

REALIZÁCIA ZÁVÄZNÝCH REFERENČNÝCH SYSTÉMOV NA ÚZEMÍ SLOVENSKA PROSTREDNÍCTVOM PERMANENTNEJ SLUŽBY NA URČOVANIE PRESNEJ POLOHY V REÁLNO M ČASE

Matej Klobušiak, Katarína Leitmannová, Dušan Ferianc¹

Realisation of Binding Reference Systems in Slovakia by means of the Permanent Service for Real Time Positioning

Abstract: *New geodetic control for the real-time positioning of objects and phenomena provided by Slovak permanent service for the exploitation of global navigation satellite systems. Slovak spatial observation system as a sophisticated multifunctional tool for precise positioning , navigation and dissemination of correction to the authorized reference coordinate (ETRS89, JTSK, JTSK/03) and height (EVRIS2000, Bpv) systems.*

1. Úvod

Pred pár dňami sa vrátili zástupcovia Slovenska z plenárneho zasadnutia EuroGeographics, ktoré združuje hlavné geodetické, topografické a kartografické authority „National Mapping Agencies (NMAs)“ všetkých európskych krajín. Podstatné na tomto plenárnom zasadnutí bolo prehodnotenie stratégie a vízie na budúce pôsobenie v oblasti poskytovania geografických informácií (GI) a jej vzťah k Európskej komisii. Zdôraznený bol ústup od poskytovania iba produktov – máp k poskytovaniu riešení a služieb v oblasti priestorových údajových infraštruktúr.

Celá stratégia GI je postavená na troch hlavných pilieroch :

- rozvoj presného a jednotného georeferencovania (priestorového, polohového a výškového) využívajúceho vlastnosti globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS),
- tvorba národných priestorových geoúdajových infraštruktúr (NSDI) prepojených s katastrom nehnuteľností za nepretržitého nárastu významu geometrického aspektu geografickej informácie,

¹ Ing. Matej Klobušiak, PhD., e-mail: Klobusiak@gku.sk, Ing. Katarína Leitmannová, e-mail: Leitmannova@gku.sk, Ing. Dušan Ferianc, e-mail: ferianc@gku.sk, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel.: ++421-2-43334822,

- rozvoj metainformačných systémov a štandardizácie popisu zdrojov a kvality údajov.

V tomto príspevku sa zameriame na prvý pilier, na popis súčasného stavu budovania služby sprostredkujúcej záväzné referenčné systémy (ESRS(ETRS89+EVRS2000), S-JTSK, Bpv) tak pre post-processing, ako aj pre reálny čas. Zameriame sa na popis stavu vecí majúcich bezprostredný vzťah ku geometrickým aspektom geografickej informácie.

2. Slovenská permanentná služba na využívanie globálnych navigačných satelitných systémov na určovanie polohy v reálnom čase – SPGS

Jednou z prioritných úloh rezortu ÚGKK SR a nim povereného správcu geodetických základov (GZ) - GKÚ Bratislava je nie len vybudovať realizáciu celoeurópskych referenčných systémov ETRS89 [11], [14] a EVRS2000 v podobe realizácií Slovenského kinematického referenčného rámca SKTRFyy [13] a realizácie Slovenského vertikálneho referenčného systému SKVRSyy na množine pasívnych geodetických bodoch ŠPS, ale aj urýchlene vybudovať aktívneho národného reprezentanta predmetných záväzných systémov v podobe aktívnych „geodetických bodov“. Takéto aktívne, v sieti kooperujúce „geodetické body“ sú vlastne referenčné stanice permanentne observujúce signály GNSS. Označujeme ich **Slovenský geodetický observačný systém (SKGOS)**. Tieto služby by mali plne pokryť potreby pre geodynamiku a geodéziu. Ak SKGOS bude poskytovať multifunkčné služby aj pre negeodetické aplikácie, ide vlastne o (presnostnú) generalizáciu služby, potom takýto systém budeme nazývať **Slovenský priestorový observačný systém (SKPOS)**.

Nedávno prijatým zákonom Národnej rady Slovenskej republiky č. 423/2003 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii, je rezort povinný zabezpečiť tvorbu a prevádzkovanie permanentnej služby SPGS. Touto službou bude riadiť, spravovať a prevádzkovať SKPOS. SPGS bude vysielaním korekcie DGNSS a iných informácií umožňovať koncovým používateľom určovať priestorovú polohu predmetov a javov v reálnom čase s voliteľnou presnosťou (od metra až po milimetre), v záväzných referenčných, tak národných, ako aj celoeurópskych systémoch.

Technické a organizačné štandardy pripravovanej služby SPGS {SKPOS} :

SPGS podľa návrhov [10] a [11] bude riadiť a prevádzkovať systém referenčných staníc (RS) SKPOS, ktorý bude pozostávať z :

- RS vo vzájomnej odľahlosti cca 50 – 70 km, pokrývajúcich územie celého Slovenska,
- komunikačnej siete medzi riadiacim centrom a RS s minimálnou šírkou pásma 10 Kbit a frekvenciou toku dát 1 sek.,

- národného centra SPGS, ktoré bude plniť úlohy dátového, riadiaceho, analytického a koordinačného centra a bude kontrolovať kvalitu a integritu poskytovaných údajov,
- internetového servera na poskytovanie údajov RS pre post-processing,
- RTCM NTRIP castera [18Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.] na poskytovanie RTCM korekčných údajov v reálnom čase,
- dvoch monitorovacích staníc na monitorovanie kvality poskytovaných korekcií. V záujme splnenia požiadaviek všetkých potenciálnych používateľov, manažment kvality bude garantovať prístupnosť služby a jej integritu na úrovni 99%.

Nevyhnutné hardverové a softverové vybavenie referenčnej stanice bude obsahovať :

- kvalitný geodetický dvojfrekvenčný GNSS prijímač s min. 12 kanálmi pri použití jedného GNSS (napr. GPS), alebo s min.20 kanálmi v prípade duálnych, resp. triálnych prijímačov,
- anténu s vysokou stabilitou fázového centra, vrátane známych parametrov z absolútnej kalibrácie jeho skutočnej polohy,
- počítač so zodpovedajúcim softvérom na kontrolu a riadenie činnosti prijímača, archiváciu údajov vrátane dátovej komunikácie,
- interfejs na dátovú komunikáciu s riadiacim centrom SPGS,
- náhradný zdroj elektrickej energie (UPS), príp. núdzový generátor.

Multifunkčná SPGS bude poskytovať tri druhy služieb podľa požiadaviek na presnosť:

- **SKPOS-dm** (decimetrová presnosť) pre navigáciu a určovanie polohy v reálnom čase s presnosťou cca 1 – 0.1 m v závislosti od vybavenia používateľa,
- **SKPOS-cm** (centimetrová presnosť) na určovanie polohy v reálnom čase s presnosťou 10 - 2 cm,
- **SKPOS-mm** (milimetrová presnosť) na presné určovanie polohy po ukončení merania (post-processing, resp. blízky reálny čas) s presnosťou 20 – 0.5 mm.

Merané údaje a korekčné údaje budú poskytované prostredníctvom internetového portálu :

- Internet/GPRS/GSM, pre aplikácie v reálnom čase ako štandard, voliteľne prostredníctvom rádiových (televíznych) vysielačov,
- Internetu pre post-processing.

Merané údaje, resp. korekčné údaje budú poskytované v štandardnom formáte :

- RTCM SC 104 v.2.3, resp.3.0 pre údaje v reálnom čase,
- RINEX 2.1 pre post-processing

Manažment kvality bude zabezpečovať 99% garanciu dosažitelnosti, kvality a integrity údajov nasledujúcimi opatreniami :

- zabezpečenie všetkých RS pred fluktuáciou a výpadkami elektrického napätia,
- kontinuálnym prijímaním a kontrolou korekčných údajov monitorovacími stanicami v reálnom čase a tiež kontrolou kvality SKPOS-M RINEX údajov,
- zdvojením monitorovacích staníc, RTCM NTRIP castera pre SKPOS-dm a SKPOS-cm, internet servera pre SKPOS-mm, komunikačných liniek
- automatickým aktivovaním alarmu v prípade výskytu poruchy, ktorý vykoná opatrenia na jej odstránenie,
- pravidelným overovaním a kontrolou polohy staníc SKPOS.

Národné centrum SPGS bude plniť nasledujúce funkcie :

- *dátové centrum (DC)* - zber údajov zo všetkých SKPOS RS, kontrola údajov v spolupráci s monitorovacími stanicami, archivácia údajov, odosielanie RINEX údajov na internet server,
- *radiace centrum (RC)* – monitorovanie a riadenie RS, výpočet korekčných údajov, stanovovanie presnosti a homogenity údajov minimalizovaním závislosti presnosti určenia polohy na vzdialenosti od referenčnej stanice, t.j. odstraňovaním vplyvu ionosféry, troposféry, chýb dráh družíc, výpočtom virtuálnych RS, alebo tzv. plošných korekčných členov, odosielať korekčné údaje na RTCM NTRIP caster,
- *analytické centrum (AC)* – výpočet aktuálnej realizácie Slovenského terestrického referenčného rámca (SKTRFyy) a v ňom určených súradníc RS,
- monitorovať integritu údajov,
- spolupracovať a koordinovať činnosti pre ostatné štátne sektory,
- poskytovať adekvátne informácie používateľom o stave siete RS, organizovať školenia pre používateľov, zvyšovať povedomie medzi potencionálnymi používateľmi,
- spolupracovať a koordinovať činnosti s podobnými službami v ostatných európskych štátoch a na celom svete,
- sledovať medzinárodné trendy vývoja a zabezpečovať vlastný rozvoj predmetu činnosti.

3. Súčasný stav budovania SPGS{SKPOS}

Úrad geodézie, kartografie a katastra SR prijal službu SPGS{SKPOS} za jeden so svojich strategických cieľov. V súčasnej dobe SKPOS tvorí jedna stanica s permanentnou observáciou GPS a je zriadené pilotné pracovisko radiaceho a dátového centra na GKÚ Bratislava. Stanica je vo vlastníctve rezortu geodézie, kartografie a katastra. Nachádza sa v Gánovciach pri Poprade, so skráteným označením GANP (DOMES Number 11515M001). Po ročnej testovacej prevádzke bola prihlásená do EUREF permanentnej siete (EPN). Táto stanica od 14. októbra 2004 poskytuje oficiálne údaje pre post-processing s intervalom záznamu 30 sek., resp. 1 sekunda. Zatiaľ nemá vlastnosti referenčnej stanice SPGS{SKPOS}, lebo ešte neposkytuje diferenciálne korekčné údaje v reálnom čase. Do DC SKPOS sú zasielané údaje i z partnerskej stanice Banská Bystrica (BBYS), ktorú prevádzkujú Ozbrojené sily SR a rokuje sa i s KGZ SvF STU o permanentnej stanici Modra-Piesok (MOPI).

Od roku 2002 je Slovensko aktívnym členom budovania Európskeho systému na určovanie polohy EUPOS. Pre 14 krajín strednej a východnej Európy bol vypracovaný spoločný projekt EUPOS [1] za významnej pomoci Nemecka, ktoré poskytlo svoje skúsenosti a know-how z budovania nemeckej služby SAPOS. V roku 2002 vznikol medzinárodný riadiaci výbor ISC EUPOS. Svoju kanceláriu ISCO EUPOS (International Steering Committee Office) má v Berlíne. Úlohou výboru ISC a úradu ISCO je koordinovať budovanie jednotného systému založeného na štandardoch, ale čo je v súčasnosti hlavnejšie, rozvíjať aj odborné aktivity (porady, konferencie, semináre, školenia, tréningové a stážové pobyty, výmenu skúseností a pod.) Najhlavnejšou úlohou v súčasnosti je predložiť spoločný projekt EUPOS Európskej komisii, získať jej plnú podporu a zaradiť projekt medzi projekty financované Európskou komisiou. V úvode spomenuté plenárne zasadnutie EuroGeographics v Istanbule vypracovalo pozitívne odporúčacie stanovisko pre Európsku komisiu. Konštatovalo, že ciele projektu sú plne v súlade s trojpilierovou stratégiou EuroGeographics pre budovania ESDI (European Spatial Data Infrastructure).

V súčasnej dobe prebieha v rámci rezortu výber miest na zvyšných 20 RS. Kritériá na SKGOS, uvedené v kapitole 2, môžeme splniť, ak pokryjeme územie Slovenska min. 21 referenčnými stanicami. Väčšina staníc bude umiestnená na strechách budov, ktoré sú minimálne v spoluvlastníctve rezortu (Katastrálne úrady, Správy katastra). Budeme využívať synergický efekt vzhľadom na budovanú rezortnú WAN sieť prepájajúcu tieto inštitúcie a správcu AIS GKK. Niekoľko staníc SKGOS (3-7) musí mať geodynamické vlastnosti (špecifikácia podľa IGS, EPN, CERGOP), a preto vzniknú povýšením existujúcich epochových bodov Slovenskej geodynamickkej referenčnej siete SEOS (SGRN epochovo observované stanice). Tým zabezpečíme nadväznosť na presnú realizáciu ETRS89, EVRS 2000 a možnosť nepretržitého spresňovania a monitorovania kinematických vlastností terestrického referenčného rámca SKTRF **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**

Kľúčom k úspešnej realizácii hore spomenutých zámerov je nevyhnutnosť zabezpečiť dostatok finančných prostriedkov. ÚGKK SR, GKÚ Bratislava, ako aj VÚGK v Bratislave rozpracovalo niekoľko možností ako získať prostriedky zo štátneho rozpočtu a Európskych predvstupových fondov (Phare, ISPA, Kohézny fond). V súčasnosti je možné povedať, že prostriedky na budovanie SPGS{SKGOS} s 21 referenčnými stanicami sú alokované v európskych fondoch. S vysokou pravdepodobnosťou očakávame začiatok ich čerpania v druhej polovici budúceho roku 2004. Už teraz sa ale pripravujeme na to, aby sme koncom roku 2004 začali realizáciu pilotného projektu SPGS{SKPOS} s multifunkčnými vlastnosťami [12].

4. Návrh autorizovaných vzťahov medzi ETRS89 a záväznými súradnicovými a výškovými systémami JTSK a Bpv

Na poslednom sympóziu subkomisie IAG EUREF 2003 v Toledě v Španielsku bola odsúhlasená rezolúcia 2.2004, ktorá vyzýva všetkých relevantných európskych národných reprezentantov geodézie, kartografie a katastra definovať presný vzťah

medzi národnými súradnicovými a výškovými systémami (JTSK, Bpv) a celoeurópskymi priestorovými referenčnými systémami ETRS89 a EVRS2000. Táto výzva sa dala očakávať. Existovala totiž vnútorná potreba správcu geodetických základov, ako aj mnohých špecialistov z akademickej obce, mať exaktne zodpovedaný vzťah európskeho a národných systémov.

Pre potreby SPGS{SKPOS} by malo existovať efektívne riešenie, poskytujúce nielen diferenciálne korekčné údaje pre definíciu systému ESRS(ETRS89,EVRS2000), ale aj pre mnohých používateľov, ktorí budú pracovať v iných konvenčných záväzných systémoch (napr. JTSK, S42/83, Bpv). SPGS{SKPOS} musí poskytovať vhodné autorizované transformačné nástroje a techniky implementovateľné priamo do mobilných staníc.

Skôr ako uvedieme predbežné výsledky prevodu a transformácie súradníc geodetických bodov medzi systémami JTSK a ETRS89, vypočítané špecialistami GKÚ Bratislava, uvádzame zoznam relevantných slovenských prameňov venujúcich sa príbuznej problematike. Medzi významné práce slovenských autorov patria [2] (Frohmann), [3] (Hefty), [4] (Hefty, Frohmann), [5] (Kalafut), [17] (Tenzer) a [6], [7], [8] (Klobušiak).

V tejto kapitole prezentujeme predbežné výsledky dosiahnuté postupom formulovaným v [8] z neúplných výsledkov 1. etapy zriaďovania ŠPS. Samozrejme je to jeden z možných vzťahov JTSK, Bpv a ETRS89. Autor sa pokúsil eliminovať nevýhody lineárnych ortogonálnych, polynomických a lokálnych transformácií.

V prvom prípade existuje neschopnosť globálnej lineárnej ortogonálnej transformácie (Molodenského-Badekasov model) vystihnúť heterogenitu mierkových skreslení na celom území Slovenska. Pri nej sme dosahovali jednotkovú smerodajnú odchýlku transformácie, vypočítanú z 385 identických bodov, okolo 0.23 m, čo pri voľbe konfidenčnej oblasti s 99% pravdepodobnosťou generovalo skoro až jednometrovú akceptačnú oblasť obsahujúcu skutočnú polohu transformovaného bodu. V súčasnosti sme svedkami hromadného nárastu používania lokálnych transformačných kľúčov (práce v katastri, pozemkové úpravy v projekte SAPARD, pri tvorbe informačného systému pre potreby IACS a iné), ktoré síce znižujú smerodajnú odchýlku transformácie na prípustnú úroveň, ale nezabezpečujú spojitost' medzi dvomi lokálnymi transformačnými kľúčmi navzájom. Táto nežiadúca diverzifikácia-nejednoznačnosť výsledkov a kvality je, hlavne z hľadiska podmienky jednotného georeferencovania, správcom GZ neakceptovateľná.

V prípade polynomických transformácií sa zvyšovaním stupňa polynómu smerodajná odchýlka transformácie výrazne znižuje, ba v extrémnych prípadoch môže byť až nulová, ale na druhej strane sa neúmerne zvyšuje riziko na okrajoch definičnej oblasti transformačného kľúča a medzi uzlami transformácie. Inými slovami na okrajoch územia Slovenska (hraničné oblasti) a v oblastiach vzd'alejúcich sa od identických bodov sa zvyšuje stupeň neistoty transformácie nárastom veľkosti akceptačných oblastí transformovaných bodov. Vzhľadom na súčasné potreby tvorby jednotných

(hranice prekračujúcich) celoeurópskych SDI, s neustálym nárastom významu presnej geometrie objektov, by sme nedokázali zabezpečiť homogenitu z geometrického a kvalitatívneho aspektu.

Hore uvedené nedostatky sa pokúša eliminovať hybridná metóda [8] kombinujúca vlastnosti lineárnej ortogónalnej a bikubickej splajnovej transformácie. Využívame vlastnosť bikubických splajnov, ktoré mimo svoju definičnú oblasť konvergujú k nule a nie ako polynómické konvergujúce k nekonečnu.

4.1 Čo je JTSK/03 ?

JTSK/03 je projekčné zobrazenie majúce rovnaké systémové projekčné vlastnosti ako S-JTSK. Rozdiel je len v realizácii tohto systému prostredníctvom súradníc bodov trigonometrickej siete, z ktorých je eliminovaná globálna a lokálna mierková deformácia.

Realizácia zoznamu súradníc JTSK/03(x,y) vzniká zo súradníc JTSK (x,y) tak, že sa využije informácia získaná z meraní v ŠPS. Pre definíciu realizácie JTSK/03 budú použité nasledujúce kampane : AGS1996, 1.rád1997, ŠPS2000, ŠPS2001, ŠPS2002 a ŠPS2003.

JTSK/03 zaručuje s vyššou mierou pravdepodobnosti zhodu priamo meranej dĺžky d redukovanej do projekčnej roviny JTSK s dĺžkou vypočítanou zo súradníc $d'_{JTSK/03}$. Platí všeobecné pravidlo, že rozdiel skutočnej dĺžky d a vypočítanej zo súradníc JTSK/03 koncových bodov d' je menší, nanajvýš rovný rozdielu vypočítanému z pôvodných súradníc JTSK :

$$\Delta_{JTSK} = d - d'_{JTSK}, \quad (1)$$

$$\Delta_{JTSK/03} = d - d'_{JTSK/03}, \quad (2)$$

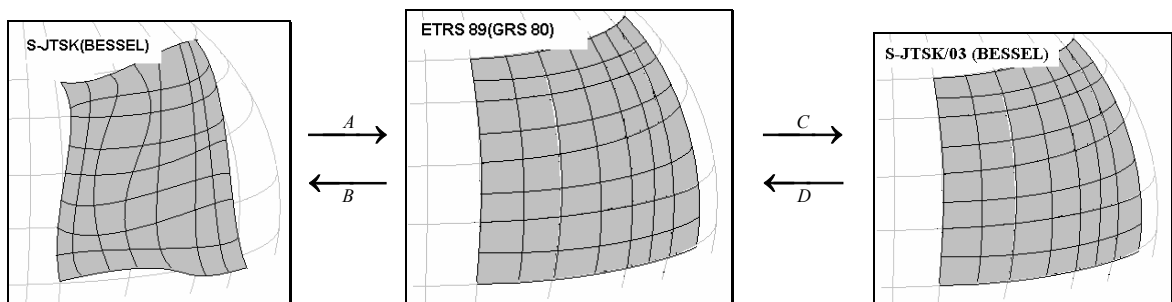
$$\boxed{|\Delta_{JTSK/03}| \leq |\Delta_{JTSK}|}, \quad (3)$$

kde Δ je rozdiel dĺžok. Na Obr. 7 sú znázornené korekcie súradníc bodov z JTSK do JTSK/03 v milimetroch. Po definitívnom spracovaní všetkých meračských kampaní v ŠPS GKÚ Bratislava predloží ÚGKK SR na autorizáciu realizáciu JTSK/03, 10 parametrov globálnej ortogónalnej transformácie prevádzajúcej JTSK/03 do ETRS89 a naopak a digitálne modely modelujúce reziduálnu zložku DMRZ umožňujúce jednoznačný prevod JTSK do ETRS89 a naopak, resp. jednoznačne prevádzajúce JTSK do JTSK/03 a naopak.

4.2 Základné typy vzťahov S-JTSK a ETRS 89

V [8] sú uvedené štyri základné typy vzťahov medzi európskym ETRS89 a doteraz platným S-JTSK. Označme základné možné transformačné modely A, B, C, D, pozri Obr. 1. Tu A a B znamenajú transformáciu medzi JTSK a ETRS89. Symbolicky ich

popíšeme rovnicami (4) a (5). Transformácie C a D sú modely transformácie medzi JTSK03 a ETRS89. Symbolicky ich môžeme popísať rovnicami (6) a (7). Z obrázku je zrejmé, že B, D sú inverzné transformácie k A, C. V rovnicach (4) až (7) postupne znamená : P geodetický bod projekčného priestoru ETRS89, alebo JTSK, JTSK/03 resp. výškového systému Bpv, dP korekcia polohy bodu vypočítaná v zmysle bikubických splajnov aplikovaná na digitálny model reziduálnej zložky DMRZ, F je postupnosť transformačných a prevodových funkcií, F^{-1} je jej inverzia, JTSK je rovinné projekčné zobrazenie, v ktorom všetky súradnice trigonometrických bodov sú globálne a lokálne mierkovo zdeformované, JTSK/03 má z matematického hľadiska rovnaké projekčné vlastnosti ako JTSK, len sú eliminované mierkové deformácie.



Obr. 1 Základné typy vzťahov medzi JTSK, ETRS89 a JTSK/03

$$A \quad P_{ETRS89} + dP(DMRZ[P_{ETRS89}]) = F^{-1}(P_{JTSK}), \quad (4)$$

$$B \quad P_{JTSK} = F(P_{ETRS89} + dP(DMRZ[P_{ETRS89}])), \quad (5)$$

$$D \quad P_{ETRS89} = F^{-1}(P_{JTSK/03}), \quad (6)$$

$$C \quad P_{JTSK/03} = F(P_{ETRS89}), \quad (7)$$

Po spracovaní výsledkov kampaní AGS1996, 1.rád1997, ŠPS2000 a ŠPS2001 [16] sme dosiahli pre celé územie Slovenska 385 identických bodov so známymi súradnicami v oboch súradnicových systémoch: ETRS89(B,L,H) a JTSK(x,y,h). Prvé výsledky, charakterizujúce vzájomný vzťah, sú uvedené ďalej.

4.3 Realizácia JTSK/03 - predbežné výsledky

V rozmedzí rokov 1995 až 2003 bol vypracovaný programový systém **DTplus** [9] na transformáciu súradníc bodov aj pre štyri základné vzťahy A, B, C, D. Analýzou dosiahnutých výsledkov pre vzťahy A, alebo B, to je medzi lokálne zdeformovanou

JTSK a ETRS89, sme dospeli k nasledujúcim kvalitatívnym charakteristikám presnosti (Obr. 2a) :

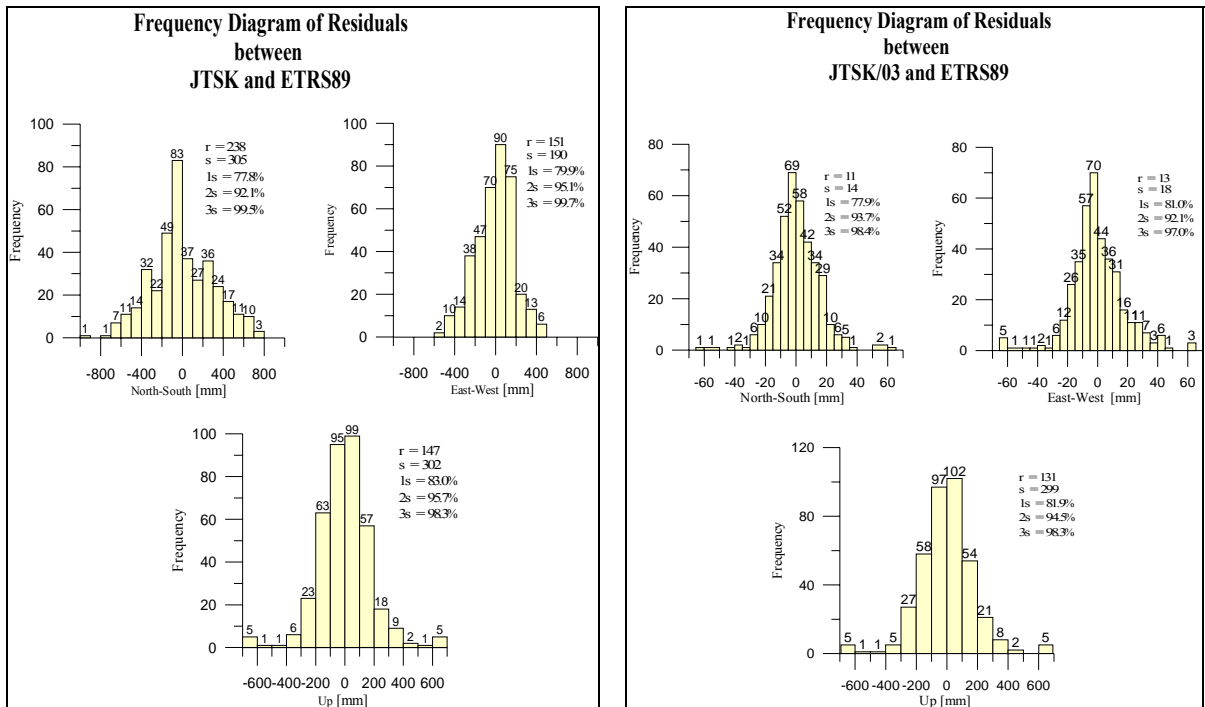
- Smerodajná odchýlka pre smer sever-juh bola dosiahnutá $\sigma_n = 305$ mm, priemerná absolútna oprava je $\rho_n = 238$ mm. Konfidenčný interval definovaný 1σ pokrýva 78% identických bodov. Pre smer východ-západ bola dosiahnutá štandardná smerodajná odchýlka $\sigma_e = 190$ mm a priemerná absolútna oprava $\rho_e = 151$ mm. Konfidenčný interval definovaný 1σ pokrýva 80% identických bodov. Pre vertikálny smer (h) bola dosiahnutá štandardná smerodajná odchýlka $\sigma_h = 302$ mm a priemerná absolútna oprava je $\rho_h = 147$ mm. Konfidenčný interval s 1σ pokrýva 83% identických bodov.

Na obrázkoch Obr. 3 a Obr. 4 sú prezentované globálne reziduá v horizontálnej rovine ne , pre ktoré sme odvodili digitálny model reziduálnej zložky v odpovedajúcich smeroch. Elimináciou globálnych a lokálnych deformácií vo výrazoch pre výpočet korigovaných súradníc sme dosiahli pre transformačné vzťahy C, D zhodu s projekčným priestorom ETRS89 charakterizovanú nasledujúco (Obr. 2b) :

- Smerodajná odchýlka pre smer sever-juh bola dosiahnutá $\sigma_n = 14$ mm, priemerná absolútna oprava je $\rho_n = 11$ mm. Konfidenčný interval definovaný 1σ pokrýva 78% identických bodov. Pre smer východ-západ bola dosiahnutá štandardná smerodajná odchýlka $\sigma_e = 18$ mm a priemerná absolútna oprava $\rho_e = 13$ mm. Konfidenčný interval definovaný 1σ pokrýva 81% identických bodov. Pre vertikálny smer (h) bola dosiahnutá štandardná smerodajná odchýlka $\sigma_h = 299$ mm a priemerná absolútna oprava je $\rho_h = 131$ mm. Konfidenčný interval s 1σ pokrýva 82% identických bodov. (*Poznámka: pre výškovú zložku nebolo dosiahnuté zlepšenie, lebo sme pre túto fázu vývoja systému modelovú zložku neeliminovali.*)

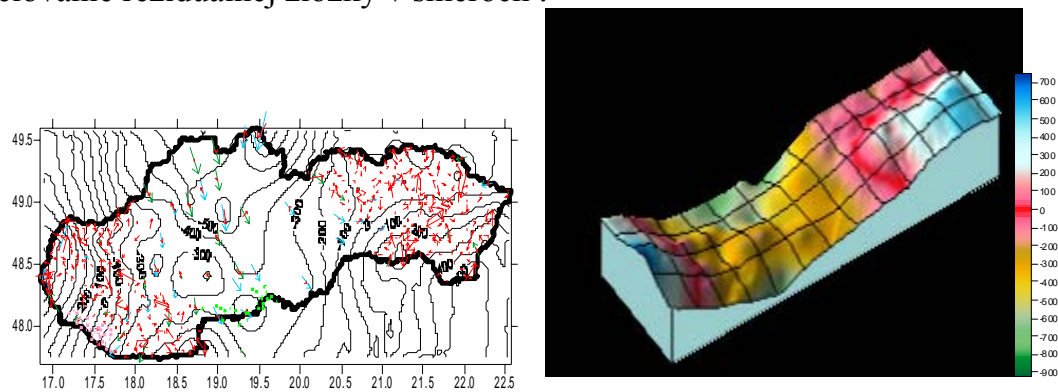
Porovnaním presnosti pre transformácie A, B, a C, D sme dosiahli o jeden rád presnejšie vzťahy medzi národným a celoeurópskym projekčným priestorom. To znamená, že z decimetrovej nepresnosti, modelovaním globálnej a lokálnej deformácie a ich elimináciou sme dosiahli centimetrovú nepresnosť. Skutočná poloha bodu po transformácii je s pravdepodobnosťou 98% pokrytá konfidenčnou oblasťou 3σ , čo je 6 cm. Využívaním bikubickej splajnovej interpolácie z DMRZ sú korekcie globálnych a lokálnych deformácií spojité na celom území Slovenska bez negatívneho okrajového efektu polynomických transformácií. Splnili sme podmienky jednotného, spojitého globálneho transformačného vzťahu medzi ETRS89 a JTSK, resp. JTSK/03.

Ďalej sme prostredníctvom transformačných vzťahov A a C transformovali celú množinu bodov Štátnej trigonometrickej siete (ŠTS) zo systému JTSK do ETRS89 a potom do JTSK/03. Týmto postupom sme zo súradníc x,y eliminovali globálnu a lokálnu deformáciu. Korekcie medzi JTSK a JTSK/03 sme ilustrovali na obrázku Obr. 7. Absolútne hodnoty korekcií sú v rozsahu od 5 do 800 mm. Zdá sa, že pre presné geodetické činnosti je nevyhnutné používať hore spomenuté štyri transformačné vzťahy A, B, C, D charakterizované rovnicami (4), (5), (6) a (7).

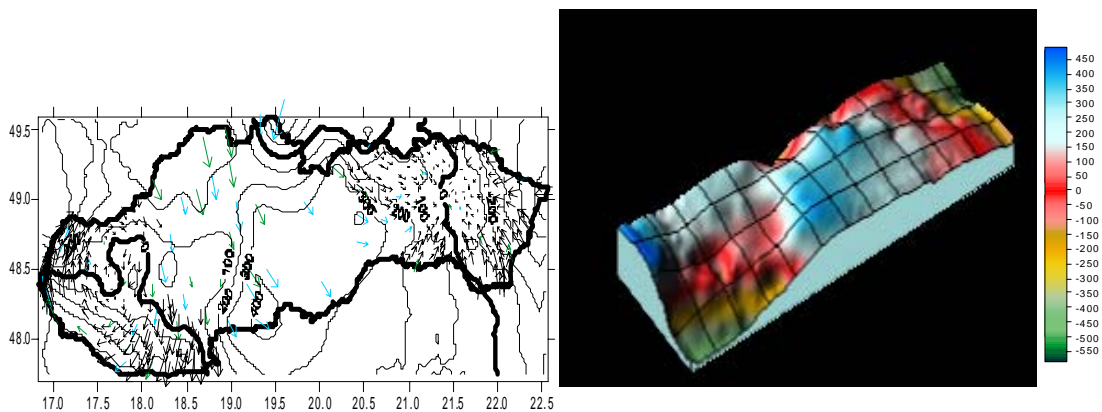


Obr. 2 a,b Histogramy rozdelenia reziduí po transformácii

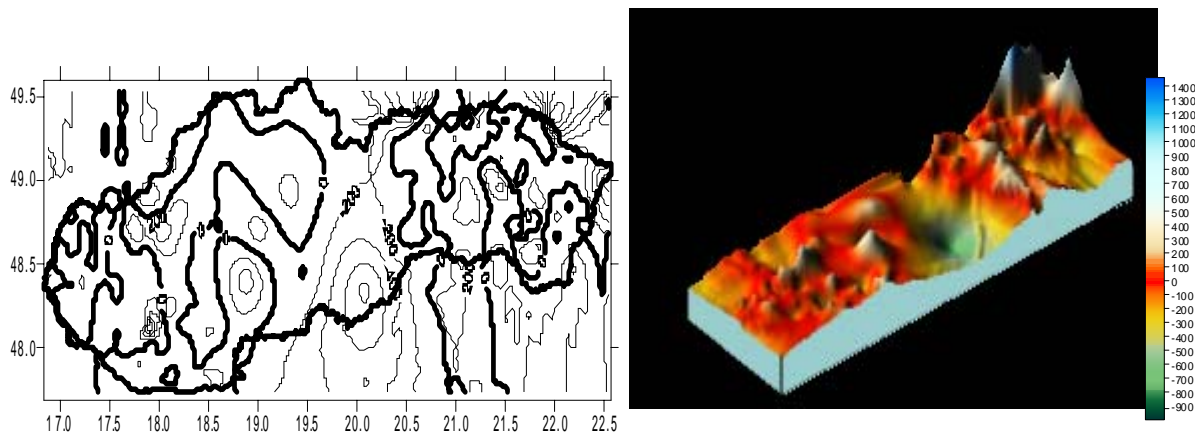
Modelovanie reziduálnej zložky v smeroch :



Obr. 3 Modelovanie reziduálnej zložky v smere sever – juh pre vzťah JTSK – ETRS89 (JTSK/03)



Obr. 4 Modelovanie reziduálnej zložky v smere východ - západ pre vzťah JTSK – ETRS89 (JTSK/03)

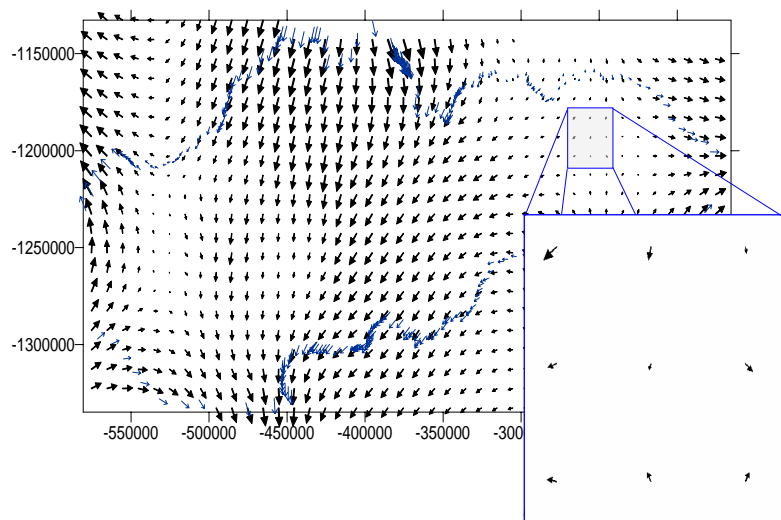


Obr. 5 Modelovanie reziduálnej zložky v smere normálnych výšok pre vzťah Bpv – ETRS89

4.4 Nehomogénna mierková deformácia S-JTSK

Dole uvedené dva obrázky zobrazujú postupne vizualizovaný digitálny model absolútnej reziduálnej zložky (Obr. 6), na ktorý aplikujeme bikubickú interpolačnú metódu založenú na metóde konečných prvkov. Druhý Obr. 7 zobrazuje korekcie z JTSK do JTSK/03 vypočítané pre body ŠTS a body štátnej hranice. Z Obr. 6 je zrejmé, že hraničné oblasti netrpia efektom nárastu korekcie.

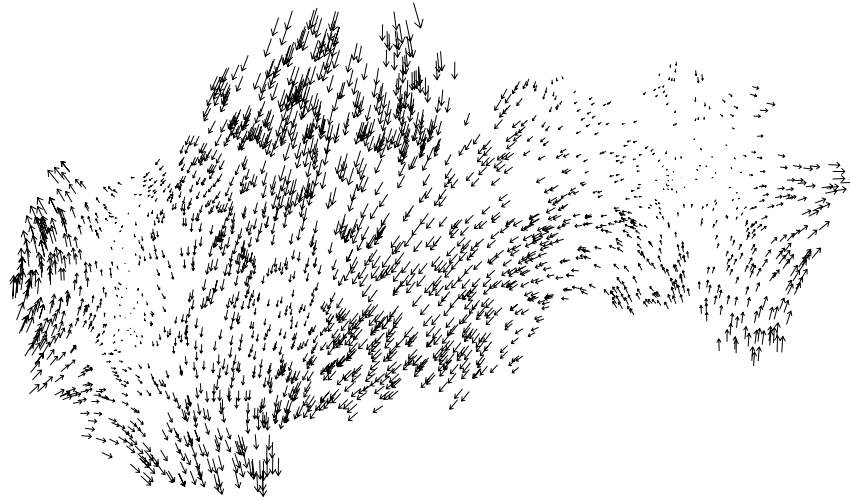
Korekcie súradníc S-JTSK do S-JTSK03
(eliminácia globálneho mierkového faktoru a lokálnej mierkovej deformácie)



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

Obr. 6 Digitálny model absolútnej reziduálnej zložky

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 : Klobušíak, Leitmannová
Apríl 2003

Obr. 7 Korekcia súradníc JTSK do JTSK/03 v rozsahu 5-800 mm

5. Záver

Realizácia záväzných referenčných systémov na území Slovenska prostredníctvom permanentnej služby na určovanie presnej polohy v reálnom čase si vyžaduje so strany správcu nových GZ zvládnutie širokého okruhu otázok. Na jednej strane SPGS zjednodušuje doterajšie chápanie geodézie v tom zmysle, že prenáša technologické problémy definovania záväzných referenčných systémov prostredníctvom merania sprostredkujúcich veličín a ich kvalifikovaný prevod a transformáciu do záväzných referenčných systémov. SPGS zabezpečuje metrologické návaznosti, prenáša ťažkosti jej zabezpečenia z pliec geodetov-koncových používateľov na plecia malej, vysoko kvalifikovanej skupiny špecialistov erudovaných súčasne v geodézii, metrológii, v informačných a komunikačných technológiách, informačných systémoch a pod. SPGS bude v prevažnej miere umožňovať zber len súradníc geodetických bodov, resp. bodov vo všeobecnosti, ktoré v spojení s mobilnými GISmi umožnia tvoriť informačné systémy o území v reálnom čase s vysokou presnosťou geometrických, geometricko-kinematických a nakoniec aj geometricko-dynamických vlastností objektov. SPGS tým, že bude schopná poskytnúť služby na meranie až submilimetrovej presnosti v globálnom rozsahu, zotrie rozdiel medzi lokálnym a globálnym riešením problémov. SPGS je kľúč k jednotnému riešeniu geometrického aspektu geografickej informácie definovanej normami ISO. SPGS je kľúč k spojeniu referenčných údajov ZB GIS a SGI katastra nehnuteľností bez redundancie výkonov.

Literatúra:

- [1] EUPOS SCO (2003) : Draft of the EUPOS European Positioning Determination System. Publisher : EUPOS Steering Committee Office c/o Senat Department

for Urban Development III.B Hohenzollerndamm 177 D-10702 Berlin, 2003.
(nepublikované, len pre potrebu členov ISCO EUPOS)

- [2] FROHMANN, E. : Koncepcia trojrozmerných geodetických základov Slovenska na báze družicových metód. [Dizertačná práca doktorandského štúdia.] KGZ SvF STU, Bratislava, apríl 1994.
- [3] HEFTY, J.: Návrh metodiky transformácie trigonometrických bodov v súradnicovom systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej pre územie Slovenska do Európskeho referenčného terestrického systému 1989. [Etapa 4d, čiastkovej úlohy IGS] Bratislava, VÚGK 1997, str.24.
- [4] HEFTY, J., FROHMANN, E. : Definícia a realizácia referenčného rámca ETRS89 na Slovensku – problémy a východiská. Zborník vedeckých prác k 60. výročiu Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Bratislava 1998, s.1-25-1-30.
- [5] KALAFUT, M. : Využitie meraní GPS v S-JTSK. [Dizertačná práca doktorandského štúdia.] KGZ SvF STU, Bratislava, 1994.
- [6] KLOBUŠIAK, M. : Transformácia neidentických trigonometrických bodov S-JTSK do ETRSYY. [Etapa 4b čiastkovej úlohy Integrovaná geodetická sieť.] Bratislava, VÚGK 1999.
- [7] KLOBUŠIAK, M. : Deformačný model priestorových štruktúr a jeho konfidencia. In : Zborník „Tatranské štíty, geodézia vo vysokohorskom prostredí“. Bratislava, Pobočka SSGK pri GKÚ v Bratislave a KGZ SvF STU, 1999.
- [8] 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.
- [9] KLOBUŠIAK, M.: DTplus – Programový systém na deterministické prevody a transformácie geodetický bodov a GIS objektov. Verzia 7.2003. MaKlo, nepublikované. © 1995-2003.
- [10] 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.
- [11] KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K.: Vybudovanie Slovenskej permanentnej služby na využívanie globálnych navigačných satelitných systémov. [Návrh rezortného projektu.] GKÚ, Bratislava, september 2002.
- [12] KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K.: 1. Fáza realizácie Slovenskej permanentnej služby na využívanie globálnych navigačných satelitných systémov. [Alternatívny návrh realizácie rezortného projektu na rok 2003.] GKÚ, Bratislava, február 2003.
- [13] 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.

- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] LEITMANNOVÁ, K.: Pripojenie ŠPS 2000 a 2001 k Slovenskému terestrickému referenčnému rámcu SKTRF 2001. Technická správa. GKÚ Bratislava, 2002.
- [17] TENZER, R. : Prevod geodetických polohových základov v S-1942/83 do ETRS89, epocha 1989.0 na území Slovenska. Dizertačná práca doktorandského štúdia. STU Bratislava, 2000.
- [18] http://igs.ifag.de/index_ntrip.htm