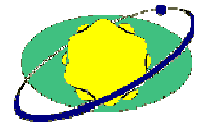


Monitorovanie vysokofrekvenčných zmien polohy pomocou GPS a možné aplikácie v geofyzike

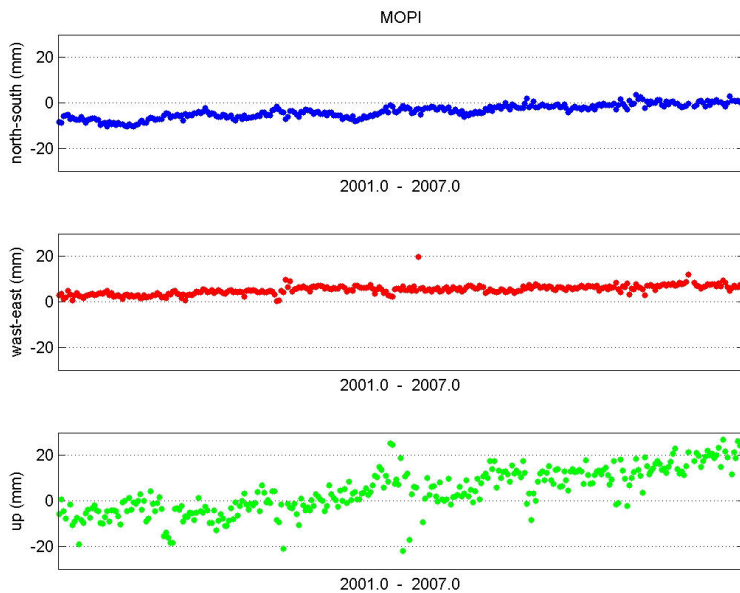
Ján Hefty, Ľubomíra Gerháťová, Juraj Papčo
Katedra geodetických základov SvF STU,
Bratislava



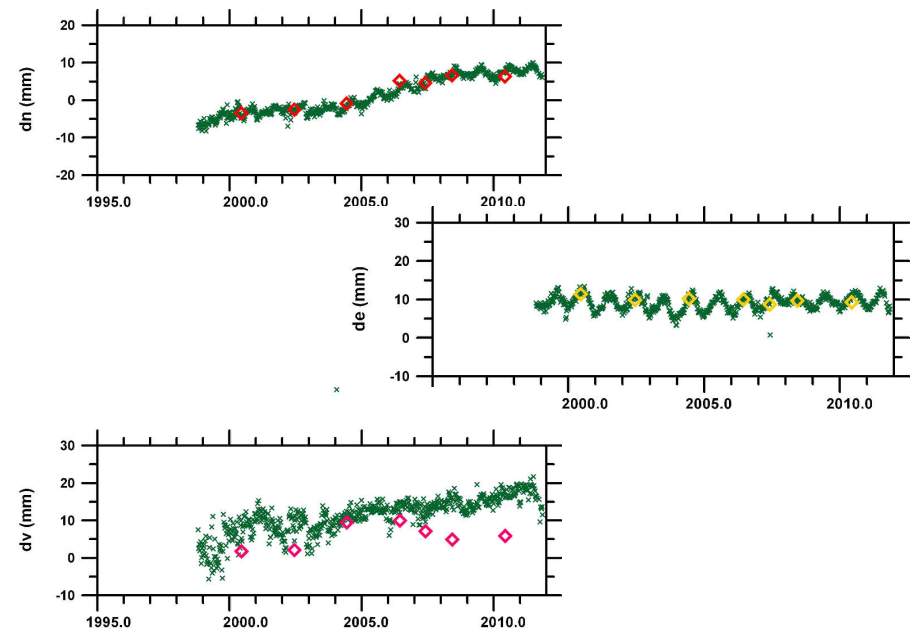
IX. Slovenská geofyzikálna konferencia,
Bratislava 22.-23.6. 2011

Motivácia 1

- Najčastejší spôsob využitia GPS na monitorovanie zmien polohy v dôsledku geodynamických javov: dlhodobé meranie na permanentných alebo epochových staniciach – výsledok: odhad súradníc, rýchlostí, sezónnych variácií, príp. iných zmien.
- Východiskové merania GPS sú v 30 s intervaloch, spracovanie vo forme denných, resp. týždenných riešení.
- Najzávažnejšie poruchové faktory: variabilita stabilizácie, výmeny prijímačov a antén, námraza a sneh na anténe, dlhodobé zmeny okolia a pod.



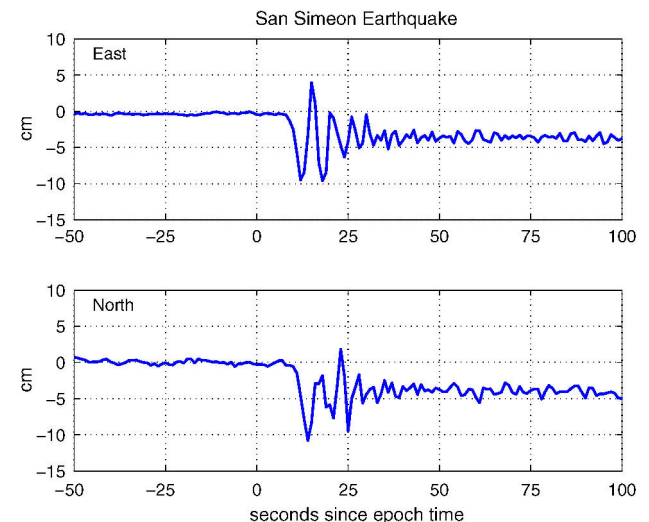
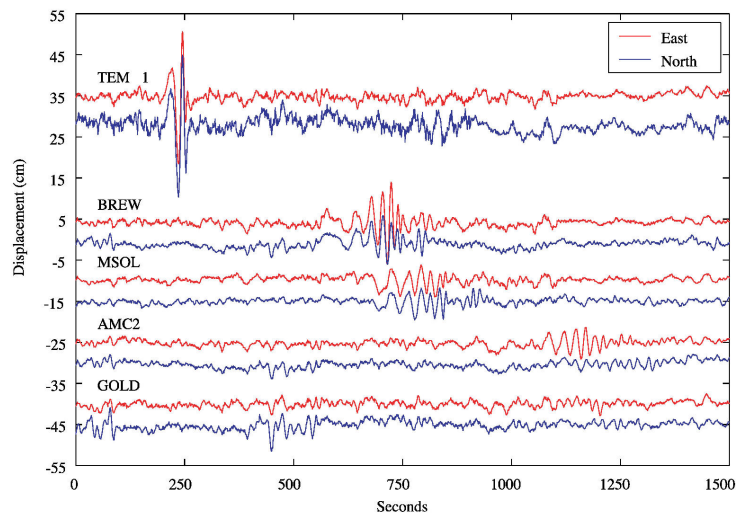
DRES — kombinácia epochových a permanentných meraní



Motivácia 2

- Súčasná aparatúra GPS umožňuje záznamy merania družíc s frekvenciou 1 Hz až 50 Hz.
- Takéto frekvencie sa dajú použiť na monitorovanie krátkodobých variácií polohy.
- Spracovanie však vyžaduje úplne inú stratégiu, nakoľko nemožno využiť integráciu meraní do väčších intervalov a merania sú ovplyvnené takými systematickými efektmi, ktoré sa integráciou obvykle plne eliminujú.

Záznam zmien horizontálnej polohy z 1Hz meraní počas zemetrasení 2002 Denali (M 7.9, 140-3800 km od epicentra) a 2003 San Simeon (M 6.5, 35 km od epicentra), podľa Larson et al., 2009 – GPS seismology.



Obsah

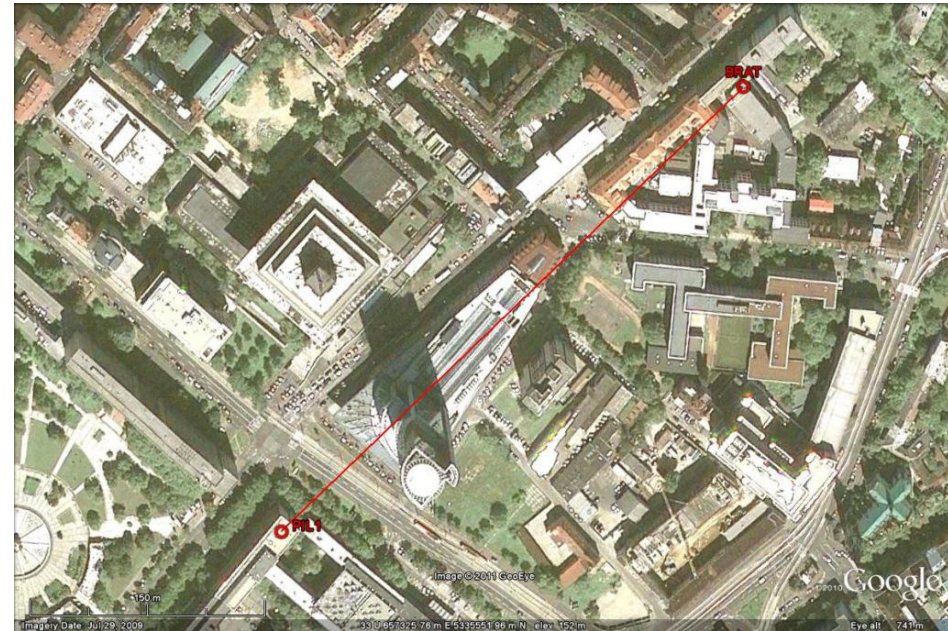
- Základné atribúty vysokofrekvenčného merania polohových zmien
- Experiment na stanovenie možností monitorovania 1 Hz na krátkej základnici
- Meranie výkyvov rozhľadne na Veľkej Homoli
- Analýza 1 Hz meraní GPS v súvislosti so zemetrasením v Tatabányi
- Simulácia náhlej krátkodobej zmeny polohy

Základné atribúty spracovania meraní s 1 Hz záznamom

- Poloha sa určuje z každého merania ako samostatný parameter - relatívne malý počet nadbytočných meraní (cca. 3 – 10) v porovnaní so štandardným určovaním polohy (~1000 – 10000).
- Významne sa prejavuje vplyv aktuálne meraných družíc. Výpadok 1-2 družíc môže principiálne ovplyvniť priebeh polohových zmien.
- Dominantný vplyv krátkodobo pôsobiacich systematických chýb – ionosféra, multipath a pod.
- Potreba určenia ambiguit vopred na základe dlhodobého intervalu meraní (1 a viac hodín). Pri monitorovaní pohybujúceho sa objektu sú ambiguita ovplyvnené nestabilitou monitorovaného bodu.
- Eliminácia vplyvu troposféry z dlhodobého riešenia, použitie regionálnych modelov ionosféry na redukciu dlhodobých efektov.
- Pre krátke základnice je výhodné samostatné riešenie na L1 a L2.

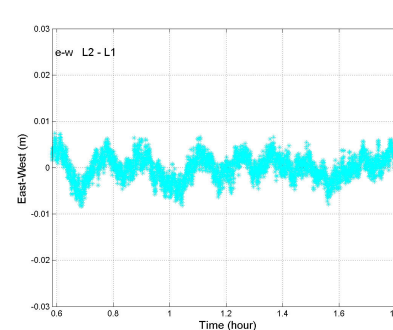
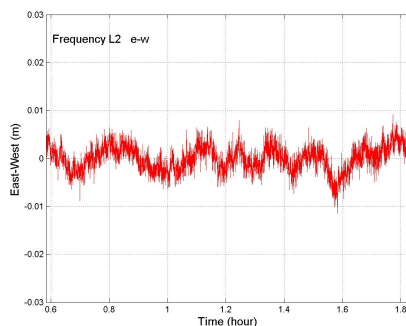
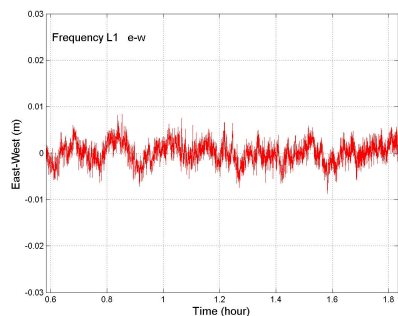
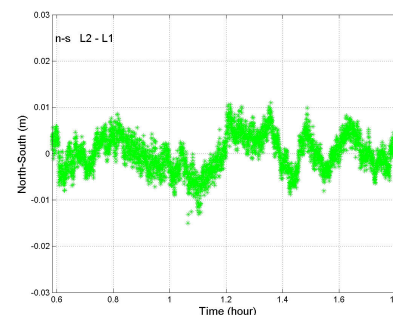
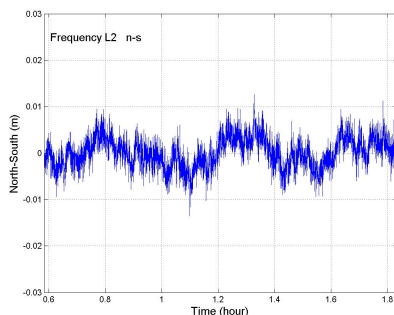
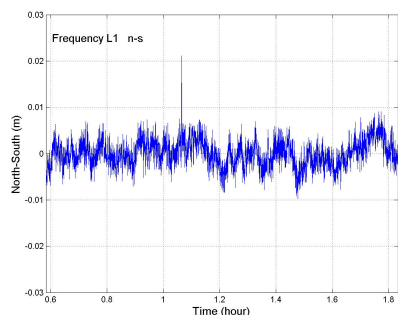
Experimentálne overenie možností monitorovania vysokofrekvenčných zmien na krátkej základnici

- Základnica ~ 400 m – budovy STU na Nám. Slobody a Mýtnej ul. Antény prijímačov GPS sú umiestnené fixne.
- Riešenie – spracovanie 1 h intervalu 30 s záznamu, odhad ambiguit, parametrov troposféry, súradníc a následné spracovanie 1 Hz záznamov samostatne na frekvenciách L1 a L2. Výsledkom sú nezávislé odhady horizontálnej polohy pre každú sekundu.
- Vzhľadom na relatívne malú vzdialenosť medzi koncovými bodmi základnice je vplyv ionosféry rovnaký.
- Demonštrácia výsledkov 1.5 h intervalu meraní analyzovaných softvérom BV50



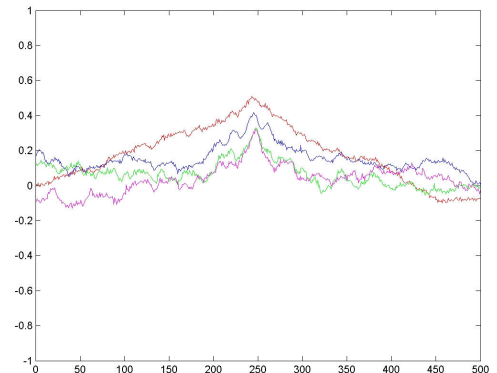
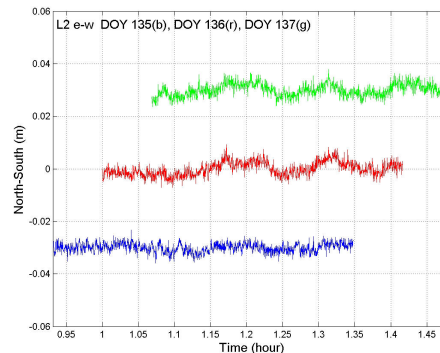
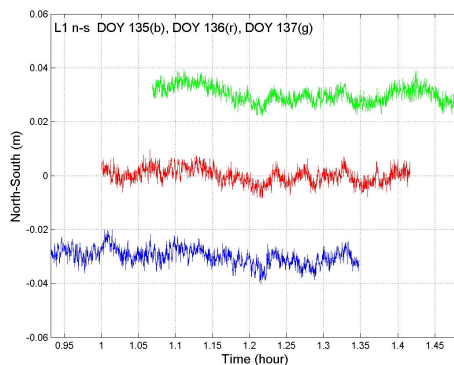
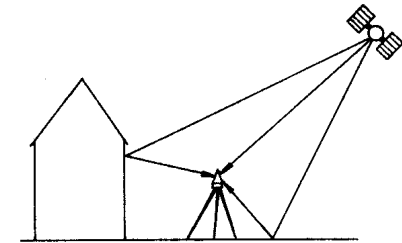
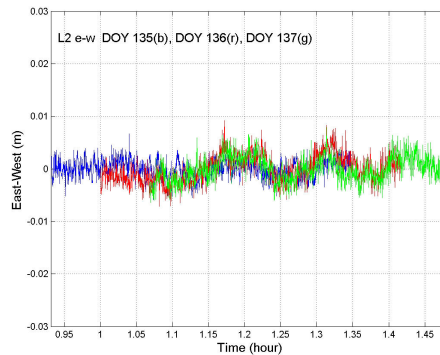
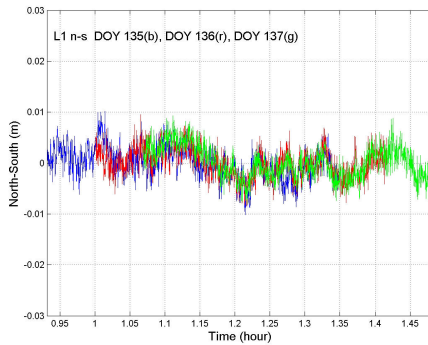
Meranie s 1 Hz záznamom na 400 m základnici na STU v Bratislave

- Experiment s cieľom stanoviť možnosti detekcie polohových zmien monitorovaného bodu, ak referenčný bod je v jeho blízkosti (do 3 - 5 km).
- Priebehy samostatných riešení na L1 a L2 sa významne odlišujú, rozdiely medzi frekvenciami dosahujú až 20 mm.
- Príčina – efekt mnohosmerného šírenia sa signálu (multipath), ktorý sa pri 1 Hz určeníach polohy neredukuje. Merania boli na plochých strechách + prejav odrazov na okolitých plechových kupolách



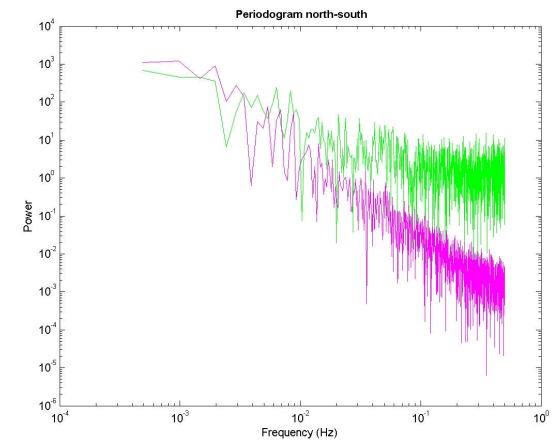
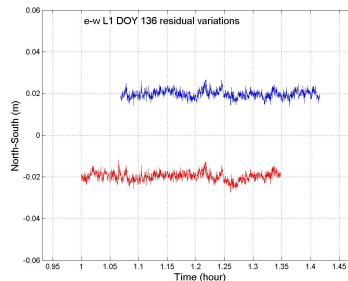
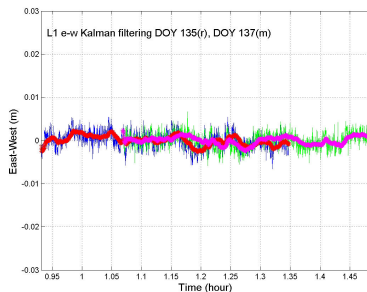
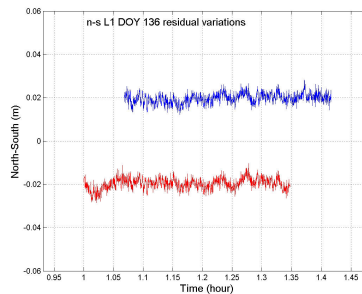
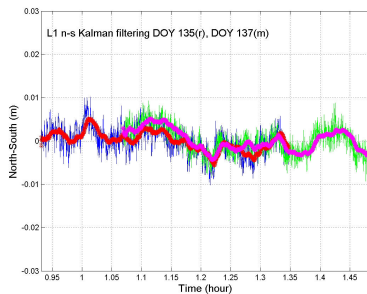
Meranie s 1 Hz záznamom na 400 m základnici na STU v Bratislave

- Ak porovnáme záznamy meraní v troch po sebe nasledujúcich dňoch, je zrejماً ich opakovateľnosť po čase ~ 23 h 56 m (~ 1 hviezdny deň – opakovanie rovnakej konfigurácie družíc nad daným miestom) – dôsledok efektu multipath.
- Presnú hodnotu opakovania získame pomocou odhadu vzájomnej korelácie záznamov meraní v dvoch po sebe nasledujúcich dňoch a je cca. 24 h – 250 s



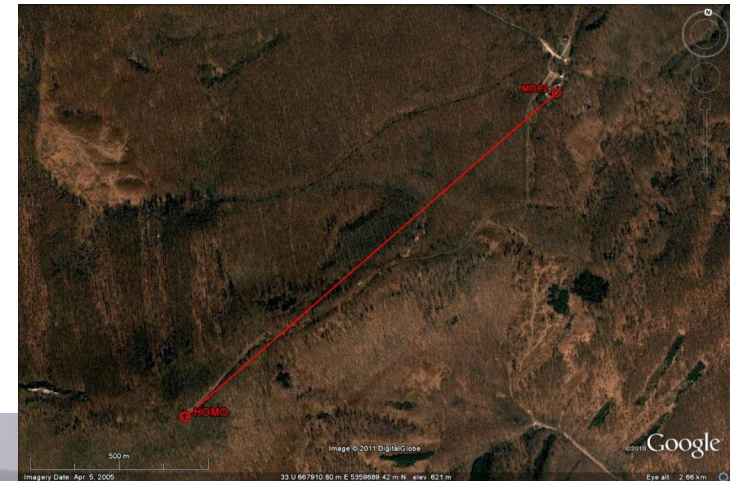
Meranie s 1 Hz záznamom na 400 m základnici na STU v Bratislave

- Uvedené poznatky umožňujú redukciu efektu multipath metódou „sidereal filtering“ (Larson, 2007). Sú k tomu potrebné záznamy z 2, resp. 3 po sebe nasledujúcich dní.
- Princíp: priebeh meraní v dni 2 redukujeme o priebeh meraní v dni 1 (resp. v dni 3), čím potlačíme vplyv multipath.
- Výsledný efekt sa ešte zvýši, ak pre merania v dni 1 (resp. v dni 3) použijeme vysokofrekvenčný filter.
- Spektrálna hustota sa významne zníži pre frekvencie vyššie ako 0.01 Hz. Uvedený postup dáva možnosť detekcie krátkodobých variácií s amplitúdou väčšou ako 7 mm.



Experiment – monitorovanie výkyvov rozhľadne na Veľkej Homoli

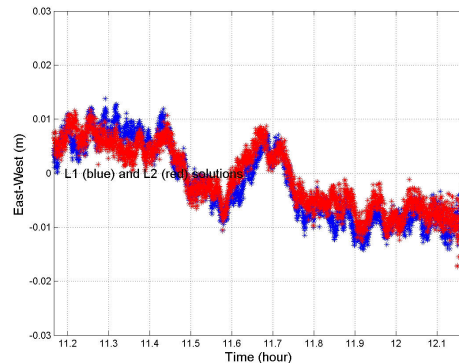
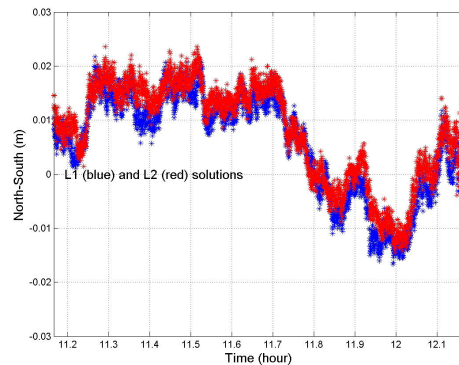
- Základnica: permanentná stanica MOP2 – HOMO (vrchol rozhľadne), dĺžka 1415 m
- Meranie 20.4.2010, spracovanie BSV5, samostatný odhad pre frekvencie L1 a L2



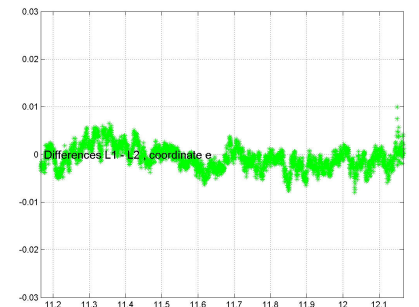
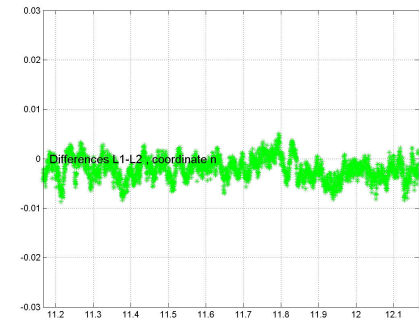
Experiment – monitorovanie výkyvov rozhľadne na Veľkej Homoli

- Zhoda meraní na L1 a L2 v rozsahu 10 mm – relatívne menší vplyv multipath (okolie – nerovný, členitý terén, lesy).
- Pozorované oscilácie až 35 mm (v smere sever-juh).
- Nemožno použiť „sidereal filtering“ – nepredikovateľný a neopakovaný pohyb rozhľadne v po sebe nasledujúcich dňoch.

Výsledky meraní
polohy
na L1 a L2

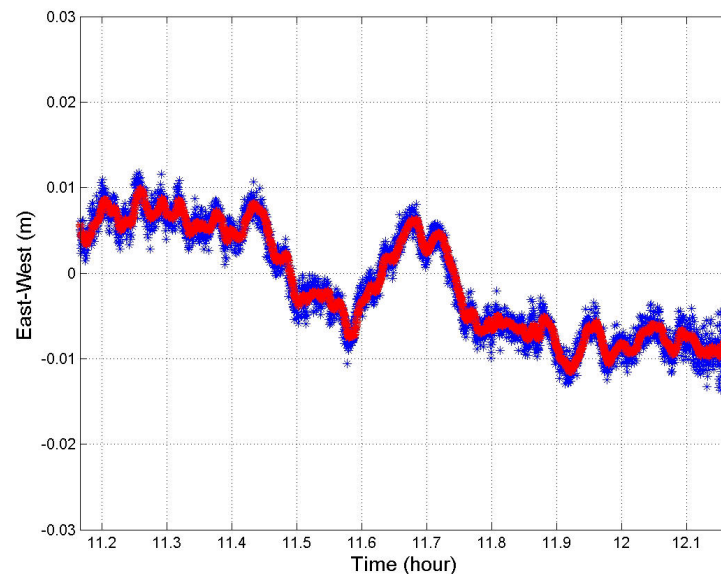
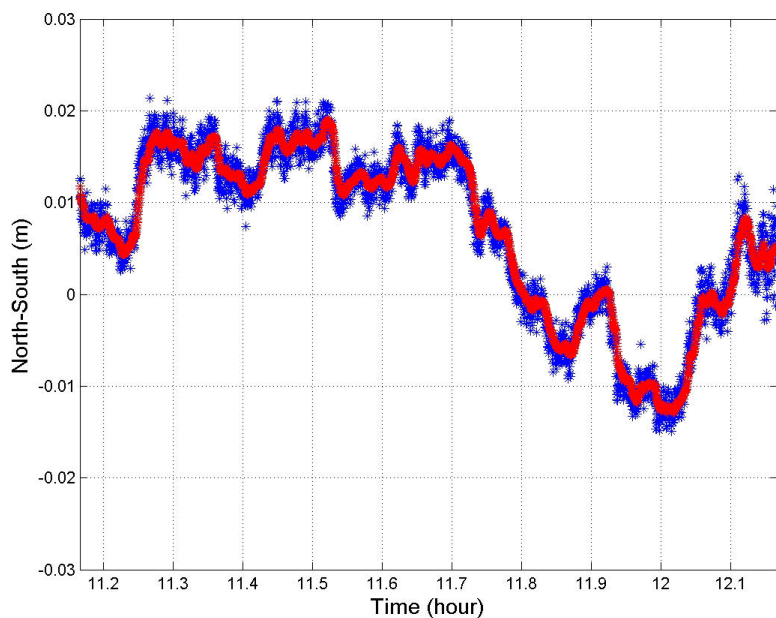


Rozdiel
frekvencií
L2-L1



Experiment – monitorovanie výkyvov rozhl'adne na Veľkej Homoli

- Metóda spracovania: kombinácia L1 a L2, následne Kalmanova filtrácia.
- Variácie horizontálnej polohy sú jednoznačne identifikovateľné.
- Charakter pozorovaných oscilácií počas 1 h: zmena ~ 30 mm v intervale 20 min, zmeny ~ 10 mm v intervaloch 1 min.

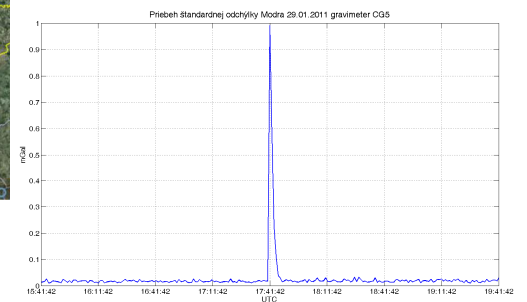
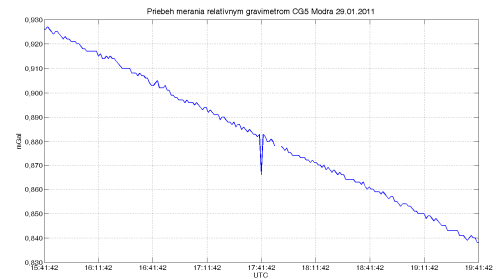
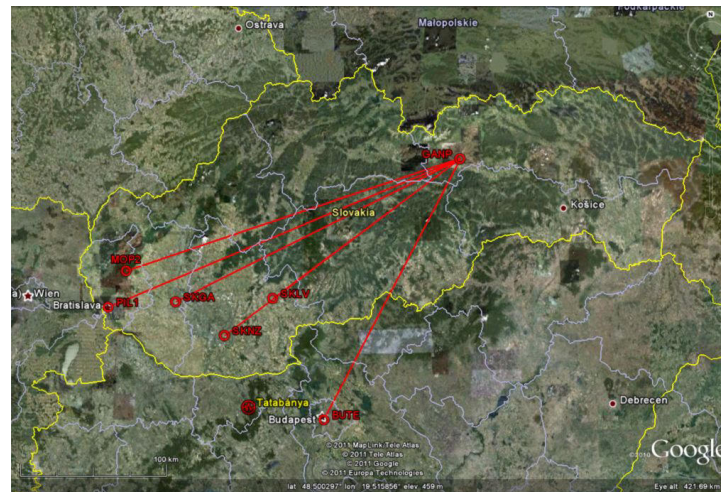
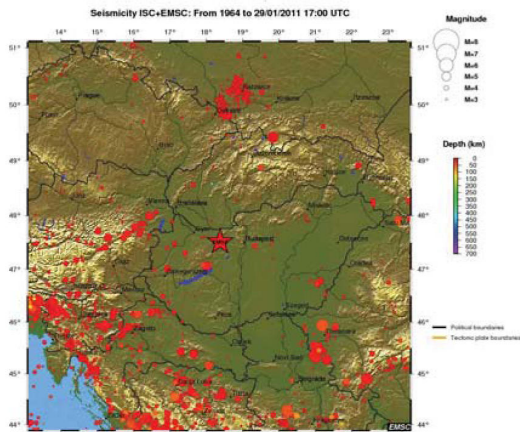


Zemetrasenie Tatabánya, 29.1.2011

- Zemetrasenie M 4.8, dňa 29.1.2011 o 17:41:37 UT, 30 km od hraníc Slovenska
- Makroseizmické účinky do 100 km, najviac hlásení: Komárno, Nové Zámky, Nitra, Levice, Bratislava (Madarás, 2011)
- K dispozícii merania GPS s 1 Hz záznamom zo staníc: Budapešť (EPN), Modra-Piesok, Gánovce (EPN, SKPOS), Nové Zámky, Galanta, Levice (SKPOS), SUT Bratislava.
- Metóda analýzy: Základnice GANP-xxxx na frekvencii L3 (dĺžky 150 – 250 km). Predpoklad – pozorovateľné účinky budú na bodoch xxxx (BUTE, MOP2, SKNZ, SKGA, SKLV, PIL1).
- K dispozícii sú aj merania 30.1.2011 – možnosť aplikácie „sidereal filtering“.

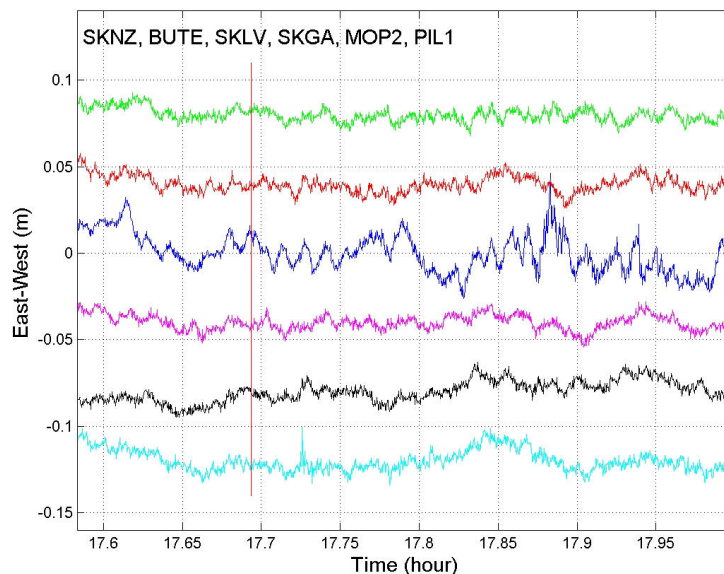
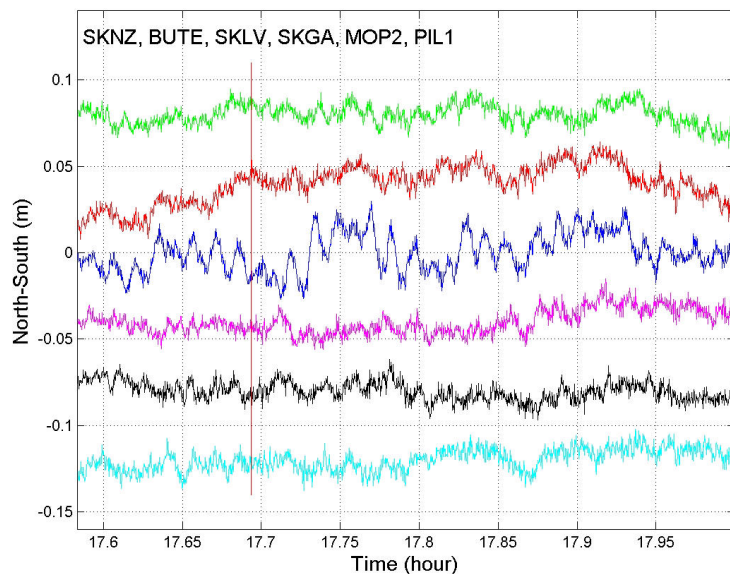
Zemetrasenie Tatabánya, 29.1.2011

- Epicentrum (Madarás, 2011), analyzované základnice GPS a efekt zaznamenaný gravimetrom CG-5 v Modre-Piesku



Zemetrasenie Tatabánya, 29.1.2011

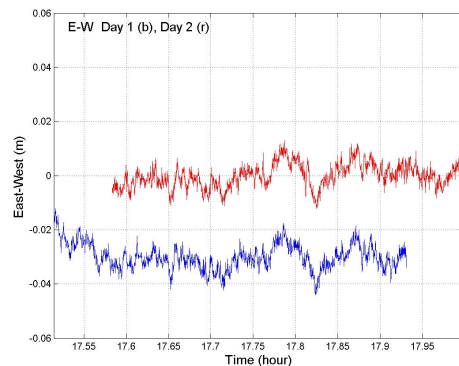
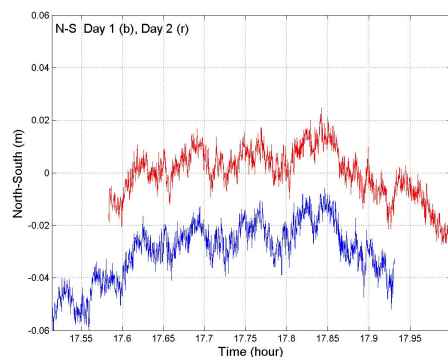
- Záznam 1 Hz meraní GPS v intervale 17h 35min – 18h 00min na 6 permanentných staniciach.
- V súvislosti zo zemetrasením primárne nie je viditeľný žiadny zreteľný efekt.
- Najvýraznejší multipath je na BUTE a SKLV ~ 50 mm.
- Možno aplikovať sidereal filtering – k dispozícii sú merania z 28.1. aj 30.1.



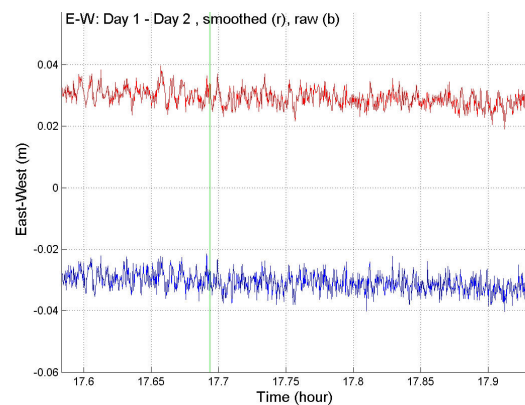
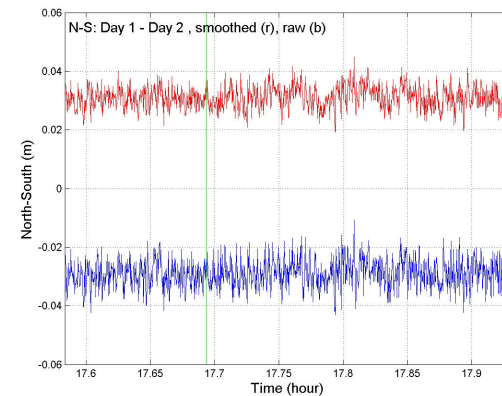
Zemetrasenie Tatabánya, 29.1.2011 – permanentná stanica BUTE

- 50 km od epicentra, P-vlny dosiahli BUTE po 10 s.
- Aplikácia sidereal filtering umožňuje detekciu variácií > 10 mm.
- Pohyby BUTE relatívne ku GANP z 196 km základnice.

Záznam
horizontálnych
variácií v
dňoch 29 a 30

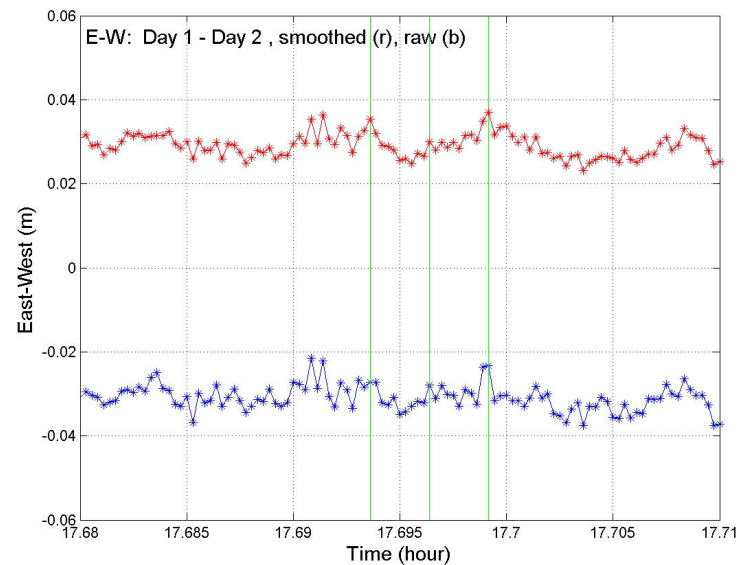
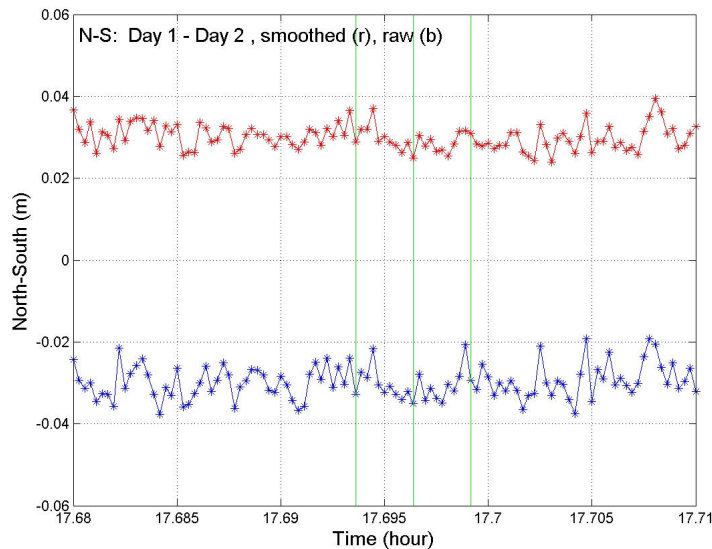


Horizontálne
variácie po
sidereal
filtering



Zemetrasenie Tatabánya, 29.1.2011 – permanentná stanica BUTE

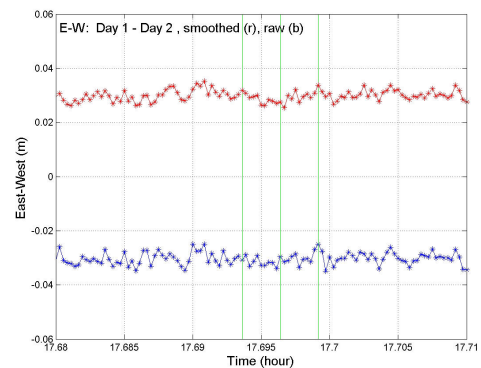
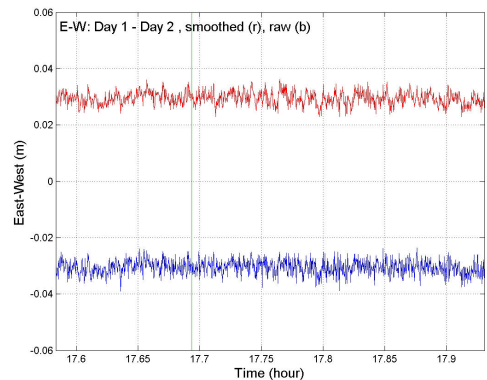
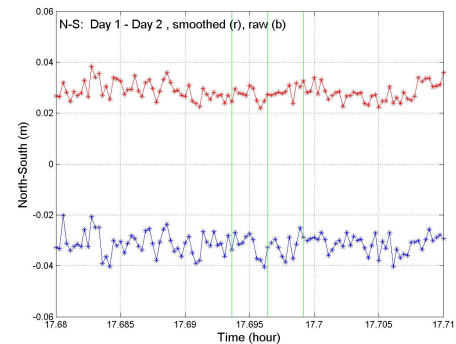
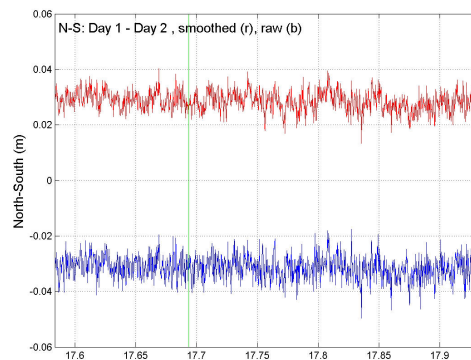
- Detail záznamu horizontálnych zmien
- EPOCHA zemetrasenia E (17h 41m 37s), E+10 s, E+20 s
- Možný efekt v E-W ~ 10 mm, N-S < 5 mm



Zemetrasenie Tatabánya, 29.1.2011 – permanentná stanica SKNZ

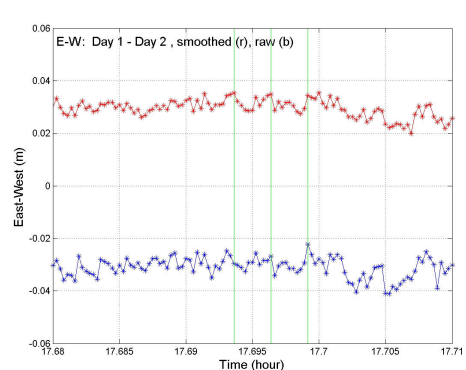
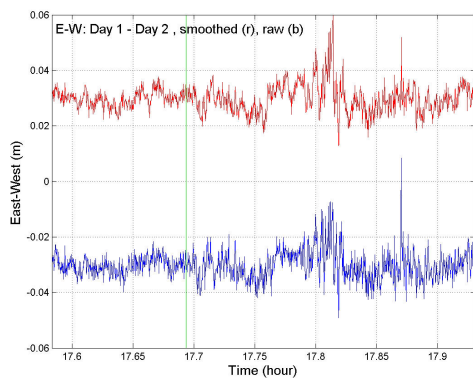
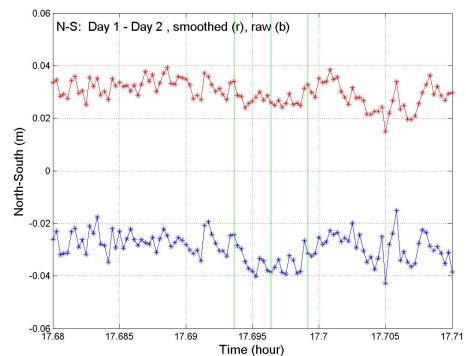
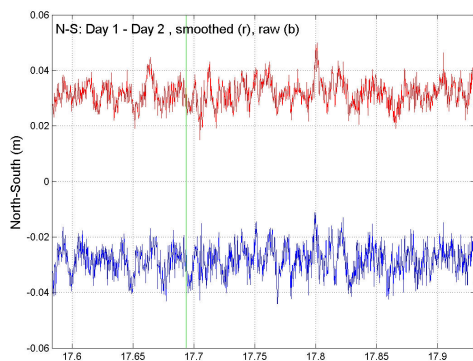
- 50 km od epicentra
- Aplikácia sidereal filtering umožňuje detekciu variácií > 18 mm
- Pohyby SKNZ relatívne ku GANP z 197 km základnice
- Horizontálne pohyby 10 s po epoche E sú menšie ako 10 mm

Horizontálne
variácie po
sidereal
filtering



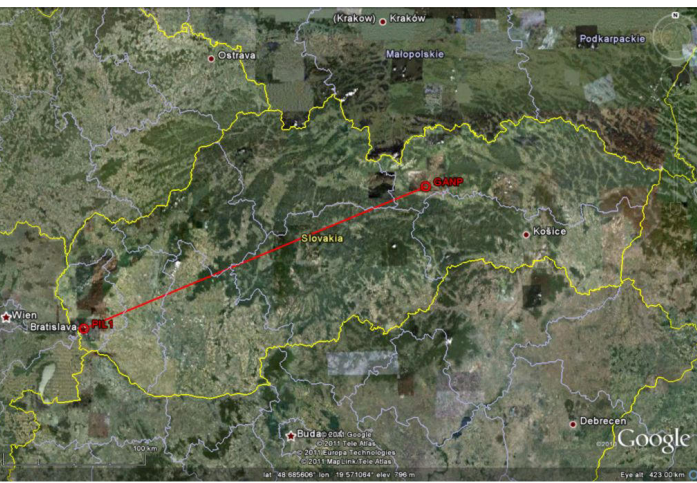
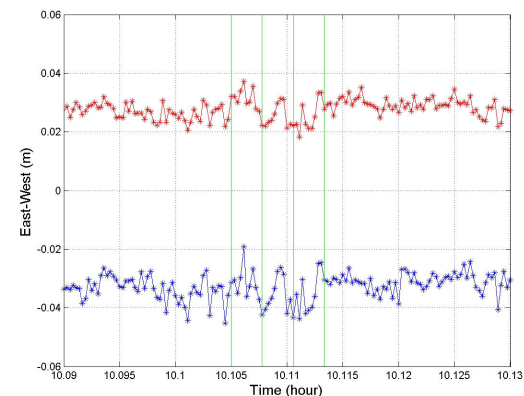
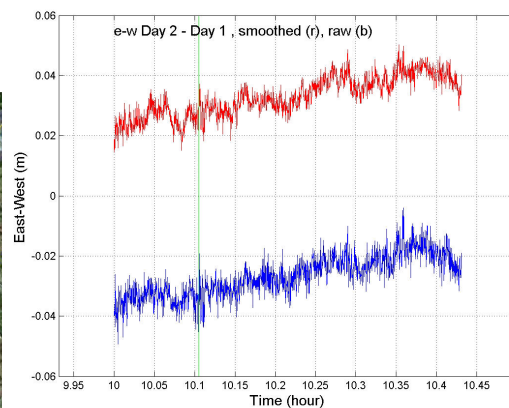
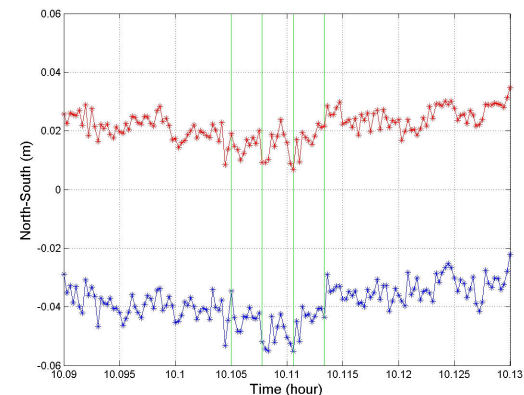
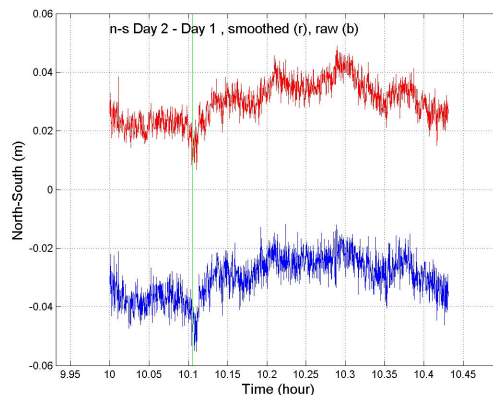
Zemetrasenie Tatabánya, 29.1.2011 – permanentná stanica SKLV

- 60 km od epicentra
- Aplikácia sidereal filtering umožňuje detekciu variácií > 25 mm – nedostatočná eliminácia multipath
- Pohyby SKLV relatívne ku GANP z 156 km základnice
- Horizontálne pohyby 10 s po epoche E sú menšie ako 10 mm



Simulácia krátkodobých oscilácií polohy

- Metodika analýzy účinkov zemetrasenia použitá pri simulácii horizontálnych pohybov s amplitúdou 20 mm v trvaní 30 s.
- Oba záznamy z 25 min intervalu a 2.5 min detailu indikujú simulovanú výchylku v polohe.



Záver

- 1 Hz monitorovanie zmien pomocou fázových meraní GPS umožňuje detekciu horizontálnych variácií > 7 mm na krátkych základniciach (L1+L2) a > 15 mm na dlhých základniciach (L3).
- Použitie „sidereal filtering“ významne redukuje vplyv multipath a je nevyhnutné na dosiahnutie vyššej selektivity metódy.
- Detekcia efektu zemetrasení bude vyžadovať ďalšie analýzy – zvýšenie monitorovacej frekvencie (10 Hz), spracovanie kratších základníc, sieťové riešenia, metóda PPP a pod.
- Predpokladáme ďalšie testy a aplikácie 1 Hz meraní GPS ako aj možnosti využitia GLONASS.