

Vedecká rada Stavebnej fakulty STU v Bratislave

**Ing. Branislav Droščák**

Autoreferát dizertačnej práce

**HOMOGENIZÁCIA VÝSLEDKOV DLHODOBÉHO  
MONITOROVANIA POLOHY POMOCOU GNSS A ICH  
GEODYNAMICKÁ INTERPRETÁCIA**

na získanie

vedecko-akademickej hodnosti philosophiae doctor

v odbore doktorandského štúdia:

39-31-9 Geodézia a geodetická kartografia

Bratislava 2010

Dizertačná práca bola vypracovaná v externej forme doktorandského štúdia na Katedre geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

**Predkladateľ:** Ing. Branislav Droščák  
Geodetický a kartografický ústav Bratislava  
Chlumeckého 4  
827 45 Bratislava

**Školiteľ:** prof. Ing. Ján Hefty, PhD.  
Katedra geodetických základov  
SvF STU v Bratislave  
Radlinského 11  
813 68 Bratislava

**Oponenti:** Prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.  
Ústav geodézie, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně  
Veveří 95  
602 00 Brno

Ing. Jakub Kostecký, Ph.D.  
Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Geodetická observatoř Pecný  
251 65 Ondřejov 244

Ing. Martin Kalafut, PhD.  
AGIS Slovakia, spol. s r.o.  
Prievozská 14/A  
821 09 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný: .....

Obhajoba dizertačnej práce sa koná ..... o ..... h pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce v odbore doktorandského štúdia, vymenovanou predsedom spoločnej odborovej komisie .....

39-31-9 Geodézia a geodetická kartografia

na Katedre geodetických základov SvF STU v Bratislave, Radlinského 11.

Predseda spoločnej odborovej komisie:  
Prof. Ing. Alojz Kopáček, PhD.  
Katedra geodézie, SvF STU v Bratislave  
Radlinského 11  
813 68 Bratislava

## OBSAH

Úvod.....	2
<b>1 Ciele dizertačnej práce.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Súčasný stav spracovania observácií z permanentných staníc a ich využitie na Geodynamické interpretácie.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Všeobecná stratégia spracovania obsevácií, spracovateľský softvér.....</b>	<b>4</b>
3.1 Referencovanie výsledkov.....	5
3.2 Viazané riešenie s minimálnou podmienkou (Minimum Constraint).....	6
<b>4 Definovanie územia staníc a časového intervalu spracovania.....</b>	<b>7</b>
<b>5 Homogénne spracovanie observácií z permanentných staníc siete CEPER.....</b>	<b>8</b>
<b>6 Využitie spracovaných observácií na charakterizovanie správania sa staníc.....</b>	<b>10</b>
6.1 Zostavenie časových radov súradníc staníc siete CEPER a ich analýza.....	11
<b>7 Interpretácie výsledkov získaných z analýzy časových radov.....</b>	<b>13</b>
7.1 Klasifikácia staníc siete CEPER podľa stability.....	13
7.2 Interpretovanie periodických pohybov staníc siete CEPER.....	14
7.3 Interpretácie odhadnutých vnútroplatňových rýchlostí.....	16
<b>8 Perspektívy spresnenia geodynamických interpretácií.....</b>	<b>17</b>
<b>9 Prínos pre vedu a prax.....</b>	<b>19</b>
<b>Záver.....</b>	<b>20</b>
<b>Zoznam použitej literatúry.....</b>	<b>21</b>
<b>Zoznam publikovaných prác.....</b>	<b>22</b>
<b>Summary.....</b>	<b>24</b>

## ÚVOD

Je neodškriepiteľným faktom, že veľmi presné určovanie polohy pomocou globálnych navigačných družicových systémov (ďalej GNSS), alebo charakterizovanie správania sa objektov a javov na základe takto presne určovanej polohy, je dnes už bežnou súčasťou života geodetov. Taktiež platí, že za najspoľahlivejšie a najhodnovernejšie použitie GNSS pri presnom určovaní polohy sa považuje interpretovanie výsledkov z dlhodobého, nepretržitého a kontinuálneho zberu údajov sústavou prijímač a anténa, pričom takto vybavené miesta označujeme ako permanentné stanice. Jednou z oblastí, kde si táto vlastnosť GNSS našla svoje plnohodnotné uplatnenie, a kde sa v plnej miere aj využíva, predstavuje geodynamika, vedný obor zaoberajúci sa z geodetického hľadiska hlavne monitorovaním dynamiky zemského povrchu práve pomocou permanentných staníc.

Keďže vývoj v oblasti družicových observácií súvisí najmä s vývojom samotných prijímačov a antén, je možné namerané observácie považovať z dlhodobého hľadiska za kvalitatívne homogénne a do značnej miery neovplyvňujúce výslednú kvalitu určovania polôh. Potom je zřejmé, že na presné určovanie polohy bodov, či na interpretáciu výsledkov na základe ich zmien vplyva najmä zvolený spôsob a metodika ich spracovania, ale aj kvalita použitých presných dráh družíc či parametrov orientácie Zeme. Taktiež je nesmierne dôležitá aj otázka kontinuálnosti a dĺžky observácií na staniach, nakoľko spoľahlivé závery a interpretácie je možné získať len na základe výsledkov spracovania súvislého a dostatočne dlhého časového obdobia. Samotná metodika spracovania je ale ovplyvnená nastavením jednotlivých krokov v zmysle uplatnenia odporúčaných spracovateľských postupov, ktoré podliehajú neustálemu vývoju, čím dochádza k ich zmenám a tým aj k zmenám samotných výsledkov. Preto možno tvrdiť, že z dlhodobého hľadiska je nemožné určovať skutočne presné polohy bodov, charakterizovať ich reálne správanie sa na základe zmien ich polôh, alebo interpretovať tieto zmeny v zmysle geodynamiky ako posuny či pohyby zemského povrchu bez vykonania homogénneho prepočtu všetkých pôvodných observácií. Bez prepočtu by to bolo možné iba v prípade, že by sa z jednotlivých už spracovaných výsledkov dôsledne eliminovali všetky vplyvy faktorov, ktoré podľahli zmenám spôsobených ich vývojom.

Predložená dizertačná práca je tak zameraná na popísanie najdôležitejších krokov presného spracovania družicových observácií po teoretickej stránke, zaoberá sa výberom vhodnej lokality so sieťou permanentných staníc s čo najdlhšou observačnou históriou, na ktorých je prakticky ukázaný princíp homogénneho spracovania v zmysle prepočtu pôvodných observácií na základe jednotnej metodiky využívajúcej najnovšie poznatky a vedomosti (uplatnenie modelu absolútnych fázových centier antén a pod.) za pomoci konzistentných produktov, akými sú parametre orientácie Zeme a presné dráhy družíc z vykonaného prepočtu globálnej siete staníc IGS nemeckou skupinou odborníkov a pokračuje analýzou časových radov súradníc zostavených z korektné referencovaných a kombinovaných riešení jednotlivých spracovaných týždňov, ktorých kvalitatívny potenciál je využitý na interpretovanie rôznych, ale najmä geodynamických vlastností sledovaného regiónu.

## 1 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Cieľom dizertačnej práce je na základe homogénneho spracovania družicových observácií zvolenej siete permanentných staníc z čo najdlhšieho obdobia získať skutočne reálne charakteristiky popisujúce správanie sa staníc reprezentujúcich dané lokality, ktoré treba následne na základe vytvorených matematických modelov použiť na vyslovenie geodynamických charakteristík sledovaného regiónu. Sieť staníc a tým aj oblasť výpočtu je potrebné zvoliť tak, aby bolo možné vykonané homogénne spracovanie a z neho odhadnutú geodynamiku územia porovnať s inými, doposiaľ známymi teóriami. Prácu tak bolo možné rozdeliť na tri časti skladajúce sa z viacerých úloh (čiastkových cieľov).

### A) Teoretická časť:

- a. popísať myšlienku homogénneho spracovania permanentných observácií a parametrov, od ktorých sa očakáva najväčší prínos,
- b. popísať všeobecnú stratégiu spracovania observácií z permanentných staníc,
- c. popísať možnosti presného referencovania výsledných súradníc do jednotného terestrického systému.

### B) Praktická časť:

- a. vybrať územie, stanice a definovať časové mantinely spracovania,
- b. homogénne spracovať zvolenú sieť permanentných staníc v zmysle uplatnenia najnovších poznatkov,
- c. analyzovať výsledky homogénne spracovanej siete staníc s cieľom získať kvantitatívne a kvalitatívne charakteristiky popisujúce správanie sa staníc,
- d. overiť a posúdiť kvalitu výsledkov získaných z analýzy.

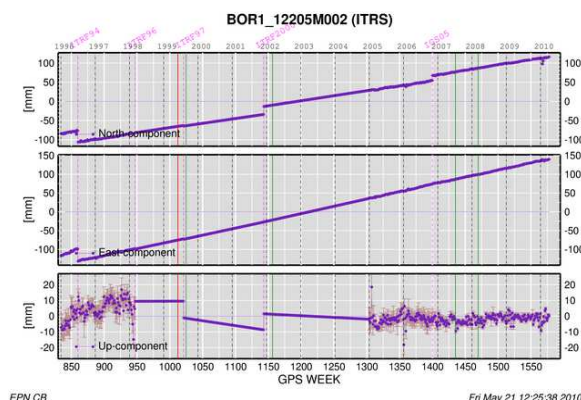
C) Časť interpretácií a hodnotení:

- a. interpretovať výsledky získané analýzou z rôznych uhlov pohľadu, ale najmä z pohľadu geodynamiky,
- b. zhodnotiť jednotlivé interpretácie s vyslovením záverov,
- c. definovať prípadné návrhy na spresnenie.

## 2 SÚČASNÝ STAV SPRACOVANIA OBSERVÁCIÍ Z PERMANENTNÝCH STANÍC A ICH VYUŽITIE NA GEODYNAMICKÉ INTERPRETÁCIE

Presné spracovanie družicových observácií z permanentných staníc na účely geodynamických interpretácií nie je v dnešnej dobe ešte štandardizované ani unifikované. Bráni tomu viacero faktorov, ako je prístup k dátam, nejednotnosť v metodike spracovania observácií, či nejednotnosť v modelovaní spracovaných výsledkov, alebo ich interpretácii. Taktiež je ešte stále zaužívané využívať na geodynamické interpretácie aj výsledky získané opakovanými meraniami formou kampaní. Rozvojom sietí permanentných staníc sa ale odhalili nevýhody takýchto kampaňových meraní (málo záznamov počas roka, problém striedania aparátúr, nemožnosť odhalenia skokov, atď.), preto sa logicky prešlo na monitorovanie geodynamických charakteristík iba pomocou permanentných staníc.

Charakteristiky permanentných staníc, ktoré sa používajú na vyslovenie geodynamických interpretácií, sú dodnes určované na základe analýz časových radov súradníc získaných z doposiaľ spracovaných observácií, ktoré sú najčastejšie uložené vo forme výsledných riešení spracovaných sietí, uložených vo formáte SINEX. Takéto verejnosti dostupné riešenia sa nachádzajú napr. na ftp serveroch medzinárodných služieb a organizácii spravujúcich tieto siete (napr. v prípade siete EPN na (EPN ftp, 2010)) a sú typické rovnakým základným nastavením spracovania, definovaným príslušnými štandardami resp. smernicami, ale čiastočne aj svojou vzájomnou odlišnosťou vyplývajúcou z individuálneho prístupu jednotlivých spracovateľov (odlišná konfigurácia, množstvo staníc). Najväčší problém tak nastáva v prípadoch, keď dôjde z nejakého dôvodu k zmene základných nastavení. V takom prípade dochádza medzi samotnými výslednými riešeniami, pri ich vykreslení do časových radov, k rôznym diskontinuitám (viď skoky na obr. 2.1), pričom sa môže zmeniť aj ich charakter a tým sa významne skomplikuje možnosť ich použitia na určovanie spoľahlivých kvantitatívnych a kvalitatívnych charakteristík spracovaných staníc a z nich vyslovených interpretácií.



**Obr. 2.1** Vplyv nových ITRF na súradnice stanice BOR1, prevzaté z (EPN web, 2010).

V dnešnej dobe, ktorú môžeme z pohľadu GNSS kľudne charakterizovať aj ako dobu permanentných staníc resp. sietí, keď najstaršie permanentné stanice presahujú už viac ako 15 rokov svojho fungovania už vieme, že počas celého obdobia ich existencie dochádzalo v základných nastaveniach spracovateľských stratégií k takýmto zmenám takmer neustále. Príčinou toho bol vývoj v používaných

parametroch, modeloch, teóriách či referenčných rámcoch. Typický príklad zavádzania zmien, je možné vidieť v tab. 2.1. popisujúcej postupné zmeny v nastaveniach výpočtu produktov vstupujúcich do spracovania družicových observácií. Z tabuľky 2.1, ako aj zo zobrazeného príkladu na obr. 2.1 je zreteľne vidno, akými faktormi sú doposiaľ ovplyvnené výsledky spracovania observácií permanentných staníc a akou negatívnou formou sa to prejavuje. Keďže vieme, že úplné eliminovanie spôsobených nehomogenít a diskontinuit iba výpočtom je častokrát nemožné (Steigenberger a kol., 2006), ostáva jediným možným riešením vykonanie prepočtu pôvodných observácií z celého dostupného obdobia jednotným spôsobom. Až z takýchto výsledkov bude potom možné získať reálne charakteristiky jednotlivých staníc, ktoré bude možné následne použiť na korektné interpretácie.

**Tab.2.1** Niektoré dôležité zmeny v rutinnom spracovaní analyzačného centra CODE, podľa (Steigenberger a kol., 2006) a (Hugentobler a kol., 2004).

Popis zmeny	Zavedenie zmeny (dátum)
Zmena z ITRF93 na ITRF94	Jún 1996
Vylepšené modelovanie orbít – gravitačné modely, všeobecná relativita, Loveho čísla IERS konvencie 1996	Jún 1996
Zmena nastavenie uhla elevačnej masky z 20° na 10° + váhovanie observácií	Október 1996
Zmena z ITRF94 na ITRF96 a zavedenie oceánskych slapov	Október 1997
Zavedenie hodnôt ofsetov antén pre GPS družice bloku IIR	Marec 1998
Zmena z ITRF96 na ITRF97	November 1998
Zmena v pseudo-stochastických pulzoch	August 1999
Odhadovanie troposférických gradientov a zmena nastavenie uhla elevačnej masky 3°	Jún 2000
Zmena z ITRF97 na ITRF2000	August 2001
Výpočet vyhladených ambiguit	December 2001
Spojité čiastkovo-lineárny model reprezentácie troposféry	Marec 2002
Implementovanie poldenného modelu pólu IERS2003	Jún 2003
Zmena modelu JPL efemeríd z DE200 na DE405	Október 2003
Zavedenie modelu absolútnych korekcií fázových centier antén	December 2004
Zmena z ITRF2000 na ITRF2005	November 2006
	November 2006

Za najvýznamnejšie z faktorov spôsobujúcich diskontinuity a nehomogenity v polohových odhadoch presných súradníc a charakteristík permanentných staníc z doposiaľ uskutočnených spracovaní možno považovať:

- zavedenie absolútnych hodnôt variácií fázových centier antén (ďalej APCV),
- zmeny v terestrických referenčných rámcov.

Základnou filozofiou práce tak bude odstrániť homogénnym prepočtom siete permanentných staníc práve tieto dva najväčšie indikátory porúch a to použitím skutočných hodnôt APCV antén a použitím iba jedného terestrického systému s jednotnými konzistentnými produktmi ako sú parametre orientácie Zeme s prislúchajúcimi dráhami družíc, v celom období spracovania. Elimináciou oboch týchto faktorov sa objektívne očakáva odstránenie diskontinuit a významné spresnenie výsledkov.

### 3 VŠEOBECNÁ STRATÉGIA SPRACOVANIA OBSERVÁCIÍ, SPRACOVATELSKÝ SOFTVÉR

Pri definovaní všeobecnej stratégie spracovania observácií z permanentných staníc možno vychádzať z najnovšej verzie smernice pre analyzačné centrá EPN (Guidelines for EPN AC, 2010), ktorá slúži ako manuál na vykonávanie rutinného spracovania staníc siete EPN. Podľa nej je možné všeobecný postup spracovania rozdeliť na dve časti, a to na prípravné práce a samotné spracovanie družicových observácií siete staníc. Za súčasť spracovania môžeme považovať aj referencovanie výsledných riešení k požadovanému súradnicovému systému. Niekedy je možné referencovanie vykonať už priamo pri spracovaní observácií, alebo je možné nechať výsledky vo forme voľných riešení a vykonať ho neskôr spolu s kombináciou podľa konkrétneho účelu a požiadaviek.

Samotné spracovanie družicových observácií je ovplyvnené pripravenými vstupmi, stratégiou spracovania a možnosťami použitého výpočtového softvéru, za ktorý bol v našom prípade zvolený softvér vyvinutý na univerzite v Berne tzv. Bernský GPS softvér (Dach a kol., 2007), konkrétne jeho verzia 5.0 (ďalej BSW50). Používanie BSW50 sa už od jeho vytvorenia a distribuovania (máj 2004)

medzi spracovateľmi rýchlo udomácnilo a stalo sa určitým štandardom pri všetkých prácach spojených s potrebou kvalitného spracovania observácií získaných pomocou GNSS. Z nespočetných výhod novej verzie 5.0 oproti jej predchodcovi (verzia 4.2) je vhodné spomenúť najmä vynovenie dizajnu a zjednodušenie automatizovaného spracovania jednotlivých krokov pomocou tzv. modulu BPE (Bernese processing engine).

Obvyklé spracovanie družicových observácií získaných permanentnými stanicami v BSW50 prebieha najprv na úrovni samostatných spracovaní jednotlivých dní, ktoré sa neskôr skombinujú do väčších jednotiek, čo bývajú spravidla týždne. Stratégia spracovania je založená na vyrovnaní siete na základe fázových meraní, konkrétne ich dvojnásobných diferencií metódou najmenších štvorcov. Dvojnásobné diferencie sú využité najmä preto, lebo pri nich dochádza k úplnej eliminácii korekcií hodín družíc a prijímača a taktiež k značnej redukcii vplyvu ionosféry a troposféry (Hefty a Husár, 2003). Kódové merania sú používané iba na synchronizáciu systémového času GPS s hodinami prijímačov.

Postup spracovania po dňoch vychádza z možností a odporúčaní používaných softvérov, metodík spracovania družicových observácií, ale najmä z charakteru vstupných observačných súborov. Pri dlhodobom monitorovaní polohy siete permanentných staníc dochádza postupne k nazhromaždeniu, a tým aj k manipulácii s veľkým množstvom údajov. V geodetickej praxi sa preto pri spracovávaní observácií permanentných staníc častokrát kvôli tomuto množstvu používajú namiesto denných riešení riešenia týždenné. Týždenné riešenia je možné získať jednoduchou kombináciou denných riešení daného týždňa. Princíp spočíva v skombinovaní normálnych rovníc jednotlivých dní, pričom uplatnenie definovania výsledného súradnicového systému je uskutočnené pomocou zvolenej metodiky väzby na vybrané referenčné stanice. Ako väzbu možno použiť ktorúkoľvek z možností popísaných nižšie v ďalšej kapitole. Výsledkom kombinácií denných riešení (normálnych rovníc) do týždenných, bývajú v BSW50 štandardne súbory súradníc, kovariancií a normálnych rovníc.

### 3.1 Referencovanie výsledkov

Keďže metóda GNSS je principiálne metódou interferometrickou, neumožňuje nám naraz určiť absolútne polohy všetkých bodov siete. Určenie výsledných súradníc v potrebnom systéme si tak vyžaduje poznať súradnice minimálne jedného bodu siete, alebo je nutné použiť aspoň tzv. voľné riešenie, kedy je poloha, orientácia a mierka výsledného systému definovaná systémom použitých súradníc dráh družíc a samotnými observáciami. V takomto prípade sú výsledné súradnice vo voľnom nedefinovanom systéme. Získanie výsledných súradníc korektne v požadovanom referenčnom systéme je ale pre všetky presné práce využívajúce GNSS veľmi dôležité a potrebné, nakoľko iba takéto súradnice nám zaručia možnosť sledovať a hodnotiť skúmané javy neskreslene, teda správne.

Jednu z významných vlastností BSW50 predstavuje možnosť voľby metódy definovania referenčného systému výsledného riešenia už pri finálnom kroku samotného spracovania observácií v danom období, alebo pri kombináciách viacerých už spracovaných riešení. Takáto voľba možnosti referencovania už na úrovni spracovania družicových observácií dokáže odstrániť vplyv zvoleného resp. zvolených referenčných bodov siete na výsledné súradnice ostatných staníc a tým umožní ich priame použitie na rôzne ďalšie analýzy, bez nutnosti ďalších úprav. Všeobecne sú na referencovanie v BSW50 k dispozícii tieto štyri možnosti (Dach a kol., 2007):

- fixné riešenie (fix solution) – riešenie siete s podmienkou poznania presných finálnych súradníc jedného alebo viacerých bodov,
- viazané riešenie (constraint solution) – riešenie siete s podmienkou poznania súradníc jedného, alebo viacerých bodov, pričom sa týmto súradniciam zadá aj tzv. stochastická podmienka,
- viazané riešenie s minimálnou podmienkou (minimal constraint solution) – riešenie siete s podmienkou minimálnej väzby na niektorý alebo viaceré body siete pomocou parametrov podobnostnej 7-parametrickej transformácie,
- voľné riešenie siete (free network solution) – riešenie siete bez explicitného zadania informácií o väzbe na výsledný súradnicový systém.

Za najsprávnejší a aktuálne jediný odporúčaný spôsob definovania referenčného systému výsledných súradníc pri spracovávaní sietí permanentných staníc (Guidelines for EPN AC, 2010), alebo pri

kombinovaní či zhŕšťovanie výsledkov spracovaných sietí staníc k požadovanému referenčnému rámcu (Bruyninx a kol., 2009), či na výpočet samotných medzinárodných terestrických referenčných rámcov (Altamimi, 2007), sa tak považuje použitie metódy viazaného riešenia s minimálnou podmienkou.

### 3.2 Viazané riešenie s minimálnou podmienkou (Minimum Constraint)

Princíp metódy vychádza z filozofie, že vhodnejšie je výsledné súradnice referencovať pomocou siete staníc, ako iba pomocou jednej, aj keď spoľahlivej stanice a ešte lepšie je, ak sa na referencovanie nepoužijú priamo súradnice zvolených staníc (fixné riešenie), ale ak sa podmienka, založená na väzbe medzi súradnicami staníc vzhľadom na referenčný rámec, vzťahuje na barycentrum, alebo tzv. strednú orientáciu siete definovanú zvolenými stanicami, ktorých súradnice v požadovanom referenčnom systéme sú známe. V prípade použitia barycentra siete hovoríme o podmienke „no-net-translation“ (sieť bez posunu) (ďalej NNT), v prípade použitia strednej orientácie siete o podmienke „no-net-rotation“ (sieť bez rotácie) (ďalej NNR). Matematicky to možno podľa (Dach a kol., 2007) zdefinovať nasledovne. Vychádzajme zo vzťahu medzi dvoma karteziánskymi systémami ( $A$ ,  $B$ ), ktorý môžeme vyjadriť pomocou siedmych transformačných parametrov (3 translácie, 3 rotácie a zmena mierky). Pre sieť obsahujúcu  $n$  bodov ( $i=1..n$ ) môžeme písať

$$\begin{pmatrix} X^B_i \\ Y^B_i \\ Z^B_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X^A_i \\ Y^A_i \\ Z^A_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z^A_i & Y^A_i & X^A_i \\ 0 & 1 & 0 & Z^A_i & 0 & -X^A_i & Y^A_i \\ 0 & 0 & 1 & -Y^A_i & X^A_i & 0 & Z^A_i \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ Rx \\ Ry \\ Rz \\ \delta \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

alebo môžeme použiť maticový zápis

$$\mathbf{X}^B = \mathbf{X}^A + \mathbf{A} \cdot \Theta, \quad (2.2)$$

kde pre vektory a matice platí

$$\mathbf{X}^B = \begin{pmatrix} \mathbf{X}^B_1 \\ \mathbf{X}^B_2 \\ \vdots \\ \mathbf{X}^B_n \end{pmatrix}, \quad \mathbf{X}^A = \begin{pmatrix} \mathbf{X}^A_1 \\ \mathbf{X}^A_2 \\ \vdots \\ \mathbf{X}^A_n \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \mathbf{A}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{A}_n \end{pmatrix}, \quad \Theta = \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ Rx \\ Ry \\ Rz \\ \delta \end{pmatrix}. \quad (2.3)$$

$\Theta$  predstavuje vektor neznámych transformačných parametrov,  $\mathbf{X}^B$  vektor subvektorov pravouhlých karteziánskych súradníc bodov referenčného súradnicového systému,  $\mathbf{X}^A$  vektor subvektorov pravouhlých karteziánskych súradníc bodov súradnicového systému definovaného voľným riešením siete a matica  $\mathbf{A}$  informačnú maticu funkčných vzťahov medzi týmito súradnicovými systémami. Použitím 2. modelu (nepriame meranie vektorového parametra) je možné určiť vektor neznámych ako

$$\Theta = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \cdot (\mathbf{A}^T \cdot (\mathbf{X}^B - \mathbf{X}^A)) \quad (2.4)$$

Ako bolo uvedené vyššie, riešenie takejto sústavy rovníc bez zafixovania niektorých z bodov, alebo použitia väzby na niektoré z bodov nie je možné kvôli singularite normálnych rovníc. Princíp riešenia siete s podmienkou MC je tak založený na vlastnosti, že vytvoríme pre zvolené body fiktívne observácie v ktorých pri uvažovaní kovariančnej matice  $\Sigma_\Theta$  položíme všetky, alebo iba niektoré zo siedmych Helmertových parametrov rovné nule a takéto observácie pridáme do riešenia rovníc



(2.4). V prípade „vynulovania“ všetkých transformačných parametrov ( $\Theta = \mathbf{0}$ ) môžeme takéto observácie na zvolených bodoch napísať pomocou vzťahu (2.4) ako

$$\mathbf{0} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T (\mathbf{X}^B - \mathbf{X}^A), \quad (2.5)$$

alebo po zavedení substitúcie  $\mathbf{N} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T$  ako

$$\mathbf{0} = \mathbf{N} \cdot (\mathbf{X}^B - \mathbf{X}^A). \quad (2.6)$$

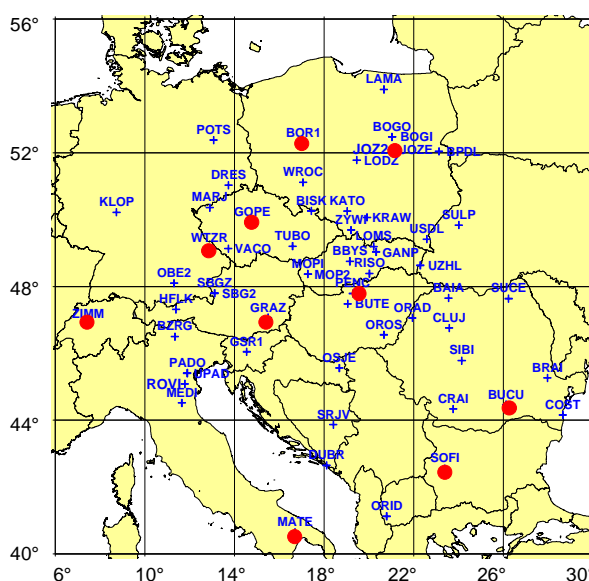
Tento vzťah (2.6) predstavuje podľa (IERS Conventions, 2003) najpodstatnejšiu rovnicu podmienky MC, lebo hovorí, že odhadované súradnice  $\mathbf{X}^B$  systému  $B$  sú v rovnakom terestrickom referenčnom rámci ako súradnice  $\mathbf{X}^A$  referenčného systému  $A$ , pričom je ich vzťah vyjadrený pomocou matice  $\mathbf{N}$ , ktorá obsahuje všetky potrebné informácie na definovanie tohto rámca. Vzťah (2.6) je možné po prenasobení z ľavej strany vzťahom  $\mathbf{N}^T \cdot \Sigma_{\Theta}^{-1}$  zapísať aj v tvare normálnych rovníc (kovariančná matica  $\Sigma_{\Theta}$  obsahuje na diagonále variancie jednotlivých transformačných parametrov  $\Theta$ ) ako

$$(\mathbf{B}^T \Sigma_{\Theta}^{-1} \mathbf{B}) \cdot (\mathbf{X}^B - \mathbf{X}^A) = 0 \quad \text{alebo} \quad (\mathbf{B}^T \Sigma_{\Theta}^{-1} \mathbf{B}) \cdot \mathbf{X}^A = (\mathbf{B}^T \Sigma_{\Theta}^{-1} \mathbf{B}) \cdot \mathbf{X}^B. \quad (2.7)$$

Pridaním vzťahu (2.7) k singularnej matici normálnych rovníc platnej pre voľné riešenie, bude umožnené vypočítať jej inverziu, a tým vyjadriť výsledné súradnice v totožnom súradnicovom systéme ako je referenčný. V prípade, že nechceme nulovať všetky transformačné parametre vektora  $\Theta$ , ale len niektoré, je možné úlohu modifikovať. Ak položíme rovné nule translácie ( $T_x, T_y, T_z$ ), ktoré vyjadrujú vzťah barycentier oboch systémov ( $A$  a  $B$ ), pôjde o vyššie spomenuté MC NNT riešenie. V prípade, že položíme rovné nule rotácie ( $R_x, R_y, R_z$ ), pôjde o MC NNR. Je potrebné ešte uviesť, že metódy využívajúce filozofiu minimálnej väzby sú citlivé na konfiguráciu a správny výber bodov použitých na vyjadrenie väzby

#### 4 DEINOVANIE ÚZEMIA, STANÍC A ČASOVÉHO INTERVALU SPRACOVANIA

Keďže cieľom práce nie je iba konzistentný prepočet, ale aj interpretovanie získaných výsledkov správania sa staníc ako geodynamických charakteristík územia, bolo potrebné vybrať takú lokalitu, s takou množinou vhodne stabilizovaných bodov, ktorá by obom týmto požiadavkám plne vyhovovala. Takto položeným požiadavkám najlepšie vyhovela sieť permanentných staníc s označením CEPER (Central European Permanent Network - Stredoeurópska sieť permanentných staníc).

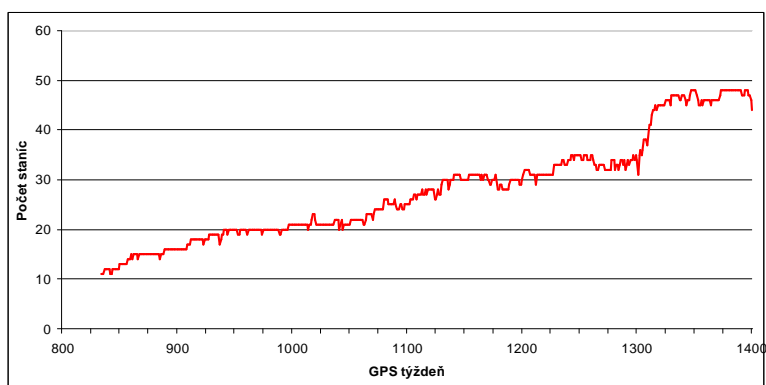


Obr. 4.1 Sieť permanentných staníc siete CEPER.

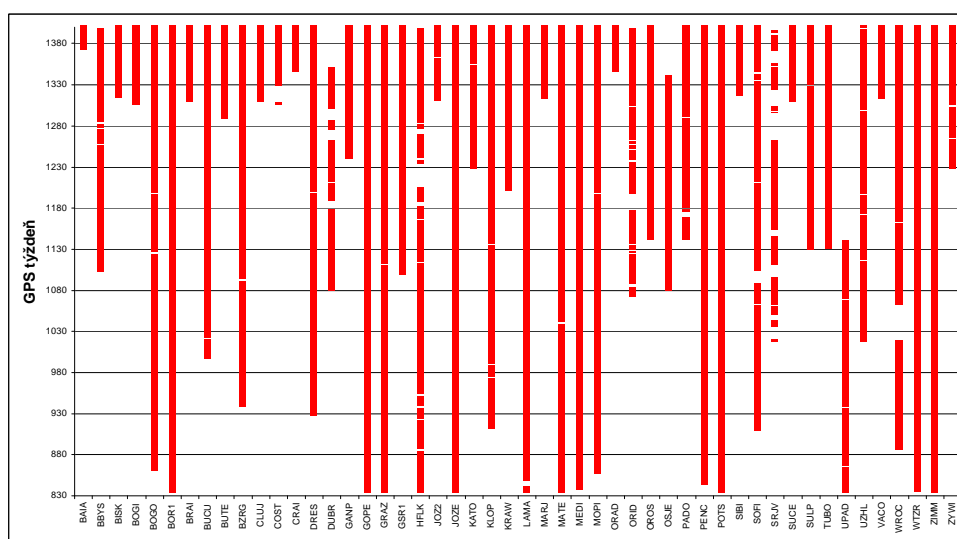
Ide o sieť staníc projektu CERGOP (CERGOP, 2010) doplnenú o vhodne rozmiestnenú množinu staníc siete EPN, ktorá bola zadefinovaná na KGZ STU. Sieť obsahuje okolo 60 bodov a začala byť rutinne spočítavaná BSW50 od novembra 2006 (GPS týždeň 1400). Rozmiestnenie jej staníc je možné vidieť na obr. 4.1. Bolo preto namieste využitie takto spusteného spracovania a nadviazanie naň v spätnom ponímaní. Za koncový dátum plánovaného prepočtu tak bol stanovený týždeň GPS 1399. Na základe reálnej dostupnosti observačných dát jednotlivých staníc siete a problémov týkajúcich sa nízkeho počtu observujúcich staníc v prvých rokoch a v ich konfigurácii, ktorá by mohla významne skresliť spracované výsledky, bol zvolený za počiatočný dátum až rok 1996 (GPS týždeň 834).

## 5 HOMOGENNÉ SPRACOVANIE OBSERVÁCIÍ Z PERMANENTNÝCH STANÍC SIETE CEPER

Homogénne spracovanie bolo vykonané na KGZ STU softvérom BSW50 nainštalovaným v prostredí LINUX FEDORA 2.6.12.3. Prebehlo v období august až december 2008 a opakovane, kvôli zistenej chybe v marci 2010. Postup spracovania pozostávajúci z vyššie spomenutých náležitostí sa skladal z prípravy súborov vstupujúcich do spracovania, samotného spracovania a z referencovania výsledných súradníc. Základné spracovanie družicových observácií siete staníc CEPER bolo vykonané formou denných riešení (24 hodinové intervaly) pre celé zvolené obdobie definované rokmi 1996-2006. Počet staníc vstupujúcich do spracovania v tomto období varíroval medzi číslami 11-48 v závislosti od dostupnosti ich observácií. Túto variáciu počtu staníc je možné vidieť aj na obr. 5.1. Podrobnejšie informácie o dostupnosti observačných súborov z jednotlivých staníc počas celého obdobia možno získať z grafu na obr. 5.2.

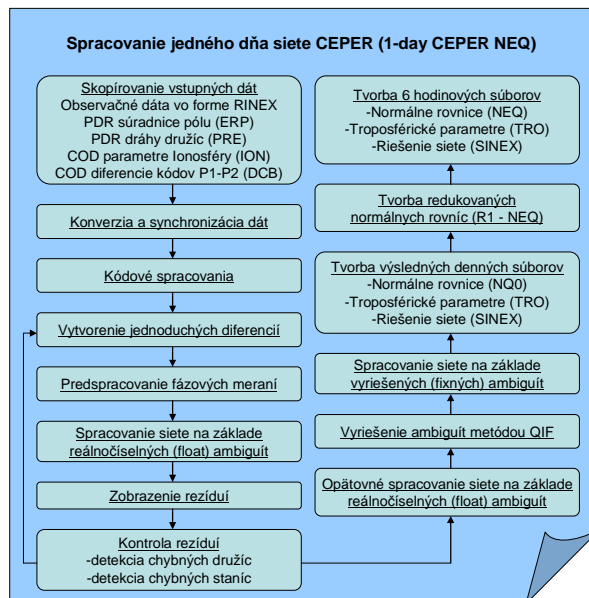


Obr. 5.1 Variácia počtu spracovaných staníc počas celého obdobia spracovania siete CEPER.



Obr. 5.2 Dostupnosť observačných súborov jednotlivých staníc pre celé spracované obdobie.

Postup spracovania denných riešení softvérom BSW50 vychádzal zo všeobecnej filozofie spracovania permanentných observácií popísanej v (Dach a kol., 2007). Použitý spôsob je možné najlepšie vystihnúť schématicky vývojovým diagramom (viď obr. 5.3).

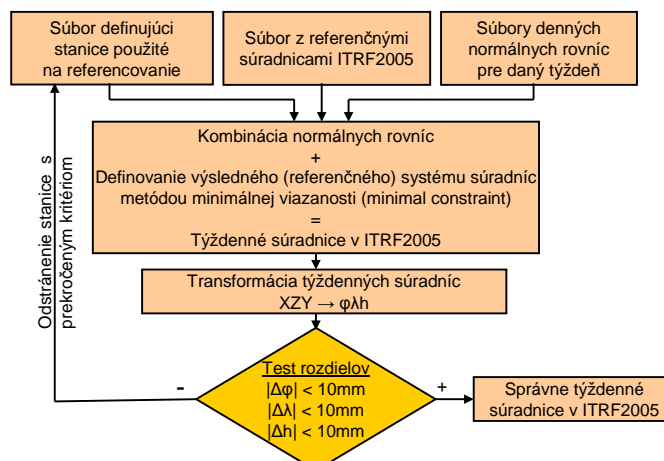


Obr. 5.3 Schéma postupu spracovania observačných súborov siete CEPER pre jeden deň.

Konkrétnejšie možno nastavenia jednotlivých krokov charakterizovať nasledovne:

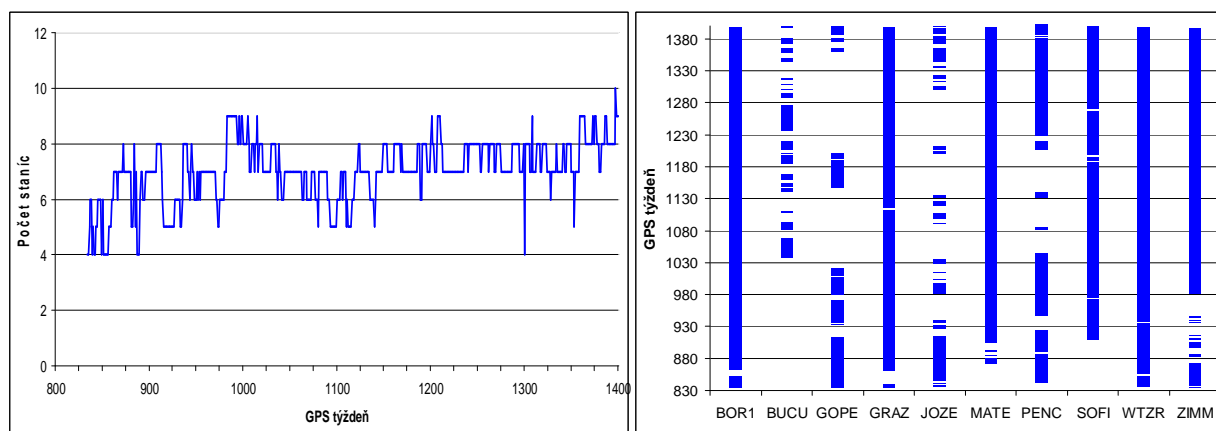
- nastavenie intervalov hustoty spracovania (sampling rate):
  - 30 sec pre všetky predspracovania a výpočet ambiguit,
  - 180 sec pre odhad finálnych súradníc,
- filtrovanie observácií v závislosti od výšky družíc - výšková maska nastavená na  $3^\circ$ ,
- použitie referenčného bodu BOR1 s apriórnu presnosťou 0,1mm,
- stratégia riešenia ambiguit QIF (kvázi bez ionosféry),
- rovnaké základnice pre každý deň definované stratégiu STAR (hviezda),
- troposféra - Neillová mapovacia funkcia (váhovanie observácií v závislosti od výšky družice),
  - odhad ZTD (oneskorenia v smere zenitu) každú hodinu pre každú stanicu,
  - odhad troposférických gradientov každých 24 hodín.

Metodika kombinácie normálnych rovníc jednotlivých dní do týždenných riešení bola čiastočne modifikovaná – doplnená o testovaciu slučku, ktorá spočívala v manuálnej kontrole súradnicových rozdielov (reziduí) na zvolených bodoch (body na ktorých sa uplatňovala podmienka minimálnej väzby – vid' červené krúžky na obr. 4.1). V prípade vyhovenia kontrole boli súradnice zo spracovania považované za správne, v opačnom prípade bol bod s prekročeným kritériom odstránený z množiny referenčných a celé spracovanie sa zopakovalo. Kritériá testovacej slučky, ktorá predstavovala kontrolu správneho výberu referenčných bodov, boli nastavené na porovnanie nie karteziánskych (XYZ), ale elipsoidických súradníc ( $\phi\lambda h$ ), nakoľko tie vedľa lepšie napovedať a identifikovať v ktorej zložke je prípadný problém. Celkový princíp spracovania je možné lepšie pochopiť z nasledovného vývojového diagramu (obr.5.4).



Obr. 5.4 Schéma spracovania týždenného riešenia siete CEPER.

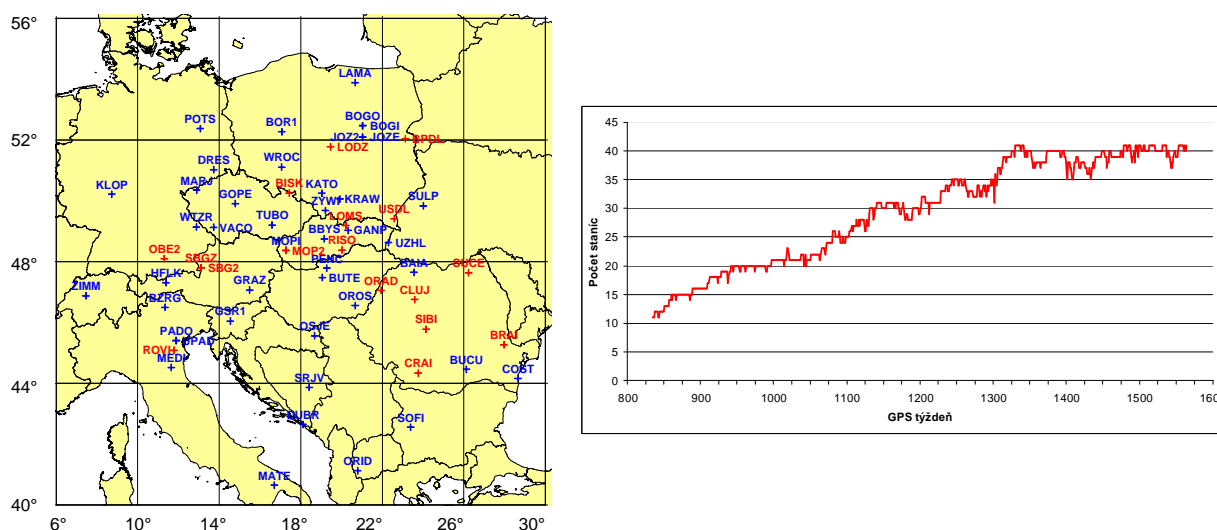
Na spracovanie bol z výhodou použitý program ADDNEQ (BSW50) a najmä jeho vlastnosť, že umožňuje priamo v jednom kroku kombinovať normálne rovnice denných riešení a zároveň zvoliť niektorý so spôsobov definovania referenčného rámca, pričom bolo použité odporúčané riešenie MC. Na obr. 5.5 možno vidieť výsledky prísneho uplatňovania testu rozdielov. Z obrázkov je zrejme koľko staníc bolo postupne vylúčených resp. koľko ich zostalo a kedy bola ktorá na referencovanie použitá.



**Obr. 5.5** Počet staníc použitých na referencovanie (vľavo) a okamihy ich použitia (vpravo).

## 6 VYUŽITIE SPRACOVANÝCH OBSERVÁCIÍ NA CHARAKTERIZOVANIE SPRÁVANIA SA STANÍC

Úlohou bolo odhadnúť charakteristiky správania sa jednotlivých antén, teda staníc siete CEPER, na základe analýzy časových radov zostavených z ich súradníc, ktoré podľa zadaného predpokladu reprezentujú pohyby jednotlivých území a pomocou ktorých bude možné vysloviť závery týkajúce sa charakterizovania regiónu z pohľadu geodynamiky. Všeobecne platí, že takto získané závery sú tým presnejšie (pravdivejšie), čím je analyzovaný časový rad súradníc jednotlivých staníc dlhší, homogénnejší a kompaktnejší. Podľa vlastných skúseností (Hefty a kol., 2009) vieme, že na kvalitný odhad rýchlosti permanentných staníc na účely geodynamických interpretácií je potrebné mať spracované dáta až z viac ako 3-ročného intervalu observácií. Aby sme získali čo najviac staníc prekračujúcich tento interval, rozhodli sme sa časové rady zo súradnicami spracovaných staníc siete CEPER čo najviac predĺžiť. Keďže rozšírenie o spracovania vykonané KGZ bolo kvôli neočakávanej chybe nemožné, bolo rozhodnuté spracovanie siete CEPER rozšíriť o dostupné týždenné riešenia EPN, ktoré sú rutinne vykonávané jej predstaviteľmi (EPN week, 2009). Výsledné riešenia predstavujú odhadnuté týždenné súradnice a kovariancie observujúcich staníc EPN, ktoré sú získané kombináciou jednotlivých subsietí dodaných LAC EPN.



**Obr. 6.1** Stanice s minimálne 3-ročným intervalom observácií po rozšírení o riešenia EPN (modrá farba na mapke naľavo) a vývoj ich počtu (napravo).

Rozšírením riešení CEPER po GPS týždni 1400 o riešenia EPN a použitím iba staníc s minimálne 3-ročným intervalom, došlo k čiastočnému zníženiu potenciálnych staníc vhodných na analyzovanie a geodynamické interpretácie. Polohy staníc, ktoré neprešli 3-ročným kritériom sú zobrazené na obr. 6.1 červenou farbou. Z obrázka vidno, že týmto prísny kritériom sme stratili významnú množinu permanentných staníc situovaných najmä v Rumunsku. Vývoj počtu staníc počas celého obdobia rozšíreného aj o spracovania EPN (GPS týždne 836 – 1564), ktoré vstúpili do spracovania možno vidieť na obr. 6.1. vpravo.

## 6.1 Zostavenie časových radov súradníc staníc siete CEPER a ich analýza

Samotný úkon zostavenia časových radov súradníc jednotlivých permanentných staníc siete CEPER je veľmi jednoduchý. Ide vlastne o vytvorenie grafických zobrazení jednotlivých súradnicových komponentov príslušnej stanice, vyjadrených v závislosti od času (v našom prípade od týždňa GPS). Súradnice staníc zostavené do časových radov týmto jednoduchým spôsobom predstavujú v tomto zmysle navzájom nezávislé hodnoty o rovnakej presnosti, preto pri ich ďalšom spracovaní nebude potrebné uvažovať kovariančné matice, resp. v prípade ich použitia by boli rovné jednotkovej diagonálnej matici. Kvôli lepšej predstavivosti a názornosti, ako aj z pohľadu účelu zostavovaných časových radov, bolo potrebné karteziánske súradnice (XYZ) pred vykonaním samotnej analýzy pretransformovať do prirodzenejšieho formátu, a to topocentrického súradnicového systému (neu) pomocou vzťahu

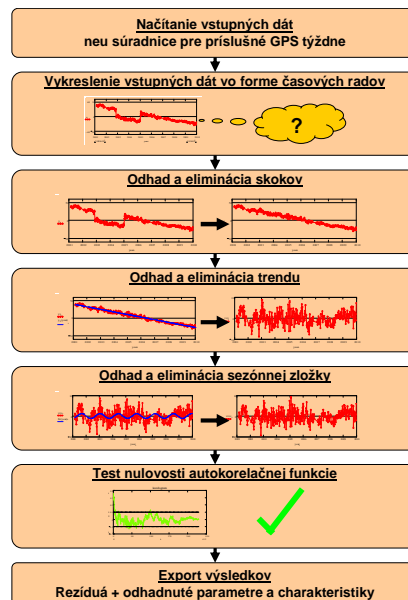
$$\begin{pmatrix} n \\ e \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cdot \cos \lambda & -\sin \varphi \cdot \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cdot \cos \lambda & \cos \varphi \cdot \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}, \quad (6.1)$$

kde parametre ( $n$ ,  $e$ ,  $u$ ) predstavujú zložky topocentrického súradnicového systému, parametre ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) predstavujú súradnicové rozdiely v karteziánskom súradnicovom systéme,  $\varphi$  a  $\lambda$  elipsoidické súradnice stanice. Aby bolo možné z takýchto časových radov staníc siete CEPER odhadovať charakteristiky, ktoré podľa zadaného predpokladu predstavujú lokálne tektonické pohyby, bolo potrebné ešte odstrániť globálnu rýchlosť Eurázijskej tektonickej platne (sieť CEPER sa nachádza v Európe). Keďže sme mali k dispozícii homogénne spracované súradnice referencované k ITRF2005, bol za rýchlostný model Eurázijskej platne zvolený taktiež ITRF2005 (parametre boli získané z (Boucher a Altamimi, 2008)).

Úlohou analýzy časových radov topocentrických súradníc staníc siete CEPER bolo namodelovať správanie sa súradníc čo najpresnejšie pomocou vhodných matematických modelov. Na inšpiráciu, ako postupovať čo najsprávnejšie boli použité poznatky a skúsenosti z rutinne vykonávanej analýzy časových radov súradníc staníc EPN, ktorej predchádzalo vypracovanie špeciálneho projektu s názvom „Time series monitoring“ (EPN SP TSM, 2010). Analýza časových radov staníc siete CEPER tak bola vykonaná podľa nasledovných krokov:

- vykreslenie časových radov,
- odhad a eliminácia skokov v časových radoch
  - určenie skokov – metóda lineárnej regresie pri poznatku, že rýchlosť stanice je považovaná počas celej doby za konštantnú,
  - skoky boli odhadované pri každej manipulácii z anténou, výnimočne v iných prípadoch,
- dekompozícia časových radov:
  - určenie trendu (vnútroplatňových rýchlostí) – metóda lineárnej regresie,
  - určenie amplitúd a fázových posunov sezónnej zložky – metóda harmonickej analýzy,
- testovanie časových radov po eliminácii trendu a sezónnej zložky na existenciu ďalších systematických zložiek – pomocou testu nulovosti autokorelačnej funkcie (Komorníková, 2006),
- zhodnotenie výsledkov – odhad RMS charakteristík výsledných reziduí.

Celý postup takto definovanej analýzy bol naprogramovaný v prostredí softvéru MathCAD14, pričom odhad jednotlivých parametrov bol vykonaný vždy zvlášť pre každú stanicu. Princíp vytvoreného programu je zobrazený schematicky na obr. 6.2.

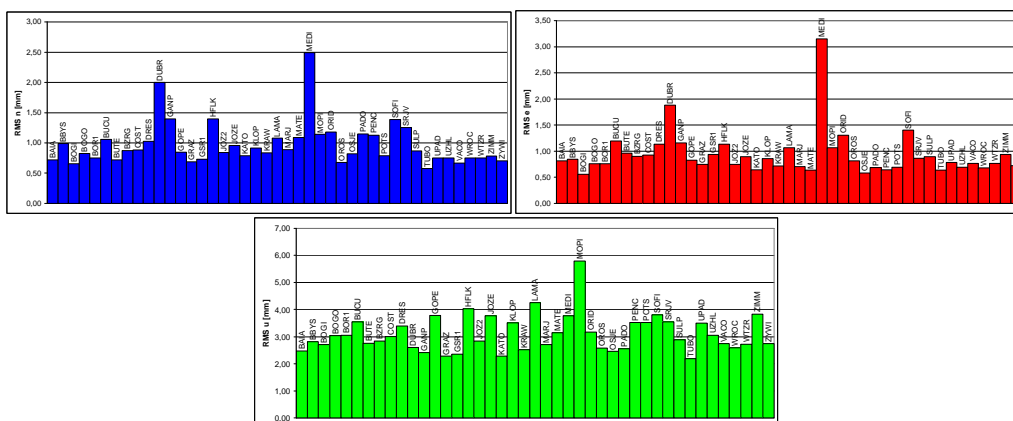


**Obr. 6.2** Schéma programu vykonávajúceho analýzu časových radov staníc CEPER.

Najzaujímavejšiu charakteristiku vhodnú na posúdenie kvality uvedeného spôsobu eliminácie systematických zložiek predstavuje jednotková stredná chyba RMS, ktorú je možné vypočítať z výsledných časových radov rezíduí  $(n_i''', e_i''', u_i''')$ , ktoré reprezentujú v našom prípade akoby skutočné chyby. Vzťah na výpočet RMS pre jednotlivé zložky staníc obsahujúce  $j$  parametrov (súradníc) môžeme napísať jednoducho ako

$$RMS^n = \sqrt{\frac{(n_1''')^2 + (n_2''')^2 + \dots + (n_j''')^2}{j}}, \quad RMS^e = \dots, \quad RMS^u = \dots \quad (6.2)$$

Takto vypočítané hodnoty RMS charakterizujú kvalitu celkového spôsobu eliminácie systematických zložiek, resp. kvalitu observácií na jednotlivých stanicach po uplatnení eliminácií. Čím sú hodnoty RMS vyššie, tým môžeme považovať kvalitu observácií na stanici za horšiu resp. použitý spôsob eliminácie systematických zložiek za málo efektívny. Hodnoty RMS vypočítané pre jednotlivé stanice sú zobrazené na obr. 6.3.



**Obr. 6.3** Hodnoty RMS vypočítané z výsledných časových radov rezíduí týždenných riešení.

## 7 INTERPRETÁCIE VÝSLEDKOV ZÍSKANÝCH Z ANALÝZY ČASOVÝCH RADOV

Výsledkom vykonanej analýzy časových radov súradníc je množina parametrov, ktoré nám predstavujú skutočné reálne správanie sa staníc. Ak k tomu pridáme definovaný predpoklad, ktorý hovorí, že všetky stanice predstavujú pevné spojenie so zemským povrchom, môžeme odhadnutý charakter staníc považovať za správanie sa danej lokality v ktorom sa anténa (stanica) nachádza.

## 7.1 Klasifikácia staníc siete CEPER podľa stability

V národných sieťach permanentných staníc, slúžiacich predovšetkým na komerčné účely pre zememeračov a na realizáciu národných terestrických referenčných rámcov, sa metodika analyzovania časových radov súradníc bežne používa na posúdenie stability resp. kvality jednotlivých staníc siete. Výsledkom toho býva roztriedenie staníc do kvalitatívnych tried podľa ich zisteného charakteru (Droščák, 2008), (Filler, 2008). Slovo stabilita je použité v zmysle, že časový rad súradníc stanice neobsahuje žiadnu zo systematických zložiek dosahujúcich významných hodnôt, pričom táto významnosť je definovaná stanovenými kritériami. V skutočnosti je ale nesprávne hodnotiť stabilitu staníc týmto spôsobom, najmä z pohľadu lineárnych zmien súradníc v čase (stanica obsahuje trend), nakoľko túto charakteristiku ovplyvňuje tektonika územia. Iná situácia je pri hodnotení stability staníc z pohľadu sezónnych variácií. Podľa (Kenyeres a Bruyninx, 2006) sa takýto charakter nezakladá na žiadnom fyzikálnom základe, preto ho môžeme jednoznačne na posudzovanie stability staníc používať. Pri posudzovaní anomálií staníc, sa pod anomálnym správaním myslí, že priebeh časových radov súradníc stanice vykazuje za sledované obdobie rôzne excesy a nezrovnalosti, ktoré nie je možné jednoznačne charakterizovať. Pre účely klasifikácie staníc siete CEPER v zmysle korektno definovanej stability boli použité tieto tri triedy:

- stanice s významnou periódou (významnosť periódy je definovaná kritériami v tab. 7.1),
- stanice s anomálnym správaním,
- stabilné stanice (patria sem aj stanice s lineárnym trendom)
  - stabilné stanice počas celého spracovaného obdobia,
  - stanice s čiastočným narušením stability pre krátke obdobie.

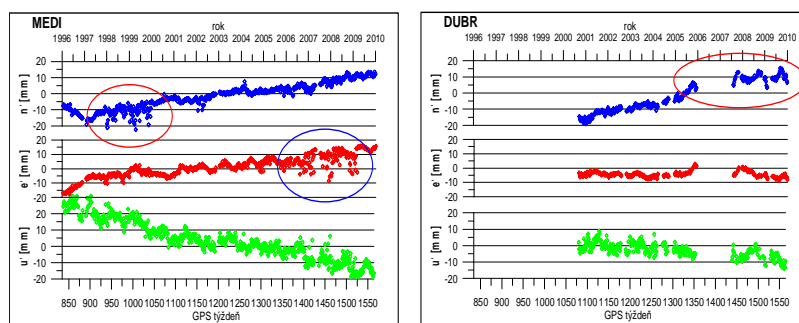
**Tab. 7.1.** Hodnotiace kritéria na klasifikáciu staníc siete CEPER

	<b>Trend</b>	<b>Amplitúda ročnej variácie</b>
<b>Horizontálna rovina</b>	1,5mm/rok	1,0mm
<b>Vertikálna rovina</b>	1,5mm/rok	1,5mm

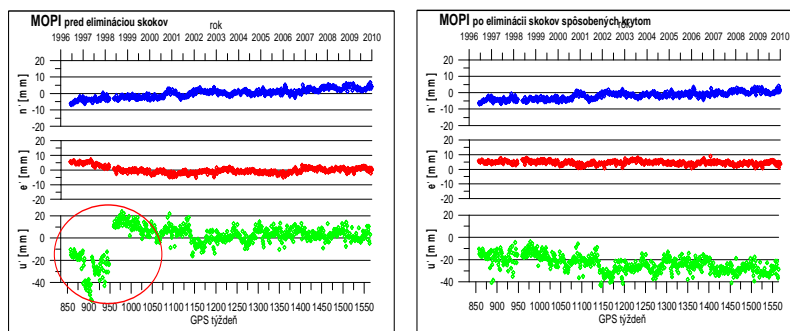
Roztriedenie staníc siete CEPER v tomto zmysle je uvedené v tabuľke 7.2. Z tabuľky je zrejmé, že u troch staníc (MEDI, MOPI, DUBR) bolo zistené anomálne správanie. Hlavne u stanice MEDI (obr. 7.1) je zreteľne vidno, že v určitých obdobiach dochádzalo k problematickým observáciám spôsobeným zrejme chybnou anténou. Pri stanici MOPI (obr. 7.2) je zase zreteľný problém vo výškovej zložke, ktorého príčinou bol kryt antény a manipulácia s ním. Stanica DUBR bola chvíľu neaktívna a pri jej opätovnom spustení do prevádzky dosahujú výsledné rezíduá anomálny charakter (obr. 7.1), čo môže byť zrejme spôsobené problémom s pôvodnou stabilitou konštrukcie antény.

**Tab. 7.2** Klasifikácia staníc siete CEPER podľa stability.

Stanice s významnou periódou v horizontálnej rovine	Stanice s významnou periódou vo vertikálnej rovine	Stanice s anomálnym správaním	Stabilné stanice	
			pocas celého obdobia	s čiastočným narušením
COST, KRAW, PADO, UPAD, DRES, HFLK,	BAIA, BUTE, COST, GSR1, JOZ2, KATO, KRAW, MARJ, ORID, OROS, OSJE, SULP, TUBO, UPAD, BUCU, HFLK, LAMA, SOFI,	MEDI, DUBR, MOPI	BBYS, ZYWI, BOGI, VACO, GRAZ, UZHL, WROC, WTZR, BZRG, BOGO	GANP, BOR1, GOPE, JOZE, KLOP, MATE, SRJV, PENC, POTS, ZIMM



**Obr. 7.1** Anomálne správanie staníc MEDI a DUBR.



**Obr. 7.2** Anomálie na výškovej zložke stanice MOPI.

Za najstabilnejšie stanice siete CEPER z pohľadu nami zadefinovanej stability tak môže označiť všetky stanice označené v tab. 7.2 ako stabilné a tieto stanice odporúčame aj v budúcnosti používať ako referenčné na správne pripájanie k ITRF.

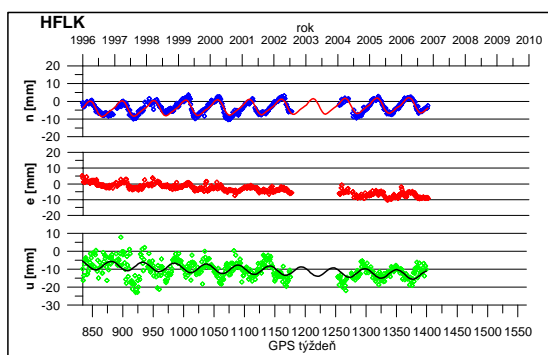
## 7.2 Interpretovanie periodických pohybov staníc siete CEPER

Pri analýze časových radov súradníc sme sa venovali aj odhadu a eliminácii sezónnych variácií staníc siete CEPER. Na základe modelu vychádzajúceho z harmonickej analýzy boli odhadnuté veľkosti amplitúd sezónnych variácií s ročnou a polročnou periódou a ich fázové posuny. Teraz sa pokúsme na tieto odhadnuté hodnoty pozrieť, ako na hodnoty charakterizujúce správanie sa jednotlivých staníc a skúsme nájsť spôsob ako ich interpretovať. Začnime vykonaním klasickej štatistiky zameranej na vyhľadanie maximálnych hodnôt a definovanie početnosti staníc z významnými amplitúdami (tab. 7.3). Za významné budeme považovať hodnoty prekračujúce kritéria definované v tab. 7.1. Pre jednoduchosť sa zameriame iba na hodnotenie amplitúd s ročnou periódou.

**Tab. 7.3** Štatistické zhodnotenie odhadnutých hodnôt amplitúd ročných variácií

Zložka	Priemerná amplitúda [mm]	Max. hodnota [mm]	Max. skok [stanica]	Amplitúda väčšia ako 1mm	Amplitúda väčšia ako 1.5mm
<b>n</b>	0,7	4,0	HFLK	10 / 43 staníc	-
<b>e</b>	0,7	2,2	BUTE	9 / 43 staníc	-
<b>u</b>	1,4	3,3	BUCU	-	19 / 43 staníc

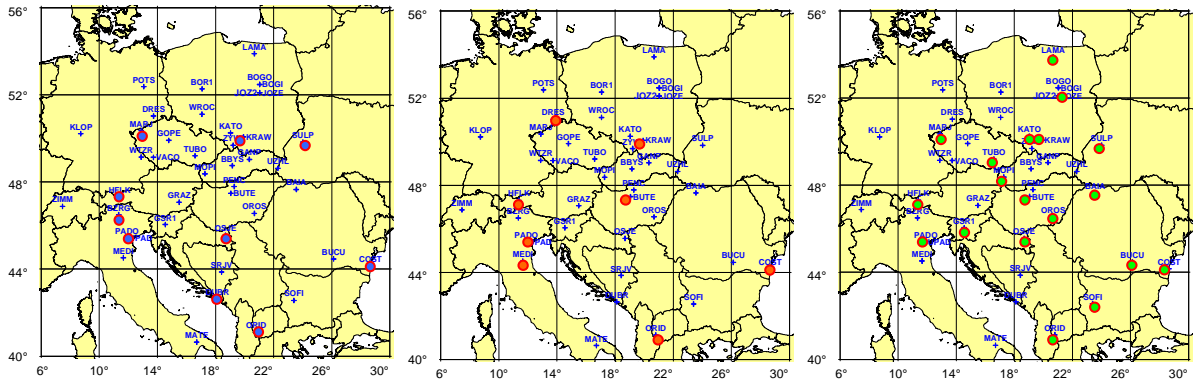
Z tabuľky možno vidieť, že priemerná hodnota amplitúd dosahuje v horizontálnych zložkách iba 0,7mm a vo vertikálnom smere 1,4mm. Veľmi zaujímavovo potom vyznieva, že maximálna amplitúda nie je vo výškovej, ale v horizontálnej zložke, konkrétne na stanici HFLK, kde dosahuje v smere sever-juh hodnotu až 4,0mm (obr. 7.4).



**Obr. 7.4** Ročná variácia stanice HFLK v severojužnej a vertikálnej zložke.

Aby sme sa mohli pokúsiť nájsť prípadný súvis medzi odhadnutými amplitúdami na jednotlivých staniciach, vyznačili sme stanice s významnými amplitúdami do mapiek podľa jednotlivých zložiek, v ktorých dosahujú významné hodnoty (obr. 7.5). Za významné sme považovali hodnoty v zmysle tab. 7.1.

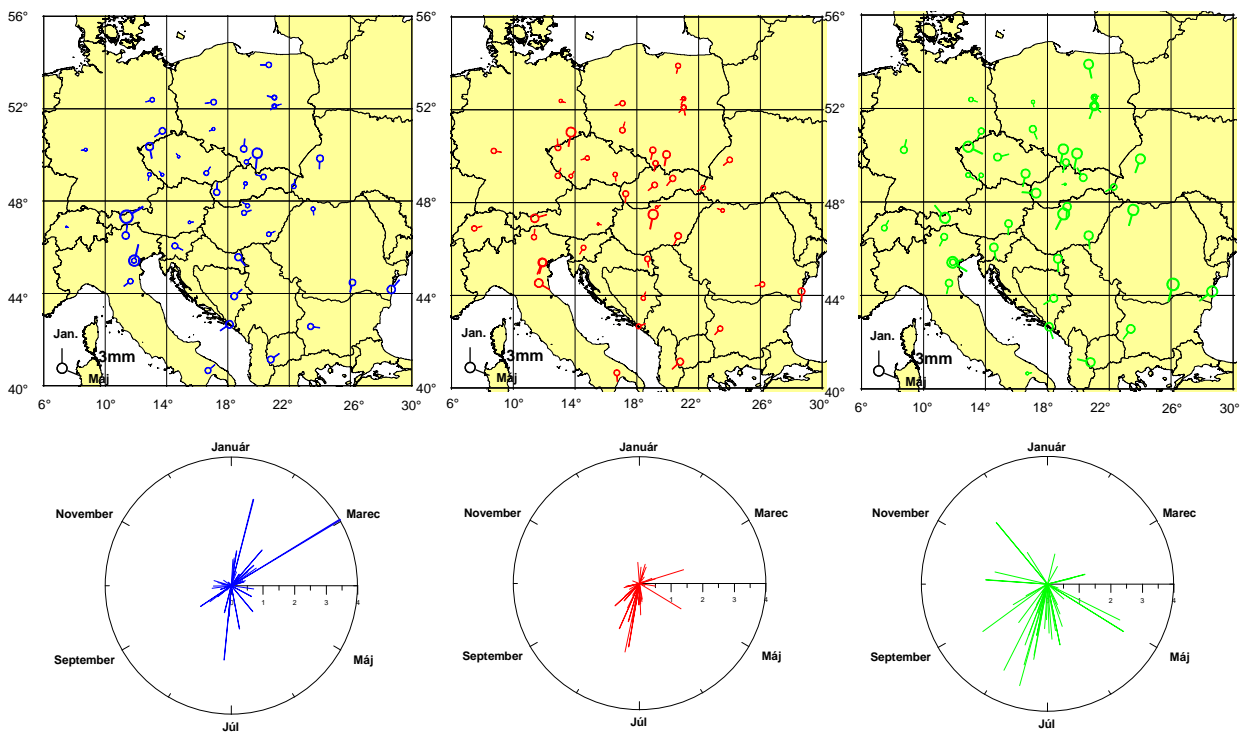




**Obr. 7.5** Stanice s významnými amplitúdami ročných variácií v jednotlivých súradnicových zložkách (n – naľavo, e - v strede, u - napravo).

Pri pohľade na obr. 7.5 môžeme tvrdiť, že rozloženie staníc s významnými amplitúdami ročných variácií nie je v žiadnom prípade systematické, ale náhodné a nepreukazuje žiadny definovateľný charakter. Jediné čo sa dá vysloviť je fakt, že ak sa na permanentnej stanici nachádza ročná perióda na jednej z horizontálnych zložiek, je vysoko pravdepodobné, že sa bude takáto perióda nachádzať aj na zložke vertikálnej, čo čiastočne podporuje teóriu, že ide o problém samotnej stanice spôsobený zrejme jej uchytením, alebo umiestnením.

Skúsme sa ďalej pozrieť na orientáciu t.j. okamihy, kedy dosahujú amplitúdy maximálne hodnoty. V tomto zmysle môžeme okamihy maximálnych amplitúd definovať fázovými posunmi, ktoré boli taktiež predmetom odhadu. Fázový posun vlastne charakterizuje, o koľko je posunutý začiatok cyklu sínusoidy voči počiatku, ktorý predstavuje začiatok roka, alebo inak zadefinované, fázový posun charakterizuje kedy dosahuje funkcia maximum. Aby sme vedeli hodnoty fázových posunov lepšie interpretovať, nebudeme používať na vyjadrovanie týchto okamihov uhlové hodnoty, ale prevedieme ich na časovú sústavu vyjadrenú v mesiacoch t.j. 360° kruh rozdelíme na 12 dielov, čiže 12 mesiacov. Vykreslenie amplitúd a ich fázových posunov pre jednotlivé stanice podľa jednotlivých súradnicových zložiek je zobrazené na obr. 7.6. Zobrazené hodnoty z mapiek sú zároveň vyjadrené aj polárnymi grafmi, aby sa dal lepšie identifikovať ich prípadný systematický charakter (pozn. hodnoty na grafoch sú vyjadrené v mm).

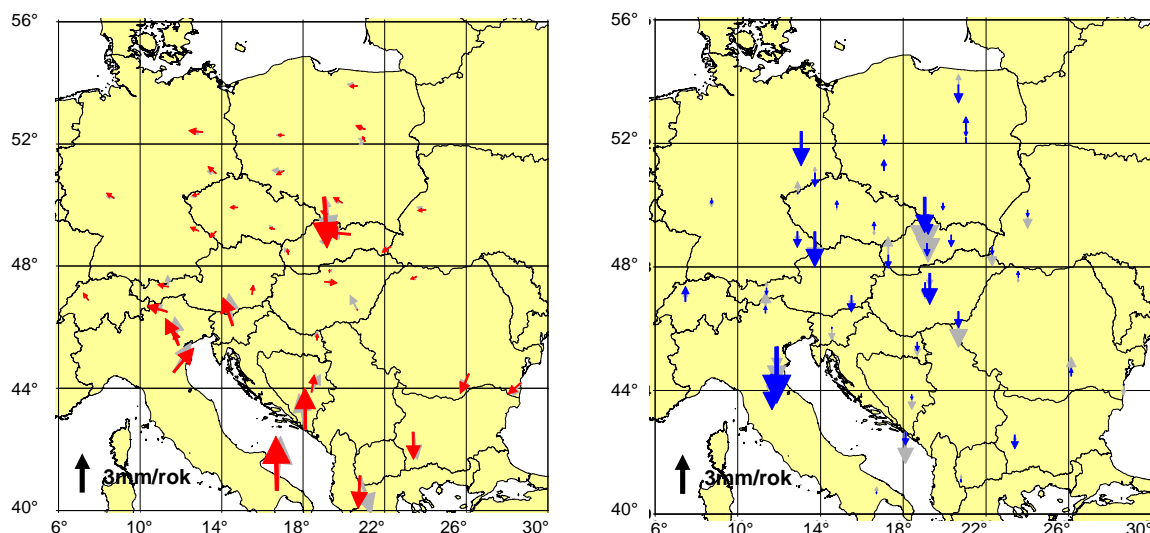


**Obr. 7.6** Odhadnuté amplitúdy ročných variácií a ich fázové posuny v jednotlivých súradnicových zložkách (n – modrá, e - červená, u - zelená).

Pri pohľade na prezentované polárne grafy možno tvrdiť, že pri horizontálnych súradniciach dosahujú amplitúdy extrémne polohy najmä v letných, alebo zimných mesiacoch, čo možno pokladať čiastočne za logické. Tento efekt by mohol spôsobovať zrejme nejaký faktor sezónneho charakteru, ktorý vstupuje do samotných observácií permanentných staníc, alebo až do spracovania. Na druhej strane si ale musíme uvedomiť, že ostáva stále veľa staníc, ktoré majú maximá v iných mesiacoch, takže predpoklad globálneho efektu nie je veľmi namieste. To potvrdzuje aj polárny graf vertikálnej zložky, kde je situácia odlišná ako bola pri horizontálnych. Rozloženie extrémov amplitúd je oveľa rovnomernejšie s čiastočnou prevahou v letných mesiacoch. V prípade, že sa skúsime pozrieť skôr na mapky obsahujúce zobrazené fázové posuny amplitúd, môžeme vysloviť nasledovný záver. V jednotlivých súradnicových zložkách je možné nájsť množstvo skupín staníc, nachádzajúcich sa blízko seba s rovnakými fázovými posunmi amplitúd, avšak ich systematické správanie sa ako celku zreteľné nie je. Nakoniec musíme konštatovať, že obidva pokusy interpretovať odhadnuté hodnoty amplitúd sezónnych variácií s ročnými periódami, s cieľom nájsť ich prípadný systematický charakter skončili neúspešne, preto sa možno prikloniť k názoru autorov práce (Kenyeres a Bruyninx, 2006), že periodický charakter zreteľný na staniciach permanentných staníc nemá reálny základ v neznámom geofyzikálnom procese, ale skôr ide o vplyv bezprostredného okolia antény, úchytu antény (celého monumentu) alebo samotného správania sa antény (periodické variácie fázového centra).

### 7.3 Interpretácie odhadnutých vnútroplatňových rýchlostí

Už pri odhadovaní parametrov trendovej funkcie pri analýze časových radov sme vyslovili tvrdenie, že odhadnuté hodnoty smerníc priamok reprezentujú vlastne vnútroplatňové rýchlostné pohyby jednotlivých staníc v príslušných smeroch topocentrických súradníc v rámci Eurázijskej tektonickej platne. Aby sme mohli oveľa lepšie a názornejšie pochopiť, čo vlastne tieto odhadnuté hodnoty reprezentujú, je dobré ich vykresliť do mapiek formou rýchlostných vektorov jednotlivých staníc a to zvlášť pre horizontálnu a vertikálnu rovinu. Mapy z vektorovými poľami horizontálnych a vertikálnych rýchlostí sú zobrazené na obr. 7.7. Na porovnanie nami odhadnutých vnútroplatňových rýchlostí (červené a modré vektory) s inými relevantným hodnotami boli do mapiek zobrazené aj vnútroplatňových rýchlostí odhadnuté predstaviteľmi EPN, ktoré sú dostupné z EPN webovej stránky (EPN web, 2010). Tieto hodnoty sú vyjadrené na obrázkoch šedou farbou. Pre lepšiu názornosť sú vynechané názvy staníc.



**Obr. 7.7** Vektorové pole odhadnutých horizontálnych (červené) a vertikálnych (modré) vnútroplatňových rýchlostí staníc siete CEPER, porovnané z riešením EPN (šedé vektory).

Horizontálne vektorové pole zobrazené na obr. 7.7 svojim charakterom správania sa potvrdzuje očakávané predpoklady vyplývajúce z doposiaľ uskutočnených štúdií a projektov na danom území. Je evidentné, že množina staníc nachádzajúcich sa na území strednej Európy (štáty Česko, Slovensko, Maďarsko, Poľsko, Nemecko a Rakúsko) dosahuje zanedbateľných hodnôt vnútroplatňových rýchlostí a tým reprezentuje veľmi stabilnú časť Eurázijskej tektonickej platne. Určitú výnimku tu predstavuje najmä poľská stanica Katovice (KATO) a čiastočne slovenská stanica Gánovce (GANP), ktorých veľkosti odhadnutých rýchlostí v horizontálnych zložkách preyšujú hodnoty na okolitých staniciach

(KATO 3,9mm/rok a GANP 2mm/rok) a tým vyznievajú ako regionálne anomálie. Inú situáciu možno vidieť na veľkostiach a orientáciách rýchlostných vektorov v okolí jadranského mora (oblasť Adrie) a na Balkáne (štáty Bulharsko, Macedónsko, juh Rumunska). Tu rýchlosti staníc dosahujú výrazne väčších hodnôt (okolo 3mm/rok), pričom majú navzájom odlišný smer. Rýchlostné vektory sledovaných staníc nachádzajúce sa na území Talianska a štátoch bývalej Juhoslávie (Slovinsko, Bosna, Chorvátsko) sú orientované výrazne na sever, pričom vektory staníc nachádzajúcich sa na území Balkánu smerujú presne opačne, na juh. Takýto výsledok plne súhlasí s doposiaľ známymi výsledkami z už uskutočnených výskumov a vyslovenými teóriami o kinematike resp. dynamike územia okolo Jadranského mora a Balkánskeho polostrova popísaných napr. v prácach (Hefty a kol., 2008), (Grenerczy, 2004), (Völksen., 2007). Teórie týchto prác hovoria o skutočnosti, že oblasť Adrie má vlastnú tektoniku v rámci Eurázijskej tektonickej platne, ktorá je výrazne odlišná od stabilného územia strednej Európy a niektorí dokonca nahlas hovoria o existencii tektonickej mikroplatni.

Ak pripustíme, že aj nami odhadnuté rýchlosti jednotlivých staníc, nachádzajúcich sa na území Adrie, majú správne odhadnutú veľkosť a smer pohybu, musí sa energia tohto pohybu niekde ukladať, alebo kumulovať, nakoľko hodnoty vektorov na vzdialenejších stanicích (oblasť južného Rakúska, Nemecka a celej strednej Európy) dosahujú zanedbateľných rozmerov. Ak si pozrieme vektorové pole na obr. 7.7 detailnejšie a keď uvážime aj geografiu daného územia, môžeme zistiť, že medzi týmito oblasťami sa nachádza pohorie Álp, ktoré by vedeli (a zrejme aj vedia) túto energiu absorbovať. Komplikovanejšie to je ale s vysvetlením vznikajúcej energie pre veľkosti rýchlostných vektorov permanentných staníc na Balkáne. Zistiť jej pôvod z uskutočneného spracovania nie je možné, nakoľko toto územie (oblasť Rumunska a Ukrajiny) nie je dostatočne pokryté spracovanými stanicami. V skutočnosti existujú teórie (Grenerczy, 2004), že ide o energiu prevzatú z energie z oblasti Adrie, ktorá je v smere hodinových ručičiek vektorovo stáčaná cez územie Srbska, Rumunska a Bulharska. Ani toto tvrdenie však nemôžeme z našich výsledkov ani potvrdiť ani vyvrátiť, pre malé množstvo staníc z tejto oblasti.

V prípade popisu výsledkov vertikálneho vektorového poľa (obr.7.7) možno konštatovať, že takmer na všetkých spracovaných permanentných stanicích siete CEPER, pri ktorých bola zaznamenaná veľkosťou významnejšia hodnota vertikálnej rýchlosti, bolo zaznamenané klesanie. Na niektorých stanicích spracovaných z celého obdobia (POTS, LAMA) možno sledovať dokonca výrazný rozdiel voči hodnotám z EPN web stránky.

## 8 PERSPEKTÍVY SPRESNENIA GEODYNAMICKÝCH INTERPRETÁCIÍ

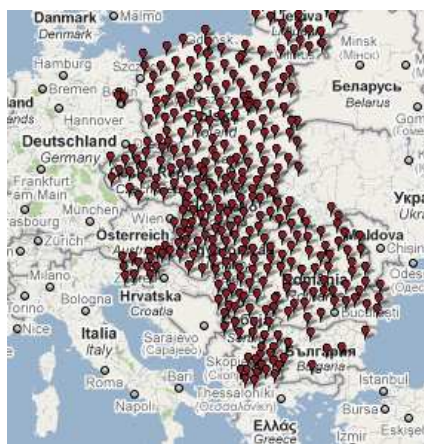
Z predchádzajúcich kapitol je zrejmé, že horizontálnych rýchlostných vektorov charakterizujúcich najmä oblasti južnej a juhovýchodnej Európy (Balkán) je stále málo, a tým je aj nereálne posúdiť presnejšie tektonické správanie týchto oblastí. Pomôcť tomu by potenciálne mohla stále viac sa rozrastajúca sieť permanentných staníc EPN. Keď si pozrieme aktuálnu mapku týchto staníc a vyznačíme do nej stanice, ktoré boli zaradené aj do nášho spracovania (obr. 8.1), dostaneme informáciu o potenciálnom počte ďalších staníc, ktoré by mohli v budúcnosti napomôcť lepším geodynamickým interpretáciám.



**Obr. 8.1** Polohy dostupných staníc siete EPN (trojuholníky) a použitých staníc siete CEPER (modré trojuholníky), prevzaté z (EPN web, 2010) a upravené.

Z obrázka je zrejme, že v oblasti Balkánu a východnej Európy došlo za posledné roky iba k minimálnemu zhutneniu EPN permanentnými stanicami, preto túto alternatívu ako potenciálne perspektívne riešenie na spresnenie charakteristík sledovaného územia môžeme zamietnuť. Iný pohľad na túto situáciu načrtáva práca (Stangl a kol., 2008) popisujúca potenciálne využitie novozałożených národných sietí permanentných staníc, nachádzajúcich sa na území štátov Balkánu a juhovýchodnej Európy. Práca očakáva hlavný úžitok zo spresnenia skutočného vektorového poľa v danej oblasti a v pomoci odhaľovať skutočné tektonické udalosti. Za najväčší problém pritom považuje získanie dát z týchto staníc, nakoľko ide častokrát o súkromné siete permanentných staníc, ktorých majitelia požadujú za dáta finančnú náhradu. Riešenie preto ostalo iba v rovine návrhu.

Iné reálne riešenie (úplne bez poznatkov predchádzajúceho návrhu) začalo vznikať na pôde iniciatívy EUPOS. EUPOS je vlastne združenie národných GNSS služieb štátov strednej a východnej Európy spolupracujúcich s cieľom vybudovať na územiach členských krajín rovnakou formou a na rovnakých štandardoch a princípoch infraštruktúru pozemných multifunkčných GNSS podporných systémov pozostávajúcich z jednotlivých národných segmentov (EUPOS, 2009). Tento cieľ sa nakoniec s veľkým úspechom jednotlivým členským štátom podaril a postupne začali vznikať na ich územiach celé siete permanentných staníc pod hlavičkou národných služieb. Aktuálna situácia s pokrytím predmetného regiónu stanicami EUPOS je zrejme z obr. 8.2.

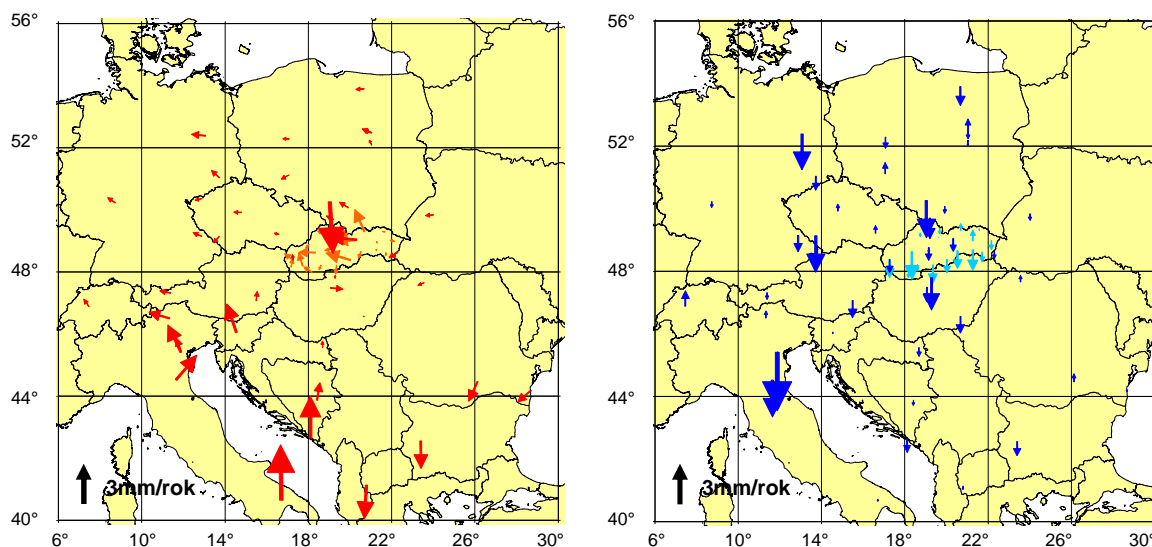


**Obr. 8.2** Stanice EUPOS v záujmovej oblasti, prevzaté z (EUPOS-ESDB, 2010)

Ako je možné z obrázka vidieť, v prípade sprístupnenia takýchto dát z jednotlivých staníc, alebo ich výsledných riešení, by bolo možné vytvoriť oveľa hustejšie vektorové pole a charakterizovať tak vnútroplátňovú tektoniku sledovaného územia oveľa detailnejšie a tým aj presnejšie. Fakt, že využitie siete permanentných staníc fungujúcich na rovnakých princípoch a štandardoch by mohli byť využité aj na iné účely, ako cezhraničnú výmenu si uvedomili aj samotní predstavitelia členských krajín EUPOS iniciatívy a na zasadaní EUPOS riadiacej komisie v Berlíne (november 2009) schválili vznik projektu, zameraného na spoločné spracovanie výsledkov jednotlivých permanentných staníc národných sietí – projekt EUPOS kombináčného centra (ďalej ECC).

Stručne možno povedať, že ide o projekt ktorý je zameraný na kombináciu výsledných SINEX riešení jednotlivých polohových sietí členských krajín EUPOS iniciatívy do jedného homogénneho celku. Na previazanie jednotlivých národných riešení sú využívané najmä stanice EPN siete a pohraničné stanice jednotlivých štátov, ktoré sú obsiahnuté v spracovaniach navzájom susediacich štátov. Spôsob vytvorenia výslednej kombinácie spolu s referencovaním je totožný s tým používaním pri spracovaniach EPN staníc. Testovacia fáza projektu bola už spustená a jej výsledky boli prezentované na internom EUPOS fóre v Novom Sade v máji 2010 (Kenyeres, 2010), ale aj na výročnom sympóziu EUREF 2010 vo švédskom Gävle. Predpokladaný potenciál výsledkov z tohto projektu je nesmierne veľký nielen pre samotných predstaviteľov EUPOS krajín, ale aj pre vedeckú obec a až čas ukáže, na čo všetko budú môcť byť výsledné dáta použité. Výhoda ECC projektu oproti myšlienke spomínaného návrhu prezentovaného v (Stangl a kol., 2008) je najmä v tom, že nie je potrebné obstarávať surové dáta z permanentných staníc a tie následne spracovávať, ale v prípade ECC ide o kombináciu už spracovaných výsledných riešení.

Perspektívy prínosu ECC projektu možno ukázať na príklade kombinácie výsledkov homogénneho spracovania siete permanentných staníc národnej služby SKPOS s prezentovaným spracovaním siete CEPER. Použitie výsledkov zo siete permanentných staníc služby SKPOS bolo poskytnuté a povolené vďaka jej správcovi, ktorým je Geodetický a Kartografický ústav (ďalej GKÚ). Kombinovanie SKPOS riešenia so spracovaním siete CEPER dovoľoval aj fakt, že metodika spracovania oboch riešení je takmer totožná, nakoľko boli vykonané rovnakým autorom. Aby bolo možné posúdiť potenciálny prínos výsledkov spracovania siete SKPOS, doplníme ich odhadnuté rýchlosti k rýchlostným poliam riešenia staníc siete CEPER a výsledky graficky vykreslíme. Na obr. 8.3 tak môžeme vidieť vytvorené mapky horizontálnych a vertikálnych rýchlostí doplnené o rýchlosti staníc SKPOS.



**Obr. 8.3** Vektorové horizontálne a vertikálne pole rýchlostí staníc siete CEPER a SKPOS

Ako si môžeme z obrázkov všimnúť, smery aj veľkosti vektorov rýchlostí staníc siete SKPOS veľmi dobre zapadajú do kontextu odhadnutých rýchlostí zo staníc siete CEPER v horizontálnej i vertikálnej rovine. Uvedené skutočnosti aj z tohto pohľadu jednoznačne potvrdzujú vyslovené závery a známe fakty o vysokej horizontálnej stabilite územia strednej Európy. Vo vertikálnom smere sú dôkazom rovnakého správania najmä smery rýchlostných vektorov, s takmer výlučne klesajúcim charakterom. Je nutné ale upozorniť aj na dve tri stanice s horizontálnymi rýchlostnými vektormi o niečo väčšími, ako je priemerná hodnota ostatných. Predpokladáme, že v týchto prípadoch môže ísť o odlišnú lokálnu tektoniku územia, alebo o problém so stabilizáciou antény resp. celého monumentu. Na ukážke doplnenia rýchlostného poľa staníc siete CEPER o riešenie SKPOS je ukázané, že potenciálny prínos projektu ECC by mohol významne napomôcť k zahusteniu sledovanej oblasti strednej, južnej a juhovýchodnej Európy čo by poskytlo detailnejší pohľad na charakter územia a dovolilo by reálnejšie zhodnotiť jeho skutočnú tektoniku.

## 9 PRÍNOS PRE VEDU A PRAX

Prínosy dizertačnej práce z oblasti potvrdenia resp. vyvrátenia rôznych teórií, dohadov, polemík:

- napriek tomu, že bolo celé spracovanie staníc siete CEPER vykonané za použitia homogénnych vstupov a absolútnych hodnôt variácií fázových centier všetkých antén, nedošlo k predpokladanému odstráneniu skokov v časových radoch súradníc, spôsobených väčšinou výmenou antén, čím sa potvrdili dohady, že na jednotlivé antény vplyva aj ich okolie (Dilžner a kol., 2008), ktoré je nutné taktiež pri určovaní skutočných polôh fázových centier uvažovať,
- na základe odhadnutých horizontálnych vnútroplatňových rýchlostí, boli potvrdené doteraz známe fakty o vysokej stabilite územia centrálnej časti Európy oproti tektonickej aktivite vyskytujúcej a v oblastiach Adrie a Balkánu čo do smeru aj orientácie,
- na základe analýzy odhadnutých hodnôt amplitúd a fázových posunov sezónnych variácií súradníc jednotlivých staníc, bol potvrdený názor autorov práce (Kenyeres a Bruyninx, 2006), že odhadnutý periodický charakter zreteľný na niektorých staniciach, nemá reálny základ v neznámom geofyzikálnom procese, ale skôr ide o problém (vplyv) bezprostredného okolia

antény, držiaka antény (prípadne celého monumentu, na ktorom je anténa umiestnená), alebo poruchy samotnej antény (periodická variácia fázového centra).

Prínosy dizertačnej práce vyplývajúce zo získaných poznatkov na základe samotného spracovania:

- vykonaný homogénny prepočet predstavuje jedno z prvých a časovo najdlhších spracovaní družicových observácií siete permanentných staníc v Európe vôbec, a dovoľuje nám získať prvýkrát pohľad na skutočný reálny priebeh časových radov súradníc spracovaných staníc,
- v práci je na homogénne spracovaných observáciách použitý nový spôsob referencovania výsledných súradníc k požadovanému súradnicovému systému s testovaním, vykonaný iba za pomoci spracovateľského softvéru bez nutnosti využívania ďalších matematických úprav,
- jednotlivé stanice siete CEPER boli klasifikované z pohľadu zadefinovanej stability na stanice stabilné, stanice s periodickým charakterom a stanice s anomálnym správaním, pričom množina najstabilnejších staníc bola odporučená na účely referencovania pri potenciálnych všetkých prácach v budúcnosti,
- všetky prezentované kroky spracovania boli vykonané korektne iba za pomoci prevažne dostupných a v geodetickej komunite často používaných spracovateľských softvérov, čím je možné túto prácu použiť aj ako inšpiračný manuál pre menej skúsenú, ale softvérovo štandardne vybavenú odbornú verejnosť zaoberajúcu sa presným spracovaním družicových observácií z permanentných staníc – potenciálne využitie napr. pre správcov národných alebo súkromných sietí permanentných staníc,
- v práci je popísaná a na konkrétnom príklade ukázaná potenciálna možnosť spresnenia odhadu geodynamického charakteru sledovaného územia pomocou projektu ECC,
- výsledky z vykonaného homogénneho spracovania siete staníc CEPER môžu byť poskytnuté novovzniknutému projektu EPN, zameranému na globálny prepočet všetkých EPN staníc homogénnym spôsobom a s veľmi podobnou filozofiou, aká bola použitá v tejto práci.

## ZÁVER

Homogénne spracovanie siete permanentných staníc z obdobia dlhého skoro 11 a po kombinácii s riešením EPN dlhého až 15 rokov, nám umožnilo získať úplne nový, vsuktu jedinečný a pritom reálny pohľad na vývoj polohových zmien spracovaných staníc pomocou časových radov zostavených z ich odhadnutých súradníc. Základné charakteristiky získané analýzou týchto časových radov nám zase dovolili využiť stanice na geodynamické interpretácie celého regiónu, čím bolo umožnené overenie doteraz prezentovaných teórií, vyslovených na základe dostupných, ale z pohľadu práce nehomogénnych spracovaní

Najväčší prínos pri prepočte sa objektívne očakával najmä od použitia modelu absolútnych fázových centier antén, od použitia iba jedného terestrického referenčného rámca, ako aj od použitia konzistentných parametrov orientácie Zeme a k ním náležiacim presným dráham družíc homogénnych počas celého obdobia. Musíme ale konštatovať, že v konečnom dôsledku sa prinajmenšom jeden z týchto predpokladov nepotvrdil a naopak prepočet poukázal na stále existujúci problém nedostatočného eliminovania niektorých efektov spojených s anténami, ktorý sa prejavuje vo forme skokov v prípade ich výmen. Čo sa týka analýzy časových radov súradníc, možno ju resp. navrhnutý a použitý model odhadu a eliminácie systematických zložiek skladajúci sa z odhadu skokov, trendu a sezónnych variácií, označiť za vyhovujúci a veľmi výstižný, na základe čoho je možné aj výsledné interpretácie považovať za správne. V nich sa potvrdilo, že územie centrálnej časti Európy je veľmi stabilné, až na určité anomálie spôsobené zrejme lokálnymi vplyvmi a že územie Adrie a Balkánu je poznačené výraznou tektonikou. Napriek tomu sme ale museli skonštatovať, že získané výsledky nemohli výraznejšie napomôcť k detailnejšiemu popisu tektonického charakteru sledovaného územia resp. k poznaniu zdroja a miesta vzniku energie rýchlostných vektorov staníc na Balkáne. Najväčší problém, ktorý nám v tom bránil predstavoval nízky počet permanentných staníc nachádzajúcich sa na predmetnom regióne. Z tohto dôvodu je záverečná časť práce venovaná perspektívnemu návrhu spresnenia geodynamických interpretácií, kde je názorne na dodaných výsledkoch zo staníc siete SKPOS ukázaný spôsob zahustenia rýchlostného vektorového poľa spracovanej siete, čím je naznačený reálny potenciál a budúcnosť získania presnejších interpretácií geodynamického charakteru sledovaného územia.

Úplným záverom ale musíme podotknúť, že vývoj v oblasti spracovania družicových observácií pokračuje stále dopredu, čiže je reálny predpoklad, že bude naďalej dochádzať k zmenám týkajúcim sa spracovania a ich nastavení, a tým bude potrebné, ba priam nutné vykonávať obdobné prepočty s časom na čas aj v budúcnosti.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- Altamimi Z. (2007): *Definition and Realization of Terrestrial Reference Systems: Application to ITRS and ETRS89*. Instituto Geográfico Português (IGP), Lisbon, March 7, 2007. Dst. na [http://www.igeo.pt/eventos/comunicacoes/Lisboa/ITRS\\_ETRS89\\_Altamimi.pdf](http://www.igeo.pt/eventos/comunicacoes/Lisboa/ITRS_ETRS89_Altamimi.pdf).
- Boucher C., Altamimi Z. (2008): *Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF campaign*. Version 7: 24-10-2008. Dostupné na <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>.
- Bruyninx C., Altamimi Z., Caporali A., Kenyeres A., Lidberg M., Stangl G., Torres J.A. (2009): *Guidelines for EUREF Densification*. Dokument dostupný na <http://www.epncb.oma.be/organisation/guidelines>.
- CERGOP (2010): webová stránka projektu CERGOP. Dostupná na <http://cergop.oeaw.ac.at>.
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M., (eds) (2007): *Bernese GPS Software Version 5.0*. Astronomical Institute, University of Berne, 612s.
- Dilšner F., Seeber G., Wübbena G., Schmitz M. (2008): *Impact of Near-Field Effects on the GNSS Position Solution*. Presented at International Technical Meeting, ION GNSS 2008, September 16-19, Savannah, Georgia, USA.
- Droščák B. (2008): *Stanice SKPOS z pohľadu časových radov*. In: zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie „70 rokov SvF STU“, sekcia 4: Geodézia a kartografia, STU, Bratislava 4.-5. december 2008.
- EPN ftp (2010): ftp server EPN. Dostupný na <ftp://ftp.epncb.oma.be/pub>.
- EPN SP TSM (2010): *EPN special project Time series monitoring*. Dostupný na [http://www.epncb.oma.be/organisation/projects/series\\_sp/index.php](http://www.epncb.oma.be/organisation/projects/series_sp/index.php).
- EPN web (2010): webová stránka EPN. Dostupná na [www.epncb.oma.be](http://www.epncb.oma.be).
- EUPOS (2009): *Terms of Reference, Technical Standards and Guidelines of the European Position Determination System (EUPOS)*. ISC Berlin, 2009.
- EUPOS-ESDB (2010): Databáza staníc EUPOS. Dostupná na <http://www.eupos.hu/EUPOS-ESDB.php>.
- Filler V. (2008): *Testování stability stanic GNSS na území ČR*. In: Zborník referátov zo semináře s medzinárodnou účasťou „Družicové metody v geodetické praxi“, VUT Brno, február 2008.
- Grenerczy G. (2004): *Crustal motions from space geodesy: a review from EPN, CEGRN, and HGRN data*. In: Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary, vol. 204. Dostupné na <http://www.mafi.hu/microsites/digitexts/GPS/Grenerczy.pdf>.
- Guidelines for EPN AC (2010): *Guidelines for EPN Analysis centers*. Dostupné na <http://www.epncb.oma.be/organisation/guidelines>.
- Hefty J., Husár L. (2003): *Družicová geodézia, Globálny polohový systém*. Bratislava, STU, 2003. 188s.

- Hefty J., Gerhátová Ľ., Igondová M., Bezručka J. (2008): *Nové poznatky o geokinematike strednej Európy a Balkánu na základe dlhodobého monitorovania pomocou GPS*. In Zborník referátov „GPS+GLONASS+Galileo: Nové obzory geodézie“, STU, Bratislava.
- Hefty J., Igondová M., Droščák B. (2009): *Homogenization of long-term GPS monitoring series at permanent stations in Central Europe and Balkan Peninsula*. Contributions to Geophysics and Geodesy, Vol.39/1, 2009, p.19-42.
- Hugentobler U., Meindl M., Beutler G., Bock H., Dach R., Jäggi A., Urschl C., Mervart L., Rothacher M., Schaer S., Brockmann E., Ineichen D., Wiget A., Wild U., Weber G., Habrich H., Boucher C. (2004): *CODE IGS Analysis Center Technical Report 2003/2004*. Dostupné na <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/papers/>.
- IERS Conventions (2003): Dennis D. McCarthy and Gérard Petit. *IERS Technical Note 32*, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004. 127pp., paperback, ISBN 3-89888-884-3.
- Kenyeres A., Bruyninx C. (2006): *Noise and periodic terms in the EPN time series*. IAG symposium: Geodetic reference frames, 9-14.October, Munich, Germany. Dostupné na <http://books.google.sk/>
- Kenyeres A. (2010): *EUPOS Combination Center*. Presented at 17th International EUPOS steering committee meeting, 27-28.May, Novi Sad, Serbia. (not published)
- Komorníková M. (2006): *Prednášky z predmetu analýza časových radov na doktorandskom štúdiu na Stavebnej Fakulte STU v Bratislave v akademickom roku 2006/2007*.
- Stangl G., Aichhorn C., Krauss S. (2008): *Potential Networks and New Velocity Estimations for South-East Europe and the Orient*. WEGENER 2008 symposium. Dostupné na <ftp://cergop.oeaw.ac.at>.
- Steigenberger P., Rothacher M., Dietrich R., Fritsche M., Rülke A., Vey S. (2006): *Reprocessing of a global GPS network*. Journal of Geophysical Research, Vol. 111, DOI: [10.1029/2005JB003747](https://doi.org/10.1029/2005JB003747), 05/2006.
- Völksen Ch. (2007): *Results from the Reprocessing of the BEK subnetwork*. In: Torres J.A. and Hornik H. (Eds): Subcommission for the European Reference Frame (EUREF), London 2007, Publication No.17, Verlag des BKG, Frankfurt am Main, 2009.

## ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁČ

- DROŠČÁK, B. – LEITMANOVÁ, K. – HEFTY, J.: *Nezávislé overenie transformácie medzi ETRS89 a S-JTSK využitím meraní GPS vykonaných Strediskom železničnej geodézie Železníc Slovenskej Republiky*. Geodetický a kartografický obzor, 53/95, 2007, č.5, s.81-92.
- DROŠČÁK, B. – LEITMANOVÁ, K. – PAPČO, J.: *Technická nivelácia vs. kvázigeoid*. In: CD Zborník referátov „TATRY 2007“, SSGK, GKÚ Bratislava, TOPÚ Banská Bystrica. Podbanské, 29.-31. október 2007.
- DROŠČÁK, B.: *GPS observácie – reálna kvalita prevodu do S-JTSK a Bpv*. In: Zborník referátov „15. Slovenské geodetické dni“. Bratislava, 15. – 16. november 2007.
- LEITMANOVÁ K., DROŠČÁK B.: *Slovak real-time positioning service as an integral part of EUPOS*. In: Proceedings of the „International Symposium on Global Navigation satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications“. Berlin, Germany, 11.-14. November 2008.



- DROŠČÁK, B.: *Stanice SKPOS z pohľadu časových radov*. In: zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie „70 rokov SvF STU“, sekcia 4: Geodézia a kartografia. STU, Bratislava, 4.-5. december 2008.
- HEFTY, J. – IGONDOVÁ, M. – DROŠČÁK, B.: *Homogenization of long-term GPS monitoring series at permanent stations in Central Europe and Balkan Peninsula*. Contributions to Geophysics and Geodesy, Vol.39/1, 2009, p.19-42.
- DROŠČÁK, B.: *SKPOS contribution to geokinematic research*. In: Proceedings of the „International Symposium on Global Navigation satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications“. Berlin, Germany, 2009.
- LEITMANNOVÁ, K. – DROŠČÁK, B. – BEHULIAKOVÁ, M.: *Die Benutzung des SKPOS Dienstes in der Katastervermessung, Fachtagung*. In: USB zborník z konferencie „26. Fachtagung der Vermessungsverwaltungen“, Košice, 13. – 15. Máj 2009.
- DROŠČÁK, B.: *SKTRF2009 – Geokinematika Slovenska*. In: zborník referátov z odborného seminára s medzinárodnou účasťou „Globálne navigačné družicové systémy ako efektívny prostriedok na určovanie priestorovej polohy“, SSGK, KGZ STU, GKÚ Bratislava. Tatranská Lomnica, 29-30. septembra 2009.
- DROŠČÁK, B. – HAVLÍKOVA, E.: *Použitie SKPOS a terestrických meraní na určení štátnej hranice v JTSK03 (Aplikácia na slovensko-českej hranici)*. In: zborník referátov z odborného seminára s medzinárodnou účasťou „Globálne navigačné družicové systémy ako efektívny prostriedok na určovanie priestorovej polohy“, SSGK, KGZ STU, GKÚ Bratislava. Tatranská Lomnica, 29-30. septembra 2009.
- FERIANC, D. – BEŇOVÁ, E. - DROŠČÁK, B. – ROHÁČEK, M.- STEINHUBEL, M.: *SKPOS 2010 – aktívne geodetické základy SR*. In: zborník referátov z odborného seminára s medzinárodnou účasťou „Globálne navigačné družicové systémy ako efektívny prostriedok na určovanie priestorovej polohy“, SSGK, KGZ STU, GKÚ Bratislava. Tatranská Lomnica, 29-30. septembra 2009.
- PAPČO, J. – HIPMANNOVÁ, L. - DROŠČÁK, B.: *Geokinematika Vysokých Tatier – 10 rokov meraní GNSS*. In: zborník referátov z odborného seminára s medzinárodnou účasťou „Globálne navigačné družicové systémy ako efektívny prostriedok na určovanie priestorovej polohy“, SSGK, KGZ STU, GKÚ Bratislava. Tatranská Lomnica, 29-30. septembra 2009.
- FERIANC, D. – DROŠČÁK, B. – BEŇOVÁ, E.: *Aktívne geodetické základy SR*. In: zborník referátov zo seminára s medzinárodnou účasťou „Družicové metódy v geodézii a katastru“, VUT. Brno, Február, 2010.
- BEŇOVÁ, E. - DROŠČÁK, B. – FERIANC, D. – ROHÁČEK, M. – STEINHUBEL, M.: *Modernizácia SKPOS*. In: CD zborník referátov „XVI Medzinárodné Slovensko – Poľsko – České geodetické dni“. Tatranská Lomnica, 13.-15.mája, 2010.
- HEFTY, J. – HIPMANOVÁ, L. - GERHÁTOVÁ, Ľ. – IGONDOVÁ, M. – DROŠČÁK, B.: *Recent geo-kinematics of Slovakia based on homogenized solutions of permanent and epoch GPS networks*. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 7, No. 3 (159), 1–13, 2010.

## SUMMARY

The aim of the dissertation was to get the real characteristics describing the station behaviour based on the homogenous processing of the satellite observations from the as longest observation period as it was possible, and to use them for the geodynamic characteristics of the monitored region according to the correct mathematical models.

From that point of view the submitted dissertation is focused on the theoretical description of the main steps of the precise homogeneous satellite observations processing, it is continued with the selection of region and permanent stations network (Central European Permanent Network CEPER) and with its practical processing in a sense of reprocessing of the original observations with the usage of the latest knowledge on the field of the data processing (application of the antenna absolute phase centre variation) and with the help of consistent products like Earth orientation parameters and precise satellite orbits as a results from PDR (Potsdam Dresden Reprocessing) reprocessing of IGS network performed by German scientists. In the submitted dissertation is also shown, how it is possible to perform the correct referencing of the homogeneously processed observations on the level of processing software and to get precise coordinates without the need of further adjustment. Next are times series from the resulted coordinates composed and performed their analysis with the aim to use their quality potential for different interpretations, especially for the geodynamic characteristics of the monitored region.

The performed homogenous reprocessing allowed us to get the new, unique and real view on the trend of the position changes in the interested region from the year 1996 and also allowed us to verify the reliability of up to now presented tectonic interpretations. The new suggested and used model for systematic components estimation and elimination composed from jump, trend and periodic variations estimation was possible to declare as reliable and satisfying according to estimated characteristics, what allows us to consider also interpretations of the results as correct. Those interpretations confirmed the high stability of the Central part of Europe and the big tectonic influence in Adriatic and Balkan region. In the final part of the dissertation is proposed the approach for the geodynamic interpretation precisising. There is on the real delivered data example (data from SKPOS stations) shown, how it is possible to densify the velocity vector field of the interested region, what can be considered as the future potential of the geodynamical interpretation of the monitored territory.