

Využitie integrovaného merania v podmienkach služby SKPOS

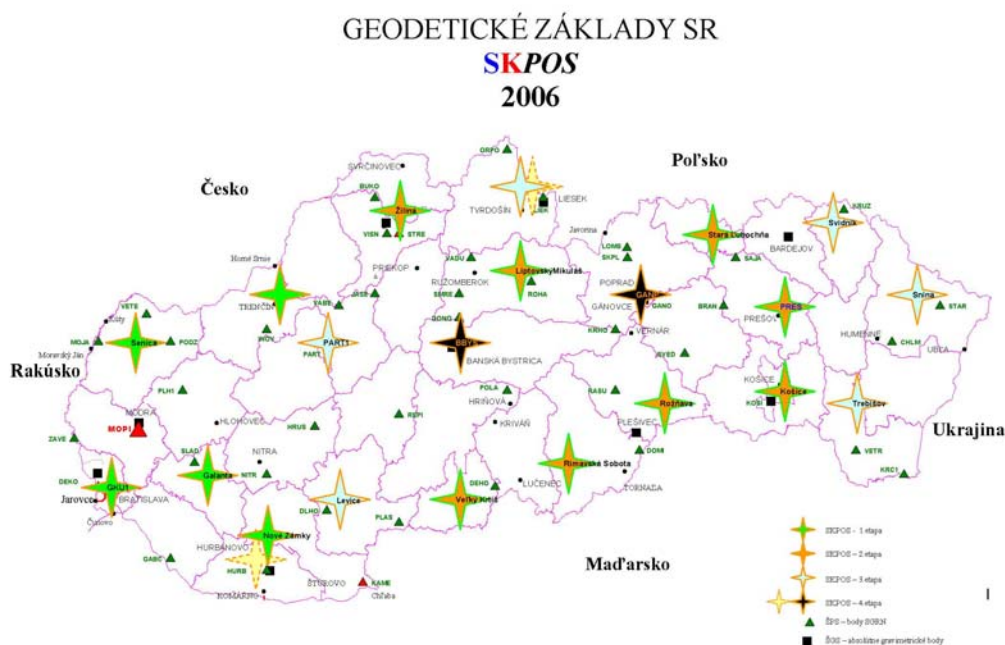
Ing. Martin Kalafut, Ph.D.¹, Ing. Matej Kloбуšiak, Ph.D.², Ing. Katarína Leitmanová², Ing. Dušan Ferianc²,
Ing. Tomáš Pribul², Doc. Ing. Marcel Mojzeš, Ph.D.³, Ing. Elena Šalátová²

Abstrakt:

Praktickou realizáciou siete referenčných staníc GNSS pokrývajúcich celé územie Slovenska (SKPOS) sa prvýkrát v histórii vytvorili reálne podmienky na všeobecné geocentricky vysoko presné a homogénne merania na celoštátnej úrovni. Reálna možnosť praktického využitia celoslovenského geocentrického digitálneho výškového referenčného modelu v spojení so službou SKPOS zase otvára možnosti integrovaného (súčasne s polohou) určovania nadmorských výšok v národnom výškovom systéme Bpv na úrovni presnosti technickej nivelácie. Dva rôzne typy transformácií súradníc ETRS-89 získaných meraním v reálnom čase prostredníctvom SKPOS do realizácie pôvodných súradníc JTSK resp. spresnenej realizácie JTSK/03 národného súradnicového systému S-JTSK garantujú spoľahlivé výsledky. V predkladanom článku sú detailne analyzované praktické experimentálne merania službou SKPOS s ohľadom na vyššie uvedené konštatovania.

1. Úvod

V mesiacoch máj – august 2006 bola prakticky realizovaná sieť referenčných staníc (RS) GNSS po celom území Slovenska (Obr. 1). Táto sieť pozostáva z 21 duálnych GNSS (Global Navigation Satellite System) prijímačov Trimble NetR5 schopných registrovať signály z družíc systémov GPS, GLONASS, WAAS a EGNOS a z radiaceho softvéru GPSNet so všetkými relevantnými modulmi.



Obr. 1. Slovenská sieť referenčných GNSS staníc SKPOS

¹AGIS Slovakia, spol. s r. o.
Prievozská 14/A, 821 09 Bratislava
tel./fax: 02/58238 367
agis@agis.sk, www.agis.sk

²Geodetický a kartografický ústav
Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava
tel./fax: 02/4333 4864, 4342 7511
klobusiak@gku.sk, www.gku.sk

³Katedra geodetických základov, SvF, STU
Radlinského 11, 811 07 Bratislava
tel./fax: 02/59274 536
marcel.mojzes@stuba.sk, www.stuba.sk

Prevádzka tejto siete RS spolu s virtuálnou privátnou WAN sieťou ÚGKK SR a riadiacim národným servisným centrom operujúcim na GKÚ Bratislava je fundamentom národnej infraštruktúry slovenskej priestorovej observačnej služby – SKPOS. Kvalitatívne posúva geodetické základy slovenskej geodézie na technologicky najmodernejšiu a najkvalitnejšiu úroveň. Praktickým využívaním služieb SKPOS (SKPOS-dm, SKPOS-cm a SKPOS-mm) dosiahnu jej geodetickí a aj negeodetickí používatelia výrazne vyššiu a predovšetkým maximálne homogénnu kvalitu nameraných údajov.

Reálna existencia a využiteľnosť služieb SKPOS zároveň prvýkrát vôbec ponúka možnosť celoštátneho homogénneho integrovaného merania nielen v zmysle súčasnej kombinácie GNSS a optických meraní v rámci integrovaného prístrojového vybavenia, ako je napr. Trimble IS RTK rover (T. Lemmon a i., 2005 resp. M. Kalafut, 2005), ale súčasne aj kvalitné určovanie nadmorských výšok (na úrovni presnosti technickej nivelácie) v aktuálne záväznom výškovom systéme Balt po vyrovnaní (Bpv).

Skutočnosť, že je možné spoľahlivo a kvalitne určovať aj nadmorské výšky, vyplýva z existencie kvalitného digitálneho výškového referenčného modelu (DVRM-Bpv) (Klobušiak a i. 2005), ktorý vznikol naftovaním modelu geocentrického kvázigeoidu pre územie celého Slovenska s krokom 600m x 800m. Jeho autorom je Doc. Ing. Marcel Mojzeš, Ph.D. z Katedry geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave (M. Mojzeš a i., 1999, 2003). Vzorku DVRM-Bpv pre oblasť stredného Považia na účely praktického testovania poskytol Geodetický a kartografický ústav Bratislava.

2. Experimentálne meranie prostredníctvom služby SKPOS-cm

Na experimentálne overenie presnosti pri meraniach v sieti RS SKPOS bola zvolená množina 20 bodov geodetických základov (body určené v ŠPS, ŠGS, ŠTS, ŠNS) v lokalite stredného Považia (okresy Trenčín a Ilava). Na samotné zameranie zvolenej množiny bodov bol použitý rover Trimble R8 s kontrolnou jednotkou (poľným počítačom) TSC2 s operačným systémom Windows Mobile v5 so softvérom Survey Controller v11.31 (Obr. 2).



Trimble R8 GNSS rover



poľný počítač TSC2

Obr. 2. Použité prístrojové vybavenie počas experimentálnych meraní v sieti SKPOS.

Pred začatím merania bola do softvéru Survey Controller v11.31 importovaná vzorka DVRM-Bpv pre celé záujmové územie s krokom 20" v zemepisnej šírke a 30" v zemepisnej dĺžke a digitálny model reziduálnej zložky DMRZ-JTSK (Klobušiak a i. 2005) zvyškových rezíduí pre korekciu novej realizácie JTSK/03 do pôvodnej realizácie polohových súradníc JTSK(x,y) s krokom 5x5 km (tzv. shift grid súbor údajov – viď Kapitulu 2.2)

Riadiaci softvér GPSNet siete RS SKPOS ponúka na výber niekoľko metód generovania korekcií v reálnom čase. V tomto experimente bola použitá metóda VRS RTK (Virtual Reference Station, Real Time Kinematic) s formátom korekčných údajov CMR+ (Compact Measurement Record). Formát CMR+ poskytuje korekcie pre satelity GPS a GLONASS. Prijímač, ktorý umožňuje prijímať signály GPS aj GLONASS budeme ďalej označovať ako prijímač GNSS.

Šírenie korekčných parametrov v sieti RS SKPOS je realizované prostredníctvom protokolu NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), ktorý podporuje šírenie korekčných GNSS údajov cez internet. Na ich reálne využitie je nutné na strane mobilného GNSS prijímača (rovera) mať k dispozícii buď:

- mobilný telefón podporujúci komunikáciu pomocou Bluetooth s poľným počítačom TSC2 a s aktivovaným GPRS dátovým prenosom na SIM karte

alebo

- GPRS dátový modem veľkosti CF (Compact Flash) karty, do ktorého sa vloží SIM karta s aktivovaným GPRS dátovým prenosom a ktorý je možné integrovať priamo do poľného počítača TSC2.

Oba varianty umožňujú pripojiť sa na internetový server národného servisného centra SKPOS, ktorý publikuje diferenciálne korekčné údaje GNSS v niektorom zo štandardov RTCM x.y prostredníctvom protokolu NTRIP. V tomto experimente bol použitý mobilný telefón Nokia N70 s aktivovaným GPRS dátovým prenosom na SIM karte a umožňujúci komunikáciu metódou Bluetooth s poľným počítačom TSC2, na ktorom bol nainštalovaný softvér Survey Controller v11.31.

2.1 SKPOS a JTSK/03

Dosiahnuté výsledky experimentálnych meraní v Štátnej priestorovej sieti prostredníctvom SKPOS sú demonštrované v Tabuľke 1, stĺpce 2 a 3. Skratka N/A znamená „neaplikovateľné“, t.j. príslušné údaje nie sú k dispozícii (nie sú známe resp. neexistujú).

Bod	SKPOS (VRS RTK)		Dané súradnice (KGB)		Bod určený v
	ETRS-89	JTSK/03	ETRS-89	JTSK/03	
	B [° ' "] L [° ' "] σ_{BL} [mm]	X [m] Y [m]	B [° ' "] L [° ' "] σ_{BL} [mm]	X [m] Y [m]	ŠPS ŠNS ŠTS ŠGS
	H [m] σ_H [mm]	Bpv (DVRM) h [m]	H [m] σ_H [mm]	Bpv (niv.) h [m] σ_h [mm]	
3521TN-1001	48 59 30.44228 18 07 05.18530 6.0 392.676 9.0	1 194 013.719 490 617.035 349.684	48 59 30.44305 18 07 05.18553 2.8 392.673 10.7	1 194 013.697 490 617.029 349.64683 1.12	ŠPS ŠGS ŠNS
3521TN-1004	48 54 54.75539 18 02 17.69714 10.0 290.481 14.0	1 201 980.227 497 193.480 247.377	48 54 54.75494 18 02 17.69734 2.8 290.447 14.0	1 201 980.242 497 193.478 247.270	ŠPS
3521TN-1007	48 54 07.41929 18 15 26.29891 15.0 404.667 19.0	1 204 838.249 481 325.973 361.333	48 54 07.42009 18 15 26.29935 3.4 404.690 14.4	1 204 838.226 481 325.962 361.3300	ŠPS ŠGS
3522PD-1001	<i>Nezamerateľný – nestabilný signál GSM</i>		48 58 06.45212 18 21 01.33773 2.9 405.062 11.3	1 198 063.00 473 903.12 361.810	ŠPS
5816-30 (TL 35-21)	48 54 02.04856 18 15 23.32914 11.0 415.138 16.0	1 204 998.335 481 400.467 371.801	N/A N/A N/A	1 204 998.357 * 481 400.391 * 371.780	ŠTS
5816-5 (TL 35-21)	48 55 31.49623 18 08 40.07303 9.0 324.550 11.0	1 201 534.925 489 340.206 281.435	N/A N/A N/A	1 201 534.916 * 489 340.096 * 281.480	ŠTS
G23-521	48 53 30.68876 18 10 36.31277 11.0 477.562 20	1 205 458.422 487 307.569 434.312	48 53 30.68723 18 10 36.31244 2.9 477.557 17.2	1 205 458.470 487 307.580 434.30170	ŠPS ŠGS ŠNS
G35-530	48 54 06.36765 18 15 22.31531 9.0 404.276 15.0	1 204 863.647 481 409.581 360.943	N/A N/A N/A	1 204 863.649 * 481 409.582 * 360.90515	ŠNS
GZD-517	48 54 10.43630 18 05 06.92714 7.0 258.193 12.0	1 203 648.428 493 882.406 215.069	48 54 10.43554 18 05 06.92787 2.7 258.225 12.0	1 203 648.455 493 882.393 215.05630	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-525	48 55 08.49720 18 05 56.21518 8.0 261.831 14.0	1 201 950.324 492 724.968 218.734	N/A N/A N/A	1 201 950.325 * 492 724.968 * 218.72586	ŠNS

GZD-539	48 56 35.46089 18 07 59.15205 5.0 278.239 9.0	1 199 493.951 489 997.082 235.185	48 56 35.46094 18 07 59.15200 2.8 278.246 12.0	1 199 493.951 489 997.083 235.15569 1.56	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-542	48 56 54.44182 18 08 23.56520 11.0 276.770 13.0	1 198 953.337 489 451.026 233.727	N/A N/A N/A	1 198 953.339 * 489 451.026 * 233.68103 1.62	ŠNS
GZD-555	48 58 31.90122 18 11 39.84592 8.0 289.817 10.0	1 196 301.845 485 212.039 246.809	N/A N/A N/A	1 196 301.846 * 485 212.039 * 246.79243 1.95	ŠNS
GZD-559	48 58 51.04623 18 12 43.16343 7.0 293.742 8.0	1 195 824.140 483 878.289 250.735	48 58 51.04633 18 12 43.16327 2.7 293.734 10.0	1 195 824.139 483 878.293 250.71370	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-576	49 00 09.90561 18 14 44.07757 8.0 296.304 11.0	1 193 609.284 481 219.616 253.342	N/A N/A N/A	1 193 609.285 * 481 219.616 * 253.32460	ŠNS
GZD-577	49 00 13.03368 18 14 53.26331 8.0 298.722 10.0	1 193 529.071 481 025.324 255.761	49 00 13.03395 18 14 53.26401 2.8 298.737 10.5	1 193 529.066 481 025.310 255.75330	ŠPS ŠGS ŠNS
ZC30-507	48 56 29.55648 18 02 50.56019 10.0 284.618 13.0	1 199 122.832 496 267.647 241.539	N/A N/A N/A	1 199 122.833 * 496 267.647 * 241.55730	ŠNS
ZC30-516	48 57 59.60623 18 01 21.61839 9.0 351.568 12.0	1 196 191.735 497 822.881 308.481	48 57 59.60532 18 01 21.61840 2.7 351.538 10.5	1 196 191.764 497 822.884 308.42420	ŠPS ŠGS ŠNS
ZD1-511	48 57 20.23724 18 07 34.83997 11.0 268.593 11.0	1 198 072.908 490 368.743 225.571	N/A N/A N/A	1 198 072.909 * 490 368.743 * 225.58560	ŠNS
ZD1-514	48 57 45.45613 18 07 32.27209 9.0 269.528 13.0	1 197 292.358 490 352.558 226.518	N/A N/A N/A	1 197 292.359 * 490 352.558 * 226.50880	ŠNS

Tabuľka 1. Dosaiahnuté výsledky meraním v reálnom čase prostredníctvom SKPOS v súradnicových systémoch ETRS-89 a JTSK/03 (2. a 3. stĺpec).

Polohové súradnice x, y (JTSK/03) množiny bodov uvedených v Tabuľke 1 (3. stĺpec) boli určené meraním prostredníctvom SKPOS v reálnom čase a systéme ETRS89, ktoré boli s použitím globálnej 7 prvkovej transformácie (TPM-JTSK), platnej pre celé územie Slovenska, pretransformované Burša-Wolfovým modelom na lokálny Besselov elipsoid a následne prepočítané na realizáciu rovinných súradníc JTSK/03. Ak sa

použila aj korekcia DMRZ-JTSK, boli vypočítané aj realizácie pôvodných súradníc JTSK. Všetky modely DVRM-Bpv, DMRZ-JTSK a TPM-JTSK boli implementované do softvérov Trimble Survey Controller resp. Trimble Geomatics Office. Použité transformačné parametre (ich hodnoty sú uvedené v Tabuľke 2) boli určené na Geodetickom a kartografickom ústave Bratislava v zmysle postupu, ktorý detailne popisuje (Klobušiak a i., 2006). Nadmorské výšky vo výškovom systéme Bpv boli určené taktiež meraním pomocou SKPOS v reálnom čase s využitím DVRM-Bpv pre záujmovú lokalitu (Tabuľka 1, 3. stĺpec).

Polohové súradnice x, y (JTSK/03) v 5. stĺpci Tabuľky 1 sú určené modelom transformácie v zmysle metódy ako ju uvádza (Klobušiak a i., 2006) s použitím transformačných parametrov uvedených v Tabuľke 2 a z geocentrických ETRS-89 súradníc vedených v katalógu geodetických bodov (KGB). Výnimkou sú hodnoty súradníc označené symbolom *, kde polohové x, y súradnice (JTSK/03) v databáze KGB nie sú známe a v tomto prípade boli určené transformáciou z geocentrických ETRS-89 súradníc zameraných v reálnom čase prostredníctvom SKPOS (z hodnôt uvedených v Tabuľke 1, v 2. stĺpci) podľa postupu ako uvádza (Klobušiak a i., 2006).

Globálne transformačné parametre pre Slovensko (model Burša-Wolf)		
Translačné prvky	ΔX [m]	485.021
	ΔY [m]	169.465
	ΔZ [m]	483.839
Rotačné prvky	ω_x ["]	-7.786342
	ω_y ["]	-4.397554
	ω_z ["]	-4.102655
Zmena mierky	Δs [ppm]	0.000000

Tabuľka 2. Globálne transformačné parametre pre Slovensko (model Burša-Wolf).

V Tabuľke 3 sú ilustrované nasledovné údaje:

- v 2. stĺpci sú uvedené rozdiely medzi geocentrickými súradnicami (zemepisná šírka B , zemepisná dĺžka L , elipsoidická výška H v súradnicovom systéme ETRS-89 – $B_{\text{ETRS-89}}$, $L_{\text{ETRS-89}}$, $H_{\text{ETRS-89}}$) určenými meraním v reálnom čase prostredníctvom SKPOS (stĺpec 2 v Tabuľke 1) a geocentrickými súradnicami (zemepisná šírka B , zemepisná dĺžka L , elipsoidická výška H v súradnicovom systéme ETRS-89 – $B_{\text{ETRS-89}}$, $L_{\text{ETRS-89}}$, $H_{\text{ETRS-89}}$) vedenými v katalógu geodetických bodov (KGB), ktoré boli určené dlhodobými a opakovanými GPS observáciami (stĺpec 4 v Tabuľke 1).
- v 3. stĺpci sú uvedené rozdiely medzi polohovými súradnicami x, y (JTSK/03) a nadmorskou výškou h vo výškovom systéme Bpv (s využitím DVRM) určenými meraním v reálnom čase prostredníctvom SKPOS (stĺpec 3 v Tabuľke 1) a polohovými súradnicami x, y (JTSK/03) a nadmorskou výškou h vo výškovom systéme Bpv (určenými niveláciou) vedenými v KGB (stĺpec 5 v Tabuľke 1).

Bod	SKPOS (VRS RTK) - Dané súradnice (KGB)		Bod určený v
	SKPOS _{ETRS-89} - KGB _{ETRS-89}	JTSK/03 _{SKPOS} - S-JTSK/03 _{KGB}	ŠPS ŠNS ŠTS ŠGS
	dB _{ETRS-89} ["] dL _{ETRS-89} ["] dH _{ETRS-89} [mm]	dX [mm] dY [mm] Bpv _(DVRM) - Bpv _(niv.) Dh[mm]	
3521TN-1001	-0.00077 (-24 mm) -0.00023 (-5 mm) 3	22 6 37	ŠPS ŠGS ŠNS
3521TN-1004	0.00045 (14 mm) 0.00020 (4 mm) 34	-15 2 107	ŠPS
3521TN-1007	0.00080 (25 mm) 0.00044 (9 mm) 23	23 11 3	ŠPS ŠGS
5816-30 (TL 35-21)	N/A N/A N/A	-22 76 21	ŠTS
5816-5 (TL 35-21)	N/A N/A N/A	9 110 45	ŠTS
G23-521	0.00153 (47 mm) 0.00033 (7 mm) 5	-48 -11 10	ŠPS ŠGS ŠNS
G35-530	N/A N/A N/A	-2 -1 38	ŠNS
GZD-517	0.00076 (23 mm) -0.00073 (-15 mm) -32	-27 13 13	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-525	N/A N/A N/A	-1 0 8	ŠNS
GZD-539	-0.00005 (-2 mm) 0.00005 (1 mm) -7	0 -1 29	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-542	N/A N/A N/A	-2 0 46	ŠNS
GZD-555	N/A N/A N/A	-1 0 17	ŠNS
GZD-559	-0.00010 (-3 mm) 0.00016 (3 mm) 8	1 -4 21	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-576	N/A N/A N/A	-1 0 17	ŠNS
GZD-577	-0.00027 (-8 mm) -0.00070 (-14 mm) -15	5 14 8	ŠPS ŠGS ŠNS
ZC30-507	N/A N/A	-1 0	ŠNS

	N/A	18	
ZC30-516	0.00091 (28 mm) -0.00001 (0 mm)	29 -3	ŠPS ŠGS ŠNS
	30	57	
ZD1-511	N/A N/A	-1 0	ŠNS
	N/A	15	
ZD1-514	N/A N/A	-1 0	ŠNS
	N/A	9	

Tabuľka 3. Súradnicové rozdiely v polohe (vrátane rozdielov v JTSK/03) a vo výške medzi meraním prostredníctvom SKPOS a údajmi vedenými v KGB.

Ak odhliadneme od prakticky nulových polohových rozdielov v realizácii lokálneho súradnicového systému JTSK/03 na bodoch ZD1-514, ZD1-511, ZC30-507, GZD-576, GZD-555, GZD-542, GZD-525 a G35-530 (stĺpec 3 v Tabuľke 3), ktorých geocentrické ETRS-89 súradnice neboli určené nezávislým GPS meraním mimo služby SKPOS a ktoré v tomto prípade potvrdzujú len matematickú správnosť (zhodnosť) transformácie implementovaných v použitých softvéroch pri použití rovnakých transformačných parametrov, môžeme konštatovať, že najväčší rozdiel v geocentrickej zemepisnej šírke je na bode G23-521 a predstavuje 47mm, najväčší rozdiel v geocentrickej zemepisnej dĺžke je na bode GZD-517 a predstavuje 15mm a najväčší rozdiel v elipsoidickej výške je na bode 3521TN-1004 a predstavuje 34mm (viď Tabuľku 3, 2. stĺpec). Presnosť merania v prostredníctvom SKPOS bola max. 1,5 cm v polohe a 2 cm vo výške.

Tieto hodnoty nám ponúkajú len úvodný, orientačný pohľad na kvalitu služby SKPOS-cm. Napriek tomu sú však reálnym podkladom na konštatovanie, že služba SKPOS je hneď na začiatku spustenia testovacej prevádzky geocentricky vysoko kvalitná s jednoznačnou perspektívou ďalšieho skvalitňovania jej geocentricity a väzby súradnicového systému ETRS89 na súčasné polohové a výškové referenčné systémy.

Ak zoberieme do úvahy polohové rozdiely v realizácii národného súradnicového systému JTSK/03 (Tabuľka 3, stĺpec 3) z hľadiska GNSS merania na nezávislých bodoch (t.j. na bodoch 3521TN-1001, 3521TN-1004, 3521TN-1007, 5816-30, 5816-5, G23-521, GZD-517, GZD-539, GZD-559, GZD-577 a ZC30-516) vidíme, že najväčšie polohové rozdiely sú na bodoch 5816-30 (22mm v smere osi X a 76mm v smere osi Y) a 5816-5 (9mm v smere osi X a 110mm v smere osi Y), ktoré sú bodmi pôvodnej štátnej trigonometrickej siete (ŠTS).

Vzhľadom na to, že ich "dané" JTSK/03 súradnice boli vypočítané odmodelovaním zvyškových rezíduí z klasických (aktuálne platných) JTSK súradníc metódou uvedenou v (Klobušiak a i., 2005), veľké diferencie v smere osi y môžu poukazovať buď na problémy v modelovaní zvyškových rezíduí (deformácií) v danom území predovšetkým v smere osi y, resp. v modelovaní deformácií pre pôvodné realizácie platných súradníc JTSK vôbec alebo nekonzistentnosť pôvodných súradníc so súčasnou polohou geodetickej značky (krížika).

Ak však odhliadneme od vyššie uvedených dvoch bodov pôvodnej ŠTS, diferencie na ostatných bodoch sú na prijateľnej úrovni (maximálna diferencia v smere osi x je na

bode G23-521 a predstavuje hodnotu 48mm, maximálna diferencia v smere osi y je na bode GZD-577 a predstavuje hodnotu 14mm).

Väčšia odchýlka na bode G23-521 v súradnici x (JTSK/03) má pôvod v menej presnom GNSS meraní v rámci služby SKPOS. Rozdiel 47mm (viď Tabuľku 2, stĺpec 2) sa už prejavuje v geocentrickej šírke medzi meraním v SKPOS a nezávislým GNSS meraním, a preto nie je spôsobený použitím DMRZ-JTSK.

2.2 SKPOS versus aktuálne platná realizácia JTSK

Vzhľadom na fakt, že nová realizácia JTSK/03 nemení definíciu rovinného súradnicového systému S-JTSK, JTSK/03 predstavuje len návrh na novú spresnenú realizáciu súradníc platného rovinného súradnicového systému S-JTSK. Realizácia JTSK/03 je zbavená globálnych a lokálnych deformácií obsiahnutých v pôvodných súradniciach x, y JTSK. Korekcie dosahujú v niektorých lokalitách až metrovú hodnotu. Očakáva sa rozhodnutie ÚGKK SR, ktorý oficiálne vyhlási používanie spresnených súradníc JTSK/03 za záväzné. K určovaniu JTSK/03 súradníc prostredníctvom SKPOS postačuje iba sedem transformačných parametrov Burša-Wolfovho modelu Helmertovej transformácie, ktoré transformujú geocentrické súradnice ETRS89 na lokálny Besselov elipsoid. Prepočet geodetických lokálnych súradníc na rovinné JTSK/03 sa uskutočňuje prostredníctvom známych vzťahov matematickej kartografie. Ďalej ukazujeme, že súradnice ETRS89, určené prostredníctvom služby SKPOS, je možné previesť aj do pôvodnej, starej realizácie JTSK. Ale zároveň podotýkame, že tento krok je nesystémový.

Na transformáciu meraní získaných prostredníctvom služby SKPOS do aktuálne platnej realizácie súradníc JTSK bola v tomto experimentálnom meraní použitá metóda tzv. shift gridu. Princíp tejto metódy spočíva v tom, že po priestorovej (obvykle 7 prvkovej) transformácii sa ETRS89 súradnice pretransformujú na lokálny Besselov elipsoid, lokálne geodetické súradnice sa prepočítajú na realizáciu JTSK/03 a tieto súradnice sa skorigujú (pokazia) o zvyškové hodnoty rezíduí získané zvoleným typom interpolácie (lineárnej, kvadratickej, bikvadratickej a pod.) z DMRZ-JTSK. Modely tvoria hodnoty rezíduí určených na množine identických bodov tvoriacich pravidelnú príp. aj nepravidelnú sieť (mriežku) -tzv. grid v záujmovej lokalite (S-JTSK = JTSK/03 + deformácie).

V našom prípade boli pri tejto metóde použité celoslovenské (globálne) transformačné parametre uvedené v Tabuľke 2 a tzv. shift grid súbor rezíduí identických bodov pre lokalitu merania, ktorý bol implementovaný do softvérov Trimble Survey Controller a Trimble Geomatics Office s bikvadratickou interpolačnou metódou.

Bod	SKPOS (VRS RTK)		Dané súradnice (KGB)		Bod určený v
	ETRS-89 B [° ' "] L [° ' "] σ_{BL} [mm] H [m] σ_H [mm]	S-JTSK _{Shift Grid} X [m] Y [m] Bpv (DVRM) h [m]	ETRS-89 B [° ' "] L [° ' "] σ_{BL} [mm] H [m] σ_H [mm]	S-JTSK X [m] Y [m] Bpv (niv.) h [m] σ_h [mm]	ŠPS ŠNS ŠTS ŠGS
3521TN-1001	48 59 30.44228 18 07 05.18530 6.0 392.676	1 194 013.705 490 616.622 349.684	48 59 30.44305 18 07 05.18553 2.8 392.673	1 194 013.68 490 616.62 349.64683	ŠPS ŠGS ŠNS

	9.0		10.7	1.12	
3521TN-1004	48 54 54.75539 18 02 17.69714 10.0 290.481 14.0	1 201 980.266 497 192.951	48 54 54.75494 18 02 17.69734 2.8 290.447 14.0	1 201 980.28 497 192.94	ŠPS
3521TN-1007	48 54 07.41929 18 15 26.29891 15.0 404.667 19.0	1 204 838.224 481 325.581	48 54 07.42009 18 15 26.29935 3.4 404.690 14.4	1 204 838.21 481 325.58	ŠPS ŠGS
3522PD-1001	Nezamerateľný – nestabilný signál GSM		48 58 06.45212 18 21 01.33773 2.9 405.062 11.3	1 198 063.00 473 903.12	ŠPS
5816-30 (TL 35-21)	48 54 02.04856 18 15 23.32914 11.0 415.138 16.0	1 204 998.310 481 400.075	N/A N/A N/A	1 204 998.34 481 400.01	ŠTS
5816-5 (TL 35-21)	48 55 31.49623 18 08 40.07303 9.0 324.550 11.0	1 201 534.915 489 339.750	N/A N/A N/A	1 201 534.91 489 339.66	ŠTS
G23-521	48 53 30.68876 18 10 36.31277 11.0 477.562 20	1 205 458.399 487 307.125	48 53 30.68723 18 10 36.31244 2.9 477.557 17.2	N/A N/A	ŠPS ŠGS ŠNS
G35-530	48 54 06.36765 18 15 22.31531 9.0 404.276 15.0	1 204 863.622 481 409.189	N/A N/A N/A	N/A N/A	ŠNS
GZD-517	48 54 10.43630 18 05 06.92714 7.0 258.193 12.0	1 203 648.434 493 881.902	48 54 10.43554 18 05 06.92787 2.7 258.225 12.0	1 203 648.46 493 881.89	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-525	48 55 08.49720 18 05 56.21518 8.0 261.831 14.0	1 201 950.328 492 724.475	N/A N/A N/A	N/A N/A	ŠNS
GZD-539	48 56 35.46089 18 07 59.15205 5.0 278.239 9.0	1 199 493.947 489 996.627	48 56 35.46094 18 07 59.15200 2.8 278.246 12.0	1 199 493.94 489 996.64	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-542	48 56 54.44182 18 08 23.56520 11.0 276.770 13.0	1 198 953.330 489 450.579	N/A N/A N/A	N/A N/A	ŠNS
GZD-555	48 58 31.90122 18 11 39.84592 8.0 289.817 10.0	1 196 301.822 485 211.639	N/A N/A N/A	N/A N/A	ŠNS

GZD-559	48 58 51.04623 18 12 43.16343 7.0 293.742 8.0	1 195 824.117 483 877.897 250.735	48 58 51.04633 18 12 43.16327 2.7 293.734 10.0	1 195 824.11 483 877.90 250.71370	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-576	49 00 09.90561 18 14 44.07757 8.0 296.304 11.0	1 193 609.254 481 219.238 253.342	N/A N/A N/A	N/A N/A 253.32460	ŠNS
GZD-577	49 00 13.03368 18 14 53.26331 8.0 298.722 10.0	1 193 529.042 481 024.947 255.761	49 00 13.03395 18 14 53.26401 2.8 298.737 10.5	1 193 529.02 481 024.93 255.75330	ŠPS ŠGS ŠNS
ZC30-507	48 56 29.55648 18 02 50.56019 10.0 284.618 13.0	1 199 122.866 496 267.133 241.539	N/A N/A N/A	N/A N/A 241.55730	ŠNS
ZC30-516	48 57 59.60623 18 01 21.61839 9.0 351.568 12.0	1 196 191.783 497 822.362 308.481	48 57 59.60532 18 01 21.61840 2.7 351.538 10.5	1 196 191.81 497 822.36 308.42420	ŠPS ŠGS ŠNS
ZD1-511	48 57 20.23724 18 07 34.83997 11.0 268.593 11.0	1 198 072.904 490 368.293 225.571	N/A N/A N/A	N/A N/A 225.58560	ŠNS
ZD1-514	48 57 45.45613 18 07 32.27209 9.0 269.528 13.0	1 197 292.349 490 352.122 226.518	N/A N/A N/A	N/A N/A 226.50880	ŠNS

Tabuľka 4. Dosiahnuté výsledky meraní v reálnom čase pomocou SKPOS v súradnicových systémoch ETRS-89 a S-JTSK (2. a 3. stĺpec).

V Tabuľke 4 v 2. stĺpci sú geocentrické ETRS-89 súradnice získané priamym meraním v službe SKPOS-cm metódou VRS RTK (tento stĺpec je identický s 2. stĺpcom v Tabuľke 1). V 3. stĺpci Tabuľky 4 sú v reálnom čase pretransformované polohové x, y (JTSK) súradnice vyššie spomínanou metódou shift gridu. V 4. a 5. stĺpci sú ETRS-89 resp. JTSK súradnice bodov ako sú oficiálne vedené v KGB, t.j. sú to v tomto zmysle dané (platné) súradnice.

Rozdiely medzi polohovými x, y (JTSK) súradnicami získanými transformáciou metódou shift gridu z priamych meraní v sieti SKPOS a danými (známymi) polohovými x, y (JTSK) súradnicami z KGB sú ilustrované v Tabuľke 5.

Bod	S-JTSK _{Shift Grid} – S-JTSK _{KGB}	Bod určený v
	dx [mm] dy [mm]	ŠPS ŠNS ŠTS ŠGS
3521TN-1001	25 2	ŠPS ŠGS ŠNS
3521TN-1004	-14 11	ŠPS
3521TN-1007	14 1	ŠPS ŠGS
5816-30 (TL 35-21)	-30 65	ŠTS
5816-5 (TL 35-21)	5 90	ŠTS
GZD-517	-26 12	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-539	7 -13	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-559	7 -3	ŠPS ŠGS ŠNS
GZD-577	22 17	ŠPS ŠGS ŠNS
ZC30-516	-27 2	ŠPS ŠGS ŠNS

Tabuľka 5. Polohové súradnicové rozdiely dx, dy medzi S-JTSK súradnicami z SKPOS a danými S-JTSK súradnicami podľa KGB.

Najväčšie polohové rozdiely sú opäť na bodoch 5816-30 (30mm v smere osi X a 65mm v smere osi y) a 5816-5 (5mm v smere osi x a 90mm v smere osi y), ktoré konvengujú s rozdielmi uvedenými v Tabuľke 3. Keďže tieto dva body sú bodmi pôvodnej Štátnej trigonometrickej siete (ŠTS), tieto súradnicové rozdiely opäť indikujú pravdepodobný problém v modelovaní zvyškových rezíduí (deformácií) predovšetkým v smere osi y resp. v modelovaní deformácií pre aktuálne platný súradnicový systém S-JTSK vôbec.

Ak však odhliadneme od vyššie uvedených dvoch bodov ŠTS, diferencie na ostatných bodoch sú na uspokojivej úrovni v rámci presnosti merania pomocou SKPOS (maximálna diferencia v smere osi x je na bode ZC30-516 a predstavuje hodnotu 27mm, maximálna diferencia v smere osi y je na bode GZD-577 a predstavuje hodnotu 17mm).

2.3 SKPOS a výškový systém Balt po vyrovnaní (Bpv)

Už dávnejšie je známy fakt, že v prípade existencie kvalitného modelu geocentrického (kvázi)geoidu v kombinácii s kvalitnými GNSS meraniami výšok, je možné určovať nadmorské výšky na úrovni presnosti technickej nivelácie. Existencia kvalitného celoslovenského modelu geocentrického kvázigeoidu (Mojzeš a i., 1999) a jeho

praktická aplikácia prostredníctvom DVRM-Bpv, otvára nové možnosti aj slovenským používateľom GNSS meračskej techniky.

Výsledky z určovania nadmorskej výšky vo výškovom systéme Bpv s využitím vzorky DVRM-Bpv pre záujmovú lokalitu v kombinácii GPS/GNSS roverom Trimble R8 meraním pomocou SKPOS dokumentuje stĺpec 3 v Tabuľkách 1, 3 a 4.

V Kapitole 2.1, v Tabuľke 3 (3. stĺpec - spodné hodnoty) sú uvedené výškové diferencie medzi nadmorskými výškami určenými z meraní v sieti SKPOS s využitím DVRM-Bpv a nadmorskými výškami získanými presnou niveláciou.

Ako je zrejmé, najväčšia diferencia (107 mm) je na bode 3521TN-1004. Tento bod má však výšku určenú trigonometricky, takže je reálny predpoklad, že táto diferencia je spôsobená predovšetkým nepresnosťou v trigonometrickom určení výšky ako nepresnosťou modelu.

V ostatných prípadoch sú výškové diferencie v rozmedzí od 3mm do 57mm. Pri posudzovaní týchto diferencií je potrebné brať do úvahy aj presnosť určenia elipsoidickej výšky počas merania v sieti SKPOS, čo má samozrejme priamy vplyv na kvalitu určenia nadmorskej výšky. Dosiagnuté výsledky však potvrdzujú deklarovanú niekoľkokocentimetrovú presnosť geocentrického DVRM-Bpv.

3. Záver

Na základe vyššie dosiahnutých výsledkov z experimentálnych meraní pomocou SKPOS je možné konštatovať nasledovné:

- meranie prostredníctvom služieb SKPOS v reálnom čase posúva zásadným spôsobom GNSS merania na celoštátnej úrovni do kvalitatívne doteraz nedosiahnuteľnej centimetrovej úrovne predovšetkým z hľadiska homogenity a integrity nameraných údajov, a to jednak v geocentrickom súradnicovom systéme ETRS-89, jednak v platnom národnom súradnicovom systéme JTSK,
- v prípade, že bude prijatá filozofia zachovania národného súradnicového systému JTSK v jeho spresnenej realizácii JTSK/03 (t.j. neprijme sa nový národný súradnicový systém, ktorý by nevyžadoval žiadnu transformáciu, len zobrazenie priamo nameraných GPS/GNSS elipsoidických súradníc do projekčnej roviny), homogenita a integrita údajov v takomto spresnenom súradnicovom systéme JTSK/03 bude zachovaná len vtedy, ak sa urýchlene prijme všeobecne záväzný a jednotný spôsob transformácie súradníc (celoslovenské jednotné transformačné parametre) medzi geocentrickým súradnicovým systémom ETRS-89 a národným súradnicovým systémom JTSK/03
- v prípade, že bude prijatá filozofia zachovania národného súradnicového systému JTSK v jeho aktuálne platnej verzii (bez zbavenia sa deformácií pôvodných súradníc t.j. bez spresnenej realizácie JTSK/03), bude potrebné k transformácii s jednotnými celoslovenskými transformačnými parametrami používať súbor s gridovým modelom rezíduí identických bodov pre celé územie Slovenska. Takýto postup však garantuje len limitovanú homogenitu a integritu

údajov v platnom súradnicovom systéme JTSC, ktorá je plne závislá na presnosti resp. nepresnosti modelovania rezíduí pre záujmovú lokalitu,

- na určovanie nadmorských výšok vo výškovom systéme Bpv pomocou GPS/GNSS meracej techniky a za účelom zachovania homogenity a integrity údajov v celoštátnom meradle je vhodné odporúčať používateľom SKPOS využívať celoslovenský výškový referenčný model DVRM-Bpv, ktorý vzniká naftovaním geocentrického kvázigeoidu na nivelačné body určené v ŠPS. DVRM-Bpv v spojení s geocentrickým meraním prostredníctvom SKPOS zabezpečuje určenie nadmorských výšok Bpv na úrovni presnosti technickej nivelácie. Zvyšovanie kvality DVRM-Bpv si vyžaduje neustále spresňovanie digitálneho kvázigeoidu a množiny fitovacích bodov,
- v súvislosti s vyššie uvedenými skutočnosťami je pre rezort Geodézie, kartografie a katastra absolútne nevyhnutné, v dohľadnom čase prijať odborné fundované a konkrétnymi argumentami podložené definitívne rozhodnutie, akým spôsobom sa má zladiť existencia vysoko kvalitnej služby SKPOS s existujúcimi obmedzenými (a prakticky nevylepšiteľnými) charakteristikami aktuálne platného národného súradnicového systému JTSC v nových podmienkach SKPOS. Neriešenie tohto problému bude veľmi negatívnym spôsobom prehlbovať nesúlad medzi službou SKPOS a platným národným súradnicovým systémom JTSC, čo bude v každodennej praxi veľmi negatívne pociťovať celá slovenská geodézia.

Literatúra:

M. Kalafut: Mobilný integrovaný meračský systém Trimble IS[®] Rover – geodetické meranie v nových dimenziách. 13. slovenské geodetické dni, November 2005, Bratislava

M. Klobušiak – K. Leitmannová – D. Ferienc: Jednotný prechod národných referenčných súradnicových a výškových systémov do ETRS89. In zborník referátov „Geodetické siete a priestorové informácie“, SSGK pri GKÚ, TOPÚ BB, Podbanské 24.-26. októbra 2005

M. Klobušiak – K. Leitmannová – D. Ferienc: S-JTSC A ETRS89 odhad transformačných parametrov metódou transformácie na povrchu elipsoidu stotožnením normál. In zborník „GPS, Galileo, GLONASS, nové obzory v geodézii“. STU, KGZ, Bratislava 8.11.2006

T. Lemmon & L. Wetherbee: Trimble[®] Integrated Surveying[™] Techniques. White paper, Westminster, Colorado, USA – 2005

M. Mojzeš - J. Janák: New gravimetric quasigeoid of Slovakia. Bollettino di Geofisica, Vol. 40, September – December 1999. An International Journal of Earth Sciences

M. Mojzeš – J. Janák – J. Papčo: Určenie gravimetrického kvázigeoidu SR, verzia 2003 s použitím vyšších členov v rozvoji poruchového potenciálu. Vedecko – technický projekt „Integrovaná geodetická sieť“, čiastková úloha č.1 „Rozvoj integrovaných geodetických základov Slovenska“. VÚGK, 2003