



ETRS 89 versus JTSK, GLOBÁLNE RIEŠENIE PROTI LOKÁLNYM

Matej Klobušiak, Katarína Leitmannová^{)}*

Abstrakt:

Rozdiel medzi súradnicovým systémom JTSK a jeho realizáciami JTSK(x,y) a JTSK/03(x,y). Ako pripojiť meranie technológiou GPS do záväzných systémov S-JTSK, Bpv, ETRS89. Aký je rozdiel merania v systéme ETRS89 a WGS84? Návrh postupu spracovania meraní GPS so zachovaním homogenity súradníc na celom území Slovenska. Návrh eliminácie deformácie zo súradníc vektorových katastrálnych máp a ich transformácia do ETRS89.

1 Úvod

V súčasnej geodetickej praxi sa stále častejšie vyskytujú prípady, v ktorých kompetentným orgánom rezortu sú predkladané výsledky vybraných geodetických činností dokumentované iba zoznamom súradníc. Geodet využívajúci súčasné technológie merania - GPS v reálnom čase (VRS, RTK), nie je schopný doložiť súbory merania sprostredkujúcich veličín, ako tomu býva pri klasických geodetických meraniach (zápisníky), alebo pri post-processingovom spracovaní meraní GPS (súbor RINEX). Ak zoberieme do úvahy, že vývoj geodetických meracích techník smeruje od post-processingu k určovaniu priestorovej polohy v reálnom čase, ktorý poskytuje len zoznam súradníc bez sprostredkujúcich informácií, ktoré nám doteraz umožňovali vykonávať kontrolu preberaných prác, potom neostáva rezortu nič iné, iba akceptovať danú skutočnosť. Akceptovanie predpokladá existenciu systémových zásad, ktorých uplatňovaním musí byť zabezpečené : **a)** zrýchlenie a zlacnenie geodetických výkonov, **b)** zvýšenie vnútornej kvality geometrického aspektu geodetickej informácie, **c)** dosiahnutie homogenity a jednotnosti geodetických informácií nie len na území Slovenska, ale aj v jeho väzbe na susedné krajiny.

2 Geodézia - nástroj vizualizácie geografických informácií

Skúsme sa na geodéziu pozrieť bez prívlastkov *družicová, fyzikálna, geometrická, inžinierska, kinematická, kozmická, priemyselná, stavebná, nižšia, vyššia, trojrozmerná* a pod. Čo je spoločné pre každý druh geodézie? Spoločnou črtou-vlastnosťou geodézie bez prívlastkov je určovanie geometrického, fyzikálneho a kvalitatívneho aspektu geografickej informácie. Geodézia je kľúčom priameho adresovania objektov. Priame adresovanie je zabezpečené súradnicami. Tie najpoužívanejšie môžu byť : **1D** jednorozmerné (Bpv(h) - normálne výšky, GrS-95(g) - tiažové zrýchlenie), **2D** dvojrozmerné rovinné (JTSK(x,y), S42/83(x,y), StG(x,y)

^{*)} Ing. Matej Klobušiak, Ph.D., Ing. Katarína Leitmannová, Geodetický a kartografický ústav, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel. ++421 2 4333 4822, kl. 253, 220, e-mail : klobusiak@gku, leitmannova@gku.sk



a pod.) a na zakrivenej ploche (BESSEL(B,L), KRASOVSKÝ(B,L), ETRS89(B,L), WGS84(B,L)) a 3D trojrozmerné karteziánske (JTSK+Bpv(x,y,h), S42/83+Bpv(x,y,h), ETRS89(X,Y,Z), ITRS(X,Y,Z), WGS84(X,Y,Z) a pod.) a trojrozmerné na zakrivenej ploche (BESSEL(B,L,H), KRASOVSKÝ(B,L,H), ETRS89(B,L,H), WGS84(B,L,H)). Ak budeme brať do úvahy časovú zložku, potom pracujeme s ($n+1$)D rozmernými súradnicami. Medzi súradnicami je potrebné vykonávať prevody a transformácie. Prevody sú charakterizované postupnosťou matematických vzťahov prepočtu súradníc rovinných na zakrivenú plochu a opačne na tom istom referenčnom elipsoide. Transformácie sú charakterizované skupinou transformačných parametrov potrebných na prechod medzi dvoma referenčnými elipsoidmi.

Priame adresovanie umožňuje jednoznačnú identifikáciu objektov v každom informačnom systéme (GIS, LIS, MIS, AIS GKK a pod.) za predpokladu, že pracujeme v jednotnom súradnicovom referenčnom systéme, s predpísanou presnosťou a kvalitou. Štandardizovať jednotnosť, presnosť a kvalitu súradníc formou certifikovaných geodetických činností je nevyhnutné pri tvorbe národnej priestorovej dátovej infraštruktúry (NPDI). Táto predpokladá kombináciu, spájanie, agregáciu, interoperabilitu, harmonizáciu všetkých druhov geodetických a geografických informácií do jedného informačného systému. To znamená, že rezort musí okamžite začať integráciu svojich troch základných zložiek AIS GKK. Musí spojiť geodetické základy (GZ) a základnú bázu pre geografické informačné systémy (ZB GIS) so súborom geodetických informácií katastra nehnuteľností (SGI KN). Musí vytvoriť jednotu referenčných údajov pre všetky geopráce, pre všetky nadstavbové a tematické GISy. Tak ako body GZ reprezentujú realizáciu referenčného súradnicového systému, tak rovnako ZB GIS a SGI KN musí tvoriť referenčný základ všetkých ostatných topografických a geografických údajov.

Priame adresovanie s vysokým rozlíšením zjednodušuje tvorbu vertikálnej topológie spoločných hraníc objektov. Umožňuje jednoznačnosť v prenose zdieľania vlastností z elementárnych na agregované objekty bez zmeny ich elementárnej geometrie. Ináč povedané, ak sme presne určili geometriu a lokalizáciu objektu (parcela, budova, hranica, línia, os komunikácie, bod,...), potom tento objekt je možné použiť pre všetky odvodené, nadstavbové systémy. Generalizované objekty potrebné pre kartografický obsah celého mierkového radu štátneho mapového diela nepotrebuje nové zameranie.

Funkčná NPDI predpokladá v prvom rade prepojenie topografickej vrstvy s vrstvou katastra nehnuteľností. Ak má byť funkčná NPDI v svojom geometrickom a topologickom zmysle, je potrebné vybrané geodetické činnosti postaviť na tri základné piliere :

- vybudovať SPGS(SKPOS) službu na určovanie priestorovej polohy v reálnom čase do 2 cm [5], [6],
- vytvoriť referenčné údaje NPDI (GZ + ZB GIS + SGI KN) s dôrazom na presnosť geometrie a polohy,
- vytvoriť metainformačný systém na popis obsahu a kvality referenčných údajov .

Vybrané geodetické činnosti je potrebné vykonávať v záväzných súradnicových a výškových systémoch JTSK a Bpv resp. ETRS89 a EVRS2000.

3 Súčasný stav vzťahu realizácií záväzných referenčných systémov



11. SLOVENSKÉ GEODETICKÉ DNI

Bratislava, 4. – 5. decembra 2003

Musíme rozlišovať medzi definíciou referenčného systému a jeho realizáciou. S-JTSK je súradnicový systém definovaný na Besselovom elipsoide s Křovákovým zobrazením. Definíciu tohto systému tvoria zásady a parametre ako konštanty. Kvalitatívny prvok definície systému je obsiahnutý iba v matematických vlastnostiach zobrazenia priestoru do roviny (kartografické skreslenie, konformita).

Každý referenčný systém je fyzicky reprezentovaný súradnicami geodetických bodov. Tomuto hovoríme *realizácia referenčného systému*. Kvalitu realizácie stanovujeme iba nezávislým presným meraním. Na stanovenie kvality JTSK sme využili novobudovanú Štátnu priestorovú sieť (ŠPS) [1], [2], [10], [13]. Vznikla prebratím cca 1190 vybraných bodov zo ŠTS(608, 49%), ŠNS(518, 42%) a ŠGS(20, 1%) [8]. Na premeranie skutočnej polohy bodov JTSK technológiou GPS a určenie ich súradníc ETRS89(B,L,H) sme využili Slovenský terestrický referenčný rámec SKTRF 2001 [10], ktorý bol vypočítaný na bodoch Slovenskej geodynamickej referenčnej siete SGRN [13]. Z kvalitatívneho popisu presnosti SKTRF 2001 [10] pripojeného na body EPN a IGS vyplýva mierková stabilita cca 2-8 mm na 1000 km. Z tohto odvodzujeme vysokú mierkovú stabilitu bodov ŠPS. Súradnice bodov ŠPS sú ohraničené 1σ konfidenčným intervalom menším ako 2 cm na celom území Slovenska. Len na piatich bodoch ŠPS bola polohová súradnicová chyba v intervale 2-5 cm.

*K dispozícii máme výbornú testovaciu množinu 384 bodov, na ktorých poznáme súradnice JTSK(x,y,h \Rightarrow B,L,H) a ETRS89(B,L,H). Z predbežných výsledkov sme odvodili globálny transformačný kľúč a modely lokálnej deformácie JTSK voči ETRS89. Modelovali sme reziduálne zložky pre každý z troch základných smerov sever-juh (Obr. 1), východ-západ (Obr. 2) a vertikálny smer (Obr. 3). Ak zo súradníc JTSK eliminujeme lokálne deformácie, dostaneme novú realizáciu súradníc bodov. Navrhujeme ju označovať **JTSK/03**. V Tab. 1 je porovnanie presnosti súčasnej a navrhovanej realizácie JTSK voči ETRS89.*

Deformácia voči ETRS89						
	JTSK			JTSK/03		
	Smerodajná odchýlka	Priemerná abs. odchýlka	Konfidenčný interval 1σ	Smerodajná odchýlka	Priemerná abs. odchýlka	Konfidenčný interval 1σ
	[mm]			[mm]		
východ-západ	190	151	80%	18	13	81%
sever-juh	305	238	78%	14	11	78%
výška	302	147	83%	299	131	82%

Tab. 1 Porovnanie deformácie JTSK a JTSK/03

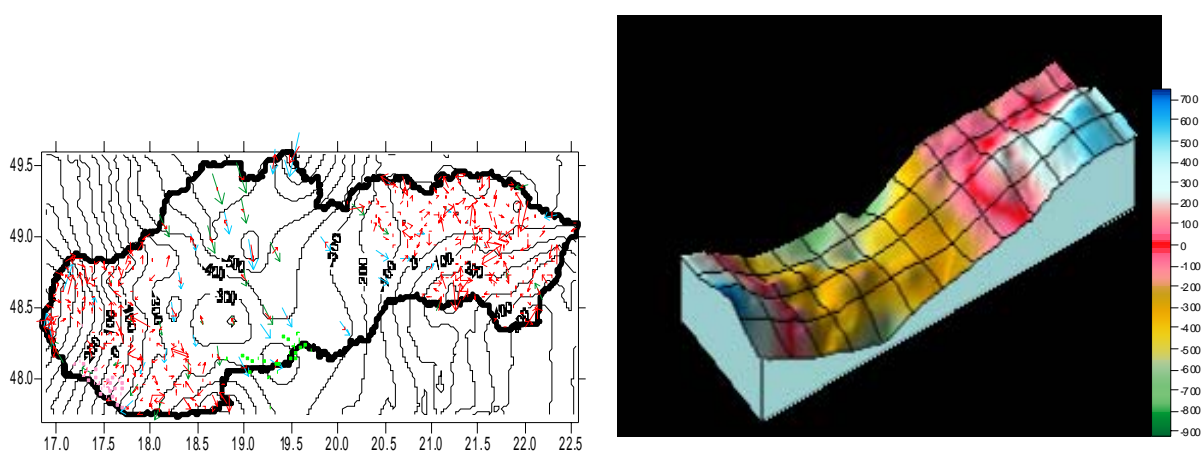
Zhoda geometrických vlastností JTSK+Bpv a ETRS89 je charakterizovaná histogramom rozdelenia reziduí (Obr. 6a). Zhoda geometrických vlastností JTSK/03+Bpv a ETRS89 je charakterizovaná histogramom Obr. 6b. (Poznámka: pre výškovú zložku nebolo dosiahnuté



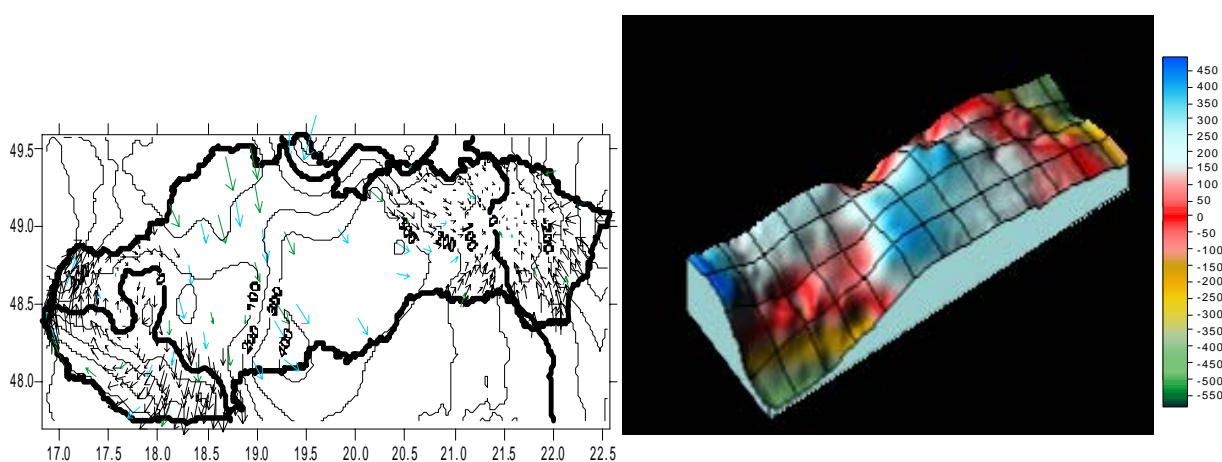
zlepšenie, lebo sme pre túto fázu vývoja programového systému modelovú zložku neeliminovali.)

Porovnaním rozdielov súradníc starej realizácie JTSK a novej realizácie JTSK/03 s etalónom ETRS89 sme dosiahli o jeden rád presnejšiu zhodu národného a celoeurópskeho projekčného priestoru (

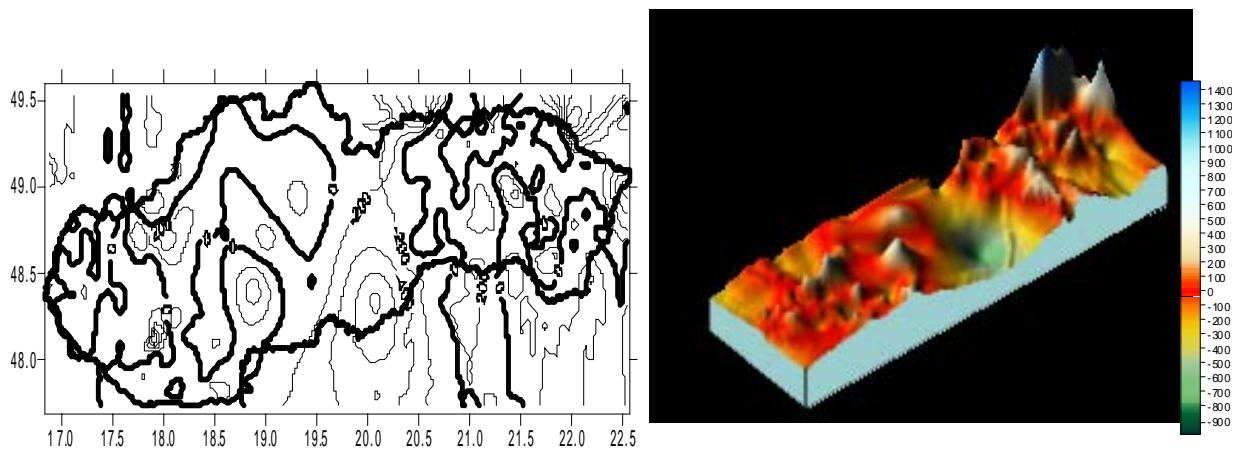
Tab. 1). Z decimetrovej nepresnosti JTSK, eliminovaním lokálnych deformácií zo súradníc sme dosiahli centimetrovú nepresnosť. Skutočná poloha bodu po transformácii je s pravdepodobnosťou 98% pokrytá 6 cm 3σ -konfidenčnou oblasťou. Využívaním bikubickej splajnovej interpolácie v digitálnom modeli reziduálnej zložky sú výsledné korekcie globálnych a lokálnych deformácií spojité na celom území Slovenska bez negatívneho okrajového efektu polynomických transformácií. Sme schopní splniť podmienky jednotného, spojitého globálneho transformačného vzťahu medzi ETRS89, JTSK a JTSK/03.



Obr. 1 Modelovanie reziduálnej zložky v smere sever – juh pre vzťah JTSK – ETRS89 (JTSK/03)



Obr. 2 Modelovanie reziduálnej zložky v smere východ - západ pre vzťah JTSK – ETRS89 (JTSK/03)



Obr. 3 Modelovanie reziduálnej zložky v smere normálnych výšok pre vzťah $B_{pv} - ETRS89$

4 Ako využiť merania GPS v záväzných referenčných systémoch?

V súčasnosti sa technológia merania GPS uplatňuje nasledujúco. Spracovaním GPS meraní ľubovoľným firemným programom sa vypočítajú súradnice novourčovaných bodov v lokálnom súradnicovom systéme $WGS84(B,L,H)$. S novourčovanými bodmi sa zamerajú vhodné identické body so známymi súradnicami $JTSK(x,y,h)$. Na množine identických bodov sa vypočíta lokálny transformačný kľúč. Ostatné body sa pomocou tohto kľúča pretransformujú zo súradníc $WGS84(B,L,H)$ do $JTSK(x,y,h)$.

Aké sú nevýhody, ba až riziká takéhoto postupu ? :

- presné meranie GPS sa vkladá do nepresného JTSK prostredníctvom lokálneho transformačného kľúča, preberá sa lokálna deformácia a stočenie siete,
- na styku dvoch lokálnych transformačných kľúčov dochádza k nespojitosti (dostávame rozdielne súradnice toho istého bodu),
- priestorové súradnice $WGS84$ nemajú väzbu na súradnice systému $ETRS89$, a preto nereprezentujú záväzný referenčný systém,
- priestorové súradnice $WGS84$ nie sú kompatibilné so súradnicami určenými prostredníctvom $SPGS(SKPOS)$,
- lokálne transformácie sú nevhodné pre tvorbu $EPDI\{NPDI\}$, pre tvorbu $EPDI$ odporúčame používať $ETRS89(B,L,H)$.

Zo systémového hľadiska navrhujeme nasledujúci postup :

- meranie GPS vždy pripájať na body ŠPS v súradniciach $ETRS89(B,L,H)$,
- súradnice $ETRS89(B,L,H)$ transformovať do $JTSK/03(x,y,h)$ s použitím autorizovaného globálneho transformačného kľúča, vydávaného správcom GZ. *Poznámka: globálny transformačný kľúč obsahuje 10 parametrov (3-ťažisko, 3-translácia, 3-rotácia a 1-mierkový koeficient) platných pre celé územie Slovenska.*,
- súradnice každého bodu vyjadrovať v jednom zo záväzných referenčných systémoch $ETRS89(B,L,H)$ alebo $JTSK/03(x,y,h)$, existuje medzi nimi jednoznačný reverzibilný vzťah [1],
- súradnice sú kompatibilné so súradnicami služby $SPGS(SKPOS)$.



Alternatívny postup k predchádzajúcemu spočíva v tom, že sa nebude používať nová realizácia JTSK/03. V takom prípade navrhujeme nasledujúci postup :

- meranie GPS vždy pripájať na body ŠPS v súradniciach ETRS89(B, L, H),
- súradnice ETRS89(B, L, H) jednoznačne transformovať do JTSK(x, y, h) s použitím globálneho transformačného kľúča a autorizovaných digitálnych modelov reziduálnej zložky,
- opačnú jednoznačnú transformáciu JTSK (x, y, h) do ETRS89(B, L, H) vykonáme s použitím inverzného globálneho transformačného kľúča a digitálnych modelov reziduálnej zložky.

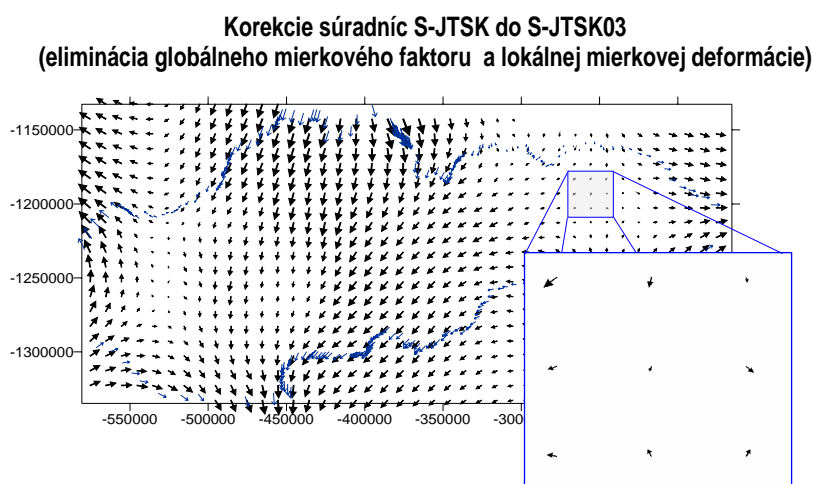
Nevýhody :

- a) každý spracovateľ musí používať autorizované digitálne modely reziduálnych zložiek, s ktorými pracuje špecializovaný program DTplus [8].
- b) predlžuje sa používanie nekvalitnej realizácie referenčného systému JTSK, ktorý je nevhodný na tvorbu presných referenčných údajov NPDI.

5 Nehomogénna mierková deformácia S-JTSK

Programom **DTplus** [8] sme transformovali cca 22000 bodov ŠTS z JTSK do JTSK/03. Zo súradníc JTSK(x, y) sme eliminovali globálnu a lokálnu deformáciu a dostali sme súradnice JTSK/03(x, y). Korekcie medzi JTSK a JTSK/03 sú ilustrované na Obr. 5. Absolútne hodnoty korekcií sú v rozsahu od 5 do 800 mm.

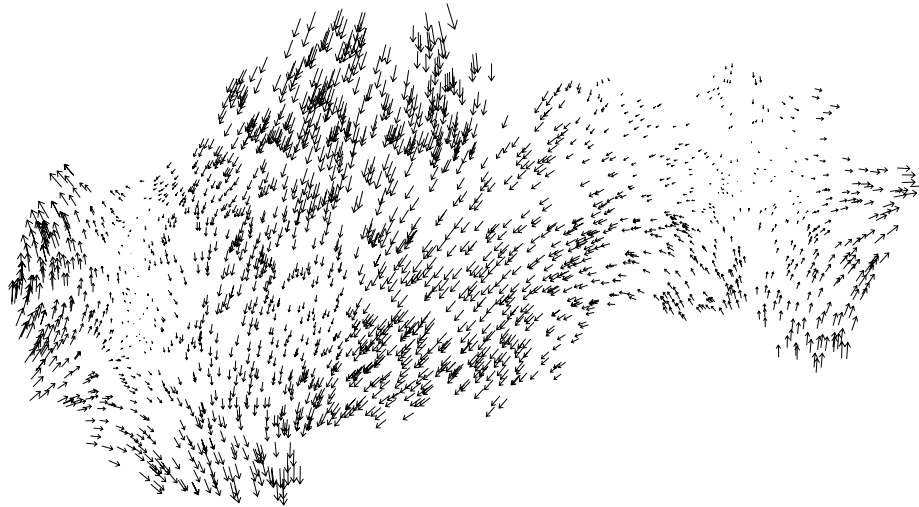
Dole uvedený obrázok zobrazuje digitálny model absolútnej reziduálnej zložky (Obr. 4), na ktorý sa aplikuje bikubická interpolačná metóda založená na metóde konečných prvkov. Druhý Obr. 5 zobrazuje smer a veľkosť korekcií súradníc JTSK(x, y) na JTSK/03(x, y). Sú vypočítané pre body ŠTS a body štátnej hranice. Z obrázkov je zrejmé, že hraničné oblasti netrpia efektom nárastu korekcie.



Korekcie vypočítané z meraní : ŠPS 2000, ŠPS 2001, AGS 1996 a 1.rád 1997



Korekcie súradníc S-JTSK do S-JTSK03 (eliminácia globálneho mierkového faktoru a lokálnej mierkovej deformácie)



Korekcie vypočítané z meraní : ŠPS 2000, ŠPS 2001, AGS 1996 a 1.rád 1997

(C) GKÚ Bratislava 2003

Vypracovali : Klobušiak, Leitmannová
Apríl 2003

Obr. 5 Korekcia súradníc JTSK do JTSK/03 v rozsahu 5-800 mm

6 Všeobecné zásady eliminácie deformácie z SGI KN

Postup eliminácie deformácie tvaru a polohy objektov, použitý pre body geodetických základov, môžeme plne uplatniť na elimináciu deformácie z vektorových máp katastra nehnuteľností, z nečíselných katastrálnych máp, máp určeného operátu vedených v digitálnom tvare. Odporúčame postupovať nasledujúco :

- Po obvode a vo vnútri každého KÚ je potrebné určiť technológiou merania GPS v systéme ETRS89 súradnice charakteristickej množine lomových bodov hraníc, stavieb a niektorých bodov meračskej siete,
- vypočítať lokálny transformačný kľúč a digitálny model reziduálnej zložky platný len pre príslušné KÚ a príslušnú mapu,
- pretransformovať celé KÚ vedené v tvare KOKEŠ(VGI) postupom uvedeným v kapitole 3 a 4 do JTSK/03.

Ďalej uvádzame okruh základných otázok (A_i) a odpovedí (Q_i):

A_1 : Čo je potrebné pre autorizovanú transformáciu JTSK, JTSK/03 do ETRS89 a naopak?

Q_1 : Autorizovaný globálny transformačný kľúč, digitálne modely reziduálnych zložiek, digitálny model kvázigeoidu a digitálny model reliéfu.

A_2 : Kto poskytuje súradnice JTSK/03 a autorizovaný globálny transformačný kľúč?

Q_2 : Správca GZ, ZB GIS a správy katastra.

A_3 : Ako správca GZ, ZB GIS a správa katastra získa súradnice JTSK/03 ?

Q_3 : Jednorázovým prevodom zoznamov súradníc programom DTplus. v 7.2003

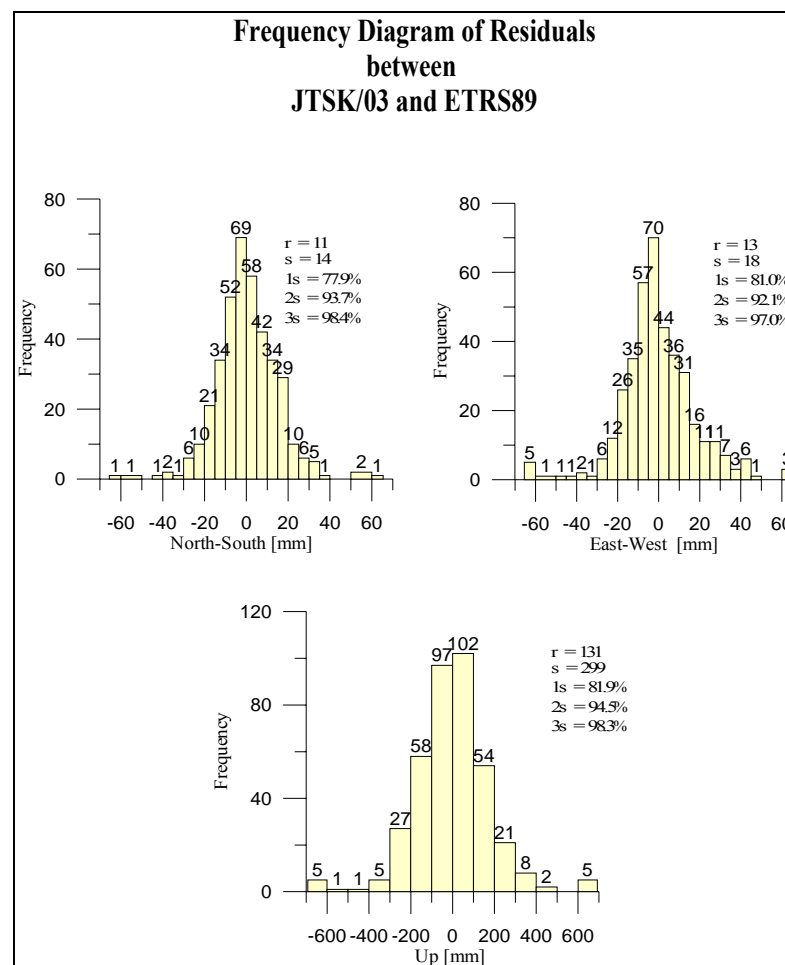
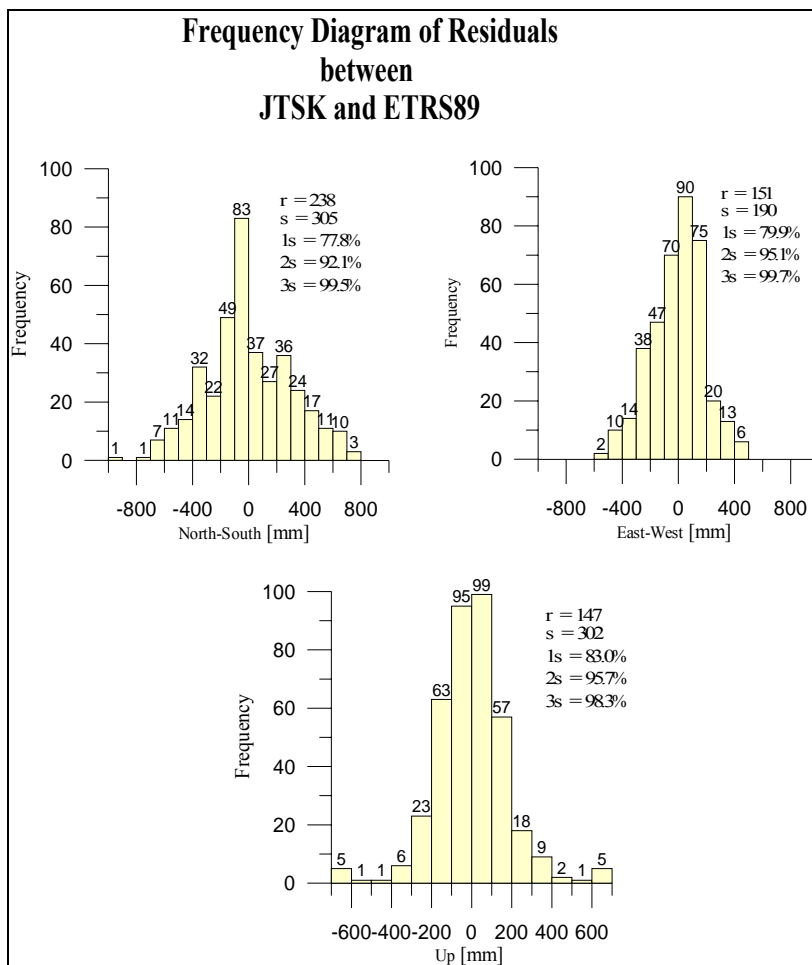
A_4 : A čo so súradnicami bodov vo vektorových katastrálnych mapách, súboroch ESRI(SHP), vo výkresoch KOKEŠ(VGI), MicroStation(DGN) ?

Q_4 : Program DTplus transformuje súbory ako celok so zachovaním topológie obsahu.



11. SLOVENSKÉ GEODETICKÉ DNI

Bratislava, 4. – 5. decembra 2003



Obr. 6 a,b Histogramy rozdelenia reziduí po transformácii



7 Záver

Odpoveďou na skryté otázky z názvu príspevku môžeme konštatovať, že zo „*sporu*“ ETRS89 versus JTSK vychádza víťazne JTSK/03, lebo má prostredníctvom 10 autorizovaných parametrov jednoznačný a hlavne jednoduchý a reverzibilný vzťah k ETRS89.

V druhom „*spore*“ - globálne riešenie proti lokálnym, je potrebné zabezpečiť globálne riešenie. Len také bude plne kompatibilné s pripravovanou službou SPGS(SKPOS) na priestorové určovanie polohy objektov v reálnom čase a v záväzných súradnicových systémoch ETRS89 a JTSK/03.

Tu popísaným postupom sme schopní zabezpečiť systémový plynulý prechod do určovania plnokrvných časo-priestorových vzťahov reality tak potrebných v budúcich inteligentných rozhodovacích a riadiacich systémoch. Geodézia si stále drží svoje výsadné špecifické postavenie, napriek tomu, že sa nám zdá, alebo nám niekto tvrdí pravý opak.

Literatúra:

- [1] FERIANC, D.: ŠPS – Zásady na činnosti v Štátnej priestorovej sieti. Bratislava, GKÚ 2000. 17 s.
- [2] KLOBUŠIAK, M.: Štátna priestorová sieť – nový lokalizačný fenomén Slovenska. In: Zborník referátov „Konferencia 50. výročia vzniku GKÚ Bratislava“. Bratislava, Pobočka SSGK pri GKÚ Bratislava, 28. september 2000, s. 83-105.
- [3] KLOBUŠIAK, M.: Reverzibilný vzťah realizácií dvoch projekčných systémov S-JTSK a ETRS 89. In: Zborník referátov „Medzinárodná konferencia Geodetické siete 2001“, pobočka SSGK pri GKÚ, Podbanské 2001, s. 67-75.
- [4] KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K. – PRIAM, Š. – FERIANC, D. : SKRF – Slovak Kinematic Reference Frame 2001. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe in Ponta Delgada, Portugal, 5 – 8 June 2002.
- [5] KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K.: Slovenská permanentná GNSS služba na prevádzkovanie slovenského observačného systému - nové geodetické priestorové základy. In: Zborník referátov „Geodetické referenčné systémy“, KGZ SvF STU, Bratislava 2002, s. 23-38.
- [6] KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K.: Vybudovanie Slovenskej permanentnej služby na využívanie globálnych navigačných satelitných systémov. [Návrh rezortného projektu.] GKÚ, Bratislava, september 2002.
- [7] KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K. – PRIAM, Š. – FERIANC, D. : EUREF-SK Computation and Realisation of the Terrestrial Kinematic Reference Frame for Slovakia. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe in Toledo, Spain, 6. – 7.6.2003.
- [8] KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K. – FERIANC, D. – HEFTY, J. – JANÁK, J. – MOJZEŠ, M. : National Report of Slovakia 2002. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe in Toledo, Spain, 6. – 7.6.2003.
- [9] KLOBUŠIAK, M.: DTplus – Programový systém na deterministické prevody a transformácie geodetický bodov a GIS objektov. Verzia 7.2003. MaKlo, nepublikované. © 1995-2003.



11. SLOVENSKÉ GEODETICKÉ DNI

Bratislava, 4. – 5. decembra 2003

- [10] LEITMANNOVÁ, K.: Štátna priestorová sieť 1999. In: Zborník referátov „Konferencia 50. výročia vzniku GKÚ Bratislava“. Bratislava, Pobočka SSGK pri GKÚ Bratislava 28. september 2000, s. 123-136.
- [11] LEITMANNOVÁ, K. - KLOBUŠIAK, M.: SKTRF 2001 – referenčný rámec pre Štátnu priestorovú sieť. In: Zborník referátov „Geodetické referenčné systémy“, KGZ SvF STU, Bratislava 2002, s. 23-38.
- [12] LEITMANNOVÁ, K.: Pripojenie ŠPS 2000 a 2001 k Slovenskému terestrickému referenčnému rámcu SKTRF 2001. Technická správa. GKÚ Bratislava, 2002.
- [13] PRIAM, Š. – FERIANC, D. – KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K.: Slovenská geodynamická referenčná sieť základ Štátnej priestorovej siete a geodynamiky Slovenska. In: Zborník referátov „Medzinárodná konferencia Geodetické siete 2001“, pobočka SSGK pri GKÚ, Podbanské 2001, s. 153-164.