

# Projekt PITRASOFT – súčasnosť a budúcnosť

Ing. Štefan Gregor

Topografický ústav, Ružová 8, 975 53 Banská Bystrica

[sgregor@topu.army.sk](mailto:sgregor@topu.army.sk)

**Abstrakt.** Projekt PITRASOFT bol založený za účelom vytvorenia transformačnej knižnice na prevod medzi staršími referenčnými systémami a systémom ETRS-89 pre potreby Topografického ústavu. Jeho cieľom je vytvorenie nástroja na transformáciu polohových informácií bez výraznej straty kvality s minimálnymi požiadavkami na užívateľa. Pre transformáciu je použitá metóda 7-prvkovej transformácie s dvomi možnosťami dotransformácie na odstránenie lokálnych tvarových a mierkových deformácií.

**Kľúčové slová:** transformácia, geodézia

**Abstract.** Project PITRASOFT – today and future. The project was founded to create transformation library for the transformation between older reference geodetic systems and the system ETRS-89 for the Topographical Institute needs. Its aim to create of the transformation tool for positional information transformation without significant deflection of quality and with minimal user requests. For the transformation there is used 7-parameter transformation with two alternatives of post-transformation for the elimination of local shape and scale distortion.

**Keywords:** English, transformation, geodesy

## 1 Úvod

Ozbrojené sily Slovenskej republiky, konkrétne Topografický ústav Banská Bystrica, už z povahy zamerania svojej činnosti nevyhnutne potrebuje poznať exaktné transformačné vzťahy medzi súradnicovým systémom ETRS-89 (UTM) a ostatnými používanými súradnicovými systémami SJTSK, S-42 a S-42/83. Kým pri prácach súvisiacich s naplňaním Centrálnej priestorovej databázy je postačujúca submetrová presnosť 7-prvkovej transformácie, špeciálne geodetické práce vykonávané pre potreby Ozbrojených síl vyžadujú centimetrovú presnosť. Nie vždy je možné alebo efektívne určovať súradnice v požadovanom súradnicovom systéme, preto s nárastom objemu takýchto presných prác vznikla potreba vytvorenia transformačných vzťahov pre územie Slovenskej republiky a blízkeho okolia a vytvorenie transformačnej knižnice resp. programu na transformáciu medzi všetkými používanými systémami na území SR. Na tento účel vznikol projekt PITRASOFT.

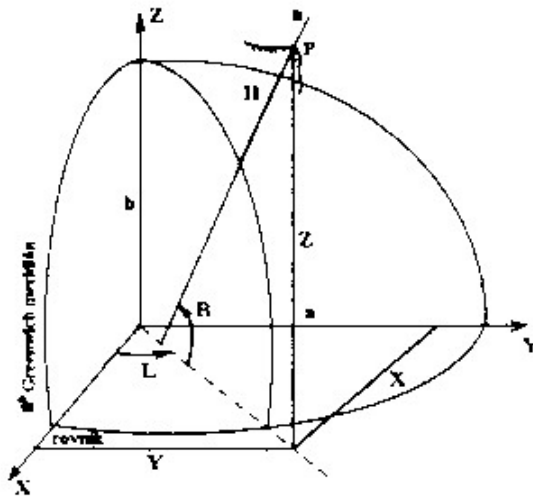
Cieľom tohto projektu je vytvorenie transformačnej knižnice so strednou chybou polohovej transformácie do 5 cm v rámci celého územia SR vrátane hraničných

oblastí na základe určenia súradníc v systéme ETRS-89 na cca 350 bodoch prvého až tretieho rádu Štátnej trigonometrickej siete. Znamenalo by to, že by sme pri určovaní súradníc mohli využiť akýkoľvek zo spomínaných súradnicových systémov a transformácia by neznižovala zásadným spôsobom kvalitu merania, čo by viedlo k vyššej efektívnosti merania.

Na základe skúseností s transformáciou medzi SJTSK a S-42 (S-42/83), kde sme za použitia 1186 identických bodov dosiahli stredné chyby skutočných súradnicových odchýlok pri transformácii množiny 3433 bodov v rámci celého územia SR pod 2 cm, môžeme predpokladať, že pri realizácii transformácie medzi ETRS-89 a SJTSK, S-42 či S-42/83 s použitím nižšieho počtu identických bodov a vzhľadom na značný rozdiel vo veku sietí dosiahneme hodnoty strednej chyby transformovaných súradníc okolo 5 cm.

## 2 Teoretické základy

Poloha bodu P je v priestore jednoznačne určená pravouhlými priestorovými súradnicami X, Y, Z alebo geodetickými zemepisnými súradnicami B, L, H, kde B je zemepisná šírka, L je zemepisná dĺžka a H je elipsoidická výška bodu P nad referenčným elipsoidom meraná po normále  $n$ , kolmej na povrch elipsoidu. (obr. 1).



Obr. 1 Súradnicové systémy na referenčnom elipsoide

Vzájomný vzťah medzi X, Y, Z a B, L, H vyjadrujú priame a inverzné rovnice

$$X = (N + H)\cos B \cos L, \quad Y = (N + H)\cos B \sin L, \quad Z = (N(1-e^2) + H)\sin B \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} L = \frac{Y}{X} \quad \operatorname{tg} B = \frac{Z + e_2^2 b \sin^3 \psi}{p - e_1^2 a \cos^3 \psi} \quad H = \frac{p}{\cos B} - N \quad (2)$$

kde a, b sú veľkosti poloosí referenčného elipsoidu a pre N, e12, e22, p, ψ platí

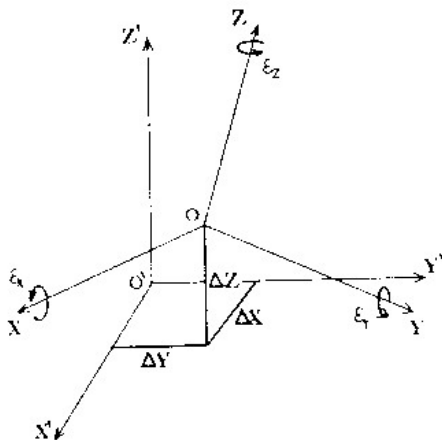
$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e_1^2 \sin^2 B}} \quad e_1^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad e_2^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{Z \cdot a}{b \cdot p} \quad (3)$$

V priestore ďalej uvažujeme dva referenčné geodetické systémy S(O,X,Y,Z) a S'(O',X',Y',Z'), ktorých počiatky O a O' nie sú vo všeobecnosti totožné a E(a,e1<sup>2</sup>), E'(a',e1'<sup>2</sup>) sú príslušné referenčné elipsoidy systémov S a S' (obr. 2).

Vzájomnú polohu súradnicových systémov S a S' vyjadrujú parametre translácie ΔX, ΔY, ΔZ, rotácie ε<sub>x</sub>, ε<sub>y</sub>, ε<sub>z</sub> a mierkového faktora μ podobnostnej transformácie [1]

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -\varepsilon_z & \varepsilon_y \\ \varepsilon_z & 0 & -\varepsilon_x \\ -\varepsilon_y & \varepsilon_x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (4)$$

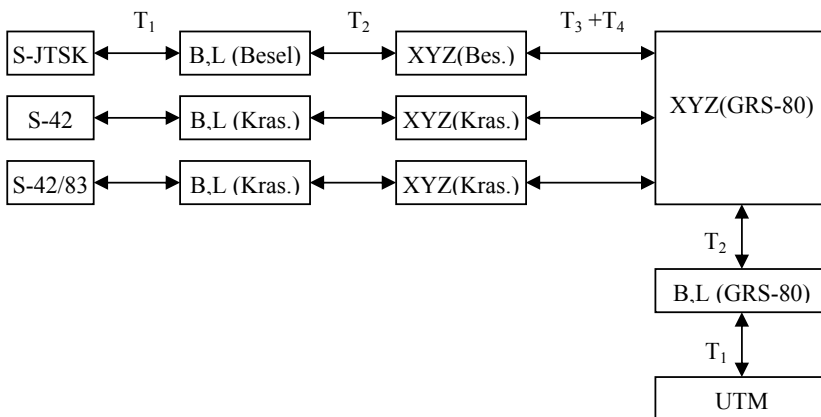


### 3 Transformácia národných systémov z a do ETRS-89 (UTM)

ETRS je na území Slovenska realizovaný prostredníctvom aktívnych a pasívnych bodov Slovenskej geodynamickej referenčnej siete (SGRN) a nazýva sa Slovenský kinematický referenčný rámec (SKTRFyy epocha  $t_j$ ).

S-JTSK je definovaná súborom súradníc bodov Štátnej trigonometrickej siete, rovnako ako v ozbrojených silách kedysi používané systémy S-42 a S-42/83. Tieto systémy už síce v ozbrojených silách nie sú v platnosti, napriek tomu existuje ešte mnoho produktov, ktoré neboli nahradené na kvalitatívne rovnakej úrovni v súradnicovom systéme ETRS.

Nakoľko nepoznáme priebeh kvázigeoidu nad Beselovým a Krasovského elipsoidom a nadmorská výška je vzhľadom k polohe referenčných systémov invariantná, budeme sa venovať iba 2D transformácii. Elipsoidická výška bude potom rovná nule. Základný princíp transformácie spočíva v prevode pôvodných súradníc (rovinných alebo zemepisných) na geocentrické. Geocentrické súradnice budú pomocou 7-prvkovej transformácie transformované do (zo) systému ETRS-89. Na odstránenie lokálnych a rozmerových deformácií budú testované dve metódy: Jungova dotransformácia a dotransformácia pomocou digitálneho modelu opráv na identických bodoch (DMO). Napokon budú výsledné geocentrické súradnice prevedené do požadovaného formátu. V prípade, že vstupný ani výstupný systém nebude systém ETRS-89, celý proces bude mať dve fázy: prevod pôvodného systému do ETRS-89 a prevod z ETRS-89 do výstupného systému (obr. 3).



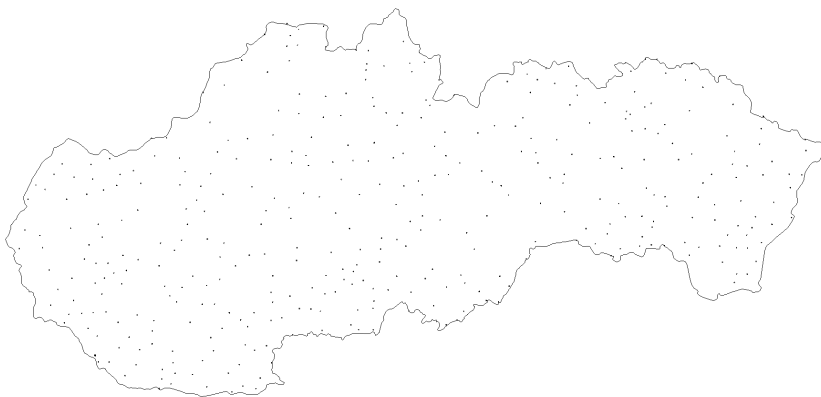
Obr. 3 Prevod medzi súradnicovými systémami

$T_1$  – prevod medzi rovinnými a zemepisnými súradnicami

$T_2$  – prevod medzi zemepisnými a pravouhlými priestorovými súradnicami

T<sub>3</sub> – prevod medzi súradnicovými systémami pomocou 7-prvkovej transformácie  
T<sub>4</sub> – dotransformácia (Jungova resp. pomocou DMO)

Aby takúto transformáciu bolo vôbec možné realizovať, je potrebná množina identických bodov vo všetkých systémoch. Tieto body by mali byť reprezentatívnou vzorkou z celého záujmového územia, s optimalizovaným rozmiestnením. My sme vybrali 350 bodov Štátnej trigonometrickej siete prvého až tretieho rádu (obr. 4). Na 218 bodoch bolo vykonané meranie v rámci tvorby Štátnej priestorovej siete a tieto body majú určené súradnice vo všetkých záujmových súradnicových systémoch. Ďalšie body ŠTS boli navrhnuté tak, aby každý identický bod (samozrejme okrem hraničných) mal v každom kvadrante aspoň 1 bod do vzdialenosti 30 km. Samozrejmovou podmienkou bola možnosť 2-3 hodinovej observácie prístrojom GPS v závislosti od podmienok merania[2]. Tieto merania v súčasnosti finišujú a po ich ukončení bude možné realizovať výpočet parametrov transformačných 7-prvkovej transformácie medzi ETRS-89 a systémami S-JTSK, S-42, S-42/83. Vektory opráv na identických bodoch, ktoré vzniknú po transformácii, budú použité na dotransformáciu dvoma metódami: Jungovovou dotransformáciou a dotransformáciou pomocou DMO.

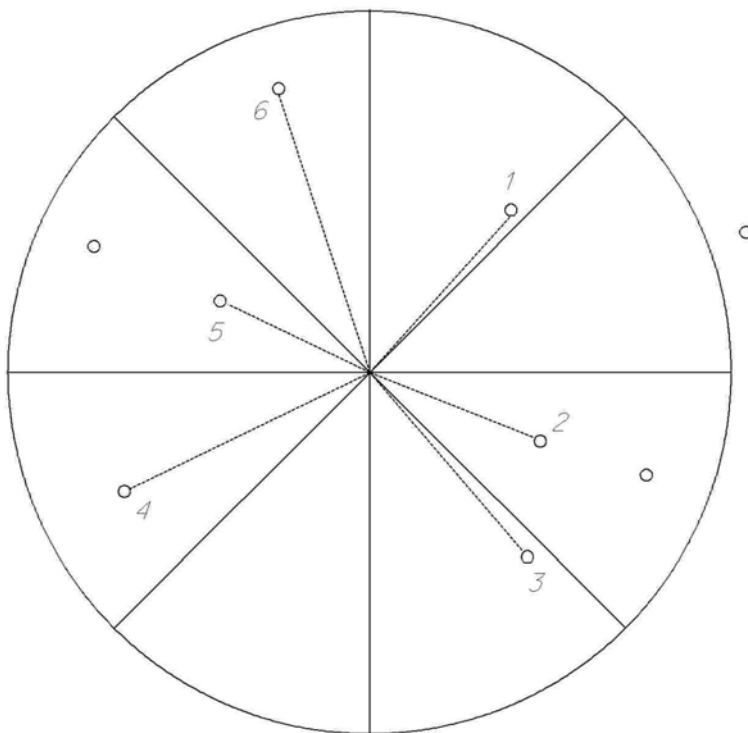


Obr. 4 Rozmiestnenie identických bodov

Jungova dotransformácia znamená v podstate vážený priemer opráv na blízkych identických bodoch v závislosti od vzdialenosti určovaného a identického bodu. Je vyjadrený v tvare

$$\delta x = \frac{\sum_i v_x^1 \cdot S_{il}^{-2}}{S_{il}^{-2}} \quad \delta y = \frac{\sum_i v_y^1 \cdot S_{il}^{-2}}{S_{il}^{-2}} \quad \delta z = \frac{\sum_i v_z^1 \cdot S_{il}^{-2}}{S_{il}^{-2}}, \quad (5)$$

kde  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$  sú súradnicové opravy na určovaných bodoch,  $v_x^1$ ,  $v_y^1$ ,  $v_z^1$  sú súradnicové opravy na identických bodoch a  $S_{il}$  je vzdialenosť medzi určovaným a identickým bodom. Dotransformácia je navrhnutá tak, aby sa do výpočtu brali najbližšie identické body z ôsmich sektorov v okolí určovaného bodu do maximálnej vzdialenosti 30 km (obr. 5).



Obr. 5 Jungova dotransformácia

Dotransformácia pomocou DMO je realizovaná na základe modelovania odchýlok na identických bodoch po 7-prvkovej transformácii. Odchýlky v každej súradnicovej osi

sú modelované v programe SurGe v rozsahu  $47,7^\circ < B < 49,5^\circ$ ,  $16,9^\circ < L < 22,5^\circ$  v mriežke  $2,1' \times 3,4'$ . Plošnou interpoláciou z príslušných rohov mriežky sa získajú hodnoty opráv v každej súradnicovej osi a vypočítajú sa geocentrické súradnice.

Na testovanie kvality realizácie transformačného procesu budú použité body Štátnej priestorovej siete, ktoré sú zároveň bodmi Štátnej trigonometrickej siete štvrtého a piateho rádu. Ide o cca 350 bodov v rámci celého územia SR, ktoré možno považovať za reprezentatívnu vzorku (obr. 6).



Obr. 6 Rozmiestnenie testovacích bodov

## 4 Tvorba transformačného programu

Na základe získaných súradníc a z nich vytvorených transformačných vzťahov a digitálneho modelu opráv bude realizovaný vývoj transformačnej knižnice, ktorá by sa mala stať súčasťou Vojenského informačného systému o území. Knižnica by mala umožniť prevod medzi referenčnými súradnicovými systémami v rámci územia SR a konverziu medzi rovinnými, zemepisnými a geocentrickými súradnicami v rámci referenčného systému pre celú planétu. Knižnica má kvôli jednoduchosti šesť vlastností: štyri vstupné (dve vstupné súradnice – zemepisné alebo rovinné, kódy vstupného a výstupného systému) a dve výstupné (pretransformované súradnice – zemepisné alebo rovinné). O tom, ktorá koncepcia dotransformácie sa použije pre konečnú verziu programu, rozhodnú praktické výsledky testovania.

## 5 Záver

Nariadením Náčelníka Generálneho štábu Ozbrojených síl Slovenskej republiky sa zaviedol ako jediný platný súradnicový systém v ozbrojených silách systém WGS-84 a zobrazenie UTM, pričom systém WGS-84 sa považuje za totožný s ITRF a ETRS. Preto je vhodné pre potreby armády použiť práve systém ETRS. Mnoho predpisov súvisiacich s geodetickým zabezpečením vojsk a geografických informácií prichádzajúcich z civilného sektora však obsahuje informácie v iných súradnicových systémoch, preto je potrebné riešiť komplexne transformačné vzťahy medzi týmito systémami. Práve toto je cieľom projektu PITRASOFT, ktorý má zabezpečiť zachovanie kvality polohovej informácie pri prechode medzi referenčnými súradnicovými systémami.

## Referencie

1. Burša M.. Základy kosmické geodezie 1. díl. , Praha 1967.
2. Gregor Š.. Projekt PITRASOFT – projekt tvorby transformačnej knižnice .
3. Leitmannová K., - Klobušiak M., - Priam Š.,- Ferienc D.. SKTRF2001 – referenčný rámec pre štátnu priestorovú sieť. Zborník referátov „Geodetické referenčné systémy“. KGZ SvF STU Bratislava 2002. s. 137-148.