

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Test zpracování dat z permanentních GNSS stanic programy Trimble  
Business Center, Trimble Total Control a Leica Geomatic Office**

**GNSS permanent stations data processing test in Trimble Business  
Center, Trimble Total Control and Leica Geomatic Office software.**

Vedoucí práce: Ing. Michal SEIDL, Ph.D.

Katedra speciální geodézie



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Steidl Jméno: Václav Osobní číslo: 410910  
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie  
Studijní program: Geodézie a kartografie  
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Test zpracování dat z permanentních GNSS stanic programy Trimble Business Center, Trimble Total Control a Leica Geomatic Office

Název bakalářské práce anglicky: GNSS permanent stations data processing test in Trimble Business Center, Trimble Total Control and Leica Geomatic Office software.

Pokyny pro vypracování:

Budou zpracována data z období říjen 2013 až prosinec 2015 na spojnici dvou permanentních stanic výše uvedenými programy. Výsledné časové řady udávající polohu určovaného bodu budou vyhodnoceny s cílem porovnat výsledky z jednotlivých softwarů.

Seznam doporučené literatury:

Manuály k programům Trimble Total Control, Trimble Business Center a Leica Geomatic Office  
Hampacher M, Radouch V, Teorie chyb a vyrovnávací počet 10, 20  
Pilgrim M, Dive into Python 3  
NumPy User Guide, <http://docs.scipy.org/doc/>

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Seidl, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 26.2.2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

26.2.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá hodnocením programů na zpracování GNSS dat na spojnici dvou permanentních stanic GOPE a NKOS v programech Trimble Business Center, Trimble Total Control a Leica Geomatic Office. Hodnocení je zaměřeno na výsledky výpočtu a na uživatelský přístup programu s cílem nahradit zastaralý program Trimble Total Control.

## **Klíčová slova**

Trimble Business Center, Trimble Total Control, Leica Geomatic Office, GNSS, GPS, aproximace časové řady harmonickou funkcí, GOPE, NKOS

## **Abstract**

This Bachelor's thesis concentrates on evaluation of GNSS data processing programs on the connector of two permanent GOPE and NKOS stations in Trimble Business Center, Trimble Total Control and Leica Geomatic Office software. The evaluation focuses on the calculation results and user experience of the programs. Its aim is to replace the outdated Trimble Total Control software.

## **Keywords**

Trimble Business Center, Trimble Total Control, Leica Geomatic Office, GNSS, GPS, approximation of time series with harmonic functions, GOPE, NKOS

## **Čestné prohlášení**

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Test zpracování dat z permanentních GNSS stanic programy Trimble Business Center, Trimble Total Control a Leica Geomatic Office“ vypracoval samostatně.

Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne .....

(podpis autora)

## **Poděkování**

V první řadě tímto děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Michalu Seidlovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracovávání této práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu během studia a své partnerce za podporu a pomoc při zpracování této práce.

# Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Technologie GNSS</b> .....	<b>2</b>
1. 1 Globální navigační systémy .....	2
1. 1. 1 GPS NAVSTAR .....	2
1. 1. 2 Další systémy .....	4
1. 2 Metody GNSS .....	5
1. 2. 1 Postprocessing .....	5
1. 2. 2 RTK a PPP .....	6
<b>2 Typy použitých dat</b> .....	<b>7</b>
2. 1 RINEX .....	7
2. 2 Přesné dráhy družic .....	7
2. 3 Globální ionosférické mapy .....	7
2. 4 Modely antén .....	7
<b>3 Referenční stanice</b> .....	<b>8</b>
3. 1 GOPE .....	8
3. 2 NKOS .....	11
<b>4 Zpracování GNSS dat</b> .....	<b>13</b>
4. 1 Trimble Business Center .....	13
4. 1. 1 Nastavení programu .....	14
4. 1. 2 Výpočet .....	15

4. 2 Trimble Total Control .....	15
4. 2. 1 Nastavení programu .....	16
4. 2. 2 Výpočet .....	17
4. 3 Leica Geomatic Office .....	18
4. 3. 1 Nastavení programu .....	19
4. 3. 2 Výpočet .....	21
<b>5 Analýza dat .....</b>	<b>24</b>
5. 1 Předzpracování dat.....	24
5. 1. 1 Úprava dat z programů .....	25
5. 1. 2 Převod dat na NEU .....	25
5. 1. 3 Filtrování odlehlých měření.....	27
5. 2 Výpočet aproximační funkce.....	28
5. 2. 1 Aproximace funkce pomocí Metody nejmenších čtverců .....	29
<b>6 Testování shodnosti programů.....</b>	<b>33</b>
<b>Závěr.....</b>	<b>36</b>
<b>Použité zkratky .....</b>	<b>39</b>
<b>Zdroje .....</b>	<b>40</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>42</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>43</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>44</b>
A. Obsah přiloženého DVD .....	45
B. Grafy surových a vyčištěných dat .....	46
C. Grafy po aproximaci harmonickou funkcí.....	49

# Úvod

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit zpracování GNSS dat na spojnicí dvou permanentních stanic GOPE a NKOS ve třech programech. Hodnoceny budou programy z hlediska vypočtených výsledků a z hlediska uživatelského přístupu za účelem nahrazení zastaralého programu Trimble Total Control novějšími programy Trimble Business Center nebo Leica Geomatic Office.

V úvodní kapitole budou teoreticky probrány základy GNSS měření. Kapitola se bude zabývat informacemi o systému GPS a metodami měření.

Další kapitola se bude zabývat typy dat. Bude zde uvedeno, jaké byly použity typy dat a k čemu slouží.

Třetí kapitola bude zaměřena na permanentní stanice. Bude popsán jejich účel a informace o stanicích použitých k testování.

Ve čtvrté kapitole bude popsáno zpracování dat v jednotlivých programech. Kapitola se bude věnovat typu použitých dat, nastavením programu a postupu výpočtu od importování dat po export.

Pátá kapitola se bude zabývat analýzou dat, které budou spočteny ve čtvrté kapitole. Data budou převedena do zvoleného souřadnicového systému. V tomto systému bude probíhat analýza v daných směrech. Dále bude provedena aproximace harmonickou funkcí za pomoci metody nejmenších čtverců.

Šestá kapitola bude zaměřena na testování shodnosti spočtených parametrů aproximační funkce. Testování bude provedeno pomocí statistických hypotéz.

Závěr se bude věnovat hodnocení jednotlivých parametrů aproximační funkce a výsledků testovacích hypotéz. Dále zde budou zhodnoceny programy z pohledu uživatelského přístupu a na závěr bude doporučeno, zda je vhodné na novější programy přejít.



# 1 Technologie GNSS

Globální navigační družicový systém je pojem označující globální družicové systémy, které určují prostorovou polohu na jakémkoliv místě na Zemi v jakýkoliv čas. Tento pojem vznikl, aby nebyl americký systém GPS NAVSTAR zaměňován s ostatními navigačními systémy.

## 1. 1 Globální navigační systémy

Na Zemi existují civilní i vojenské navigační systémy a ty se skládají ze tří segmentů:

- kosmický
- řídicí
- uživatelský

V rámci této práce byla použita data ze systému GPS NAVSTAR, proto je tento systém probrán podrobněji. Jsou zde zmíněny i některé další systémy.

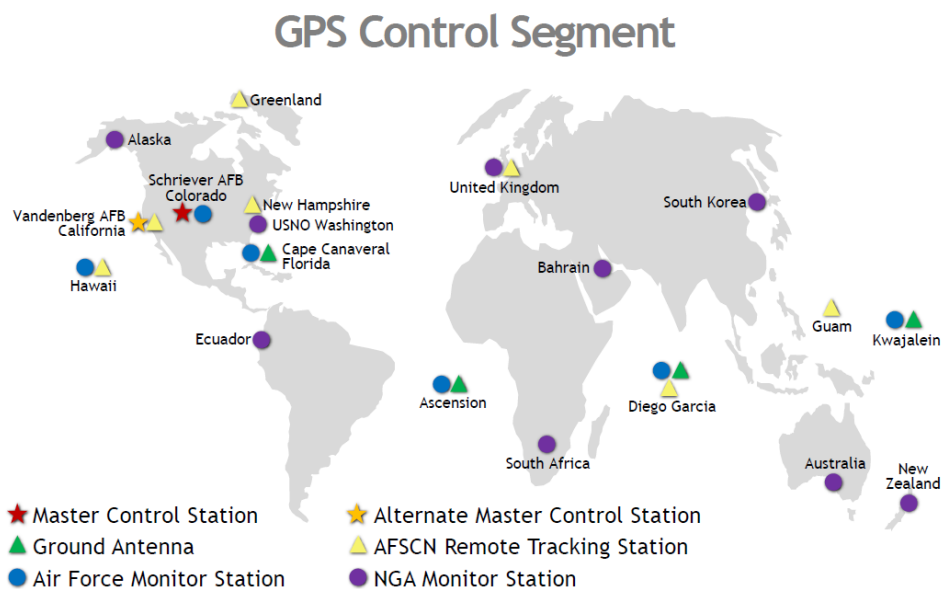
### 1. 1. 1 GPS NAVSTAR

O vzniku tohoto systému rozhodlo roku 1973 americké ministerstvo obrany. Systém GPS měl nahradit stávající dopplerovský systém TRANSIT. Byl budován jako vojenský systém, ale později kongres rozhodl o zpřístupnění pro civilní účely s určitým omezením. Toto omezení bylo v roce 2000 zrušeno a tím byla přesnost pro jednoduché GPS přijímače pětinasobně zlepšena.

Kosmický segment tvoří družice GPS. Družice jsou umístěny v šesti oběžných drahách, které mají téměř kruhový tvar a jsou skloněny oproti rovníku o  $55^\circ$ . Výška oběhu družic je nad povrchem země 20 200 km a jejich rychlost je 11 300 km/h. Oběžná doba je 11 hodin 58 minut, což znamená, že z určitého místa na Zemi je družice vidět při následujícím obletu vždy o 2 minuty dříve. V každé oběžné dráze bylo umístěno 5 družic, z čehož byla vždy jedna záložní. V roce 1995 dosáhl systém po doplnění na 24 družic plné operační schopnosti, což znamená, že na každém místě na Zemi jsou vidět s elevační maskou  $15^\circ$  v každý okamžik minimálně 4 družice. V červnu 2011 bylo úspěšně dokončeno rozšíření původních 24 družic na 27 a to tak, že bylo přemístěno 6 družic, z toho 3 záložní byly začleněny mezi aktivní družice. Výsledkem je lepší pokrytí na většině částí Země.

Ke 22.4.2016 bylo na oběžné dráze 31 aktivních GPS družic ze tří posledních bloků. Nejnovější je šestý blok s označením IIF. Dále jsou na oběžné dráze některé deaktivované družice, které je možné aktivovat.

Řídicí segment je složen z celosvětové sítě pozemních stanic, které sledují a řídí družice. Tzv. operační řídicí systém je tvořen jednou hlavní řídicí stanicí, jednou alternativní hlavní řídicí stanicí, 11 řídicími stanicemi a 15 monitorovacími stanicemi. Hlavní řídicí stanice je umístěna na vojenské základně v Colorado Springs. Tato stanice zajišťuje řízení a integritu celého systému, sbírá informace z monitorovacích stanic, pomocí kterých počítá efemeridy družic, opravy hodin družice a vyhodnocuje „zdraví“ družic. Tyto vypočtené údaje předává řídicím stanicím, které je ve vhodný okamžik odešlou na danou družici. Monitorovací stanice jsou vybaveny přesnými GPS přijímači a sbírají nejen GPS data, ale i atmosférické údaje. Řídicí stanice slouží pro komunikaci s družicemi.



**Obr. 1: GPS řídicí segment**

[Zdroj: <http://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>]

Uživatelský segment je tvořen všemi přijímači GPS. V dnešní době existuje mnoho typů přijímačů, které se liší způsobem použití, počtem přijímaných frekvencí, počtem kanálů a schopností využít kódové měření.

Družice vysílají signály, které jsou sestaveny z nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Tyto složky jsou odvozeny ze základní frekvence družicového

oscilátoru. Jsou používány dvě nosné vlny L1 a L2. Nosná vlna L1 je modulována dvěma kódy, přesným P-kódem, který může být vojensky šifrován, a hrubým C/A kódem, který není šifrován. Nosná vlna L2 je modulována jen P-kódem. Běžné přijímače pracují pouze s C/A kódem na nosné vlně L1. Geodetické přijímače pracují s P-kódem na obou nosných vlnách. Kromě vln L1 a L2 je na družicích posledních dvou bloků zaváděna civilní L2C vlna a na posledním bloku pak civilní L5 vlna. Navigační zpráva obsahuje čas vyslání zprávy, efemeridy družice, almanach, koeficienty ionosférických modelů a stav „zdraví“ družice.

*V rámci této kapitoly bylo čerpáno z [1],[2],[3].*

### **1. 1. 2 Další systémy**

Z dalších globálních systémů jsou zde zmíněny systémy GLONASS a GALILEO.

GLONASS je systém spravovaný Ruskými kosmickými silami pro potřebu Ruské federace. Systém je zpřístupněn i civilním uživatelům. Kosmický segment je tvořen 24 družicemi ve třech orbitálních rovinách vzájemně posunutých o  $120^\circ$ . V rámci oběžných drah jsou družice umístěny po  $45^\circ$ . Družice v jednotlivých rovinách jsou posunuty o  $15^\circ$ , respektive  $30^\circ$  pro lepší pokrytí signálu. Družice obíhají ve výšce 19 100 km v kruhových drahách skloněných o  $64,8^\circ$ . Oběžná doba je 11 hodin 15 minut. Ke dni 15.5.2015 bylo v provozu 23 aktivních družic. *Čerpáno z [1],[4].*

GALILEO je civilní systém, který je ve výstavě. Budování zajišťuje Evropská unie reprezentovaná Evropskou komisí a Evropskou kosmickou agenturou. Kosmický segment bude tvořit 27 družic a 3 záložní družice ve 3 orbitálních rovinách skloněných o  $56^\circ$  od rovníku. Výška oběhu bude 23 222 km nad povrchem Země. Nejbližší rok spuštění je 2018. *Čerpáno z [1],[5].*

## 1. 2 Metody GNSS

Hlavním kritériem pro rozdělení metod měření GNSS je způsob zpracování, který se dělí na pozdější zpracování v kanceláři tzv. postprocessing a na výpočet v terénu v reálném čase metodou RTK (Real Time Kinematic) nebo PPP (Precise Point Position). Dále lze dělit metody podle absolutního nebo relativního výpočtu souřadnic a podle výpočtu z kódového nebo fázového měření.

### 1. 2. 1 Postprocessing

Postprocessing označuje pozdější zpracování, což znamená, že v terénu se data pouze získávají, ale výpočty se provádějí později.

Používají se minimálně dva přístroje, kdy jeden přístroj je po celou dobu umístěn na referenčním bodě a druhý se přemísťuje. Referenční stanice nemusí být umístěna na bodě o známých souřadnicích, protože výsledkem jsou relativní vztahy (vektory) mezi měřenými body. Pro získání absolutních souřadnic bodů je nutné dodat souřadnice alespoň jednoho bodu.

Metody postprocesingu jsou:

- Statická metoda
- Rychlá statická metoda
- Metoda stop and go
- Kinematická metoda

*Statická metoda* spočívá v měření dvěma a více přijímači souběžně po dobu několika hodin. Protože tato metoda poskytuje nejpřesnější výsledky, používá se k budování polohových základů při sledování deformací nebo v geodynamických sítích.

Ostatní metody byly jen zmíněny protože nebyly použity.

*Čerpáno z [1].*

## 1. 2. 2 RTK a PPP

Při obou těchto metodách se výpočty provádějí v reálném čase a výsledné souřadnice jsou hned k dispozici.

Metoda RTK je založena na relativním určování polohy k referenční stanici pomocí diferenčního měření.

Metoda PPP je založena na absolutním určování polohy pomocí údajů o přesných drahách a hodinách družic.

*Čerpáno z [1], [6].*

## 2 Typy použitých dat

Pro výpočet v programech jsou nezbytná pouze observační data, ostatní typy dat slouží ke zpřesnění výsledků. V následujících podkapitolách jsou popsány typy dat, které byly použity.

### 2.1 RINEX

RINEX je standard formátu dat, který byl vytvořen za účelem možnosti zpracování dat z různých přístrojů různými programy. Jedná se o textový soubor s maximálně 80 znaky v řádce, aby bylo možné ho prohlížet na obrazovce. Jsou definované tři typy souborů: měřená data, navigační zprávy a meteorologická data. V rámci této práce byly použity soubory typu observačních dat. *Čerpáno z [2].*

### 2.2 Přesné dráhy družic

Pro přesné geodetické a geofyzikální práce je potřeba přesnějších drah družic než jsou vysílané efemeridy. Tyto přesné dráhy počítá IGS za pomoci měřených dat z referenčních stanic umístěných po celém světě. Přesnost těchto drah je 2,5 cm. IGS zveřejňuje s určitým zpožděním tyto přesné dráhy na internetu. *Čerpáno z [7].*

### 2.3 Globální ionosférické mapy

Globální ionosférické mapy jsou vytvářeny za účelem popsání ionosférické aktivity. Jsou generovány v denních souborech z dat IGS a dalších institucí. Astronomický institut univerzity v Bernu vytváří mapy ve formátech IONEX a Bernském formátu. Finální soubory jsou zveřejňovány na serveru institutu s třídenním zpožděním. *Čerpáno z [8].*

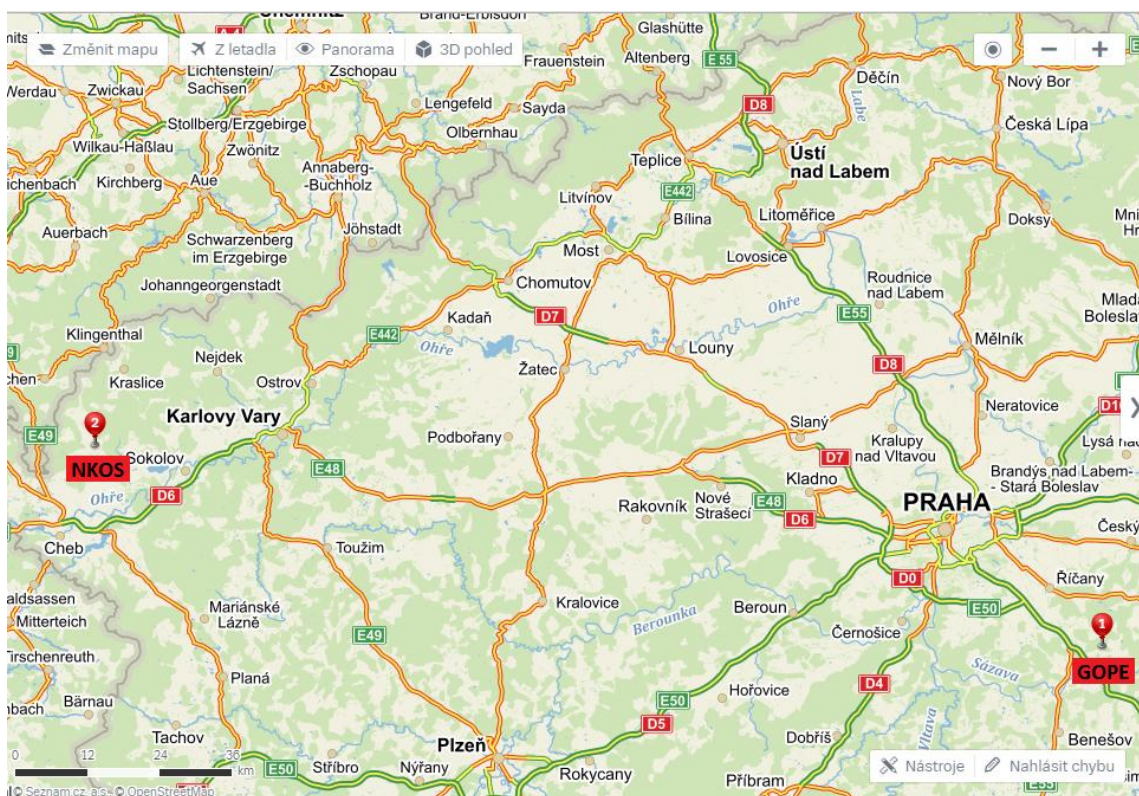
### 2.4 Modely antén

Modely antén popisují offsety fázového centra a jeho variace v závislosti na směru a typu nosné vlny. Absolutní kalibraci antén provádí IGS a je pro daný typ antény unikátní. Modely pro zpracování ve výpočetních programech jsou ukládány do formátu ANTEX. *Čerpáno z [2]*

## 3 Referenční stanice

Referenční stanice se skládá z antény a přijímače GNSS, umístěné na bodě o známých geocentrických souřadnicích pro potřeby sběru dat pro určení diferenčních korekcí. Referenční stanice musí data sbírat ve stejném čase, ve kterém probíhá i sběr dat mobilním přijímačem. Referenční stanice může být jak permanentní, tak dočasná. Permanentní zpravidla sbírá data pro řadu uživatelů, zatímco dočasná slouží jen pro potřeby jednoho měření. *Převzato ze slovníku VÚGTK[9].*

V rámci této práce byla použita data z permanentních stanic GOPE a NKOS. Spojnice mezi stanicemi je přibližně 171 km dlouhá.



Obr. 2: Umístění stanic GOPE a NKOS

[Zdroj: <https://mapy.cz>]

### 3.1 GOPE

Stanice GOPE se nachází na budově Geodetické observatoře Pecný, Ondřejov, okres Praha – východ. Provozovatel stanice je operační centrum VESOG Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického.

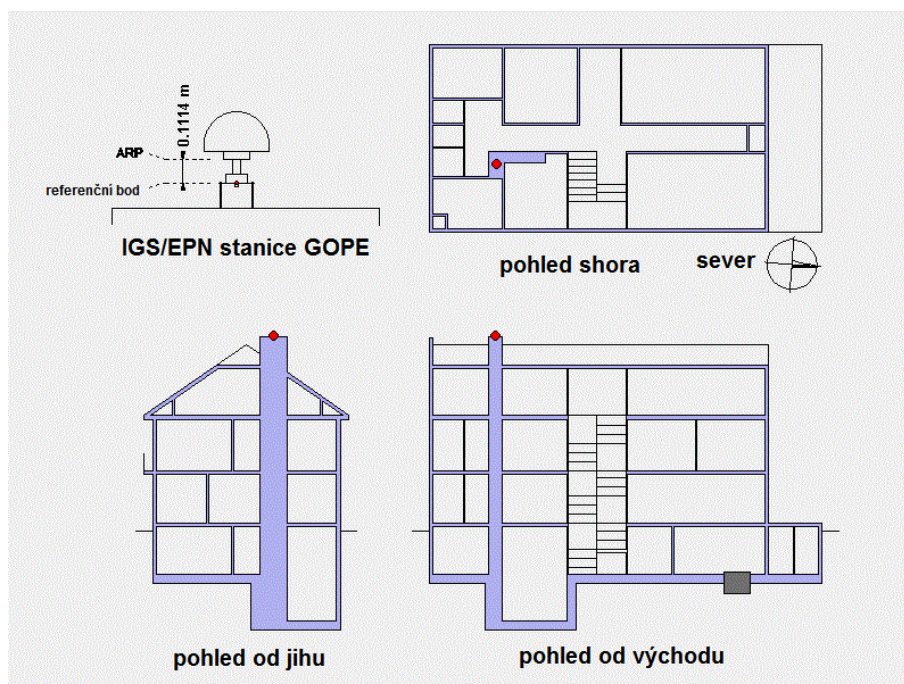
Permanentní GPS observace jsou prováděny v rámci Mezinárodní služby GNSS (International GNSS Service - IGS) a v rámci permanentní sítě EUREF (EUREF Permanent Network - EPN). Měření na permanentní stanici GOPE slouží spolu s měřeními na dalších bodech:

- k určování přesných drah družic systémů GPS NAVSTAR a GLONASS,
- k určování souřadnic stanice GOPE a velikostí jejich změn v čase pro studium pohybu euroasijské desky a studiu vnitrodeskových pohybů a pro definici souřadnicového systému ETRS (European Terrestrial Reference System) v České republice,
- k monitorování stavu a změn některých atmosferických parametrů, zejména v čase blízkém reálnému (GPS meteorologie),
- ke zjišťování rozdílů referenčních souřadnicových a časových systémů WGS84 a PZ90 a GPS time a UTC(SU) používaných systémy GPS NAVSTAR a GLONASS,
- k navázání časové škály GPS time na systém atomového času udržovaného časovými laboratořemi,
- k určování drah nízkoletících družic,
- jako referenční data pro zpracování měření z nízkoletících družic,
- jako data z referenční stanice pro metody diferenčního GPS i Real-Time Kinematic (RTK),
- jako data z kontinuálně pozorující stanice pro Českou síť permanentních stanic pro určování polohy - CZEPOS a pro síť TopNet.

*Převzato z webových stránek stanice GOPE [10].*

Bod je stabilizován na vrcholu zděného pilíře, který vznikl úpravou komína. Pilíř prochází celou konstrukcí stavby a je s ní spojen v jednotlivých patrech. Ukončen je v nejnižší části základů budovy. Do vrcholu pilíře jsou zabetonované tři tyče zakončené závitěm. Na tyče je pomocí matek připevněna horizontální ocelová deska. Na desce je připevněn přípravek pro orientaci a distanční sloupek z izolantu. Anténa je umístěna na sloupku.





Obr. 3: GOPE umístění piliře v budově Geodetické observatoře Pecný

[Zdroj: <http://oko.pecny.cz/vesog/stanice/gope.html>]

Stanice je osazena anténou Topcon CR-G3 se sférickým protisněžným krytem (výrobní číslo 383-0161, IGS označení TPSCR.G3 TPSH) a dále pak přijímačem Topcon NetG3 (výrobní číslo 401-01308).



Obr. 4: GOPE vlevo anténa Topcon CR-G3 umístěná na bodě, vpravo přijímač Topcon NetG3

[Zdroj: <http://oko.pecny.cz/vesog/stanice/gope.html>]

Staničním počítačem, který je napojen na přijímač, se pořizují dva výstupy. Jedním jsou datové soubory ve formátu RINEX v jednosekundovém taktu v hodinových souborech. Obsahující data z družic GPS NAVSTAR a GLONASS. Z těchto dat jsou v operačním centru vytvářeny všechny odvozené typy dat. Druhým výstupem je proud dat v reálném

čase ve formátu RTCM v jednosekundovém taktu. Stanice pořizuje data ze všech dostupných družic nad horizontem (elevační maska  $0^\circ$ ).

V rámci této práce byly použity denní soubory ve formátu RINEX ve 30-ti sekundovém taktu.

*V této kapitole bylo čerpáno z [10].*

### 3. 2 NKOS

Stanice NKOS se nachází na budově č. p. 83 v obci Nový Kostel, okres Cheb. Provozovatelem stanice je Geofyzikální ústav Akademie věd ČR v. v. i. NKOS je následovníkem stanice NKIG (někdy též označována jako NOKO), jejíž provoz musel být ukončen a stanice byla přesunuta o cca 100 metrů na nynější pozici a přejmenována.

Oblast Západních Čech okolo Nového Kostela, která je známa projevy geodynamické aktivity (zemětřesení, úniky  $\text{CO}_2$ , prameny), je monitorována různými metodami (seismologické metody, gravimetrie, monitoring úniku plynu, geodetické metody). Permanentní stanice slouží jako jedna z geodetických metod monitoringu. Další geodetické metody jsou nivelace a GPS kampaně.

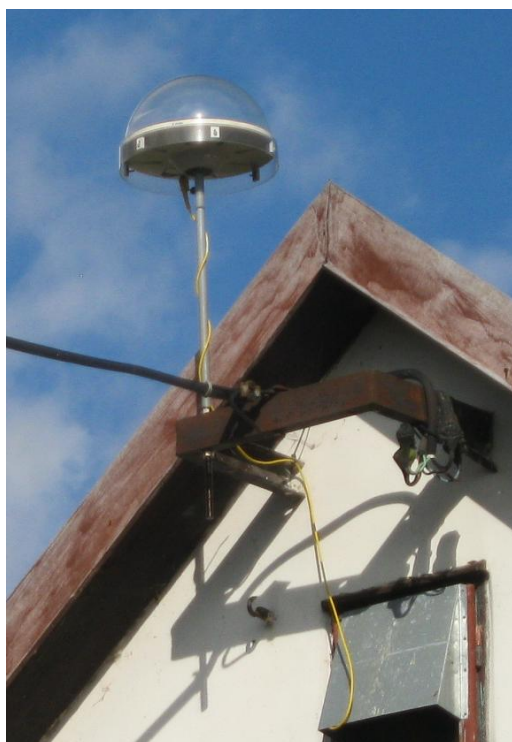


**Obr. 5: NKOS budova se stabilizovaným bodem**

*[Zdroj: Foto Ing. Michal Seidl, Ph.D.]*

Bod je stabilizován ve štítu domu na ocelové konzoly ve tvaru "U", která dříve sloužila (možná slouží) k přívodu el. proudu do domu. V konzoly je otvor, do kterého je namontována ocelová tyč cca 60 cm dlouhá tak, aby její vrchol přesahoval kraj střechy. Na vrcholu tyče je umístěna anténa.

Stanice je osazena anténou Trimble Zephyr Geodetic se sférickým protisněžným průhledným krytem (výrobní číslo 12325642, IGS označení TRM41249.00 TZGD) a přijímačem Trimble 5700 (výrobní číslo 220280234).



**Obr. 6: NKOS vlevo anténa Trimble Zephyr Geodetic umístěná na bodě, vpravo Trimble 5700**

[Zdroj obr. vlevo: Ing. Michal Seidl, Ph.D.]

[Zdroj obr. vpravo: <http://www.e-trimblegps.com/images/57001mgis.jpg>]

Přijímač pořizuje data z družic GPS NAVSTAR ve formátu RINEX v 15-ti sekundovém taktu v 6-ti hodinových souborech, které jsou ukládány do vnitřní paměti přijímače. Jednou za tři měsíce jsou data z přijímače exportována a vnitřní paměť je vymazána pro další observace. Přijímač pořizuje data ze všech dostupných družic nad horizontem (elevační maska 0°).

*V této kapitole bylo čerpáno z informací poskytnutých vedoucím práce Ing. Michalem Seidlem Ph.D.*

## 4 Zpracování GNSS dat

První část práce byla zaměřena na výpočet dat v programech. Pro seznámení s programy byla použita data z permanentních stanic GOPE a MARJ za období 1. týdne roku 2014. Informace o programech byly čerpány z návodů programů [11], [12], [13], [14]. Samotné výpočty byly prováděny na spojnici GOPE - NKOS s daty od října 2013 do konce roku 2015. Výpočty pro všechny programy probíhaly na stejném počítači. Programy byly nastaveny tak, aby dosáhly shody s nastavením TTC. Toto nastavení bylo převzato z [15].

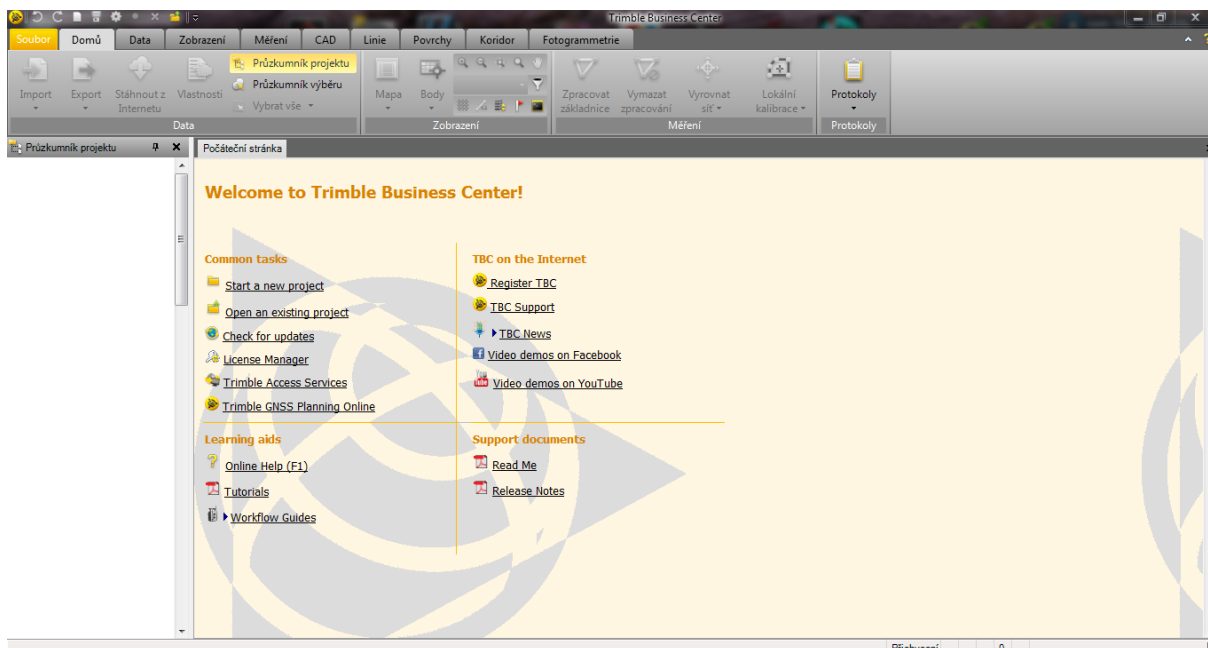
Observační data ve formátu RINEX musela být kvůli programu TTC upravena. Úprava spočívala v odstranění řádků komentářů. Z důvodu zpracování pouze GPS observací byly také odstraněny observace satelitů Glonass. Tyto úpravy byly provedeny již před obdržetím dat ke zpracování. Data byla získána od vedoucího bakalářské práce Ing. Michala Seidla, Ph.D.

Zpracování probíhalo formou denních řešení, kde výstupem byla čísla bodů reprezentující dny v roce.

### 4.1 Trimble Business Center

*Trimble Business Center* nabízí zpracování různých typů dat (GNSS, totální stanice, nivelačních pořady, fotogrammetrie, skenování) a jejich pokročilou vizualizaci. V rámci bakalářské práce bylo využito pouze zpracování GNSS dat. Byla použita verze programu 3.10 (3.10.5018.36360) a modul pro zpracování GNSS dat NGSS 2.11.0.0.

Během výpočtu v tomto programu byla zjištěna chyba, která se projevovala nemožností znovu otevřít již spočtený a uložený projekt. S podezřením na chybu počítače, na kterém byly prováděny výpočty, byla pokusně na jiném počítači spočtena a uložena stejná data, ale i přesto se tato chyba projevila. Poté byl tento problém řešen s podporou firmy, která zastupuje výrobce programu pro ČR. Ta však jeho řešení nenalezla. Dále bylo zjištěno, že tato chyba závisí na množství načtených souborů. Bylo zjištěno, že maximální počet dní, při kterých se tato chyba neprojevila, byl 18 dní. Pro jednodušší práci při načítání dat do jednotlivých projektů byl zvolen počet dní v jednom projektu 15.



Obr. 7 TBC okno programu

### 4. 1. 1 Nastavení programu

V nastavení tohoto programu je méně možností než v dalších programech. Pro správné zobrazování výsledků byl upraven počet desetinných míst na 4 místa. Pro výpočet byly změněny oproti defaultnímu nastavení *Zpracování základnic* následující parametry.

V záložce *Obecné*:

- Auto spuštění zpracování: Ano → Ne
- Model antény: Automatické → NGS Absolute
- Typ efemerid: Automatické → Přesné

V záložce *Zpracování*:

- Frekvence: Více frekvencí → Dvoufrekvenční (L1, L2)
- Interval zpracování: Použít všechna data → 30

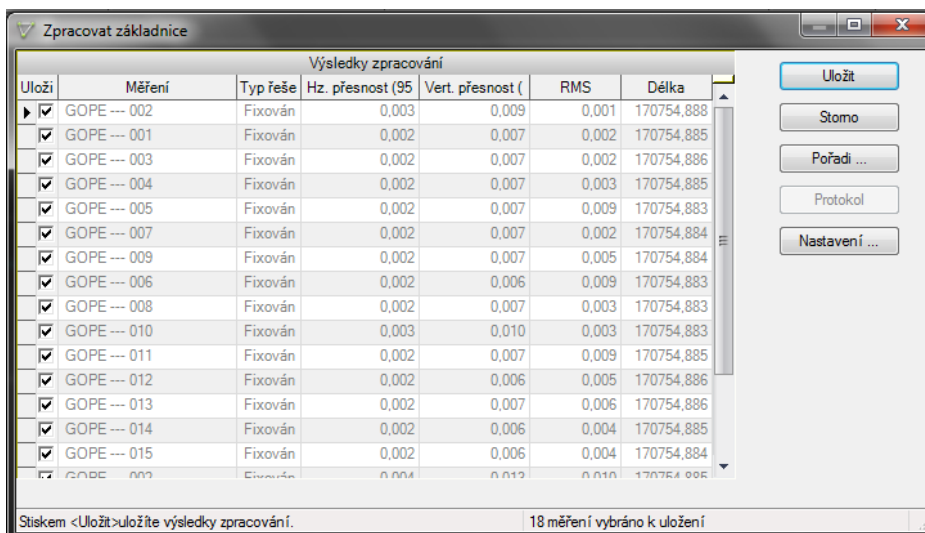
V záložce *Družice*:

- Elevační maska: 10 deg → 15 deg

Program umožňuje nastavení *Zpracování základnic* uložit, aby mohlo být použito pro další projekty. Z důvodu opakování výpočtů v dalších projektech bylo toto nastavení uloženo.

### 4. 1. 2 Výpočet

Po vytvoření projektu a načtení nastavení programu bylo přistoupeno k načítání dat. Načtena byla postupně observační data obou stanic, nejdříve GOPE, poté NKOS a soubory přesných efemerid. Pořadí stanic bylo zvoleno takto, protože program poté automaticky určí první načtenou stanicí jako referenční a druhou jako rover. Program automaticky spojuje observace pro stejné číslo bodu. Poté byl proveden výpočet.



Uloží	Měření	Typ řeše	Hz. přesnost (95)	Vert. přesnost (	RMS	Délka
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 002	Fixován	0.003	0.009	0.001	170754,888
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 001	Fixován	0.002	0.007	0.002	170754,885
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 003	Fixován	0.002	0.007	0.002	170754,886
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 004	Fixován	0.002	0.007	0.003	170754,885
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 005	Fixován	0.002	0.007	0.009	170754,883
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 007	Fixován	0.002	0.007	0.002	170754,884
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 009	Fixován	0.002	0.007	0.005	170754,884
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 006	Fixován	0.002	0.006	0.009	170754,883
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 008	Fixován	0.002	0.007	0.003	170754,883
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 010	Fixován	0.003	0.010	0.003	170754,883
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 011	Fixován	0.002	0.007	0.009	170754,885
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 012	Fixován	0.002	0.006	0.005	170754,886
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 013	Fixován	0.002	0.007	0.006	170754,886
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 014	Fixován	0.002	0.006	0.004	170754,885
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 015	Fixován	0.002	0.006	0.004	170754,884
<input checked="" type="checkbox"/>	GOPE --- 009	Fixován	0.002	0.007	0.005	170754,884

Obr. 8 TBC zpracování základnic

Export vypočtených dat byl proveden pomocí nově vytvořené šablony. Ta byla vytvořena tak, aby odpovídala jednotnému tvaru pro všechny programy. Na prvním místě je číslo bodu, což odpovídá dni v roce a na dalších souřadnice X, Y, Z.

## 4. 2 Trimble Total Control

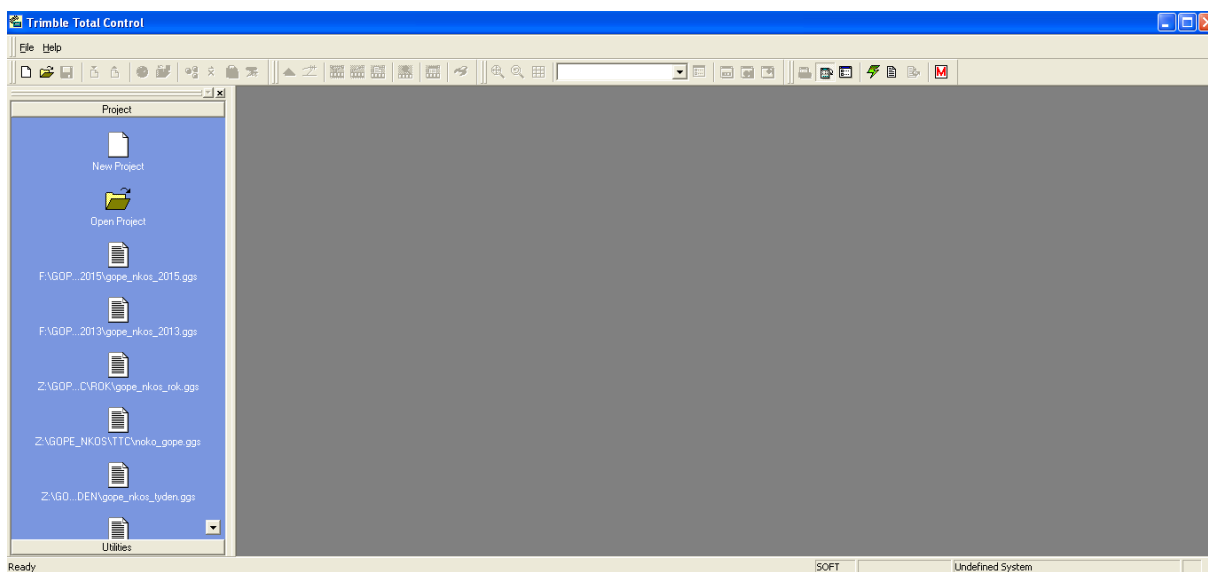
*Trimble Total Control* je starší program, který zpracovává GNSS data. Také umožňuje zpracování dalších typů dat, ale ty nebyly v rámci bakalářské práce použity. Použitá verze programu byla 2.73.

Program pracuje na operačním systému *Windows XP*. Zpracování probíhalo na počítači s operačním systémem *Windows 7*, proto byl použit program *Oracle VM VirtualBox*, ve kterém byl potřebný operační systém nainstalován. V tomto virtuálním počítači byl pak nainstalován program TTC.

Program TTC počítá s vlastními formáty dat, které si program vytvoří při načtení. Jedná se o observační data, která se převádí do formátu *.obs* a soubory přesných efemerid, která se převádí do formátu *.prc*. Dále program pracuje s ionosférickými modely formátu IONEX.

Obdržená data pro zpracování v tomto programu byla již převedena do interních formátů.

Tento program jako jediný umožnil výpočet dat za období jednoho roku v jednom projektu.



Obr. 9 TTC okno programu

### 4. 2. 1 Nastavení programu

Nastavení tohoto programu bylo zvoleno podle diplomové práce Ing. Michala Seidla, Ph.D. [15]. Oproti defaultnímu nastavení byly nastaveny parametry v jednotlivých záložkách.

#### Záložka *Processing Options*

- Elevation Cutoff – GPS Cutoff:  $10^\circ \rightarrow 15^\circ$

- Processing Interval: 10 sec → 30 sec
- Force Interval: zaškrtnuto
- Orbit Type: Broadcast → Precise
- Antenna Model: Default Trimble Calibration → US National Geodetic Survey, ant\_info.003

#### Záložka *Processor*

- Processing Mode: Automatic → Static
- Sessions – Split Sessions, if start time differs more than: 240 min → 1 min
- Generate Residual Data: zaškrtnuto

#### Záložka *Advanced*

- Use IONEX Files: zaškrtnuto

#### Záložka *Filter*

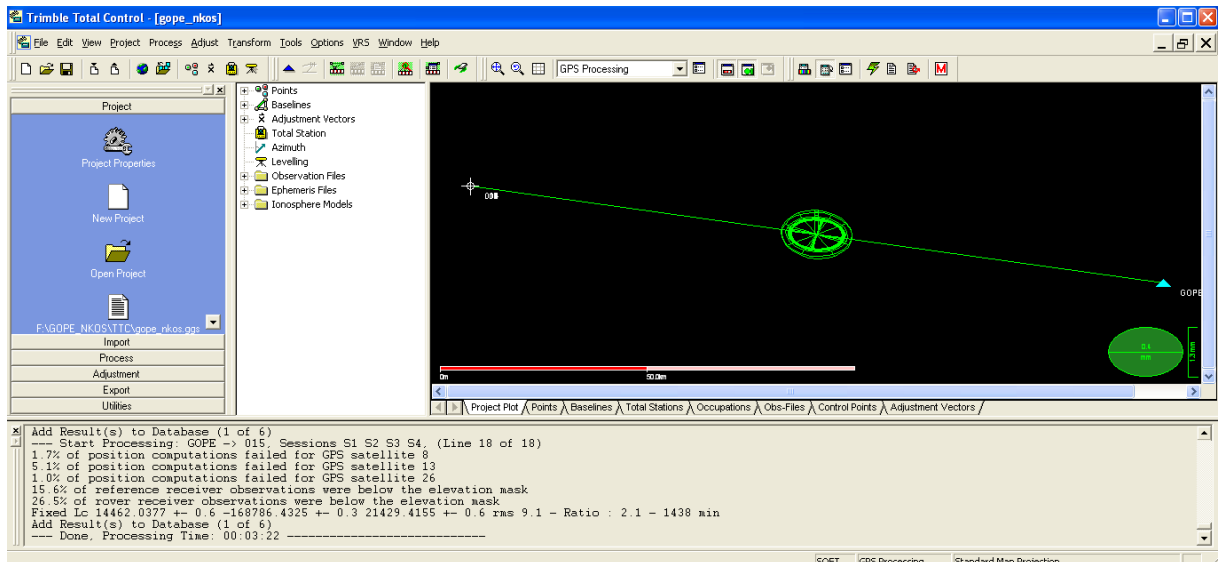
- změněno *Best Solutions* na *Use the following Solutions*, kde bylo zaškrtnuto pouze *Fixed / Lc*

Ostatní záložky zůstaly v defaultním nastavení.

### 4. 2. 2 Výpočet

Zpracování v tomto programu probíhalo obdobně jako v předchozím s tím rozdílem, že nastavení výpočtu bylo pro každý projekt nastaveno znovu a ne načteno. Oproti předchozímu tento program umožňuje import ionosférických map ve formátu IONEX, proto byly mapy použity.





Obr. 10 TTC okno před výpočtem

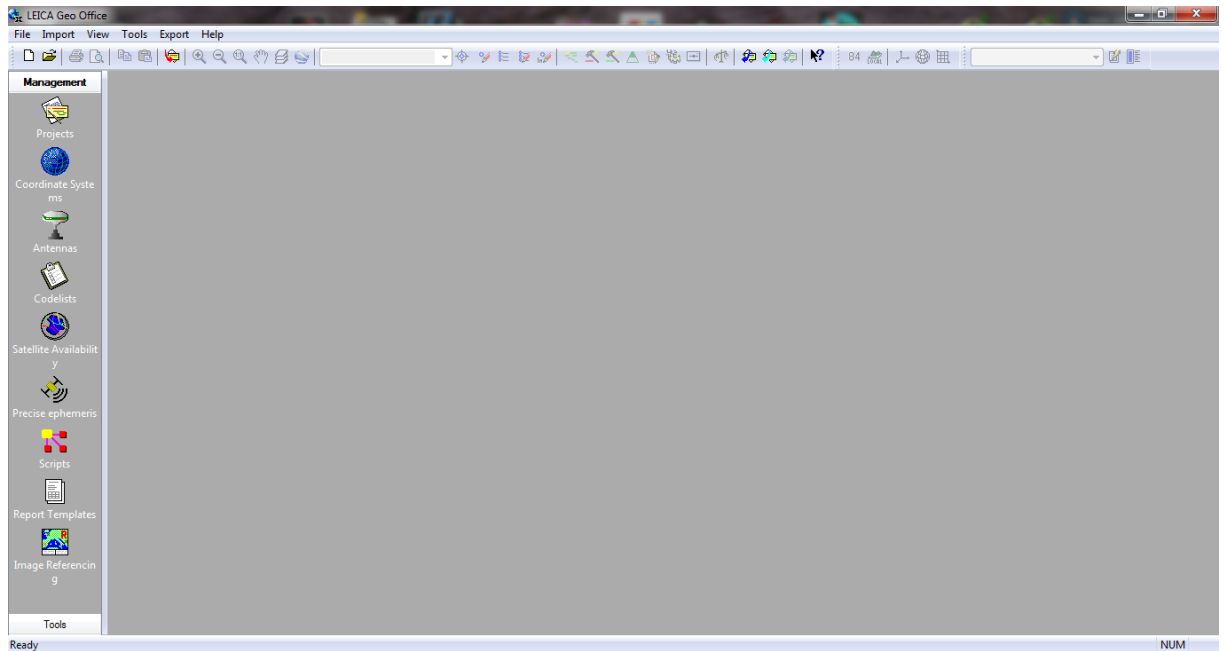
Export dat byl proveden pomocí přednastaveného výstupu *KafkaWGS84*, který byl upraven tak, aby byl shodný s ostatními výstupy. Úprava spočívala v odstranění uvozovek u čísla bodu.

### 4.3 Leica Geomatic Office

*Leica Geomatic Office* je program od značky *Leica*. Tento program umí pracovat nejen s daty GNSS, ale také s daty z totálních stanic a nivelačních přístrojů. V bakalářské práci bylo využito pouze zpracování GNSS dat. Použitá verze programu byla 8.1.0.0.

Tento program má v databázi pouze antény od značky *Leica*. Z důvodu, že jedna anténa je od značky *Topcon* a druhá od značky *Trimble*, byly staženy modely antén ze serveru *NGS* [25],[26] a vloženy do programu. Jedná se o data absolutní kalibrace.

Program dovolil naimportovat data do jednoho projektu za období maximálně 259 dní. Po nastavení programu bylo přistoupeno k výpočtu, který sice proběhl, ale do záložky *Results* nevypsál žádné výsledné hodnoty. Konkrétní příčina této chyby nebyla nalezena, ale je pravděpodobné, že souvisí jako chyba u programu *TBC* s množstvím dat, protože při výpočtu dat za maximálně jeden měsíc se tato chyba neprojevila. Z tohoto důvodu musela být data rozdělením do projektů po obdobích jednoho měsíce.



Obr. 11 LGO okno programu

### 4. 3. 1 Nastavení programu

Program dovoluje nastavit poměrně velké množství parametrů.

Oproti defaultnímu nastavení byly změny parametry na jednotlivých záložkách.

Záložka *Generals*:

- Cut – off angle:  $10^\circ \rightarrow 15^\circ$
- Ephemeris: Broadcast  $\rightarrow$  Precise
- Solution type: Phase all Fix
- GNSS type: GPS only
- Show advance parameters: zaškrtnuto

V této záložce bylo nutné se rozhodnout pro nejvhodnější nastavení. Jako pomůcka pro určování nastavení byla použita spočtená data z programu TTC. Testování probíhalo na datech z ledna 2014. Některé parametry se nastavily shodně pro všechna testování.

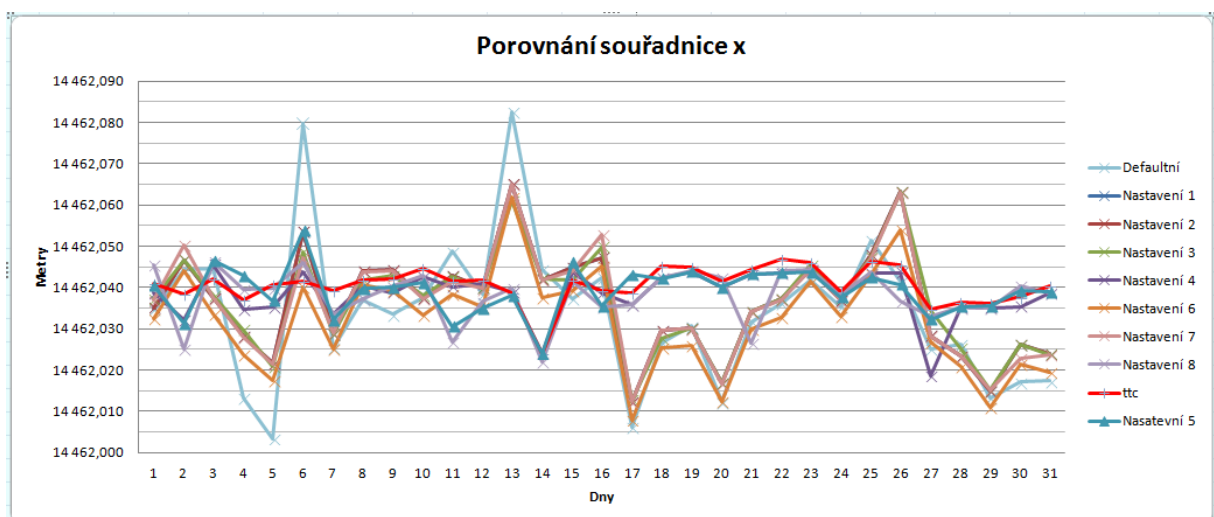
- Frequency: Iono free (L3)
- Fix ambiguities up to: 180 km
- Sampling rate: 30

Pro testování bylo použito osm různých nastavení a defaultní nastavení. V následující tabulce jsou uvedeny parametry jednotlivých nastavení.

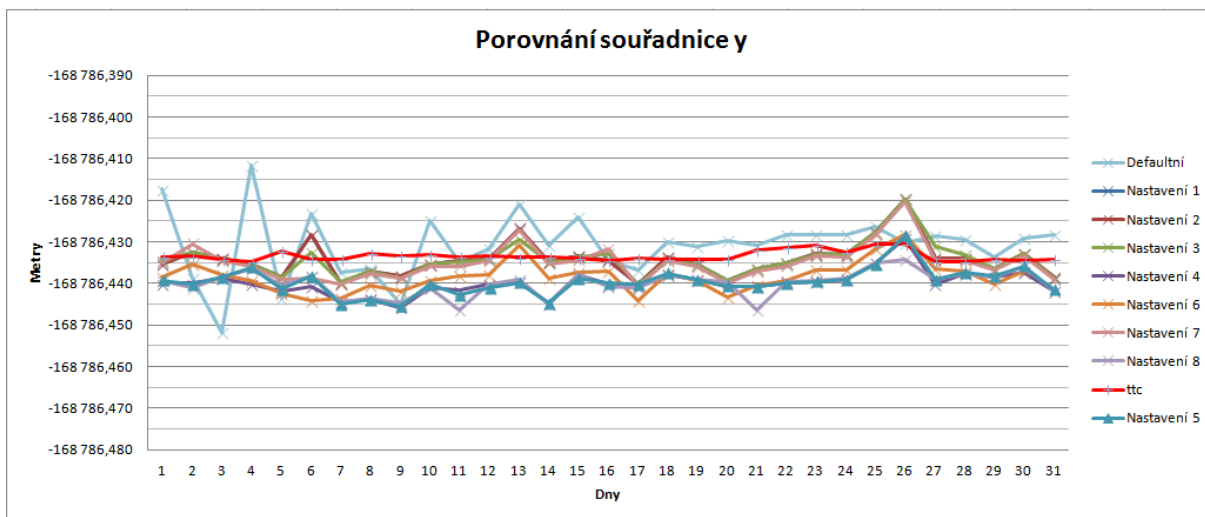
**Tab. 1: LGO volba parametrů**

Nastavení	Parametr		
	Tropospheric model	Ionospheric model	Use stochastic modeling
Default	Hopfield	Automatic	ano
Nastavení 1	Hopfield	Global/Regional	ano
Nastavení 2	Hopfield	Global/Regional	ne
Nastavení 3	Hopfield	Computed	ano
Nastavení 4	Computed	Computed	ano
Nastavení 5	Computed	Global/Regional	ne
Nastavení 6	Simpelfield Hopfield	Global/Regional	ne
Nastavení 7	Saastamoinen	Global/Regional	ne
Nastavení 8	Computed	Klobuchar	ne

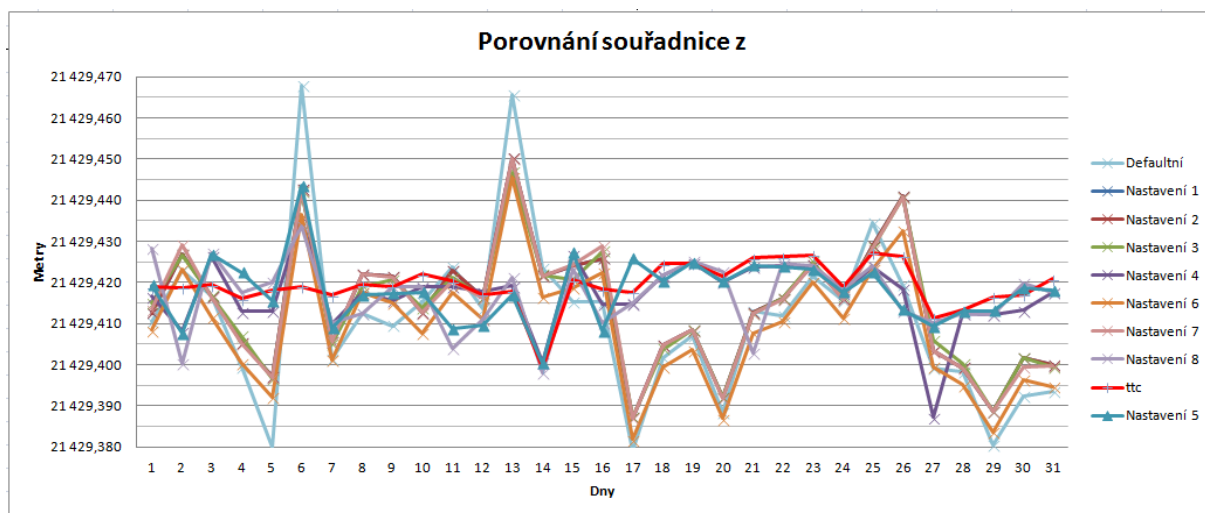
Vypočtená data byla zobrazena v grafech (Obr. 12-14). Pro zobrazení byly zvoleny velikosti vektorů spojnice GOPE – NKOS. Z těchto grafů bylo vybráno *Nastavení 5*, které bylo použito pro všechny výpočty v programu. Zvoleno bylo proto, že sleduje hodnoty, které vybočují obdobně jako data spočtena v programu TTC. Dalším důvodem byl rozptyl hodnot, který je menší než u ostatních nastavení. Rozptyl byl určen pomocí grafů.



**Obr. 12 LGO porovnání souřadnice X**



Obr. 13 LGO porovnání souřadnice Y



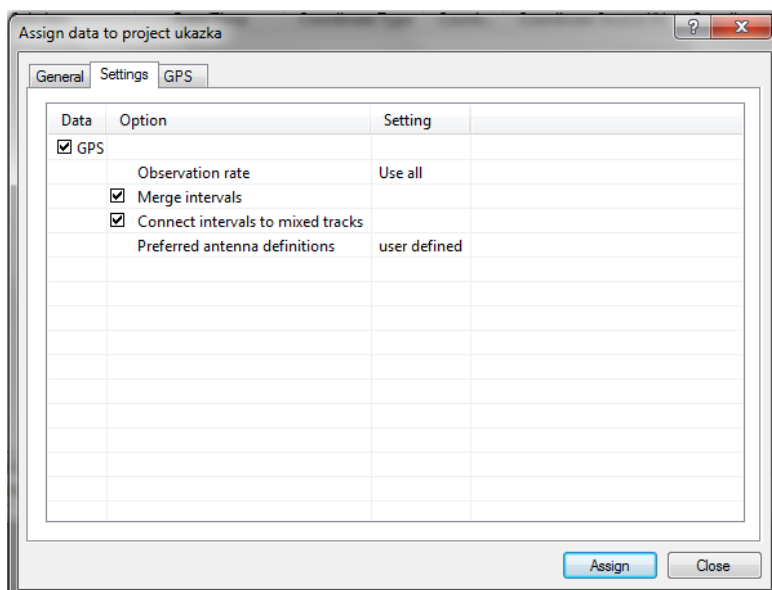
Obr. 14 LGO porovnání souřadnice Z

Nastavení v záložce *Extended Output* slouží pro analýzu dat. Zde bylo zaškrtnuto *Residuals*, aby se ukládaly opravy pro případné zobrazení v nástrojích programu. Poslední záložka nastavení nebyla změněna.

### 4. 3. 2 Výpočet

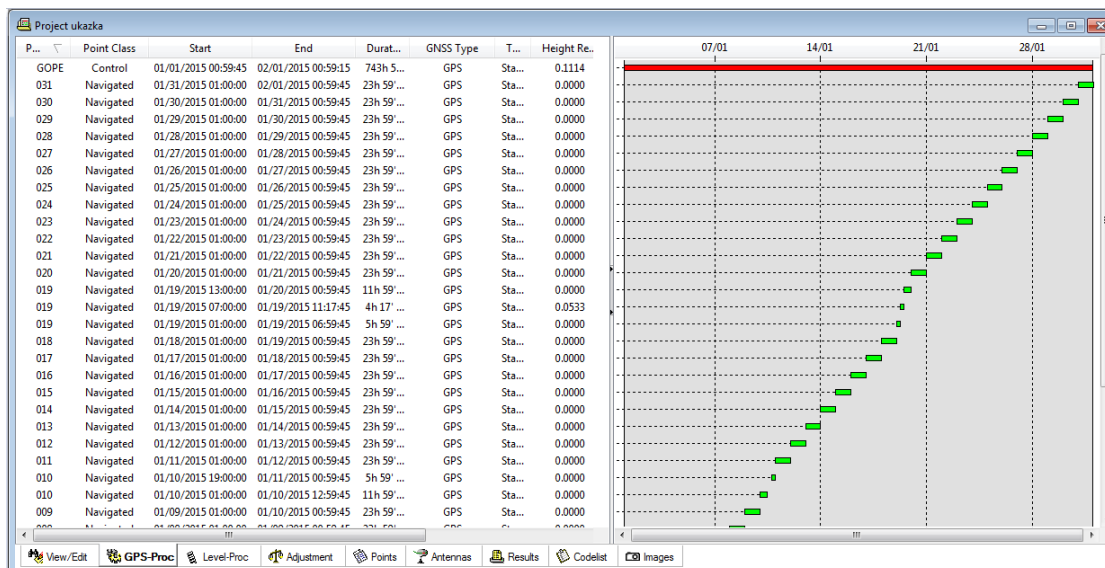
Zpracování v tomto programu probíhá odlišně od ostatních programů. Import souborů přesných efemerid se neváže k danému projektu. Program si je ukládá do databáze, ze které poté čerpá při výpočtu jiných projektů, kde je potřeba stejných efemerid. LGO používá ionosférické mapy v Bernském formátu. Soubory ionosférických map nejsou

importovány přes rozhraní programu, ale jsou vloženy po vytvoření projektu do složky projektu v počítači. Při importu observačních dat nezáleží na pořadí nahraných stanic. V nastavení importu se pro slučování měření v jednom dni nastavilo *Sloučit intervaly*.



Obr. 15 LGO nastavení importu

Výpočet byl nastaven podle kapitoly 3. 3. 1. Na záložce *GPS-Proc* byl zvolen bod GOPE jako *referenční* a ostatní jako *rover*. Výpočet byl spuštěn funkcí *Process*.



Obr. 16 LGO nastavení typu stanice

Vypočtená data se zobrazí v záložce *Results*. Pro další výpočty se musí ve sloupci *Stored status* změnit *no* na *yes*.



Protože u některých dní se observace nespojily v jeden interval (důvodem byla časová mezera mezi observacemi), bylo na záložce *Adjustment* provedeno vyrovnání a tím bylo zajištěno, že pro každý den byl pouze jeden výsledek.

Export byl nastaven tak, aby byl shodný s ostatními programy. Poté byla data vyexportována.

## 5 Analýza dat

Tato kapitola je zaměřena na analýzu dat. Postup analýzy dat získaných v předchozí kapitole je rozdělen do dvou částí, které reprezentují podkapitoly 5.1 a 5.2. První část se zabývá předzpracováním dat, ve které byly provedeny tyto kroky: úprava dat z programů → převod na NEU → filtrování odlehlých měření. Druhá část se zabývá výpočtem parametrů aproximační funkce.

Pro výpočty a grafické výstupy v kapitolách 5 a 6 byl vytvořen program *bp\_steidl.py*, který je součástí příloženého DVD. Dílčí výpočty (převod, aproximace, testování) byly řešeny jako moduly hlavního programu.

Výpočty probíhaly v programovacím jazyku *Python*. Jazyk byl nainstalován v platformě *Anaconda 2.4.1*, která obsahuje *Python 3.5.1* a velké množství knihoven pro vědecké účely. Tvorba skriptů byla prováděna v programu *Spyder*, který je součástí této platformy. Pro naučení a pochopení jazyka byly využity webové stránky, které se zabývají tímto jazykem [16]. Pro psaní byly používány tyto knihovny:

- *sys* – pro systémové funkce
- *math* – pro matematické operace
- *statistic* – pro statistické výpočty
- *matplotlib* – pro tvorbu grafů
- *numpy* – pro maticové výpočty
- *scipy.stats* – pro statistické výpočty

Hlavní program a jeho moduly byly vytvářeny ve spolupráci s vedoucím práce Ing. Michalem Seidlem, Ph.D.

*Informace o funkcích a knihovnách byly čerpány z [17], [18], [19].*

### 5.1 Předzpracování dat

První fáze analýzy spočívala v přípravě dat. Pro přípravu dat byl vytvořen modul *convert\_xzy.py*, který je součástí hlavního programu *bp\_steidl.py*.

### 5. 1. 1 Úprava dat z programů

Výstupem z jednotlivých programů byly exporty, kde každý řádek reprezentuje jeden den v daném roce a obsahuje čtyři hodnoty (číslo bodu, souřadnice x, souřadnice y, souřadnice z). Problém nastal při sloučení dat za jednotlivé roky dohromady, protože v každém roce byly číslovány dny od 1 do 365. Proto byla čísla bodů upravena tak, aby obsahovala rok i den ve formátu YYYY DDD, kde YYYY je daný rok a DDD je daný den v roce. Výsledkem úpravy a sloučení dat z exportů byly tři soubory reprezentující data z každého programu.

### 5. 1. 2 Převod dat na NEU

Export z programů byl nastaven do pravoúhlých souřadnic systému WGS84. Pro další výpočty bylo vhodné převést pravoúhlé souřadnice na sférické a dále na odchylky NEU. Odchylky NEU jsou odchylky ve směrech:

- N pro směr north – south (sever - jih)
- E pro směr east – west (východ - západ)
- U ve směru výšky

Odchylky NEU byly zvoleny z důvodu, že lépe prezentují složky polohy a výšky v našich zeměpisných šířkách.

System WGS84 používá elipsoid WGS84, který je definován následujícími parametry.

Hlavní poloosa elipsoidu:

$$a = 6378137,00000 \text{ m}$$

Zploštění:

$$f = 1/298,257223563$$

*Čerpáno z [20].*

Z těchto parametrů byly spočteny další parametry.

Vedlejší poloosa elipsoidu:



$$b = a(1 - f) = \mathbf{6356752,31424\ m} \quad (4.1)$$

Excentricita elipsoidu:

$$e^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2} = \mathbf{0.00669437999} \quad (4.2)$$

Druhá excentricita elipsoidu:

$$e'^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{b^2} = \mathbf{0.00673949674} \quad (4.3)$$

U elipsoidu se dále používají hlavní poloměry křivosti.

Mediánový poloměr křivosti:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} \quad (4.4)$$

Příčný poloměr křivosti:

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (4.5)$$

Po definování parametrů a vzorců pro poloměry křivosti bylo přistoupeno k převodu pravoúhlých souřadnic (X, Y, Z) na sférické ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , H).

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (4.6)$$

Geodetická šířka  $\varphi$  byla spočtena postupnou aproximací. V první fázi byly určeny první přibližné hodnoty  $\varphi^I$  a zároveň také přibližné hodnoty poloměru křivosti  $N^I$ .

$$\tan \varphi^I = \frac{Z(1 + e'^2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (4.7)$$

V další fázi byly vypočteny druhé přibližné hodnoty  $\varphi^{II}$  a  $N^{II}$ .

$$\tan \varphi^{II} = \frac{Z + N^I e^2 \sin \varphi^I}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (4.8)$$

Pomocí vzorce pro druhé přibližné hodnoty byl výpočet hodnot  $\varphi$  a  $N$  opakován do té doby, než byla hodnota rozdílu  $\Delta = \varphi^n - \varphi^{n-1}$  taková, aby neovlivnila vstupní přesnost. Poté byla spočtena hodnota meridiánového poloměru křivosti  $M$  a výšky  $H$ .

$$H = \frac{Z}{\sin \varphi} - N(1 - e^2) \quad (4.9)$$

Z původních pravoúhlých souřadnic byly vypočteny průměrné hodnoty jednotlivých souřadnic X, Y, Z z dat všech programů. Tyto hodnoty byly zjištěny pomocí statistické funkce Pythonu a byly také převedeny na sférické souřadnice. Tento krok byl proveden z důvodu, aby zjištěné výsledné hodnoty mohly být porovnávány mezi programy. Pomocí průměrných hodnot souřadnic byly pro další zpracování spočteny odchylky od těchto hodnot.

$$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_\phi \quad (4.10)$$

kde  $i$  = pořadí dní v souboru

Analogicky byly spočteny odchylky souřadnic  $\lambda$  a  $H$ .

Převod odchylek na NEU byl proveden pomocí vzorců.

$$N = M\Delta\varphi \quad (4.11)$$

$$E = M \cos \varphi \Delta\lambda \quad (4.12)$$

$$U = \Delta H \quad (4.13)$$

*V rámci této kapitoly bylo čerpáno z [21], str. 6-9, str. 97-99.*

### 5. 1. 3 Filtrování odlehlých měření

Po převodu souřadnic na odchylky NEU bylo nutno odstranit odlehlá měření. Pro odstranění byla nejprve stanovena pomocí statistických funkcí hodnota mediánu pro každou odchylku N, E, U samostatně. Byly zvoleny mezní hodnoty a při jejich překročení došlo k vyloučení měření. Pro polohové odchylky N a E byla zvolena mezní hodnota  $\pm 2$  cm od hodnoty mediánu a pro výškovou odchylku byla zvolena mezní hodnota  $\pm 5$  cm od mediánu. Mezní hodnota pro výšku byla zvolena větší z důvodu, že předpoklad přesnosti výšky je nižší než předpoklad přesnosti polohy. Počty odlehlých měření jsou uvedeny v tabulce č. 2.

**Tab. 2: Odlehlá měření pro daný program a směr**

	North	East	Up
TBC	4	4	4
TTC	15	15	16
LGO	1	4	4

Větší množství odlehlých bodů u programu TTC může být způsobeno tím, že se některé body vůbec nepočítaly, ale program je vyexportoval spolu se spočtenými.

Pro jednotlivé programy a směry byly vytvořeny grafy před a po odstranění odlehlých měření, které jsou v příloze B.

Po vyloučení odlehlých měření byl proveden export pro jednotlivé programy pro každou odchylku zvlášť. Tvar exportu bylo číslo bodu a daná odchylka (N, E, U). Číslo bodu bylo ze tvaru YYYY DDD převedeno na desetinné číslo, kdy byl den vydělen 365 a přičten k roku.

## 5. 2 Výpočet aproximační funkce

Tato kapitola je zaměřena na zjištění parametrů aproximační funkce, které slouží pro porovnání jednotlivých programů. Pro výpočet vyrovnání byl vyhotoven modul *ts\_adj.py*, který je součástí hlavního programu *bp\_steidl.py*.

Předpoklad pro zvolení aproximační funkce byl takový, že na měření mají vliv přírodní jevy, které se v přírodě periodicky opakují (např. teplota při střídání ročních období) a které mohou působit na stabilitu bodu, v tomto případě na stabilitu permanentní stanice NKOS. Proto byla jako aproximační funkce zvolena *Jednoduchá harmonická funkce - sinusoida*.

$$y = A_0 + a \sin(t + A) \quad (4.14)$$

kde  $A_0$  = pořadnice osy sinusoidy

$a$  = amplituda

$t$  = proměnný parametr

$A$  = posun počátku sinusoidy

Dalším předpokladem pro aproximaci byla perioda, která byla stanovena na jeden rok. Metodou pro výpočet parametrů aproximační funkce byla zvolena metoda nejmenších čtverců.

### 5. 2. 1 Aproximace funkce pomocí Metody nejmenších čtverců

Na počátku muselo být převedeno desetinné číslo roku na parametr  $t$ , čehož bylo docíleno pomocí vzorce (4.15).

$$t = (x - 2013)2\pi \quad (4.15)$$

kde  $x$  = číslo bodu

Pro zjednodušení normálních rovnic byla zvolena substituce rovnice harmonické funkce.

$$A_1 = a \sin A \quad (4.16)$$

$$A_2 = a \cos A \quad (4.17)$$

Výsledný tvar (4.18) byl použit jako funkční vztah pro vyrovnání.

$$y = A_0 + \cos t A_1 + \sin t A_2 \quad (4.18)$$

Pro vyrovnání zprostředkujících veličin se vycházelo na počátku ze tvaru:

$$L = l + \varepsilon \quad (4.19)$$

kde  $L$  = skutečná hodnota,  $l$  = měřená hodnota,  $\varepsilon$  = skutečná chyba

Protože měřením nelze  $\varepsilon$  určit, není možné určit ani  $L$ . Hledá se proto vyrovnaná hodnota  $\bar{l}$ , pro kterou platí vztah (4.20).

$$\bar{l} = l + v = \bar{l}(x^T) \quad (4.20)$$

Z tohoto tvaru vyplývá obecná rovnice oprav (4.21).

$$v = \bar{l}(x^T) - l \quad (4.21)$$

Dalším krokem bylo převedení rovnic oprav na lineární tvar. Linearizace byla provedena Taylorovým rozvojem funkčního vztahu pouze na členy 1. řádu.

Před samotným rozvojem bylo nutné stanovit přibližné hodnoty neznámých  $x_0$ , vztah  $x = x_0 + dx$  dosadit do rovnice oprav a poté provést rozvoj.

$$v = \bar{l}(x_0^T) + \left. \frac{\partial \bar{l}(x^T)}{\partial x^T} \right|_{x=x_0} \cdot dx - l \quad (4.22)$$

Byla vytvořena matice plánu A

$$A = \left. \frac{\partial \bar{l}(x^T)}{\partial x^T} \right|_0 = \begin{pmatrix} \frac{\partial \bar{l}_1(x^T)}{\partial A_0} & \frac{\partial \bar{l}_1(x^T)}{\partial A_1} & \frac{\partial \bar{l}_1(x^T)}{\partial A_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \bar{l}_n(x^T)}{\partial A_0} & \frac{\partial \bar{l}_n(x^T)}{\partial A_1} & \frac{\partial \bar{l}_n(x^T)}{\partial A_2} \end{pmatrix} \quad (4.23)$$

a také matice redukovaných měření.

$$l' = \bar{l}(x_0^T) - l \quad (4.24)$$

Poté byl získán výsledný tvar rovnice oprav.

$$v = Adx + l' \quad (4.25)$$

Za předpokladu, že byla všechna data spočtena se stejnou přesností, byla apriorní směrodatná odchylka zvolena 1, díky tomu byla váhová matice  $P$  jednotková a pro další vzorce nebyla uváděna.

Splnění podmínky MNČ:  $\Omega = [vv] = \min$ .

$$\frac{\partial v^T v}{\partial dx} = \left( \frac{\partial v}{\partial dx^T} \right) 2v = A^T 2v = 0 \quad (4.26)$$

Dosazením za  $v$  z (4.25) a zkrácením dvěma byl získán po úpravě následující tvar.

$$A^T Adx + A^T l' = 0 \quad (4.27)$$

Symetrická matice  $A^T A$  byla označena  $N$  a tím se získal výsledný tvar řešení normálních rovnic.

$$dx = -N^{-1} A^T l' \quad (4.28)$$

Dále se z vyrovnaných přírůstků určily hodnoty neznámých

$$x = x_0 + dx \quad (4.29)$$

a hodnoty oprav.

$$v = Adx + l' \quad (4.30)$$

Pro kontrolu byly ještě vypočteny druhé hodnoty oprav pomocí vzorce (4.31).

$$v^{II} = \bar{l}(x^T) - l \quad (4.31)$$

Kontrola byla provedena porovnáním hodnot prvních a druhých oprav, pro které musí platit rovnost  $v = v^{II}$ .

Po splnění kontroly bylo přistoupeno k výpočtu středních chyb, kdy byla nejprve spočtena střední chyba jednotková.

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum vv}{n-k}} \quad (4.32)$$

kde  $n$  = počet měření,  $k$  = počet nutných měření

Hodnoty středních chyb neznámých byly uvedeny v kovarianční matici, která byla vypočtena podle vzorce (4.33).

$$m_x = m_0^2 N^{-1} \quad (4.33)$$

Na počátku výpočtu MNČ byla zvolena substituce a proto bylo nutné výsledné parametry funkce spočteny pomocí vzorců (4.34) a (4.35)

$$A = \tan \frac{A_1}{A_2} \quad (4.34)$$

$$a = \sqrt{A_1 + A_2} \quad (4.35)$$

Střední chyba hledaného parametru  $A_0$  byla zjištěna v kovarianční matici  $m_x$ . Pro zjištění hodnot středních chyb ostatních parametrů byl použit zákon přenášení směrodatných odchylek. Pomocí tohoto zákona byla vytvořena pomocná matice  $Q$ ,

$$Q = \begin{pmatrix} \frac{\partial a}{\partial A_0} & \frac{\partial a}{\partial A_1} & \frac{\partial a}{\partial A_2} \\ \frac{\partial A}{\partial A_0} & \frac{\partial A}{\partial A_1} & \frac{\partial A}{\partial A_2} \end{pmatrix} \quad (4.36)$$

kteřá byla použita pro výpočet pomocné kovarianční matice podle vzorce (4.37).

$$m_Q = Qm_x Q^T \quad (4.37)$$

V kovarianční matici  $m_Q$  byly nalezeny zbylé střední chyby pro parametry  $a$  a  $A$ .

Tímto postupem zprostředkujícího vyrovnání byly postupně zjištěny parametry aproximační funkce pro každý směr a program samostatně. Výsledky jsou uvedeny v tab. 3. Grafy pro jednotlivé programy a směry jsou součástí přílohy C.

**Tab. 3: Výsledky aproximační funkce**

	$m_0$ [mm]	$A_0$ [mm]	$\sigma A_0$ [mm]	$a$ [mm]	$\sigma a$ [mm]	$A$ [rad]	$\sigma A$ [rad]
TBC North	1,295	-0,189	0,047	1,132	0,066	-1,401	0,059
TBC East	1,229	3,236	0,045	2,362	0,064	-1,934	0,027
TBC Up	4,769	0,777	0,172	1,799	0,244	-2,300	0,136
TTC North	1,721	0,220	0,063	1,185	0,088	-1,662	0,076
TTC East	1,624	0,328	0,060	2,107	0,084	-1,846	0,040
TTC Up	5,323	0,743	0,196	1,742	0,278	-2,014	0,157
LGO North	2,169	1,400	0,079	1,639	0,112	-1,695	0,068
LGO East	3,337	-10,092	0,124	2,434	0,177	0,701	0,070
LGO Up	9,564	-2,537	0,351	1,001	0,487	-1,358	0,500

*V rámci této kapitoly bylo čerpáno z [23] str. 125-136 a [24] str. 52-54.*

## 6 Testování shodnosti programů

Tato kapitola se věnuje testování shodnosti programů pomocí parametrů aproximační funkce. Testování probíhalo porovnáním parametrů mezi programy: *TBC* x *TTC*, *TBC* x *LGO* a *TTC* x *LGO*. Jako metoda testování bylo zvoleno testování pomocí hypotéz. Použito bylo Studentovo rozdělení. Pro testování byl vyhotoven modul *hypot.py*, který je součástí hlavního programu *bp\_steidl.py*

Postupně byly porovnávány jednotlivé parametry mezi dvojicí programů. Pro každý parametr byla v předchozí kapitole určena hodnota parametru, střední chyba a počet bodů, ze kterých byla spočtena. Z těchto hodnot byla vypočtena hodnota rozdílu a

$$\rho = x_2 - x_1 \quad (5.1)$$

kde  $x = A_0, a, A$

střední chyby rozdílu.

$$\sigma_\rho = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} \quad (5.2)$$

Byla zvolena nulová hypotéza  $H_0$  a alternativní hypotéza  $H_1$ .

$$H_0: \rho = 0 \quad (5.3)$$

$$H_1: \rho \neq 0 \quad (5.4)$$

Pro testování byla zvolena hladina významnosti  $\alpha = 5\%$ .

Proto byla hledána kritická hodnota, pro kterou platí nulová hypotéza. Vycházelo se ze vzorce (5.5).

$$\alpha = P(|\rho| \geq q) = P\left(\frac{|\rho|}{\sigma_\rho} \geq \frac{q}{\sigma_\rho}\right) \quad (5.5)$$

Protože byl použit oboustranný test, upravil se vzorec na tvar (5.5).

$$\frac{\alpha}{2} = 1 - \Phi\left(\frac{q}{\sigma_\rho}\right) \quad (5.6)$$



Dále byla ve vzorci (5.6) nahrazena distribuční funkce  $1 - \Phi\left(\frac{q}{\sigma_\rho}\right)$  funkcí inverzní  $u\left(\frac{\alpha}{2}, n\right)$ .

$$\frac{q}{\sigma_\rho} = u\left(\frac{\alpha}{2}, n\right) \quad (5.7)$$

kde  $n$  značí počet stupňů volnosti:  $n = n_1 + n_2 - 2$

Z předchozího vzorce (5.7) se vyjádřila kritická hodnota  $q$ .

$$q = \sigma_\rho u\left(\frac{\alpha}{2}, n\right) \quad (5.8)$$

Kritická hodnota závisí na použité hladině významnosti  $\alpha$ , na stupni volnosti  $n$  a na směrodatné odchylce  $\sigma_\rho$ .

Testování probíhalo porovnáním kritické hodnoty  $q$  s hodnotou rozdílu  $\rho$  podle zásad:

$|\rho| < q$     výsledek 1, přijímáme hypotézu  $H_0$

$|\rho| > q$     výsledek 0, hodnota  $\rho$  je statisticky významná a proto zamítáme hypotézu  $H_0$  a přijímáme alternativní hypotézu  $H_1$

Výsledky testování jsou uvedeny v tabulkách společně s hodnotami  $\rho$  a  $q$ .

*V rámci této kapitoly bylo čerpáno z [24] str. 99-100.*

**Tab. 4: Výsledky hypotéz TBC - TTC**

směr	A0 [mm]			a [mm]			A [rad]			výsledek pro směr	výsledek pro program
	$\rho$	q	$H_0$	$\rho$	q	$H_0$	P	q	$H_0$		
north	-0,409	0,016	<b>0</b>	-0,053	0,217	<b>1</b>	0,261	0,189	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
east	2,908	0,015	<b>0</b>	0,255	0,207	<b>0</b>	-0,088	0,094	<b>1</b>	<b>0</b>	
up	0,034	0,052	<b>1</b>	0,057	0,733	<b>1</b>	-0,285	0,406	<b>1</b>	<b>1</b>	

**Tab. 5: Výsledky hypotéz TBC - LGO**

směr	A0 [mm]			a [mm]			A [rad]			výsledek pro směr	výsledek pro program
	$\rho$	q	$H_0$	$\rho$	q	$H_0$	P	q	$H_0$		
north	-1,589	0,182	<b>0</b>	-0,507	0,254	<b>0</b>	0,294	0,178	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
east	13,328	0,259	<b>0</b>	-0,071	0,370	<b>1</b>	-2,635	0,148	<b>0</b>	<b>0</b>	
up	3,314	0,770	<b>0</b>	0,798	1,075	<b>1</b>	-0,941	1,016	<b>1</b>	<b>0</b>	



Tab. 6: Výsledky hypotéz TTC - LGO

směr	A0 [mm]			a [mm]			A [rad]			výsledek pro směr	výsledek pro program
	$\rho$	q	$H_0$	$\rho$	q	$H_0$	P	q	$H_0$		
north	-1,180	0,199	0	-0,455	0,279	0	0,033	0,200	1	0	0
east	10,420	0,270	0	-0,327	0,385	1	-2,547	0,159	0	0	
up	3,281	0,789	0	0,741	1,102	1	-0,656	1,029	1	0	

## Závěr

Cílem této práce bylo zhodnocení zpracování GNSS dat na spojnici dvou permanentních stanic za účelem nahrazení zastaralého programu TTC novějšími programy TBC a LGO. Jsou zde hodnoceny programy podle uživatelského přístupu a dále podle vypočtených dat.

Nejprve byla v jednotlivých programech spočtena a vyexportována data. Zpracována byla denní řešení. Protože byla data počítána po částech, bylo provedeno sloučení exportů z programu do jednoho souboru. Při sloučení bylo nutné vyřešit číslování denních řešení na desetinné číslo roku. Dále byl proveden převod na souřadnice NEU se společnou referencí. Odchyly souřadnic NEU byly po jednotlivých složkách aproximovány harmonickou funkcí, za účelem zjištění parametrů této funkce. Testováním pomocí hypotéz bylo zkoumáno, zda si jednotlivé programy odpovídají.

V rámci této práce byl pro převod souřadnic, aproximaci harmonickou funkcí, testování hypotéz a tvorbu grafických výstupů vytvořen v jazyku *Python* program *bp\_steidl.py*. Tento program je součástí příloh A na DVD.

Práce ve všech programech není po zaučení složitá. V průběhu zpracování se ukázalo, že programy TBC a LGO nejsou stavěny na takovéto množství dat. To se projevilo u TBC nemožností znovu otevřít již zpracovaný a uložený projekt s větším množstvím dat. U LGO skončil výpočet prázdnými výsledky při větším množství dat, proto bylo nutné data rozdělit a počítat po částech. U TBC byla data rozdělena po 15-ti dnech a u LGO po měsíci. Program TTC dokázal jako jediný spočítat v jednom projektu data za jeden rok a zároveň relativně rychle. Protože každý program dokázal spočítat jiné maximální množství dat, nelze říci, který program je nejrychlejší, ale lze zhodnotit časovou náročnost pro uživatele. Kompletní výpočet projektu u TTC (data za rok) trval včetně nastavení, importu a exportu cca 4 hodiny, u projektu TBC (data za 15 dní) trval cca 20 minut a u projektu LGO (data za měsíc) trval cca 30 minut. Z těchto hodnot je patrné, že časově nejnáročnější bylo zpracování v TBC.

Při nastavení výpočtu dovoluje program TBC nastavit nejméně parametrů (chybí nastavení ionosférických a troposférických modelů), což však neznamená, že s nimi program nepracuje, jenom není možná volba, jakým způsobem je použije.

Pro hodnocení vypočtených dat bylo zvoleno hodnocení pomocí parametrů aproximovaných harmonickou funkcí. Vypočteny byly parametry  $A_0$ ,  $a$ ,  $A$  a jednotková střední chyba  $m_0$ . Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.

Nejprve je možné hodnotit jednotkovou střední chybu  $m_0$ , ve které je vidět rozptyl hodnot. U všech programů je jednotková střední chyba pro polohové složky třikrát menší než pro složku výškovou. To souvisí s přesností polohového a výškového měření GNSS. Také je zde vidět, že rozptyl hodnot všech směrů u programu LGO je přibližně dvakrát větší než u ostatních programů. Nejlepší výsledky rozptylu jsou u programu TBC.

Vstupní hodnoty souřadnic NEU byly počítány od aritmetického průměru všech hodnot dané souřadnice za účelem, aby bylo možné hodnotit posun středních hodnot vůči sobě. Tato skutečnost je obsažena v parametru  $A_0$ . Výsledky ukazují na to, že střední hodnoty z programu LGO se liší od ostatních programů. Největší rozdíl je patrný ve směru East, kde je oproti TBC rozdíl 13 mm a oproti TTC 10 mm.

Parametr  $a$  je amplitudou aproximační funkce. Tato hodnota reprezentuje změnu souřadnice bodu v daném směru. Z vypočtených hodnot je patrný periodický vliv.

Posledním parametrem je posun  $A$  počátku sinusoidy. Zde je vidět, že ve směru East programu LGO je posun jiným směrem než v případě ostatních programů v téže směru.

Pomocí statistických hypotéz bylo testováno, zda byla u dvojice programů přijata nulová hypotéza s nejistotou 5%. Nulová hypotéza byla zvolena tak, že rozdíl hodnot je roven nule. Z výsledků uvedených v tab. 4 až tab. 6 je vidět, že o žádné dvojici programů nelze konstatovat, že počítají stejně. Shodu v nejvíce parametrech (pěti) mají programy TBC a TTC. Ve směru výšky je zde shoda úplná.

Z hodnot vypočtených parametrů lze konstatovat, že by bylo možné přejít na program TBC. Rozdíly některých parametrů těchto programů jsou zřejmé, ale jejich velikosti nezabraňují přechodu na program TBC. Hlavní nevýhodou tohoto programu je omezené množství dat, které lze zpracovat. Celkově kvůli účelu, pro který by se tento program využíval, se nedoporučuje na tento program přecházet.

Přechod na program LGO se také nedoporučuje. Důvodem je, že tento program ve výsledcích vybočoval od ostatních dvou a měl podstatně větší rozptyl dat. Množství dat,

které se dá vypočítat v jednom projektu je dvojnásobné oproti TBC, ale i přesto není dostačující pro účel využití.

Vzhledem k tomu, že použité verze programů nebyly nejnovější, není vyloučeno, že chyby v novějších verzích (např. u TBC chyba spojená s množstvím dat) byly odstraněny a po dalším testování by byl přechod doporučen. Další možností by bylo přejít na vědecké programy např. GIPSY-OASIS, GAMIT, BERNESE, které by vyhovovaly účelu využití programu.

## Použité zkratky

GLONASS - GLObalnaja NAVigacionnaja Sputnikovaja Systěma

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

IGS – International GNSS Service

LGO – Leica Geomatic Office

MNČ – Metoda nejmenších čtverců

NGS – National Geodetic Survey

RINEX - Receiver INdependent EXchange

TBC – Trimble Business Center

TTC – Trimble Total Control

## Zdroje

- [1] TESAŘ, Pavel. *Úvod do GNSS*. 2007.
- [2] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002.
- [3] *Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics*[online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/>
- [4] *Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.glonass-iac.ru/en/>
- [5] *Český kosmický portál* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>
- [6] KUČERA, Matěj. *Zpracování diferencovaných dat GNSS v prostředí BNC*. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Leoš Mervart, DrSc.
- [7] *International GNSS service* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.igs.org/products>
- [8] *Astronomisches Institut Universität Bern: Global Ionosphere Maps Produced by CODE* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://aiuws.unibe.ch/ionosphere/>
- [9] *VÚGTK: Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/5891\\_referencni-stanice](https://www.vugtk.cz/slovník/5891_referencni-stanice)
- [10] *Geodetická observatoř Pecný, VÚGTK, v.v.i.: Permanentní GNSS stanice GOPE* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://oko.pecny.cz/vesog/stanice/gope.html>
- [11] *Leica Geosystems: Leica Geo Office Online Help* [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.surveyequipment.com/PDFs/leica-lgo-8.3-online-help.pdf>
- [12] *Leica Geo Office: Návod pro rychlý start* [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: [http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Navody/CZ\\_Rychlonavody/LGO\\_rychlonavod.pdf](http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Navody/CZ_Rychlonavody/LGO_rychlonavod.pdf)
- [13] *Trimble® Business Center Heavy Construction Edition: User Guide*. Version 1.20.

- [14] *Trimble Total Control: User Guide*. Version 2.7.
- [15] SEIDL, Michal. *Aplikace technologie GPS v lokálních sítích Geodynamická síť Cheb*. Praha, 2006. Disertační práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Jan Ratiborsky, CSc.
- [16] *Python* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.python.org/>
- [17] *Matplotlib* [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://matplotlib.org/>
- [18] *Numpy* [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.numpy.org/>
- [19] *SciPy* [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://www.scipy.org/>
- [20] *World Geodetic System 1984: Its Definition and Relationships with Local Geodetic System*. 3 January 2000. National Imagery and Mapping Agency, Department of Defence.
- [21] BUCHAR, Petr. *Matematická kartografie*. 2. přepracované vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.
- [22] CIMBÁLNÍK, Miloš a Leoš MERVART. *Vyšší geodézie I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997.
- [23] HAMPACHER, Miroslav a Vladimír RADOUCH. *Teorie chyb a vyrovnávací počet 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997.
- [24] HAMPACHER, Miroslav a Vladimír RADOUCH. *Teorie chyb a vyrovnávací počet 20*. Dotisk 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000.
- [25] *Model antény TPSCR.G3 TPSH* [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: [http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=TPSCR.G3\\_TPSH.atx](http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=TPSCR.G3_TPSH.atx)
- [26] *Model antény TRM41249.00 TZGD* [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: [http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=TRM41249.00\\_TZGD.atx](http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=TRM41249.00_TZGD.atx)



## Seznam obrázků

Obr. 1: GPS řídicí segment.....	3
Obr. 2: Umístění stanic GOPE a NKOS .....	8
Obr. 3: GOPE umístění pilíře v budově Geodetické observatoře Pecný .....	10
Obr. 4: GOPE vlevo anténa Topcon CR-G3 umístěná na bodě, vpravo přijímač Topcon NetG3 .....	10
Obr. 5: NKOS budova se stabilizovaným bodem.....	11
Obr. 6: NKOS vlevo anténa Trimble Zerphyr Geodetic umístěná na bodě, vpravo Trimble 5700.....	12
Obr. 7 TBC okno programu .....	14
Obr. 8 TBC zpracování základnic.....	15
Obr. 9 TTC okno programu.....	16
Obr. 10 TTC okno před výpočtem.....	18
Obr. 11 LGO okno programu .....	19
Obr. 12 LGO porovnání souřadnice X.....	20
Obr. 13 LGO porovnání souřadnice Y .....	21
Obr. 14 LGO porovnání souřadnice Z .....	21
Obr. 15 LGO nastavení importu .....	22
Obr. 16 LGO nastavení typu stanice.....	22

## Seznam tabulek

Tab. 1: LGO volba parametrů .....	20
Tab. 2: Odlehlá měření pro daný program a směr .....	28
Tab. 3: Výsledky aproximační funkce .....	32
Tab. 4: Výsledky hypotéz TBC - TTC.....	34
Tab. 5: Výsledky hypotéz TBC - LGO .....	34
Tab. 6: Výsledky hypotéz TTC - LGO .....	35

## Seznam příloh

- A. Obsah přiloženého DVD
- B. Grafy surových a vypočtených dat
  - 1. TBC
  - 2. TTC
  - 3. LGO
- C. Grafy po aproximaci harmonickou funkcí
  - 1. TBC
  - 2. TTC
  - 3. LGO

## A. Obsah přiloženého DVD

Stromová struktura přiloženého DVD:

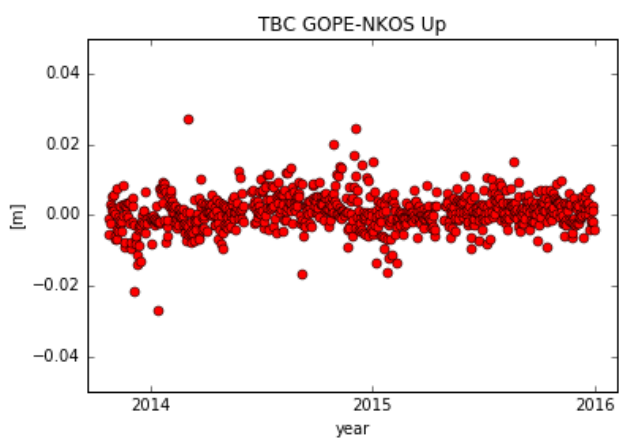
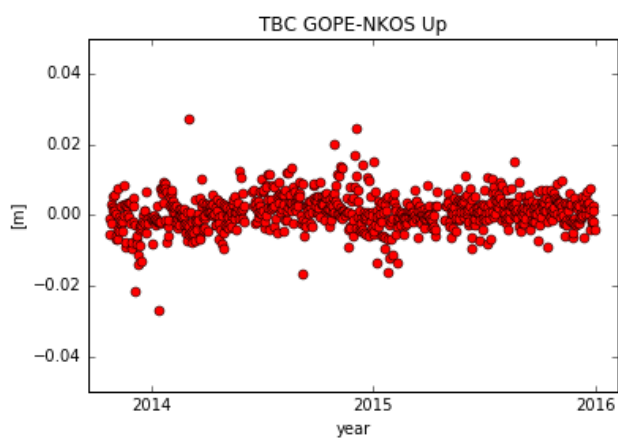
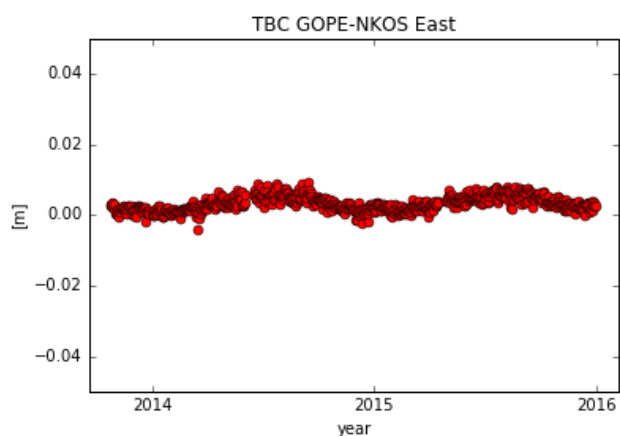
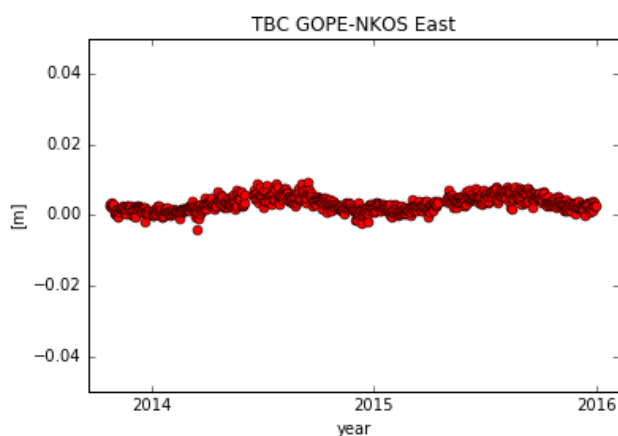
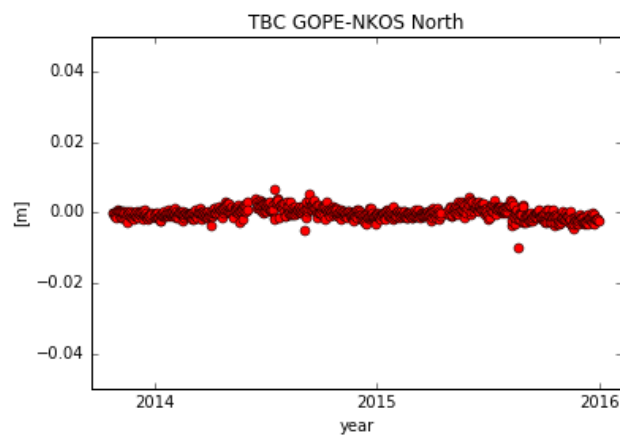
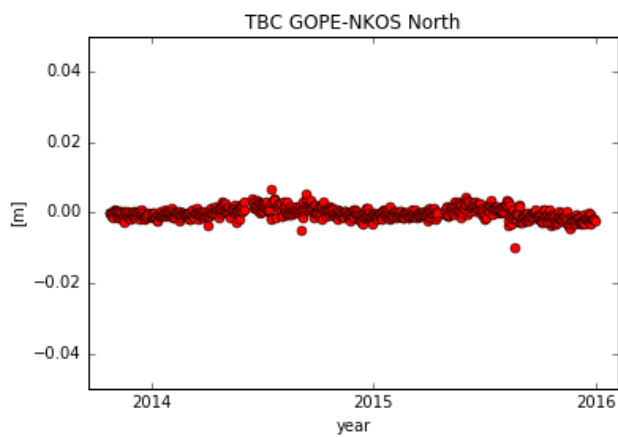
- **Text bakalářské práce (.pdf)**
- **Projekty**
  - TBC
    - 2013
      - jednotlivé zaarchivované projekty (.zip)
    - 2014
      - jednotlivé zaarchivované projekty (.zip)
    - 2015
      - jednotlivé zaarchivované projekty (.zip)
  - TTC
    - jednotlivé zaarchivované projekty (.ggs)
  - LGO
    - 2013
      - jednotlivé zaarchivované projekty (.zip)
    - 2014
      - jednotlivé zaarchivované projekty (.zip)
    - 2015
      - jednotlivé zaarchivované projekty (.zip)
- **Program**
  - upravené sloučené exporty z jednotlivých programů (.txt)
  - hlavní program bp\_steidl.py
  - modul convert\_xyz.py
  - modul hypot.py
  - modul plot\_data.py
  - modul ts\_adj.py

## B. Grafy surových a vyčištěných dat

### 1. TBC

Surová data

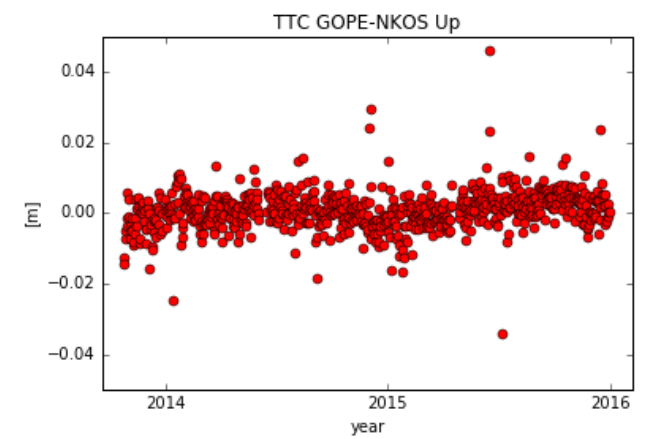
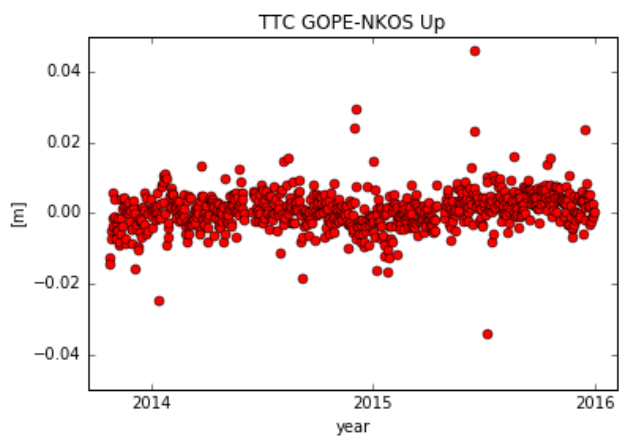
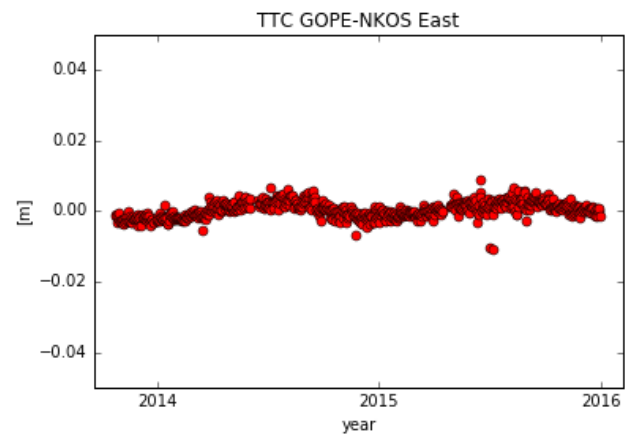
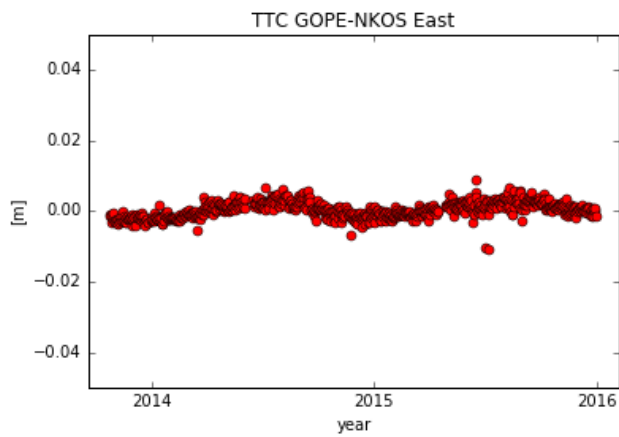
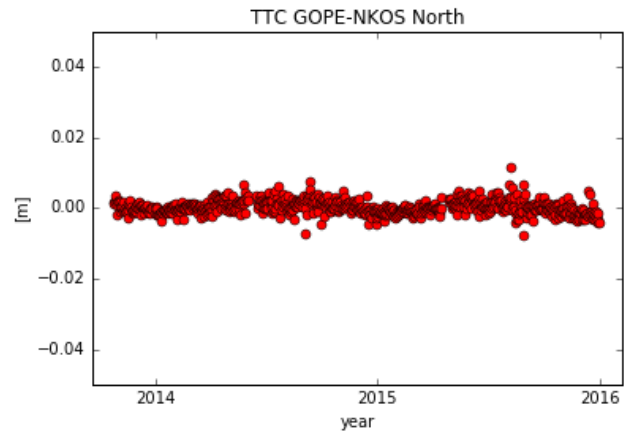
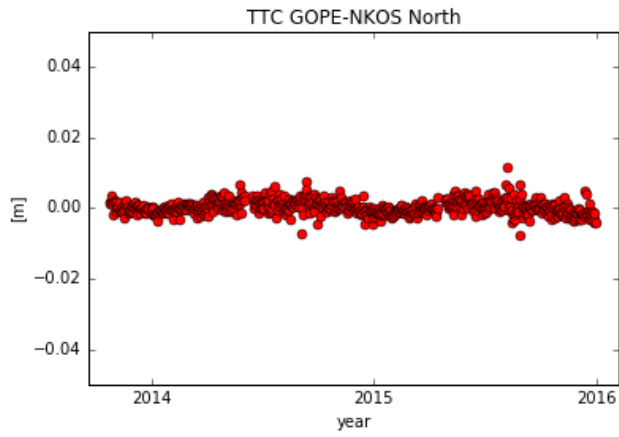
Vyčištěná data



## 2. TTC

Surová data

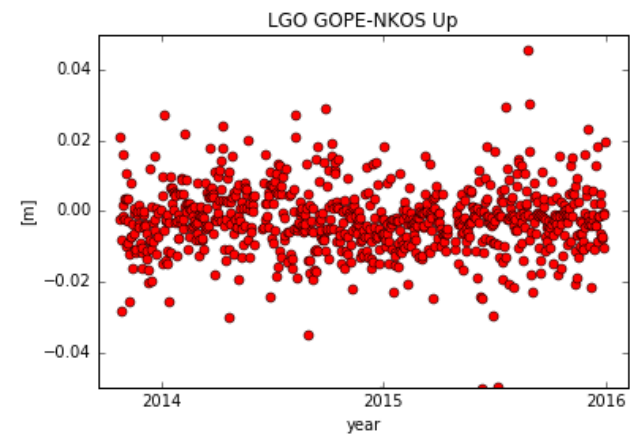
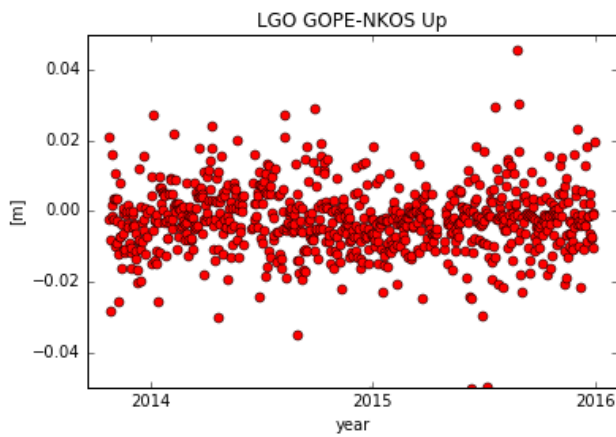
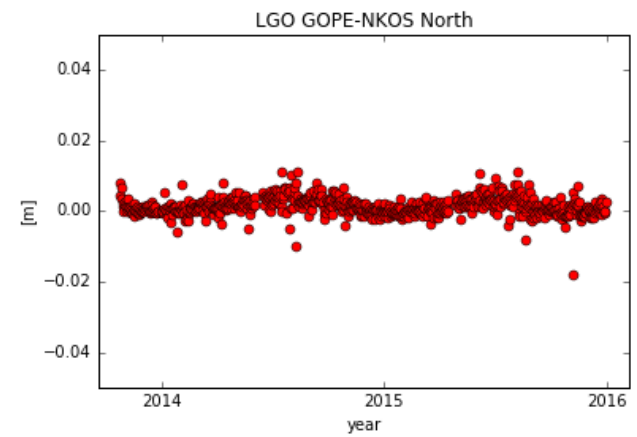
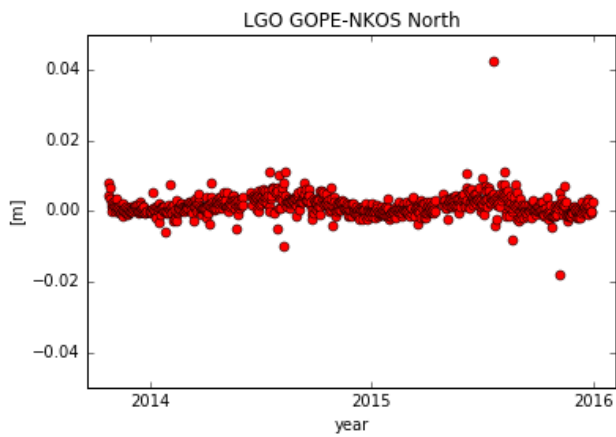
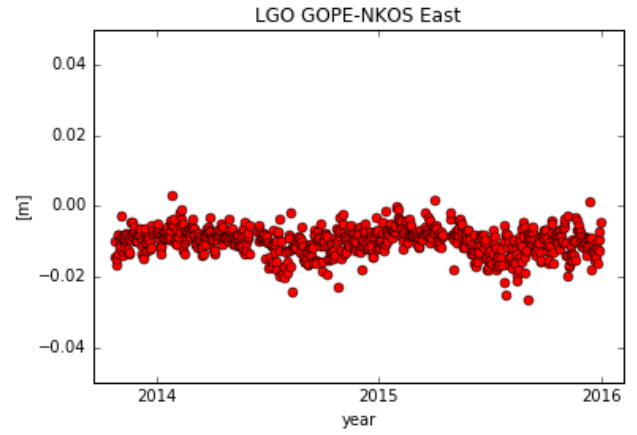
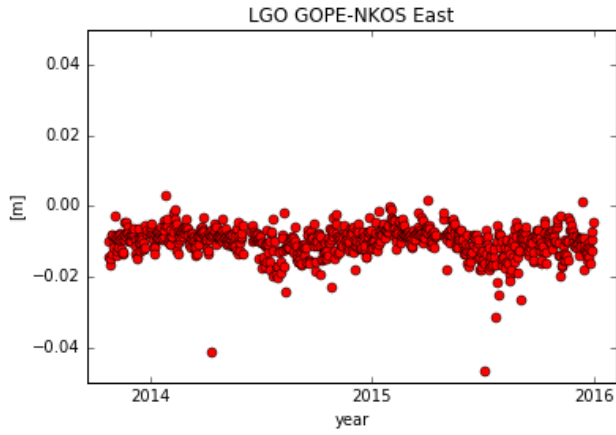
Vyčištěná data



### 3. LGO

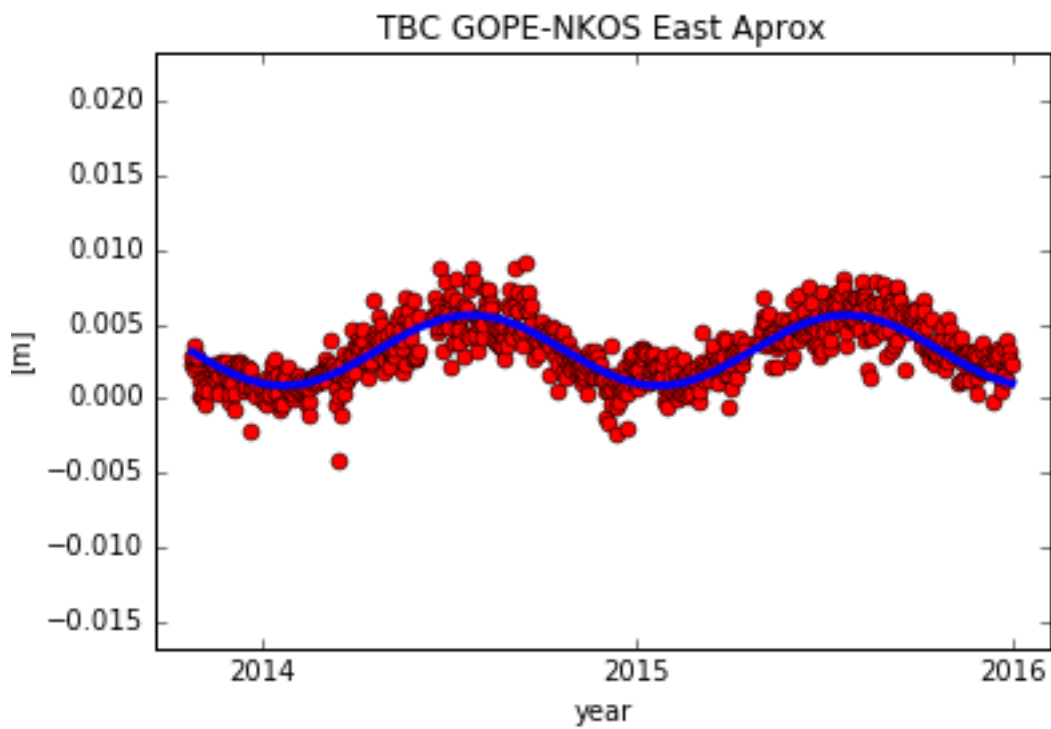
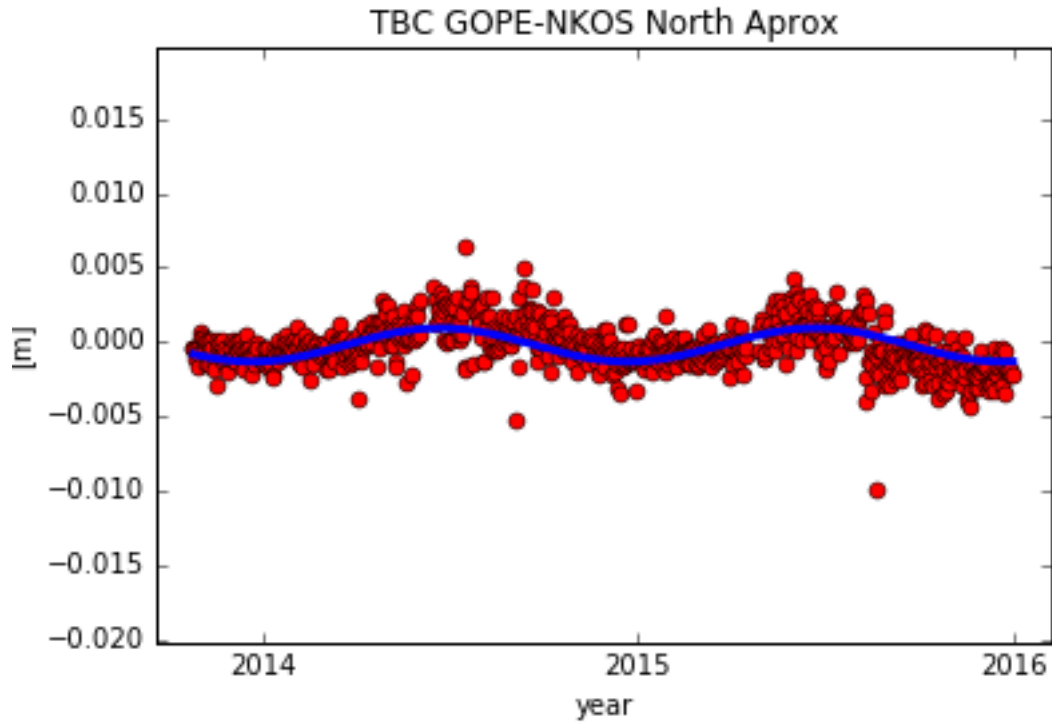
Surová data

Vyčištěná data

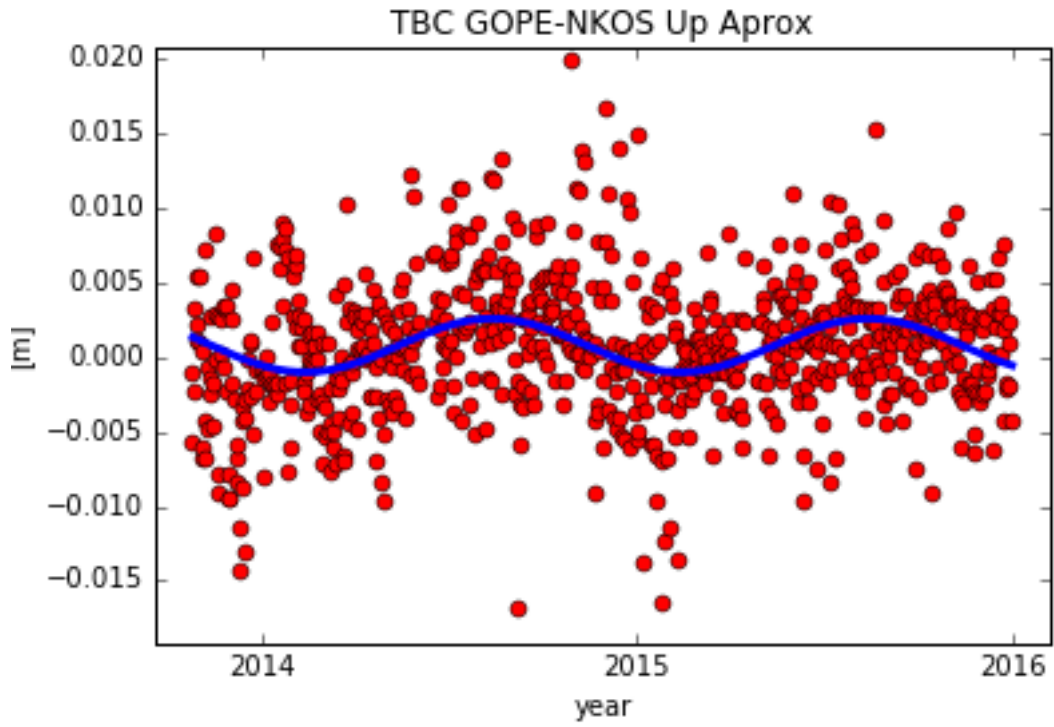


## C. Grafy po aproximaci harmonickou funkcí

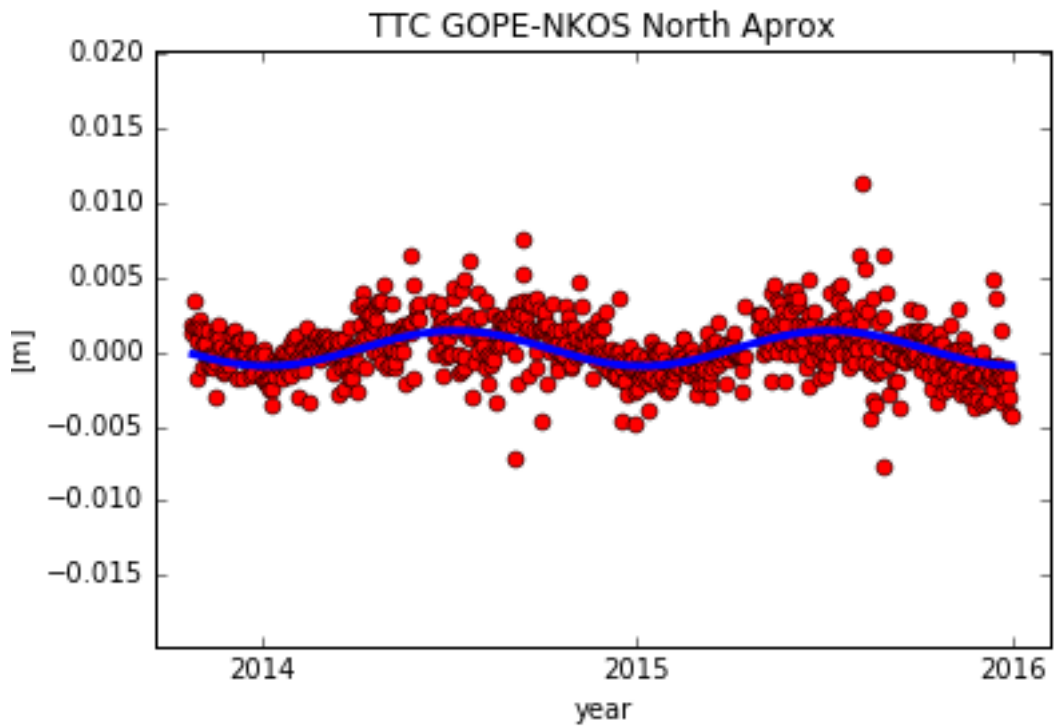
### 1. TBC

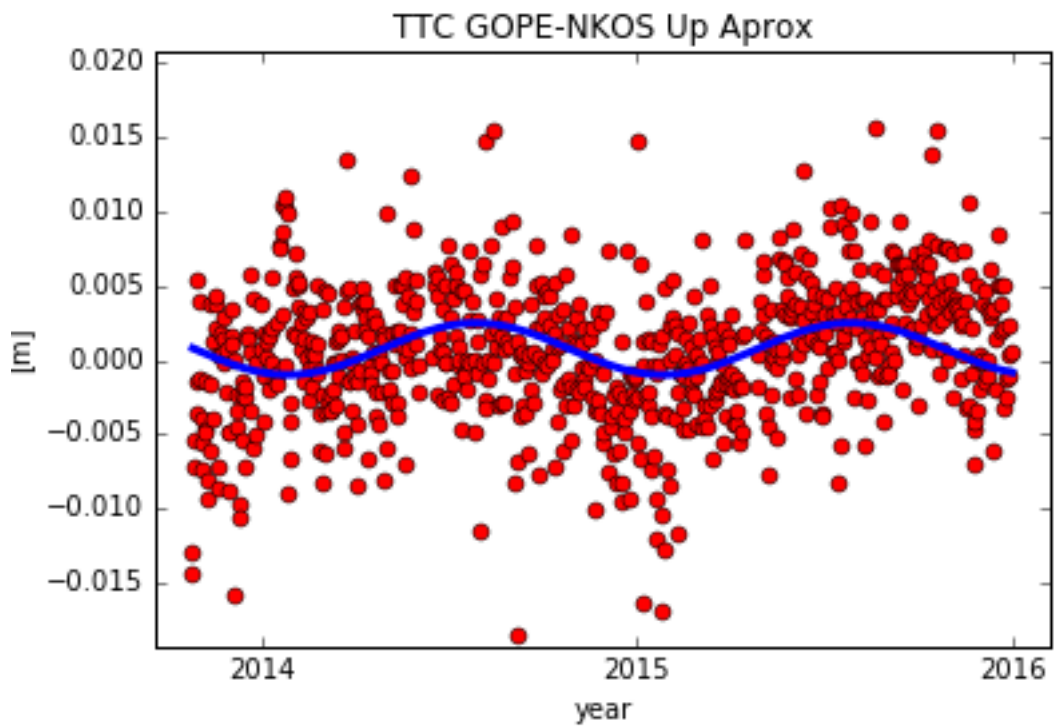
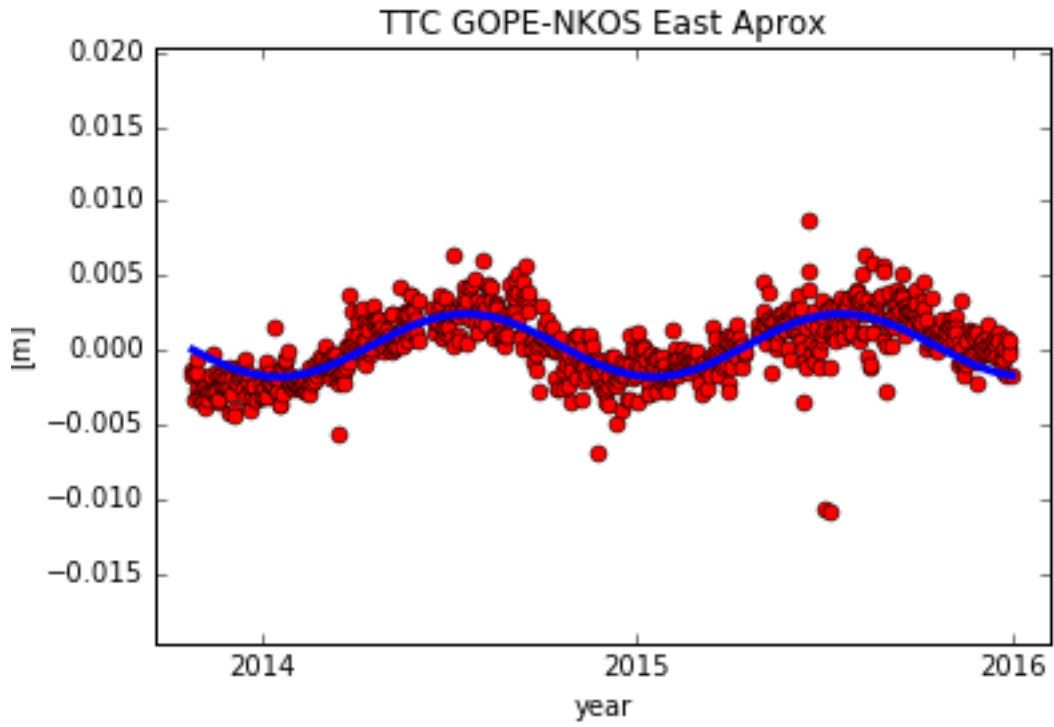






## 2. TTC





### 3. LGO

