

Václav ČADA

ANALÝZA LOKALIZACE RASTROVÝCH EKVIVALENTŮ III. VOJENSKÉHO MAPOVÁNÍ DO S-JTSK

Úvod

Po válečných událostech z roku 1866 bylo zřejmé, že technické parametry topografických map je potřeba zlepšit a rozšířit jejich funkčnost tak, aby topografická mapa vedle své funkce popisu území kartografickými vyjadřovacími prostředky plnila i funkce podkladu pro kartometrické úkony. Současně sílí požadavky na využívání topografických map pro civilní účely (projekty železniční a silniční sítě, splavnění řek, těžba nerostů apod.) a využití k vydání jednotné řady odvozených map. Tyto požadavky vyústily do projektu III. vojenského mapování monarchie Rakousko-Uherska.

Roku 1868 byla nejprve vydána prozatímní instrukce a po získání praktických zkušeností s novým topografickým mapováním v roce 1875 instrukce definitivní včetně klíče smluvených znaků. Vlastní mapování probíhalo již v metrickém¹ měřítku 1:25 000, vybrané vojensky významné prostory ve dvojnásobném měřítku 1:12 500.

Mapovací práce byly zahájeny v Tyrolsku, v roce 1876 bylo zmapováno Slezsko a východní část Moravy, v roce 1877 dokončeno mapování Moravy a zahájeno mapování východních Čech, které bylo dokončeno v roce 1879. Třetí vojenské mapování celé monarchie pak bylo dokončeno v letech 1885 až 1887 mapováním okupovaných území na Balkánském poloostrově.

Na mapách třetího vojenského je především zdokonaleno vyjádření výškopisu, které je provedeno zpřesněním výškových kót, šrafováním a interpolovanými vrstevnicemi se základním intervalem 20 m. Výšková měření vycházela z bodů nivelační sítě.

Originály topografických sekcí 1:25 000 byly zpracovány barevně. Polohopis, popis a šrafy byly zakresleny **černě**, znaky trigonometrických bodů, nespalné budovy a komunikace **červeně**,. Říční toky a břehové čáry byly znázorněny **modře**, výplně vodních ploch **světle modře**, louky **zeleně**, pastviny **žlutozeleně**, zahrady a sady **zelenomodře**, vinice **žlutě**, okraje lesů **tmavězeleně** a jejich výplně **šedozeleň**. Vrstevnice a značky skalních masivů byly vyjádřeny **žlutohnědě**. Rozmnožování mapových sekcí bylo prováděno fotograficky, později fotolitograficky jednobarevně.

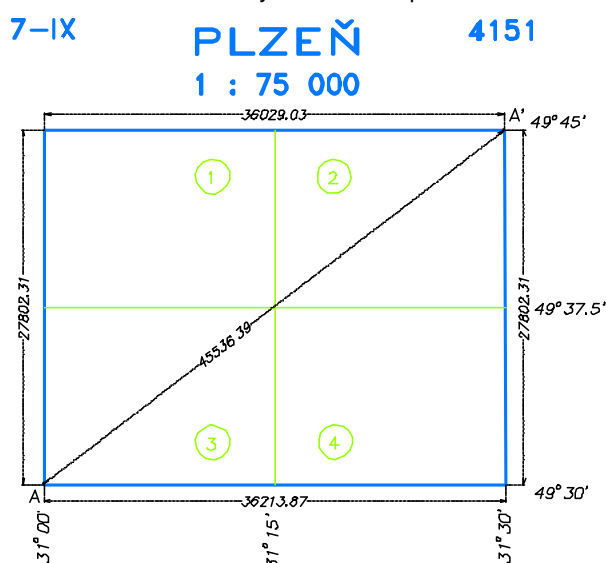
Kartografické základy mapových děl III. vojenského mapování

Původní pravoúhlé mapové sekce vycházející z kladu II. vojenského mapování v rovinném souřadnicovém systému byly záhy opuštěny a od roku 1872 vycházely mapové sekce z obrazu geografické sítě.

¹ **Metrická konvence** byla v Rakousko-Uhersku přijata zákonem č.16/1872 říšského zákoníku z 23. července 1871 s přechodným obdobím do roku 1898.

Použité kartografické zobrazení je podle některých starších autorů nazýváno **Sansonovým** [Hartl 1886] nebo [Werkmeister 1909], někdy je považováno za **gnomonickou projekci** [Herz 1885], [Frischeuf 1913]. Referenční plochou byl zvolen Besselův elipsoid², který byl do roviny převáděn po částech sféroidických lichoběžníků. Tím se toto zobrazení jednoznačně řadí do kategorie **mnohostěnných (polyedrických) zobrazení**. Počátečním poledníkem zeměpisných souřadnic byl zvolen poledník Ferrský.

Sekce mapových listů **speciální mapy 1:75 000** byly voleny jako obraz geografické sítě pravoúhlého elipsoidického čtyřúhelníka o rozměrech $\Delta\varphi=15'$ a $\Delta\lambda=30'$. Obraz středového poledníku tohoto sféroidického čtyřúhelníka se v rovině zobrazuje jako úsečka nezkreslené délky, obrazy okrajových rovnoběžek jsou v koncových bodech poledníku na tento obraz poledníku kolmé a opět délkově nezkreslené. Vzniká rovnoramenný lichoběžník, ve kterém jsou obrazy ostatních poledníků a rovnoběžek získány lineární interpolací.



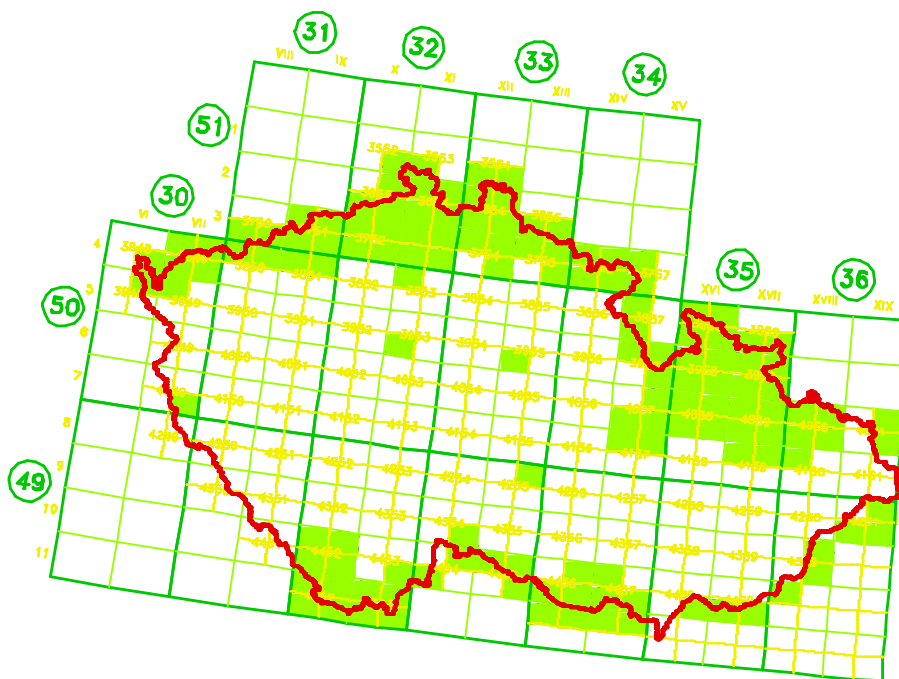
Obr. 1 Konstrukce rámu mapového listu speciální mapy 1:75 000 a topografických sekcí 1:25 000

Zobrazení není konformní, úhlové zkreslení obrazu krajního poledníku speciální mapy dosahuje v našich zeměpisných šířkách $11' 30''$, délkové zkreslení úhlopříčky AA' dosahuje 50 m, což činí v měřítku 1:75 000 0,7 mm.

Pro kartometrické činnosti na těchto mapách je dále nutno zohlednit skutečnost, že mapa není ortodromická. Zakřivení obrazů ortodrom se v závislosti na délce a směru může projevit nad grafickou přesnost mapy. Obrazy ortodrom maximální délky na mapové sekci 1:75 000 pod azimutem $A=90^\circ$ jsou zakřiveny směrem k severu a uprostřed spojnice tato odlehlost d_m činí 0.4 mm v měřítku mapy. ($d_m = (S \cdot \sin A)^2 / (8N \cdot \cot \varphi)$)

² Konstanty elipsoidu velká (hlavní) poloosa $a=6\,377\,397.155$ m, malá (vedlejší) poloosa $b=6\,356\,078.963$ m, zploštění elipsoidu $i=1/299.153$ byly vypočteny Bessellem roku 1841 a publikovány např. roku 1852 v berlínské astronomické ročence

Rozdělení středového poledníku na polovinu a obraz rovnoběžky v tomto bodě vytvořil **topografické sekce v měřítku 1:25 000**. Klad a označování mapových listů v S-JTSK je patrné z obrázku 2.



Obr. 2 Klad a označování mapových listů speciální mapy 1:75 000 a topografických sekcí 1:25 000 v S-JTSK pro Českou republiku

Geodetické základy pro III. vojenské mapování

Nedobudované geodetické základy II. vojenského mapování a neudržovaná číselná triangulace I. až III. řádu pro mapování stabilního katastru nedávaly záruku kvality a přesnosti pro projekt nového vojenského topografického mapování. Od roku 1860 se Rakousko-Uhersko také zapojilo do mezinárodní komise měření Země a na jeho území probíhalo středoevropské stupňové měření, jehož součástí bylo i budování nové trigonometrické sítě I. řádu. Tyto práce byly od roku 1862 svěřeny Vojenskému zeměpisnému ústavu ve Vídni³.

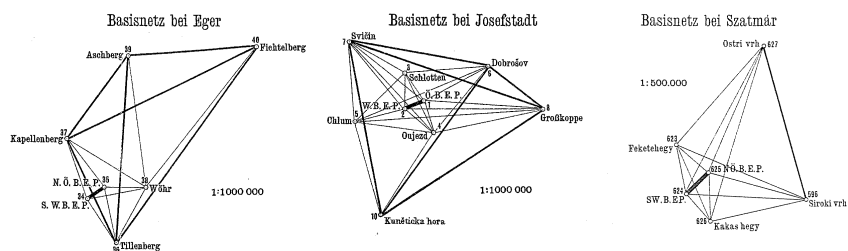
Budování **vojenské trigonometrické sítě I. řádu** (1860-1898) vycházelo z revize stávajících geodetických základů. V případech, kdy bylo možné využít stabilizace zachovaných bodů triangulace stabilního katastru, byly tyto body za-

³ **C.k. vojenský zeměpisný ústav** (K.u.k. militär-geographischen Institutes in Wien) vznikl sloučením Triangulační kanceláře c.k. generálního štábu (založena roku 1806), Vojenského topografického ústavu ve Vídni (zřízen roku 1818) a Vojenského zeměpisného ústavu (Istituto geografica militare) přeloženého roku 1839 z Milána (založený roku 1800)

hrnuty do nově budované, trigonometrické sítě. Nově byla přeměřena již v předchozích etapách použita délková základna u Vídeňského Nového města.

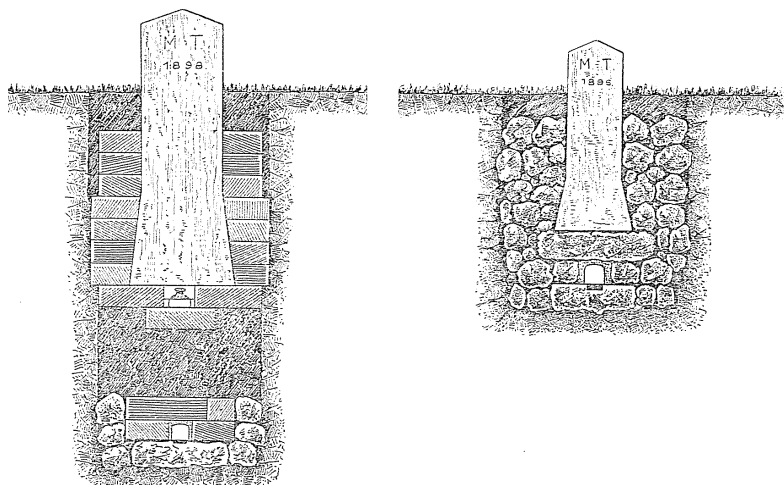
Vojenská síť I. řádu byla určena na tehdejší dobu velice přesně, o čemž svědčí analýza měřených vodorovných úhlů z trojúhelníkových uzávěrů. Skoro polovina uzávěrů opravených o sféroidický exces byl menší než 1" (48% uzávěrů), v intervalu do 2" bylo 29% uzávěrů a do 3" 18% uzávěrů. Pouze 5% všech uzávěrů vykazuje odchylku větší než 3" (Sterneck 1899).

Rozměr sítě byl odvozen z nově měřených délkových základen, ze kterých byla pomocí základnových sítí určena délka přílehlé trigonometrické strany. Ukázka základnových sítí na území bývalého Československa je uvedena na obr. 3. Geografické souřadnice bodů vojenské trigonometrické sítě I. řádu byly vztaženy k základnímu referenčnímu trigonometrickému bodu Hermannskogel u Vídně a výpočty celé sítě byly zpracovány na Besselově elipsoidu.



Obr. 3 Základnové sítě na území bývalého Československa

Původní stabilizace bodů kamennými nebo zděnými pilíři pro centrické postavení stroje byla asi od roku 1896 postupně nahrazována jednotnou stabilizací. Vojenský zeměpisný ústav používal nejčastěji způsoby uvedené na obr. 4, kde jsou patrné základní rozměry stabilizačních znaků a jejich osazení. Nadzemní znak je opatřen písmeny „M.T.“ (Militär-Triangulierung) a letopočtem zřízení stabilizace bodu.



Obr. 4 Typové stabilizace bodů vojenské triangulace po roce 1896

Po vzniku Československa v roce 1918 byly hledány cesty, jak sjednotit neuspokojivé geodetické základy, zvýšit jejich kvalitu a přesnost tak, aby bylo možné z těchto geodetických základů vycházet při novém velkoměřítkovém mapování pro potřeby pozemkového katastru, budování průmyslových a dopravních děl a pro potřeby obrany státu. Obdobně neudržitelná situace byla v oblasti nejednotných kartografických základů (použité referenční plochy, volba zobrazení státních mapových děl a nejednotnost souřadnicových soustav). Výsledkem tohoto úsilí bylo vytvoření národního **systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)**, který je v současné době podle Nařízení vlády č.116/1995 Sb. platným geodetickým referenčním systémem pro zeměměřické činnosti v ČR. Souřadnicové systémy jsou definovány svými kartografickými a geodetickými základy.

Kartografické základy S-JTSK

Základní referenční plochou S-JTSK byl zvolen **Besselův elipsoid** s délkou hlavní poloosy $a = 6377397,15508$ m a vedlejší poloosy $b = 6356078,96290$ m, i když v roce 1924 byl doporučen Mezinárodní unií geodetickou a geofyzikální elipsoid Hayfordův. Volba Besselova elipsoidu byla vázána na předchozí výpočty souřadnic bodů vojenské trigonometrické sítě I. řádu a výpočty triangulací pruského a uherského katastru na území, které pokrývaly část území Československé republiky.

Počátečním poledníkem zeměpisných souřadnic byl zvolen **poledník Ferrský**, jehož poloha od poledníku Greenwichského byla určena na $17^{\circ}39'46.020''$ [Albrecht 1894] západní délky.

Pro zobrazení zeměpisných souřadnic do roviny bylo zvoleno **dvojitě konformní kuželové zobrazení v obecné poloze** (Křovákovo zobrazení), které na území bývalého Československa mělo minimální délkové zkreslení ze všech zobrazení v té době navrhovaných. Obraz geografického poledníku $42^{\circ}30'$ východní délky od Ferrského poledníku v Křovákově zobrazení byl zvolen osou X, takže veškeré rovinné souřadnice jsou kladné. Vlastnosti zobrazení jsou podrobně popsány v odborné literatuře např. Křovák 1922.

Geodetické základy S-JTSK

Práce na sjednocení polohových geodetických základů nové Československé republiky byly triangulační kanceláří ministerstva financí zahájeny již v roce 1920. Triangulační práce byly na území Moravy, Slezska, Hlučínska a Slovenska provedeny v letech 1920 až 1926. Nově bylo měřeno na 204 trigonometrických bodech, které tvořily síť 352 trojúhelníků (Křovák 1927). V Čechách a na Podkarpatské Rusi (Zakarpatské Ukrajině) byly zcela převzaty výsledky vojenské triangulace I.řádu z let 1860 -1898 na základě ověřovacího měření totožných směrů. Tímto základní trigonometrická síť obsahovala celkem 268 trigonometrických bodů, zahrnovala všechny stávající trigonometrické body vojenské triangulace I.řádu (107 bodů). Na všech bodech bylo vyžadováno oboustranné měření směrů v určujících trojúhelníkových sítích, jejichž průměrná délka strany byla 25 km. Z výsledků vojenské triangulace I. řádu bylo dále využito v Čechách dvou základnových měření (Josefovská a Chebská základna) a měření základny Czartmár (Sevljuše) na Podkarpatské Rusi.

Stabilizace nově zřízených bodů byla provedena nadzemním znakem, kterým byl zpravidla kamenný hranol $0,26 \times 0,26 \times 1,0$ až $1,2$ m s křížkem na horní ploše ve směru úhlopříčky, po straně označeny písmeny K.V. a rokem osazení. Podzemním znakem byla žulová deska $0,5 \times 0,5$ m s centricky vyznačeným křížkem. Původní stabilizace bodů vojenské triangulace o rozměrech většinou

0,32x0,32x1,2 m byla ponechána. Stabilizace trigonometrických bodů byla ještě doplněna třemi až čtyřmi zajišťovacími kameny o rozměrech 0,2x0,2x0,7 m umístěných na vlastnických hranicích v blízkém okolí a určeny zajišťovací délkové úhlové míry. Původní místopisy bodů obsahovaly informaci, zda se jedná o bod dřívější triangulace.

Směry v trigonometrické síti byly v letech 1920-1924 měřeny Scheiberovou metodou ve všech kombinacích s vahou $p=24$, v dalším období v úpravě V. Kolomazníka ve třech kombinacích s vahou $p=36$. Pro měření byly používány vteřinové teodolity se dvěma mikroskopy firmy Otto Fennel z Casselu a firmy Breithaupt, nebo dvouvteřinové repetiční teodolity firmy Neuhöfer a syn Vídeň a firmy Josef a Jan Frič Praha.

Nově měřené směry a směry přebírané z vojenské triangulace byly nejprve společně vyrovnány na stykových bodech vyrovnáním směrů na stanovisku. Základní trigonometrická síť byla následně vyrovnána v rovinném souřadnicovém systému JTSK (S-JTSK) metodou nejmenších čtverců ve dvou etapách. Nejprve bylo vyrovnáno 237 trigonometrických bodů (397 trojúhelníků) s 1266 oboustranně měřenými směry a 162 podmínkovými rovnicemi stranovými, které určovaly převážnou část základní trigonometrické sítě na území Československa. Až následně v roce 1927 byl vyrovnán 31 bod (59 trojúhelníků) s 180 oboustranně měřenými směry v jihozápadní části Slovenska s připojením na 11 bodů vyrovnaných v první etapě.

V první etapě bylo řešeno 559 normálních rovnic (postupně bylo řešeno 70 skupin s 10 až 48 normálními rovnicemi) vzájemně se prostupujícími trojúhelníky vázaných na společnou stranovou rovnici. Ve druhé etapě bylo řešeno 87 normálních rovnic.

Způsob lokalizace map III. vojenského mapování do S-JTSK

Zobrazení zeměpisných souřadnic do systému S-JTSK je podrobně popsáno v literatuře, ale některé vlastnosti kartografických a geodetických základů výše zmiňovaných systémů neumožňují mechanickou aplikaci matematických vztahů pro převod geografické sítě do S-JTSK, jenž je použita pro sekční dělení mapových listů topografických sekcí a listů speciální mapy 1:75 000. Rozměr mapových listů se mění v závislosti na zeměpisné šířce sféroidických pravouhelníků. Při jejich zobrazení do S-JTSK k tomuto dále přistupuje vliv délkového zkreslení Křovákova zobrazení. Rozměry mapových listů X. (52) sloupce speciální mapy 1:75 000 při zobrazení do S-JTSK uvádí tab. 1.

Obraz geografické sítě v S-JTSK je obecně soustava křivek navzájem kolmých. Vzepětí této křivky nad přímoou spojnicí rohů dolní sekce mapového listu 4052 činí 30,73 m na vzdálenost šířky mapového listu (36 952,53 m) a na nejevernější sekci mapového listu 3552 tato hodnota činí 29,30 m (šířka mapového listu 34 908,27 m).

Další problémy činí souvztažnost geodetických základů. Vojenská triangulace I. řádu byla budována a vyrovnávána etapovitě, v některých částech Moravy a jižního Slovenska nebyla nikdy ani dobudována jako síť plošná. Z této triangulace v následujícím období byla převzata orientace a umístění nové základní trigonometrické sítě I. řádu Jednotné trigonometrické sítě katastrální. V dnešním pojetí vyrovnání plošných sítí byl z vojenské triangulace převzat i rozměr sítě JTSK.

Při převodech zeměpisných souřadnic do S-JTSK činí problémy i nepřesně stanovená zeměpisná délka Ferrrského poledníku jako počátku zeměpisných souřadnic vojenská triangulace I. řádu. Dále bylo prokázáno stočení trigonomet-

rické síť vojenské triangulace způsobené tížnicovou odchylkou na referenčním bodě Hermannskogel.

Nejen z těchto důvodů je proto nutné pro převod rastrových ekvivalentů map III. vojenského mapování do S-JTSK vycházet z identických bodů geodetických základů obdobně jak bylo použito pro lokalizaci map II. vojenského mapování (Čada 2006).

Označení mapového listu	Sansonovo zobrazení				Křovákovo zobrazení				Rozměrové diference	
	zeměpisná délka λ		zeměpisná šířka φ		výška ML	šířka ML	výška ML	šířka ML	výška ML	šířka ML
	[°]	[']	[°]	[']	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
	51	15	31	45		34905.62		34908.27	-2.65	
1-X (3552)					27809.49		27842.06			-32.57
	51	00	31	45		35094.55		35094.94	-0.39	
2-X (3652)					27808.30		27807.92			0.38
	50	45	31	45		35282.81		35281.42	1.39	
3-X (3752)					27807.11		27805.52			1.59
	50	30	31	45		35470.39		35467.74	2.65	
4-X (3852)					27805.91		27803.54			2.37
	50	15	31	45		35657.29		35653.89	3.40	
5-X (3952)					27804.71		27801.99			2.72
	50	00	31	45		35843.51		35839.86	3.65	
6-X (4052)					27803.51		27800.81			2.70
	49	45	31	45		36029.03		36025.70	3.33	
7-X (4152)					27802.31		27801.75			0.56
	49	30	31	45		36213.87		36211.37	2.50	
8-X (4252)					27801.10		27799.72			1.38
	49	15	31	45		36398.00		36396.89	1.11	
9-X (4352)					27799.90		27799.79			0.11
	49	00	31	45		36581.44		36582.25	-0.81	
10-X (4452)					27798.69		27800.24			-1.55
	48	45	31	45		36764.18		36767.46	-3.28	
11-X (4552)					27797.48		27801.11			-3.63
	48	30	31	45		36946.21		36952.53	-6.32	

Tab.1 Rozměr mapových sekcí speciální mapy III. vojenského mapování

Závěr

Neúplný mapový soubor topografických map 1:25 000 a veškeré speciální mapy 1:75 000 byly převedeny do digitální rastrové podoby a byla provedena lokalizace těchto rastrových ekvivalentů do systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) s využitím kartografických a geodetických základů použitých pro tento projekt, které jsou v předložené stati popsány.

Celý projekt vznikl ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR v rámci výzkumného záměru "Výzkum zdrojů a indikátorů biodiverzity v kulturní krajině v kontextu dynamiky a její fragmentace" a tyto staré mapy jsou v digitální podobě k dispozici široké odborné veřejnosti.

Literatura

H. HARTL, Die Projectionen der wichtigsten vom k.k. Generalquartiermeisterstabe und vom k.k. militär-geographischen Institute herausgegebenen Kartenwerke. Mittheilungen des k.k. militär-geographischen Institutes. Svazek VI. Wien 1886.

WERKMEISTER, Zeitschrift für Vermessungswesen, ročník 1909.

N. HERZ, Lehrbuch der Landkartenprojektionen. Leipzig 1885.

J. FRISCHEUF, Die mathematischen Grundlagen der Landesaufnahme und Kartographie des Erdsphäroid. Stuttgart 1913.

H. HARTL, Materialien zur Geschichte der astronomisch-trigonometrischen Vermessung der österreichisch-ungarischen Monarchie. Mittheilungen des k.k. militär-geographischen Institutes. Svazek VII. Wien 1887.

Josef KŘOVÁK, Volba zobrazení československého státu. Zprávy veřejné služby technické. Ročník IV. Ministerstvo veřejných prací v Praze 1922.

Josef KŘOVÁK, Volba směru, rozměru a polohy nové základní trigonometrické sítě Československé republiky na Besselově zemském elipsoidu. Zprávy veřejné služby technické. Ročník IX, str. 632-637, Ministerstvo veřejných prací v Praze 1927.

ALBRECHT, Astronomische Nachrichten, č.3993/1894

Robert von Sternech, Das neue Dreiecksnetz I. Ordnung der österr.-ung. Monarchie. Mittheilungen des k. und k. militär-geographischen Institutes in Wien. Vídeň 1899.

Die Ergebnisse der Triangulierungen des k.u.k. militär-geographischen Institutes. I band. Triangulierung 1. Ordnung. Kaiserlich-königlichen Hof- und Staatsdruckerei. Wien 1901. A3/25 Zeměměřický úřad Praha.

Die Ergebnisse der Triangulierungen des k.u.k. militär-geographischen Institutes. II. band. Triangulierung 1. Ordnung. Kaiserlich-königlichen Hof- und Staatsdruckerei. Wien 1902. A3/26 Zeměměřický úřad Praha.

© Österreichisches Staatsarchiv/Kriegsarchiv Wien

Václav ČADA, Hodnocení polohové a geometrické přesnosti prvků II. vojenského mapování lokalizovaných v S-JTSK. Supplementum I. Historické geografie, str. 84-107. Historický ústav AV ČR, Praha 2006

