

Technická zpráva č. 1187/2012

Projekt: TAČR/2465/2012

Geodetická infrastruktura - Implementace národní geodetické infrastruktury pro výzkumné a vývojové potřeby v českém rezortu zeměměřičtví a katastru a v rámci mezinárodního projektu "Globální geodetický observační systém" (GGOS)

**Určování časových změn souřadnic stanic GNSS  
na základě využití technologie PPP  
(metodika a software)**

Jan Kostecký

Geodetická observatoř Pecný, říjen 2012

## Úvod

Níže zmíněná metodika popisuje postup využití permanentního měření technologií GNSS na permanentních stanicích za účelem určení časových změn souřadnic těchto stanic. Výsledky nalézají aplikaci v tzv. „GNSS-seismice“, kdy detekované posuny, které nastaly během zemětřesení, mohou sloužit spolu s výsledky seismických pozorování, jako okrajové podmínky při tvorbě modelu detekce zlomových linií v zemské kůře.

## Idea řešení

Data: denní datové soubory měření technologií GNSS na permanentních stanicích, transformované do formátu RINEX (v případě potřeby mohou být soubory i kratší)

Výstup: analýza časového vývoje souřadnic stanice, se zvýrazněním možných skokových posunů, způsobených zemětřesením

## Technologie řešení

- Zpracování denních datových souborů GNSS v analytickém centru NR-Can – řešení PPP (precise point positioning)
- Transformace výsledků do datových souborů pro analýzu časových řad
- Aplikace software pro analýzu časových řad, tvorba aplikačních výstupních souborů
- Analýza časových variací
- Grafické zobrazení výsledků

## Softwarová realizace technologie výpočtu

Softwarový balíček sestává z posloupnosti následujících výpočetních programů:

- P1-Zpracovani\_vysledku\_PPP.exe
- P2-sort.bat
- P3-Analyza\_PPP.exe
- P4-Graf1.exe
- Pomocný program DMJSVYP1.exe pro přiřazení Modifikovaného juliánského dne k občanskému datu

Poznámka: Program P4-Graf připravuje soubory, pro kreslení výsledků programem SURFER. V případě použití jiného softwaru pro kreslení je třeba vstupní soubory modifikovat.

## Postup zpracování

### 1. Výpočty souřadnic z denních souborů technologie GNSS

Jak již bylo řečeno výše, zpracovatelský postup předpokládá využití výsledků technologie PPP, jak je produkuje geodetická složka Kanadské geologické služby (NRCan). Výpočty se provádějí interaktivně přes internet, na základě denních datových zipovaných (či nezipovaných) GNSS souborů ve formátu RINEX 2 nebo RINEX 3. Postup výpočtu je následující:

- Získání přístupových práv na <http://www.geod.nrcan.gc.ca>.

- Po obdržení konta je nutno zvolit jméno uživatele – emailová adresa a zvolit přístupové heslo
- Po vstupu do aplikace se objeví nabídka pro provedení různých geodetických úloh, z níž je třeba vybrat nabídku „CSRS – Precise Point Positioning“. Zde
  - Připojit RINEX soubor
  - Ze „Select Mode Processing“ vybrat „Static“
  - Ze „Select Reference System“ vybrat „ITRF in epoch“
  - Potvrdit, nebo změnit e-mailovou adresu, kam budou zaslány (zpravidla do 5 minut) výsledky
- Pro následující aplikace postačuje z emailové adresy stáhnout pouze soubor s příponou „txt“, který má následující strukturu (ukázka je pro stanici EYPA v Řecku)

#### Obsah souboru s názvem: CSRS-PPP Results for eypa0530.txt

Results of your CSRS-PPP processing can be downloaded by clicking on the following link:

<[http://webapp.csrs.nrcan.gc.ca/ppp\\_data/20110127\\_0238\\_eypa0530/20110127\\_0238\\_eypa0530\\_full\\_output.zip](http://webapp.csrs.nrcan.gc.ca/ppp_data/20110127_0238_eypa0530/20110127_0238_eypa0530_full_output.zip)>

~~~~~eypa0530  
 ~~~~~

The estimated coordinates / standard deviations for the eypa0530 RINEX file are as follow:

Latitude (ITRF05): 38 25 36.3315 (dms) / **0.002** (m)  
 Longitude (ITRF05): 21 55 42.2298 (dms) / **0.006** (m)  
 Ellipsoidal Height (ITRF05): **197.096** (m) / **0.012** (m)

UTM (North) Northing: **4253574.586**m Easting: **581036.984**m Zone: 34 Scale Factor: 0.99968

Orthometric Height CGVD28 (HTv2.0): NOT\_DEFINED

URL to PDF summary file:

<[http://webapp.csrs.nrcan.gc.ca/ppp\\_data/20110127\\_0238\\_eypa0530/zip\\_dir\\_1/eypa0530.pdf](http://webapp.csrs.nrcan.gc.ca/ppp_data/20110127_0238_eypa0530/zip_dir_1/eypa0530.pdf)>

URL to file of observations residual and satellites azimuth and elevation:

<[http://webapp.csrs.nrcan.gc.ca/ppp\\_data/20110127\\_0238\\_eypa0530/zip\\_dir\\_1/eypa0530\\_res.zip](http://webapp.csrs.nrcan.gc.ca/ppp_data/20110127_0238_eypa0530/zip_dir_1/eypa0530_res.zip)>

GPS Orbits & Clocks Used: IGS Final

WGS84 ellipsoid used for (x,y,z) to (lat,long,h) transformation

~~~~~  
 ~~~~~

Pro další zpracování se budou využívat barevně vyznačené veličiny – elipsoidická výška a rovinné souřadnice v systému UTM a příslušné střední chyby (směrodatné odchylky). Pro další vysvětlení označme tento výstup symbolem **D1**.

## 2. Zpracování výsledků PPP

- K dalšímu zpracování je použit program P1-Zpracovani\_vysledku\_PPP.exe

Program musí být uložen ve stejném adresáři, jako jsou datové soubory **D1**. V jedné „várcce“ lze zpracovávat data pouze z jednoho kalendářního roku, vzhledem k tomu, že soubory D1 obsahují pouze pořadové číslo dne v příslušném roce.

Vstupní soubory:

- data\_PPP.inp
- redukce\_PPP.inp

Výstupní soubory:

- souřadnice\_PPP.dat
- x.dat
- x.blm
- y.dat
- y.blm
- z.dat
- z.blm

- soubor **data\_PPP.inp** obsahuje seznam vstupních D1 souborů – viz ukázka

21.01.2011	09:54	1ý736	<b>CSRS-PPP Results for eypa0010.txt</b>
21.01.2011	10:00	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0020.txt
21.01.2011	10:00	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0030.txt
21.01.2011	10:02	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0040.txt
21.01.2011	10:02	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0050.txt
21.01.2011	10:02	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0060.txt
21.01.2011	10:03	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0070.txt
21.01.2011	10:03	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0080.txt
21.01.2011	10:04	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0090.txt
21.01.2011	10:05	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0100.txt
21.01.2011	10:05	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0110.txt
21.01.2011	10:05	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0120.txt
21.01.2011	10:06	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0130.txt
21.01.2011	10:07	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0140.txt
19.01.2011	08:51	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0150.txt
19.01.2011	08:52	1ý736	CSRS-PPP Results for eypa0160.txt

Soubor data.inp je možno pořídít instrukcí **dir >data.inp**, zadanou v příslušném adresáři.

Soubor je třeba editovat (vymazat nepotřebné řádky), název datového souboru je vyznačen barevně. V souboru záleží na pozici názvu D1 souboru, musí zaujímat pozice mezi 37-70 sloupcem.

- Soubor **redukce\_PPP.inp** – viz ukázka –
  - Rok výpočtu (soubory D1 neobsahují údaj o roku výpočtu)
  - Měřítka kresby chybových úseček – volí se „zkusmo“
  - Redukční veličiny, o které budou redukovány výsledné rovinné souřadnice. Následná analýza totiž předpokládá, že variace souřadnic budou nejvýše v dm. Stanovení redukčních veličin se provádí experimentálně, někdy také s ohledem na to, aby se grafické zobrazení výsledků vešlo do jednoho grafu (výsledné x, y, h budou příslušně „odsazeny“). V souboru nezáleží na pozicích vstupních dat.

2010	!	rok vypoctu, pro který jsou v adresari data
1.0	!	nasobny koeficient rms pro kresleni usecek chyb
4253574.50	!	x-redukce
581036.90	!	y-redukce
197.10	!	h-redukce

- Soubor **souřadnice\_PPP.dat** - viz ukázka - obsahuje
  - Modifikované juliánské datum ve dnech

- Rovinné souřadnice v UTM (x – složka na sever, y – složka na východ v metrech)
- Elipsoidickou výšku nad elipsoidem WGS84 v metrech
- Název souboru, ze kterého byla data vybrána
- Směrodatné odchylky v x, y, h v metrech

55197.0	4253574.580	581036.981	197.165	CSRS-PPP Results for
eypa0010.txt	0.003	0.007	0.010	
55198.0	4253574.599	581036.967	197.137	CSRS-PPP Results for
eypa0020.txt	0.003	0.006	0.010	
55199.0	4253574.599	581036.959	197.127	CSRS-PPP Results for
eypa0030.txt	0.002	0.006	0.010	
55200.0	4253574.593	581036.981	197.142	CSRS-PPP Results for
eypa0040.txt	0.003	0.006	0.010	
55201.0	4253574.589	581036.976	197.150	CSRS-PPP Results for
eypa0050.txt	0.003	0.007	0.010	
55202.0	4253574.586	581036.981	197.154	CSRS-PPP Results for
eypa0060.txt	0.002	0.006	0.010	

- Soubory **x.dat**, **y.dat** a **z.dat** – viz ukázka – obsahují data ve formátu, vhodném pro následnou analýzu a kresbu:
  - Modifikované juliánské datum ve dnech
  - Redukované souřadnice (buď x, nebo y, nebo z)
  - Název souboru, ze kterého byla data vybrána

55197.0	8.000	CSRS-PPP Results for	eypa0010.txt
55198.0	9.900	CSRS-PPP Results for	eypa0020.txt
55199.0	9.900	CSRS-PPP Results for	eypa0030.txt
55200.0	9.300	CSRS-PPP Results for	eypa0040.txt
55201.0	8.900	CSRS-PPP Results for	eypa0050.txt
55202.0	8.600	CSRS-PPP Results for	eypa0060.txt
55203.0	8.600	CSRS-PPP Results for	eypa0070.txt
55204.0	8.900	CSRS-PPP Results for	eypa0080.txt
55205.0	8.600	CSRS-PPP Results for	eypa0090.txt
55206.0	8.900	CSRS-PPP Results for	eypa0100.txt
55207.0	9.000	CSRS-PPP Results for	eypa0110.txt
55208.0	9.000	CSRS-PPP Results for	eypa0120.txt
55209.0	9.000	CSRS-PPP Results for	eypa0130.txt
55210.0	9.000	CSRS-PPP Results for	eypa0140.txt
55211.0	9.300	CSRS-PPP Results for	eypa0150.txt
55212.0	8.900	CSRS-PPP Results for	eypa0160.txt
55213.0	9.000	CSRS-PPP Results for	eypa0170.txt

- Soubory **x.blm**, **y.blm** a **z.blm** – viz ukázka – obsahují data pro kreslení chybových úseček, ve formátu „blm“, který vyžaduje software SURFER

2	0
55197.0	7.70
55197.0	8.30
2	0
55198.0	9.60
55198.0	10.20
2	0
55199.0	9.70
55199.0	10.10
2	0
55200.0	9.00
55200.0	9.60
2	0
55201.0	8.60
55201.0	9.20

```

2 0
55202.0 8.40
55202.0 8.80
2 0
55203.0 8.30
55203.0 8.90
2 0
55204.0 8.60
55204.0 9.20

```

### 3. Vytváření finálního datového souboru pro analýzu

V případě, že budou společně analyzována data z různých let, je třeba předchozí krok z odstavce 2 provést vícekrát. Vzhledem k tomu že program P1 dává výsledným souborům vždy stejný název, je třeba zavést vlastní pojmenování výsledných souborů standardním přejmenováním. Jde o soubory x.dat, y.dat a z.dat, případně x.blm, y.blm a z.blm.

Dalším krokem je spojení výše zmíněných souborů do souboru jednoho, např. funkcí **copy**, nebo pomocí **textového editoru (např. edit)**.

Pro analýzu musí být data setříděna vzestupně a při tvorbě souborů x.dat, y.dat a h.dat se mohlo stát, že soubor data.inp obsahoval seznam vstupních souborů „na přeskáčku“. V tomto případě je nutné použít programu **P3-sort.bat**, - viz ukázka - který data setřídí. Soubor typu „bat“ je možno editovat.

```

Sort <x.dat >x-sort.dat
sort <y.dat >y-sort.dat
sort <h.dat >h-sort.dat

```

Jména vstupních souborů je možno volit libovolně, tak, jak vznikla na základě slučování datových souborů.

### 4. Analýza dat

Analýza dat se provádí programem **P3-Analyza\_PPP.exe**. Jde o software, který je založen na tzv. „anharmonické analýze“, která byla na geodetické problémy poprvé aplikována prof. Petrem Vaníčkem. Podstatou programu, který je dílem Jana Vondráka a byl modifikován Janem Kosteckým, je analýza dat empirickým prokládáním nejvhodnější aproximační křivky technologií MNČ, výsledkem jsou pak parametry této aproximační křivky, tvořené kombinací polynomických a harmonických členů. V současné době dostupnější popis této metody je uveden v [1].

Program, který pracuje v dialogovém režimu, má

- Vstupní soubory ve formátu souboru x-sort.dat, předpokládejme, že soubor má název *jmeno.dat* (přípona „dat“ je povinná!)
- Dialog je znázorněn na ukázce:

```

PROGRAM ANAL
ZADEJ STUPEN POLYNOMU, GMIN, PMAX, PMIN'
0 0.3 0 0
ZADEJ POCET VNUCENYCH PERIOD, pokud nejsou zadej nulu'
0
ZADEJ JMENO VSTUPNIHO SOUBORU (MUSI MIT PRIPONU "DAT")
JMENO SE ZADAVA BEZ PRIPONY !
x-sort

```

### Vysvětlivky:

- Stupeň polynomu je volitelný a záleží na konkrétní úloze – 0 znamená, že se určuje pouze konstantní posun, 1 – konstantní posun a trend, 2 - konstantní posun, trend a parabola 2. stupně, atd.
- GMIN je hodnota “významnosti periodogramu” – viz [1] – doporučená hodnota je 0.3
- PMAX, PMIN jsou maximální a minimální hledaná perioda, pokud se zadají nuly bude PMAX celý interval dat a PMIN se spočte jako maximální interval mezi sousedními daty
- Výstup programu je pak tvořen soubory
  - *Jmeno.lst*, který obsahuje rozsáhlou sadu komplexních výsledků analýzy
  - *Jmeno-sur.dat*, soubor pro kresbu dat SURFERem
  - *Jmeno-sur.blm*, soubor pro kresbu dat SURFERem
  - *Jmeno-graf.dat*, vstupní soubor pro následný výpočetní program **P4-Graf1.exe**
- Výstupní soubor ***Jmeno.lst***. Tento poněkud komplikovaný výstup obsahuje
  - Parametry aproximačního polynomu a jejich aposteriorní směrodatné odchytky
  - Parametry aproximačních kosinusovek a směrodatné odchytky těchto parametrů
  - Grafické znázornění relativního periodogramu

### Detailnější popis některých údajů je v ukázce:

```
PROGRAM ANAL
RESULTS OF EVALUATION FOR SERIE : 55912.0000 - 55980.0000
COEF. OF POLYN. EXPANSION ( AND SDS )

A      0.88655E+01  konstatni člen
M A    0.40930E-01  směrodatná odchytka

      P      AMP (COS)  AMP (SIN)           M A (COS)  M A (SIN)

      P      AMP (COS)  AMP (SIN)           M A (COS)  M A (SIN)

4.221   0.0929   0.1611           0.0536   0.0548
4.904  -0.0471  -0.1408           0.0545   0.0539
10.381 -0.1357  -0.0439           0.0545   0.0534

Nalezené amplitudy {cm} směrod. odch. amplitud
nezvýznamější
periody [dny]

MO=0.313496E+00  TO= 34.0
Jednotková střední chyba

Redukovaný časový údaj vstupní data aprox. data oprava v
      T      X      X'      V
1      -34.0000000  8.6000  8.9004 -0.300442E+00
2      -33.0000000  9.6000  9.0387 0.561321E+00
3      -32.0000000  9.3000  8.8591 0.440937E+00
4      -31.0000000  8.9000  8.6914 0.208647E+00
5      -30.0000000  8.9000  8.8435 0.565494E-01

pokračování
```

*periodogram relativní hodnoty významnosti jednotlivých period G*

LNF	P	G	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
-4.23	68.72	0.222	I		*								
-4.20	66.69	0.215	I		*								
-4.17	64.72	0.207	I		*								
-4.14	62.80	0.198	I		*								
-4.11	60.95	0.188	I		*								

*Pokračování*

## 5. Grafické výstupy

Pro grafické výstupy je možno použít různé softwarové produkty. V našem případě používáme software SURFER (verze 7.0, ale na platformě nezáleží)

Pro vykreslení variací výsledných poloh a jejich středních chyb slouží soubory **x.dat**, **y.dat**, **h.dat** a **x.blm**, **y.blm** a **h.blm**. Na x-ové ose se vynáší čas vyjádřený v MJD (modifikované juliánské datum).

Za účelem vykreslení aproximační křivky, určené programem P3, byl vytvořen program **P4-Graf1.exe**. Program vykreslí aproximační křivku, založenou na ručně zadaném počtu period, nalezených programem P3 (určení počtu se provádí na základě studia souboru **jmemo.lst**)

Vstupním souborem je soubor **jmemo-graf.dat**, toto jméno se zadává interaktivně viz ukázka:

```
PROGRAM GRAF1
Zadej jmeno vstupniho souboru bez pripony
(pripona musi byt dat!)
  x-sort-graf
zadej pocet period, chybu v mm'
  3 2.0
```

Vysvětlivky: vstupní soubor **x-sort-graf-dat** byl vytvořen programem P3, podobně je tomu pro složky **y** a **h**. Zadaný počet period byl zvolen na základě analýzy výstupního souboru **jmemo.lst** (zde konkrétně **x-sort.lst**). V tomto souboru se ukázalo, že při aproximaci třemi kosinusovými je „zbytková“ jednotková střední chyba na úrovni chyby ve složce **x** (sever-jih) – viz odstavec 1.

Výstupem jsou soubory:

- **Jmemo-sur1.blm** (zde např. **x-sort-graf-sur1.blm**), který slouží k vykreslení aproximační křivky programem SURFER
- **Jmemo-sur2.blm** (zde např. **x-sort-graf-sur2.blm**), který slouží k vykreslení obalové křivky o velikosti zadané střední chyby programem SURFER

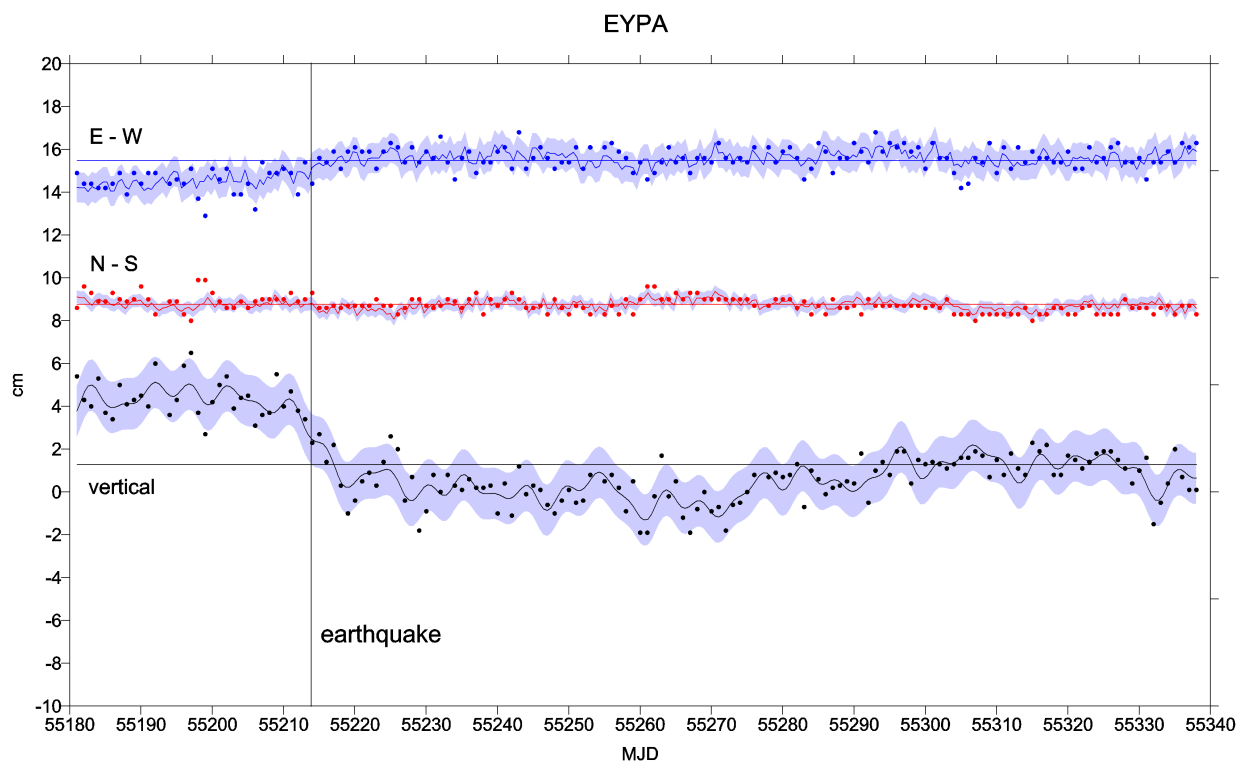
Pro zpřehlednění grafických výstupů je ještě přidán výpočetní program **DMJSVYP1.exe**, který počítá k zadanému občanskému údaji (den, měsíc, rok, hodiny, minuty, sekundy) modifikované juliánské datum. Vstup do programu je zcela interaktivní a tak jednoduchý, že ho není třeba popisovat, ukázka výstupu je v příloze:

DATUM	UT1	MJD	SVET.	HV.	CAS	(HV.	CAS V RAD)
1. 1 2009	0: 0:	.000	54832.00000000	6:43:	7.140	1.758938441	
2. 1 2009	0: 0:	.000	54833.00000000	6:47:	3.693	1.776141089	
3. 1 2009	0: 0:	.000	54834.00000000	6:51:	.245	1.793343632	

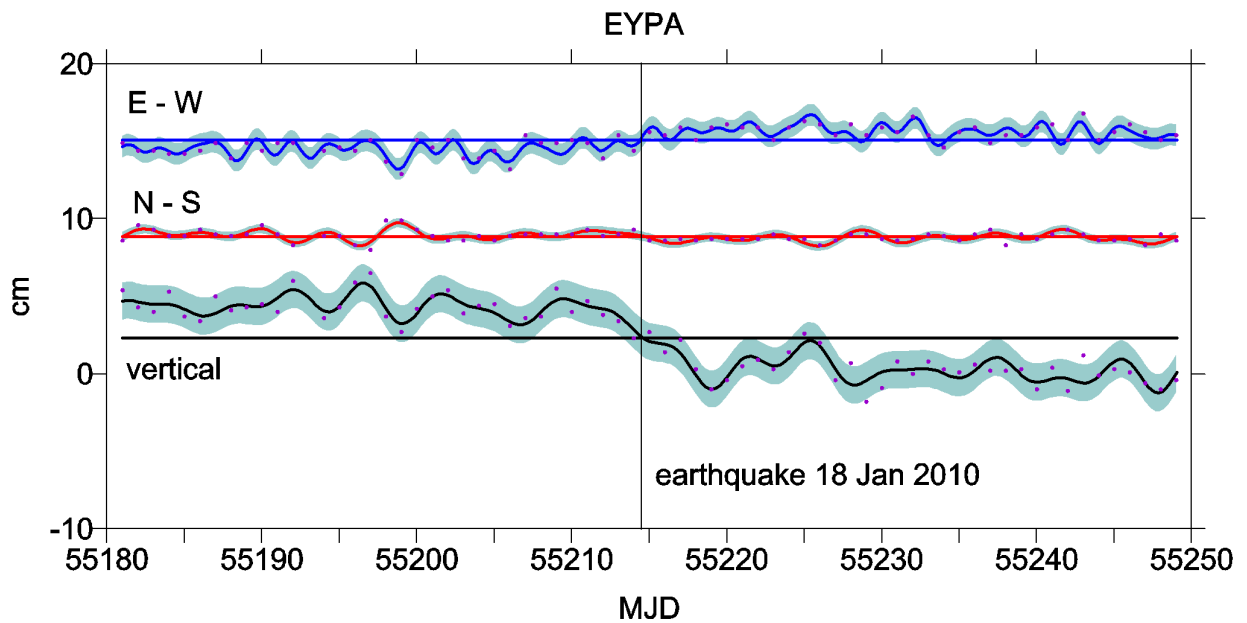


4.	1	2009	0: 0:	.000	54835.00000000	6:54:56.797	1.810546155
5.	1	2009	0: 0:	.000	54836.00000000	6:58:53.350	1.827748761
6.	1	2009	0: 0:	.000	54837.00000000	7: 2:49.905	1.844951560
7.	1	2009	0: 0:	.000	54838.00000000	7: 6:46.464	1.862154640
8.	1	2009	0: 0:	.000	54839.00000000	7:10:43.028	1.879358033
9.	1	2009	0: 0:	.000	54840.00000000	7:14:39.595	1.896561686
10.	1	2009	0: 0:	.000	54841.00000000	7:18:36.164	1.913765457
11.	1	2009	0: 0:	.000	54842.00000000	7:22:32.732	1.930969153
12.	1	2009	0: 0:	.000	54843.00000000	7:26:29.296	1.948172599
13.	1	2009	0: 0:	.000	54844.00000000	7:30:25.856	1.965375703
14.	1	2009	0: 0:	.000	54845.00000000	7:34:22.411	1.982578480
15.	1	2009	0: 0:	.000	54846.00000000	7:38:18.963	1.999781031
16.	1	2009	0: 0:	.000	54847.00000000	7:42:15.514	2.016983491
17.	1	2009	0: 0:	.000	54848.00000000	7:46:12.065	2.034185983
18.	1	2009	0: 0:	.000	54849.00000000	7:50: 8.618	2.051388594
19.	1	2009	0: 0:	.000	54850.00000000	7:54: 5.173	2.068591372

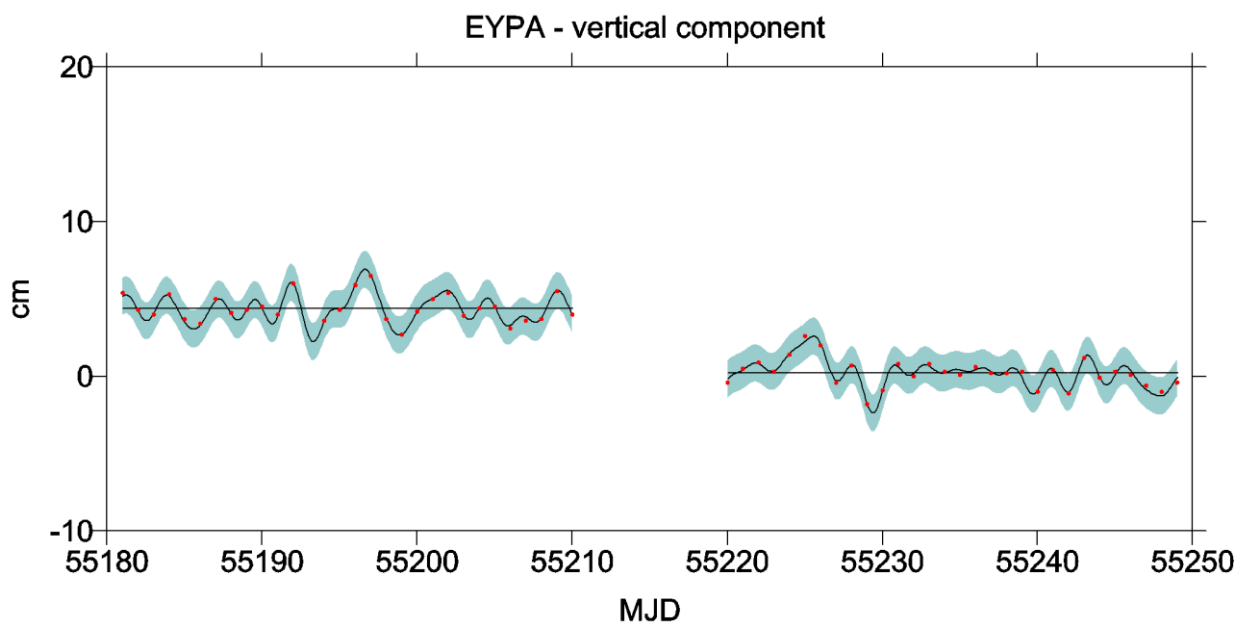
### Ukázka grafických výstupů



Ukázka výsledků analýzy posunů stanice GPS EYPA (Efpalio) v Řecku před, během a po zemětřesení, které se událo 18.1.2010 (MJD 55214)



Ukázka výsledků analýzy posunů stanice GPS EYPA (Efpalio) v Řecku před, během a po zemětřesení, které se událo 18. 1. 2010 (MJD 55214) – menší interval dat



Ukázka výsledků analýzy posunů stanice GPS EYPA (Efpalio) v Řecku před a po zemětřesení, které se událo 18. 1. 2010 (MJD 55214) – analýza byla provedena před zemětřesením a po něm s vynecháním kritického intervalu. Na základě analýzy byl detekován skok ve výšce o velikosti 4 cm. Tato hodnota byla použita k vytvoření tektonického modelu ve sledované oblasti.

## **Závěr**

Výše uvedený postup a příslušné softwarové vybavení je možno používat ve vhodných kombinacích v závislosti na typu řešené úlohy. Software tvoří přílohu této zprávy (CD) a je též k dispozici u autora zprávy ve Výzkumném ústavu geodetickém, topografickém a kartografickém.

## **Literatura**

[1] Kostelecký, J., Karský, G.: Analysis of 1970 - 1983 circumzenithal measurements. Bull. Astron. Inst. Czechosl. 38, 1987, p. 16.