

Ján VALKO, Lenka DEMČÁKOVÁ

## TRANSFORMÁCIE SÚRADNÍC MEDZI GEOCENTRICKÝM SÚRADNICOVÝM SYSTÉMOM A S-JTSK

**Valko Ján, Demčáková Lenka: Coordinate Transformation between the Geocentric Coordinate Systems and the S-JTSK.** Kartografické listy, 1998, 6, 4 figs., 1 tab., 10 refs.

**Abstract:** The proposal and evaluation of coordinate transformations between the geocentric coordinate system and the S-JTSK. Assessment of the used transformation methods and constructions of  $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$  nomograms.

**Keywords:** Coordinate transformation; numerical general quadratic, numerical general cubic, general quadratic, and Helmert transformation.

### Úvod

Pre geodetickú prax na Slovensku je v súčasnosti záväzným referenčným systémom súradnicový systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK), ktorá bola definovaná ešte na začiatku nášho storočia. Napriek svojim kvalitám sa ale dostáva do konfliktu s dnešnými technológiami a potrebami. Tento konflikt sa prejavuje v súčasnosti pri širokom využívaní Globálneho polohového systému (GPS). Predpokladá sa prechod na nový referenčný systém, pričom jeho potreba je daná najmä nedostatočujúcou presnosťou súčasného referenčného systému. Dnešné meračské technológie sú asi o rád presnejšie ako je presnosť referenčného rámca. Nastáva teda paradoxná situácia, keď presnejšie merania musíme „vtlačiť“ do menej presného rámca a tým degradovať dosiahnutú presnosť. Nový referenčný systém musí mať referenčný rámec aspoň taký presný ako sú používané meračské technológie. Nový systém by mal byť geocentrický, alebo aspoň by mal mať jednoznačne určený vzťah ku geocentru. V súčasnosti sa používajú referenčné systémy IERS, ETRS, WGS-84.

Na Slovensku sa v rokoch 1990-1994 budovali geodetické základy podľa "Konceptie modernizácie a rozvoja Česko-Slovenských geodetických základov". Táto koncepcia, prijatá v r. 1990, predpokladá prechod na úplne nové štvorrozmerné geodetické základy, definované riedkou sieťou fundamentálnych bodov vzájomne prepojených len družicovými meraniami pomocou aparátúr GPS. Medzi jednotlivé kroky budovania geodetických základov novej koncepcie možno zaradiť GPS kampane: EURF-EAST 91, CS-NULRAND 92, SLOVGERENET 93, EXTENDED-SAGET 92, 93, 94 a Spojovacie meranie s Rakúskom a Maďarskom.

Slovgerenet má plniť dve úlohy. Prvou je výskum geodynamiky Slovenska a druhou je referenčná kostra novovybudovaných štvorrozmerných geodetických základov. Z tohto dôvodu nastáva úloha transformácie súradníc geocentrického referenčného systému do S-JTSK. V tejto práci sa zaoberáme návrhom vhodnej transformácie. Ako vstupné údaje boli použité súradnice AGS vyjadrené v S-JTSK a ETRS-89.

## Transformácie

Brali sme do úvahy dva druhy súradníc: rovnorodé a rôznorodé.

Rovnorodé súradnice majú rovnaké geodetické základy t.j. mierku, výpočtovú plochu a merané prvky sú určené s rovnakou presnosťou. Medzi oboma sústavami súradníc platia matematické vzťahy:  $X = f(x,y)$ ,  $Y = g(x,y)$ .

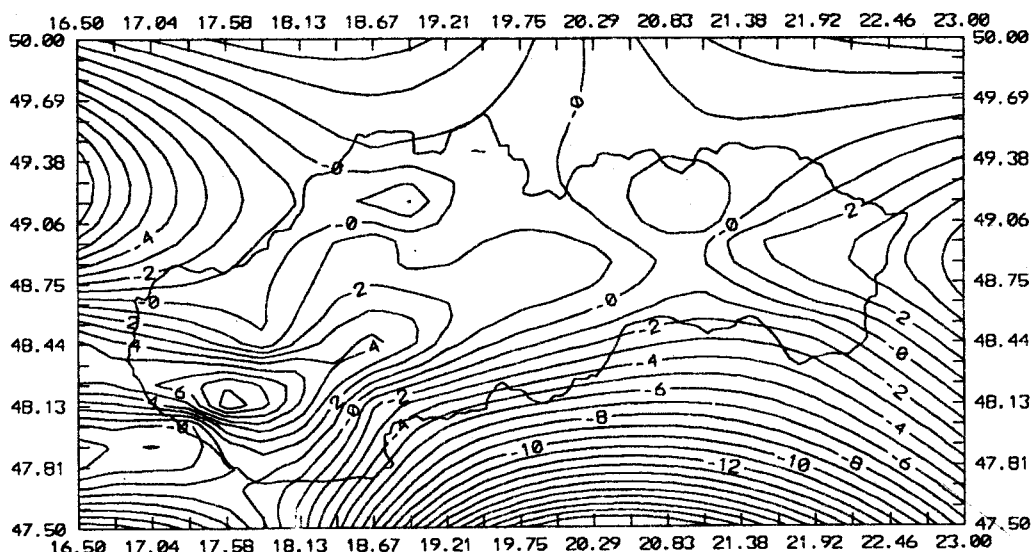
Rôznorodé súradnice majú rôzne geodetické základy a predovšetkým rôznu presnosť určovacích prvkov bodov. Medzi oboma sústavami súradníc  $(x, y)$  a  $(X,Y)$  neexistuje presný matematický vzťah.

Rozdiel medzi týmito dvoma druhmi súradníc je v tom, že transformácia rovnorodých súradníc je jednoznačnou úlohou, ale pri transformácii rôznorodých súradníc je k transformovaným súradniciam potrebné pripojiť opravy získané číselne alebo graficky.

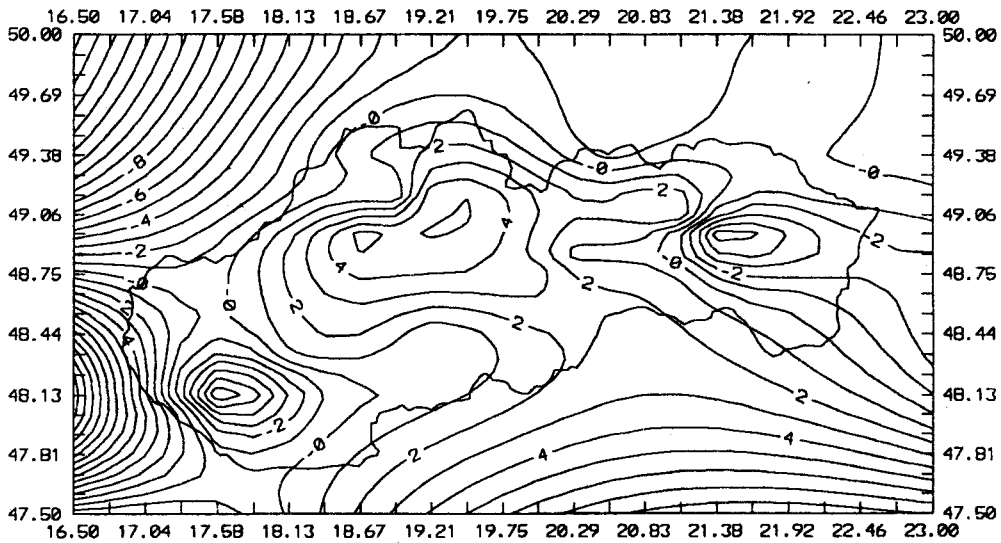
Postup transformácie:

1. Na transformáciu boli použité súradnice AGS dané v S-JTSK a ETRS-89.
2. Z dôvodu rôzneho definovania zemepisnej dĺžky vo WGS-84 (od Greenwicha) a S-JTSK (od Ferra) sa k zemepisnej dĺžke pripočítala hodnota  $17' 40''$ .
3. Zo zemepisných súradníc daných v ETRS-89 boli pomocou vzťahov uvedených v [5] vypočítané pravouhlé rovinné súradnice v S-JTSK.
4. Volené boli lineárne (Helmertova) a nelineárne (kubickej, kvadratickej) transformácie.
5. Pri kubickej a kvadratickej transformácii bol použitý aj numerický spôsob.
6. Pri Helmertovej, kvadratickej a kubickej transformácii sme vychádzali zo súradníc podľa bodu 3.
7. Zo súradnicových rozdielov boli vytvorené údajové súbory spracované v grafickom programe SURFER. Výsledkom sú mapy izočiar súradnicových rozdielov (obr. 1 - 4).

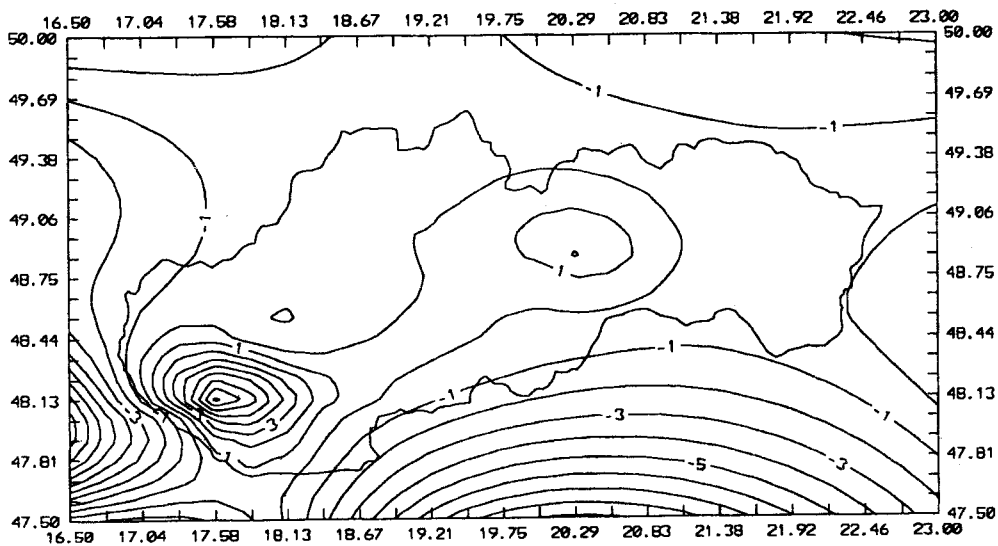
Všetky výpočty boli vykonané v matematickom programe Mathcad.



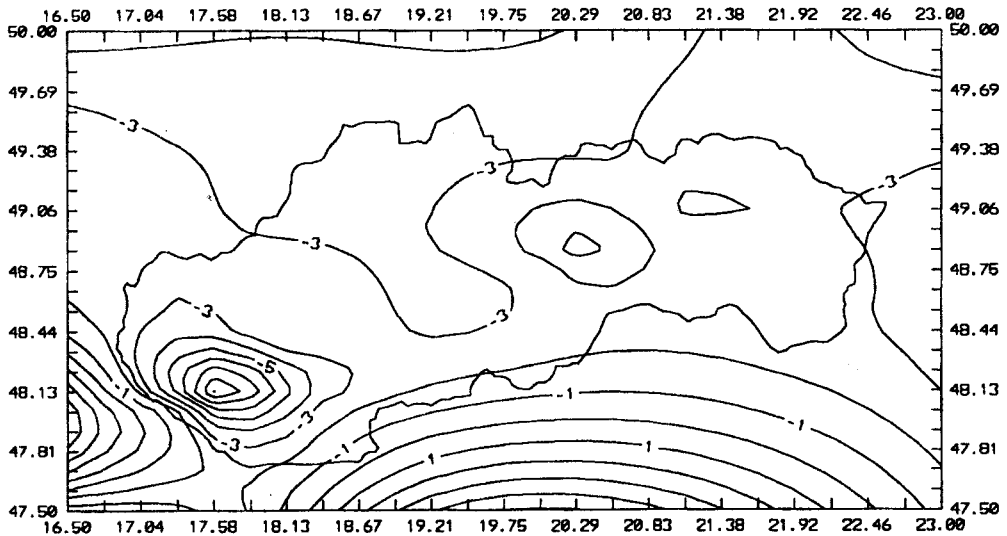
Obr. 1 Všeobecná kvadratická transformácia - numerická (dX)



Obr. 2 Všeobecná kvadratická transformácia - numerická (dY)



Obr. 3 Helmertova transformácia (dX)



Obr. 4 Helmertova transformácia (dY)

## Zhodnotenie

Na transformáciu medzi geocentrickým súradnicovým systémom a S-JTSK boli aplikované tieto transformácie:

1. všeobecná kvadratická - numerická metóda,
2. všeobecná kubická - numerická metóda,
3. transformácia pomocou vzťahov matematickej kartografie,
4. všeobecná kvadratická,
5. všeobecná kubická,
6. Helmertova.

Podkladom boli súradnice bodov AGS v súradnicových systémoch ETRS-89 a S-JTSK, ktoré v tejto práci pre ich obsažnosť neuvádzame.

Použitím všeobecnej kvadratickej transformácie (numerická metóda) boli dosiahnuté tieto rozdiely:

v dX - min. 0.033 m, max. 5.614 m,  
v dY - min. 0.079 m, max. 7.703 m.

Štandardná polohová odchýlka má hodnotu 3.192 m, pričom hodnota minimálne dosiahnutej odchýlky je 0.293 m a max. 8.148 m. Táto metóda bola riešená ako numerická, z toho dôvodu počet identických bodov, ako aj počet členov rozvoja, apriórne nezodpovedal požadovanej (centimetrovej) presnosti.

Použitím všeobecnej kubickej transformácie (numerická metóda) boli dosiahnuté tieto rozdiely:

v dX - min. 0.10 m, max. 10.18 m,  
v dY - min. 0.02 m, max. 4.09 m.

Štandardná polohová odchýlka má hodnotu 4.914 m, pričom hodnota minimálne dosiahnutej odchýlky je 0. 881 m a max. je 15.808 m. O tejto metóde môžeme konštatovať (čo do princípu a kvality), že je zhodná z metódou všeobecnou kvadratickou.

Použitím Helmertovej transformácie boli dosiahnuté tieto rozdiely:

v dX - min. 0.01 m, max. 9.67 m,  
v dY - min. 0.32 m, max. 10.10 m.

Štandardná polohová odchýlka má hodnotu 3.25 m, pričom hodnota minimálne dosiahnutej odchýlky je 2.35 m a max. je 13.99 m. O tejto metóde môžeme konštatovať (čo do princípu a kvality), že má lineárny charakter a preto pomocou jej parametrov nie je možné vystihnúť lokálnu nehomogenitu referenčnej siete.

Použitím vzťahov matematickej kartografie štandardná polohová odchýlka má hodnotu 166.704 m. Je to spôsobené:

1. pripočítaním hodnoty rozdielu medzi poludníkom Ferro a Greenwich, pričom nejasnosť v určení 1" spôsobí odchýlku 31 m,
2. rozdielnymi elipsoidmi,
3. rozdielnou orientáciou siete,
4. prístupom k určeniu polohy bodu (v geocentrickom systéme je každý bod nezávisle určený, pričom AGS je závislá od okolitých bodov, ako aj od celkovej siete pri spoločnom vyrovnaní). Ako vyplýva z výsledkov tento postup by stačil na použitie v lesníctve prípadne pre mapy malých mierok.

Použitím všeobecnej kvadratickej transformácie boli dosiahnuté tieto rozdiely:

v dX - min. 0.01 m, max. 9.55 m,  
v dY - min. 0.04 m, max. 7.65 m.

Štandardná polohová odchýlka má hodnotu 0.968 m, pričom hodnota minimálne dosiahnutej odchýlky je 0.10 m a max. 12.24 m.

Použitím všeobecnej kubickéj transformácie boli dosiahnuté tieto výsledky:

v dX - min. 0.07 m, max. 6.99 m  
v dY - min. 0.08 m, max. 5.60 m

Štandardná polohová odchýlka má hodnotu 1.50 m, pričom hodnota minimálne dosiahnutej odchýlky je 0.18 m a max. je 8.96 m.

**Tab. 1**

Transformácia	dX	dY	štandardná polohová odchýlka
1.	1.098	0.567	3.192
2.	0.489	0.437	4.914
3.	106.819	127.520	166.704
4.	0.166	0.431	0.968
5.	0.289	0.139	1.500
6.	0.278	3.011	3.250

Podľa tab. 1 najmenšie odchýlky dosahuje všeobecná kvadratická transformácia. Možno teda konštatovať, že najvhodnejšími na transformáciu sú nelineárne transformácie. Napriek tomu, že dosahujú približne metrovú štandardnú odchýlku, je podľa [10] možné dosiahnuť centimetrovú presnosť. Pre toto je potrebné:

- zvýšiť počet identických bodov,
- zabezpečiť rovnomerné rozloženie bodov na území Slovenska,
- analyzovať lokálne deformácie S-JTSK a eliminovať neidentické body.

## Literatúra

- [1] SSGK - pobočka pri Výskumnom ústave geodézie a kartografie v Bratislave, celoslovenský seminár: Modernizácia geodetických základov Slovenska. Bratislava, SvF STU 1994.
- [2] Hefty, J. - Husár, L.: Družicová geodézia - Globálny polohový systém. Bratislava, SvF STU 1994
- [3] Abelovič, J.: Vyššia geodézia - I. časť - 1. diel. Bratislava, ES SVŠT 1983.
- [4] Melicher, J. - Fixel, J. - Kabeláč, J.: Geodetická astronómia a základy kozmickej geodézie. Bratislava, Alfa 1993.
- [5] Daniš, M. - Vaško, J.: Matematická kartografia - praktické úlohy, tabuľky. Bratislava, ES SVŠT 1988.
- [6] Antalová, S.: Nomogramy na transformáciu pravouhlých rovinných súradníc medzi S-42 a S-JTSK. Diplomová práca. Bratislava, SvF STU 1997.
- [7] Horemuž, M.: Referenčné systémy v geodézii a kartografii. Kartografické listy, 4/1996, s. 29 - 37.
- [8] Mojzeš, M.: Transformácia súradnicových systémov multiregresnou analýzou. Kartografické listy, 5/1997, s. 47 - 54.
- [9] Hefty, J.: Spoločná analýza Slovgerenet 93 a Slovgerenet 95. Bratislava, SvF-KGZ STU 1996.
- [10] Hefty, J.: Návrh metodiky transformácie trigonometrických bodov v súradnicovom systéme jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej pre územie Slovenska do európskeho terestrického referenčného systému 1989. Bratislava, SvF-KGZ STU 1997.

## S u m m a r y

### Coordinate transformation between the geocentric coordinate systems and the S-JTSK

With the advent of GPS technology, the problem of transforming geocentric coordinates derived from GPS measurements, into the S-JTSK becomes prominent. In our project, we analyzed following transformation classes:

- numerical general quadratic transformation (Fig.1 - dX, Fig 2 - dY),
- numerical general cubic transformation,
- general quadratic transformation,
- general cubic transformation,
- transformation between rectangular and ellipsoidal coordinates,
- Helmert transformation (Fig. 3 - dX, Fig. 4 - dY).

The analysis was performed over 29 points of the AGS net represented by geographic coordinates in the ETRS-89 and rectangular coordinates in the S-JTSK. The isoline map-nomograms were drawn by the „Surfer“ graphic computer programme from dX and dY values.

**Lektoroval :**

**Ing. Š. Prlam, CSc.**

**Geodetický a kartografický ústav,  
Bratislava**