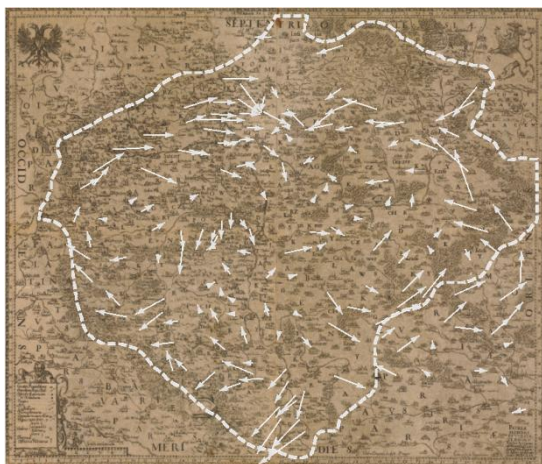
Koeficient	Hodnota	$\sigma$
$m_x$	519627	4396
$m_y$	512725	6213
$\Delta x$	0.42292	0.00085
$\Delta y$	2.68024	0.00085
$\alpha$	22.7796	0.394

Koeficient	Hodnota	$\sigma$
$m_x$	519253	4377
$m_y$	512172	6183
$\Delta x$	0.42697	0.00085
$\Delta y$	2.68201	0.00085
$\alpha$	22.6773	0.395

## 5 Kartometrické analýzy

Cílem kartometrických analýz je ověření geometricko-konstrukčních a kartografických parametrů mapového díla. Vzhledem k faktu, že podkladem pro kartometrické analýzy je pouze podmnožina všech obsahových prvků mapy, budou výsledky ovlivněny volbou identických bodů sloužících pro výpočet transformačního klíče. Nad výše uvedenými mapami byly provedeny následující kartografické analýzy:

- určení vektorů oprav na identických bodech,
- určení polohové chyby mapy,
- určení měřítka mapy,
- analýza stočení mapy v závislosti na geografické poloze,
- analýza měřítka mapy v závislosti na geografické poloze.



Obrázek 3: Vlevo: Vektory opravy na identických bodech v měřítku 2:1 u Kaeriovy mapy Čech. Vpravo: Vektory opravy na identických bodech v měřítku 2:1 u Kaeriovy mapy Moravy.

Výsledky kartometrických analýz jsou uvedeny ve formě grafických výstupů realizovaných v programu MapAnalyst či ve formě tabulek.

## 5.1 Analýza vektorů oprav na identických bodech

Pro výpočet transformačního klíče byla použita afinní transformace náležící do skupiny reziduálních transformací (identické body nejsou po provedení transformace v obou systémech zcela ztotožněny). Na základě velikostí a směru vektorů polohových odchylek lze provést analýzu přesnosti zákresu jednotlivých obsahových prvků mapy. Vektory polohových odchylek na jednotlivých identických bodech v měřítku 2:1 jsou znázorněny na obr. 3. Výsledky analýz ukázaly, že se polohové odchylky na identických bodech pohybovaly v intervalu 1-17km (mapy Čech) a 0.5-25km (mapa Moravy). Seznam pěti nejméně přesně zakreslených prvků v mapách nalezneme v tab. 3 a 4.

*Tabulka 3: Přehled pěti nejméně přesně zakreslených sídel na Kaeriově mapě Čech (vlevo) a Aretinově mapě (vpravo).*

Město	Odchylka [km]	Město	Odchylka [km]
Jihlava	17.4	Jihlava	17.4
Hustopeče	15.1	Dolní Dvořiště	17.2
Dolní Dvořiště	14.6	Dobruška	15.5
Bystřice n. Pernštejnem	13.7	Rychnov n. Kněžnou	15.4
Turnov	13.6	Police n. Metují	15.0

Aretinova mapa Čech a Kaeriova mapa Čech. Obě kartografická díla vykazují podobné výsledky. Hodnoty vektorů oprav na identických bodech se výrazněji zvětšují směrem k okrajům území, hodnoty stočení nevykazují systematickou závislost. Největší polohové odchylky mezi analyzovanou mapou a referenční mapou nalezneme v jižních, jihovýchodních a severovýchodních Čechách. Výraznější odchylka byla zaznamenána u města Jihlava (18 km), u více než 40 měst přesáhly odchylky hodnotu 10km. V mapě Čech od Petra Kaeria nalezneme u většiny obsahových prvků podobně významné chyby v zákresu, lze usoudit, že Aretinova mapa Čech byla předlohou pro mapu Čech od Petra Kaeria. Některé chybné zákresy sídel byly opraveny, jiná sídla jsou naopak zakreslena chybně pouze na Kaeriově mapě (např. město Doksy).

*Tabulka 4: Přehled pěti nejméně přesně zakreslených sídel na mapě Moravy od Petra Kaeria.*

Město	Odchylka [km]
Ostrava	24,1
Brandýs nad Orlicí	22.2
Frydek	18.6
Kamenná	18.5
Rýmařov	16.5

Fabriciova a Kaeriova mapa Moravy. Obě kartografická díla vykazují podobné výsledky, míra shody je výrazně větší než u obou map Čech. Vektory oprav na identických bodech jsou orientovány na první pohled náhodně, při bližším zkoumání však nalezneme jistou systematickosti odpovídající stočení souřadnicového systému analyzované mapy vzhledem k souřadnicovému systému referenční mapy. Největší polohové odchylky mezi analyzovanou mapou a referenční mapou nalezneme v oblasti severní Moravy, Slezska a jihovýchodní Moravy. Ostatní obsahové prvky mapy jsou zakresleny poměrně přesně. Odchylka cca 30km byla zaznamenána u města Mikulčice (zakresleny na chybném místě), které bylo vyjmuta z

transformačního klíče. Mezi identickými body Fabriciovy mapy Moravy a mapy Moravy od Petra Kaeria byly analyzovány polohové odchylky, které byly u cca 130 bodů větší než 4 pixely. Z toho lze dovodit, že diference v poloze těchto bodů nevznikly při skenování, geometrických transformacích rastru či špatnou identifikací identického bodu. Výsledek potvrzuje předpokládaný fakt, že mapa Moravy od Petra Kaeria není jen pouhou kopií Fabriciovy mapy Moravy, ale mapou odvozenou z této mapy. Tisková deska Kaeriové mapy tedy vznikla novým vyrytím. Největší polohové odchylky identických bodů mezi Fabriciovou a Kaeriovou mapou zjištěné u 5 následujících sídel, přepočtené středním měřítkem mapy cca 1:515 000 nalezneme v tab. 5.

*Tabulka 5: Polohové odchylky identických bodů mezi Fabriciovou a Kaeriovou mapou v pixelech/kilometrech pro měřítko 1:515 000.*

Sídlo	$d_{\max}[\text{pix}]$	$d_{\max}[\text{km}]$
Vojkovice	15.4	1,01
Hrušovany	13.1	0.86
Slavětín	12.7	0.83
Slavonice	12.6	0.82
Bystřice p. Lopeníkem	12.2	0.79

## 5.2 Určení polohové chyby map

Střední polohová chyba mapy představuje další významnou charakteristiku přesnosti popisující mapové dílo jako celek. Vstupními veličinami pro její určení jsou střední polohové odchylky jednotlivých identických bodů. Aretinovu mapu Čech lze charakterizovat střední polohovou chybou  $m_p = 7860\text{m}$ , mapu Čech od Petra Kaeria střední polohovou chybou  $m_p = 7819\text{m}$ . Obě hodnoty jsou značně podobné a dokládají, že Aretinova mapa byla obsahovou předlohou Kaeriové mapy Čech. Fabriciovu mapu Moravy lze charakterizovat střední polohovou chybou  $m_p = 8402\text{m}$ , mapu Moravy od Petra Kaeria střední polohovou chybou  $m_p = 8372\text{m}$ . Tyto hodnoty jsou opět velmi podobné a dokládají stejnou přesnost konstrukce obou map. Při absenci geometrických i konstrukčních základů těchto kartografických děl lze polohové odchylky považovat za nízké. Srovnáme-li přesnost zákresu území českých zemí a Moravy, dospějeme k výsledku, že mapa Čech od Petra Kaeria je přesnější než mapa Moravy od Petra Kaeria.

## 5.3 Určení měřítka map a jejich stočení

Při znalosti hodnoty velikosti pixelu představují koeficienty afinní transformace určené v kap. 4.1 měřítková čísla map  $M_x, M_y$  ve směru os x a y. Výsledné měřítkové číslo  $M$  pro každou z map bylo vypočteno jako aritmetický průměr z hodnot  $M_x, M_y$ . U obou map Čech lze nalézt větší diference mezi hodnotami  $M_x, M_y$  (cca 5%) než u map Moravy (cca 1%), obraz českých zemí je ve směru sever-jih poněkud protažen. Měřítko Kaeriové mapy Čech se výrazněji liší od měřítka Aretinovy mapy Čech, rozměry mapového pole jsou cca o 30% menší.

*Tabulka 6: Tabulka měřítkových čísel analyzovaných map.*

Mapa	$M_x$	$M_y$	$M = 0.5(M_x + M_y)$
Aretinova mapa Čech	1:560 259	1:529 273	1:544 766
Mapa Čech od Petra Kaeria	1:848 475	1:789 758	1:819 167
Fabriciova mapa Moravy	1:519 627	1:512 725	1:516 176
Mapa Moravy od Petra Kaeria	1:519 253	1:512 172	1:515 712



Hodnoty stočení mapy  $\omega$  lze nalézt v kap. 4.1, pro Kaeriovu mapu Čech činí cca  $9.7^\circ$ , pro mapy Moravy cca  $22.7^\circ$ . Dosažené výsledky, viz tab. 6, jsou v souladu s údaji dostupnými v literatuře. U obou map českých zemí činí odchylka vůči publikovanému měřítku cca 7%, u obou map Moravy cca -3%.

#### 5.4 Analýza stočení map v závislosti na geografické poloze

Stočení mapy představuje proměnnou veličinu, která je funkcí geografické polohy bodu. Hodnota stočení v konkrétním bodě vypovídá o lokálních deformacích analyzovaného mapového díla vzhledem k referenční mapě. Vzhledem k absenci geometricko-konstrukčních základů mohou být některé části mapového pole nepřírozně stočeny vůči skutečnosti. Mapové prvky si v takovém případě nezachovávají vzájemnou geografickou polohu ve smyslu orientace k světovým stranám. Tato veličina často vykazuje značnou míru korelace se změnou měřítka v závislosti na geografické poloze bodu, obě veličiny indikují chyby geometricko-konstrukčního rázu. Pro znázornění závislosti stočení mapy na geografické poloze bodu byly použity izočáry s krokem  $2^\circ$ . Tento krok byl realizován v open-source software MapAnalyst, který disponuje rozsáhlým aparátem pro analýzy starých map. Využívá techniku multikvadratické interpolace, proces analýzy kartografického díla je plně automatizován.

Izočáry jsou vzhledem k použité metodice generovány uvnitř konvexní obálky množiny identických bodů, v okrajových částech území se vyskytují místa, která jimi nejsou pokryta. Vzhledem k faktu, že obě mapy Čech znázorňují i západní a střední část Moravy, byly kartometrické analýzy provedeny i na těchto územích.



Obrázek 4: Vlevo: Izočáry měřítka  $\frac{M}{10^3}$  Aretinovy mapy Čech vzhledem k referenční mapě. Vpravo: Izočáry stočení Aretinovy mapy Čech vzhledem k referenční mapě.

Aretinova Mapa Čech a mapa Čech Petra Kaeria. Průběh izochar je u obou kartografických děl podobný, vykazuje však menší míru shody než u níže posuzované dvojice map Moravy. Obě mapy Čech dosahují vzhledem k tomuto kritériu vyšší přesnosti než mapy Moravy, hodnoty stočení se mění v intervalu  $-4^\circ$  až  $20^\circ$ . Na základě průběhu izochar je patrné, že maximálních hodnot stočení je dosaženo v jižní a západní části Čech ( $+10^\circ$  vzhledem k průměrnému stočení), minimálních hodnot ve východních Čechách ( $-15^\circ$  vzhledem k průměrnému stočení).

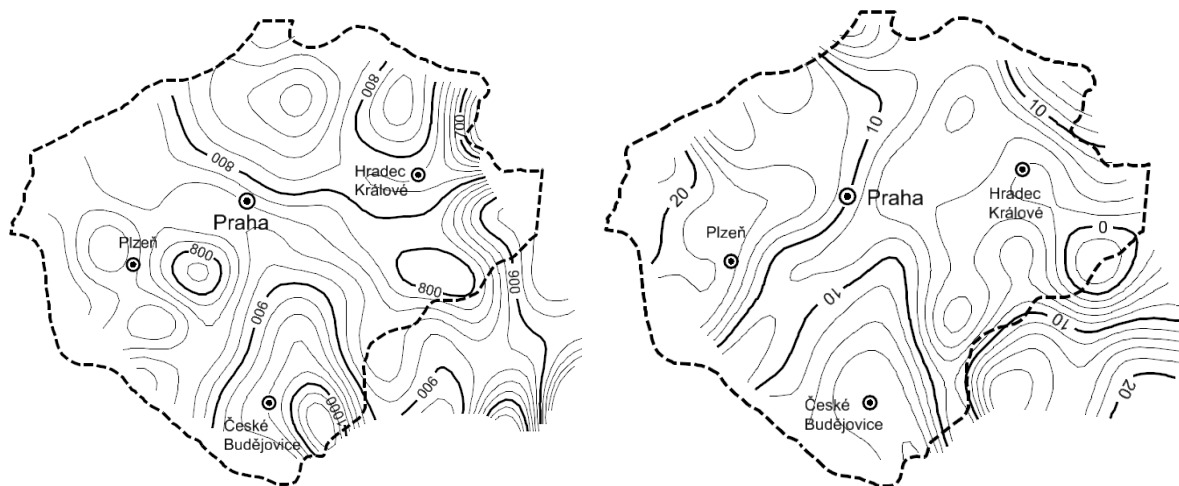
Na rozhraní Čech a Moravy hodnota stočení prudce roste, znázornění území západní části Moravy lze z důvodu rychlých změn stočení považovat za méně kvalitní. Nejlepší vlastnosti mají obě kartografická díla v oblastech kolem rovnoběžky se zeměpisnou šířkou 50°. Zákresy izochar Aretinovy mapy Čech s krokem 2° nalezneme na obr. 4, zákresy izochar mapy Čech od Petra Kaeria na obr. 5.

Fabriciova mapa Moravy a mapa Moravy od Petra Kaeria. Rozdíly v průběhu izochar obou kartografických děl jsou natolik nevýznamné, že nemá smysl posuzovat je samostatně. Průběh izochar naznačuje, že se stočení mapy poměrně výrazně mění v závislosti na geografické poloze bodu. V jihozápadní části Moravy se hodnota stočení zvětšuje až na cca 40°, směrem na sever a severovýchod se výrazně zmenšuje. V severozápadní části Moravy hodnota stočení činí cca 6°, na Ostravsku nabývá dokonce záporných hodnot, a to -6°. Tento výsledek je způsoben nedostatkem identických bodů (pouze 3 pro Slezsko) a evidentními chybami v zákresu polohy některých měst na severní Moravě, srovnej s tab. 5. Jihovýchodní Morava se naopak pohybuje v mírně nadprůměrných hodnotách cca kolem 30°. Zajímavostí je fakt, že podél středního poledníku se zeměpisnou délkou zhruba 16°50' se v severojižním směru hodnoty rotace příliš nemění. Z geometrického hlediska lze parametry obou map hodnotit jako nepřilíh uspokojivé, hodnoty stočení různých částí Moravy se liší až o 50°. Zákresy izochar s krokem 2° nalezneme na obr. 6.

### 5.5 Analýza měřítka mapy v závislosti na geografické poloze

Analýza změny měřítka (ve smyslu poměru dvojice odpovídajících diferenciálních délek) v závislosti na geografické poloze bodu je dalším důležitým ukazatelem geometrické přesnosti kartografického díla. Ukazuje lokální délkové deformace analyzované mapy vzhledem k referenční mapě a doplňuje tak předchozí analýzy. Vychází z předpokladu, že mapové prvky v analyzované mapě a v referenční mapě si nemusejí zachovávat vzájemnou polohu a tím pádem se mění poměry vzdáleností mezi dvojicemi odpovídajících si prvků v obou mapách. Tyto hodnoty jsou analyzovány v závislosti na geografické poloze bodů. Výsledky analýzy měřítka významně korelují s výsledky analýzy hodnot vektorů polohových odchylek na identických bodech. Pro znázornění závislosti měřítka na geografické poloze bodu byl opět použit software MapAnalyst, výsledky jsou vyjádřeny za pomoci izochar s krokem 20 000.

Aretinova Mapa Čech a mapa Čech Petra Kaeria. Průběh izochar je u obou kartografických děl podobný, významnější odchylky nalezneme pouze v severních a západních Čechách. U Aretinovy mapy Čech leží hodnoty měřítka v intervalu 1:450 000 až 1:700 000 v severojižním směru, ve směru západ-východ jsou tyto změny výrazně menší. Nejmenší hodnoty měřítka byly dosaženy v jihočeském kraji (1:700 000), nejvyšší hodnoty v severovýchodních Čechách (1:440 000). U mapy Čech od Petra Kaeria kolísají hodnoty měřítka v intervalu 1:700 000 (severovýchodní Čechy) až 1:1 000 000 (jihočeský kraj) v severojižním směru, ve směru západ-východ jsou jejich změny také výrazně menší. Analýza změny měřítka doplňuje výsledky analýzy změny rotace, u míst s výraznou odchylkou od průměrného stočení docházelo i ke značnému zkreslení délek. Výjimku tvořila oblast západních Čech, kde nedochází k výraznějším změnám měřítka, avšak stočení dosahují nadprůměrných hodnot. Nejlepší vlastnosti mají obě kartografická díla v oblastech kolem rovnoběžky se zeměpisnou šířkou 50°. Zákresy izochar  $\frac{M}{10^3}$  Aretinovy mapy Čech s krokem 20 000 nalezneme na obr. 5, zákresy izochar mapy Čech od Petra Kaeria na obr. 6.



Obrázek 5: Vlevo: Izočáry měřítka  $\frac{M}{10^3}$  mapy Čech od Petra Kaeria vzhledem k referenční mapě. Vpravo: Izočáry stočení mapy Čech od Petra Kaeria vzhledem k referenční mapě.

Fabriciova mapa Moravy a mapa Moravy od Petra Kaeria. Průběh izočar měřítka je pro obě kartografická díla prakticky totožný. Nejmenší hodnoty měřítka cca 1:450 000 jsou dosaženy v jižní a jihovýchodní části Moravy. Směrem na sever hodnota měřítka nejprve roste na hodnotu cca 1:600 000, následně klesne na hodnotu 1: 460 000 a na severním okraji území opět výrazně roste. Na severozápadní Moravě dosahuje měřítka hodnot 1:750 000, na Ostravsku pak extrémních hodnot až 1: 860 000. Kolem poledníku se zeměpisnou šířkou 16°50' se, stejně jako v předchozím případě, hodnoty měřítka výrazněji nemění. Tato analýza potvrzuje výsledky analýzy změny rotace a naznačuje nepříliš uspokojivé geometricko-konstrukční parametry obou kartografických děl. V místech, kde dochází k výrazným změnám v stočení mapy, dochází i k výrazným změnám měřítka mapy. Hodnoty měřítka se na mapovém poli ve směru západ-východ mění o více než 90%. Zákresy izočar  $\frac{M}{10^3}$  s krokem 20 000 nalezneme na obr. 6.

## 6 Závěr

Cílem kartometrických analýz bylo zhodnocení geometricko-konstrukčních parametrů čtyř kartografických děl znázorňujících území Čech a Moravy. Z výsledků kartometrických analýz vyplývá známý fakt, že žádná z map nebyla konstruována na geodetických základech. Důkazem je střední polohová chyba nabývající hodnoty cca 8 kilometrů a výrazné změny měřítka a rotace v různých částech mapového pole. Obsahová i geometrická nepřesnost mapy byly kritizovány již v době svého vzniku např. J. A. Komenským<sup>7</sup> či moravskou šlechtou<sup>8</sup>, Fabriciova mapa Moravy byla mnohokrát přepracovávána a doplňována.

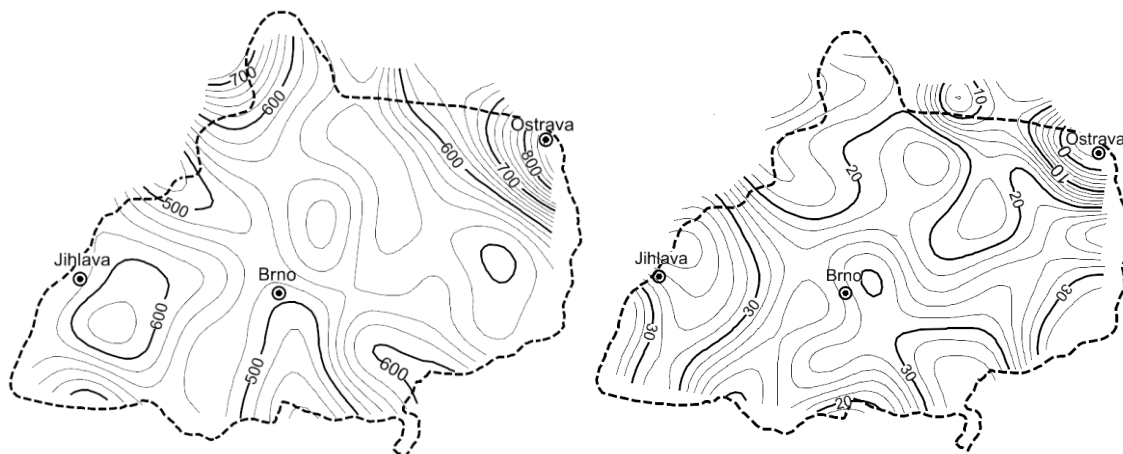
Výsledky kartometrických analýz také potvrdily předpoklad, že mapa Moravy od Petra Kaeria není kopií Fabriciovy mapy, ale mapou z ní odvozenou. Tiskové desky Kaeriový mapy

<sup>7</sup> Jan Ámos Komenský Ladislavu Velenovi ze Žerotína na prvním vydání Komenského mapy o Fabriciově mapě a mapách z ní odvozených (Kuchař, 1959): "...Především se napořád vypouštějí mnohá místa významného jména, nepatrná se uvádějí, jména se divně porušují a což je nejvážnější, polohy a vzdálenosti míst se málokde srovnávají se skutečností, takže těchto map se téměř použít nedá..."

<sup>8</sup> Albrecht Černohorský z Boskovic o Fabriciově mapě (Kuchař, 1959): "...v některých místech by mělo být pohoří, ale v mapě je místo toho položena krajina rovná..."

Moravy vznikly novým vyrytím, poloha řady měst vykazuje odchylky, které nevznikly při skenování, geometrických transformacích rastru či špatnou identifikací identického bodu.

V případě mapy Čech od Petra Kaeria ve vztahu k Aretinově mapě Čech nelze přehlednout značnou obsahovou i geometrickou podobnost obou kartografických děl. Vzhledem k výrazným shodám hodnot kartometrických charakteristik se potvrdil předpoklad, že Aretinova mapa Čech byla předlohou či podkladem Kaeriovu mapy Čech. Obě kartografická díla vykazují menší míru shody než mapy Moravy, rozdíly jsou patrné i při jejich vizuálním srovnání. Celkově lze mapy Čech hodnotit jako přesnější.



Obrázek 6: Vlevo: Izočáry měřítka  $\frac{M}{10^3}$  mapy Moravy od Petra Kaeria vzhledem k referenční mapě. Vpravo: izočáry stočení mapy Moravy od Petra Kaeria vzhledem k referenční mapě.

Dosažené výsledky byly ovlivněny řadou různých faktorů. Za nejvýznamnější lze považovat vliv volby identických bodů. Poloha identických bodů byla volena tak, aby rovnoměrně pokrývaly celé území (což se vzhledem k nerovnoměrné hustotě mapové kresby nepodařilo zcela zaručit) a jejich poloha respektovala historický a geografický vývoj území. U map Moravy hrálo významnou roli malé množství identických bodů (a s tím i související nepřesnost zákresu v mapě), avšak tento fakt zřejmě neovlivnil výrazněji dosažené výsledky kartometrických analýz. Množiny identických bodů lze považovat obsahem, polohou i počtem identických bodů za dostatečně reprezentativní vzorek. Technika multikvadratické interpolace využívaná programem MapAnalyst však představuje pouze jeden z možných matematických modelů, pro konstrukci spojitého modelu nad vstupní množinou bodů lze využít i jiné techniky (IDW, Kriging).

## 7 Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu grantu GAČR č. 205/07/0385s názvem “Kartometrická a semiotická analýza a vizualizace starých map českých zemí z období 1518-1720”. Autoři děkují Ing. Petru Janskému, CSc, z Mapové sbírky Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za poskytnutí rastrových dat originálu Aretinovy mapy Čech, mapy Čech od Petra Kaeria, Fabriciovy mapy Moravy, mapy Moravy od Petra Kaeria a dále za cenné podněty a připomínky.

## Reference

- [1] BEINEKE, D. (2000): Verfahren zur analysis Genauigkeitsanalyse fur AltKarten, Munchen.
- [2] BEINEKE, D. (2007): Zur Bestimmung lokaler Abbildungsverzerrungen in Altkarten mit Hilfe der multiquadratischen Interpolationsmethode, Neubiberg.
- [3] CAJTHAML, J. (2007): Nové technologie pro zpracování a zpřístupnění starých map, doktorská disertační práce, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.
- [4] JENNY, B. (2006): MapAnalyst - a digital tool for the analysis of the planimetric accuracy of historical maps.
- [5] JENNY B., WEBER A., HURNI L. (2007): Visualizing The Planimetric Accuracy of Historical Maps with Map Analyst, Zurich.
- [6] KUCHAR, K. (1961): Early Maps of Bohemia, Moravia and Silesia, 1961, Praha.
- [7] KUCHAR, K. (1958): Naše mapy odedávna do dneška, Praha.
- [8] KUCHAR, K. (1959): Vývoj mapového zobrazení českých zemí, Praha.
- [9] KUCHAR, K. (1959): Mapy českých zemí do poloviny 18. století, Praha.
- [10] VEVERKA, B.; ČECHUROVÁ, M. (2007): Kartografické metody výzkumu a jejich uplatnění v geografii. In: sborník konference Metody geografického výzkumu. Miscellanea geographica 13.



