

Kartometrická analýza souladu polohopisné kresby a kilometrové sítě S-JTSK ve SM75

Ing. Pavel Seemann,
katedra mapování a kartografie
FSv ČVUT v Praze

MDT

Abstrakt

Problematika hodnocení přesnosti zákresu polohopisné složky speciálních map 1 : 75 000 vůči zobrazené kilometrové síti S-JTSK. Výpočet polohových odchylek je realizován pomocí kontrolních bodů měřených ve speciálních mapách a v referenčních mapách (KM, RETM25). Podstatou výpočtu je posloupnost podobnostních a afinních transformací. Transformace odstraňují vliv nepřesnosti zákresu bodů kilometrové sítě S-JTSK, které jsou použity jako identické, na kontrolní body, a dále vliv srážky mapy. Zjištěné polohové odchylky analyzovány pomocí statistických metod. K výpočtům posloužil software MATLAB.

Cartometric Analysis of Correspondence between Planimetric Components and Kilometric S-JTSK Grid of Special Maps

Summary

The question of accuracy valuation between planimetric components of Special Maps 1 : 75 000 and the projected kilometric S-JTSK grid. The calculation of position deviations is made by a set of control points taken from Special Maps and reference maps (KM, RETM25). The sequence of linear and affine transformations is fundamental to the calculation. The influence of inaccuracies of the projected S-JTSK kilometric grid, which is used as the source of identical points, on control points and the shrinkage of map sheets are suppressed by these transformations. The detected position deviations are analysed by statistical methods in MATLAB software.

1. Úvod

Speciální mapy 1 : 75 000, podobně jako další historická mapová díla, mají význam i v současnosti. S jejich pomocí můžeme například sledovat vývoj krajiny, posuzovat změny v zalesnění, provádět rekonstrukci starých cest a říčních toků, zkoumat zaniklé objekty či vyhledávat místa podle již nepoužívaného názvosloví. Avšak tyto činnosti vyžadují dostatečné vědomosti o vlastnostech mapy. Kromě informací o geodetických základech, kartografickém zobrazení, referenční ploše a dalších matematických atributech je nutné znát i údaje neteoretické povahy, jako je třeba přesnost zákresu polohopisu nebo srážka mapy. A právě problematikou hodnocení přesnosti zákresu polohopisu speciálních map vůči skutečnosti, kterou reprezentuje souřadnicový systém S-JTSK, se zabývá tento článek, vycházející z diplomové práce autora [1].

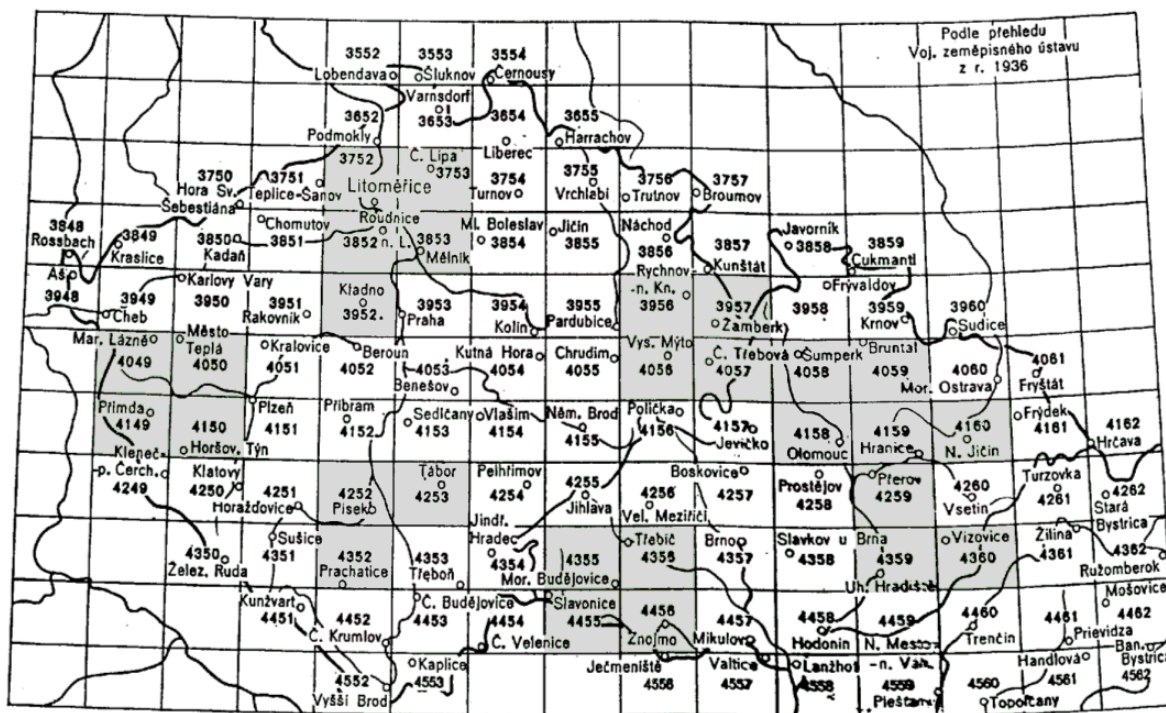
2. III. vojenské mapování a speciální mapa

Ke třetímu vojenskému mapování přistoupilo Rakousko-Uhersko po prohrané prusko-rakouské válce, která proběhla v roce 1866. Mapování řídil Vojenský zeměpisný ústav ve Vídni. Mapovalo se v měřítku 1 : 25 000 (topografická sekce). Jako referenční plocha byl použit Besselův elipsoid. Dále byl zvolen jadranský výškový systém a rovinné souřadnicové systémy Gusterberg a Sv. Štěpán.

Zobrazení do roviny bylo stanoveno návodem zpracovaným pro měřítko 1 : 75 000 – tzv. speciální mapu, která se skládala ze čtyř mapových sekcí. Území monarchie bylo rozděleno poledníky a rovnoběžkami na sférické lichoběžníky o rozměrech 15' zeměpisné šířky a 30' zeměpisné délky (vztažené k Ferrskému poledníku). Každý tento sférický lichoběžník byl zobrazen jako rovinný rovnoramenný lichoběžník. Mapové listy speciální mapy se označují čtyřciferným číslem. První dvě číslice značí pořadí vrstvy a poslední dvě sloupce.

Konstrukce mapového rámu vycházela z podmínky, že střední poledník a okrajové rovnoběžky jsou nezkreslené. Další čáry zeměpisné sítě uvnitř listu vznikaly lineární interpolací na zmíněných nezkreslených čarách. Použitá konstrukce má ale mnoho nevýhod. Jednotlivé mapové listy nelze složit v souvislý celek. Rovněž zkraslení na styku dvou speciálních map je značné.

Po vzniku Československa v roce 1918 převzal z Vídně všechny podklady popsaných map Vojenský zeměpisný ústav v Praze, který provedl jejich reambulanci, a kdy se, mimo jiné, do většiny map doplnila kilometrová síť S-JTSK.



Obr. 1 Poloha mapových listů pro hodnocení

3. Metodika hodnocení souladu

Podstatou metodiky řešení bylo porovnání souřadnic identických kontrolních bodů v Křovákově zobrazení získaných ze skenů papírových map s nezávislým, řádově přesnějším zdrojem – katastrální mapou a rastrovými ekvivalenty topografických map 1 : 25 000, a dále statistické zhodnocení zjištěných polohových odchylek. Grafické souřadnice

kontrolních bodů byly opraveny o vliv srážky mapy a převedeny do systému S-JTSK afinní transformací s vyrovnáním. Každý kontrolní bod byl transformován samostatně pomocí čtyř identických bodů – bodů zobrazené kilometrové sítě, jejichž skutečná poloha v S-JTSK se zjišťovala pomocí posloupnosti podobnostních transformací bez vyrovnání.

3.1 Kartometrická měření

Ze všech speciálních map, splňujících podmínku zobrazené kilometrové sítě S-JTSK, které pokrývají území České republiky, bylo vybráno pro účely hodnocení dvacet osm mapových listů v rastrové formě v rozlišení 400 DPI (*Obr. 1*).

Na každém mapovém listě se zvolilo pět kontrolních bodů polohopisu. A to přibližně v rozložení puntíků, jaké můžeme nalézt na hrací kostce pro hodnotu pět. Konkrétní polohy kontrolních bodů byly vybírány s ohledem na co největší jednoznačnost v identičnosti. Tento požadavek splňují dva typy bodů – křížení komunikací a kostely či kaple.

Jako zdroj referenčních souřadnic kontrolních bodů v S-JTSK posloužil mapový server IZGARD, jenž nabízí nástroje pro vyhledávání a měření souřadnic bodů nad daty RETM25. Jiným použitelným zdrojem je katastrální mapa připojená pomocí WMS služby poskytované ČÚZK do vhodného GIS klienta. Střední polohová chyba dvojího měření referenčních souřadnic nesměla překročit 15 m. Kontrolní body, pro které byla tato mez překročena, byly přeměřeny nebo nahrazeny jinými, vhodnějšími.

Pro odečítání grafických souřadnic bodů byl vybrán program MicroStation a z něj spuštěný program Groma, jenž sloužil k záznamu dat. Na každém mapovém listě se třikrát změřily:

- rohy mapového rámu
- vybrané body kilometrové sítě S-JTSK (rohy čtverců sítě v nichž leží kontrolní body)
- kontrolní body polohopisu

Střední chyby měření grafických souřadnic jsou vzhledem k měřítku mapy a účelu hodnocení zanedbatelné. Zdaleka nepřekračují desetinu milimetru v rozměrech mapového listu.

3.2 Metodika hodnocení přesnosti zákresu sítě S-JTSK ve SM75

Pro potřeby výzkumu zákresu sítě S-JTSK bylo použito následující zjednodušení.

Vlastnosti polyedrického zobrazení, ve kterém byly speciální mapy vyhotoveny, se zanedbají a místo něj se mapa uvažuje v Křovákově zobrazení.

Stanovení tohoto předpokladu vychází z měřítka speciální mapy, pro které lze považovat úhlová a délková zkraslení za zanedbatelná a to jak v polyedrickém, tak i v Křovákově zobrazení. Dají se tedy zaměnit, což umožní snadnější výpočet.

V první fázi bylo nutné určit teoretické souřadnice rohů mapového listu a bodů kilometrové sítě v S-JTSK. Zeměpisné souřadnice rohů a středů horního a dolního rámu mapy se převedly do Křovákova zobrazení. Z těchto hodnot byly určeny lineární interpolací teoretické souřadnice bodů zobrazené čtyřkilometrové sítě na levém a pravém rámu a uvnitř mapového pole. Body na horním a dolním rámu byly interpolovány kvadraticky.

V druhém kroku se stanovily rozměry mapového listu neovlivněné srážkou papíru. Délky stran získané Pythagorovou větou ze souřadnic S-JTSK byly převedeny do nulového horizontu a vyděleny 75. Získané hodnoty odpovídají rozměrům mapového listu v milimetrech.

První z řady transformací použitých při výpočtu převedla teoretické souřadnice bodů sítě z S-JTSK do systému mapy. Využita byla obyčejná podobnostní transformace. Identickými body byly protilehlé rohy mapového listu.

Následovaly čtyři podobnostní transformace bez vyrovnání, které převedly teoretické souřadnice bodů sítě na čtyřech rámech ze systému mapy do systému měření grafických souřadnic. Identickými body byly příslušné rohy mapového listu. Tento krok připravil data pro odstranění vlivu srážky papíru uvnitř mapového pole.

Vliv srážky mapy na měřené grafické souřadnice bodů kilometrové sítě S-JTSK byl potlačen několika podobnostními transformacemi bez vyrovnání. Nejprve se čtyřmi transformacemi převedly měřené souřadnice bodů sítě na rámu do systému mapy. Postup výpočtu byl velmi podobný tomu z předchozího odstavce. Rozdíl byl v tom, že se transformovalo ze systému měření do systému mapy a do matice podrobných bodů se dosazovaly naměřené souřadnice. Naměřené body sítě uvnitř mapové kresby o stejné předpokládané hodnotě souřadnice X leží přibližně na přímkce. Krajními body těchto přímek jsou body na rámu, u kterých už byla známá jejich teoretická poloha v systému měření i v systému mapy (předchozí dva kroky). Odpovídající si krajní body byly použity jako identické pro transformaci příslušných naměřených bodů do systému mapy. Touto metodou transformace po přímkách byly získány naměřené souřadnice sítě S-JTSK z vnitřku mapového pole v systému mapy bez vlivu srážky.

Poslední transformace převedla naměřené hodnoty opravené o vliv srážky ze systému mapy do systému S-JTSK, kde identickými body byly protilehlé rohy mapového listu. Tyto souřadnice pak bylo možné konfrontovat s těmi teoretickými.

Celá posloupnost podobnostních transformací bez vyrovnání dávala souhrnně lepší výsledky než jeden výpočet afinní transformace s vyrovnáním. Všechny výpočty uvedené v této části tedy ve zkratce určovaly skutečné souřadnice bodů čtyřkilometrové sítě S-JTSK, které jsou zobrazeny ve speciálních mapách.

3.3 Metodika hodnocení polohového souladu mapové kresby a sítě S-JTSK ve SM75

Každý kontrolní bod polohopisu leží ve čtverci zobrazené sítě S-JTSK. Všechny vrcholy těchto čtverců se nacházejí uvnitř mapové kresby. K jakémukoliv kontrolnímu bodu bylo možné podle metodiky uvedené v 3.2 určit skutečné souřadnice čtveřice bodů sítě v S-JTSK.

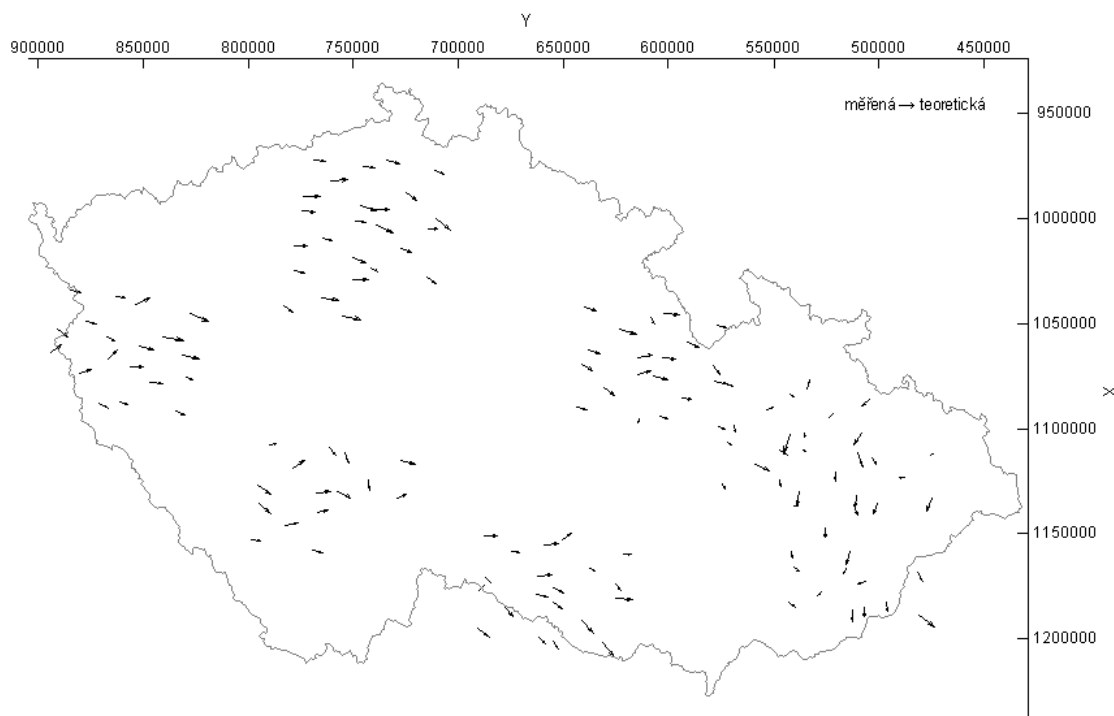
Jednotlivé kontrolní body se postupně transformovaly do Křovákových souřadnic. Použita byla afinní transformace s vyrovnáním a to pro každý kontrolní bod samostatně. Typ transformace byl zvolen s ohledem na předpokládanou, odlišnou srážku mapy ve dvou směrech. Identickými body pro výpočet byly zmíněné vrcholy čtverců sítě S-JTSK.

V této fázi byly známy souřadnice kontrolních bodů polohopisu v systému S-JTSK získané z měření na speciální mapě. Srovnáním těchto hodnot s těmi teoretickými z RETM25 a katastrálních map, tedy výpočtem rozdílů souřadnic ve smyslu teoretická mínus měřená se určily velikosti chybových vektorů.

Pro rozdíly (posuny) byla stanovena jejich průměrná hodnota, kterou lze taktéž chápat jako odhad systematické chyby polohy kontrolních bodů. Dále pak výběrové střední (náhodné) chyby a z nich střední souřadnicová chyba.

Soubory posunů dY a dX se následně statisticky otestovaly. Ověřena byla jejich normalita pomocí centrálních momentů, Lillieforsova, Jarquerova-Beraova testu a Pearsonova testu dobré shody. Kromě toho se vypočítal korelační koeficient mezi posuny dY a dX a vyšetřilo se zda výběr odpovídá základnímu výběru s nulovým koeficientem korelace.

Statisticky hodnoceny byly soubory posunů všech kontrolních bodů. Dále soubory z Čech a západní Moravy, které neobsahovaly posuny kontrolních bodů, u nichž byly teoretické souřadnice měřeny pouze jednou a příliš odlehlé posuny. Mimo to byly samostatně testovány soubory posunů ze severní a východní Moravy. To vše za účelem vyloučení pochybných nebo nekompaktních dat. Na závěr byly testovány soubory posunů kontrolních bodů po menších celcích (např. čtveřicích mapových listů) a soubory posunů bodů kilometrové sítě S-JTSK.



Obr.2 Padesátkrát zvětšené polohové odchylky kontrolních bodů

4. Výsledky výzkumu

Zákres kilometrové sítě S-JTSK uvnitř pole speciálních map je přesný. Za správný lze považovat i levý a pravý rám. Pouze body na horním a dolním rámu jsou zobrazeny nepřesně z důvodu zanedbání křivosti obrazu rovnoběžek, které nahrazují v konstrukci mapového listu úsečky. Soubory rozdílů teoretických a měřených souřadnic z vnitřku mapových listů mají normální rozdělení, nejsou korelované, pro oba směry os mají střední hodnotu velmi blízkou nule a střední chybu přibližně 13 m – viz Tab. 1.

Tab. 1 Přesnost zákresu čtyřkilometrové sítě S-JTSK uvnitř mapových listů [m]

\overline{dY}^*	\overline{dX}^*	s_{dY}^*	s_{dX}^*	s_{dYdX}^*	n
-2	-3	13	13	13	640

Co se týče přesnosti zákresu polohopisu vůči síti S-JTSK, ukazují statistické testy souborů posunů z dat všech kontrolních bodů, že soubor posunů pro souřadnici Y není výběrem z normálního rozdělení. A i když soubor posunů dX je, není možné se příliš spoléhat na vypočtené odhady středních hodnot a středních náhodných chyb (Tab. 2). Taktéž bylo zjištěno, že výběrový koeficient korelace neodpovídá výběru ze základního souboru s koeficientem korelace rovným nule. To celé přeneseně znamená, že pro celou Českou republiku mají polohopisné posuny spíše náhodný směr a velikost.

Tab. 2 Přesnost zákresu polohopisu vůči síti S-JTSK pro všechny posuny [m]

\overline{dY}	\overline{dX}	s_{dY}	s_{dX}	s_{dYdX}	n
-77	38	60	47	54	139

Pojem „spíše náhodný směr“ ale neplatí pro dvacet mapových listů z Čech a západní Moravy. Soubory posunů kontrolních bodů bez dat z východu republiky, nekompaktních a pochybných údajů už kritéria pro normalitu splňují. Rovněž výběrový koeficient korelace odpovídá výběru ze základního souboru s koeficientem korelace rovným nule. Přesnost zákresu kontrolních bodů je asi třikrát horší než u sítě S-JTSK, jak je vidět v Tab. 3. Polohopis se vůči skutečným souřadnicím Křovákova zobrazení posunuje zhruba o 106 metrů po ose Y směrem od počátku a o zhruba 30 metrů po ose X směrem k počátku. Obou souborech tedy působí systematické chyby přibližně konstantní hodnoty. Významně ale pouze ve směru osy Y.

Tab. 3 Přesnost zákresu polohopisu vůči síti S-JTSK pro posuny z Čech a záp. Moravy [m]

\overline{dY}	\overline{dX}	s_{dY}	s_{dX}	s_{dYdX}	n
-106	30	37	39	38	90

Testování dále ukázalo, že posuny kontrolních bodů ze severní a východní Moravy (sloupce 58-60) se svými charakteristikami liší oproti datům ze západnějších sloupců (Tab. 4). Avšak kritéria pro normalitu taktéž splňují.

Tab. 4 Přesnost zákresu polohopisu vůči síti S-JTSK pro posuny z sev. a vých. Moravy [m]

\overline{dY}	\overline{dX}	s_{dY}	s_{dX}	s_{dYdX}	n
-8	60	49	51	50	40

Z rozboru posunů kontrolních bodů pro čtveřice mapových listů plyne, že posuny se systematicky nemění v závislosti na poloze. A to ani od západu na východ, ani od severu na jih. Dobrou představu o tomto poznatku podává Obr. 2.

Jako závěrečné stanovisko lze konstatovat, že polohopis speciálních map je posunut vůči ideálním Křovákovým souřadnicím s přibližně konstantní systematickou chybou, která se však liší pro území Čech se západní Moravou a území severní a východní Moravy. Její velikost a směr nezávisí na poloze. V malém počtu případů mohou být polohové odchylky i zcela nepředvídatelné.

LITERATURA:

- [1] SEEMANN, P. (2008) : *Kartometrická analýza polohového souladu mapové kresby a kilometrové sítě na speciálních mapách SM75*. [Diplomová práce na katedře mapování a kartografie FSV ČVUT v Praze, vedoucí prof. Ing. Bohuslav Veverka, DrSc].
- [2] VEVERKA, B., ZIMOVÁ, R. (2008) : *Topografická a tematická kartografie*. 198 s. Vydavatelství ČVUT, Praha.
- [3] VEVERKA, B., ČECHUROVÁ, M. (2009) : *Georeferencing and Distortion Analysis of the 1 : 75 000 Czech Special Maps of the Third Military Survey*. In Digital Approaches to Cartographic Heritage. Hellenic Cartographic Society. Venezia, Italy.
- [4] VEVERKA, B., ČECHUROVÁ, M. (2009) : *Cartometric Analysis of the Czechoslovak Version of 1 : 75 000 Scale Sheets of the Third Military Survey (1918-1956)*. In Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, vol 44 (1), Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary.
- [5] MOLNÁR G., TIMÁR G. (2009) : *Mosaicking of the 1:75 000 sheets of the Third Military Survey of the Habsburg Empire*. In Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, vol 44 (1), Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary.

Příspěvek podpořen grantem GAČR, 205/07/0385 Kartometrická a semiotická analýza a vizualizace starých map českých zemí z období 1518-1720.