

Bohuslav VEVERKA, Monika ČECHUROVÁ

GEOREFERENCOVÁNÍ MAP II. A III. VOJENSKÉHO MAPOVÁNÍ

Veverka, B., Čechurová, M.: Georeferencing of the Maps from 2^d and 3^d Military Mapping. Kartografické listy, 2003, 11, 7 figs., 8 refs.

Abstract: Introduction into the problem of the history, using and accuracy of the Austrian topographic maps from the periods of II^d. and III^d. Military mapping. Geodetical basis, cartographical projections, map composition and contents, coordinate systems, software mapping calculator – MATKART and its properties are discussed.

Keywords: Austrian historical military mapping, map georeferencing, map compositions, map projections, coordinate systems, coordinate transformations, software MATKART.

Úvod

Historická vojenská mapování proběhla na území Rakousko-Uherské říše ve třech etapách. V jejich průběhu byly též zmapovány historické země Koruny české, tj. Čechy, Morava a Slezsko. **Prvé mapování** z let 1763–1785 je nazýváno Josefské. S ohledem na měřítko mapování 1:28 800 se jednalo o nejpodrobnější mapování v Evropě, které ale nebylo podloženo kvalitními geodetickými základy a tak se nepodařilo sestavit ucelený mapový obraz monarchie. Přesné georeferencování těchto map v globálním měřítku je z technického hlediska proto velmi problematické.

Druhé mapování Františkovo proběhlo v letech 1807–1869 současně s budováním stabilního katastru a bylo založeno na výsledcích astronomicko-geodetických prací. Mapová kresba je již prostorově lokalizovatelná a lze zkoumat její věrohodné kartometrické charakteristiky. Toto mapování pokrývá dobu od napoleonských válek až po bitvu u Hradce Králové v roce 1866, která změnila zásadním způsobem mapu Evropy.

Třetí vojenské mapování bylo provedeno na území Rakousko-Uherska v letech 1870–1883. Za toto krátké časové období vzniklo ucelené mapové dílo na svou dobu velmi vysoké kvality. Bylo proto po roce 1918 převzato i pro nově vzniklou samostatnou Republiku Československou a až do druhé světové války udržováno (viz reambulace v letech 1920–1934, revize v letech 1919–1937). Výsledky tohoto mapování byly našim státním mapovým dílem až do roku 1957, kdy byly nahrazeny modernější a dosud používanou vojenskou topografickou mapou v Gaussově-Krügerově zobrazení.

Z hlediska obsahového tyto mapy zachycují zhruba půl století vývoje geografických prvků na našem území a jsou proto často jediným a velmi vyhledávaným zdrojem informací z tohoto období. Aby však bylo možné využít historické rakouské topografické mapy pro digitální kartografii, je nutné vyjádřit prostorovou polohu zobrazených geografických prvků pomocí souřadnic v geodetických referenčních systémech (tj. provést georeferencování).

Předložený článek shrnuje základní charakteristiku historických rakouských topografických map II. a III. mapování, podloženou novými výpočty. Dále předkládá výsledky z oblasti začleňování speciálních a generálních rakouských vojenských topografických map do novodobých souřadnicových systémů. Popsán je speciální aplikační software MATKART–HTM, sloužící pro výpočty v kladech listů těchto map.

1. II. vojenské mapování (Františkovo 1807–1869)

Druhé vojenské mapování na území soudobé České republiky proběhlo v letech 1819–1858. Jeho vzniku předcházela vojenská triangulace z let 1806–1811. Na rozdíl od I. vojenského mapování zde již byly vytvořeny geodetické základy, které sloužily nejen mapování topografickému ale i katastrálnímu, které bylo polohově velmi cenným podkladem. Pro II. vojenské mapování bylo zachováno měřítko 1:28 800, které bylo použito již v I. vojenském mapování. Dále je zajímavým faktem, že pro toto na svoji dobu velmi podrobné měřítko se při mapování používala metoda grafického protínání pomocí měřického stoku, krokování vzdáleností a výškopis se kreslil svahovými šrafami. Jeden topograf zmapoval za letní období cca 690 km². Tato vysoká výkonnost byla umožněna především existencí zmenšené podkladové katastrální mapy.

1.1 Geodetické základy

Veškeré měřické práce vycházely z předem zaměřeného bodového pole tvořeného trigonometrickou sítí (číselně určenou pro I. až III. řád, s doplněním IV. řádu grafickou trinagluací). Vybudováním trigonometrické sítě byla pověřena triangulační kancelář c. k. generálního štábu. Práce spojené s jejím budováním se prováděly po jednotlivých zemích. Včasné ukončení těchto prací podmiňovalo zahájení podrobného měření v daném území. Současně probíhající mapování katastrální (stabilní katastr) poskytl podrobný polohopisný základ. Číselným polohopisným podkladem byly souřadnice vztažené pro Čechy, Horní Rakousy a Solnohradsko k trigonometru Gusterberg (Horní Rakousy) a pro Moravu, Dolní Rakousy a Dalmácii k věži Svatoštěpánského dómu ve Vídni (obr. 1.1). Celkem bylo v monarchii použito 10 rovinných souřadnicových soustav. Z toho bylo sedm zvoleno v západní části monarchie a tři v části východní. Systémy byly rozmístěny tak, aby maximální souřadnice y nepřesáhla hodnotu 200 km. Mezi sebou nebyly tyto systémy propojeny ani vyrovnány.



Obr. 1.1 Souřadnicové systémy II. mapování na území českých zemí

Jak již bylo popsáno je počátek souřadnicového systému pro Čechy (obr. 1.1) vložen do trigonometrického bodu Gusterberg ležícího v Horních Rakousích o souřadnicích $\phi = 48^{\circ} 02' 20,50''$ a $\lambda = 31^{\circ} 48' 09,17''$. Morava a Slezsko byly mapovány v systému Svatoštěpánském, s počátkem vloženým do jedné z věží katedrály Sv. Štěpána ve Vídni o souřadnicích $\phi = 48^{\circ} 12' 32,75''$ a $\lambda = 34^{\circ} 02' 21,60''$. Pozdější přesnější měření přinesla poněkud jiné souřadnice trigonometrického bodu Gusterberg, rozdílly se pohybovaly v rozmezí od 2" do 6". Současně bylo zjištěno stočení kladné větve osy X , od severního směru k západu o hodnotu $4' 22,3''$, což znamená, že celá rovinná síť je mírně stočená vůči osovému poledníku.

Vlastní trigonometrickou síť buďovali v letech 1807–1840 pouze vojenští topografové, po roce 1840 též topografové civilní, zaměření a celkové vyrovnání sítě bylo dokončeno roku 1858. Uvádí se počet 12 590 bodů trigonometrické sítě u nichž byly zjištěny i nadmořské výšky vztažené k hladině Jaderského moře.

Síť byla připojena na 4 přímo měřené délkové základny, vzdálenosti mezi trigonometrickými body I. řádu byly od 15 do 30 km, II. řádu od 9 do 15 km a III. řádu od 4 do 9 km. Pro katastrální mapování platil přitom předpis, že na plochu jednoho tzv. triangulačního neboli fundamentálního listu musí padnout nejméně tři trigonometrické body, z nichž musí být nejméně jeden přímo přístupný. Protože fundamentální list používaný v katastrálním mapování měl rozměry jedné čtveřecní rakouské míle a mapový list používaný pro mapování vojenské dvakrát dvě rakouské míle, lze usuzovat, že na jeden list mapy II. vojenského mapování padlo cca 10–12 číselně určených trigonometrických bodů, s dalším případným zahuštěním triangulací grafickou.

Poznámka: Používané dobové (videňské) délkové jednotky: palec 0,026340 m, stopa 0,316081 m (12 palců), sáh 1,896484 (6 stop), míle 7 585,936 m (4 000 sáhů).

1.2 Kartografické zobrazení

Bylo zvoleno Cassiniho transversální válcové zobrazení ekvidistantní v kartografických polednicích. Pro rakouskou monarchii toto zobrazení upravil Soldner, proto se nazývá zobrazení Cassini-Soldnerovo. V podstatě se jedná o bezprojekční souřadnicovou soustavu s velice jednoduchými zobrazovacími rovnicemi

$$X_n = x_n, \quad Y_n = y_n,$$

kde X_n , Y_n jsou souřadnice bodu P_n v rovině Cassini-Soldnerova zobrazení. Osa $+X$ je vložena do jižní větve obrazu osového poledníku a osa $+Y$ je na ní kolmá a vede směrem západním. Z jednoduchosti zobrazovacích rovnic však plyne, že toto zobrazení nerespektuje zakřivený tvar zemského povrchu.

Poloha bodu P_n na kouli je dána jeho sférickými souřadnicemi x_n a y_n , které jsou určeny délkami příslušných poledníkových a rovnoběžkových oblouků. Protože se jedná o jednoduché técné válcové zobrazení, protínají se obrazy poledníků a rovnoběžek pod pravým úhlem, kde výsledkem je tzv. „čtvercová“ mapa. Jednoduchost zobrazovacích vztahů vede rovněž k tomu, že směrem od osového poledníku rychle narůstá délkové zkreslení. Řešením je volba většího počtu souřadnicových soustav, kde extrémní délkové zkreslení na okraji nedosáhne hodnoty, která by musela být uvažována při kartografické kresbě polohopisu. Pro výpočty byl použit Zachův elipsoid, s velkou poloosou $a = 6\,376\,045$ m a reciprokou hodnotou zploštění $1/f = 310$.

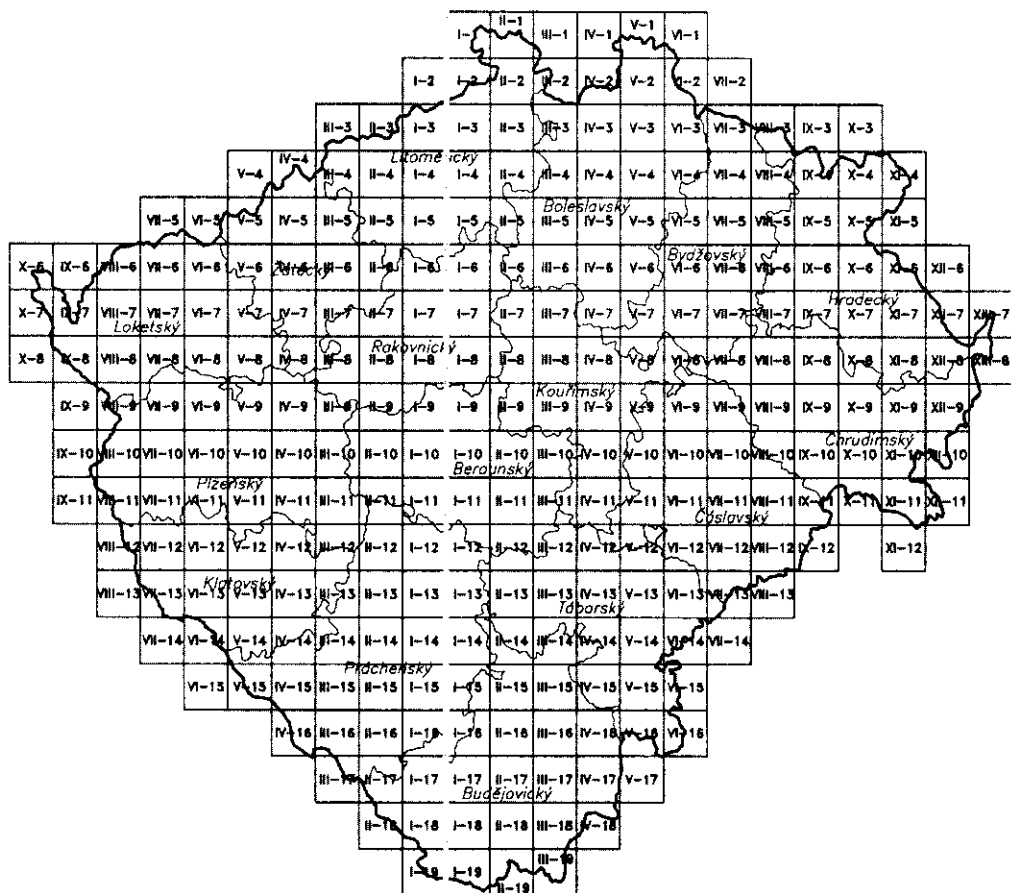
Poznámka. Protože se jedná o zobrazení transversální, kartografické poledníky zde vedou vodorovně a kartografické rovnoběžky svisle. Na orientaci mapové kresby to však nemá vliv.

1.3 Klad mapových listů

Pro Čechy existuje 280 vojenských mapovacích sekcí z let 1842–1852. Na každé sekci je uvedeno její číslo 1 až 19 od severu k jihu a ve sloupci I. až X. západním nebo I. až XIII. východním směrem od Gusterbergu, dále jméno štábního důstojníka, který sekci mapoval a letopočet. Na pravém okraji sekce je připojen seznam obcí a osad, počet domů a stájí a údaj o tom, kolik tam lze umístit mužů a koní.

Morava a Slezsko byly v době mapování, tj. v letech 1836–1840, zobrazeny na 148 sekcích stejného čtvercového formátu, číslovanych 1 až 13 od severu k jihu a v 6 sloupcích západně a 12 sloupcích východně od svatoštěpánského poledníku.

Klad mapových listů byl získán dělením sektorů rovinného souřadnicového systému rovnoběžkami se souřadnicovými osami ve vzdálenosti 2 rakouských mil (8 000 sáhů). Sloupce takto vzniklých mapových listů rovnoběžně s osou X (*Colonne*) se označovaly římskými číslicemi od souřadnicové osy západním i východním směrem (východní – *Oestliche*, západní – *Westliche*). Vrstvy (*Schichte*, *Section*) byly číslovány arabskými čísly od severu k jihu.



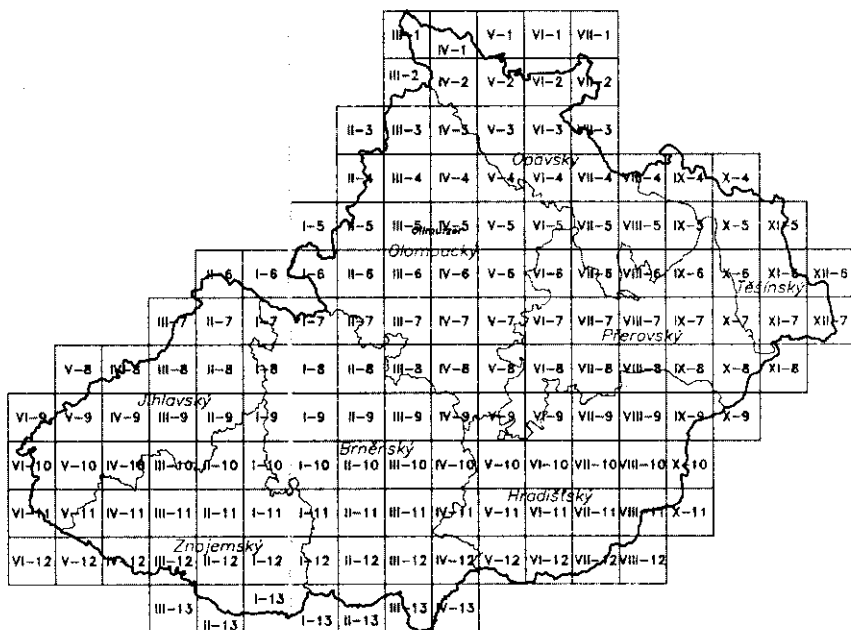
Obr. 1.2 Klad listů II. mapování na území Čech (Gusterberg)

1.4 Georeference mapových sekcí II. vojenského mapování

Při znalosti označení mapy, např. Section Nro = III, Westliche Collone Nro = 6 (Nro zn. numero, číslo vrstvy, sloupce) je výpočet sáhových souřadnic rohů mapového listu poměrně triviální záležitost, neboť souřadnice rohů listu jsou celočíselnými násobky čísla vrstvy a sloupce s respektováním orientace os. Složitějším problémem je převod sáhových souřadnic rohů mapových listů do systému JTSK (Křovák), kde je vhodné použít globální transformační klíč, pro katastrální mapování určený V. Čadou (ZČU Plzeň).

K určení souřadnic rohů map II. vojenského mapování byl B. Veverkou sestaven program VB150, kde se interaktivně zadává předvolba systému Gusterberg, nebo Svatý Štěpán, poloha východně či západně od osy X, číslo vrstvy a číslo sloupce. Výsledkem jsou souřadnice rohů vybraného mapového listu v sáhové i metrické míře a rovněž odpovídající hodnoty v systému JTSK. Ukázka výstupu z VB150 je na obr. 1.4.

Poznámka. Katastrální mapy jsou číslovány v rámci stejného souřadnicového systému počínaje Šluknovským výběžkem směrem jižním ke gusterbergské rovnoběžce, kam je vložena osa Y. Protože sekce katastrálního mapování (fundamentální listy) měly rozměr 1 rakouské míle, končilo jejich číslování od osy hodnotou 45. Pro sekce vojenského mapování z toho plyne, že při čtvercovém rozměru 2 mil, půli osa Y vrstvu 23, počítáno od Šluknova.



Obr. 1.3 Klad listů II. mapování na území Moravy a Slezska (Svatý Štěpán)

vb150 II. vojenské mapování - souřadnice rohů mapových listů

Bohuslav Veverka { mobil +420 607860440, mail veverka@fsv.cvut.cz }
G E O S O F T - M A T K A R T - program VB150 (verze 2003-01)
souřadnice rohů listů z II. historického vojenského mapování
(František I, 1806-1870)

Formát mapy II. vojenského mapování je 2 x 2 rakouské míle. Jedna rakouská míle = 4 000 sáhů = 7585,336 m.
 Na území České republiky byl pro Čechy použit systém Gusterbergský a pro Moravu a Slezsko systém Svatoštepánský.
 Osa +X jde k jihu, +Y k západu. Vrstva se zadává arabskými číslicemi, sloupec římskými, např. IX, ev. 9.
 Pro transformaci mezi sáhy Cassini Soldner a metry S-JTSK použijte data poskytnutá ing. V. Čadou, ČSČ.

souřadnicový systém	Gusterberg (Čechy) G	Sv. Štěpán (Morava a Slezsko)	poloha sloupce větší ose X	Westliche (západ) W	Oestliche (východ)		
sloupec (colonne)	III	vrstva (section)	6	START	TISK	Guma	STOP
roh mapy	y	x	GUSTERBERG	WEST	III	6	
Levý horní	24000	-140000	sáhy Cassini Soldner	Pravý horní	16000	-140000	
	45516	-265508	metry Cassini Soldner		30344	-265508	
	802464	996600	metry S-JTSK (Křivák)		787446	998741	
Levý dolní	24000	-132000		Pravý dolní	16000	-132000	
	45516	-250336			30344	-250336	
	804607	1011618			789589	1013759	
1.5.2003 16:56:04							

Obr.1.4 Uživatelské rozhraní programu VB150

2. III. vojenské mapování

Zobrazení rakouských vojenských topografických map III. mapování vychází z Besselova elipsoidu z roku 1841, jehož povrch byl rozdělen na lichoběžníková pole o rozměrech 15' zeměpisné šířky a 30' zeměpisné délky. Každé pole bylo zobrazeno do roviny samostatně, mělo vlastní souřadnicovou soustavu a příslušné hodnoty zkreslení. Rovinnými obrazy polí jsou rovnoramenné lichoběžníky omezené dvěma příjímými a spolu rovnoběžnými obrazy okrajových rovnoběžek a příjímými obrazy poledníků. Obraz geografické sítě byl volen tak, že střední poledník listu se zobrazil jako příjímý a nezkreslený a v jeho koncových bodech se pak na kolmicích vytýčily v pravé velikosti okrajové rovnoběžky. Obrazy vnitřních rovnoběžek listu byly přímkami rovnoběžnými s okrajovými. Nezkreslené krajní rovnoběžky a střední poledník určovaly konstrukci vnitřních příjímých poledníků jako spojnic příslušných dělicích bodů po minutách a desítkách vteřin na okrajových rovnoběžkách. Takto vytvořená lichoběžníková pole se stala zobrazovacími rovinami pro jednotlivé listy speciálních map v měřítku 1:75 000. Užitý princip je v literatuře nazýván jako polyedrické zobrazení nebo zobrazení určitého území po vymezených částech [1].

Samotné mapování proběhlo v měřítku 1:25 000. Listy speciálních map byly rozděleny na topografické sekce o rozměrech 7,5' zeměpisné šířky a 15' zeměpisné délky. Každá sekce se dále dělila na čtyři vyměřovací listy, které sloužily jako polní vyměřovací jednotka v tomtéž měřítku. K podrobnému měření se používal měřický stůl pro polohopis s použitím metody grafického protínání, výškoměr a barometr pro výškopisné údaje. Originály topografických sekcí byly jedenáctibarevné. Sekce byly dále zmenšeny do měřítka 1:75 000 a zasazeny do předem zkonstruovaných rámu listů speciálních map. Z původně měřených map měřítka 1:25 000 byly tedy po určité generalizaci fotomechanickou cestou odvozeny tyto mapy:

- **Mapa speciální** v měřítku 1:75 000 vznikla kompozicí čtyř zmenšených sousedních topografických sekcí 1:25 000.
- **Mapa generální** v měřítku 1:200 000 vznikla kompozicí osmi listů speciálních map. Konstrukce rámu listu mapy generální byla provedena polyedrickým způsobem obdobným jako u mapy speciální. Má však jiný rozměr: jeden list zobrazuje plochu pole geografické sítě o rozměrech 1° zeměpisné délky a 1° zeměpisné šířky, tedy plochu 2 × 4 listů speciální mapy.
- **Mapa přehledná** v měřítku 1:750 000 – vzhledem k měřítku a dnešní využitelnosti nebyla předmětem dalšího studia.

Výhodou polyedrického zobrazovacího postupu je snížení velkých hodnot deformací (nutně způsobených zobrazením zakřiveného povrchu elipsoidu do roviny), které by vznikly při zobrazení území Rakouska-Uherska jako celku. Tento postup však způsobuje některé negativní jevy, s jejichž hodnotami je vhodné se předem seznámit a kvalitu kresby v oblasti styku mapových listů nepřeceňovat. Stručná charakteristika matematicko-kartografických vlastností listů speciálních a generálních map s důrazem na praktické aspekty pro výpočetní a kartometrické práce je uvedena v bodech 2.1 až 2.4.

2.1 Zobrazovací rovnice

Vzhledem ke konstrukci lichoběžníkového rámu mapových listů nejsou známy exaktní rovnice zobrazení z elipsoidu do roviny. Pro souřadnicové výpočty a určování hodnot kartografických zkreslení je potřeba zobrazovací rovnice znát. Lze postupovat tak, že se nejdříve provede transformace elipsoidických zeměpisných souřadnic na sférické pomocí Gaussova konformního zobrazení elipsoidu na kouli. Zkreslení, která nastanou při Gaussově konformním zobrazení elipsoidu na kouli, se v měřítku rakouských vojenských topografických map neprojeví. Dále se užije zobrazovacích rovnic z plochy kulové do roviny. Inverzním postupem lze přejít i zpětně z roviny na elipsoid [2].

2.2 Deformace délek

Lze dokázat, že deformace geometrických prvků vzniklé v průběhu zobrazování se v mapovém obraze projevují v závislosti na měřítku mapy. Měřítka speciální mapy (tím spíše generální mapy) bylo zvoleno tak vhodně, že pro praktické používání map tohoto měřítka lze uvažovat všechny přímkové obrazy poledníků i rovnoběžek za délkově nezkreslené. Nezbrazí se takové jevy jakými jsou zakřivení poledníků, zkrácení rovnoběžek, posun průsečíku středního poledníku

a střední rovnoběžky. Rozdíl v délkách okrajových poledníků a středního poledníku na mapách je v měřítku speciálních map 0,0002 cm, generálních map 0,001 cm. Zkreslení v polednicích roste od středního poledníku souměrně směrem k levému a pravému okraji listů a nabývá hodnot pouze řádově $5 \cdot 10^{-6}$ u speciálních a $2 \cdot 10^{-5}$ u generálních map. Zkreslení délek se výrazněji projevuje ve směru úhlopříček polovin listů, kde dosahuje průměrných hodnot $1 \pm 0,00075$ u speciálních a $1 \pm 0,00098$ u generálních map. Extrémních hodnot délkové zkreslení nabývá v dolních rozích listů, lze je vyjádřit zápisem $1 \pm 0,00169$ pro nejsevernější listy a $1 \pm 0,00164$ pro nejižnější listy speciálních map České republiky, $1 \pm 0,00340$ pro nejsevernější listy a $1 \pm 0,00330$ pro nejižnější listy generálních map. Délkové elementy jsou nejvíce deformovány, leží-li přibližně ve směru úhlopříček a tyto deformace rostou se vzdáleností od středního poledníku směrem k okrajům mapy.

2.3 Deformace směrniců a úhlů

Zkreslení směrniců na obou typech map dosahuje poměrně vysokých hodnot. Ekvideformáty probíhají přibližně ve směru poledníků, tedy hodnoty stejně jako u délkového zkreslení rostou od středního poledníku směrem k levému a pravému okraji map. Směrnice, ve kterých nastává extrémní zkreslení směru, jsou blízké polovině každého kvadrantu (t. j. 45° , 135° , 225° a 315°), vždy protilehlé směrnice mají zkreslení stejného znaménka. Největší zkreslení v úhlu nastává, jsou-li jeho rameny dva směrnice s extrémním zkreslením opačného znaménka, tedy úhly přibližně mezi úhlopříčkami. U nejsevernějších listů speciálních map z území ČR dosahuje úhlové zkreslení až $11^\circ 40,6672''$, u nejižnějších až $11^\circ 15,3594''$. Pro generální mapy se jedná o hodnoty zhruba dvojnásobné: $23^\circ 18,8292''$ na nejsevernějších a $22^\circ 38,4562''$ na nejižnějších listech. Vyšší hodnoty úhlového zkreslení mají vliv i na obraz geografických prvků – tvar plošných prvků podléhá deformacím nejvíce u levého a pravého okraje mapy.

Z uvedených skutečností je zřejmé, že se zeměpisnou délkou je změna zkreslení rychlá, zatímco se zeměpisnou šířkou se téměř nemění. Na okraji mapových listů dochází k velkým délkovým i úhlovým zkreslením, což se projevuje negativně na styku listů. Dochází k lomu kresby zejména při přechodu mezi listy téže vrstvy. Na severních a jižních okrajích listů stejného sloupce je lom kresby minimální.

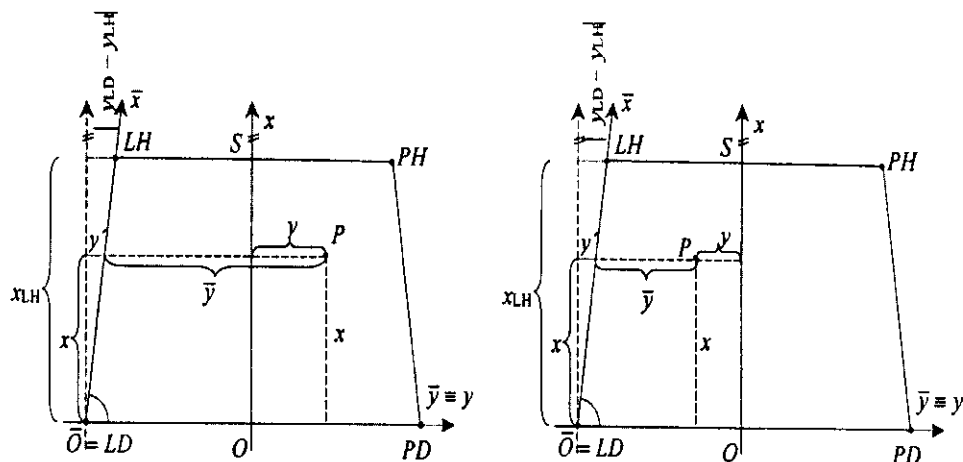
2.4 Spáry

Sestavování map do souvislého plošného celku je spojeno s další překážkou, tou je existence spár při kompozici rovinných lichoběžníků. Lze dokázat, že lineární vzdálenost mezi vzdálenějšími rohovými body je menší, upřednostní-li se souvislé sloupce, nežli v případě navazujících vrstev. Z výsledků podrobných výpočtů plyne, že kompozici speciálních map České republiky lze sestavit se spárou 0,14 mm na severním a jižním okraji republiky. Je to možné za předpokladu souvislé vrstvy č. 40. Pro kompozici speciálních map území celé meziválečné ČSR, za předpokladu souvislé vrstvy 42, vychází velikost spáry 0,25 až 0,26 mm (vzhledem k nesterélní velikosti listů směrem na sever a na jih od souvislé vrstvy se liší i velikost spáry). Současnou Českou republiku pokrývají tři vrstvy generálních map, na jejichž okrajích je lineární vzdálenost jen 0,11 mm (souvislá vrstva 50°). Chceme-li vytvořit kompozici listů generálních map pro území meziválečné RČS lze upřednostnit souvislou vrstvu 49° . Za tohoto předpokladu je na severním okraji vrstvy listů 51° velikost spáry 0,33 mm. Existence spár proto při rovinné kompozici zřejmě způsobí menší komplikace, než třeba srážka papíru, jejímž vlivem se deformuje obraz všech prvků, a to nelineárně.

2.5 Určení polohy ve vybraných souřadnicových systémech

Začlenění historických rakouských vojenských topografických map do dnešních aplikací digitální kartografie a GIS je spojeno s řešením problematiky georeferencování map v novodobých souřadnicových systémech. Za tímto účelem byl na Katedře mapování a kartografie Stavební fakulty ČVUT v Praze B. Veverkou vyvinut software nazvaný MATKART [8]. Kromě modulů TRANSFORMACE, ZM pro mapy státního mapového díla velkých i středních měřítek a TM pro soudobé vojenské topografické mapy obsahuje modul HTM pro historické topografické mapy. Modul HTM je zaměřen na výpočty v kladu listů speciálních a generálních map a souřadnicových transformací mezi systémem rakouských vojenských topografických map a vybranými novodobými souřadnicovými systémy. Transformace jsou řešeny pro tyto souřadnice:

- Geodetické zeměpisné souřadnice na Besselově elipsoidu
 - vztahené k základnímu poledníku ferrašskému $[B, L_F]_{BE}$
 - vztahené k základnímu poledníku greenwichskému $[B, L_G]_{BE}$
- Rovinné geodetické souřadnice v systému S-JTSK $[X, Y]_{S-JTSK}$
- Rovinné geodetické souřadnice v systému S-42 $[X, Y]_{S-42}$
- Rovinné geodetické souřadnice v systému S-52 $[X, Y]_{S-52}$
- Geodetické zeměpisné souřadnice na elipsoidu WGS84 $[B, L]_{WGS84}$
- Rovinné souřadnice v systému WGS84 $[N, E]_{WGS84}$
- Uživatelské souřadnice v systému LIST $[x, y]$



Obr. 2.1 Souřadnicový systém LIST pro speciální a generální mapy

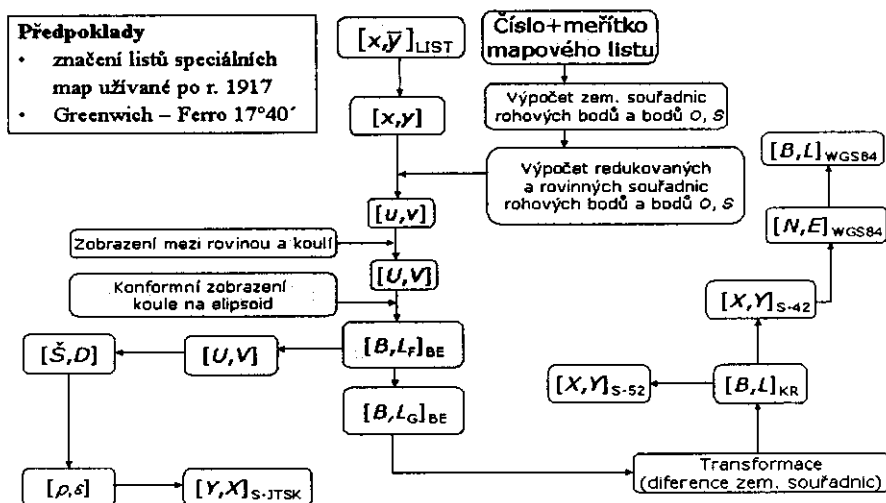
Pro převod zeměpisných délek mezi systémy vázanými k základním poledníkům Ferro a Greenwich je uvažována hodnota $17^{\circ}40'$. Souřadnicový systém LIST byl definován pro výpočty v rámci jednotlivých mapových listů rakouských vojenských topografických map a pro řešení transformačních úloh. Pro praktické odměřování souřadnic na lichoběžníkových mapových listech byl zvolen uživatelsky nejjednodušší souřadnicový systém, jehož počátek byl vložen do levého dolního rohu (obr. 2.1). Osa je totožná s obrazem západního okrajového poledníku a je orientována kladně k severu. Osa splývá s obrazem jižní okrajové rovnoběžky (kladně k východu). Souřadnice je nejjednodušejší odměřována od obrazu západního okrajového poledníku. Úhel ϑ mezi obrazy okrajové rovnoběžky a poledníku není však roven 90° . Toto „zkosení“ je při kartometrických pracích obtížně zohlednitelné, je však nutné jej ve výpočtech uvažovat. Druhou souřadnicí je x , měřené kolmo k ose.

2.6 Matematický model řešení souřadnicových transformací

Z důvodu univerzálnosti nově vyvinutých algoritmů byl matematický model transformací do i ze systému rakouských map odvozen pro vstupní (respektive výstupní) geodetické zeměpisné souřadnice na Besselově elipsoidu vztahené k základnímu poledníku Ferro $[B, L_F]_{BE}$. Další navigační transformační postupy jsou známy z literatury [1,7].

Původně byly listy speciálních map značeny arabskými číslicemi po vrstvách (dle německého popisu Zone) od rovnoběžky $51^{\circ}15'$ směrem k jihu a římskými číslicemi po sloupcích (něm. *Colonne*) od poledníku 27° na východ od Ferra. Zápis čísla mapového listu obsahoval pomlčku a název významného sídla, např. 5–IX PRAG. Na rakouských mapách bylo označení listu např. ZONE 12 COL. XIII KREMS. Od roku 1917 bylo zavedeno nové značení arabskými číslicemi. Sloupec číslo 1 svou západní stranou přiléhá k poledníku 27° na východ od Ferra a první vrstva svou severní stranou k rovnoběžce 60° . Listy speciálních map byly označovány čtyřmístným číslem umístěným v pravém horním rohu, kde první dvě číslice označovaly vrstvu a druhé dvě slou-

pec, ve které se mapový list nacházel. Součástí označení listů zůstal název významného sídla, např. Praha 3953. Převodní tabulka mezi starším a novějším číslováním je v [3], klad listů v [6].



Obr. 2.2 Schéma výpočetního algoritmu určení polohy bodu ve speciální mapě

Transformační algoritmus $[B, L]_{BE} \rightarrow [x, y]$ se skládá z následujících kroků:

1. Určení polohy zadaného bodu v rámci kladu listů speciálních a generálních map
 - a) Výpočet zeměpisných souřadnic rohů mapového listu, na kterém bod leží, ze souřadnic B, L zadaného bodu.
 - b) Porovnání souřadnic zadaného bodu s hraničními souřadnicemi listu. Leží-li bod uvnitř mapového listu, vypočte se jeho číslo ze souřadnic B, L . Leží-li bod na hranici dvou nebo čtyř listů, následuje výpočet i jejich čísel v rámci kladu listů a zeměpisných souřadnic příslušných rohových bodů.
2. Výpočet zeměpisných souřadnic počátku rovinného souřadnicového systému O a bodu S , v němž protíná osa x obraz severní okrajové rovnoběžky (obr. 2.1), pro všechny listy.
3. Redukce souřadnic rohů mapových listů i souřadnic zadaného bodu k počátku O rovinného systému.
4. Transformace souřadnic všech bodů z elipsoidu na kouli Gaussovým konformním zobrazením a dále z koule do roviny podle zobrazovacích rovnic odvozených v [5].
5. Transformace rovinných souřadnic vztahených k počátku O na souřadnice v uživatelském systému LIST.
6. Vydělení vypočtené souřadnice měřítkovým číslem a převod jednotek.

Celý matematický model je podrobně rozpracován v [3, 4]. Zpětný transformační algoritmus $[x, y] \rightarrow [B, L]_{BE}$ probíhá podle inverzních rovnic. Vstupními daty kromě souřadnic $[x, y]$ odměřených z mapy je číslo mapového listu a jeho měřítko.

2.7 Počítačová realizace matematického modelu

Jádrem modulu HTM jsou transformační programy VB150, TP201 a TP202. Software MAT-KART, včetně modulu HTM, pracuje pod operačním systémem DOS nebo WINDOWS. Uživatelé stačí základní zkušenosti s obsluhou počítače, protože programy komunikují s uživatelem interaktivním dialogovým způsobem. Vstupní data se vkládají z klávesnice nebo prostřednictvím datového souboru.

Program TP201 řeší souřadnicové transformace do systému rakouských vojenských topografických map. Vstupními daty jsou: název bodu a jeho souřadnice ve zvoleném vstupním souřadnicovém systému. Program v průběhu své činnosti vytváří dva textové výstupní datové soubory. První z nich s názvem VV201 obsahuje všechny vypočtené hodnoty včetně doprovodných textových informací. Pro lepší orientaci polohy vypočtených rohových bodů jsou mapové listy jednoduše čárově znázorněny. Druhý výstupní soubor nazvaný EXC201 obsahuje souřadnice bez textového doprovodu, pouze s označením polohy rohového bodu na mapovém listu zkratkou (např.

LD je levý dolní roh). Tento stručný textový soubor je vhodnější pro další zpracování číselných hodnot např. tabulkovým editorem. Program TP202 řeší souřadnicové transformace ze systému rakouských vojenských topografických map. Vstupními daty jsou: číslo mapového listu, typ mapy (speciální či generální), název bodu a jeho souřadnice v systému LIST. V průběhu výpočtu se opět vytváří dva textové soubory: jsou jimi VV202, který obsahuje souhrnné informace a stručný soubor EXC202 obsahující jen numerické údaje.

VSTUPNI DATA

zeměpisné souřadnice bodu [B,L] od Greenwiche / Bessel.el.

Bod 1

B = 49° 35' 0.0000" = 49.58333333°

L = 13° 40' 5.0000" = 13.66805556°

Transformace vstupních dat na [Y,X] v S-JTSK

Y = 804448.86 m

X = 1090933.43 m

***** VYSTUPNI DATA - SPECIALNI MAPA *****

Mapový list 4151 Plzeň

souřadnice [B,L] na Besselově elipsoidu od Ferra [DMS]

souřadnice [x,y] v souřadnicovém systému LIST [cm]

[49 45 0.0000, 31 0 0.0000]
[37.07cm, 0.00cm]

[49 45 0.0000, 31 30 0.0000]
[37.07cm, 48.04cm]

4151

[49 30 0.0000, 31 0 0.0000]
[0.00cm, 0.00cm]

[49 30 0.0000, 31 30 0.0000]
[0.00cm, 48.29cm]

Souřadnice zadaného bodu v systému LIST: [12.36cm, 32.27cm]

Obr. 2.3 Výstup z programu TP201

Závěr

Obsah historických rakouských vojenských topografických map a jeho georeferencování má nesporný přínos pro současnost. Nejde pouze o dobový dokument, ale především o pracovní podklad pro geografii, ekologii, botaniku, urbanistiku, archeologii, geodety a specialisty GIS. Za zmínku zde stojí aktivity Ministerstva životního prostředí ČR spojené s revitalizací krajiny (např. Mostecko), kde tyto mapy slouží ke studiu historické paměti krajiny, dlouhodobě a postupně formované stáletou lidskou činností a v době industrializace ve velmi krátké době zcela devastovanou a v současnosti vrácenou do optimální (původní ?) podoby. Úloha kartografií je zde nezastupitelná.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM:210000007 „Komplexní inovace technologií v geodézii a kartografii“ - (ČVUT VZ7).

Literatura

- [1] BUCHAR, P., HOJOVEC, V. *Matematická kartografie 10*. ČVUT, Praha 1996.
- [2] BRŮNA a kol. Identifikace historické sítě prvků ekologické stability krajiny na mapách vojenských mapování. *Acta Universitatis Purkynianae 81, Studia geoinformatica II*. Ústí nad Labem 2002.

- [3] ČECHUROVÁ, M. *Výpočty v kladu listů rakouských topografických map ze III. vojenského mapování*. Disertační práce. ČVUT, Praha 2002.
- [4] ČECHUROVÁ, M. Souřadnicové výpočty v kladu listů rakouských topografických map ze III. vojenského mapování. *Geodetický a kartografický obzor*, 2003, 5.
- [5] KOVÁŘÍK, J. *Polyedrická zobrazovací soustava topografických map ČSR*. Disertační práce. Praha 1952.
- [6] VEVERKA, B. *Topografická a tematická kartografie*. ČVUT, Praha 2001.
- [7] VEVERKA, B. Souřadnicové transformace v GIS a digitální kartografii. *Geodetický a kartografický obzor*, 2001, č. 8–9, s. 175–180.
- [8] VEVERKA, B. MATKART 2000. *Informace pro uživatele*. GEOSOFT, Praha 2002.

S u m m a r y

Georeferencing of the Maps from 2^d and 3^d Military Mapping

The aim of the article is a cartographic study of the military historical mapping, which proceeded in three integral periods on the territory of the Austro-Hungarian Monarchy, incl. the Czech historical lands of the Czech Crown – Bohemia, Moravia and Silesia. The first mapping from the years 1763–1785 is called Joseph's. In view of the mapping scale 1:28,800 it was the most detailed mapping all over Europe. The surveying was not based on quality geodetic fundamentals and therefore it was not possible to compile an integral map image of the Monarchy.

The second Francis' mapping proceeded during the years 1807–1869, simultaneously with creation of the stable cadastre and was based on results of astronomic and geodetic measurements. The map image is therefore space located and it is possible to research its cartometric features.

During the years 1870–1883 proceeded the third military mapping, which generated the most famous map ("special map") at scale 1:75,000, which was used on the territory of Czechoslovakia until 1956, when it was replaced by a contemporary military topographic map. The said maps represent a historical memory of the landscape and are exploited for purposes of protection and revitalization of the landscape, archeology, territorial planning, research of development of geographical names, for transport engineering, etc. The task of this type was not yet solved in the Czech surroundings.

The result is localization of map sections into the present geodetic coordinate systems, analysis of accuracy of elements of the map contents and comparison of the interpreted historical memories of the landscape with the present one.

The topographic maps of 1:25,000, 1:75,000 and 1:200,000 scales were produced in Austria-Hungary during the third military mapping. After 1918 year were taken over for the area of Czechoslovak republic. Topographic contents of the maps were reambulated and revised. From the map contents point of view the historical Austrian topographic maps are very important information sources about our landscape not only in 1870–1883 years, when the mapping passed, but also after formation of separate Czechoslovak republic.

The presented article contributes to extension of historical Austrian military topographic maps usage in digital cartography and GIS. But the connection of maps with different origin and cartographical projections cannot be solvable without coordinate transformations among used coordinate systems. The modular oriented MATKART software, developed for many years by Bohuslav Veverka from Faculty of Civil Engineering of Czech Technical University in Prague, ensures the calculations in sheet line systems of different origin.

Fig. 1.1. Coordinate systems of 2^d. Military Mapping for the territory of the Czech Lands (Bohemia, Moravia, Silesia).

Fig. 1.2. Map composition – Bohemia (Gusterberg).

Fig. 1.3. Map composition – Moravia and Silesia (St. Stephan, Vienna).

Fig. 1.4. User's screen for program VB150.

Fig. 2.1. Coordinate system LIST for the austrian special and general map.

Fig. 2.2. Scheme of the solution for coordinate transformations.

Fig. 2.3. Output from program TP201.

Lektoroval:

Doc. Ing. Milan HÁJEK, PhD.

Zohor