

NOVÝ REFERENČNÝ RÁMEC IGS08 V SPRACOVANÍ GNSS MERANÍ

NEW IGS08 REFERENCE FRAME IN PROCESSING GNSS OBSERVATIONS

Miroslava Igondová¹

Abstract

Since GPS week 1632 new IGS08 reference frame is applied in processing GNSS observations. It includes new coordinates and velocities of reference stations and new satellite related information. Simultaneously new parameters of phase center variations were published. Impact of the changes is investigated and discussed. Coordinate time series from GLONASS observations show systematically lower and more scattered values than series from GPS observations. This behavior was not affected by change of reference frame. Systematical shift in time series does not depend on antenna type or availability of individual parameters of antenna phase center variations. Repeatability of GNSS processing slightly increases after applying IGS08 though precision of GNSS processing using Bernese GPS Software 5.0 is still overestimated in comparison to real repeatability mainly in vertical component.

Kľúčové slová

Referenčný rámec, IGS05, IGS08, parametre variácie fázových centier antén, spracovanie GNSS meraní, kombinácia GNSS meraní, referencovanie meraní.

1 ÚVOD

Referenčný rámec používaný pri spracovaní GNSS (Global Navigation Satellite System – Globálny navigačný satelitný systém) meraní v IGS (International GNSS Service – Medzinárodná služba GNSS) (*web IGS*) a EPN (EUREF Permanent Network) (*web EPN*) bol zmenený z IGS05 na IGS08 od GPS týždňa 1632 (17.4.2011, DOY 107) a všetky produkty IGS sa od tohto dátumu vzťahujú k rámcu IGS08. Použitie nového referenčného rámca v celosvetovej sieti IGS bolo simultánne aplikované aj v Európskom zhustení siete IGS (EPN), aby bola zaistená kontinuita a správna vzájomná previazanosť riešení (riešenie EPN prispieva k finálnemu postprocessingovému riešeniu IGS).

Zmena referenčného rámca a s tým súvisiace informácie boli avizované v IGS Mail (*web IGS Mail*) číslo 6354, 6355 a 6356 a taktiež v EPN LAC Mail (*web EPN LAC Mail*) číslo 1370. Konkrétne boli publikované nové súradnice a rýchlosti referenčných staníc - EPNIGS08.CRD a EPNIGS08.VEL, pričom zároveň bol zoznam referenčných staníc aktualizovaný. Celkový počet staníc sa zvýšil, avšak určité stanice boli zo zoznamu aj vylúčené. Súčasne bola

¹ Ing. Miroslava Igondová, PhD., Katedra geodetických základov, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, 02/52498047, miroslava.igondova@stuba.sk.

v uvedených súboroch zmenená epocha, ku ktorej sú súradnice a rýchlosti uvádzané, z epochy 2000.0 na 2005.0. Keďže zmenou referenčného rámca nastáva v časových radoch staníc diskontinuita, boli publikované taktiež nové parametre variácie fázových centier (PCV – Phase Center Variations) väčšiny antén prijímačov a družíc `eprn_08.atx`, ktoré síce priamo nesúvisia so zmenou referenčného rámca, ale taktiež spôsobujú diskontinuitu v časových radoch. Preto bola zmena referenčného rámca ideálnym časom aj na aktualizáciu PCV. Detailný popis zmien v PCV je v IGS Mail číslo 6355. Nové parametre družíc možno nájsť v súbore `SATELLIT.I08` a vplyvom zavedenia nového referenčného rámca bol aktualizovaný aj súbor `DATUM.`, ktorý obsahuje parametre referenčných rámcov.

Prejav zavedenia nového referenčného rámca do spracovania GNSS meraní, teda GPS, GLONASS, resp. ich kombinácie, je predmetom nasledujúcich kapitol. Rovnako je analyzovaný vplyv zmien v PCV.

2 SIEŤ ANALYZOVANÝCH STANÍC

Pre potreby nasledujúcej analýzy bola vytvorená špeciálna sieť spracovávaných staníc, ktorá obsahuje 33 staníc z EPN, 2 stanice z projektu CERGOP (*web CERGOP*) a 2 stanice zo Slovenskej priestorovej observačnej služby – SKPOS (*web SKPOS*). Stanice sú primárne rozmiestnené v strednej Európe (vid' obr. 1) a podmienkou ich zahrnutia bola možnosť príjmu signálov zo systému GPS aj GLONASS v spracovávanom období. Pri spracovaní bola použitá iba 1 referenčná stanica, aby nedochádzalo k deformácii vnútornej presnosti sieťového riešenia vplyvom zavedenia série referenčných staníc.

Spracovanie bolo realizované v Bernese GPS Software verzia 5.0 (ďalej iba BV50) v 4 variantoch:

- samostatné riešenie GPS (ďalej označované ako G),
- samostatné riešenie GLONASS (ďalej označované ako R),
- ich následná kombinácia prostredníctvom nástroja ADDNEQ2 (ďalej označované ako G+R),
- spoločné spracovanie GPS a GLONASS (ďalej označované ako GR).

Keďže spôsob riešenia ambiguit pre systém GPS a GLONASS sa líši, boli použité 2 spôsoby spoločného spracovania. V prvom (označenie G+R) bolo realizované samostatné sieťové riešenie pre oba systémy s použitím príslušných stratégií na výpočet ambiguit (*Beutler et al., 2007*) a výsledné riešenia boli následne skombinované. V druhom prípade (označenie GR) bolo realizované spoločné riešenie observácií z oboch systémov. Softvér BV50 umožňuje ich spoločné spracovanie, avšak nie je možné nastaviť rôznu stratégiu výpočtu ambiguit. Bola preto použitá stratégia pre GPS, čo vedie k nekorektnému spracovaniu observácií z GLONASS. Ako však možno vidieť z nasledujúcich porovnaní, rozdiely medzi spoločným spracovaním (GR) a kombináciou meraní (G+R) sú veľmi malé.

Základný výpočet bol realizovaný v období 6 týždňov 1652 – 1657 (42 denných riešení), DOY 247 – 288, rok 2011. Pre potreby sledovania continuity časových radov v čase zmeny referenčného rámca bol, v mierne modifikovanej konfigurácii, realizovaný výpočet aj v období týždňov 1624 - 1639 (DOY 51 – 162, rok 2011).



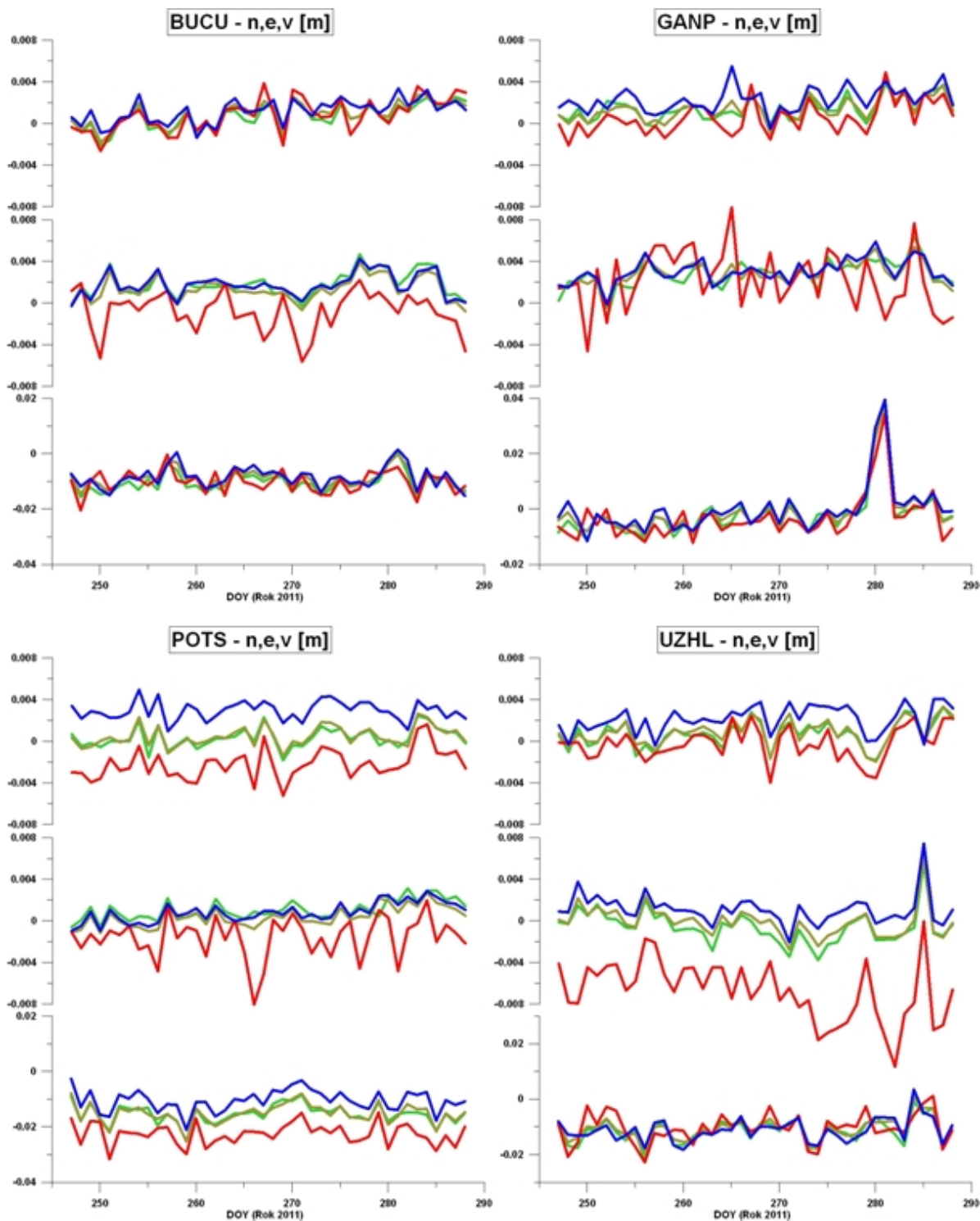
Obr. 1 Sieť analyzovaných staníc. Červenou je označená referenčná stanica WTZR – Wettzell, Nemecko.

3 POROVNANIE JEDNOTLIVÝCH VARIANTOV RIEŠENIA

Časové rady vykreslené pre jednotlivé stanice majú individuálny priebeh, pričom všeobecne možno pozorovať väčší rozptyl samostatných riešení GLONASS (R) oproti riešeniu GPS (G) aj kombinácii riešení a taktiež je pozorovaná systematická odchýlka medzi riešeniami G a R najmä v zložke e, kde riešenie R dosahuje nižšie hodnoty na úrovni niekoľko milimetrov (viď tabuľka 1). Výnimkou je stanica GANP (obr. 2 vpravo hore), kde je priemerná hodnota riešenia G a R v zložke e zhodná na submilimetrovej úrovni. Avšak aj tu platí, že riešenie R má väčší rozptyl.

Tab. 1 Stredná hodnota rozdielu riešení GPS a GLONASS v zložkách n, e, v na vybraných 4 staniciach.

Stanica	Typ antény	E($n_G - n_R$)	E($n_G - n_R$)	
			[mm]	
BUCU	LEIAT504GG	0.4	2.6	1.7
GANP	TRM55971.00	1.7	0.8	3.1
POTS	JAV_RINGANT_G3T	3.2	2.8	11.9
UZHL	NOV702GG	2.4	7.7	-0.9



Obr. 2 Časové rady lokálnych topocentrických súradníc n, e, v počas 6 týždňov, použitý referenčný rámec IGS08. Farebné rozlíšenie: riešenie G – modrá, R – červená, G+R – olivová, GR – svetlá zelená. Typ antény na stanici: BUCU – LEIAT504GG, GANP – TRM55971.00, POTS – JAV_RINGANT_G3T, UZHL – NOV702GG

Ak porovnáme zhodu riešení G a R vzhľadom na typ antény, možno konštatovať, že vo všeobecnosti lepšia zhoda riešení bola dosiahnutá pre rozšírenejšie typy antén, konkrétne LEIAT504GG od firmy Leica (použitá na 7 staniciach v analyzovanej sieti) a TRM55971.00 od firmy Trimble (použitá na 5 staniciach). Riešenia pri použití antény JAV_RINGANT_G3T

(použitá na 1 stanici) dosahujú systematický posun na úrovni niekoľko mm vo všetkých troch zložkách. Najextrémnejší rozdiel riešení v zložke e bol dosiahnutý pri použití antény NOV702GG.

V sieti EPN sú využívané nie len všeobecné kalibrácie pre určitý typ antény, ale aj individuálne kalibrácie, ktoré sú platné pre konkrétnu anténu. Porovnanie časových radov staníc, ktoré majú dostupné parametre z individuálnej kalibrácie (IPCV – Individual Phase Center Variations) a staníc, kde je použitá iba všeobecná kalibrácia (PCV) poukazuje na fakt, že pre niektoré stanice s IPCV sa zhoda riešení zlepšila, avšak nie je to všeobecným pravidlom. Napríklad, pri použití antény TRM55971.00, odchýlka riešení na stanici MOP2, kde je dostupná IPCV, je porovnateľná s odchýlkami na stanici DUBR, kde sú iba PCV (odchýlka v zložke e na úrovni 3 mm a v zložke v 10 mm). Avšak odchýlky na stanici LIE1, kde sú taktiež dostupné IPCV dosahujú iba hodnotu 1.5 mm vo všetkých troch zložkách. Rovnaká rôznorodosť v časových radoch je pozorovaná pri porovnaní riešení s použitím antény LEIAT504GG.

Ak porovnáme časový rad stanice, na ktorej bola použitá anténa s IPCV s riešením tej istej stanice, keď použijeme iba PCV, vo všetkých 4 variantoch riešenia sa to prejaví rovnakým systematickým posunom. Veľkosť posunu je závislá od rozdielu IPCV voči PCV a je teda individuálna.

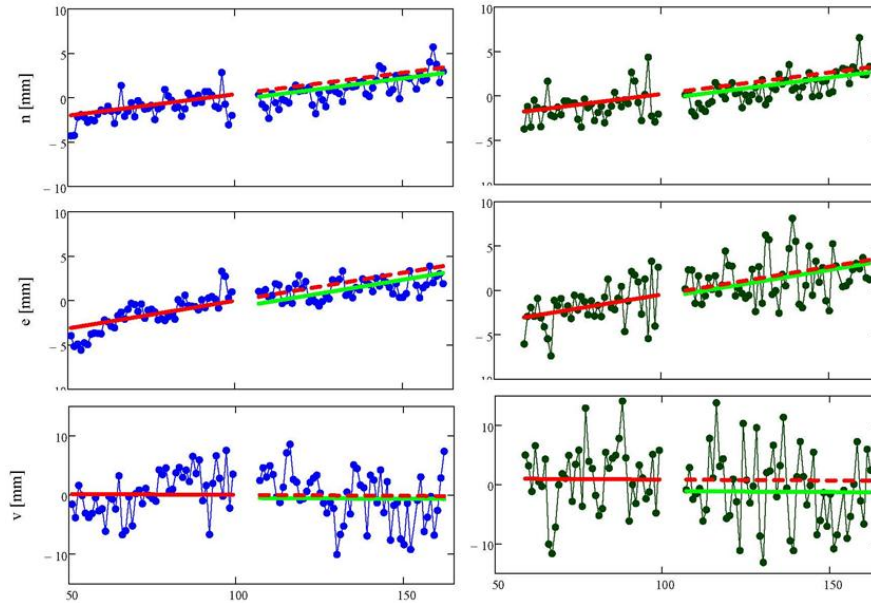
4 NIEKOĽKO POZNÁMOK K ZMENE IGS05 NA IGS08

Po zmene referenčného rámca môže pri spracovaní GNSS meraní nastať situácia, že omylom neuvážime niektorú zo zmien a spracovanie realizujeme s dátami v rôznych referenčných rámcach. Nasledujúci príklad (obrázok 3) poukazuje na efekt, aký má neuváženie zmeny referenčného rámca po týždni 1632. Keďže efemeridy (parametre dráhy) družíc sú od uvedeného týždňa automaticky uvádzané v rámci IGS08, nie je možné ďalej realizovať korektné spracovanie v rámci IGS05. Ak by však predsa spracovanie pokračovalo bez akejkoľvek zmeny v používaných vstupných dátach, získané výsledky nie sú korektné a v časových radoch sa toto prejaví systematickým posunom (viď obrázok 3) vo všetkých 3 zložkách na úrovni niekoľko mm (v polohe do 2mm a vo výške do 3.5mm) v kladnom aj zápornom smere, pre systém GPS aj GLONASS. Zároveň sa prejavuje zväčšený rozptyl výsledných súradníc vo všetkých zložkách, čo však nesúvisí so zmenou referenčného rámca, ako je vidieť z nasledujúceho príkladu.

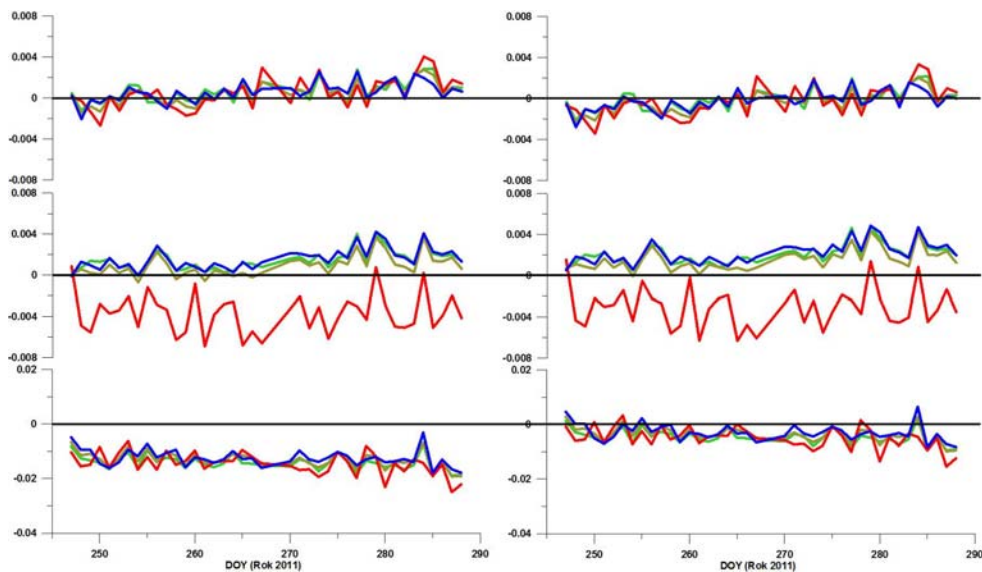
V uvedenom príklade môže zmena v charaktere a priebehu časových radov súvisieť aj s inými efektmi, nie len s neuvážením zmeny referenčného rámca. Preto bol realizovaný ešte jeden experiment, kde bol spracovaný úsek 6 týždňov v období po zmene referenčného rámca. Boli realizované 2 varianty spracovania:

- A – korektné spracovanie v referenčnom rámci IGS08,
- B – spracovanie v referenčnom rámci IGS05, avšak efemeridy v IGS08.

Výsledný charakter a rozptyl časových radov vo variante A aj B je takmer identický (obrázok 4), je však možné pozorovať systematický posun (variant A – B) v zložke n 0.3 až 1.0mm, v zložke e -1.3 až -0.2mm a v zložke v -6 až -10mm.



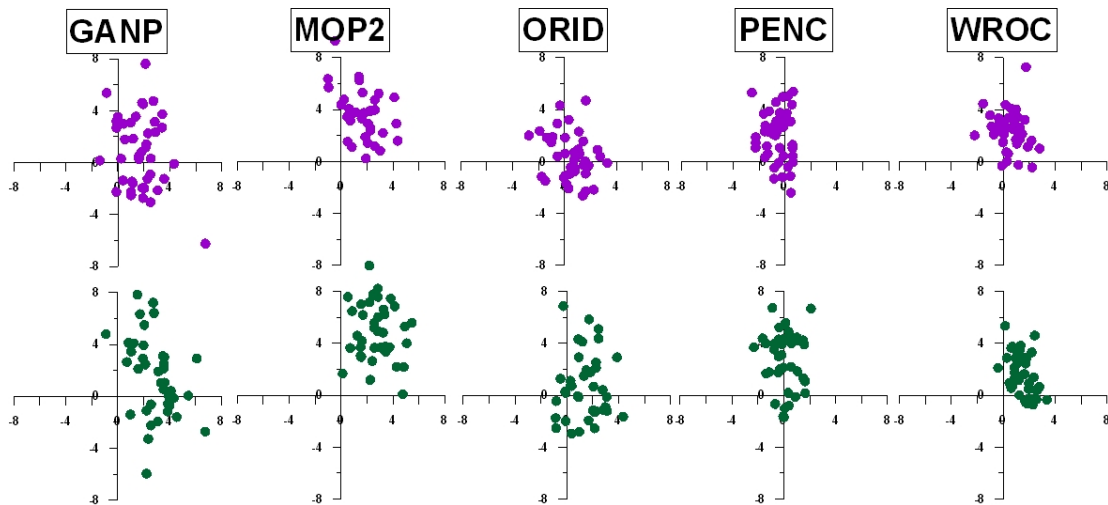
Obr. 3 Časové rady lokálnych topocentrických súradníc n , e , v na stanici DUBR počas 8 týždňov pred zmenou referenčného rámca a 8 týždňov po zmene. Vľavo – iba GPS observácie, vpravo – iba GLONASS. Stredná hodnota v obidvoch častiach časového radu bola určená s uvážením oficiálne publikovaných rýchlostí stanice v jednotlivých zložkách – červená: stredná hodnota údajov pred zmenou referenčného rámca, zelená: stredná hodnota údajov po zmene referenčného rámca.



Obr. 4 Časové rady lokálnych topocentrických súradníc n (hore), e (v strede), v (dole) [m] počas 6 týždňov, variant A – vľavo, variant B – vpravo. Farebné rozlíšenie: riešenie G – modrá, R – červená, G+R – olivová, GR – svetlá zelená.

Výsledky spracovania GPS a GLONASS meraní sú navzájom systematicky posunuté. Keďže bola zmena referenčného rámca spojená zároveň so zmenou parametrov fázových centier antén, bola vykonaná analýza poukazujúca na rozdiel týchto riešení v pôvodnom referenčnom rámci IGS05 (spracované obdobie 6 týždňov v roku 2010) a v novom IGS08 s novými parametrami fázových centier antén (spracované zodpovedajúce obdobie 6 týždňov v roku 2011).

Z obrázku 5 možno vidieť, že rozdiel medzi riešeniami v horizontálnej rovine sa líši na jednotlivých stanicích a všeobecne dosahuje prevažne kladné hodnoty, hlavne v zložke n. Zmenou referenčného rámca a parametrov PCV sa charakter rozdielu spracovania zo systému GPS a GLONASS nezmenil a naďalej vykazuje systematický rozdiel v oboch zložkách.



Obr. 5 Rozdiel riešení GPS a GLONASS na vybraných stanicích v horizontálnej rovine – os x: Δn ($n_G - n_R$), os y: Δe ($e_G - e_R$) [mm]. Fialová – referenčný rámec IGS05 a pôvodné parametre PCV, zelená – referenčný rámec IGS08 a nové parametre PCV.

Tab. 2 Priemerná vnútorná presnosť riešení verzus reálna štandardná odchýlka (opakovateľnosť riešení) pre kombináciu GPS a GLONASS na vybraných stanicích v IGS05 (horný riadok) a IGS08 (spodný riadok) s uvažovaním pôvodných (IGS05), resp. nových (IGS08) PCV.

IGS05 IGS08	Vnútorná presnosť [mm]			Štandardná odchýlka [mm]		
	n	e	v	n	e	v
BUCU	0.94	0.60	0.94	0.92	0.87	5.19
	0.96	0.61	0.96	0.99	1.24	3.38
GOPE	0.90	0.44	0.91	0.54	0.74	3.73
	0.92	0.46	0.94	0.82	0.89	2.85
JOZ2	0.86	0.48	0.89	0.89	0.76	4.24
	0.89	0.49	0.91	0.89	1.07	3.57
LAMA	0.88	0.49	0.93	0.83	0.89	3.75
	0.90	0.50	0.95	1.00	1.23	2.95
MOP2	1.00	0.51	1.02	1.23	0.97	6.84
	1.05	0.54	1.07	0.95	1.30	5.40
PENC	0.91	0.51	0.92	0.73	0.76	4.36
	0.94	0.54	0.95	0.79	0.94	2.86
WROC	0.84	0.44	0.86	0.81	0.59	3.85
	0.87	0.46	0.89	0.76	0.69	3.33

Porovnanie vnútornej presnosti riešení spracovania GNSS meraní v Bernskom softvéri s reálnou štandardnou odchýlkou riešení v minulosti viedlo k záveru, že vnútorná presnosť výpočtu najmä výškovej zložky je nadhodnotená a skutočná opakovateľnosť meraní je často

niekoľko násobne horšia. Preto bolo vykonané porovnanie vnútornej presnosti a štandardnej odchýlky aj po prechode na nový referenčný rámec a zavedení nových PCV. Pri výpočte štandardnej odchýlky boli jednotlivé súradnice zredukované o rýchlosť staníc v príslušných zložkách. Uvedený efekt nadhodnotenia vnútornej presnosti pre výškovú zložku je vo výsledkoch stále viditeľný (tabuľka 2), i keď sa reálna opakovateľnosť mierne zlepšila.

5 ZÁVER

Od GPS týždňa 1632 je pri spracovaní GNSS meraní potrebné pracovať v novom referenčnom systéme IGS08 a využívať nové parametre fázových centier antén prijímačov aj družíc, aby bola zabezpečená správnosť riešení. Neuváženie týchto zmien vedie k systematickým posunom v časových radoch. Riešenia s využitím systému GPS a GLONASS vykazujú systematický posun, najmä v zložke e a zároveň majú riešenia zo systému GLONASS všeobecne väčší rozptyl voči riešeniu GPS i voči kombinácii meraní. Priemerný rozdiel medzi riešeniami GPS a GLONASS je vo všetkých zložkách kladný a prechodom z referenčného rámca IGS05 na IGS08 sa tento systematický efekt nezmenil. Závislosť medzi veľkosťou systematického posunu a použitou anténou, resp. dostupnosťou individuálnej kalibrácie, nebola pozorovaná.

Na záver je potrebné pripomenúť, že analýza bola založená na sieťovom spracovaní, kde bola použitá iba jedna referenčná stanica kvôli zachovaniu vnútornej presnosti riešenia. Referencovanie na vhodnú množinu staníc môže minimalizovať rozdiely medzi jednotlivými riešeniami.

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka Programu na podporu mladých výskumníkov na Slovenskej technickej univerzite v Bratislave.

Autorka ďakuje Agentúre Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR pre štrukturálne fondy EÚ a Slovenskej technickej univerzite v Bratislave za finančnú podporu Projektu ITMS 26220220108.

LITERATÚRA

Beutler G. et al., 2007: *Bernese GPS Software, Version 5.0*. User manual, Bern. 640 s.

web CERGOP: webová stránka CEGRN Konzorcium, projektu CERGOP a CERGOP2/Environment, <http://www.fomi.hu/CEGRN/index7.htm>

web EPN: webová stránka EPN, <http://epncb.oma.be/>

web EPN LAC Mail: webová stránka archívu EPN LAC Mailov, http://epncb.oma.be/_newsmails/LACmail/

web IGS: webová stránka IGS, <http://igsb.jpl.nasa.gov/>

web IGS Mail: webová stránka archívu IGS Mailov, <http://igsb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/>

web SKPOS: webová stránka GKU, informácie o SKPOS, <http://www.gku.sk/predmet-cinnosti/geodeticke-zaklady/gnss-uvod>