

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zjišťování stability polohy referenční GPS stanice  
PLZE v čase

Zadání BP

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené odborné literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne 25.5.2007

.....  
podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Karlu Jedličkovi za odborné vedení a cenné rady.

Dále také děkuji zaměstnancům Zeměměřického úřadu (odbor geodetických základů, řídicí centrum CZEPOS) za ochotu a poskytnutá data.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá zjišťováním stability polohy permanentní referenční GPS stanice PLZE v čase. V teoretické části je obsažen úvod do metod měření GPS, podrobný popis je věnován metodě diferenciální GPS. V další kapitole je uveden popis sítě referenčních stanic na území České republiky, především sítě CZEPOS. V praktické části byly počítány souřadnice stanice PLZE vždy jednou za měsíc po dobu jednoho roku. Výsledky měření jsou porovnány se souřadnicemi z CZEPOS a zjištěné odchylky zobrazeny do grafů. Pomocí regresní přímky je zhodnocen vývoj polohy stanice v čase.

## **Klíčová slova**

GPS, DGPS, síť referenčních GPS stanic, CZEPOS, VESOG, RINEX.

## **Abstrakt**

This bachelor diploma thesis deals with eliciting of stability of location of the permanent GPS station PLZE in a period of time. The theoretical part contains the introduction into the methods of GPS measuring, especially the method of diferencial GPS. There is also a description of the permanent GPS network of the Czech Republic especially CZEPOS network. The practical part contains the calculation of coordinates of the PLZE station made every month during one calendar year. The results are compared to the coordinates of the CZEPOS and actual deviations are displayed in graphs. The development of the location of the station in a period of time is evaluated with a regression line.

## **Keywords**

GPS, DGPS, permanent GPS network, CZEPOS, VESOG, RINEX.

# Obsah:

Seznam obrázků.....	8
Seznam tabulek.....	9
Seznam grafů.....	10
Seznam použitých zkratk.....	11
1 Úvod.....	13
2 Global Navigation Satellite Systems (GNSS).....	14
2.1 Obecná struktura družicových polohových systémů.....	14
2.1.1 Kosmický segment.....	14
2.1.2 Řídící segment.....	14
2.1.3 Uživatelský segment.....	15
2.2 Přijímače GPS.....	15
2.2.1 Anténa.....	15
2.2.2 Navigační přijímač.....	15
2.2.3 Navigační počítač.....	16
2.3 Principy měření.....	16
2.3.1 Kódová měření.....	16
2.3.2 Fázová měření.....	17
2.3.3 Dopplerovská měření.....	17
2.4 Metody měření.....	18
2.4.1 Určení absolutní polohy.....	18
2.4.2 Průměrování.....	18
2.4.3 Diferenciální GPS.....	18
2.5 Diferenciální GPS (Differential Global Positioning System).....	18
2.5.1 Určování relativní polohy.....	18
2.5.2 Diferenční korekce.....	19
2.5.3 Referenční stanice.....	20
2.5.4 Sítě referenčních GPS stanic.....	20
2.5.5 Metoda DGPS.....	20
2.5.6 Statická metoda.....	21
2.5.7 Metoda RTK.....	21
2.5.8 Síťové RTK.....	21
2.5.9 Pseudodružice.....	21
2.6 Formáty a přenos dat.....	22
2.6.1 NMEA-0183.....	22
2.6.2 RTCM SC-104.....	22
2.6.3 CMR/CMR+.....	23
2.6.4 NTRIP.....	23
2.6.5 RINEX.....	24
2.6.6 Přenos dat.....	25
2.7 Rozšiřující systémy.....	25
2.7.1 WAAS (Wide Area Augmentation System).....	25
2.7.2 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System).....	26
3 Sítě referenčních stanic GPS na území ČR.....	27
3.1 by/S@T.....	27
3.2 GeoNAS.....	27
3.2.1 Popis sítě GeoNAS.....	27
3.2.2 Technické parametry sítě.....	28
3.2.3 Poskytované formáty dat sítě GeoNAS.....	29

3.3 TopNET .....	29
3.3.1 Popis sítě TopNET .....	29
3.3.2 Technické parametry sítě.....	30
3.3.3 Poskytované formáty dat sítě TopNET .....	30
3.4 VESOG .....	30
3.4.1 Popis sítě VESOG .....	31
3.4.2 Technické parametry sítě.....	33
3.4.3 Poskytované formáty dat sítě VESOG .....	34
4 CZEPOS .....	36
4.1 Postup budování sítě.....	36
4.2 Popis sítě.....	36
4.3 Technické parametry sítě.....	38
4.3.1 Přijímače GRX 1200 Pro.....	38
4.3.2 Antény AT504 Choke Ring.....	39
4.3.3 Technické parametry externích stanic .....	39
4.4 Datové služby a produkty CZEPOS .....	39
4.4.1 Postup registrace uživatele sítě CZEPOS.....	39
4.4.2 Příjem korekcí v reálném čase.....	40
4.4.3 Následné zpracování (postprocessing) .....	40
4.4.4 Cenové tarify služeb a produktů CZEPOS .....	40
5 PLZE.....	41
5.1 Obecný postup .....	41
5.1.1 Souřadnice z CZEPOS .....	41
5.2 První kampaň – ověření funkčnosti navrhované metody určování stability bodů sítě CZEPOS .....	42
5.3 Celé měření.....	42
5.3.1 Použitá data .....	42
5.3.2 Výpočet souřadnic .....	43
5.3.3 Transformace souřadnic .....	51
5.4 Vyhodnocení.....	52
6 Závěr.....	54
Použitá literatura.....	55
Seznam příloh.....	58
Přílohy .....	59

## Seznam obrázků

- Obr. 2.1 Struktura klasické referenční stanice DGPS [13]
- Obr. 2.2 Schéma toku dat pomocí NTRIP [5]
- Obr. 4.1 Rozmístění referenčních stanic sítě GeoNAS [4]
- Obr. 4.2 Rozmístění referenčních stanic sítě TopNET [21]
- Obr. 4.3 Rozmístění referenčních stanic sítě VESOG [23]
- Obr. 4.4 Schéma toku dat ze stanice, která data odesílá do operačního centra [23]
- Obr. 4.5 Schéma toku dat ze stanice, kde data stahuje operační centrum [23]
- Obr. 5.1 Rozmístění referenčních stanic sítě CZEPOS [3]
- Obr. 5.2 Schéma toku dat v síti CZEPOS [10]
- Obr. 5.3 Přijímač GRX 1200 Pro [10]
- Obr. 5.4 Anténa AT504 Choke Ring [10]
- Obr. 6.5 Geometrie sítě bodů použitých pro transformaci z ETRS-89 do S-JTSK
- Obr. 6.6 Schématický graf regresní přímky hodnot  $\Delta X$  (m)



## Seznam tabulek

Tab. 4.1 Používané satelitní přijímače na referenčních stanicích sítě VESOG

Tab. 4.2 Používané antény na referenčních stanicích sítě VESOG

Tab. 5.1 Rozdíly  $\Delta d = \text{síťové řešení} - \Phi$  z vektorů

Tab. 5.2 Tabulka odchylek  $\Delta X$  měřené souřadnice  $X(m)$  v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase

Tab. 5.3 Tabulka odchylek  $\Delta Y$  měřené souřadnice  $Y(m)$  v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase

Tab. 5.4 Tabulka odchylek  $\Delta Z$  měřené souřadnice  $Z(m)$  v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase

Tab. 5.5 Tabulka prostorových vzdáleností měřených souřadnic od souřadnic z CZEPOS v čase

Tab. 5.6 Odchylky  $\Delta_{31.3.2003}$  (m)

## Seznam grafů

- Graf 5.1 Vývoj odchylek  $\Delta X$  měřené souřadnice  $X(m)$  v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase
- Graf 5.2 Vývoj odchylek  $\Delta Y$  měřené souřadnice  $Y(m)$  v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase
- Graf 5.3 Vývoj odchylek  $\Delta Z$  měřené souřadnice  $Z(m)$  v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase
- Graf 5.4 Vývoj prostorových vzdáleností měřených souřadnic od souřadnic z CZEPOS v čase

## Seznam použitých zkratek

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AVČR	Akademie věd České republiky
CDMA	Code Division Multiple Access
CMR	Compact Measurement Rekord
CWAS	Canadian WAAS
CZEPOS	CZEch Positioning System
ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DGPS	Diferential Global Positioning System
DOP	Dilution Of Precision
DOT	United States Department of Transportation
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution
EGNOS	Geostationary Navigation Overlay System
ETRS	European Terrestrial Reference System
EUREF EPN	European Reference Frame Permanent Network
FAA	Federal Aviation Administration
GAGAN	GPS And GEO Augmented Navigation
GeoNAS	Geodynamic Network of the Academy of Science
GIS	geografický informační systém
GLONASS	Global'naya Navigatsionnay Sputnikovaya Sistema
GNSS (/GNS)	Global Navigation Satellite Systems
GPRS	General Packet Radio System (/ Service)
GPS NAVSTAR	GPS NAVigation Satellite Timiny And Ranging
GPS	globální polohový systém (angl. Global Positioning System)
GSM	Global System for Mobile
HTTP	HyperText Transfer Protocol
INMARSAT	INternational MARitime SATellite organization
IOR	Indian Ocean Region
IP	Internet Protocol
IRC OC	Internet Relay Chat
LAAS	Local Area Augmentation System
MCC	Master Control Centre
MSAS	Multi-Function Satellite Augmentation System
NMEA	National Marine Electronics Association
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OTF	On The Fly
RAID	Redundant Array of Inexpensive Discs
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Station
RINEX	Reciever Independent Exchange Format
RTCM SC-104	Radion Technical Commission for Marine Services Special Committee 104
RTIGS	Real Time International GNSS Service
RTK – FKP	Real Time Kinematic – Flächen Korektur Parameter
RTK – PRS	Real Time Kinematic – Pseudo Reference Station
RTK	Real Time Kinematic
SBAS	Satellite Based Augmentation System
S-JTSK	systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SNAS	Satellite Navigation Augmentation System

TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPS	Uninterruptible Power Supply
USA	United States of America
USB	Universal Serial Bus
ÚSMH	Ústavu struktury a mechaniky hornin
VESOG	Výzkumná a experimentální síť pro observace GNSS
VŠB – TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita v Ostravě
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
WAAS	Area Augmentation System
WiFi	Wireless Fidelity
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
ZÚ	Zeměměřický úřad

# 1 Úvod

V současné době registrujeme neustále vzrůstající trend využívání GPS pro určování přesné polohy. Pro geodetické účely je používána metoda diferenciální GPS – její princip spočívá v získávání korekcí z referenčních stanic pro zpřesnění měření polohy. Vzhledem k tomu, že pro geodetická měření je žádoucí maximální dosažitelná přesnost naměřených hodnot, může být informace o stabilitě referenčních stanic v praxi přínosem.

Předkládaná bakalářská práce má za cíl zpracovat vývoj stability permanentní referenční stanice PLZE v čase. PLZE je jednou ze stanic Výzkumné a experimentální sítě pro observace GNSS (VESOG) a dále je také začleněna jako externí stanice do nejrozsáhlejší sítě referenčních stanic na území České republiky CZEPOS. Tato stanice je pod správou Západočeské univerzity v Plzni, pracovníků oboru Geomatika na Fakultě aplikovaných věd.

V první části práce je uveden popis obecné struktury družicových polohových systémů, principů a metod měření. Zvýšený důraz je kladen na výše zmiňovanou metodu diferenciální GPS, která byla použita v praktické části bakalářské práce. Podrobněji jsou v teoretické části popsány i základní formáty a protokoly používané v rámci GNSS.

Druhá část práce je věnována sítím referenčních stanic na území České republiky – od nejmenší sítě by/S@T až po VESOG a CZEPOS. Nejrozsáhlejší síť (CZEPOS) je věnována samostatná kapitola. U jednotlivých sítí jsou uvedeny jejich obecné popisy, technické parametry a jimi poskytovaná data.

Třetí část práce se zabývá samotným zpracováním měření, vypracováním grafického znázornění výsledků a jejich zhodnocením. Zpracovaná data byla poskytnuta sítí CZEPOS. Doba observace byla 24 hodin vždy jednou za měsíc po dobu jednoho roku. Data byla zpracována statickou metodou a výsledkem bylo síťové řešení souřadnic referenční stanice PLZE. Tyto souřadnice byly porovnány s geodeticky určenými souřadnicemi a dále byly vypracovány grafy těchto odchylek. Na závěr práce je zhodnocena stabilita polohy stanice PLZE prostřednictvím regresních přímek těchto grafů.

## 2 Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

V této kapitole jsou popsány základní struktury, principy a metody měření používané v GNSS. Podrobnější popis je věnován formátům dat. V celé kapitole byly informace čerpány z [5], [7], [13], [14], [16], [17].

Definitivní rozhodnutí o vybudování prvního navigačního družicového systému padlo 17. prosince 1973 v USA, kdy byl oficiálně zahájen armádní projekt GPS NAVSTAR. V osmdesátých letech byl zahájen vývoj druhého systému GLONASS, který začal budovat tehdejší Sovětský svaz, nyní je spravován Ruskem. Nejnovější družicový navigační systém je plánovaný evropský systém Galileo. Jeho výstavbu realizují státy Evropské unie.

### 2.1 Obecná struktura družicových polohových systémů

Družicové polohové systémy jsou obecně tvořeny třemi základními segmenty. Následující informace byly čerpány z [13].

#### 2.1.1 Kosmický segment

Je tvořen soustavou umělých družic Země obíhajících po přesně definovaných a určených oběžných drahách. Konfigurace kosmického segmentu je dána požadavky uživatelského segmentu a možnostmi řídicího segmentu.

Kosmický segment je definován:

- typem oběžných drah (nízké, střední, vysoké, geostacionární; kruhové nebo eliptické),
- výškou, sklonem a počtem oběžných drah,
- počtem a rozmístěním družic na oběžných drahách.

#### 2.1.2 Řídící segment

Je tvořen sadou pozemních stanic, které plní tyto funkce:

- monitorování signálů družic kosmického segmentu,
- vyhodnocování chování družic na oběžných drahách a určování parametrů oběžných drah jednotlivých družic,
- vyhodnocování chování hodin na družicích a určování korekčních parametrů,
- sledování a vyhodnocování stavu družic,
- vysílání aktualizovaných parametrů na družice,
- manévry družic,
- údržba družic,
- řízení celého systému.

Za tímto účelem se v pozemním segmentu zpravidla rozlišují tři typy stanic:

- Monitorovací stanice – jsou umístěny tak, aby umožňovaly stálé sledování co největšího počtu družic po co nejdelší dobu; monitorují signály vysílané družicemi kosmického segmentu a přenášejí je do centra .
- Hlavní řídicí stanice – je zpravidla jedna (plus jedna záložní), zpracovává signály z monitorovacích stanic, provádí modelování chování kosmického segmentu, určování parametrů oběžných drah a korekčních parametrů hodin na družicích a výsledky předává na stanice určené pro komunikaci s družicemi.
- Stanice pro komunikaci s družicemi – zpravidla jsou totožné s monitorovacími stanicemi; slouží k přenášení nově určených parametrů oběžných drah a korekčních parametrů atomových hodin umístěných na družicích na družice a také slouží k jejich ovládní.

Konfigurace řídicího segmentu je dána v případě vojenského systému především obrannou strategií státu, který vybudoval a provozuje družicový polohový systém. V případě civilního systému je konfigurace dána možností rozmístění a provozování stanic pozemního segmentu na území státu, případně na území jiných států.

### 2.1.3 Uživatelský segment

Je tvořen přijímači, veškerými technickými zařízeními umožňujícím využití družicového polohového systému, postupy měření a vyhodnocování a uživateli. Jeho konfigurace je plně dána požadavky uživatelů a technickými možnostmi a omezeními kosmického segmentu. S řídicím segmentem uživatelé do přímého styku nepřicházejí.

## 2.2 Přijímače GPS

Přijímač GPS je uživatelským zařízením, které přijímá a zpracovává signály GPS. Na výstupu poskytuje informaci o své poloze, GPS čase a případně i rychlost pohybu. Přijímač GPS tvoří tři základní funkční bloky: anténa, navigační přijímač a navigační počítač. Převzato z [13].

### 2.2.1 Anténa

V dnešní době je možné pořídit širokou škálu antén, které se od sebe liší svojí konstrukcí a z ní vyplívajících parametrů, jako je citlivost, odolnost proti rušivým signálům, stabilita fázového středu, směrovost apod.

### 2.2.2 Navigační přijímač

Navigační přijímač zpracovává signály přijaté anténou a vybírá z nich signály vysílané jednotlivými družicemi. Jejich zpracováním získává zdánlivé vzdálenosti k těmto družicím a data tvořící jejich navigační zprávy. Podle počtu vstupních kanálů dělíme přijímače na: jednokanálové, vícekanálové a hybridní.

## **Jednakanálové přijímače**

Tyto přijímače jsou vybavené jen jedním měřicím kanálem, takže při sledování více družic musí přijímač GPS postupně přepínat tento vstupní kanál na jednotlivé družice. Měření probíhá tak, že měřicí přijímač identifikuje ve vstupním signálu dálkoměrný kód požadované družice, provede nezbytné měření a pokračuje s další družicí. Jakmile provede měření na poslední dostupné družici, předá výsledky ke zpracování do navigačního počítače a ten určí polohu přijímače.

## **Vícekanálové přijímače**

Vícekanálové přijímače mají dostatečný počet měřicích přijímačů, aby mohly současně sledovat všechny dostupné družice. Jejich výhodou je, že nedochází k přerušování měření. Díky tomu jsou v praxi mnohem lépe použitelné.

## **Hybridní přijímače**

Přijímače jsou vybaveny více vstupními kanály, ale jejich počet je nedostatečný pro sledování všech dostupných družic. Dochází tedy k přepínání mezi jednotlivými družicemi, ne však v takové míře jako u jednakanálových přijímačů.

### **2.2.3 Navigační počítač**

Zpracovává data získaná měřicími přijímači a vyhodnocuje z nich aktuální polohu, čas GPS, případně rychlost pohybu a provádí další požadovaná zpracování, jako je transformace polohy do požadovaného souřadnicového systému, zavádění diferenčních korekcí apod.

## **2.3 Principy měření**

Družicové polohové systémy jsou budované jako pasivní dálkoměrné systémy, tzn. že přijímač určuje svoji vzdálenost k několika družicím navigačního systému a svoji polohu pak stanovuje protínáním. Určování vzdáleností přijímače od družic lze provádět na základě:

- kódových měření
- fázových měření
- dopplerovských měření

V praxi se k určování polohy používají jen první dvě měření, třetí se využívá především při stanovení rychlosti přijímače. Informace této kapitoly byly převzaty z [13].

### **2.3.1 Kódová měření**

Základním principem kódových měření je určování vzdáleností mezi přijímačem a družicemi. Běžně se k tomuto účelu využívají tzv. dálkoměrné kódy vysílané jednotlivými družicemi. Dálkoměrné kódy jsou zjednodušeně řečeno přesné časové značky, umožňující přijímači určit čas, kdy byla odvysílána kterákoliv část signálu vysílaného družicí. Přijímač pracuje tak, že ve vstupním signálu, přicházejícím z antény,



identifikuje dálkoměrný kód příslušné družice, zjistí čas odeslání a přijetí jedné sekvence kódu a ze zjištěného časového rozdílu  $\Delta t_i$  určí vzdálenost mezi přijímačem a družicí  $d_i$ , což lze zjednodušeně vyjádřit vztahem

$$d_i = \Delta t_i \cdot c,$$

kde  $c$  je rychlost šíření radiových vln.

### 2.3.2 Fázová měření

Fázová měření jsou založena na zpracování vlastní nosné vlny. Při fázových měřeních přijímač spočítá počet vlnových délek nosné vlny, nacházejících se mezi přijímačem a družicí. Tento počet se skládá z celočíselného násobku nosných vln, který se určuje dost obtížně, a z desetinné části, kterou je přijímač schopen určit velice přesně. Fázová měření proto vykazují určitou nejednoznačnost (angl. ambiguity) rovnající se počtu celých vlnových délek nosné vlny, nacházející se mezi přijímačem a družicí na počátku měření (proto se někdy označuje také termínem celočíselná nejednoznačnost – angl. integer ambiguity). Pro určování celočíselné nejednoznačnosti byla vypracována celá řada postupů, umožňujících její stanovení buďto při následném zpracování, nebo i přímo v reálném čase.

Jakmile přijímač počáteční hodnotu celočíselné nejednoznačnosti určí, je již schopen průběžně sledovat změny fázového posunu a počtu celých vln a tím i svojí polohu, resp. její změny. Přijímač tedy určuje hodnotu počáteční celočíselné nejednoznačnosti a k ní připočítává celý počet vlnových délek, o které se změnila vzdálenost mezi přijímačem a družicí od počátku měření a dále desetinou část vlnové délky.

Pokud je v důsledku oslabení signálu z nízko letící družice nebo v důsledku zastínění antény dojde k přerušení sledování nosné vlny, dojde k tzv. fázovému skoku (angl. cycle slip) a přijímač již není dále schopen počítat vlnové délky, o které se změnila vzdálenost mezi přijímačem a družicí. Přijímač musí začít nový cyklus měření, od určení aktuálního fázového posunu až po nové určení počáteční hodnoty celočíselné nejednoznačnosti na počátku nového měření.

### 2.3.3 Dopplerovská měření

Dopplerovská měření využívají k určování polohy bodu Dopplerova posunu. Družice vysílá signál o známé konstantní frekvenci  $f_v$ . Na tomto signálu jsou přenášeny v pevném časovém intervalu časové značky a dále parametry oběžné dráhy družice, umožňující přijímači vypočítat přesnou polohu družice v době měření. Přijímač je na základě frekvence přijímaného signálu  $f_p$ , časových značek, parametrů oběžné dráhy družice a referenčního signálu o frekvenci  $f_o$  generovaného přímo v přijímači schopen pomocí opakovaných měření prováděných vždy mezi dvěma časovými značkami vypočítat teoreticky až trojrozměrnou polohu měřeného bodu. Navigační systémy pracující na principu Dopplerova posunu jsou využívány především v oblasti námořní navigace.

## 2.4 Metody měření

### 2.4.1 Určení absolutní polohy

Absolutní poloha přijímače může být určena pomocí zdánlivých vzdáleností (tzv. pseudovzdáleností) získaných kódovými měřeními. Tato metoda je založena na měření pouze jednoho přijímače. Pro geodézii má velice nízkou přesnost, využívá se zejména pro navigaci.

### 2.4.2 Průměrování

Průměrování je zpřesňující metoda které se využívá pro určení absolutní polohy jednoho přijímače. Metoda není závislá na diferenčních korekcích, viz kapitola 2.5. Princip měření a zpracování je následující: na bodu, jehož polohu chceme určit, provedeme mnohahodinové měření a z naměřených dat spočítáme průměrnou hodnotu.

### 2.4.3 Diferenciální GPS

Diferenciální GPS je celá skupina měřických metod založená na měření dvěma přijímači. Jeden z nich je použit jako referenční stanice a umístěn na bod se známými souřadnicemi. Druhý provádí samotná měření. Metoda je využívána pro geodetická měření, proto je jí věnována samostatná podkapitola 2.5.

## 2.5 Diferenciální GPS (Differential Global Positioning System)

Metody Diferenciální GPS se používají pro zpřesnění kódových i fázových měření. Jsou založeny na relativním určování polohy pomocí referenčních stanic. Použité zdroje [13], [14].

### 2.5.1 Určování relativní polohy

Relativní poloha je určena vzhledem k pevně známému bodu. Postup lze aplikovat jak v reálném čase přímo při měření v terénu, tak při následném zpracování v kanceláři (tzv. postprocessing).

#### **Kódová měření**

Relativní určování polohy využívá kódových měření, která určitým způsobem opravuje. Korekce se určují pomocí referenčního přijímače, který umístíme na bod o přesně známých souřadnicích. Z jeho měření je možné vypočítat odchylku přijímačem určené polohy od polohy skutečné. Zjištěné odchylky lze přenášet jako tzv. korekce do druhého přijímače a použít je pro opravu jeho měření. Přitom se předpokládá, že oba přijímače jsou zatíženy přibližně stejnou velikostí geometrických a časových chyb a že většina běžných chyb se touto cestou vyruší. Podmínka je splněna jen do určité vzdálenosti.

## Fázová měření

Metoda určení relativní polohy může využívat též fázových měření která jsou prováděna několika (minimálně dvěma) přijímači současně v předem definovaných měřicích intervalech – tzv. epochách a vzhledem k několika družicím. Poloha měřených bodů se neurčuje přímým zpracováním naměřených dat, ale pro každou epochu se z nich počítají nové sady dat, zvané jednoduché diference. Jedná se o diference mezi fázovými měřeními provedenými dvěma přijímači k jedné družici ve stejné epoše. Jednoduché diference eliminují vliv chyb hodin družice.

Z jednoduchých diferencí jsou následně počítány dvojité diference. Zpracování je založeno na výpočtu rozdílu dvou jednoduchých diferencí. Je potřeba mít měření provedená současně mezi dvěma družicemi a dvěma přijímači v jedné epoše. Tento druh diferencí je téměř nezávislý na chybě hodin přijímačů.

V diferencování můžeme dále pokračovat, například lze počítat rozdíly mezi dvěma dvojitými diferencemi, vztahujícími se k dvěma rozdílným epochám. Výsledné trojné diference tedy vychází z fázových měření mezi dvěma přijímači a dvěma družicemi provedených ve dvou epochách. Výhodou trojných diferencí je, že nezávisí na počátečních celočíselných nejednoznačnostech, protože ty zůstávají po celou dobu měření konstantní, pokud nedojde k fázovému skoku. Při určování polohy bodů pomocí dvojitých a trojitých diferencí je nezbytné provádět měření minimálně ke čtyřem družicím.

### 2.5.2 Diferenční korekce

Diferenciální GPS poskytuje uživatelům diferenční korekce pro opravu určování polohy jejich měřicích stanic. Rozlišuje tyto diferenční korekce:

- korekce polohy (porovnání dané a určené polohy),
- korekce měřených pseudovzdáleností,
- opravy na různé chyby v GPS měření.

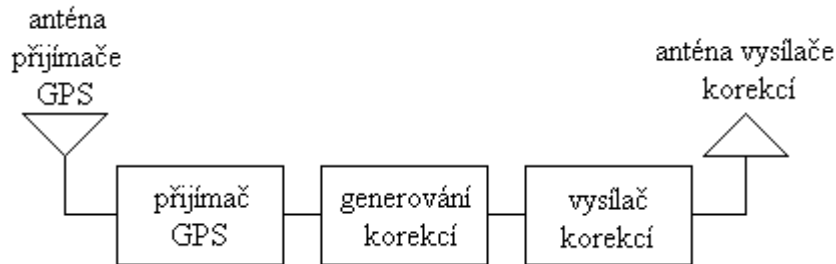
Metody jak využívat korekce jsou následující [17]:

- a. použití korekcí z jedné nebo z více referenčních stanic při následném zpracování (postprocessing),
- b. použití diferenčních korekcí nebo korekcí získaných z kódového měření z referenční stanice v reálném čase,
- c. použití korekcí referenční stanice získaná z kódového i fázového měření v reálném čase,
- d. použití korekcí ze sítě referenčních stanic v reálném čase.

Pro možnost (a) se užívá termín relativní GPS nebo též statická metoda. Pro metody (b) až (d) ke způsob měření označován jako diferenciální GPS (DGPS) s jinými vlatnostmi. Možnost (b) je nazývána jako běžné DGPS (angl. Ordináty DGPS), kdežto (c) je označováno jako měření GPS v reálném čase (angl. Real-Time Kinematic). Metody měření využívající korekce z více referenčních stanic v reálném čase se souhrnně nazývají síťové RTK. Mezi ně patří například metody RTK-PRS a RTK-FKP.

### 2.5.3 Referenční stanice

Referenční stanice je GPS přijímač umístěný na bodě s přesně určenými souřadnicemi, jehož programové vybavení umožňuje sledovat všechny viditelné družice a počítat pro ně korekční údaje. Korekce by měly být určeny na základě stejné sady družic se stejným DOP, kterou používá pro měření vzdálený přijímač, aby byla splněna podmínka stejných chyb. Na obrázku 2.1 je znázorněna struktura klasické referenční stanice.



Obr. 2.1 Struktura klasické referenční stanice DGPS [13]

### 2.5.4 Sítě referenčních GPS stanic

Pod pojmem síť referenčních stanic chápeme seskupení jednotlivých GPS přijímačů pevně umístěných na bodech o známých souřadnicích, které svá naměřená data odesílají do řídicího centra. Každá ze stanic provádí nepřetržitě observace GPS signálů, které pravidelně každou vteřinu registruje. Naměřená data jsou zpracována v řídicím centru a distribuována uživatelům. Důležitým hlediskem přesnosti měření s využitím referenčních stanic je vzdálenost mobilního GPS přijímače od stanice. Čím větší je tato vzdálenost, tím méně přesné souřadnice jsou určeny. Pro geodetické účely jsou proto stanice rovnoměrně rozmístěny po zájmovém území v maximálních vzdálenostech cca 60 km, což plošně pro Českou republiku splňuje pouze síť CZEPOS.

Sítě referenčních GPS stanic usnadňují uživatelům práci. Není potřeba druhý GPS přijímač, který by museli umístit na bod se známými souřadnicemi, ale mohou přijímat korekce, ať už v reálném čase či pro následné zpracování, z nejbližších referenčních stanic. Podrobný popis struktury sítí, technických parametrů a dat, které síť poskytuje, je uveden v kapitolách 4 a 5.

### 2.5.5 Metoda DGPS

Metoda DGPS určuje relativní polohu pomocí kódových měření. Korekce se určují pomocí referenčního přijímače, který umístíme na bod o přesně známých souřadnicích. Z jeho měření je možné vypočítat odchylku přijímačem určené polohy od polohy skutečné. Zjištěné odchylky lze přenášet jako tzv. korekce do druhého přijímače a použít je pro opravu jeho měření. Přitom se předpokládá, že oba přijímače jsou zatíženy přibližně stejnou velikostí geometrických a časových chyb a že většina běžných chyb se touto cestou vyruší.

## 2.5.6 Statická metoda

Statická metoda využívá několika minutové až několikahodinové observace fázového měření na bodě se zjišťovanými souřadnicemi. Korekce poskytované sítí referenčních stanic jsou využity až po skončení měření (tzv. postprocessing). Poloha bodu je vypočítána pomocí vhodného software. K získání korekcí je potřeba pouze přístup k internetu. Data pro statickou metodu jsou distribuována ve formátu RINEX.

## 2.5.7 Metoda RTK

K využití metody RTK je zapotřebí přesná dvoufrekvenční aparatura umožňující kódová i fázová měření. Dosažitelná přesnost je řádově v centimetrech, závisí však na vzdálenosti přijímače od zvolené referenční stanice. Obecně platí, že s rostoucí vzdáleností se snižuje přesnost určení polohy. Přesností metody RTK se zabývá bakalářská práce Tomáše Luňáka s názvem Testování přesnosti měření GPS metodou RTK, která byla vypracována v roce 2007 na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

RTK (Real Time Kinematic GPS) je jiné jméno pro DGPS s fázovými daty. Tato metoda se používá pokud chceme získat výsledky s přesností do 1dm přímo v terénu. Mobilní stanice musí být komunikačním kanálem přímo napojena na referenční stanici. Metoda RTK umožňuje přenos kódových a fázových dat z referenční stanice do měřické stanice v reálném čase, vyřešení ambiguit na měřické stanici (tzv. on the fly – OTF) a určení vektoru základny v reálném čase. Formát používaný při geodetickém měření metodou RTK je RTCM 2.x.

## 2.5.8 Síťové RTK

### **RTK-FKP (Flächenkorrekturparameter)**

Metoda RTK-PRS využívá k výpočtu polohy terénní stanice data ze všech stanic sítě, tzv. síťové řešení. Výhodou metody je, že již prakticky nezáleží na vzdálenosti přijímače od referenční stanice, ale je nutné zajistit, aby byl přijímač uvnitř sítě, která má dostatečně hustě rozmístěné stanice. Uživatel sítě získává korekce z nejbližší referenční stanice doplněné o tzv. plošné parametry určené na základě síťového řešení. Dosažitelná přesnost je řádově v centimetrech.

### **RTK-PRS (Pseudo Reference Station)**

U této metody získává uživatel korekce vygenerované z tzv. pseudo-referenční stanice. Jedná se o virtuální stanici, která je umístěna zhruba 5 km od stanoviště směrem k nejbližší referenční stanici. Korekční data z pseudo-referenční stanice jsou systémem vygenerována na základě síťového řešení ze všech stanic sítě.

## 2.5.9 Pseudodružice

Jiným přístupem k řešení problematiky zpřesňování určování polohy je budování pozemních vysílačů, které se přijímači jeví jako další družice systému GPS. Označují se proto termínem pseudodružice. Nevýhodou pseudodružic je, že musí být vždy zajištěna přímá viditelnost mezi přijímačem a vysílačem. Maximální dosah nesmí překročit 50 km, minimální vzdálenost mezi dvěma vysílači musí být alespoň 54 km. Rovněž musí být

vymezena minimální vzdálenost přijímače od pseudodružice. Pokud se přijímač dostane do menší vzdálenosti, hrozí nebezpečí zahlcení jeho vstupních obvodů silným signálem pseudodružice a tím přehlušení signálů vysílaných družicemi. Jiným řešením tohoto problému je, že pseudodružice nevysílá trvale, ale jen po velice krátké časové okamžiky, které jsou v čase náhodně rozmístěny. Předpokládá se přitom, že sice silné, ale velice krátké rušení nemůže ohrozit činnost přijímačů GPS, pokud se vyskytuje jen po malé procento času. Při psaní textu o pseudodružicích byl použit zdroj informací [13].

Koncepčně tedy mohou být pseudodružice řešeny dvěma způsoby:

- Jako samostatný vysílač imitující družice GPS, který vysílá zpravidla nepřetržitě celou škálu signálů, vysílaných družicí GPS na frekvenci L1.
- Jako vysílač spojený s referenční stanicí. V tomto případě data vysílaná pseudodružicí obsahují i diferenční korekce a vysílač obvykle navysílá trvale, ale přerušovaně podle určitého pseudonáhodného schématu.

Pseudodružice jsou hojně využívány v systémech typu WAAS (viz kapitola 2.7), jsou vybudovány v určitých vzdálenostech od letišť a zpřesňují pozice letadel při sestupech.

## 2.6 Formáty a přenos dat

V této podkapitole jsou popsány základní formáty a protokoly používané v rámci GNSS pro různé úrovně komunikace mezi zařízeními a pro ukládání dat pořízených GNSS technologiemi. Čerpáno bylo z [5],

### 2.6.1 NMEA-0183

Protokol NMEA-0183 vytvořila National Marine Electronics Association. Protokol byl navržen za účelem standardizace sériové komunikace námořních elektronických zařízení. Komunikace probíhá pomocí textových vět s pevně danou strukturou. Každá věta začíná sérií znaků, které identifikují její následující obsah. Patří do rodiny tzv. otevřených Real-Time Transmission Protocols. Jedná se o textový formát pro přenos navigačních dat z jedné družice.

### 2.6.2 RTCM SC-104

RTCM SC-104 byl vytvořen organizací Radion Technical Commission for Marine Services Special Committee 104. Je určen pro účely předávání korekčních GNSS dat pro DGPS a DGPS – RTK aplikace. Tedy pro přenos dat mezi referenční stanicí a měřicí aparaturou. Jde opět o otevřený Real-Time Transmission Protocol. V současné době obsahuje 5 standardů, které byly všechny publikovány pod hlavičkou RTCM SC-104. Z důvodu efektivity přenosu dat je obsah zapisován binárně.

Standardy:

- RTCM v2.0 (DGPS) počítá s dosažitelnou přesností v určení polohy kolem 1m. Neobsahuje žádné informace fázových měření a proto není použitelný pro DGPS – RTK aplikace.
- RTCM v2.1 (RTK GPS) obsahuje oproti verzi 2.0 informace s fázových měření.

- RTCM v2.2 (+GLONASS) zahrnuje už i systém GLONASS, ale není zpětně plně kompatibilní s verzí 2.1. Neobsahuje některé zprávy z verze 2.1.
- RTCM v2.3 (+ definice GPS antény) přidává k obsahu v2.2 věty s informací o typu antény a referenčního bodu.
- RTCM v3 (+ RTK sítě) je zcela nový standard, který je navrhnout s novou strukturou a větami, jako efektivní varianta verzi 2.x s primárním zájmem o DGPS – RTK aplikace.

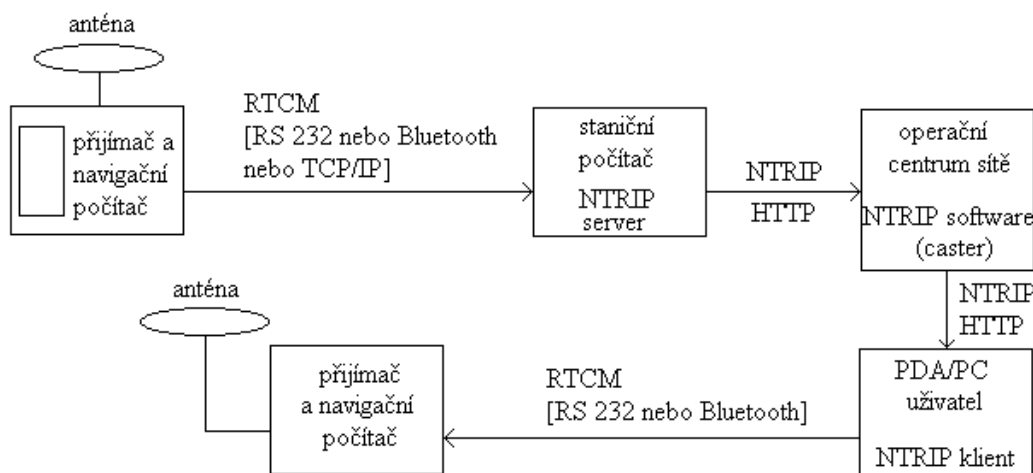
### 2.6.3 CMR/CMR+

Compact Measurement Record byl vyvinut firmou Trimble Navigation. Byl uvolněn veřejnosti a stal se jediným původně komerčně vyvinutým protokolem, který začaly aktivně využívat i ostatní výrobci GPS přístrojů. Protokol poskytuje šířkou přenosového pásma efektivní alternativou k RTCM v2.x pro GPS RTK.

### 2.6.4 NTRIP

Networked Transport of RTCM via Internet Protocol je aplikační protokol, který podporuje šíření datových toků globálních navigačních družicových systémů (GNSS) pomocí internetu. NTRIP je založený na protokolu HTTP/1.1., přičemž HTTP objekty jsou vloženy do datového toku. Popis současné verze NTRIP 1.0 vydala organizace RTCM, komise 104 (RTCM SC-104).

NTRIP je navržen pro šíření dat diferenčních korekcí nebo jiných typů datových toků GNSS směrem k uživatelům pomocí internetu tak, aby bylo možné současné připojení více klientů. NTRIP není omezen pouze na klasické sítě, ale umožňuje bezdrátový internetový přístup pomocí mobilních sítí, jako je například GSM, GPRS, EDGE nebo UMTS. Přenos dat pomocí NTRIP je vysvětlen na schématu, viz Obr. 2.2.



Obr. 2.2 Schéma toku dat pomocí NTRIP[5]

## 2.6.5 RINEX

Receiver Independent Exchange Format byl poprvé představen jako způsob snadné výměny data naměřených GPS přístroji různých výrobců během kampaně EUREF 89. V této kampani bylo použito přes 60 GPS přístrojů od 4 různých výrobců. Během let se RINEX vyvinul v protokol pro výměnu GNSS dat s důrazem na předávání dat mezi různými typy přístrojů. Tento formát je určen pro předávání všech měřených dat, jedná se o textový (ASCII) soubor.

Všechny GPS přístroje nejvyšší třídy umožňují konvertovat měřená data do formátu RINEX. V současné době je nejrozšířenější verze 2.10, která je určena jak pro GPS NAVSTAR tak GLONASS. Verze 2.11 zahrnuje definici pro systém GALILEO. Nejaktuálnější verze je RINEX verze 3.00.

Data ukládaná v tomto formátu slouží většinou pro zpracování výsledků kampaní následným zpracováním (postprocessing) a pro archivování měřených dat. Formát se skládá z několika souborů, které společně umožňují uložit všechna data získaná během GPS měření. V případě RINEX 3.00 jde o soubory [7]

ssssdddf.yyt kde:

ssss – jméno stanice.

ddd – číslo observovaného dne počítané od začátku roku

f:

- 0 (nula) = denní soubor,
- hodinové soubory,  
a = první hodina (0:00 – 1:00),  
b = druhá hodina (1:00 – 2:00),  
...  
x = dvacátá čtvrtá hodina (23:00 – 24:00).

yy – rok observace.

t:

- O – Observation data  
Obsahuje tzv. observační data. Jde o čas observace, pseudovzdálenost antény přijímače k observovaným družicím a fázová měření.
- N – GPS navigation message file  
Navigační soubor pro systém GPS NAVSTAR. Obsahuje efemeridy, parametry pro korekci hodin a ionosféry.
- M – Meteorological data file  
Soubor pro záznam meteorologických podmínek
- G – GLONASS navigation message file  
Navigační soubor pro systém GLONASS.
- L – Galileo navigation message file  
Navigační soubor pro systém Galileo
- P – Mixed GNSS navigation message file  
Navigační soubor pro kombinací výše zmíněných systémů.
- H – SBAS Payload navigation message file  
Navigační soubor pro systémy SBAS (WAAS, EGNOS...)
- B – SBAS broadcast data file  
Soubor obsahující data vysílaná systémy SBAS.



- C – Clock file  
Soubor s časovými informacemi.

## 2.6.6 Přenos dat

Přenos dat je možný pomocí různých technologií, nejčastěji se využívají následující:

pro navigační data:

- sériový port – RS232,
- bluetooth,

pro přenos z referenční stanice k měřící aparatuře:

- pozemní radiové spojení,
- mobilní telefony (GSM),
- satelitní spojení,
- internet (Ethernet, WiFi, GPRS, CDMA).

## 2.7 Rozšiřující systémy

V následující podkapitole jsou popsány systémy, které doplňují a zpřesňují systémy GPS NAVSTAR a GLONASS. Jako první se touto problematikou začaly zabývat Spojené státy Americké a následně vybudovaly systém WAAS (Wide Area Augmentation System). Termín WAAS se následně vžil pro všechny rozšiřující systémy založené na stacionárních družicích vysílajících zpřesňující korekce a zároveň je názvem původního systému používaného pro Severní Ameriku. Jako další převzala technologii Evropa a realizovala systém EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System). Japonsko vybudovalo MSAS (Multi-Function Satellite Augmentation System). Dalšími systémy jsou GAGAN (GPS And GEO Augmented Navigation) pro Indii, CWAAS (Canadian WAAS) pro Kanadu a SNAS (Satellite Navigation Augmentation System) pro Asii a Čínu. Použité zdroje při tvorbě této kapitoly jsou [6], [13].

### 2.7.1 WAAS (Wide Area Augmentation System )

WAAS je přesný navigační systém vyvinutý pro civilní letectví na území USA. Byl vytvořen ve spolupráci ministerstva dopravy Spojených států Amerických (United States Department of Transportation – DOT) a Celostátní letecké správy (Federal Aviation Administration – FAA). Systém poskytuje uživatelům větší přesnost určování polohy především v oblasti letectví. Dále pak zlepšení integrity nezbytné pro většinu fází letu, včetně přiblížování k letišti. Systém se skládá ze tří segmentů: kosmický, pozemský a uživatelský. Pozemní část systému vyhodnocuje integritu signálů družic GPS NAVSTAR, určuje potřebné korekce a varuje uživatele kdykoliv je zjištěno selhání některé z družic systému. Tyto informace poskytuje uživatelům prostřednictvím geostacionárních družic, které vysílají data již s pořízenými korekcemi.

LAAS (Local Area Augmentation System) je lokálním doplněním a rozšířením WAAS. Je využitelný především pro automatické přistávání letadel. K jeho zpřesnění je využíváno referenčních stanic a tzv. pseudodružic (viz kapitola 2.5.9).

### 2.7.2 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)

EGNOS je obdoba systému WAAS pro potřeby letectví v Evropě. Po dobudování bude mít třicet pozemních monitorovacích stanic (Ranging and Integrity Monitoring Station – RIMS). Každá stanice monitoruje signály ze všech viditelných družic GPS NAVSTAR a GLONASS. Naměřená data jsou posílána do jednoho ze tří hlavních řídicích center (Master Control Centre – MCC). Z nich jedno pracuje a dvě jsou záložní. V řídicím centru jsou data zpracována a jejich výsledkem jsou informace o stavu družic GPS (přesnost atomových hodin, odchylky od dráhy pohybu, výpadky...) a o chybách měření zaviněných stavem zemské ionosféry. Data jsou pak předána třem vysílacím stanicím. Tyto stanice posílají data satelitům na geostacionární oběžnou dráhu, tedy nad rovník. Jedná se o dvě družice komunikačního systému INMARSAT (International Maritime Satellite Organization). Jeden satelit Inmarsat III je nad Atlantikem – Atlantic Ocean Region-East (AOR-E) na 15.5° západní délky a druhý Inmarsat III je nad Indickým oceánem – Indian Ocean Region (IOR) na 64° východní délky. Zmíněné satelity vysílají data již s pořízenými korekcemi. Informace byly čerpány z [6].

## 3 Sítě referenčních stanic GPS na území ČR

V nedávných letech se na území České republiky začalo s budováním sítí permanentních referenčních stanic GPS. Sítě umožňují použití metody DGPS. Každá z referenčních stanic je umístěna na bodě o známých souřadnicích a poskytuje korekce, ať už pro metodou RTK či postprocessing. V následujících podkapitolách jsou popsány bližší informace o sítích na území ČR.

### 3.1 by/S@T

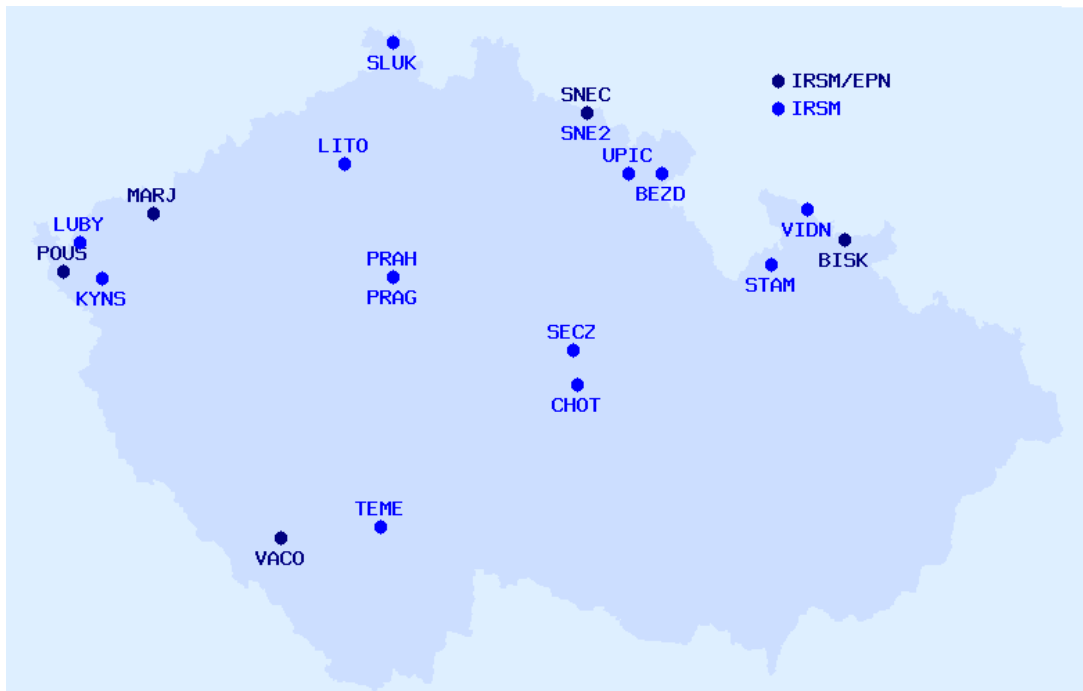
Síť referenčních stanic společnosti by/S@T group a.s. tvoří čtyři stanice – Benešov, Beroun, Kolín a Všetaty. V roce 2002 proběhlo testování této sítě. Výsledek testu je ve výzkumné zprávě č.: 1036/2002, kterou zpracoval Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Zdíby. Čerpáno z [1], [2], [20].

### 3.2 GeoNAS

Síť permanentních referenčních stanic Ústavu struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky (ÚSMH) byla vytvořena za účelem sledování geodynamických procesů probíhajících v současnosti v zemské kůře Českého masivu a přilehlých středoevropských struktur. Je součástí Geodynamic Network of the Academy of Sciences (GeoNAS). V současné době ji tvoří 17 referenčních stanic vybavených GPS aparaturami schopnými registrovat signály satelitních systémů GPS NAVSTAR a GLONASS. Použité zdroje pro tvorbu textu této kapitoly jsou [4], [12].

#### 3.2.1 Popis sítě GeoNAS

Nejstarší referenční stanicí sítě GeoNAS je observatoř Sněžka (SNEC, v provozu od 21. srpna 2001). Druhou instalovanou stanicí je Biskupská Kopa (BISK, v provozu od 6. září 2001). Dále byly uvedeny do provozu stanice Mariánská u Jáchymova (MARJ, v provozu od 15. května 2003) a Poustka u Františkových Lázní (POUS, v provozu od 20. října 2003) v tektonicky aktivní oblasti západních Čech. Poloha páté observatoře Vacov (VACO, v provozu od 20. října 2004) byla zvolena s ohledem na stabilitu výpočtů celé sítě. Těchto pět stanic bylo v roce 2005 přijato do evropské sítě referenčních GPS stanic EUREF (European Reference Frame) EPN (EUREF Permanent Network). Další stanice byly umístěny s ohledem na zpřesnění měřených výsledků. Jsou to stanice Úpice (UPIC, v provozu od 22. prosince 2005), Bezděkov nad Metují (BEZD, v provozu od 15. prosince 2005), Kynšperk nad Ohří – Kolová (KYNS, v provozu od 20. prosince 2005) a Luby u Chebu (LUBY, v provozu od 19. prosince 2005). Rozmístění referenčních stanic znázorňuje obrázek 4.1.



Obr. 4.1 Rozmístění referenčních stanic sítě GeoNAS [4]

### 3.2.2 Technické parametry sítě

#### Satelitní přijímače

Permanentní observatoře sítě GEONAS vybudované v roce 2005 jsou vybaveny aparaturami Topcon GB-1000, které registrují jak signály navigačních družic systému NAVSTAR GPS, tak i systému GLONASS na frekvencích L1 a L2. Jsou vybaveny 40 nezávislými univerzálními kanály, takže mohou registrovat současně data z 20 navigačních družic.

#### Antény

Na stanicích sítě GeoNas se používají antény TPSCR3\_GGD CONE s protisněhovým laminátovým krytem.

Pro zajištění nepřetržitého provozu observatoře je veškeré přístrojové vybavení (s výjimkou observatoře LUBY) zálohováno akumulátorem o kapacitě 220 Ah, který je schopen zajistit nepřetržitý provoz observatoře nezávisle na napájení z veřejné elektrické sítě po dobu minimálně 25 – 50 hodin.

#### Datová komunikace v síti GeoNas

Přenos naměřených dat z aparatury je zajištěn pomocí průmyslového počítače vybaveného pevným diskem pro archivaci dat a připojením na internet. Naměřená data z permanentních referenčních stanic jsou přenášena internetem do operačního centra v ÚSMH (IRC OC).

### 3.2.3 Poskytované formáty dat sítě GeoNAS

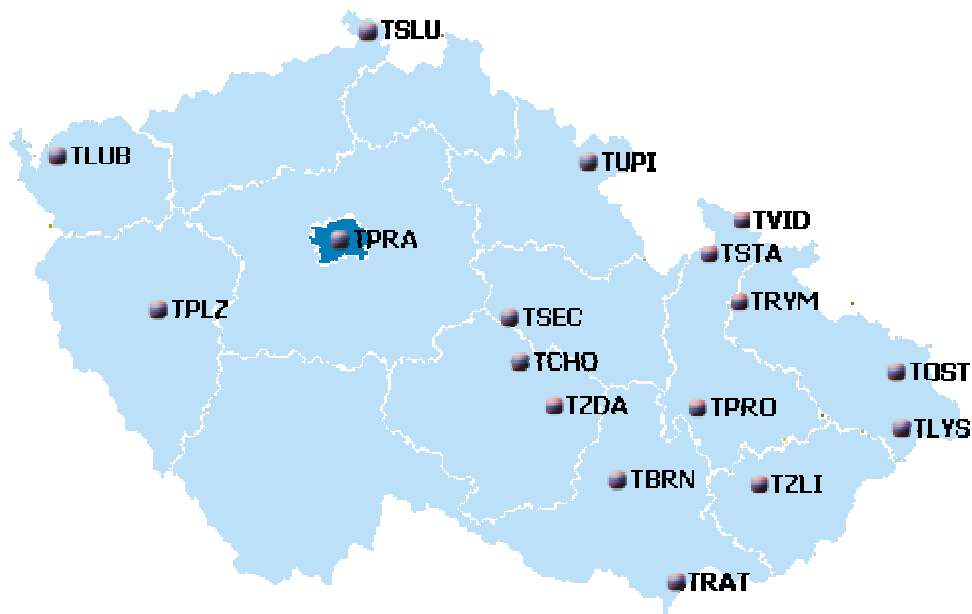
Data naměřená permanentními stanicemi sítě GeoNAS jsou poskytována ve formátu RINEX. Při zajištění provozu této sítě spolupracují provozovatelé s firmou Geodis Brno, spol. s r.o., tedy se sítí permanentních GPS stanic TopNET. Další výměna dat je umožněna s partnerskými pracovišti v Německu, Rakousku a Polsku.

## 3.3 TopNET

Síť TopNET vznikla ve spolupráci firmy GEODIS BRNO s.r.o., Ústavu struktury a mechaniky hornin Akademie věd ČR (ÚSMH AVČR), Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK), Vysoké školy báňské – technická univerzita v Ostravě (VŠB-TUO) a Západočeské univerzity v Plzni (ZČU). Spojením referenčních stanic těchto organizací byla vytvořena síť, která poskytuje korekce jak pro GPS NAVSTAR, tak GLONASS navigační systémy. Zdroje pro tvorbu této podkapitoly [18], [22].

### 3.3.1 Popis sítě TopNET

V současné době tvoří síť TopNET celkem 18 referenčních stanic. Jejich rozmístění na území České republiky není rovnoměrné, a to z důvodu provozování sítě různými subjekty, které využívají měření sítě především pro vlastní potřebu. Rozmístění stanic znázorňuje obrázek 4.2.



Obr. 4.2 Rozmístění referenčních stanic sítě TopNET [21]

### 3.3.2 Technické parametry sítě

#### Satelitní přijímače

V síti TopNET jsou převážně používány satelitní přijímače GB-1000 zaznamenávající následujícími data:

- sledované signály: GPS, GLONASS, L1, L2, C/A a P kód,
- upgrade rate: 1 sec,
- RTK: 1 sec,

V budoucnosti se předpokládá postupné nahrazení a doplnění sítě přijímači Topcon NET-G3, jejichž 72 kanálový čip umožňuje sledovat všechny současné i plánované signály ze všech satelitních navigačních systémů – GPS, GLONASS i Galileo.

#### Antény

Topcon nabízí v závislosti na požadavcích uživatele dva typy antén. Je-li požadován typ Coke Ring, je možné použít anténu CR-3. Není-li požadován, pak je možné použít anténu PG-A1.

#### Datová komunikace v síti TopNET

Síť permanentních referenčních stanic Topcon je řízena síťovým software TopNET. Propojení jednotlivých referenčních stanic se serverem je provedeno pomocí internetové sítě protokolem TCP/IP. Připojení do sítě je realizováno buď pomocí přímého drátového spojení, nebo pomocí WIFI či GPRS modemů. Připojení rover přijímačů je realizováno pomocí GPRS modemů (mobilních telefonů).

### 3.3.3 Poskytované formáty dat sítě TopNET

V současné době poskytuje síť TopNET GPS data pro měření v reálném čase. K dispozici jsou dva NTRIP castery. Na prvním jsou dostupné RTK korekce ve formátu CMR+. Při měření se automaticky volí nejbližší referenční stanice. Druhý NTRIP caster obsahuje RTK korekce ve formátu RTCM 2.3. Odtud je možné získat diferenciální kódové korekce DGPS pro submetrové aparatury využívané v GIS.

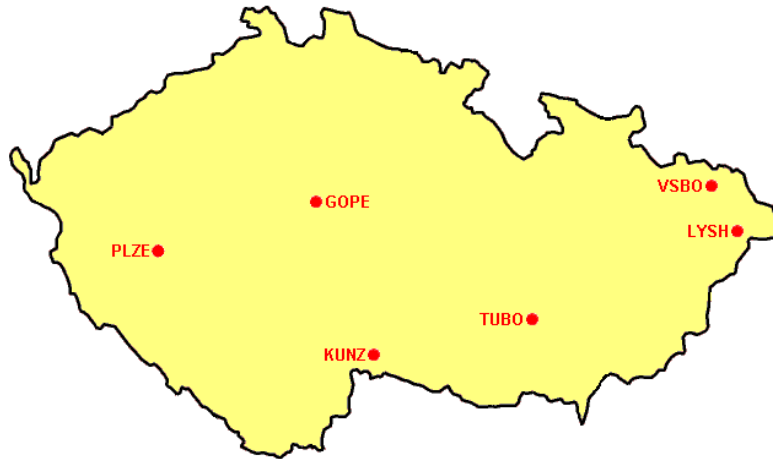
Dále síť poskytuje data ve formátu RINEX pro následné zpracování ve vteřinovém intervalu.

## 3.4 VESOG

Informace o síti VESOG byly čerpány z [23]. Výzkumná a experimentální síť pro observace GNSS (VESOG) je služba pro podporu a provoz sítě permanentních stanic globálních navigačních družicových systémů (GNSS), které byly vybudovány a jsou provozovány pro výzkumné, experimentální a výukové účely zúčastněných výzkumných a akademických pracovišť v České republice. Mezi zúčastněná pracoviště patří Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK), Vysoké učení technické v Brně, Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava a Západočeská univerzita v Plzni.

### 3.4.1 Popis sítě VESOG

Síť permanentních referenčních stanic VESOG se skládá z operačního centra a permanentních stanic viz obrázek 4.3.



Obr. 4.3 Rozmístění referenčních stanic sítě VESOG [23]

Operační centrum zajišťuje ve spolupráci s provozovateli permanentních stanic provoz celé sítě VESOG. Činnosti operačního centra zajišťuje Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK). Centrum je situováno na Geodetické observatoři Pecný v Ondřejově. Bylo spuštěno 17. prosince 2004.

Mezi úkoly operačního centra patří:

- Dohled na provoz permanentních stanic sítě.
- Shromažďování dat ze stanic, jejich kontrola, přeformátování a rozeslání do stanovených datových center.
- Archivace dat z permanentních stanic.
- Výdej dat z permanentních stanic podle omezení stanovených provozovateli stanic.

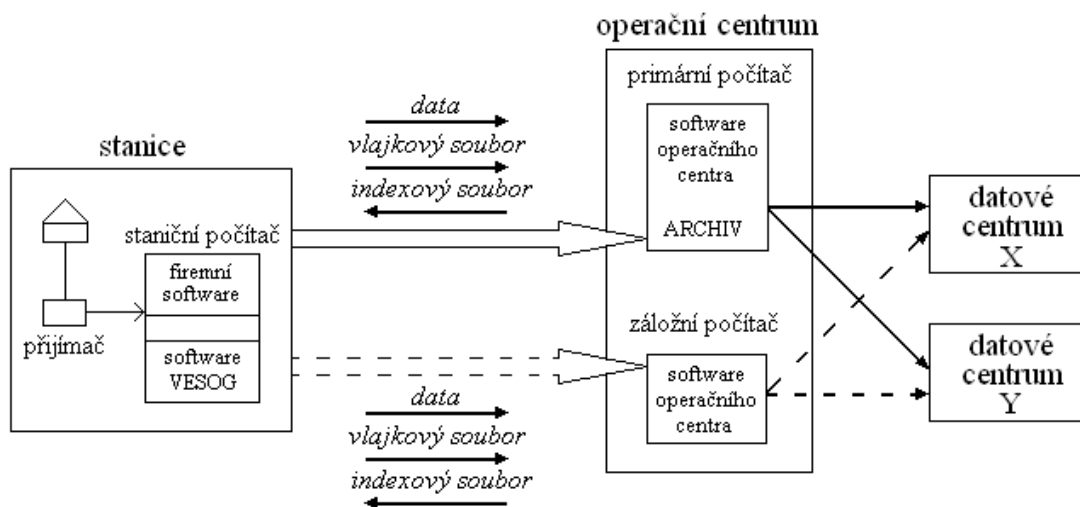
Operační centrum je místem, kterým prochází data ze všech stanic sítě. Jeho nejdůležitější činnost (shromažďování, kontrola a rozeslání dat) je proto prováděna na dvou počítačích – jeden je primární a druhý záložní. Archiv aktuálních dat je veden pouze na primárním počítači – ale na zrcadlených discích (RAID).

Způsob dopravy RINEX souborů z permanentních stanic do operačního centra je dvojitý:

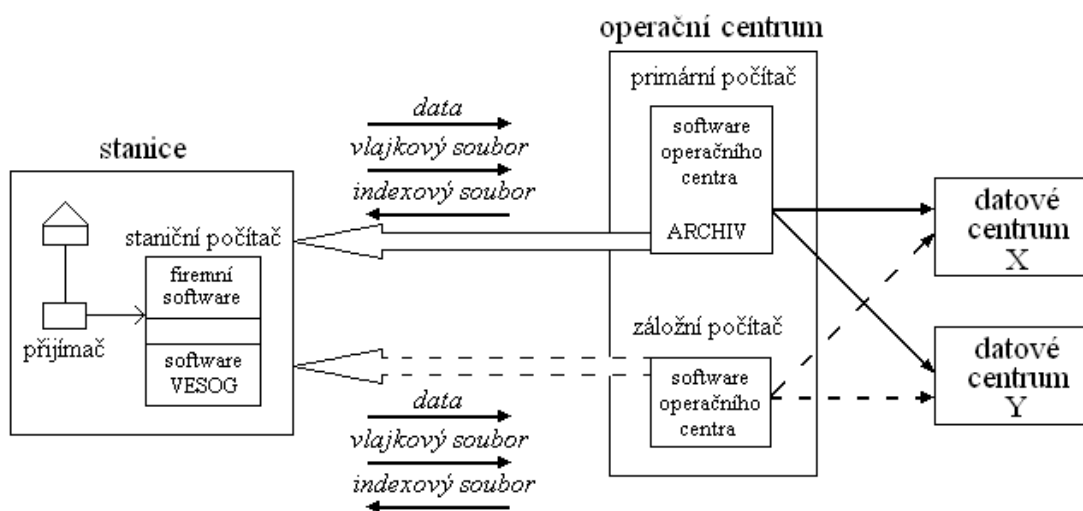
- počítač na stanici odesílá data sám do operačního centra (na primární nebo na záložní počítač) viz obr. 4.4
- počítače operačního centra nahlíží na počítač na stanici a stahují nová data viz obr. 4.5

Data z permanentní stanice jsou rozbalena, je provedena jejich kontrola, pak jsou převedena do formátu Compact RINEX (pro observační data) nebo RINEX (pro navigační nebo meteorologická data) a potom jsou zabalena. Takto upravená data jsou uložena

do archivu. Z archivu jsou data z vybraných stanic odesílána do stanovených datových center. Pro každou stanicí je stanoveno, do kterých datových center jsou její data zasílána. Záleží to na tom, do kterých projektů je stanice zapojena. Jde zejména o zasílání dat do sítě CZEPOS.



Obr. 4.4 Schéma toku dat ze stanice, která data odesílá do operačního centra (převzato z [23])



Obr. 4.5 Schéma toku dat ze stanice, kde data stahuje operační centrum (převzato z [23])

VESOG obsahuje následující referenční stanice: Geodetická observatoř Pecný VÚGTK, Ondřejov (GOPE), hvězdárna Kunžak (KUNZ), Meteorologická stanice Lysá hora v Beskydech (LYSH), Západočeská univerzita v Plzni – Fakulta aplikovaných věd (PLZE), Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební – Ústav geodézie (VSBO) a Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (TUBO).



### 3.4.2 Technické parametry sítě

#### Satelitní přijímače

V síti VESOG jsou používány GNSS přijímače různých výrobců – Trimble, Ashtech (nyní Thales Navigation), Topcon Positioning Systems, Septentrio, Leica Geosystems. Vždy se jedná o geodetické dvoufrekvenční přijímače schopné registrovat signály satelitních systémů GPS NAVSTAR a GLONASS.

Název ref. stanice	Výrobce	Typ	Výrobní číslo
GOPE	Topcon	Odyssey-RS	316-0040
KUNZ	Septentrio	PolaRx2	1102
LYSH	Topcon Positioning Systems	GB-1000	220292
PLZE	Topcon Positioning Systems	Legacy-E	LE3512
TUBO	Leica	GRX1200Pro	457133
VSBO	Topcon Positioning Systems	GB-1000	220205

Tab. 4.1 Používané satelitní přijímače na referenčních stanicích sítě VESOG

#### Antény

Na stanicích VESOG se používají buď antény typu Dorne Margolin se stínícími kruhy (Choke Ring), nebo moderní vysoce přesné antény. Protože jsou používány antény různých typů, byly pro většinu antén v síti VESOG určeny individuální polohy fázových center.

Název ref. stanice	Výrobce	Typ	IGS označení	Výrobní číslo
GOPE	Topcon	CR3-GGD	TPSCR3_GGD CONE	2170184
KUNZ	Trimble	Zephyr Geodetic	TRM41249.00 TZGD	79423
LYSH	Topcon Positioning Systems	CR3-GGD	TPSCR3_GGD CONE	2170442
PLZE	Topcon Positioning Systems	CR-3 GGD	TPSCR3_GGD CONE	70579
TUBO	Leica	AT504	LEIAT504 LEIS	102923
VSBO	Topcon Positioning Systems	CR3-GGD	TPSCR3_GGD CONE	217 0314

Tab. 4.2 Používané antény na referenčních stanicích sítě VESOG

Referenční stanice PLZE, VSBO, GOPE a TUBO jsou stanicemi sítě VESOG a zároveň externími stanicemi sítě CZEPOS (Czech Positioning System). Z tohoto důvodu

je zde podrobnější popis jejich technických parametrů. O síti CZEPOS je pojednáno v následující kapitole 4.

- Plzeň (PLZE)

Přijímač Topcon je umístěn na staničním počítači v provozní místnosti katedry matematiky fakulty aplikovaných věd ZČU. Přijímač je připojen ke staničnímu počítači dvojicí sériových linek – jedna je určena pro přenos real-time dat, druhá pro řízení přijímače a přenos dat do firemního software PC-CDU. Staniční počítač je přes lokální počítačovou síť ZČU připojen do akademické sítě CESNET.

- Ostrava (VSBO)

Staniční počítač je umístěn společně s přijímačem Topcon v počítačovém centru VŠB-TUO. Přijímač je připojen ke staničnímu počítači seriovou linkou pro přenos real-time dat a USB linkou pro řízení přijímače a přenos dat do firemního software PC-CDU. Staniční počítač je přes lokální počítačovou síť VŠB-TUO připojen do akademické sítě CESNET.

- Pecný (GOPE)

Přijímač Topcon je umístěn v místnosti observatoře, ve které jsou též umístěny dva staniční počítače. Přijímač je připojen ke staničním počítačům trojicí seriových linek. První linkou je prováděno řízení přijímače a přenos dat do firemního software PC-CDU, druhá linka slouží pro přenos real-time RTCM dat do téhož počítače a třetí linka je vyhrazena pro přenos binárních dat, ze kterých jsou na druhém staničním počítači vytvářena data pro RTIGS (Real Time International GNSS Service). Staniční počítače jsou zapojeny do lokální počítačové sítě observatoře.

- Brno (TUBO)

Přijímač Leica je umístěn v uzavřené místnosti Ústavu geodézie FAST VÚT v Brně. Na stejném místě je též staniční počítač. Jak přijímač, tak staniční počítač jsou připojené do místní počítačové sítě. Jiné spojení mezi přijímačem a staničním počítačem není. Data jsou přenášena pomocí protokolu FTP (File Transfer Protocol). Řízení přijímače je prováděno přes webové rozhraní přijímače. Přijímač i staniční počítač je přes místní počítačovou síť VUT připojen do akademické sítě CESNET.

### 3.4.3 Poskytované formáty dat sítě VESOG

Odesílání dat zajišťují staniční počítače a to jak RINEX souborů ve formátu VESOG, tak real-time dat pomocí NTRIP technologie.

#### **RINEX data**

Data určená pro pozdější zpracování v uživatelské software jsou poskytována ve formátu RINEX. Tento formát je nezávislý na přijímači, který data pořídil. V současnosti je přístup k RINEX datům možný jen pro registrované uživatele na adrese <http://pecny.asu.cas.cz/vesog/data>. Poskytování se řídí strategií stanovenou provozovatelem stanice, která data pořídila. Obvykle je nutno zjistit, k jakým účelům mají být data poskytnuta, a následně předat zpět zpracované výsledky.

## **Real-time data**

Data jsou poskytována ve formátu RTCM SC104 verze 2.1 (data pro diferenční GPS) nebo verze 2.3 (data pro kinematiku v reálném čase). Data jsou přenášena přes internet. Komunikační obálka dat je ve formátu NTRIP. Real-time data jsou distribuována přes NTRIP caster instalovaný v operačním centru VESOG na Geodetické observatoři Pecný. Pro napojení na NTRIP caster je třeba mít software NTRIP klient a přidělené připojovací jméno a heslo. Přidělení je prováděno operačním centrem podle účelu, pro který je přístup k datům v reálném čase požadován, a podle strategie stanovené provozovatelem stanice, ze které budou data uživateli zpřístupněna. Dalším kritériem je omezená šířka komunikační linky k NTRIP casteru, která znemožňuje současné napojení velkého počtu uživatelů.

## 4 CZEPOS

Nejrozsáhlejší sítí referenčních stanic GPS na území České republiky je Česká permanentní síť pro určování polohy – CZEPOS (Czech Positioning System). Síť obsahuje 27 permanentních stanic rovnoměrně rozmístěných na celém území České republiky ve vzdálenostech cca 60km. Každá ze stanic CZEPOS provádí nepřetržitě 24 hodin denně observace GPS, které pravidelně každou vteřinu registruje. Stanice jsou vybaveny aparaturami, které registrují signály satelitního systému GPS NAVSTAR. Registrovaná data jsou průběžně zpracovávána v řídicím centru CZEPOS a dále poskytována uživatelům. CZEPOS spravuje a provozuje Zeměměřický úřad (ZÚ). Jednotlivé stanice jsou umístěné na budovách katastrálních úřadů resp. pracovišť. Součástí CZEPOS jsou také externí stanice (Plzeň, Ostrava, Pecný, Brno) provozované vědeckými či akademickými pracovišti v rámci Výzkumné sítě VESOG. Použité zdroje v této kapitole jsou [3], [10], [14], [15], [20].

### 4.1 Postup budování sítě

Na základě předběžných studií a úvodního projektu [Kostecký, Šimek 2003] rozhodl Český úřad zeměměřický a katastrální (ČUZK) o vybudování a provozování sítě referenčních stanic na území České republiky. Vybudováním a provozováním sítě CZEPOS byl pověřen Zeměměřický úřad (ZÚ) v Praze. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK) vypracoval realizační projekt a zajistil zapojení vnějších stanic.

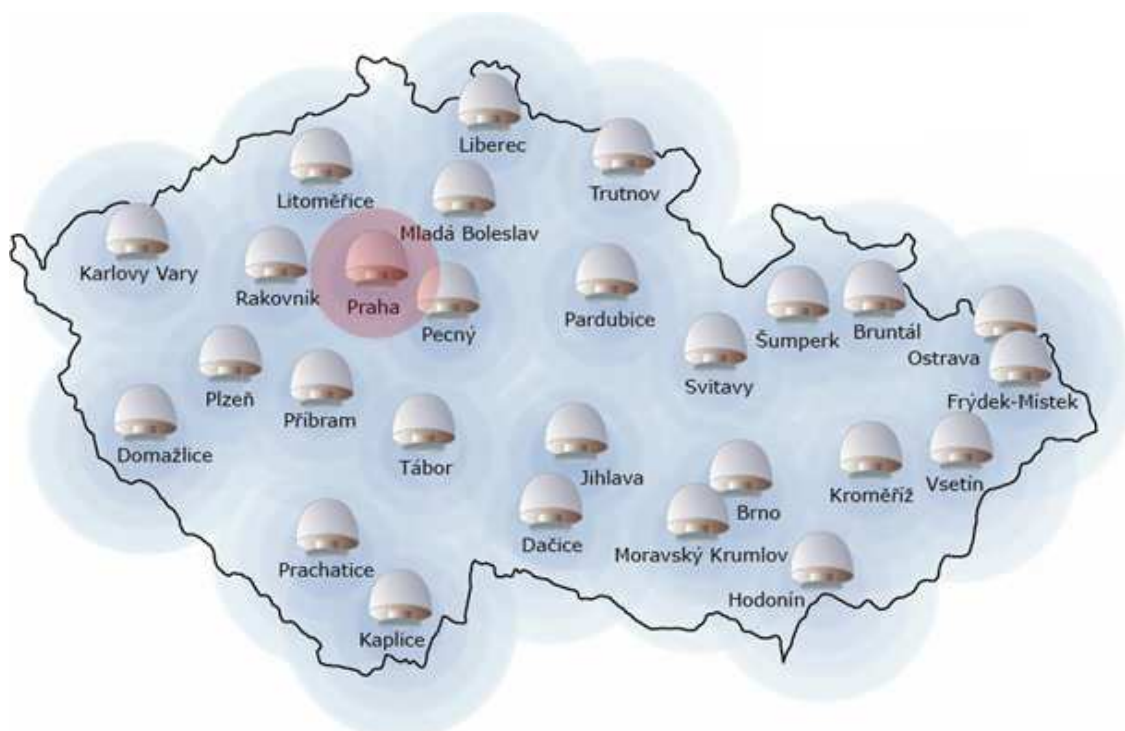
Celková investice do vybudování sítě CZEPOS byla rozložena do tří let. V roce 2004 bylo pořízeno softwarové vybavení potřebné pro chod sítě, centrální servery a prvních šest stanic pro Pardubice, Svitavy, Jihlavu, Dačice, Tábor a Příbram. V prvním pololetí roku 2005 byly instalovány stanice Prachatice, Rakovník, Domažlice, Karlovy Vary, Mladá Boleslav, Litoměřice, dále pak externí stanice Plzeň, Ostrava. Stanice Kaplice, Liberec, Trutnov, Šumperk, Hodonín, Kroměříž, Vsetín, Frýdek-Místek, Bruntál, Moravský Krumlov a externí stanice Pecný byly zapojeny v druhé polovině roku 2005. V roce 2006 byla zprovozněna externí stanice TUBO na Vysokém učení technickém v Brně. Etapa budování sítě byla dokončena koncem roku 2006 zapojením 27. stanice Praha, umístěné na budově ČUZK.

Celý rok 2006 byl CZEPOS v bezplatném testovacím režimu, kdy byly testovány provozní možnosti systému, různé režimy přenosu dat a vzdálené správy stanic, a současně proběhlo měřické testování přesnosti služeb a produktů. Na základě statistického vyhodnocení přístupu uživatelů ke službám a produktům CZEPOS v letech 2005 a 2006 a následné ekonomické rozvahy byly stanoveny ceny těchto služeb a produktů s platností od 1.1.2007, viz příloha č.2.

### 4.2 Popis sítě

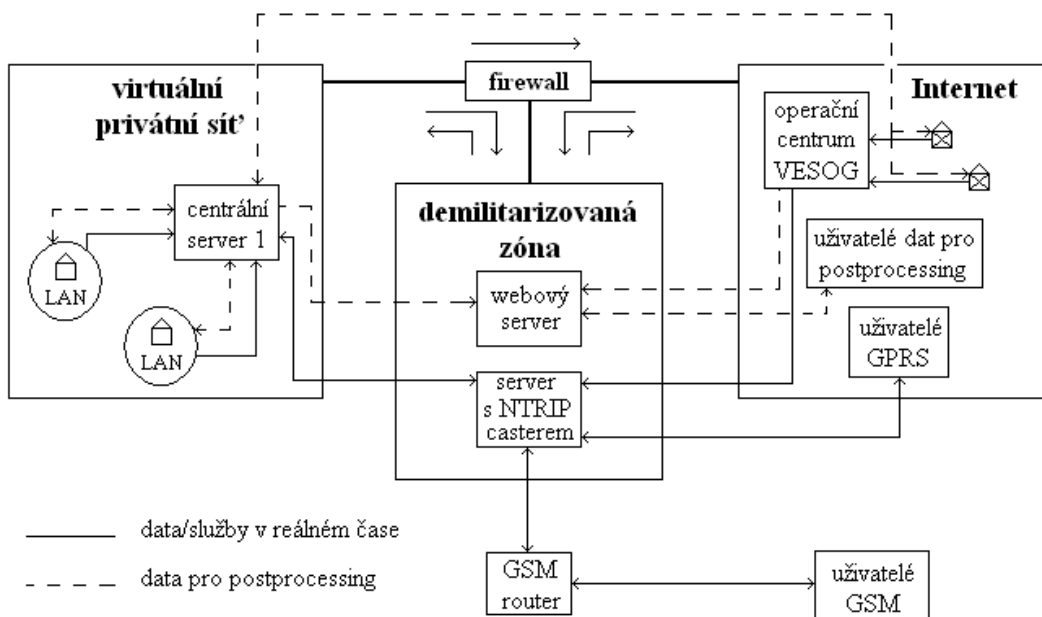
Českou permanentní síť pro určování polohy tvoří 23 stanic vybudovaných na vhodně vybraných katastrálních pracovištích. Tyto stanice jsou doplněny čtyřmi externími stanicemi zřízenými na vědeckých pracovištích: Geodetická observatoř Pecný (GOPE),

VUT v Brně (TUBO), VŠB v Ostravě (VSBO) a ZČU v Plzni (PLZE). Rozmístění stanic na území České republiky znázorňuje obrázek 5.1.



*Obr. 5.1 Rozmístění referenčních stanic sítě CZEPOS [3]*

CZEPOS je spravována v řídicím centru umístěném v Zeměměřickém úřadě v Praze. Data z permanentních stanic jsou přenášena do řídicího centra prostřednictvím virtuální privátní sítě VPN instalované mezi katastrálními úřady. Chod CZEPOS je zajišťován pomocí tří serverů. Hlavní server obsahuje dva softwarové produkty. Prvním z nich je Leica GPS Spider, který provádí kontrolu a vzdálenou správu permanentních stanic a současně také stahování dat pro postprocessing z jednotlivých stanic, jejich zálohu a distribuci na webový server. Druhým z produktů je Geo++ GNSMART, který zajišťuje příjem korekcí v reálném čase z jednotlivých stanic a současně provádí vlastní výpočet síťového řešení. Další dva servery jsou umístěny v demilitarizované zóně, což je část počítačové sítě ČUZK mezi virtuální privátní sítí ČUZK a internetem. Služby v reálném čase poskytuje server s NTRIP casterem, produkty pro postprocessing pak poskytuje webový server. Tok dat je znázorněn na obrázku č. 5.2.



Obr. 5.2 Schéma toku dat v síti CZEPOS [10]

### 4.3 Technické parametry sítě

Všechny stanice CZEPOS (vyjma tří externích stanic) jsou vybaveny jednotnými typy přijímačů a antén.

#### 4.3.1 Přijímače GRX 1200 Pro

Přijímač zajišťuje kontinuální sběr dat v intervalu 1s, zálohování dat na compactflash kartu přijímače a distribuci dat na centrální servery CZEPOS prostřednictvím zabudovaného ethernet portu. Data pro postprocessing jsou na server přenášena v pravidelných hodinových intervalech formou hodinových souborů, data pro služby v reálném čase jsou přenášena bezprostředně po pořízení formou datových paketů. Přijímače jsou instalovány společně se záložním zdrojem UPS, který chrání přijímač proti výpadkům elektrického proudu a současně proti případnému přepětí z počítačové sítě. Dále umožňují zabezpečený přístup k datům definováním rozsahu povolených IP adres.



Obr. 5.3 Přijímač GRX 1200 Pro [3]

### 4.3.2 Antény AT504 Choke Ring

Antény jsou umístěny tak, aby umožnily stálý kvalitní příjem družicového signálu GPS (maximální zakrytí horizontu je 5°) a současně byla umožněna jejich snadná horizontace a orientace. Konstrukce antén s prvky Dorne & Margolin choke ring potlačuje efekt multicestného šíření signálu (multipath) a zaručuje stabilitu fázového centra antény. Antény jsou opatřeny ochranným krytem (radomem). Anténní konstrukce je připojena k hromosvodu budovy, anténní svod mezi anténou a přijímačem je zabezpečen bleskojistkou připojenou k ekvipotenciálnímu systému budovy.



Obr. 5.4 Anténa AT504 Choke Ring [3]

### 4.3.3 Technické parametry externích stanic

Souhrnné informace o technických parametrech externích stanic sítě CZEPOS jsou uvedeny v kapitole 4.4.2.

## 4.4 Datové služby a produkty CZEPOS

Síť permanentních stanic CZEPOS mohou využít všichni uživatelé, kteří potřebují v reálném čase určovat pozici pevného či pohyblivého stanoviště. Dále pak lze CZEPOS využít pro přesnou navigaci v dopravě (určování pozic a sledování pohybu vlakových souprav, kamionové přepravy, vozidel taxislužby, ap.) či záchranných systémech, pro přesnou lokalizaci objektů v terénu a jejich následné začlenění v geografických informačních systémech (GIS). Využití je v celé škále oborů: stavebnictví, energetika, hydrologie, zemědělství atd.. Síť CZEPOS nachází široké uplatnění v zeměměřičství a katastru nemovitostí (zaměřování nebo vytyčování vlastnických hranic, určování souřadnic geodetických bodů, mapování). CZEPOS je zároveň součástí geodetických základů. Dalším uplatněním dat poskytovaných sítí CZEPOS je oblast výzkumu – zejména v geodynamice či GPS meteorologii.

### 4.4.1 Postup registrace uživatele sítě CZEPOS

Přístup ke službám a produktům CZEPOS je umožněn pouze registrovanému uživateli. Registrace je provedena na základě Žádosti o poskytování dat České sítě permanentních stanic GPS pro určování polohy. Viz text 5.1.

#### 4.4.2 Příjem korekcí v reálném čase

Služby CZEPOS umožňují příjem korekčních dat v reálném čase. Uživatel získává korekce během měření GNSS, je tedy schopen v reálném čase určovat pozici v souřadnicích. Korekce jsou poskytovány ve standardním formátu RTCM prostřednictvím internetu. K přenosu korekcí se využívá síťový protokol NTRIP.

CZEPOS poskytuje v reálném čase tyto služby:

- DGPS – nad kódovými daty
- RTK (Real Time Kinematics)
- RTK – PRS (Pseudo Reference Station)
- RTK – FKP (Flächenkorrekturparameter)

Pro příjem služeb CZEPOS musí uživatel nastavit svůj NTRIP klient. Nejprve je třeba nastavit internetovou adresu serveru CZEPOS, který vysílá korekce (tzv. VTRIP caster) ve tvaru: czepon.cuzk.cz, a příslušný port: 2101. Dále je třeba nastavit uživatelské jméno a heslo. Po úspěšném spojení klientské aparatury se serverem CZEPOS obdrží uživatel zdrojovou tabulku, která obsahuje seznam všech dostupných služeb, přičemž každá služba má přiřazen přístupový kód (mount poin nebo také mount). Po zvolení přístupového bodu je uživatel spojen se službou a může přijímat korekce.

#### 4.4.3 Následné zpracování (postprocessing)

Kromě služeb v reálném čase umožňuje CZEPOS stažení datových produktů pro zpracování po skončení měření (postprocessing). Uživatel nejprve provede observace GNSS, následně stáhne korekční data a vypočte pozici pomocí vhodného software. Data jsou serverem generována ve standardním textovém formátu RINEX. Uživatel může data stáhnout ze zvolené referenční stanice v rozsahu zadaném časovým intervalem od-do se zadaným krokem záznamu (standardně 15s).

Dalším datovým produktem CZEPOS je virtuální RINEX, který je generován pro virtuální stanici o souřadnicích zadaných uživatelem. Korekční data jsou systémem generována ze všech stanic sítě na základě síťového řešení.

#### 4.4.4 Cenové tarify služeb a produktů CZEPOS

Od 1.1.2007 je přístup ke službám a produktům CZEPOS zpoplatněn. Měrnou jednotkou pro výpočet ceny je časová délka odebraných korekčních dat. Délka se měří na celé vteřiny (v případě služeb) a na celé minuty (v případě produktů). Cena se uvádí jako cena za 1 hodinu odebraných dat, přepočítává se však na skutečnou délku odebraných dat dle počtu měrných jednotek. Cenové tarify služeb a produktů CZEPOS se nachází v aktuálním ceníku výkonů a výrobků Zeměměřického úřadu platném od 1.1.2007. Viz příloha č.2. Faktury jsou zasílány poštou po ukončení zúčtovacího období na adresu uvedenou v registračních údajích.



## 5 PLZE

Cílem bakalářské práce je zhodnocení stability určování polohy permanentní referenční stanice PLZE v čase. V následující kapitole je popsán obecný postup zpracování měření, první kampaň, popis celého měření a následné zhodnocení výsledků. Určovaná poloha referenční stanice PLZE je uvedena v souřadnicovém systému ETRS-89 a po následné transformaci v S-JTSK. Podrobný popis těchto souřadnicových systémů lze nalézt na internetové adrese <http://krovak.webpark.cz/>.

### 5.1 Obecný postup

Pro výpočet souřadnic referenční stanice PLZE byla použita statická metoda. Data byla stažena z referenčních stanic sítě CZEPOS – PLZE, CDOM, CKVA, CPRI, CRAK a to vždy jednou za měsíc po 24 hodinových observacích. Souřadnice byly počítány v programu Pinnacle (ver. 1.0 Javad Positioning Systems, 1998) v ETRS-89. Z jednoho měření byly souřadnice referenční stanice PLZE počítány celkem šestkrát. Čtyřikrát pomocí jednotlivých vektorů z referenčních stanic CDOM, CKVA, CPRI, CRAK, po páté jako jejich průměr a po šesté jako síťové řešení. Do dalšího zpracování byly použity souřadnice vypočítané síťovým řešením, důvod tohoto postupu je uveden v kapitole 5.3.2. Byla provedena jejich transformace z ETRS-89 do S-JTSK, vypočítány jednotlivé odchylky  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  od souřadnic uvedených v [CZEPOSnet], jejich prostorová vzdálenost a vytvořeny grafy v ETRS-89.

#### 5.1.1 Souřadnice z CZEPOS

Souřadnice referenční stanice PLZE uvedené na internetových stránkách sítě CZEPOS [CZEPOS07] (dále jen souřadnice z CZEPOS) byly určeny studenty Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni v roce 2003.

První určení bylo provedeno statickou metodou patřící do skupiny metod diferenciální GPS. Autorem projektu je Martin Kesl. Pro použití statické metody byly vybrány tři referenční body tak, aby tvořily přibližně rovnostranný trojúhelník o délce strany nepřesahující 30 km a byly známy jejich souřadnice v ETRS-89 (body vybrané údržby). Určovaný bod, tedy stanice PLZE, ležela přibližně v těžišti tohoto trojúhelníku. Observace byla prováděna 31.3.2003 na bodech 000920130160, 000920170340, PLZE a KAPL2 (pilíř katastrálního úřadu Plzeň-město). Čerpáno z [8].

Výsledné souřadnice v ETRS-89:

$B = 49^{\circ}43'31.20824''$ ,  
 $L = 13^{\circ}21'02.45111''$ ,  
 $H = 425.9263$  m.

Výsledné souřadnice v S-JTSK:

$Y = 824687.508$  m,  
 $X = 1071842.978$  m,  
 $Z = 379.229$  m.

Druhé nezávislé měření souřadnic PLZE bylo provedeno geodetickou metodou protínání zpět ze dvou nezávislých kombinací zaměřovaných bodů. Samo o sobě se měření skládalo ze dvou nezávislých měření horizontálních úhlů ve třech skupinách na vzdálené body. První měření – orientace na body: 000920120110, 000920070250, 000920080270. Druhé měření – orientace na body: 000920120400, 000920130090, 000920130230.

Souřadnice byly počítány v programu Geus. Projekt realizoval Ondřej Kugler a Stanislav Rauch 1.4.2003. Informace byly převzaty z [11].

Výsledné souřadnice v S-JTSK:

$$Y = 824687.51 \text{ m}$$
$$X = 1071842.98 \text{ m}$$

Výsledky obou dvou projektů určení souřadnic PLZE lze vyhodnotit jako shodné. Tyto výsledky byly převzaty Zeměměřickým úřadem a publikovány jako závazné souřadnice referenční stanice PLZE na internetových stránkách sítě CZEPOS. Souřadnice jsou dále používány pro výpočty odchylek a proto zde uvádím jejich přesné znění z [3].

Souřadnice v ETRS-89:

$$B = 49^{\circ}43'31.20820'',$$
$$L = 13^{\circ}21'02.45110'',$$
$$H = 425.9263 \text{ m.}$$

Souřadnice v S-JTSK:

$$Y = 824687.508 \text{ m,}$$
$$X = 1071842.978 \text{ m,}$$
$$Z = 379.229 \text{ m.}$$

## 5.2 První kampaň – ověření funkčnosti navrhované metody určování stability bodů sítě CZEPOS

První kampaň měla za úkol určit, zda je možné počítat souřadnice referenční stanice PLZE pomocí korekcí, které poskytují okolní stanice sítě CZEPOS. Vzdálenost od referenční stanice je velice důležitým faktorem ovlivňujícím přesnost metod diferenciální GPS. Stanice sítě CZEPOS jsou od sebe vzdáleny cca 60 km.

První výpočty byly provedeny na datech z 22.11.2006. Podrobný popis je uveden v následující podkapitole 6.3.

Výsledkem první kampaně byly souřadnice síťového řešení stanice PLZE v ETRS-89 a jejich odchylky  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  a  $\Delta Z$  od souřadnic z [CZEPOSnet]. Dále je u každé souřadnice uvedena směrodatná odchylka  $\sigma$ .

$$\Delta X = 0.0324 \pm 0.0058 \text{ m,}$$
$$\Delta Y = -0.0030 \pm 0.0030 \text{ m,}$$
$$\Delta Z = 0.0451 \pm 0.0070 \text{ m.}$$

Výsledek byl shledán jako uspokojivý pro další měření při určování přesnosti polohy stanice PLZE v čase.

## 5.3 Celé měření

### 5.3.1 Použitá data

Data byla použita nejčastěji z 22. a 23. dne měsíce. Byla snaha sjednotit časy observací, které trvaly 24 hodin. Pro první výpočty, jmenovitě 22.11.2006, 22.1.2007 a 22.2.2007, byla použita data přímo z referenční stanice PLZE, tedy ve formátu \*.jps, a data z ostatních stanic stažena z CZEPOS již ve formátu RINEX. Při dalších měřeních byla data stahována i pro stanici PLZE z CZEPOS ve formátu RINEX. Nejčastěji observovaným časovým

úsekem byl 22. den měsíce 4:00:00 hodin – 23. den měsíce 3:59:59 hodin. Použitá data jsou podrobně popsána v příloze 5.1.

### 5.3.2 Výpočet souřadnic

Jak bylo řečeno v podkapitole 5.1, souřadnice referenční stanice PLZE byly počítány celkem šestkrát. V následujících odstavcích je podán podrobný popis těchto výpočtů.

#### **Výpočet souřadnic pomocí jednotlivých vektorů**

U každého měření byly souřadnice X, Y, Z počítány v souřadnicovém systému ETRS-89 pomocí jednotlivých vektorů z referenčních stanic CDOM, CKVA, CPRI a CRAK. Z těchto výsledků byl pak počítán aritmetický průměr. Souřadnice byly transformovány z ETRS-89 do S-JTSK pomocí programu TransGPS (viz kapitola 5.3.3). Všechny výsledky byly zaznamenány do tabulek v programu Excel (viz příloha D).

#### **Výpočet síťového řešení**

Šestáým způsobem výpočtu souřadnic X, Y, Z stanice PLZE v ETRS-89 byl výpočet síťového řešení. Nejprve byly vypočítány jednotlivé vektory na PLZE ze stanic CDOM, CKVA, CPRI, CRAK a poté síť vektorů vyrovnána. Geometrie sítě je znázorněna v příloze E. Souřadnice byly zapsány do tabulek v programu Excel (viz příloha D), provedena jejich transformace do S-JTSK prostřednictvím programu TransGPS (viz kapitola 5.3.3).

#### **Celkové zpracování**

Po výpočtu souřadnic z jednotlivých vektorů, aritmetického průměru z vektorů a síťového řešení byly počítány odchylky  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  (v případě S-JTSK se jedná o  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta H$ ), kde:

v ETRS-89

$\Delta X$  (m) = X (m) síťové řešení - X (m) vektor (CDOM),

$\Delta Y$  (m) = Y (m) síťové řešení - Y (m) vektor (CDOM),

$\Delta Z$  (m) = Z (m) síťové řešení - Z (m) vektor (CDOM),

v S-JTSK

$\Delta X$  (m) = X (m) síťové řešení - X (m) vektor (CDOM),

$\Delta Y$  (m) = Y (m) síťové řešení - Y (m) vektor (CDOM),

$\Delta H$  (m) = H (m) síťové řešení - H (m) vektor (CDOM).

Analogicky byly vypočteny odchylky pro vektory CDOM – PLZE, CPRI – PLZE, CRAK – PLZE a pro aritmetický průměr z vektorů. Z výsledných hodnot byly určeny prostorové vzdálenosti souřadnic stanice (síťové řešení) od souřadnic (jednotlivé vektory, průměr z vektorů) dle vzorce

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}, \text{ (viz příloha D).}$$

ETRS-89						
datum	22.5.2006	22.6.2006	22.7.2006	22.8.2006	26.9.2006	22.10.2006
$\Delta d =$						
síťové řešení - $\Phi$ z vektorů (m)	0.001371732	0.00214505	0.0043913	0.0025667	0.001403	0.000790964
datum	21.11.2006	21.12.2006	22.1.2007	22.2.2007	22.3.2007	22.4.2007
$\Delta d =$						
síťové řešení - $\Phi$ z vektorů (m)	0.001333463	0.00144849	0.0011264	0.0008811	0.0003614	0.001669768
$\Phi$ z rozdílů		0.00162412				

Tab. 5.1 Rozdíly  $\Delta d =$  síťové řešení –  $\Phi$  z vektorů

Z vypočtených prostorových vzdáleností je patrné, že rozdíl mezi síťovým řešením a průměrem z vektorů se pohybuje v řádech milimetrů (viz Tab. 5.1). U síťového řešení, které bylo zpracováno programem Pinnacle, bohužel nelze přesně určit jakým způsobem je provedeno vyrovnání sítě. Lze ale předpokládat, že program zohledňuje celkovou konfiguraci sítě, tedy délku vypočtených vektorů, jejich geometrické uspořádání apod. Metoda aritmetického průměru nám takovéto přínosy bohužel neposkytuje. Proto bylo k dalšímu zpracování použito síťové řešení. Souřadnice v S-JTSK byly porovnány se souřadnicemi z CZEPOS. Aby nedocházelo k připočtení chyb z transformace, bylo vlastní vyhodnocování stability PLZE v čase prováděno v souřadnicovém systému ETRS-89.

V programu Excel byly vypočteny odchylky  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  v ETRS-89 pro každé měření, kde:

$\Delta X$  (m) =  $X$  (m) daná souřadnice z CZEPOS -  $X$  (m) měřená souřadnice (síťové řešení),  
 $\Delta Y$  (m) =  $Y$  (m) daná souřadnice z CZEPOS -  $Y$  (m) měřená souřadnice (síťové řešení),  
 $\Delta Z$  (m) =  $Z$  (m) daná souřadnice z CZEPOS -  $Z$  (m) měřená souřadnice (síťové řešení).

Z výsledných hodnot  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  byly zhotoveny následující grafy. Graf 5.1 byl vytvořen z hodnot v tabulce 5.2. Zobrazuje vývoj polohy stanice PLZE v ose X. Vývoj v ose Y lze vidět na grafu 5.2, příslušné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.3. Graf 5.3. byl zhotoven z hodnot v tabulce 5.4 a zobrazuje stabilitu polohy v ose Z. Dále byly použity směrodatné odchylky  $\sigma$ , které jsou vypočteny programem Pinnacle a uvedeny ve výpočetních protokolech (viz příloha F). Sigma určuje rozmezí (+ $\sigma$ , - $\sigma$ ), kde přesnou hodnotu souřadnice určíme s pravděpodobností 68.3 %. Dvakrát sigma, tedy +2 $\sigma$ , -2 $\sigma$ , určuje interval, kde určíme přesnou hodnotu s pravděpodobností 95%. Tyto směrodatné odchylky byly zaneseny do výše zmíněných grafů. Jejich výpočet byl proveden a podle statistického vzorce :

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}.$$

Z odchylek  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  byly vypočteny prostorové vzdálenosti měřených souřadnic od souřadnic z CZEPOS, znovu podle vzorce  $d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$ . Výpočty byly prováděny v programu Excel, kde byl z těchto hodnot vytvořen graf, viz graf 5.4, tab. 5.4. Směrodatné odchylky určení prostorových vzdáleností byly počítány podle vztahu:  $\Delta\sigma = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2}$ .

U všech grafů byl zvolen na svislé ose interval mezi jednotlivými úseky 0.005 m. Jednotný interval umožňuje na první pohled určit v jakém rozmezí se daná souřadnice během roku pohybuje a tyto výsledky porovnat mezi jednotlivými grafy. Programem Excel byly dále do grafů zaneseny regresní přímky, které určují podle svého sklonu vývoj pohybu určované souřadnice v čase. Pozn.: lineární regrese využívá metody nejmenších čtverců (podrobnější informace můžeme nalézt například na internetových stránkách RNDr. Lud'ka Dohnala, viz <http://www1.lf1.cuni.cz/~ldohna/passing/passing.htm>).

Všechny výpočty odchylek byly provedeny v programu Excel. V příloze D je uveden příklad tabulky naměřených a vypočtených hodnot z 22.11.2006. Ostatní měření jsou uvedeny v souborech vypocty.xls a grafy.xls na přiloženém DVD.

### Rovnice regresní přímky

Obecná rovnice (regresní) přímky má tvar  $y = a + bx$ , kde  $a$  je absolutní člen (místo kde regresní přímka protíná svislou osu) a  $b$  je směrnice přímky. Pro výpočet rovnic regresních přímek jsou observované dny rovny celým číslům a to tak, že 22.5.2006 odpovídá hodnotě 0, 22.6.2006 odpovídá hodnotě 1 až 22.4.2007 odpovídá hodnotě 12. V rovnicích přímek odpovídá neznámé  $y$  svislá osa grafu, tedy velikosti odchylek, a neznámé  $x$  celá čísla určující datum observace.

Z grafu 5.1 byla určena rovnice regresní přímky pro vývoj souřadnice X v čase. U souřadnice Y tak bylo učiněno z grafu 5.2 a u Z z grafu 5.3. Pro prostorové vzdálenosti měřených souřadnic od souřadnic z CZEPOS byla přímka určena z grafu 5.4. Rovnice regresních přímek byly zjišťovány pro lepší vyjádření vývoje polohy referenční stanice PLZE v čase. Prostřednictvím jejich rovnic byly spočítány odchylky  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  a prostorová vzdálenost  $d$  v den určení souřadnic z CZEPOS, tedy 31.3.2003. Dalším krokem byl výpočet průměrných směrodatných odchylek  $\sigma$  pro souřadnice a vzdálenosti, podle vzorce:

$$\sigma = \frac{1}{12} (\sigma_{22.5.2006} + \sigma_{22.6.2006} + \dots + \sigma_{22.4.2007})$$

Pro souřadnici X:

- rovnice regresní přímky:  $y = 0.0252 + 0.0008x$ ,
- $\Delta X = - 0.0052$  m,
- $\sigma = 0.0056$  m.

Pro souřadnici Y:

- rovnice regresní přímky:  $y = - 0.001 - 0.0001x$ ,
- $\Delta Y = - 0.0028$  m,
- $\sigma = 0.0030$  m.

Pro souřadnici Z:

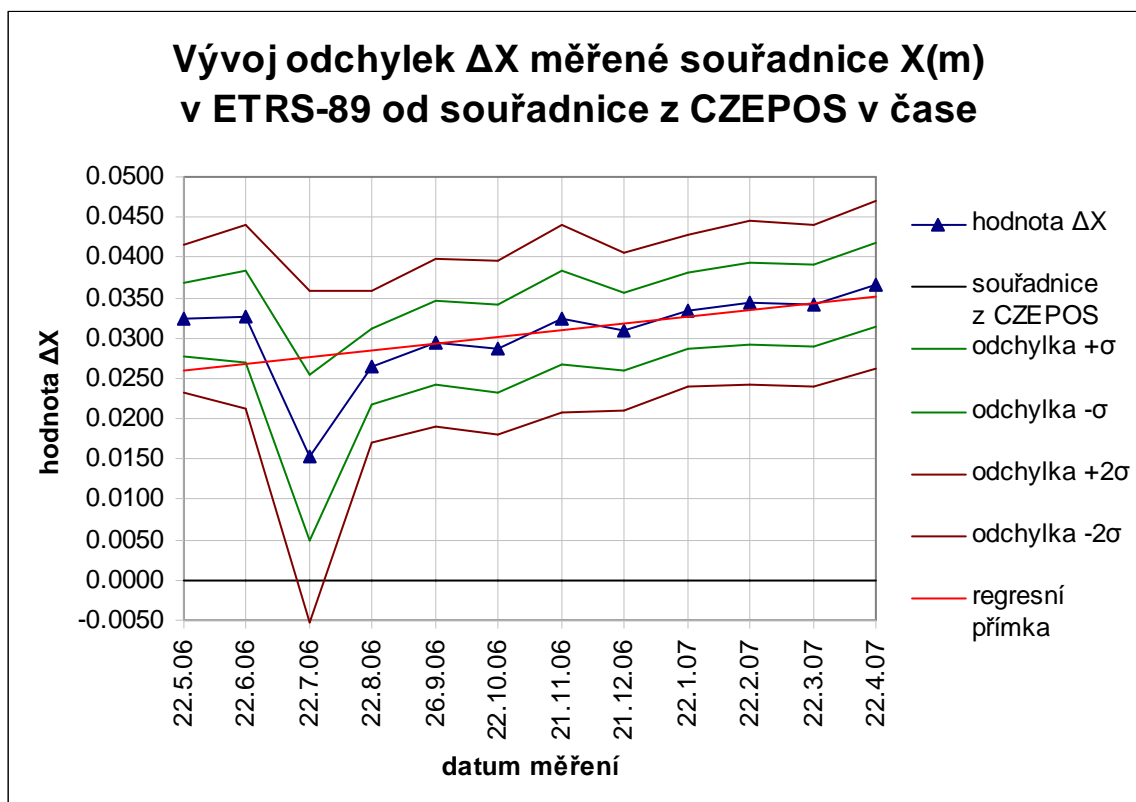
- rovnice regresní přímky:  $y = 0.0359 + 0.0011x$ ,
- $\Delta Z = - 0.0059$  m,
- $\sigma = 0.0070$  m.

Pro vzdálenost  $d$ :

- rovnice regresní přímky:  $y = 0.0439 + 0.0013x$ ,
- $d = - 0.0055$  m,
- $\sigma = 0.0094$  m.

## **Přínos metody**

Využití této metody při řešení stability polohy referenčních GPS stanic předpokládá, že okolní stanice, ze kterých byly poskytnuty korekce, mají stabilní polohu. V praxi tomu tak bohužel není, jejich souřadnice se v čase také pohybují. Z geometrie sítě vytvořené použitými vektory vyplývá, že zkoumaná stanice musí být v přibližném středu této sítě. Bez propojení českých sítí se sítěmi okolních států tedy nelze tento postup aplikovat na okrajové stanice sítí.

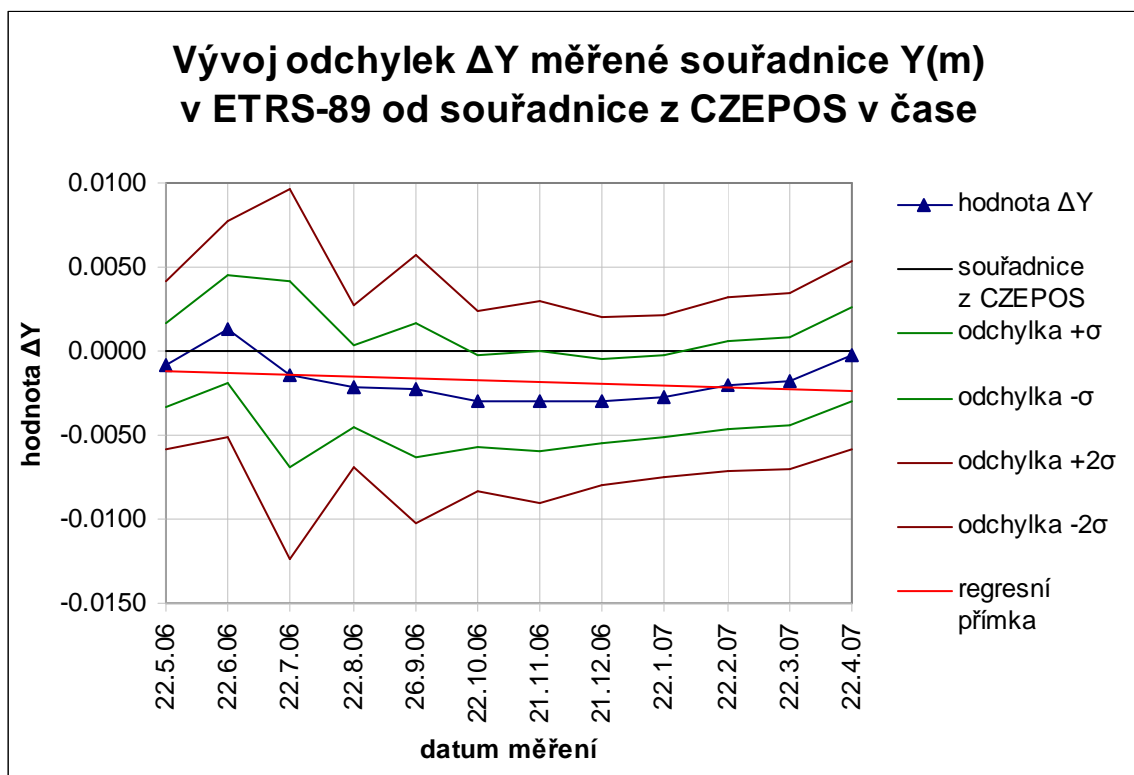


Graf 5.1 Vývoj odchylek  $\Delta X$  měřené souřadnice X(m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase

Tabulka odchylek $\Delta X$ měřené souřadnice X (m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS*			
Datum měření	Souřadnice X v ETRS-89	$\Delta X = X_{\text{CZEPOS}} - X_{\text{měřená}}$	Směrodatná odchylka $\sigma$
CZEPOS	4019841.24244		
22.5.2006	4019841.2101	0.0323	0.0046
22.6.2006	4019841.2098	0.0326	0.0057
22.7.2006	4019841.2272	0.0152	0.0103
22.8.2006	4019841.2160	0.0264	0.0047
26.9.2006	4019841.2129	0.0295	0.0052
22.10.2006	4019841.2137	0.0287	0.0054
21.11.2006	4019841.2100	0.0324	0.0058
21.12.2006	4019841.2116	0.0308	0.0049
22.1.2007	4019841.2091	0.0333	0.0047
22.2.2007	4019841.2081	0.0343	0.0051
22.3.2007	4019841.2084	0.0340	0.0050
22.4.2007	4019841.2058	0.0366	0.0052

\*Všechny hodnoty tabulky jsou uvedeny v metrech.

Tab. 5.2 Tabulka odchylek  $\Delta X$  měřené souřadnice X(m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase



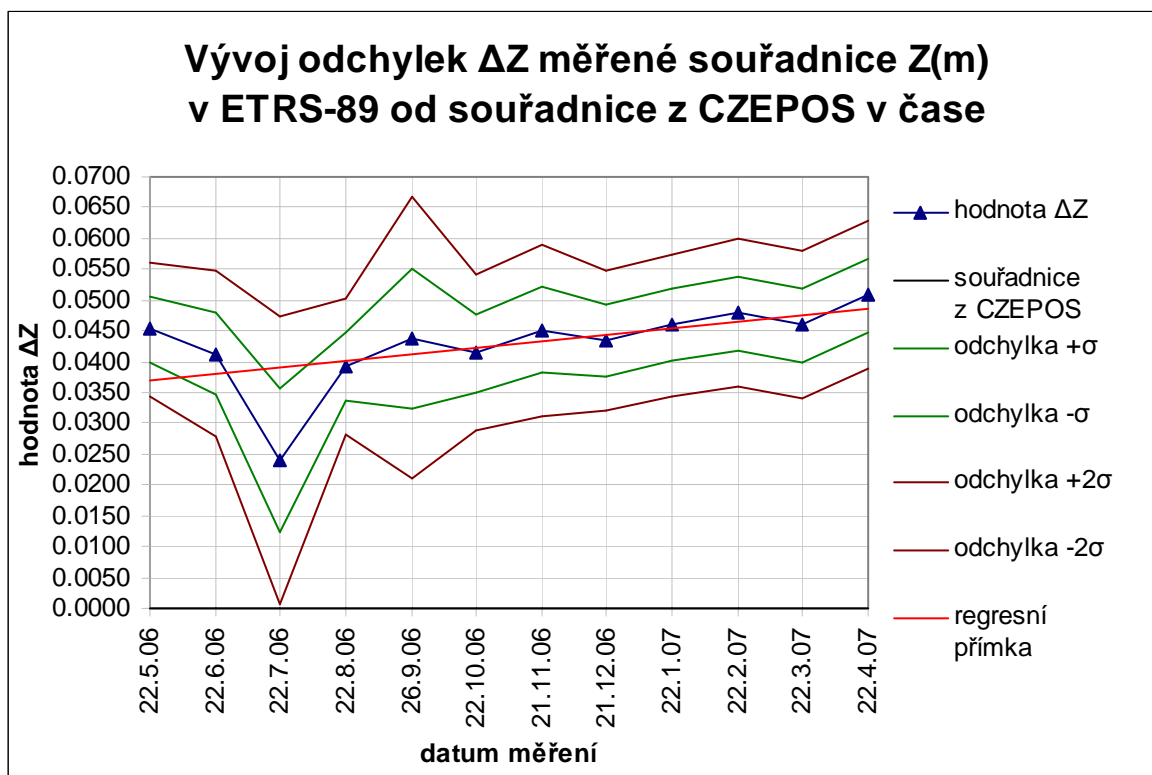
Graf 5.2 Vývoj odchylek  $\Delta Y$  měřené souřadnice Y(m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase

Tabulka odchylek $\Delta Y$ měřené souřadnice Y (m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS*			
Datum měření	Souřadnice Y v ETRS-89	$\Delta Y = Y_{\text{CZEPOS}} - Y_{\text{měřená}}$	Směrodatná odchylka $\sigma$
CZEPOS			
	954005.42691		
22.5.2006	954005.4277	-0.0008	0.0025
22.6.2006	954005.4256	0.0013	0.0032
22.7.2006	954005.4283	-0.0014	0.0055
22.8.2006	954005.4290	-0.0021	0.0024
26.9.2006	954005.4292	-0.0023	0.0040
22.10.2006	954005.4299	-0.0030	0.0027
21.11.2006	954005.4299	-0.0030	0.0030
21.12.2006	954005.4299	-0.0030	0.0025
22.1.2007	954005.4296	-0.0027	0.0024
22.2.2007	954005.4289	-0.0020	0.0026
22.3.2007	954005.4287	-0.0018	0.0026
22.4.2007	954005.4271	-0.0002	0.0028

\* Všechny hodnoty tabulky jsou uvedeny v metrech.

Tab. 5.3 Tabulka odchylek  $\Delta Y$  měřené souřadnice Y(m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase



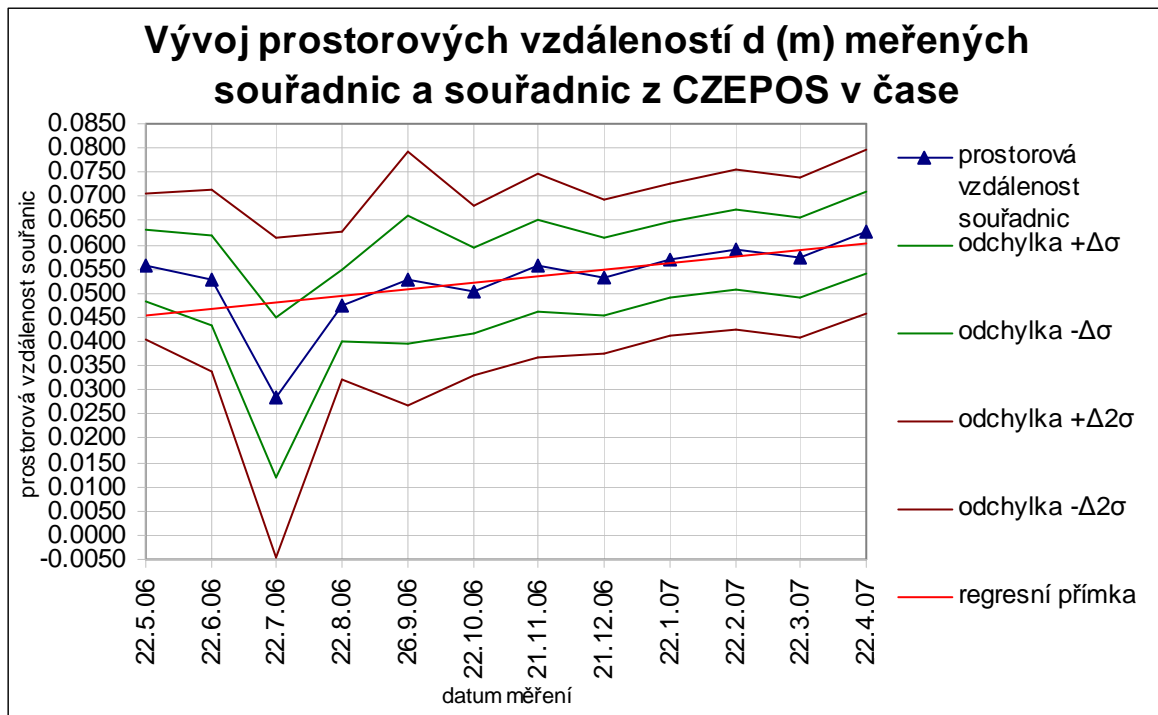


Graf 5.3 Vývoj odchylek  $\Delta Z$  měřené souřadnice Z(m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase

Tabulka odchylek $\Delta Z$ měřené souřadnice Z (m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS*			
Datum měření	Souřadnice Z v ETRS-89	$\Delta Z = Z_{\text{CZEPOS}} - Z_{\text{měřená}}$	Směrodatná odchylka $\sigma$
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
CZEPOS	4843420.86182		
22.5.2006	4843420.8166	0.0452	0.0054
22.6.2006	4843420.8206	0.0412	0.0067
22.7.2006	4843420.8378	0.0240	0.0117
22.8.2006	4843420.8225	0.0393	0.0055
26.9.2006	4843420.8180	0.0438	0.0114
22.10.2006	4843420.8204	0.0414	0.0063
21.11.2006	4843420.8167	0.0451	0.0070
21.12.2006	4843420.8184	0.0434	0.0057
22.1.2007	4843420.8159	0.0459	0.0058
22.2.2007	4843420.8139	0.0479	0.0060
22.3.2007	4843420.8159	0.0459	0.0060
22.4.2007	4843420.8110	0.0508	0.0060

\* Všechny hodnoty tabulky jsou uvedeny v metrech.

Tab. 5.4 Tabulka odchylek  $\Delta Z$  měřené souřadnice Z(m) v ETRS-89 od souřadnice z CZEPOS v čase



Graf 5.4 Vývoj prostorových vzdáleností měřených souřadnic od souřadnic z CZEPOS v čase

Vývoj prostorových vzdáleností měřených souřadnic od souřadnic z CZEPOS v čase*					
ETRS-89	X		Y		Z
CZEPOS	4019841.24244		954005.42691		4843420.86182
Datum měření	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$	Směrodatná odchylka $\Delta\sigma$
22.5.2006	0.0323	-0.0008	0.0452	0.0556	0.0075
22.6.2006	0.0326	0.0013	0.0412	0.0526	0.0094
22.7.2006	0.0152	-0.0014	0.0240	0.0285	0.0165
22.8.2006	0.0264	-0.0021	0.0393	0.0474	0.0076
26.9.2006	0.0295	-0.0023	0.0438	0.0529	0.0132
22.10.2006	0.0287	-0.0030	0.0414	0.0505	0.0087
21.11.2006	0.0324	-0.0030	0.0451	0.0557	0.0096
21.12.2006	0.0308	-0.0030	0.0434	0.0533	0.0079
22.1.2007	0.0333	-0.0027	0.0459	0.0568	0.0078
22.2.2007	0.0343	-0.0020	0.0479	0.0590	0.0083
22.3.2007	0.0340	-0.0018	0.0459	0.0572	0.0082
22.4.2007	0.0366	-0.0002	0.0508	0.0627	0.0084

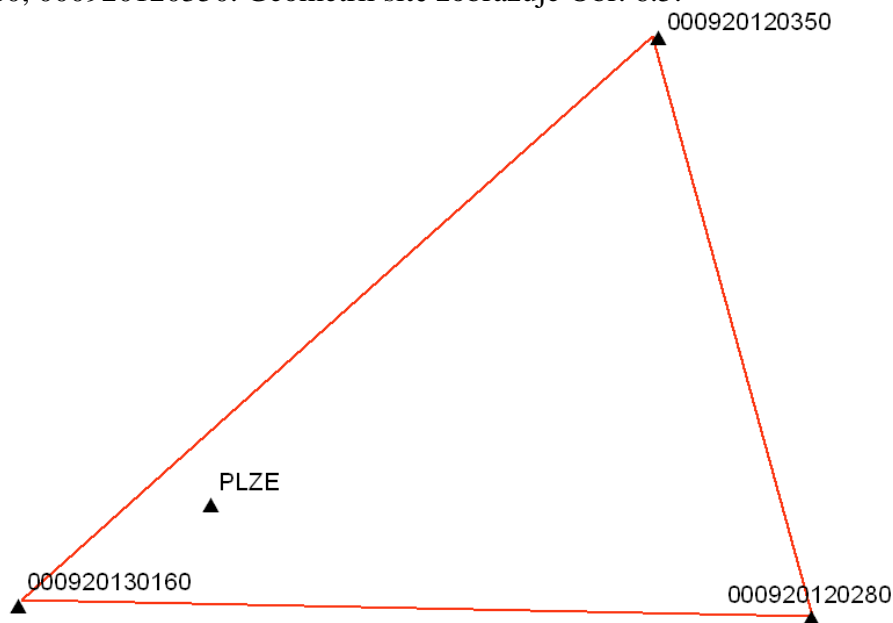
\* Všechny hodnoty tabulky jsou uvedeny v metrech.

Tab. 5.5 Tabulka prostorových vzdáleností měřených souřadnic od souřadnic z CZEPOS v čase

### 5.3.3 Transformace souřadnic

Při měření souřadnic stanice PLZE 31.3.2003 byl použit transformační klíč obsahující bod KAPL2 (pilíř katastrálního úřadu Plzeň-město), viz [8]. Při současném měření u tohoto bodu nebyly známy souřadnice v obou souřadnicových systémech, a proto byl zvolen jiný transformační klíč, viz dále.

Souřadnice vypočtené v ETRS-89 byly transformovány do S-JTSK pomocí programu TransGPS. Ze zájmové lokality byly vybrány tři body se známými souřadnicemi jak v ETRS-89, tak v S-JTSK, které byly použity k výpočtu parametrů lokálního transformačního klíče. Jedná se o tyto body vybrané údržby: 000920130160, 000920120280, 000920120350. Geometrii sítě zobrazuje Obr. 6.5.



Obr. 6.5 Geometrie sítě bodů použitých pro transformaci z ETRS-89 do S-JTSK

#### Přesnost transformace

Přesnost provedené transformace byla testována při prvním měření z 22.11.2006. Výsledky jsou zaznamenány v příloze G a výpočetní protokol z transformace síťového řešení v příloze H. Další protokoly o provedených transformacích jsou uvedeny na příloženém DVD.

Testování přesnosti transformace bylo provedeno výpočtem rozdílů prostorových vzdáleností  $d$  vypočtených v obou souřadnicových systémech, tedy  $\Delta d = d_{\text{ETRS-89}} - d_{\text{S-JTSK}}$ . Vzorec byl aplikován na vzdálenosti  $d$  (síťové řešení, vektor CDOM),  $d$  (síťové řešení, vektor CKVA),  $d$  (síťové řešení, vektor CPRI),  $d$  (síťové řešení, vektor CRAK) a  $d$  (síťové řešení,  $\Phi$  z vektorů). Z tabulky je zřejmé, že rozdíl velikostí prostorových vzdáleností se pohybuje v řádech desetin milimetru.

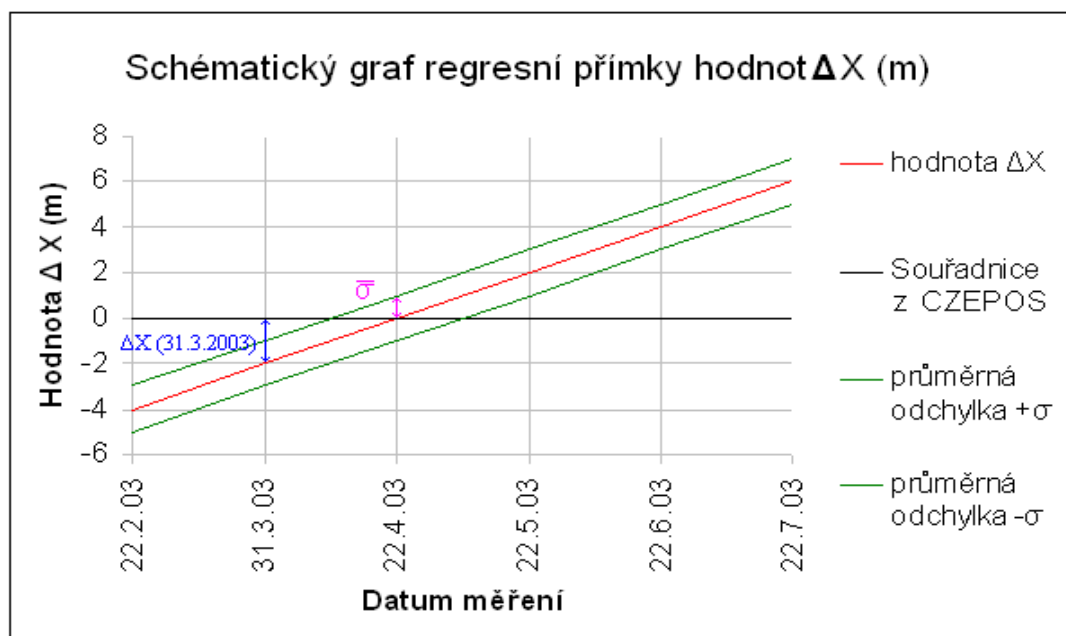
## 5.4 Vyhodnocení

Všechny výpočty byly provedeny s daty naměřenými za časový interval 24 hodin každý měsíc po dobu jednoho roku, tedy od 22.5.2006 do 22.4.2007.

Z grafu 6.1 je patrné, že maximální odchylka měřené souřadnice X od souřadnice z CZEPOS je 3.66 cm z 22.4.2007. Naopak k minimální odchylce došlo 22.7.2006, a to 1.52 cm. Odchylka souřadnice X referenční stanice PLZE se tedy během roku měnila v rozmezí 2.14 cm. Maximální hodnota odchylky měřené souřadnice Y od souřadnice z CZEPOS je -0.30 cm ze dne 22.10.2006, 21.11.2006 a 21.12.2006 (viz Graf. 6.2). Minimální hodnoty 0.02 cm bylo dosaženo 22.4.2007. Celkový rozptyl v souřadnici Y je 0.28 cm. U souřadnice Z byla maximální odchylka 5.08 cm 22.4.2007 a minimální 2.40 cm 22.7.2006, jak je patrné z grafu 6.3. Rozmezí pohybu souřadnic během roku je tedy 2.40 cm. Graf 6.4 znázorňuje vývoj prostorových vzdáleností měřených souřadnic a souřadnic z CZEPOS. Maximální vzdálenost má hodnotu 6.27 cm z 22.4.2007 a minimální 2.85 cm z 22.7.2006. Celkový rozsah počítaných prostorových vzdáleností je 3.42 cm.

Největší odchylka měřené souřadnice od souřadnice z CZEPOS se vyskytla u souřadnice Z. Maximální hodnota  $\Delta Z$  zde dosáhla až 5.08 cm. Naopak nejmenší odchylka se objevila u souřadnice Y, zde byla maximální hodnota  $\Delta Y$  rovna 3 cm. Rozsah maximální a minimální hodnoty odchylek byl opět největší u souřadnice Z a nejmenší u souřadnice Y.

Ze sklonu regresních přímek u jednotlivých grafů je možné určit vývoj polohy referenční stanice PLZE v čase. U souřadnice X je tento vývoj rostoucí. Byla určena odchylka  $\Delta X_{31.3.2003}$  v den měření souřadnic z CZEPOS a průměrná směrodatná odchylka  $\sigma$  pro souřadnici X. Na obrázku 6.6 jsou tyto hodnoty schématicky vyjádřeny v grafu (v žádném případě se nejedná o reálné hodnoty, obrázek pouze napodobuje průběh regresní přímky).



Obr. 6.6 Schématický graf regresní přímky hodnot  $\Delta X$  (m)

ETRS-89	$ \Delta_{31.3.2003} \text{ (m)} $	$\bar{\sigma} \text{ (m)}$	$\Delta_{31.3.2003} - \bar{\sigma} \text{ (m)}$
X	0.0052	0.0056	0.0004
Y	0.0028	0.0030	0.0002
Z	0.0059	0.0070	0.0011
d	0.0055	0.0094	0.0039

*Tab. 5.6 Odchyly  $\Delta_{31.3.2003}$  (m)*

Z tabulky 5.6 je zřejmé, že hodnoty odchylek ve všech souřadnicích a prostorové vzdálenosti jsou menší než směrodatné odchyly, tedy:

$$\Delta X_{31.3.2003} < \bar{\sigma}_X \quad \Delta Y_{31.3.2003} < \bar{\sigma}_Y \quad \Delta Z_{31.3.2003} < \bar{\sigma}_Z \quad d_{31.3.2003} < \bar{\sigma}_d$$

Z těchto výsledků lze usoudit, že dané regresní přímky nejlépe popisují stabilitu polohy referenční stanice PLZE v čase.

## 6 Závěr

Hlavním cílem práce bylo určení stability polohy permanentní referenční GPS stanice PLZE v čase. Celkové měření bylo prováděno po dobu jednoho roku. Byly počítány jednotlivé souřadnice X, Y, Z v ETRS-89, odchylky těchto souřadnic od souřadnic z CZEPOS a prostorové vzdálenosti těchto poloh. Dále byly určeny rovnice regresních přímk u grafů souřadnic a výše zmíněných vzdáleností. Z rovnic těchto regresních přímk byly určeny odchylky souřadnic  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta d$  z 31.3.2003 a vypočteny průměrné hodnoty směrodatných odchylek  $\sigma$ . Porovnáním těchto dvou výsledků bylo zjištěno, že vývoj stability referenční stanice PLZE se řídí lineární závislostí popisovanou výše zmíněnými regresními přímkami.

Metodika pro zjišťování stability polohy referenční stanice PLZE v čase použitá v bakalářské práci je aplikovatelná i na ostatní referenční stanice. Hlavním omezením použití metody je geometrické uspořádání sítě. Je nutné, aby stanice, jež má být předmětem výzkumu stability polohy, byla vnitřní stanicí sítě referenčních stanic

Z použitých dat za jeden rok bohužel nelze určit případné změny vývoje polohy stanice ovlivněné klimatickými podmínkami ročních období. K těmto výsledkům by bylo třeba zpracovat data z několika let. Dalším možným zpracováním by byl průzkum vývoje polohy během jednoho dne. V tomto případě by bylo nutné určit souřadnice stanice několikrát během dne v konstantních časových úsecích a použít korekce z bližších referenčních stanic. Opakováním postupu na větším počtu dní by bylo možné zjistit, zda je stabilita polohy ovlivněna i denními klimatickými cykly.

## Použitá literatura

- [1] by/S@T – Družicový referenční systém v reálném čase [online]. [cit. 2007-03-31]  
URL: <http://www.bysat.net/>
- [2] Síť virtuálních referenčních stanic by/S@T otestoval VÚGTK i pro tvorbu bodových polí a pro katastr nemovitostí. reklamní článek společnosti by/S@T Group a.s. z časopisu Zeměměřič 02-11, ID článku: 550, 2002
- [3] Zeměměřický úřad, CZEPOS – Česká permanentní síť pro určování polohy [online]. [cit. 2007-03-24]  
URL: <http://czepos.cuzk.cz/>
- [4] GEONAS – GEodynamic Network of the Academy of Sciences of the CR [online]. [cit. 2007-03-25]  
URL: <http://geonas.irms.cas.cz/>
- [5] VOJTEK, David: Studijní materiály k předmětu GNPS (globální navigační polohové systémy) [online]. [cit. 2007-04-28]  
URL: <http://gis.vsb.cz/vojtek/GNPS/cv01.html>
- [6] GPS web – EGNOS [online]. [cit. 2007-05-10]  
URL: <http://www.gpsweb.ce/ethos.htm>
- [7] GURTNER, Wener – ESTEY Lou: RINEX, The Receiver Independent Exchange Format, Version 3.00. 2007 [online]. [cit. 2007-05-12]  
URL: <http://www.aiub.unibe.ch/download/rinex/rinex300.pdf>
- [8] KESL, Martin: Určení souřadnic pilíře ZČU v S-JTSK – semestrální práce z předmětu Aplikace GIS. 2003. Pozn. technická zpráva a veškeré podklady k této práci jsou uvedeny na přiloženém DVD.
- [9] KOSTELECKÝ, Jakub – ŠIMEK, Jaroslav: Projekt permanentní sítě DGPS. Technická zpráva VÚGTK č. 1051/2003. VÚGTK. Zdičky 2003
- [10] KOSTELECKÝ, Jakub – ŘEZNIČEK, Jan: Česká síť permanentních stanic GPS pro určování polohy – CZEPOS projekt a realizace In: Sborník referátů, Vývoj metod a technologií GPS v geodézii, seminář s mezinárodní účastí. 3. února 2005, VUT v Brně, fakulta stavební, ústav geodézie. Vydal ECON Publishing s.r.o., 2005 p 10-14, ISBN 80-86433-32
- [11] KUGLER, Ondřej – RAUCH Stanislav: Určení souřadnic bodu PBPP protínáním zpět (pilíř na střeše univerzity) – semestrální práce z předmětu Geodézie 2. 2003. Pozn. technická zpráva a veškeré podklady k této práci jsou uvedeny na přiloženém DVD.

- [12] MANTLÍK, František – SCHENK, Vladimír – SCHENKOVÁ Zdeňka – KOTTANUER, Pavel – FUČÍK Zdeněk: Geodynamická síť AV v ČR GEONAS – permanentní observace GPS signálů In: Sborník referátů, Družicové metody v geodézii, seminář s mezinárodní účastí. 2. února 2006, VUT v Brně, fakulta stavební, ústav geodézie. Vydal ECON Publishing s.r.o., 2006 p 99-103, ISBN 80-86433-35-8
- [13] RAPANT, Petr: Družicové polohové systémy [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0124-8.  
URL: [http://gis.vsb.cz/Publikace/Knizni\\_Publikace/DNS\\_GPS/DNS\\_GPS.pdf](http://gis.vsb.cz/Publikace/Knizni_Publikace/DNS_GPS/DNS_GPS.pdf)
- [14] ŘEZNÍČEK, Jan: Česká síť permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS, postup budování a současný stav In: Sborník referátů, Družicové metody v geodézii, seminář s mezinárodní účastí. 2. února 2006, VUT v Brně, fakulta stavební, ústav geodézie. Vydal ECON Publishing s.r.o., 2006 p 5-8, ISBN 80-86433-35-8
- [15] ŘEZNÍČEK, Jan: Současné činnosti zeměměřického úřadu v geodetických základech In: Sborník referátů, Aplikace družicových měření v geodézii, seminář s mezinárodní účastí. 1. února 2007, VUT v Brně, fakulta stavební, ústav geodézie. Vydal ECON Publishing s.r.o., 2007 p 5-8, ISBN 978-80-86433-41-7
- [16] Satellite Navigation - Federal Aviation Administration [online]. [cit. 2007-05-2]  
URL: <http://gps.faa.gov/>
- [17] SEEBER, Günter: Satellite Geodesy. 2nd Edition, Berlin 2003, Walter de Gruyter. ISBN 3-11-017549-5
- [18] SLABÝ, Jaroslav – TEŠNAR, Martin: TopNET: Síť permanentních referenčních stanic GPS GLONASS In: Sborník referátů, Družicové metody v geodézii, seminář s mezinárodní účastí. 2. února 2006, VUT v Brně, fakulta stavební, ústav geodézie. Vydal ECON Publishing s.r.o., 2006 p 28 - 32, ISBN 80-86433-35-8
- [19] TARABA, Pavel: Využití české sítě permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS v geodetické praxi. In: Sborník referátů, Družicové metody v geodézii, seminář s mezinárodní účastí. 2. února 2006, VUT v Brně, fakulta stavební, ústav geodézie. Vydal ECON Publishing s.r.o., 2006 p 9-13, ISBN 80-86433-35-8
- [20] TARABA, Pavel: Jsou permanentní stanice GPS sítě CZEPOS v naší republice jediné?. In: Zeměměřič 2006, č. 10, ID článku: 2287.
- [21] Geodis – TopNET [online]. [cit. 2007-04-25]  
URL: <http://www2.geodis.cz/topnet/Login.aspx>
- [22] TRUTNOVSKÝ, Karel: GLONASS v GIS In: Sborník referátů, Symposium GIS Ostrava 2007, VŠB – TUO, HGF, Institut geoinformatiky. 2007, ISSN 1213-239X, [online]. [cit. 2007-03-10]  
URL: [http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2007/sbornik/Referaty/default.htm](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/default.htm)



- [23] VESOG – Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS [online].  
[cit. 2007-03-20]  
URL: <http://pecny.asu.cas.cz/vesog/>

## Seznam příloh

- Příloha A Žádost o poskytování dat České sítě permanentních stanic GPS pro určování polohy (CZEPOS)
- Příloha B Výňatek z ceníku výkonů a výrobků ZÚ
- Příloha C Použitá data pro výpočet souřadnic referenční stanice PLZE
- Příloha D Tabulka vypočtených souřadnic a odchylek
- Příloha E Geometrie síťového řešení
- Příloha F Výpočetní protokol z programu Pinnacle při výpočtu síťového řešení souřadnic z 22.1.2007.
- Příloha G Přesnost transformace z ETRS-89 do S-JTSK
- Příloha H Protokol z transformace souřadnic síťového řešení z 21.11.2006
- Příloha I Obsah přiloženého DVD

# Přílohy

## Příloha A Žádost o poskytování dat České sítě permanentních stanic GPS pro určování polohy (CZEPOS)

Žádost  
o poskytování dat  
České sítě permanentních stanic GPS pro určování polohy (CZEPOS)

I. Poskytovatel:  
Zeměměřický úřad  
Pod sídlištěm 9  
182 11 Praha 8  
složkou státu

IČ: 60458500  
DIČ: není plátce DPH a je organizační

Zákaznický účet: (doplní poskytovatel)	Číslo jednací: (doplní poskytovatel)
---	---

II. Žadatel:  
Fyzická osoba

Jméno a příjmení : 1)	
Adresa trvalého pobytu: 2) Ulice, č.p./č.o.: 3) Obec (město, městys):	PSČ:
Datum narození: 4)	DIČ: 5)

Právnícká osoba

Název:		
Sídlo: Ulice, č.p./č.o.: 3) (město, městys):	PSČ:	Obec
Organizační složka státu ? 6) ano ne		
IČ:	DIČ:	

Bankovní spojení

Banka:	Pobočka:
Adresa:	
Číslo účtu / kód banky:	

## Další údaje

Číslo žádosti v evidenci žadatele:	Kontaktní osoba:
e-mail:	tel.:
Účel zpracování poskytnutých osobních údajů:	Název země zpracování poskytnutých osobních údajů:
Poznámky:	

### III. Zákaznický účet

Účtovací období: 7)	7) 1 měsíc
Způsob úhrady vyúčtované částky (faktury):	na bankovní účet poskytovatele číslo: 19-2828-071/0710
Kontrola místa připojení – IP adresa: 8)	

### IV. Další ustanovení

#### Podmínky poskytování dat CZEPOS

Poskytování kvalifikovaných služeb může ohrozit mimořádná událost, která nastává v důsledku selhání systému, technického zařízení, a nebo výskytu faktoru, který není pod kontrolou poskytovatele. Jestliže dojde k této mimořádné události, neodpovídá dodavatel za vady poskytovaných výsledků.

Účtování dat se provádí podle aktuálního ceníku Zeměměřického úřadu, kap. Služby a produkty CZEPOS.

Žadatel se zavazuje

nešířit poskytnutá data a neužít je k jinému než právními předpisy dovolenému účelu, uhrazovat vyúčtované částky za poskytnuté údaje na účet poskytovatele u ČNB číslo 19-2828-071/0710 do 20 dnů ode dne vystavení vyúčtování. Pokud se tak nestane, vyúčtuje poskytovatel žadateli za každý den prodlení v platbě úrok z prodlení ve výši 0,1% z dlužné částky,

oznámit poskytovateli jakoukoli změnu údajů uvedených v bodě II. žádosti.

Závazkový vztah založený touto žádostí se řídí obchodním zákoníkem.

Žadatel svým podpisem stvrzuje, že s touto dohodou souhlasí.

Tato žádost je vyhotovena ve dvou výtiscích. Každá ze smluvních stran obdrží po jednom výtisku.

V(e) dne:

V Praze dne:

Za žadatele:

Za poskytovatele:

.....  
(titul, příjmení, jméno funkce)

Ing. Jan Řezníček, Ph.D.  
vedoucí odboru

.....  
(podpis, razítko)

.....  
(podpis, razítko)

- 
- 1) Fyzická osoba podnikající pod obchodním jménem uvede jméno, příjmení a obchodní jméno.
  - 2) Fyzická osoba podnikatel uvede adresu místa podnikání.
  - 3) Jestliže si přejete zasílat korespondenci na jinou adresu než je adresa trvalého pobytu fyzické osoby nebo sídla právnické osoby - uveďte tuto adresu do poznámek například: Veškerou korespondenci zasílat na.. nebo Faktury zasílat na....
  - 4) Fyzická osoba podnikatel uvede identifikační číslo.
  - 5) Bylo-li fyzické osobě podnikateli přiděleno.
  - 6) Nehodící se škrtněte.
  - 7) První účtovací období začíná dnem otevření zákaznického účtu, další vždy dnem posledního vyúčtování. Účtovací období může být prodlouženo až do doby kdy vyúčtovaná částka dosáhne minimálně 500 Kč, nejdéle však do 12 měsíců od posledního vyúčtování.
  - 8) Pokud se kontrola místa připojení nepožaduje, IP adresa se neuvede.

## **Příloha B** Výňatek z ceníku výkonů a výrobků ZÚ

Platnost od 1.1.2007, schválil ředitel úřadu Ing. Jiří Černohorský, ZÚ čj. 40/2007-331

### VÝŇATEK Z ceníku výkonů a výrobků ZÚ

Platnost od 1.1.2007,  
schválil ředitel úřadu Ing. Jiří Černohorský, ZÚ čj. 40/2007-331

Interní kód  
produktu  
Služby a produkty CZEPOS 63900

Služby a produkty umožňují zpřesnění GPS měření na území ČR prostřednictvím korekčních dat z České sítě permanentních stanic GPS pro určování polohy (CZEPOS).

Měrnou jednotkou pro výpočet ceny je časová délka odebraných korekčních dat. Délka se měří na celé vteřiny (v případě služeb) a na celé minuty (v případě produktů). Cena se uvádí jako cena za 1 hodinu odebraných dat, přepočítává se však na skutečnou délku odebraných dat dle počtu výdejních jednotek, tedy na skutečný počet odebraných vteřin.

Služby CZEPOS 63910

Služby zprostředkovávají distribuci korekčních dat v reálném čase (při měření GPS).

DGPS, RTK, RTK – PRS, RTK – FKP\*

Výdejní jednotka : 1 vteřina odebraných dat

1 hodina (tj. 3600 vteřin) odebraných dat 80 Kč

Produkty CZEPOS 63910

Produkty jsou korekční data určená pro postprocessing (zpracování po skončení měření GPS).

Data RINEX\* s intervalem záznamu 1 vteřina až 4 vteřiny

Výdejní jednotka : 1 minuta odebraných dat

1 hodina (tj. 60 minut) odebraných dat 80 Kč

Data RINEX\* s intervalem záznamu 5 vteřin až 9 vteřin

Výdejní jednotka : 1 minuta odebraných dat

1 hodina (tj. 60 minut) odebraných dat 16 Kč

Data RINEX\* s intervalem záznamu 10 vteřin až 19 vteřin

Výdejní jednotka : 1 minuta odebraných dat

1 hodina (tj. 60 minut) odebraných dat 8 Kč

Data RINEX\* s intervalem záznamu 20 vteřin a delším

Výdejní jednotka : 1 minuta odebraných dat

1 hodina (tj. 60 minut) odebraných dat 4 Kč

\*) vysvětlení zkratk a jejich užití – viz <http://czeapos.cuzk.cz>

**Příloha C** Použitá data pro výpočet souřadnic referenční stanice PLZE

<b>Měsíc</b>	<b>Stanice</b>	<b>Datum měření</b>	<b>Čas měření</b>	<b>Formát dat</b>
Červen 2006	PLZE	22.6.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.6.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.6.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.6.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
Červenec 2006	PLZE	22.7.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.7.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.7.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.7.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
Srpen 2006	PLZE	22.8.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.8.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.8.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.8.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
Září 2006	PLZE	26.9.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		27.9.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	26.9.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		27.9.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
Říjen 2006	PLZE	22.10.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.10.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.10.2006	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.10.2006	0:00:00 – 3:59:59	*.rxn, *.rxo
Listopad 2006	PLZE	21.11.2006	23:00:00 – 23:59:59	*.jps
		22.11.2006	0:00:00 – 22:59:59	*.jps
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	21.11.2006	23:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		22.11.2006	0:00:00 – 22:59:00	*.rxn, *.rxo
Prosinec 2006	PLZE	21.12.2006	22:00:00 – 23:59:59	*.rxx, *.rxy
		22.12.2006	0:00:00 – 21:59:00	*.rxx, *.rxy
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	21.12.2006	22:00:00 – 23:59:59	*.rxx, *.rxy
		22.12.2006	0:00:00 – 21:59:00	*.rxx, *.rxy
Leden 2007	PLZE	22.1.2007	4:00:00 – 23:59:59	*.jps
		23.1.2007	0:00:00 – 4:59:59	*.jps
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.1.2007	3:59:59 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.1.2007	0:00:00 – 5:59:59	*.rxn, *.rxo
Únor 2007	PLZE	22.2.2007	4:00:00 – 23:59:59	*.jps
		23.2.2007	0:00:00 – 3:59:59	*.jps
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.2.2007	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.2.2007	0:00:00 – 4:00:00	*.rxn, *.rxo
Březen 2007	PLZE	22.3.2007	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.3.2007	0:00:00 – 4:00:00	*.rxn, *.rxo
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.3.2007	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.3.2007	0:00:00 – 4:00:00	*.rxn, *.rxo
Duben 2007	PLZE	22.4.2007	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.4.2007	0:00:00 – 4:00:00	*.rxn, *.rxo
	CDOM, CKVA, CPRI, CRAK	22.4.2007	4:00:00 – 23:59:59	*.rxn, *.rxo
		23.4.2007	0:00:00 – 4:00:00	*.rxn, *.rxo

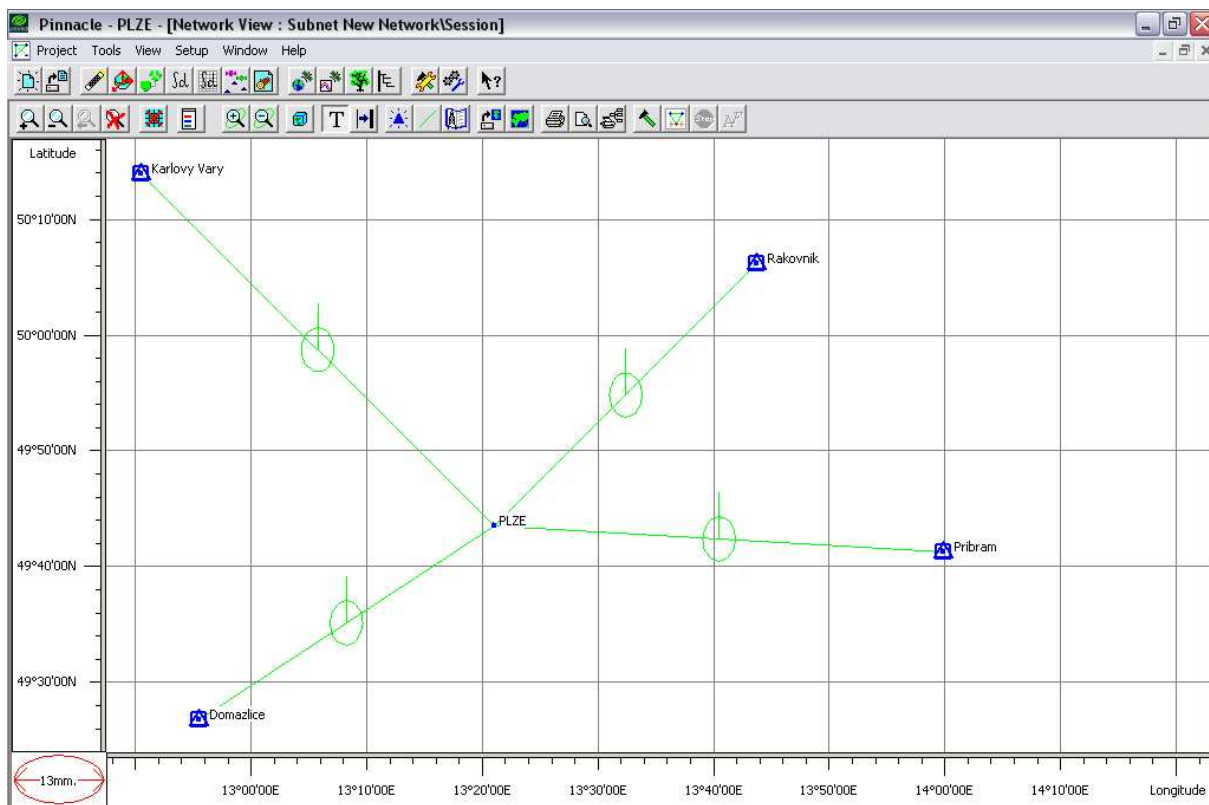
## Příloha D Tabulka vypočtených souřadnic a odchylek

Pozn.: tabulky pro ostatní měření jsou uvedeny na příloženém DVD.

<b>22.5.2006 Souřadnice referenční stanice PLZE</b>				
<b>Daná data</b>				
<b>ETRS-89</b>	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	<b>H (m)</b>	
Souřadnice z CZEPOS	49° 43' 31.20820"	13° 21' 02.45110"	425.926	
	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>	
Souřadnice z CZEPOS	4019841.24244	954005.42691	4843420.86182	
<b>S-JTSK</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>H (m)</b>	
Souřadnice z CZEPOS	1 071 842.978	824 687.508	379.229	
<b>Měřená data</b>				
<b>ETRS-89</b>	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	<b>H (m)</b>	
síťové řešení	49° 43' 31.20803"	13° 21' 02.45151"	425.8713	
vektor (CDOM)	49° 43' 31.20799"	13° 21' 02.45122"	425.8807	
vektor (CKVA)	49° 43' 31.20783"	13° 21' 02.45171"	425.8595	
vektor (CPRI)	49° 43' 31.20820"	13° 21' 02.45148"	425.8560	
vektor (CRAK)	49° 43' 31.20805"	13° 21' 02.45178"	425.8843	
	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>	
síťové řešení	4019841.2101	954005.4277	4843420.8166	
vektor (CDOM)	4019841.2184	954005.4237	4843420.8229	
vektor (CKVA)	4019841.2063	954005.4308	4843420.8037	
vektor (CPRI)	4019841.1967	954005.4237	4843420.8083	
vektor (CRAK)	4019841.2166	954005.4346	4843420.8270	
$\Phi$ z vektorů	4019841.2095	954005.4282	4843420.8155	
<b>S-JTSK</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>H (m)</b>	
síťové řešení	1071842.997	824687.492	379.189	
vektor (CDOM)	1071842.997	824687.498	379.198	
vektor (CKVA)	1071843.004	824687.489	379.177	
vektor (CPRI)	1071842.992	824687.492	379.174	
vektor (CRAK)	1071842.990	824687.486	379.202	
$\Phi$ z vektorů	1071842.9958	824687.4913	379.1878	
<b>Hodnocení měření</b>				
<b>ETRS-89</b>	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$ (m)
síťové řešení - vektor (CDOM)	-0.00830	0.00400	-0.00630	0.011161542
síťové řešení - vektor (CKVA)	0.00382	-0.00310	0.01290	0.013806244
síťové řešení - vektor (CPRI)	0.01340	0.00400	0.00830	0.016261918
síťové řešení - vektor (CRAK)	-0.00650	-0.00690	-0.01040	0.014071958
síťové řešení - $\Phi$ z vektorů	0.000604999	-0.0005	0.001124999	0.001371732
<b>S-JTSK</b>	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta H$ (m)	$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta H^2}$ (m)
síťové řešení - vektor (CDOM)	0.000	-0.006	-0.009	0.010816654
síťové řešení - vektor (CKVA)	-0.007	0.003	0.012	0.014212670
síťové řešení - vektor (CPRI)	0.005	0.000	0.015	0.015811388
síťové řešení - vektor (CRAK)	0.007	0.006	-0.013	0.015937377
síťové řešení - $\Phi$ z vektorů	0.00125	0.00075	0.00125	0.001920286
<b>ETRS-89</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>	$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$ (m)
souř.CZEPOS - síťové řešení	0.03234	-0.00079	0.04522	0.055599894
souř.CZEPOS - $\Phi$ z vektorů	0.03294	-0.00129	0.046345	0.056876147
<b>S-JTSK</b>	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta H$ (m)	$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta H^2}$ (m)
souř.CZEPOS - síťové řešení	-0.019	0.016	0.040	0.047085030
souř.CZEPOS - $\Phi$ z vektorů	-0.01775	0.01675	0.041	0.047928984



## Příloha E Geometrie síťového řešení



SUBNET 'Session' POINTS: ADJUSTED COORDINATES in WGS84( BLH )											
#	Point Name	Coordinates		height(m)	s(N)	Sigmas(mm)		Corr.(%)			
		Latitude	Longitude			s(E)	s(U)	N-E	N-U	E-U	
1	Domazlice	49°26'45.25294"N	12°55'26.77665"E	519.6180	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
2	Karlovy Vary	50°13'57.33507"N	12°50'30.75166"E	446.0800	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
3	PLZE	49°43'31.20803"N	13°21'02.45162"E	425.8704	3.1	2.3	6.8	0	12	-6	
4	Pribram	49°41'16.07255"N	13°59'53.72829"E	583.6600	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
5	Rakovnik	50°06'08.60185"N	13°43'45.25343"E	381.8900	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
SUBNET 'Session' POINTS: ADJUSTED COORDINATES in WGS84(XYZ)											
#	Point Name	Coordinates			s(X)	Sigmas (mm)		Corr.(%)			
		X (m)	Y (m)	Z (m)		s(Y)	s(Z)	X-Y	X-Z	Y-Z	
1	Domazlice	4049956.5259	929357.2535	4823342.0408	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
2	Karlovy Vary	3986037.0486	908669.5358	4879721.6066	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
3	PLZE	4019841.2091	954005.4296	4843420.8159	4.7	2.4	5.8	29	63	24	
4	Pribram	4011991.3718	1000172.2247	4840840.9317	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
5	Rakovnik	3982251.3315	972921.3337	4870394.7871	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
SUBNET 'Session' PROCESSED VECTORS (X-Y-Z)											
#	Stations from - to	Coordinates (m)			Length	s(X)	Sigmas (mm)		Corr.(%)		
		X	Y	Z			s(Y)	s(Z)	X-Y	X-Z	Y-Z
1	Domazlice-PLZE	-30115.3142	24648.1700	20078.7722	43790.6557	17.9	9.2	21.5	25	63	21
2	Karlovy Vary-PLZE	33804.1623	45335.8974	-36300.7973	67199.7981	22.9	12.4	28.9	30	62	25
3	Pribram-PLZE	7849.8249	-46166.7960	2579.8764	46900.4112	18.7	9.8	23.3	30	64	26
4	Rakovnik-PLZE	37589.8886	-18915.8976	-26973.9526	49984.0477	20.0	10.6	24.8	30	63	24
Mean weight matrix's estimations:						19.6	10.3	24.2	29	63	24

SUBNET 'Session' PROCESSED VECTORS (N-E-U)												
#	Stations from - to	Coordinates (m)			Length	s(N)	Sigmas (mm)			Corr.(%)		
		N	E	U			s(E)	s(U)	N-E	N-U	E-U	
1	Domazlice-PLZE	31167.6727	30759.3592	-243.9872	43790.6557	11.8	8.9	25.4	1	10	-9	
2	Karlovy Vary-PLZE	-56299.3954	36688.5667	-374.1889	67199.7981	15.8	11.6	33.6	-1	12	-1	
3	Pribram-PLZE	4376.5644	-46694.5974	-329.8904	46900.4112	12.6	9.2	27.3	1	13	-6	
4	Rakovnik-PLZE	-41872.0344	-27296.7893	-151.8410	49984.0477	13.4	10.0	29.1	0	11	-6	
Mean weight matrix's estimations:				13.2	9.8	28.4	1	11	-6			
SUBNET 'Session' ADJUSTED VECTOR RESIDUALS (X-Y-Z)												
#	Points from - to	Vector status	Residuals(mm)			Normalized Residuals			Redundancy number (0..3)			
			(X)	(Y)	(Z)	(X)	(Y)	(Z)				
1	Domazlice-PLZE		2.5	-6.1	-2.9	0.14	-0.66	-0.13	0.00			
2	Karlovy Vary-PLZE		1.7	3.5	-6.6	0.08	0.28	-0.23	0.00			
3	Pribram-PLZE		-12.5	-1.0	-7.8	-0.67	-0.10	-0.34	0.00			
4	Rakovnik-PLZE		10.9	6.4	18.6	0.55	0.61	0.75	0.00			
R.M.S.			8.4	4.8	10.7	0.44	0.47	0.43	( 0.00)			
SUBNET 'Session' ADJUSTED GPS-VECTOR RESIDUALS (N-E-U)												
#	Points from - to	Vector status	tResiduals (mm)			tNormalized Residuals			Redundancy number (0...3)			
			(North)	(East)	(Up)	(North)	(East)	(Up)				
1	Domazlice-PLZE		-2.7	-6.5	-1.5	-0.23	-0.73	-0.06	0.00			
2	Karlovy Vary-PLZE		-6.1	3.0	-3.5	-0.39	0.26	-0.10	0.00			
3	Pribram-PLZE		4.3	2.1	-13.9	0.34	0.22	-0.51	0.00			
4	Rakovnik-PLZE		2.6	3.7	22.0	0.19	0.37	0.76	0.00			

## Příloha G Přesnost transformace z ETRS-89 do S-JTSK

data z 21.11.2006					
ETRS-89	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$ (m)	
síťové řešení - vektor (CDOM)	-0.00550	0.00570	-0.00080	0.007961156	
síťové řešení - vektor (CKVA)	-0.00510	-0.00440	0.00160	0.006923150	
síťové řešení - vektor (CPRI)	0.02000	0.00400	0.01790	0.027136876	
síťové řešení - vektor (CRAK)	-0.01310	-0.00770	-0.02170	0.026491319	
síťové řešení - $\Phi$ z vektorů	-0.00092	-0.00060	-0.00075	0.001333463	
S-JTSK	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta H$ (m)	$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta H^2}$ (m)	
síťové řešení - vektor (CDOM)	-0.001	-0.007	-0.003	0.007681146	
síťové řešení - vektor (CKVA)	-0.005	0.003	-0.003	0.006557439	
síťové řešení - vektor (CPRI)	0.004	0.002	0.027	0.027367864	
síťové řešení - vektor (CRAK)	0.003	0.005	-0.026	0.026645825	
síťové řešení - $\Phi$ z vektorů	0.00025	0.00075	-0.00125	0.001479020	
přesnost transformace	ETRS-89 - S-JTSK				
d (síťové řešení, vektor CDOM)	0.000280010				
d (síťové řešení, vektor CKVA)	0.000365711				
d (síťové řešení, vektor CPRI)	-0.000230989				
d (síťové řešení, vektor CRAK)	-0.000154506				
d (síťové řešení, $\Phi$ z vektorů)	-0.000145557				

## Příloha H Protokol z transformace souřadnic síťového řešení z 21.11.2006

Datum výpočtu: 1.5.2007 13:28:29

Protokol o provedené transformaci souřadnic z WGS84 do S-JTSK

Použitý soubor GPS měření: C:\Documents and Settings\Uživatel\Plocha\BP\transformace\transformace\22\_11\_2006\sitove\_reseni\report.rep

Transformační vztah je určen vyrovnáním na identické body.

Použitý soubor identických bodů: C:\Documents and Settings\Uživatel\Plocha\BP\transformace\transformace\22\_11\_2006\sitove\_reseni\identicke\_body.dat

Geoid=Ano

Jung=Ano

2D+1D=Ne

Údaje o vyrovnání:

Použitý model: Prostorová podobnostní transformace  
Míra ztotožnění: 0.0151 [m] ... údaj odpovídá odhadu std. odchylky  
Počet nadbytečných měření: 2

Parametry prostorové transformace:

Redukce ve výchozí soustavě: 4016220.5115 956212.0092 4845870.8351

Redukce v cílové soustavě: 4015593.9869 956131.1721 4845363.5372

Transformační posuny: -0.0020 0.0127 -0.0011

Prvky matice rotací:

1. řádek (pro X): 0.99998685 0.00001604 0.00002078

2. řádek (pro Y):           -0.00001605  0.99998685  0.00003711  
 3. řádek (pro Z):           -0.00002077  -0.00003711  0.99998685  
 Měřítkový koeficient:       0.99998685  
 Prvky rotace [radian]:       0.00001605  0.00002078  0.00003711

Identické body

-----

Bod:                        P035  
 WGS (X, Y, Z):            4016220.5115  956212.0092  4845870.8351  
 Odchyly WGS-Bessel(X,Y,Z):   0.0000  -0.0020  0.0127  
 Fi,Lambda,H:            49.453685110  13.233148670  349.0300  
 JTSK (Y, X, Z):           821154.5700  1068453.6700  302.3800  
 Odchyly Jung (Y, X, Z):       0.0125  -0.0034  0.0001

Bod:                        P016  
 WGS (X, Y, Z):            4021076.9473  953754.3105  4842374.1440  
 Odchyly WGS-Bessel(X,Y,Z):   -0.0011  -0.0068  -0.0032  
 Fi,Lambda,H:            49.424105010  13.203601480  367.2900  
 JTSK (Y, X, Z):           825444.2600  1073295.1800  320.5900  
 Odchyly Jung (Y, X, Z):       -0.0001  0.0098  -0.0001

Bod:                        P028  
 WGS (X, Y, Z):            4016935.3275  951751.2194  4846221.1060  
 Odchyly WGS-Bessel(X,Y,Z):   0.0063  0.0087  -0.0095  
 Fi,Lambda,H:            49.455245920  13.194638960  399.8000  
 JTSK (Y, X, Z):           825535.5000  1067299.6500  353.2100  
 Odchyly Jung (Y, X, Z):       -0.0124  -0.0064  -0.0001

Transformované body

-----

Cislo bodu	Fi/Y/DY	Lambda/X/DX	H/Z/DZ	Geoid
PLZE	49.433120802	13.210245162	425.872	
	824687.490	1071842.998	379.189	
	-0.000	0.007	-0.000	45.384
P028	49.455245920	13.194638960	399.800	
	825535.500	1067299.650	353.210	
	-0.012	-0.006	-0.000	45.287
P016	49.424105010	13.203601480	367.290	
	825444.260	1073295.180	320.590	
	-0.000	0.010	-0.000	45.430
P035	49.453685110	13.233148670	349.030	
	821154.570	1068453.670	302.380	
	0.012	-0.003	0.000	45.261

## **Příloha I** Obsah přiloženého DVD

BP\_Zjistovani\_stability\_polohy\_referencni\_GPS\_stanice\_PLZE\_v\_case.pdf  
Kompletní text bakalářské práce.

data obsahuje podadresáře:

data_21_11_2006	data_22_5_2006
data_21_12_2006	data_22_6_2006
data_22_1_2007	data_22_7_2006
data_22_2_2007	data_22_8_2006
data_22_3_2007	data_22_10_2006
data_22_4_2007	data_26_9_2006

Podadresáře obsahují data, která byla zpracována při určování stability polohy referenční stanice PLZE.

obrazky Zde jsou uloženy všechny obrázky uvedené v bakalářské práci

Pinnacle\_reports obsahuje podadresáře:

21_11_2006	22_5_2006
21_12_2006	22_6_2006
22_1_2007	22_7_2006
22_2_2007	22_8_2006
22_3_2007	22_10_2006
22_4_2007	26_9_2006

V podadresářích jsou protokoly o výpočtech souřadnic stanice PLZE statickou metodou z programu Pinnacle.

tabulky Obsahuje tabulky a grafy vypočtených hodnot.

transformace obsahuje podadresáře:

21_11_2006	22_5_2006
21_12_2006	22_6_2006
22_1_2007	22_7_2006
22_2_2007	22_8_2006
22_3_2007	22_10_2006
22_4_2007	26_9_2006

Zde jsou uloženy protokoly o transformacích z S-JTSK do ETRS-89, souřadnice identických bodů, použité výpočetní protokoly z programu Pinnacle a seznamy transformovaných souřadnic.