

# VPLYV VÝPOČTOVEJ STRATÉGIE NA VÝSLEDKY SPRACOVANIA GNSS MERANÍ

## THE INFLUENCE OF PROCESSING STRATEGY ON GNSS NETWORK ADJUSTMENT

Juraj Bezručka<sup>1</sup>

### Abstract

Bernese GPS Software is the software used for precise processing of GPS/GNSS data. It offers several processing strategies for creating baselines when processing GNSS network. In this paper these approaches are tested and compared. Besides strategies the influence of using one and multiple reference stations was examined in the OBS-MAX strategy. Minimal differences were found when comparing OBS-MAX and SHORTEST strategies' behaviour. The STAR strategy showed little worse but still comparable results. One of the most important results was for MANUAL strategy which is used for routine processing of EUREF permanent network. The results of this strategy were the worst in this experiment. However, the goal of the processing has to be taken into account when making a decision which strategy should be used.

### Kľúčové slová

*GNSS sieť, tvorba základníc, Bernese, permanentná stanica, GNSS monitoring*

## 1 ÚVOD

Na katedre geodetických základov na Stavebnej fakulte STU v Bratislave bolo zriadené vďaka operačnému programu Veda a výskum Národné centrum diagnostikovania deformácií zemského povrchu. Toto centrum pripravuje sieť permanentných staníc a metodiku spracovania nameraných údajov na spoľahlivé určenie stability regiónu, či odhalenie prípadných polohových zmien v záujmovom území v čo možno najkratšom čase. Sieť staníc na území Slovenska (obr. 1) bude previazaná s permanentnými sieťami okolitých krajín strednej Európy a širšieho okolia. Je preto dôležité zvoliť vhodnú metódu spracovania.

Na pravidelné automatizované vyrovnávanie siete permanentných staníc GNSS bol zvolený softvér Bernese GNSS Software (*Dach et al., 2007*, ďalej len Bernese), ktorý sa v Lokálnom analyzačnom centre na STU (LAC SUT) na Katedre geodetických základov používa už viac ako 10 rokov na spracovanie meraní v rámci kontinentálnej siete EPN (*epncb.oma.be*) a v projekte CERGOP zameriavajúcom sa na Strednú Európu. Softvér umožňuje pokročilé nastavenia pri spracovaní GNSS signálov a na odhad parametrov siete ho využíva väčšina analyzačných centier EPN.

---

<sup>1</sup> Ing. Juraj Bezručka, PhD., Katedra geodetických základov, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, juraj.bezruccka@stuba.sk.

Výsledky vyrovnania siete permanentných staníc GNSS ovplyvňuje množstvo faktorov v priebehu výpočtu, ako aj rôzne stratégie samotného výpočtu. Výslednú presnosť odhadnutých súradníc ovplyvňuje napríklad model troposféry (Igondová, 2006), resp. presnosť určenia parametrov ovplyvňujúcich šírenie signálu z družíc v nízkych vrstvách atmosféry. Existujú viaceré metódy na modelovanie vplyvu troposferickej refrakcie na signály z družíc GNSS a teda viaceré možné výsledky. Pri našom testovaní bol použitý model Niell (Niell, 1996).

Presnosť odhadnutých súradníc ovplyvňuje aj presnosť efemeríd (parametrov dráh družíc). V súčasnosti sú však už dráhy družíc pomerne presne určené aj v reálnom čase, resp. predikované na niekoľko hodín vopred (Douša, 2006), pri výpočtoch teda používame najpresnejšie efemeridy, ktoré sú k dispozícii v danom čase. Ďalšími faktormi vplyvujúcimi na výsledok vyrovnania siete GNSS sú elevačné masky jednotlivých staníc, práca s ambiguitami a podobne.

V neposlednom rade ovplyvňuje výslednú presnosť aj konfigurácia základníc, t.j. súbor dvojíc staníc, pre ktoré sa počítajú jednoduché diferencie. Existuje niekoľko algoritmov, ako aj možnosť manuálnej voľby jednotlivých základníc. Výsledný odhad tiež ovplyvňuje počet referenčných staníc, ako aj spôsob fixácie ich súradníc.



**Obr. 1** Navrhovaná sieť permanentných staníc

Vzhľadom na rozsah tohto príspevku ako aj komplexnosť témy sa tento článok zameriava iba na jeden z aspektov spracovania GNSS meraní a to na porovnanie rôznych stratégií tvorby základníc pri vyrovnaní siete permanentných staníc GNSS. Porovnávané boli 3 rôzne metódy používané softvérom Bernese a manuálna (empirická) voľba základníc. Jedna výpočtová stratégia bol prepočítaná dvakrát s použitím rozdielnych parametrov (rôzny počet referenčných staníc).

## 2 KONFIGURÁCIA SIETE

V softvéri Bernese počíta program SNGDIF jednoduché diferencie na základe zvolenej stratégie tvorby základníc a zapisuje ich do súborov. Týmto definuje konfiguráciu siete. Program môže vytvárať diferencie kódové aj fázové, hoci najčastejšie sa využívajú iba fázové. Dôležitou výnimkou z tohto pravidla je lineárna kombinácia Melbourne-Wübenna, kedy musia byť vytvorené aj kódové jednoduché diferencie (Dach et al., 2007).

### 2.1 Stratégia OBS-MAX

Stratégiu OBS-MAX možno označiť ako štandard pre väčšinu aplikácií (Dach et al., 2007). Pri tejto metóde sa vytvárajú základnice s ohľadom na množstvo observácií pre dvojice staníc. Zo všetkých možných kombinácií sa vyberú základnice s maximálnym počtom spoločných observácií.

### 2.2 Stratégia SHORTEST

Ďalšia možnosť tvorby základníc sa nazýva SHORTEST – „najkratšie“. Pri tejto metóde výberu základníc je kritériom ich dĺžka. Táto stratégia môže byť užitočná, ak potrebujeme opakovane vytvoriť rovnaký súbor základníc. Dĺžka základníc je tiež dôležitým faktorom pri určovaní ambiguit. Program však nevytvára príliš dlhé základnice ani pri použití metódy OBS-MAX, pretože pri kratších základniciach je predpoklad väčšieho počtu spoločných observácií ako pri dlhších základniciach. Na obr. 2 je znázornená konfigurácia siete pri použití stratégie SHORTEST.



Obr. 2 Konfigurácia siete s použitím stratégie SHORTEST.

### 2.3 Stratégia STAR

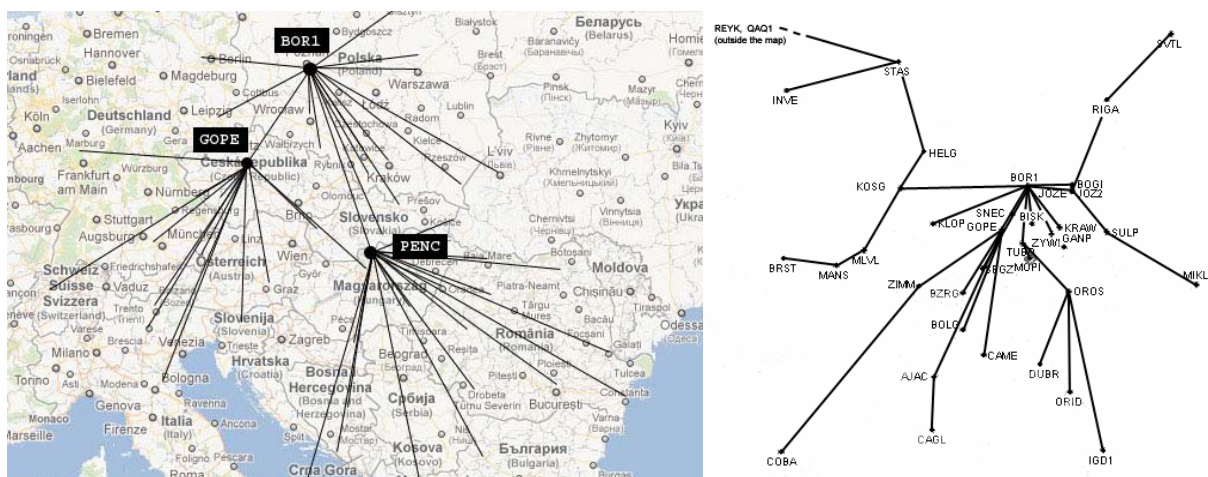
Stratégia STAR – „hviezda“ vytvára základnice spájaním jednej referenčnej stanice so všetkými ostatnými. Táto centrálna stanica môže byť zvolená užívateľom, alebo ju vyberie program automaticky tak, aby bola minimalizovaná suma dĺžok všetkých základníc.

Pri experimentovaní sa ukázalo, že pre daný súbor permanentných staníc program automaticky určí ako referenčnú stanicu MOPI, ktorá patrí k menej stabilným. Výpočet bol teda zopakovaný s referenčnou stanicou BOR1, ktorá je síce mierne excentrická voči zvyšku súboru, no umožňuje lepšie porovnanie s ostatnými stratégiami.

## 2.4 Manuálny výber základníc

Softvér Bernese umožňuje užívateľom zdefinovať časť siete (pri stratégiách OBS-MAX a SHORTEST), alebo dokonca celú sieť manuálne. LAC SUT využíva práve túto metódu a základnice vytvára podľa presne definovaných kritérií (Bezručka, 2006).

Obr. 3 zobrazuje dve možnosti z používaných konfigurácií základníc v permanentných sieťach. Sieť CERGOP vďaka menšiemu rozsahu využíva tri centrálné stanice, ku ktorým sa pripájajú ostatné stanice, podobne ako pri stratégii STAR. Sieť EPN, naopak, kvôli veľkým vzdialenostiam využíva sieť vlákien, ktoré sú prepájané pomocou staníc, ktoré sa dlhodobo javia ako spoľahlivé.



**Obr. 3** Štruktúra siete s empiricky volenými základnicami – sieť CERGOP (vľavo) a časť siete EPN (vpravo)

## 3 POROVNANIE VÝSLEDKOV ODLIŠNÝCH STRATÉGIÍ TVORBY ZÁKLADNÍC

Na testovanie vplyvu použitia rozličných stratégií určovania základníc pri spracovaní siete permanentných staníc GNSS bolo vybraných 55 staníc zo stredoeurópskeho regiónu. Výpočet bol vykonaný na meraniach za 1. polrok 2011, t.j. 181 dní. Výsledným produktom vyrovnania siete rôznymi metódami boli súbory geocentrických súradníc, ktoré boli transformované do lokálneho topocentrického systému každej stanice.

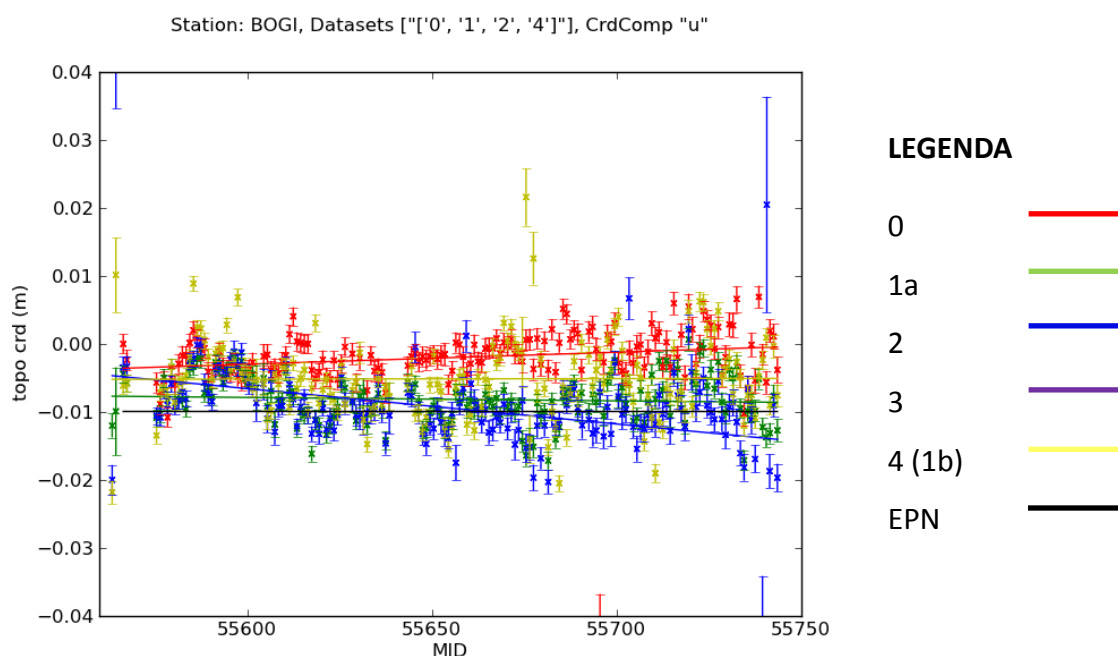
Testovaných bolo 5 stratégií určovania základníc v permanentnej sieti:

- Riešenie 0 (štandardné): manuálne zvolené základnice, východiskom bolo spracovanie v projekte CERGOP (Obr. 3 vľavo), tvorbu základníc zabezpečoval program checkfiles (Bezručka, 2006), ako referenčná stanica bola použitá stanica BOR1.
- Riešenie 1: Stratégia OBS-MAX, 3 referenčné stanice odporúčané službou IGS ([http://igsceb.jpl.nasa.gov/images/maps/all\\_eur.png](http://igsceb.jpl.nasa.gov/images/maps/all_eur.png)).

- Riešenie 2: Stratégia STAR, 3 referenčné stanice odporúčané IGS.
- Riešenie 3: Stratégia SHORTEST, 3 referenčné stanice odporúčané IGS.
- Riešenie 4 (1b): Stratégia OBS-MAX, referenčná stanica BOR1 (pre vzájomné porovnanie s riešením č. 0 a č. 1)

Pre každú stanicu bol určený súbor odhadnutých lokálnych súradníc, ktorým bola preložená regresná priamka (Obr. 4). Parametre tejto aproximačnej línie sa vyhodnocovali pre každú stanicu a súradnicovú zložku zvlášť. Nakoľko rozptyly súradnicových odhadov boli pomerne heterogénne, do porovnania vstúpil aj ďalší parameter – suma štvorcov opráv odhadov voči regresnej priamke. Jeho obrátená hodnota bola označená ako váhový koeficient a vyjadrovala váhu danej veličiny. Pre každú súradnicovú zložku bolo teda možné určiť okrem strednej odchýlky aj váhový koeficient, ktorý sa stal tiež jedným z hodnotiacich kritérií.

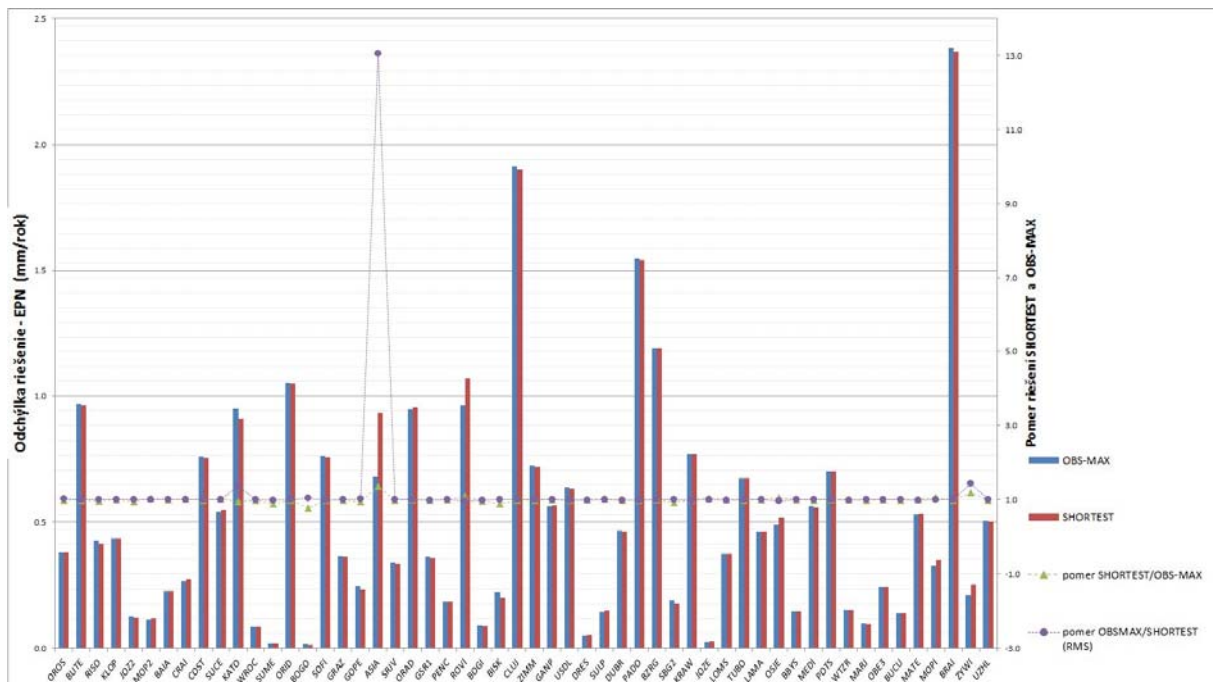
Podľa očakávaní najväčšie rozdiely medzi jednotlivými riešeniami, ako aj najväčšie rozptyly v rámci jedného riešenia sa vyskytovali pri vertikálnej súradnicovej zložke  $u$ . (Obr. 4)



**Obr. 4** Odhady z rôznych stratégií určovania základníc. Súradnicová zložka  $u$ .

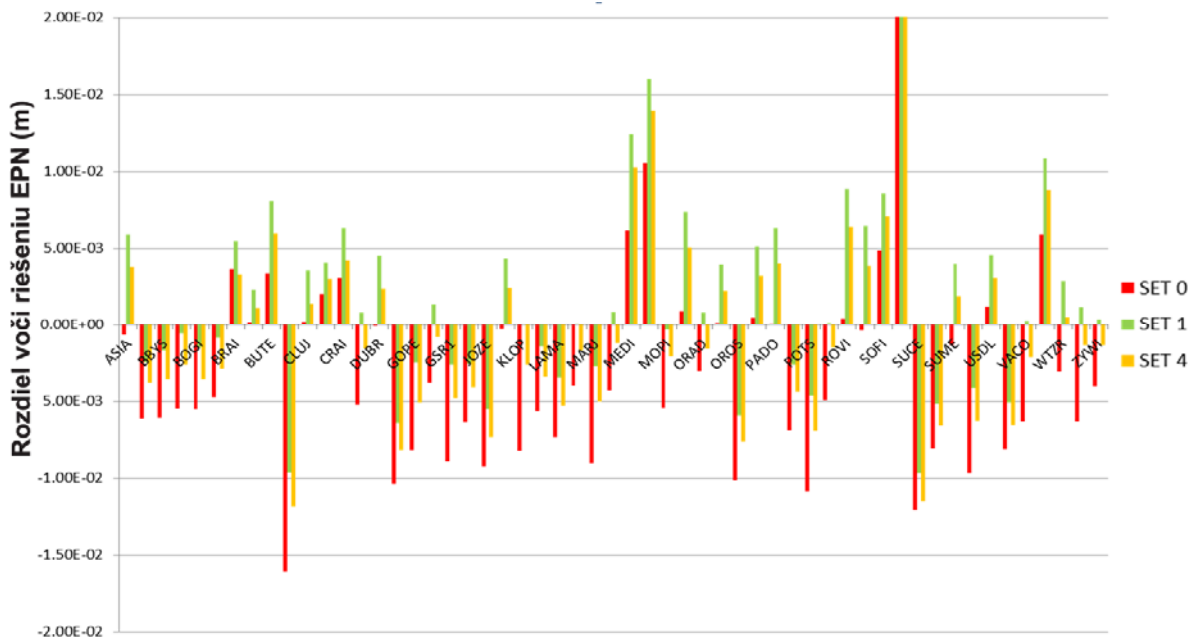
Na vyhodnotenie presnosti sa používali parametre regresnej priamky – absolútny člen a trend voči pohybu určeného zo siete EPN (epncb.oma.be) dlhodobými meraniami vyhodnocovanými viacerými analyzačnými centrami.

Prvým poznatkom, ktorý vyplýva z porovnania riešení je takmer dokonalá zhoda medzi riešeniami s použitím stratégie SHORTEST a OBS-MAX (obr. 5). Okrem odchýlok voči EPN boli graficky znázornené aj vzájomné pomery odchýlok ako aj ich stredných chýb, pričom až na ojedinelé výnimky všetky hodnoty boli približne rovné 1. Nakoľko OBS-MAX je označovaná ako štandard (napr. *Dach, 2007*), ďalej už Riešenie 3 nebolo skúmané.



**Obr. 5** Porovnanie riešení OBS-MAX a SHORTEST a ich charakteristík presnosti.

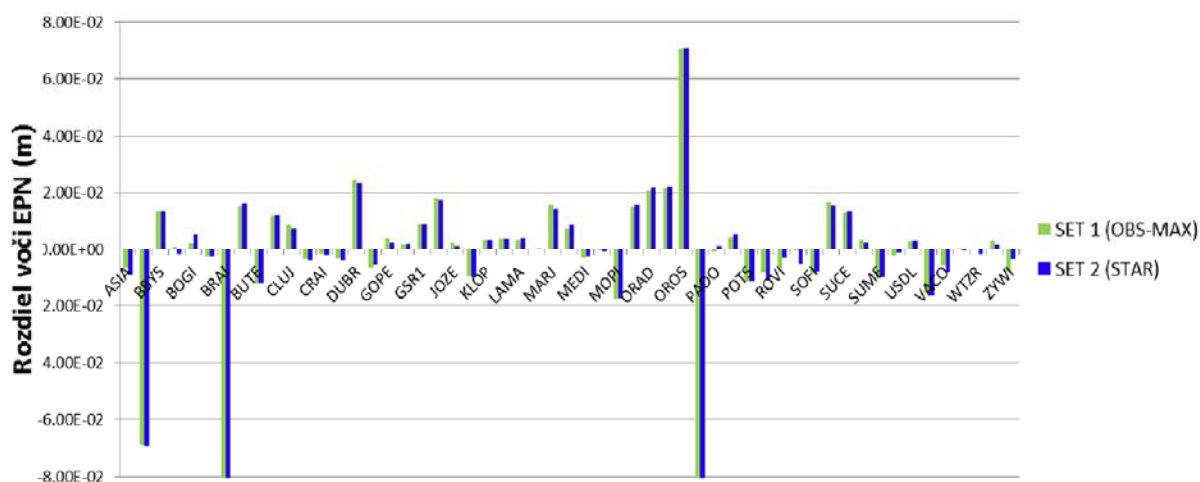
Ďalej teda boli analyzované metódy OBS-MAX (s jednou aj viacerými referenčnými stanicami), metóda STAR a empirická voľba základníc.



**Obr. 6** Porovnanie riešení OBS-MAX s jednou (SET 4) a viacerými referenčnými stanicami (SET 1) a MANUAL (SET 0). súr. zložka n, absolútny člen.

Výsledky testovania naznačujú, že metóda OBS-MAX dosahuje lepšiu zhodu s modelom EPN ako pri použití empirickej konfigurácie a to v prípade jednej aj viacerých referenčných staníc (Obr. 6). Naopak, porovnanie stratégií OBS-MAX a SHORTEST ukazuje podobné výsledky, najmä čo sa týka absolútnej zložky (Obr. 7). Odchýlky v trende môžu byť

vysvetlené krátkym testovaným úsekom – pol roka, kedy sa môžu v maximálnej miere prejaviť cyklické sezónne výkyvy niektorých permanentných staníc.



**Obr. 7** Porovnanie riešení OBS-MAX a STAR. Vertikálna zložka, absolútny člen.

Komplexné zhrnutie výsledkov dosiahnutých testovaním odlišných prístupov pri tvorbe základníc je v tabuľke 1.

**Tab. 1** Porovnanie stratégií tvorby základníc

Súr. zložka	Stratégia	Odklon od EPN [mm/rok] (váž. priemer)	$\sigma$	Rozdiel voči EPN [mm] (váž. priemer)	$\sigma$	Váhový koeficient [ $10^5$ ]
<i>n</i>	MANUAL	5.77	6.63	15.9	20.4	1.18
	OBS-MAX	5.06	4.59	-3.59	20.4	2.51
	STAR	6.79	5.35	-1.22	20.5	1.25
	SHORTEST	5.03	4.61	-3.55	20.4	2.42
	OBS-MAX B	4.94	5.01	7.18	20.9	0.81
<i>e</i>	MANUAL	3.97	2.63	3.53	18.1	1.29
	OBS-MAX	3.52	2.73	3.56	18.0	4.37
	STAR	3.92	3.78	2.60	18.1	1.56
	SHORTEST	3.53	2.89	3.49	18.0	4.20
	OBS-MAX B	4.08	2.50	4.97	17.9	5.84
<i>u</i>	MANUAL	12.7	12.0	-2.30	40.0	0.11
	OBS-MAX	7.36	7.76	-7.62	39.8	0.26
	STAR	12.1	14.8	-6.39	39.5	0.12
	SHORTEST	7.21	7.44	-8.56	39.8	0.26
	OBS-MAX B	5.82	7.68	-1.85	41.5	0.08

## 4 ZÁVER

Stratégia tvorby základníc OBS-MAX spolu s referencovaním na väčší počet staníc sa na základe výsledkov uvedených v Tab.1 javí ako najvhodnejšia, no presnosťou prevyšuje metódy STAR alebo SHORTEST len veľmi málo, vo väčšine prípadov takmer zanedbateľne. Zároveň platí, že použitie jedinej referenčnej stanice má väčšiu tendenciu k systematickým odchýlkam ako v prípade použitia väčšieho počtu referenčných staníc.

Pri vyslovovaní akýchkoľvek záverov je potrebné zvážiť aj cieľ vyrovnania siete. Pokiaľ sa totiž sieť referencuje na viacero staníc, z povahy takéhoto spracovania je zrejmé, že dôjde k určitým deformáciám dotknutých základníc či dokonca celej siete. V prípade projektu diagnostiky deformácií zemského povrchu je dôležité predísť deformáciám pri spracovaní, pretože hrozí riziko, že deformácia spôsobená vnútením súradníc referenčnej stanici môže byť chybné považovaná za fyzický posun permanentnej stanice, či časti siete, čo môže viesť k nesprávnym záverom, prípadne falošným výstrahám.

## Podakovanie

Autor 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

- Bezručka J., 2006: *Automated data processing in GPS networks*. Sborník 8. odborné konferencie doktorského studia Juniorstav 2006. Díl 8. Brno. s. 165-170.
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M., 2007: *Bernese GPS Software. Version 5.0*. Bern.
- Douša J., 2006: *GPS Orbit Determination for Meteorology Applications*. In: 50 years of the Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography. Zdiby.
- Igondová M., 2006: *Využitie permanentných sietí GPS na modelovanie troposféry a ionosféry*. STU, Bratislava.
- Niell A.E., 1996: Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelengths, *Journal of Geophysical Research*, 101 (B2), pp. 3227-3246.