

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Ověření možnosti získání dvou nezávislých určení polohy
z jednoho měření GNSS aparaturou**

Zadání práce

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a všechny použité literární prameny jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Plzni dne 4. června 2012

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Karlu Jedličkovi, Ph.D. za odborné vedení po celou dobu řešení a zpracování bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Jaroslavu Slabému ze společnosti GEODIS za konzultace ke zpracovatelskému software Pinnacle a Topcon Tools a za poskytnutí novější verze Topcon Tools.

Abstrakt

Cílem práce je ověřit metodu, pomocí které lze z jednoho GNSS měření získat dva nezávislé výsledky. V teoretické části jsou popsány globální navigační družicové systémy, GNSS metody používané v geodézii a faktory, které ovlivňují GNSS měření. Praktická část popisuje metodu, která je založena na odděleném zpracování GPS a GLONASS satelitů. Z výsledků plyne použitelnost této metody.

Klíčová slova

GNSS, GPS, GLONASS, oddělené zpracování, Topcon Tools, Pinnacle

Abstract

The aim of the thesis is to verify the method of getting two independent results in one GNSS measurement. The theoretic part of the work discusses the global navigation satellite systems, GNSS methods used in geodetics and influencing factors of GNSS measurement. Practical part discusses the method, which is based on separate processing of GPS and GLONASS satellites. The result proves the method to be applicable.

Keywords

GNSS, GPS, GLONASS, separate processing, Topcon Tools, Pinnacle

Obsah

1	Úvod	7
2	Družicové navigační systémy	8
2.1	NAVSTAR GPS	9
2.2	GLONASS	9
2.3	Galileo	10
2.4	Compass.....	12
3	Metody GNSS v geodézii.....	14
4	Faktory ovlivňující GNSS měření.....	17
5	Realizace měřické kampaně	19
5.1	Metodika	22
5.2	Pořízení dat – statické měření aparaturou GNSS	22
5.3	Analýza dat	24
5.4	Výpočet polohy.....	27
5.5	Převod do S-JTSK	28
5.6	Vyhodnocení výsledků	30
5.7	Potenciální problematické faktory, kritické z pohledu získávání dvou nezávislých určení polohy z jednoho měření GNSS aparaturou	34
6	Závěr	37
	Literatura	39
	Přílohy	43

1 Úvod

Zpočátku používal člověk k určení polohy a orientaci na Zemi především svoji znalost topografie okolí, Slunce, hvězd a Měsíce. Později využíval i uměle vybudovaných orientačních bodů jako např. majáků a kostelů.

S nástupem radiových vysílačů se začaly budovat systémy založené na vysílání a příjmu radiových signálů. Zprvu byly vysílače radiových navigačních systémů rozmisťovány na zemském povrchu. Později, s nástupem raketové techniky, se začaly přesunovat do vesmíru. O možnosti využít družice pro vybudování navigačního systému se začalo uvažovat již koncem 50. let, ihned po vypuštění první umělé družice Sputnik 1 do vesmíru. [1]

Dnes se aplikace využívající GNSS¹ technologie uplatňují nejen v silniční, železniční, letecké a námořní dopravě, ale i v dalších oblastech jako je telekomunikace, geodézie, zemědělství, vyhledávání ložisek nerostných surovin a jejich těžba, ekologické pozorování Země, předvídaní přírodních katastrof a s ním spojená civilní bezpečnost. [2]

Největší výhodou globálních navigačních systémů je jejich použití pro určení polohy přijímače za jakéhokoliv počasí, kdekoliv a kdykoliv na zemském povrchu a ve vzduchu. Jedinou omezující podmínkou je přímá viditelnost na oblohu.

¹ GNSS – Global Navigation Satellite System.

2 Družicové navigační systémy

Každý GNSS systém [3] se skládá z kosmického, řídicího a uživatelského segmentu. Kosmický segment tvoří družice, které obíhají Zemi. Družice jsou na oběžných drahách rozmístěny tak, aby byl vidět vždy dostatek družic potřebný k určení trojrozměrné polohy přijímače, tedy minimálně 4.

Řídicí segment se skládá z řady pozemních stanic. Monitorovací stanice řídicího segmentu monitorují družice a tyto získaná data z družic se v hlavním středisku zpracovávají. Řídicí segment se stará o synchronizaci atomových hodin na družicích s časem systémovým a o správnost letu družic. V případě vychýlení družice z její dráhy ji vrací zpět. Také vysílá družicím parametry přesné dráhy dané družice a přibližné parametry drah ostatních družic, které se dostanou k uživateli pomocí navigační zprávy.

Uživatelský segment obsahuje všechny přístroje, které umí přijímat a zpracovávat GNSS signály. Přijímače [1] lze rozdělit podle počtu přijímaných a zpracovávaných signálů. Existují jednocanálové a vícekanálové přijímače. Jednocanálové přijímače zachycují a zpracovávají signály z družic postupně. Po zpracování jednoho signálu, zachytí přijímač signál z jiné družice, který začne zpracovávat. Vícekanálové přijímače dokáží přijímat a zpracovávat více signálů najednou. S vícekanálovým přijímačem je menší pravděpodobnost ztráty signálu při pohybu přijímače v členitém území nebo za velké rychlosti. Další rozdělení přijímačů může být podle způsobu měření. Rozlišujeme měření kódové a fázové. Kódové měření se využívá hlavně v navigaci nebo v mapování ve středních měřítkách, kde není tak vysoký požadavek na přesnost. Pseudovzdálenosti, vzdálenosti přijímače a družic, se určí na základě času, který signál urazí z družice k přijímači. Pseudovzdálenosti u fázového měření se určí z násobku vlnové délky nosné vlny. Po zjištění celočíselného počtu vln je následně zjišťován jen fázový posun. Pomocí fázového měření lze dosáhnout větší přesnosti než u měření kódového. Proto je fázové měření také využíváno v geodézii, kde je kladen požadavek vysoké přesnosti.

V dnešní době existují dva plně funkční globální navigační systémy: americký NAVSTAR GPS a ruský GLONASS. Globálními navigačními systémy ve fázi vývoje jsou evropský Galileo a čínský Compass.

Následující podkapitoly se zabývají popisem těchto globálních navigačních systémů. Pro popis systémů byla použita literatura [2, 4, 5] a literatura, která je uvedena u jednotlivých podkapitol.

2.1 NAVSTAR GPS

Kromě výše uvedených zdrojů bylo pro popis systému NAVSTAR GPS čerpáno také z [6].

Jeho předchůdcem byl TRANSIT, družicový navigační systém námořnictva USA, který byl v provozu od roku 1964.

Od roku 1973 byl vyvíjen nový systém NAVSTAR GPS. NAVSTAR GPS neboli NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System byl vyvinut a je provozován Ministerstvem obrany Spojených států amerických. Často je tento systém označován jen jako GPS. I když byl tento systém vyvíjen primárně jako vojenský, má dnes rozsáhlé civilní využití.

V roce 1978 byly vypuštěny první družice nového systému. Plně funkční se stal NAVSTAR GPS v roce 1994, kdy kosmický segment tvořil kompletních 24 družic. 24 družic (z toho 3 záložní) bylo rovnoměrně rozmístěno na šesti oběžných drahách ve výšce 20200 km. Sklon drah vůči rovníku byl zvolen 55° . Toto uspořádání garantuje viditelnost družic z kteréhokoliv místa na Zemi. V zenitu [1] se ale družice NAVSTAR GPS vyskytují jen v pásu mezi 60 stupni jižní a severní šířky. Za těmito hranicemi směrem k pólům jsou družice GPS stále viditelné, ale jejich geometrické rozložení se zhoršuje. Tím se zhoršuje přesnost v určení polohy.

Nejprve byla do signálu vnášena úmyslná chyba, tzv. selektivní dostupnost. Kvůli této chybě nemohli neoprávnění uživatelé, tedy civilní sektor, určovat svoji polohu s větší přesností než 100 metrů. To se změnilo na začátku května 2000, kdy americký prezident Bill Clinton nařídil vypnout selektivní dostupnost, která tolik zhoršovala přesnost. Tím se přesnost pro civilní sektor zlepšila až desetinásobně. [7]

Spojené státy americké mají prakticky se všemi velmocemi, které vyvíjejí svůj vlastní globální nebo regionální družicový navigační systém podepsanou dohodu o interoperabilitě. S Čínou dohoda ještě podepsaná není, ale probíhá už jednání.

V současné době obíhá Zemi 31 operačních družic NAVSTAR GPS.

2.2 GLONASS

Vývoj družicového navigačního systému GLONASS nebo-li GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema začal v tehdejším Sovětském svazu v roce 1976. První satelity byly dopraveny na oběžnou dráhu již 12. října 1982. Původně se počítalo

se spuštěním systému s celosvětovým pokrytím v roce 1991, ale provoz tohoto systému byl zahájen až o 4 roky později, v roce 1995. Systém GLONASS byl vyvinut pro potřeby sovětské armády a dnes je provozován ruskou vládou skrze Úřad ruských vojenských vesmírných sil.

Kvůli špatné ekonomické situaci klesl počet provozních satelitů v roce 2002 až na pouhých 8, tedy samotný GLONASS se stal jako globální navigační systém nepoužitelný. Ale už v roce 2001 schválila ruská vláda program “*Globální navigační systém*”, podle kterého měl do roku 2011 kosmický segment obsahovat 24 družic. Tento plán byl splněn a od konce roku 2011 kosmický segment tvoří 24 družic. K dnešnímu dni (25. 4. 2012) je ve vesmíru 31 satelitů GLONASS, z toho 24 je v plném operačním provozu, 4 satelity jsou rezervní, 2 jsou v údržbě a 1 satelit je ve fázi letových zkoušek [8].

Družice jsou umístěny na třech oběžných drahách ve výšce 19 100 km. Oběžné dráhy mají sklon k rovníku $64,8^\circ$. Každá družice oběhne Zemi za 11 h 15 min. Charakteristickým znakem GLONASS konstelace je její identické opakované rozmístění družic kolem Země každý osmý den. Tímto se GLONASS liší od systému NAVSTAR GPS, kde dochází k identickému opakování po jednom dni.

Od roku 2005 spolupracuje Rusko s indickou vládou. Indie se podílí na vývoji satelitů a taktéž bylo několik satelitů vypuštěno právě z indických odpalovacích ramp.

2.3 Galileo

Kromě výše uvedených zdrojů bylo pro popis systému Galileo využito literatury [9, 10].

Evropa si v dnešní době buduje svůj vlastní globální navigační družicový systém Galileo, který na rozdíl od amerického a ruského nebude vojenského, ale civilního charakteru. Myšlenka o vybudování vlastního navigačního systému vznikla už v devadesátých letech minulého století. Galileo je projekt Evropské unie a Evropské kosmické agentury (ESA). Projekt je financován Evropskou unií a spravován Evropskou komisí.

Hlavním úkolem systému Galileo je odstranit závislost Evropy na ostatních družicových navigačních systémech. Dnes jsou zatím evropští uživatelé zcela závislí na těchto systémech, které jsou především vojenského charakteru. Do května roku 2000 Spojené státy americké omezovaly přesnost civilního sektoru selektivní dostupností, kterou

v případě ohrožení národní bezpečnosti mohou opět aktivovat. Znovuzavedení selektivní dostupnosti by mělo velký dopad na civilní uživatele a na všechny odvětví, kde se využívá globálních navigačních systémů.

První dvě družice systému Galileo byly vypuštěny na oběžnou dráhu 21. října 2011. V létě 2012 by měly být vypuštěny další 2 družice. Do roku 2014 by mělo Zemi obíhat 18 družic Galileo a systém Galileo by měl být uveden do provozu. Do roku 2020 by měl být kosmický segment systému Galileo doplněn o dalších 12 družic. Plný počet družic tak bude 30, z toho 27 funkčních a 3 záložní. Družice systému Galileo budou rovnoměrně rozmístěny na 3 oběžných drahách ve výšce 23 616 km. Družice budou mít vzhledem k rovníku sklon 56°. Větším sklonem satelitů se dosáhne lepšího pokrytí ve vysokých zeměpisných šířkách, tedy v severských státech Evropy.

Systém by měl po dokončení poskytovat celkem 5 služeb [2]:

- **Základní služba (Open Service - OS)** – bude poskytována všem uživatelům zadarmo.
- **Služba "kritická" z hlediska bezpečnosti (Safety of Life service - SoL)** – je služba zlepšující základní službu tím, že během několika sekund varuje uživatele v případě poruchy systému. Tato služba bude využívána především pro bezpečnostně-kritické aplikace, které vyžadují garanci stále dobrého signálu, např. při řízení letového provozu, u automatických systémů přistávání letadel apod.
- **Komerční služba (Commercial Service - CS)** – využívá další dva signály, které jsou chráněny komerčním kódováním. Díky této službě budou mít uživatelé zaručenou velmi vysokou přesnost v určení polohy.
- **Veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service - PRS)** – služba obsahující dva šifrované signály určené pro státem vybrané uživatele, především pro bezpečnostní složky státu.
- **Vyhledávací a záchranná služba (Search And Rescue service - SAR)** - služba nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS/SARSAT s možností oboustranné komunikace. Družice systému Galileo budou vybaveny zařízením, které bude přesměrovávat tísňový signál od uživatele do záchranného koordinačního centra. Tato služba bude unikátní pro systém Galileo. NAVSTAR GPS ani GLONASS takovou službu neposkytují.

Galileo bude interoperabilní jak s NAVSTAR GPS, tak i s GLONASS.

2.4 Compass

K popisu systému Compass bylo kromě výše uvedené literatury čerpáno ze zdroje [11].

Čínská lidová republika zprvu vyvíjela jen regionální družicový navigační systém s názvem Beidou. Čína začala snižovat svoji závislost na ostatních navigačních systémech již v roce 2000, kdy poslala na oběžnou dráhu první dvojici geostacionárních družic.

Od roku 2003 spolupracuje Čína s Evropskou unií na globálním družicovém navigačním systému Galileo. Na tento projekt přislíbila Čína příspěvek 200 miliónů eur. Přesto se Čínská lidová republika rozhodla na konci roku 2006 vybudovat svůj vlastní globální navigační systém. Z dostupných zdrojů není jasné, zda Čína i po rozhodnutí o vybudování vlastního GNSS systému opravdu přislíbených 200 miliónů eur na projekt Galileo dala. Projekt Compass spadá pod vedení Ministerstva obrany Čínské lidové republiky.

Na rozdíl od ostatních globálních navigačních systémů bude obsahovat kosmický segment Compass i 5 geostacionárních družic. Geostacionární družice jsou umístěny ve výšce přibližně 35 200 km. Doba oběhu družice po její dráze je stejná jako doba otočení Země. Z pohledu pozorovatele na Zemi se tedy zdá, že je družice nehybná. Geostacionární družice pokrývají svými signály jen tu oblast, nad kterou jsou umístěny.

Na konci roku 2011 byl spuštěn zkušební provoz čínského systému s 10 družicemi, zatím jen s omezením na Čínu a přilehlé oblasti. Čína nerozmisťuje družice kolem Země rovnoměrně, ale přednostně zaplňuje orbity tak, aby signály z družic pokrývaly hlavně oblast Číny. Tedy i když je nad Čínou dostatek satelitů pro určení polohy, na druhé straně Světa nemusí být dostupný ani jeden satelit tohoto systému.

Dosahovaná přesnost omezeného provozu je 25 metrů. Po Spojených státech amerických a Rusku se stala Čína třetí zemí, která má svůj vlastní funkční navigační systém. Oficiální provoz by měl být spuštěn letos (v roce 2012). Zatím poslední satelit, celkově jedenáctý, byl vypuštěn na oběžnou dráhu 24. února 2012 v 16:12 UTC. Během letošního roku by mělo být na oběžné dráhy umístěno dalších 5 družic. Tím se pokryje větší oblast a přesnost v určení polohy by se měla zlepšit na 10 metrů. Do roku 2020 by kosmický segment systému Compass měl být kompletní, měl by obsahovat 35 družic (z toho 5 geostacionárních), které pokryjí celý svět.

System Compass bude nabízet 2 základní typy služeb:

- Veřejné služby s přesností 10 m.
- Omezené služby pro vojenské účely.

Čína má zájem na spolupráci s ostatními zeměmi, které vyvíjejí družicové navigační systémy, aby čínský Compass lépe sloužil uživatelům po celém světě [11].

3 Metody GNSS v geodézii

V geodézii je kladen požadavek vysoké přesnosti. Používá se relativní způsob určování polohy a nejčastěji fázové měření. K relativnímu způsobu určení polohy je zapotřebí dvou přijímačů, přičemž referenční přijímač je často nahrazován permanentní stanicí. K určení trojrozměrné polohy musí být během observace na obou stanoviskách přijímačů dostupné alespoň čtyři stejné družice. Podle účelu a požadované přesnosti lze použít pro geodetická měření následující metody [13]:

- **Statická metoda** – je metoda časově nejnáročnější, ale s nejpřesnějšími výsledky. Při této metodě měří alespoň dva přijímače současně po dobu několika hodin. Doba měření závisí na požadované přesnosti výsledku. Lze dosáhnout přesnosti až v řádech milimetrů. Používá se pro práce s vysokým požadavkem na přesnost, např. pro budování polohových základů, při sledování deformací nebo v geodynamických sítích.
- **Rychlá statická metoda** - je ekonomičtější variantou metody statické. Statická i rychlá statická metoda patří do tzv. postprocesních metod, kdy přesnou polohu bodů získáme až následným zpracováním v kanceláři. Doba observace na bodech je zkrácena na 10 – 30 minut. Záleží hlavně na vzdálenosti přijímačů (délce základny). Doba měření je dána minimální dobou nutnou k vyřešení ambiguit². Metoda se používá při budování bodů podrobného polohového bodového pole a zhušťovacích bodů.
- **Metoda stop and go** - je kombinací statické a kinematické metody. Na prvním bodě probíhá měření rychlou statickou metodou, aby došlo k vyřešení ambiguit. Na zbývajících bodech je měření zkráceno jen na několik sekund, přičemž přijímač nepřestává měřit ani při přesunu mezi jednotlivými body. Po celou dobu nesmí dojít ke ztrátě signálu. V případě ztráty signálu musíme opět čekat na jednom místě na vyřešení ambiguit. Po celou dobu měření je druhý přijímač nehybný. Metoda stop and go je vhodná k zaměřování podrobných bodů v terénu s dobrým výhledem na oblohu.

² Ambiguita je celočíselná část počtu period nosné vlny, odpovídající zdánlivé vzdálenosti mezi družicí GNSS a přijímačem [14].

- **Kinematická metoda** - tato metoda se dále dělí na kinematickou metodu s inicializací a bez inicializace. Kinematická metoda s inicializací je podobná metodě stop and go. Počáteční inicializace (vyřešení ambiguit) proběhne na jednom místě v řádově desítkách minut. Poté se jeden z přijímačů dává do pohybu. Měření se uskutečňuje po krátkém časovém intervalu, tj. poloha přijímače se odečítá např. každou sekundu. Opět po celou dobu nesmí pohybující se přijímač ztratit během měření signál. Jinak je nutno opakovat inicializaci. Kinematická metoda bez inicializace spočívá v tom, že i po ztrátě signálu není potřeba provádět inicializaci a ambiguitu je možno určit na základě kódového měření i za pohybu přijímače. Kinematická metoda patří do skupiny postprocesních metod (metod s následným zpracováním). Stejně jako metoda stop and go se používá pro podrobné měření.

- **RTK (Real Time Kinematic)** – je [15] kinematická metoda v reálném čase. Korekce do výpočtu polohy jsou zaváděny v reálném čase, tedy polohu bodů získáme hned v terénu. Metoda RTK je v současnosti nejrozšířenější metodu využívají družicové navigační systémy pro podrobné měření [3]. Určení přesných souřadnic v terénu nám dává možnost použít tuto metodu k vytyčovací práci.

- **Diferenciální metoda (DGPS)** – je metoda, která se používá pro práce s menším požadavkem na přesnost. Metoda nevyužívá nikoliv fázového, ale pouze kódového měření. Jeden přijímač je umístěn na bodě o známých souřadnicích. Díky tomu lze určit chyby pseudovzdáleností a s přibližně stejnou chybou se měří i poloha druhého přijímače v okolí prvního vysílače. Pokud je tato chyba (diferenciální korekce) poslána v reálném čase druhému přijímači, můžeme opět určit přesné souřadnice hned v terénu. DGPS [15] se využívá pro navigaci a sledování dopravních prostředků, v zemědělství, pro geografické informační systémy (GIS) nebo pro mapování ve středních měřítkách.

Korekce v reálném čase poskytují permanentní stanice. Korekce mohou být přenášeny pomocí rádia nebo datových služeb operátorů. Na území České republiky se nacházejí celkem 3 celoplošné GNSS sítě permanentních stanic: CZEPOS, TopNET a Trimble VRS Now Czech.

Sít' CZEPOS [16] spravuje a provozuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky. CZEPOS obsahuje 27 stanic na území České republiky a 27 příhraničních stanic státních sítí GNSS sousedních států. Permanentní stanice na našem území jsou rovnoměrně rozmístěných ve vzdálenostech přibližně 60 km.

TopNET [17] je síť permanentních GNSS stanic, provozovaná firmou Geodis Brno, spol. s.r.o. V současnosti je v síti zapojeno 32 GNSS stanic. Průměrná vzdálenost stanic je 55 km.

Sít' Trimble VRS Now Czech [18] firmy Trimble obsahuje 24 referenčních stanic poskytující korekce. Do sítě je zapojeno i 8 stanic z Trimble VRS Now Deutschland, aby byla kvalitně pokryta západní část České republiky.

4 Faktory ovlivňující GNSS měření

Existuje řada faktorů, které ovlivňují GNSS měření a mají vliv na výslednou přesnost určení polohy. Mezi základní faktory GNSS měření podle [15] patří:

- **Přesnost hodin družice.** Každá družice je vybavena velmi přesnými atomovými hodinami. Přesto se tyto hodiny časem zpomalují. Družicové hodiny jsou monitorovány pozemními stanicemi a jejich čas je porovnáván s hlavním řídicím hodinovým systémem. Korekce družicových hodin jsou vysílány k uživateli v navigační zprávě.
- **Přesnost hodin přijímače.** Atomové hodiny jsou velice drahé a těžké, proto není možné jimi vybavovat přijímače. Přesnost hodin přijímače je o několik řádů horší než přesnost hodin na družici. S chybou hodin přijímače se počítá jako s další neznámou. Tedy u výpočtu prostorové polohy máme čtyři neznámé – X, Y, Z, T. Z toho důvodu potřebujeme při měření přijímat signály minimálně ze 4 družic.
- **Stav družic.** Navigační zpráva obsahuje informaci o stavu družice. Družice je označena jako zdravá nebo nezdravá. V případě nesprávné funkčnosti družice nebo při její vychýlení z dráhy je označena jako nezdravá. [3]
- **Geometrické rozložení družic.** K vyjádření geometrického rozložení družic slouží tzv. DOP parametr (Dilution of Precision). Je to [14] bezrozměrný parametr udávající vliv geometrie prostorového uspořádání družic a přijímače v konkrétní epoše na přesnost určení polohy. DOP parametr se dále dělí na parametr horizontální přesnosti (HDOP), parametr vertikální přesnosti (VDOP), parametr přesnosti času (TDOP), parametr geometrické přesnosti (GDOP) a parametr přesnosti prostorové polohy (PDOP). Nejčastěji se používá parametr GDOP nebo PDOP. Pokud chceme získat přesné výsledky, neměl by parametr PDOP překročit hodnotu 7 [1].
- **Vícecestné šíření (multipath).** Multipath je mnohonásobný odraz GNSS signálu např. od budov nebo vodní plochy. Lze ho redukovat použitím speciálních polarizovaných antén, jelikož přímočarý signál je pravotočivě polarizovaný a odražený signál je polarizován levotočivě.
- **Útlum signálu.** Signál vysílaný družicemi je velmi slabý. Pokud je signál výrazně utlumen, může mít přijímač problém s jeho rozpoznáním. Signál může utlumit překážka jako např. koruny stromů.

- **Dráha družice.** Dráhy družic jsou monitorovány několika stanicemi na zemském povrchu. Přesné předpovědi drah jsou posílány družici a každých pár hodin aktualizovány. Každá družice vysílá přesnou předpověď o své dráze a přibližné předpovědi o drahách ostatních družic uživateli v navigační zprávě.
- **Ionosféra a troposféra.** Při průchodu atmosférou je signál nejvíce ovlivněn ionosférou a troposférou. Ionosféra se rozpíná přibližně mezi 50 – 1000 km od zemského povrchu [3]. Pohybují se v ní volné elektrony a právě velké množství elektronů způsobuje refrakci. Hustota elektronů [19] je závislá na sluneční aktivitě. V noci je vliv ionosféry velmi malý. Ionosférická refrakce má odlišný vliv na kódové a fázové měření. Je závislá na frekvenci procházejících vln. Odstraní se [3] měřením na dvou frekvencích, zaváděním ionosférických korekcí z navigační zprávy nebo zaváděním modelů ionosféry. Troposféra je nejnižší a nejhustší vrstvou atmosféry. Troposféra sahá do výšky cca 10-18 km od povrchu Země. Dochází v ní k tzv. troposférické refrakci. Na rozdíl od ionosférické refrakce není závislá na frekvenci nosné vlny, neboli působí stejně na všechny nosné vlny GNSS signálů. Hustotu troposféry ovlivňují meteorologické vlivy jako např. teplota, tlak a vlhkost. Vliv se dá redukovat použitím modelu troposféry. Signál [19] z družice nízko nad obzorem je ovlivněn více než signál z družice v zenitu, jelikož průchod takového signálu atmosférou trvá déle. Je tedy zatížen větším množstvím chyb. Obecně se doporučuje vyřadit z měření družice, které jsou v menší výšce než 15° nad obzorem.

5 Realizace měřické kampaně

Cílem práce je ověření hypotézy, zda z měření v jediném časovém intervalu aparaturou GNSS lze získat dvě nezávislé určení polohy s využitím jedné referenční stanice.

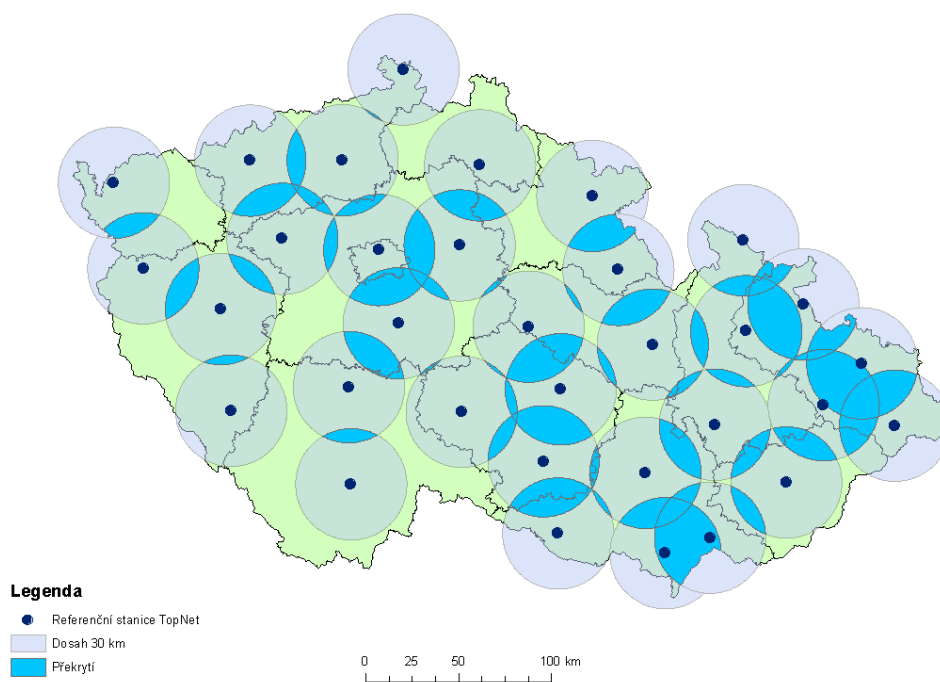
Podle ustanovení v odstavci 9 přílohy novelizované vyhlášky 31/1995 Sb. musí být poloha bodu určena ze dvou nezávislých výsledků měření pomocí technologie GNSS nebo jednoho výsledku měření technologií GNSS a jednoho výsledku měření klasickou metodou, přičemž souřadnice bodu musí vyhovovat charakteristikám přesnosti stanovenými touto vyhláškou pro trigonometrické a zhušťovací body a katastrální vyhláškou [20] pro body podrobného polohového bodového pole a podrobné body. Opakované měření GNSS je považováno za nezávislé, pokud je provedeno s jinou konstelací družic. Minimální časový interval mezi dvojím měřením je 1 hodina. Pokud se měří v jiné dny, nesmí být opakované měření v čase, který je vůči času ověřovanému v intervalech $\langle -1 + n \cdot k; n \cdot k + 1 \rangle$ hodin, kde k je počet dní, $n = 23,9333$ hodin (23 hod. 56 min.) pro americký systém NAVSTAR GPS a 22,5000 (22 hod. 30 min.) pro ruský systém GLONASS. Současně musí platit, že výsledek měření GNSS, pro který je hodnota parametru GDOP nebo PDOP větší než 7,0, nelze ověřit pomocí dalšího výsledku měření GNSS, pro který rovněž platí, že je hodnota tohoto parametru také větší než 7,0, jestliže se čas ověřujícího měření vůči času měření ověřovaného nachází v intervalu: $\langle -3 + n \cdot k; n \cdot k + 3 \rangle$ hodin.

Poloha bodu může být také určena jen z jednoho měření s následným zpracováním. Poloha ale musí být vypočítaná dvakrát s využitím dvou odlišných referenčních stanic. Tento způsob určení polohy se může použít, pokud jsou splněny podmínky:

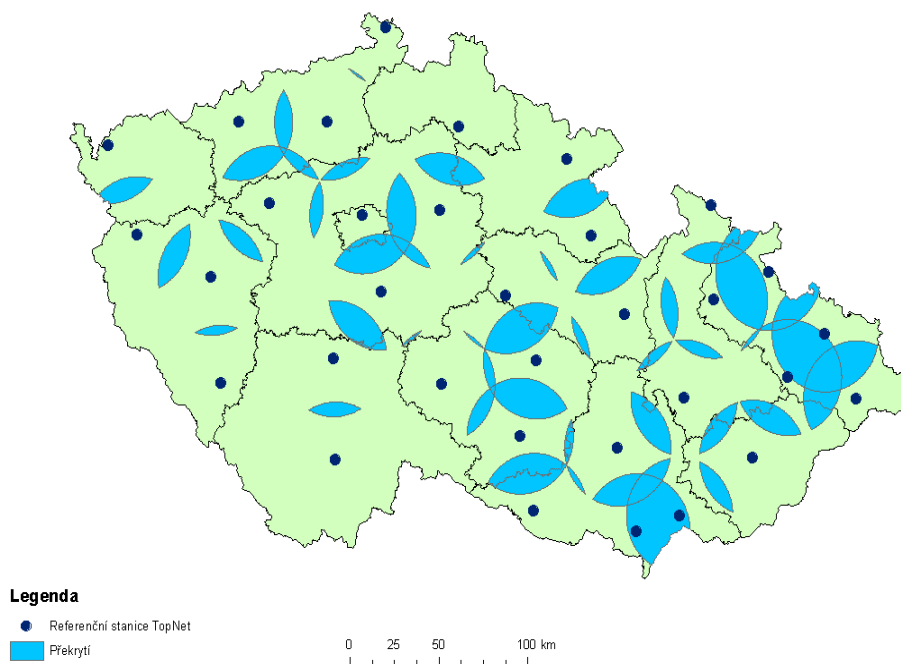
- Výška antény nad bodem musí být zjištěna dvěma nezávislými způsoby nebo určena před a opakovaně po měření.
- Pokud je souvislá doba měření s následným zpracováním využita pro dosažení výsledku kratší než 1 hodinu, nesmí parametr GDOP nebo PDOP pro žádný použitý výsledek měření překročit hodnotu 7,0.
- Poloha bodu nesmí být určena pouze využitím virtuálních referenčních stanic poskytnutých sítěmi permanentních stanic, nebo kombinace virtuální referenční stanice a permanentní stanice ze stejné sítě permanentních stanic.

Všechny permanentní sítě v České republice jsou zpoplatněny. Prakticky nikdo dvě sítě permanentních stanic předplacené nemá. Tedy, pokud máme zaplacenou jen jednu síť, nemůžeme používat virtuální referenční stanice.

Návod pro zpracovatelský software GNSS měření Topcon Tools [21] udává, že délka vektoru, neboli vzdálenost přijímače od referenční stanice, nemá překročit 30 km. Pokud bychom chtěli získat dva nezávislé výsledky z jednoho měření, musel by být přijímač do vzdálenosti 30 km od dvou referenčních stanic. Na obrázku 5.1 je zobrazena mapa se všemi referenčními stanicemi sítě TopNet v České republice a třicetikilometrové vzdálenosti kolem každé stanice. Tam kde se překrývají alespoň dva třicetikilometrové kruhy, je vhodné místo pro získání dvou nezávislých poloh jen z jednoho měření. Na dalším obrázku (obrázek 5.2) jsou vidět lépe oblasti, kde můžeme tuto metodu použít. Je vidět, že tuto metodu lze použít jen na poměrně malém území České republiky.



Obrázek 5.1: Stanice TopNet v ČR s vyznačením třicetikilometrových vzdáleností



Obrázek 5.2: Vyznačení oblastí, kde lze použít metodu získání 2 nezávislých poloh z jednoho měření využívající 2 referenční stanice (metoda dle vyhlášky)

Díky velkému počtu družic, které tvoří kosmické segmenty systémů NAVSTAR GPS (31 aktivních družic) a GLONASS (24 aktivních družic), můžeme uvažovat o výpočtu polohy bodu jen pomocí družic jednoho systému, tj. jen pomocí družic GPS nebo GLONASS. Tak můžeme teoreticky z měření v jediném časovém intervalu získat dvoje souřadnice bodu, které bychom mohli považovat za nezávislé. Navíc od roku 2020 by měly být v plném operačním provozu další dva globální navigační systémy: Galileo (27 aktivních družic) a Compass (30 aktivních družic). Tudíž počet družic se v budoucnu teoreticky ještě zdvojnásobí.

Za účelem ověření hypotézy, zda z měření v jediném časovém intervalu lze získat dva nezávislé výsledky, byly na měřické základně v Nečtinech zrealizovány 2 kampaně s odstupem jednoho roku, a to v červnu 2010 a 2011.

5.1 Metodika

Pro ověření hypotézy byl navržen následující postup prací:

- Pořízení dat - statické měření diferenční GNSS aparaturou, zaznamenání GPS a GLONASS satelitů.
- Oddělené zpracování - výpočet polohy bodů pouze z dat satelitů GPS a pouze z dat GLONASS satelitů.
- Převod z ETRS89 do S-JTSK.
- Vyhodnocení výsledků.

Na základě výše uvedeného postupu získáme z měření v jednom časovém intervalu dvoje souřadnice bodů (vypočítané pomocí GPS satelitů a vypočítané pomocí GLONASS satelitů).

5.2 Pořízení dat – statické měření aparaturou GNSS

V Nečtinech proběhla dvě měření technologií GNSS na bodech podrobného polohového bodového pole s odstupem jednoho roku. Bylo měřeno celkem na 11 bodech, z toho 5 bylo zaměřeno dne 17. 6. 2010 a 6 dne 29. 6. 2011. Bylo měřeno na bodech, které jsou stabilizované žulovými kameny. Lokalita s body, na kterých bylo měřeno, je znázorněna na obrázku 5.3.

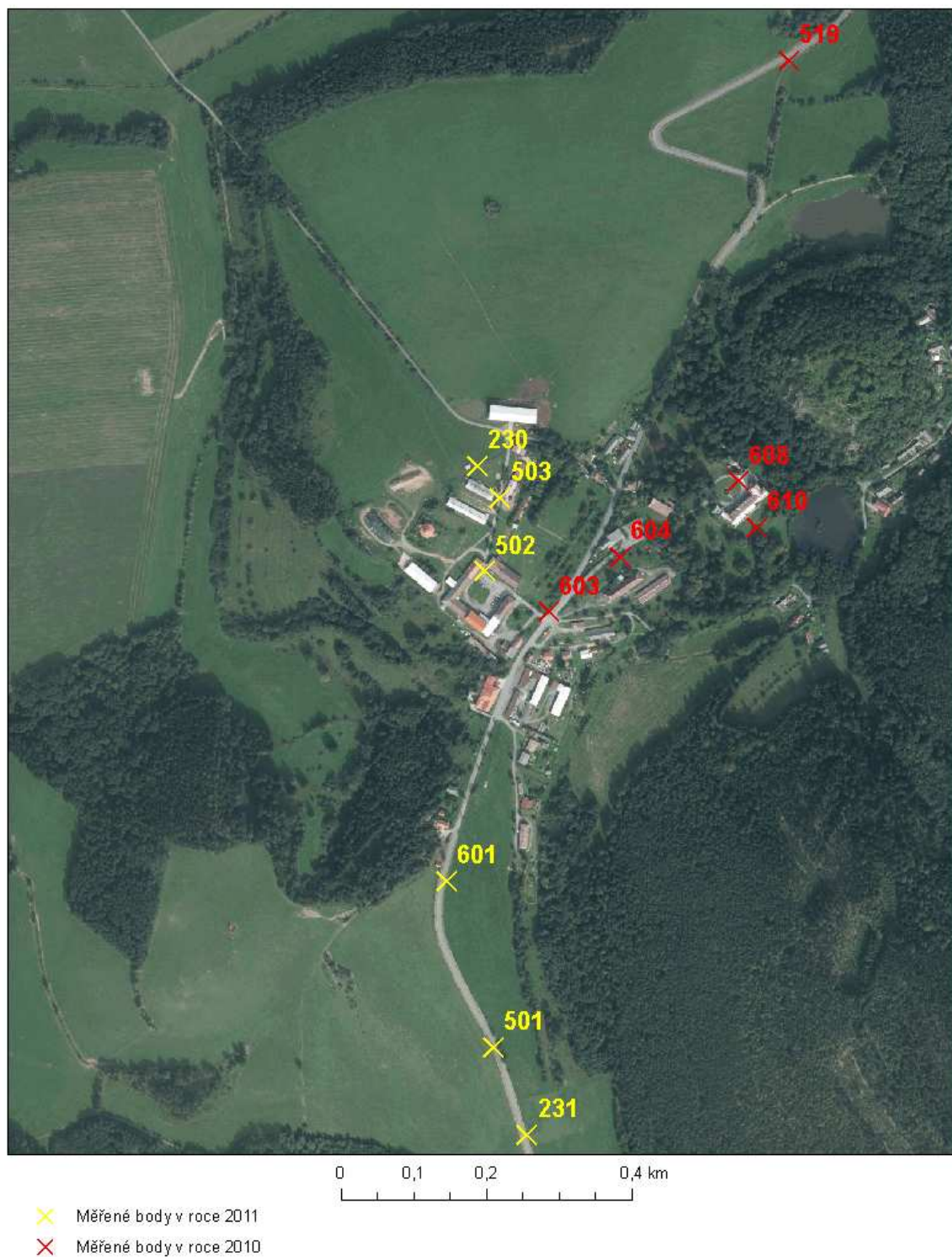
PBPP v katastrálním území Hrad Nečtiny a přilehlých katastrálních území je budováno od roku 2000 studenty Západočeské univerzity v rámci předmětu GENM. Souřadnice všech bodů PBPP byly získány geodetickými metodami a společně s okolními body České státní trigonometrické sítě vyrovnány pomocí metody nejmenších čtverců. [22]

Kvůli možnosti pozdějšího odděleného zpracování (jednou pomocí satelitů GPS, podruhé pomocí satelitů GLONASS) byla pro měření zvolena rychlá statická metoda. Měření byla provedena dvoufrekvenční GNSS aparaturou Topcon Hiper +, která dokáže přijímat signály ze satelitů GPS i GLONASS.

Na všech bodech, kromě bodu 601, na kterém bylo měřeno v roce 2011, bylo měřeno dvakrát, přičemž byl vždy dodržen minimální jednohodinový odstup, aby měření probíhalo s jinou konstelací družic. Doba měření je v roce 2010 přibližně 20 minut, v roce 2011

přibližně 12 minut. Přesné doby měření a časové rozestupy mezi dvojitým měřením na stejném bodu jsou uvedeny v tabulkách 5.1 a 5.2.

Lokalita měření



Obrázek 5.3: Lokalita s měřnými body

Tabulka 5.1: Doba měření a časové odstupy v roce 2010

Bod_Měření	Doba měření	Odstup
519_1	20 min	3h 57min
519_2	21 min	
603_1	20 min	4h 07min
603_2	20 min	
604_1	22 min	4h 11min
604_2	20 min	
608_1	21 min	4h 29min
608_2	21 min	
610_1	20 min	4h 21min
610_2	20 min	

Tabulka 5.2: Doba měření a časové odstupy v roce 2011

Bod_Měření	Doba měření	Odstup
230_1	10 min	3h 45min
230_2	10 min	
231_1	11 min	3h 16min
231_2	10 min	
501_1	12 min	4h 06min
501_2	11 min	
502_1	12 min	2h 47min
502_2	13 min	
503_1	13 min	2h 48min
503_2	12 min	
601_1	12 min	

5.3 Analýza dat

Pro výpočet polohy bodu je nejdůležitější mít dostatek viditelných satelitů s vhodným geometrickým rozmístěním. Jelikož my budeme potřebovat vypočítat polohu každého bodu dvakrát z jednoho měření, jednou s pomocí satelitů GPS a podruhé ze satelitů GLONASS, potřebujeme minimálně 4 satelity od každého zmíněného navigačního systému.

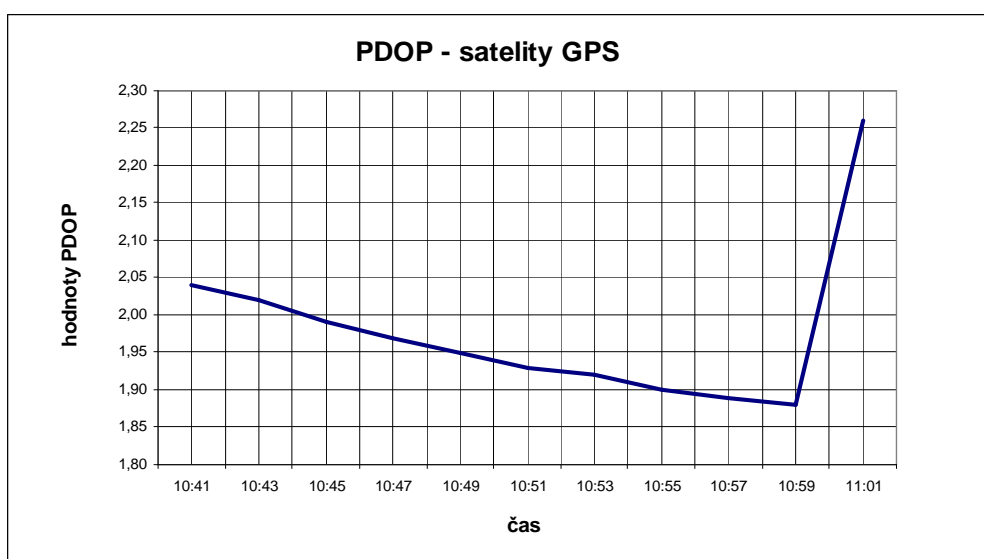
Dostatek satelitů ještě nezaručuje přesné určení polohy. Je důležité mít satelity vhodně rozmístěné. Nejvhodnější rozmístění satelitů je takové, kdy jeden satelit je v zenitu a zbylé tři jsou daleko od sebe a svírají se stanoviskem vodorovný úhel 120 stupňů [1]. Jak už bylo zmíněno, geometrické uspořádání satelitů vzhledem k přijímači vyjadřuje tzv. DOP parametr. V našem případě byl zjišťován nejpoužívanější parametr – PDOP (Position Dilution of Precision), který udává vliv geometrického uspořádání družic a přijímače v konkrétní epoše na přesnost určení třírozměrné polohy přijímače [14].

Počet viditelných satelitů i hodnoty PDOP v dané lokalitě lze zjistit ještě před samotným měřením v terénu pomocí specializovaných programů. Aktuální almanachy³ lze stáhnout z internetu nebo se dají použít almanachy z dříve naměřených dat. Plánováním můžeme předejít situaci, že nebude dostatek viditelných satelitů nebo hodnoty PDOP budou příliš vysoké pro přesné určení polohy. Dnes obíhá Země tolik družic, že plánování měření už není zcela nutné.

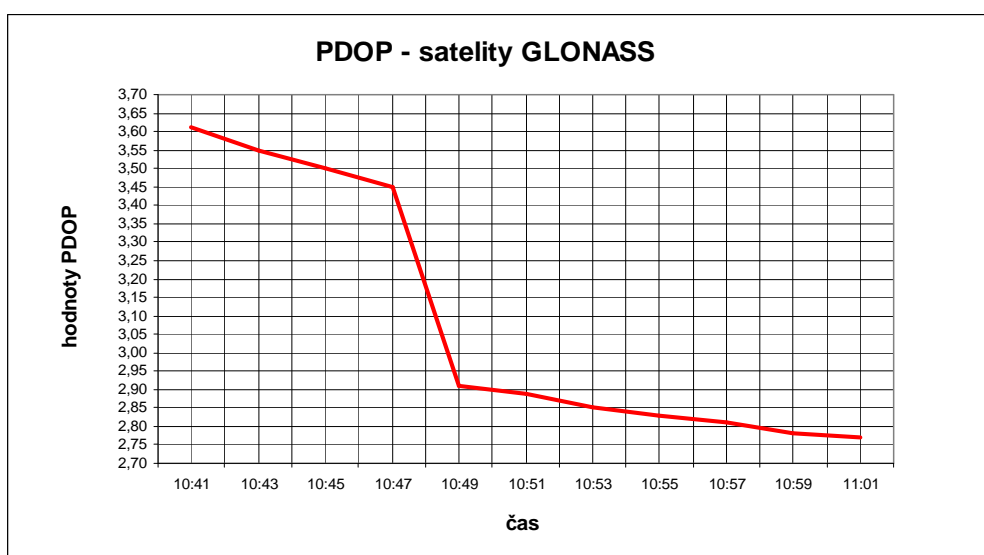
³ Almanach je sada přibližných parametrů oběžných drah družic GNSS, je obsažen v každé navigační zprávě vyslané družicemi GNSS. Almanach obsahuje informace o všech družicích vyskytujících se v kosmickém segmentu daného systému [14].

V Nečtinech nebyl před samotným měřením v terénu zjišťován počet satelitů ani hodnoty PDOP, tyto hodnoty byly zjištěny až dodatečně.

Pro zjištění hodnot PDOP byl použit program Pinnacle verze 1.0, který umožňuje i plánování měření. V našem případě byly hodnoty PDOP určovány až zpětně po měření, proto bylo možné použít almanachy z našich naměřených dat. Ze získaných hodnot PDOP byly následně pro každý bod vyhotoveny grafy. Všechny grafy jsou součástí přílohy A na přiloženém CD. Ukázky grafů znázorňují obrázky 5.1 a 5.2.



Obrázek 5.4: Graf hodnot PDOP pro satelity GPS prvního měření na bodě 519



Obrázek 5.5: Graf hodnot PDOP pro satelity GLONASS prvního měření na bodě 519

Jak už bylo řečeno, v Nečtinech nedošlo k žádnému plánování měření. V roce 2010 obíhalo Zemi celkem 29 aktivních satelitů GPS a 21 aktivních satelitů GLONASS. Vzhledem k velkému počtu družic nám nepřišlo důležité plánovat měření a předpokládali jsme, že dostatek viditelných satelitů bude. Kdyby měření bylo naplánované, nemuselo dojít k tomu, že na polovině bodů z roku 2010 je nedostatek satelitů GLONASS. Na všech těchto bodech bylo měřeno v dopoledních hodinách. V odpoledních hodinách už nedošlo k situaci, že by bylo na obloze málo viditelných satelitů. V roce 2011 byl u každého měření počet satelitů dostačující, ale geometrické rozložení satelitů při prvním měření na bodech 230 a 601 bylo velice špatné a hodnoty PDOP dosahovaly extrémních hodnot. Opět se tomuto dalo předejít pečlivým naplánováním času měření. Tabulky 5.3 a 5.4 znázorňují počty satelitů GPS a GLONASS a hodnoty PDOP pro jednotlivá měření.

Tabulka 5.3: Počet satelitů a hodnoty PDOP v roce 2010

Bod_Měření	GPS		GLONASS	
	satelity	PDOP	satelity	PDOP
519_1	7	1,98	3	
519_2	9	2,95	5	3,05
603_1	9	2,03	3	
603_2	9	2,19	5	2,00
604_1	9	1,98	3	
604_2	10	1,89	4	2,31
608_1	9	2,36	3	
608_2	9	2,09	4	2,90
610_1	8	2,21	2	
610_2	8	3,86	5	3,33

Tabulka 5.4: Počet satelitů a hodnoty PDOP v roce 2011

Bod_Měření	GPS		GLONASS	
	satelity	PDOP	satelity	PDOP
230_1	8	2,56	6	EXTRÉM
230_2	8	2,35	9	2,08
231_1	7	2,09	7	2,9
231_2	9	2,9	9	2,96
501_1	8	2,37	7	2,85
501_2	8	2,44	8	3,35
502_1	8	2,43	7	1,96
502_2	8	2,97	7	2,56
503_1	9	2,11	9	2,93
503_2	7	2,51	6	3,03
601_1	9	2,21	6	EXTRÉM

Program Pinnacle, ve kterém byl parametr PDOP zjišťován, vypisuje hodnoty parametrů DOP pouze do hodnoty 40. Pokud parametr PDOP dosahoval větších hodnot než 40, není ve sloupci PDOP uvedeno konkrétní číslo, ale pouze výraz “*EXTRÉM*”. Jestliže parametr PDOP dosahuje tak extrémně vysokých hodnot, můžeme předpokládat, že poloha vypočítaná z těchto měření nebude určena s dostačující přesností.

U prvního měření na bodě 230 dosahoval parametr PDOP extrémních hodnot (větších než 40) po celou dobu observace. Je tedy velice pravděpodobné, že poloha tohoto bodu bude určena chybně.

U měření na bodě 601 dosahoval parametr PDOP v první polovině observace, tj. v prvních šesti minutách, dostačujících hodnot v intervalu 2,8 - 3,0. V druhé polovině observace však tyto hodnoty byly opět extrémní. Lze tedy předpokládat, že výsledná poloha bude opět určena chybně, vzhledem ke krátkému času využitelného k výpočtu polohy.

5.4 Výpočet polohy

Výpočet souřadnic proběhl v software pro zpracování GNSS měření Topcon Tools verze 8.2.

Pro výpočet polohy bodů byla použita naměřená data a data z permanentní stanice PLZE. Stanice PLZE [23] patří do sítě stanic VESOG – Výzkumné a experimentální sítě pro observaci s GNSS. Provoz této stanice zajišťuje Západočeská univerzita – Fakulta aplikovaných věd ve spolupráci s Výzkumným ústavem geodetickým, topografickým a kartografickým. Jako externí stanice je zařazena do sítě CZEPOS.

Po importu dat do programu Topcon Tools se vytvořily jednotlivé vektory vzhledem k permanentní stanici PLZE, které byly dále zpracovávány.

K permanentní stanici PLZE byly vloženy její přesné souřadnice a stanice byla označena za pevnou.

Odstavec 9 přílohy novelizované vyhlášky 31/1995 Sb. upozorňuje na to, že při zpracování je nutné dodržovat zásady uvedené v dokumentaci pro příslušný zpracovatelský software. Jak už bylo řečeno, příručka pro software Topcon Tools [21] udává, že délka vektoru nemá překročit 30 km. V našem případě se délky vektorů pohybují v rozmezí 28,6 - 29,9 km, což se velice přibližuje k maximální hodnotě uvedené v příručce. Délce tohoto vektoru by měla být přizpůsobena doba měření. Ale v roce 2011 byla doba observace

na jednotlivých bodech přibližně jen 12 minut, což může být k velké délce vektoru příliš krátký čas a mohlo by se to odrazit na přesnosti výsledku.

Před samotným výpočtem musely být ještě vypnuty všechny GLONASS satelity, aby výpočet polohy byl určen jen z GPS satelitů. Výpočet polohy byl poté proveden ještě jednou s tou změnou, že byly zapnuty satelity GLONASS a vypnuty satelity GPS. Výsledkem jsou souřadnice vypočítané pouze z dat satelitů GPS a souřadnice vypočítané pouze z dat satelitů GLONASS v systému ETRS89.

Pro každý výpočet byl uložen protokol. Všechny protokoly jsou součástí přílohy A na příloženém CD. Do protokolu, kromě čísla bodu, výsledných souřadnic, přesnosti určení souřadnic v jednotlivých směrech a v poloze, je možné nechat si vypsát i další, pro nás důležité údaje jako např. počet satelitů jednotlivých navigačních systémů, datum a čas měření, dobu měření, hodnoty DOP nebo délku vektoru.

5.5 Převod do S-JTSK

Vypočítané souřadnice bylo potřeba převést ze systému ETRS89 do systému JTSK. Systém JTSK je závazný geodetický referenční systém na území České republiky pro účely katastru nemovitostí.

Pro převod do systému JTSK nebyl použit globální, ale lokální transformační klíč. Globální klíč by mohl způsobit znehodnocení dosavadních výsledků.

V roce 2011 [24] došlo k zpřesnění souřadnic bodů v systému ETRS89 přechodem z rámce ETRF89 na ETRF2000. Došlo k vyrovnání dlouhodobých pozorování ze stanic CZEPOS, dalších permanentních stanic v České republice a 5 nejbližších zahraničních stanic EPN⁴. V tomto vyrovnání byly souřadnice EPN brány jako dané. Tím byly geodetické základy České republiky propojeny s evropskými geodetickými základy. K tomuto vyrovnání byla připojena měření ze sítě bodů DOPNUL provedená Zeměměřickým úřadem v letech 1997-2007. Sít' byla znovu vyrovnána. Do této sítě byla vložena měření, která byla provedena Zeměměřickým úřadem na TB výběrové údržby v letech 1996-2006. Body CZEPOS a permanentní stanice byly označeny jako opěrné. Takto sestavená sít' se opět vyrovnala. Do sítě byla přidána měření na ZhB provedená katastrálními úřady a naposledy byla sít' vyrovnána. Došlo tak ke zpřesnění souřadnic bodů. Výsledkem je, že k datu 2. 1. 2011 se změnila souřadnice ETRS všech bodů. Z tohoto důvodu musely být k transformaci

⁴ EPN – EUREF Permanent Network – Sít' permanentních GNSS stanic v Evropě. Celkem sít' obsahuje 228 stanic po celé Evropě, v České republice je 13 EPN stanic. [26]

souřadnic vytvořeny 2 lokální klíče. Pokud budeme v následujícím textu zmiňovat systém ETRS89, máme na mysli správný rámec, tedy ETRF89 pro data z roku 2010 a ETRF2000 pro data z roku 2011.

Volba identických bodů pro lokální transformační klíč musí splňovat podle vyhlášky [25] podmínky:

- Pro určení parametrů transformačního klíče jsou použity nejméně čtyři identické body.
- Souřadnice na všech identických bodech byly získány měřením nebo převzaty z platných geodetických údajů.
- Souřadnice všech identických bodů jsou určeny s vyšší nebo stejnou přesností než je přesnost požadovaná pro určované body.
- Geocentrické souřadnice všech určovaných identických bodů jsou ve shodném geocentrickém systému.
- Identické body jsou rozloženy rovnoměrně, průměrná vzdálenost mezi sousedními identickými body není větší než 5 km a žádná vzdálenost mezi sousedními identickými body není větší než 8 km.
- Obvodový polygon proložený identickými body nevytváří obrazec, jehož některý vnitřní úhel je menší než 20° .
- Žádný z určovaných bodů vně obrazce vytvořeného identickými body neleží od nejbližší spojnice mezi dvěma sousedními identickými body ve vzdálenosti větší než 1/10 této spojnice
- Pokud byly souřadnice na identickém bodu získány měřením a transformací zjištěná odchylka překročí na tomto bodu maximální povolenou odchylku, je nutno buď takový bod z transformace vyloučit a zvolit jiný identický bod, nebo oprávněnost vztahu mezi souřadnicovými systémy pro takový bod doložit ověřením polohy identického bodu a v případě potřeby i souřadnic v geocentrickém souřadnicovém systému i v S-JTSK.

Identické body lokálního klíče byly zvoleny tak, aby splňovaly výše uvedené požadavky. K sestavení klíče byly použity 4 identické body. Za identické body byly zvoleny tyto trigonometrické body: 000912200080, 000912200260, 000912150080, 000912150240. Souřadnice identických bodů v systému JTSK i ETRS89 byly převzaty z platných geodetických údajů z [27]. Body, na kterých bylo provedeno měření leží uvnitř obrazce vytvořeného identickými body. Obvodové délky obrazce jsou 7,454 km; 6,989 km; 6,077

km a 5,465 km. Podmínka, že žádná vzdálenost mezi sousedními identickými body nesmí být větší než 8 km, je tedy splněna. Průměrná vzdálenost sousedních bodů je 6,496 km. Podmínka, že průměrná vzdálenost mezi sousedními body není větší než 5 km, jako jediná splněna není.

Pro oblast, ve které byly v letech 2010 a 2011 provedena měření, mohly být zvoleny bližší identické body, které by splňovaly všechny podmínky uvedené ve vyhlášce. Body, které byly použity k sestavení lokálního klíče, byly zvoleny, aby transformace bodů proběhla se stejnou přesností jako všechny transformace bodů z Nečtin v minulých letech. Tyto identické body se používaly v minulých letech pro všechny transformace souřadnic získaných studenty na měřické základně v Nečtinech.

Převod souřadnic do systému JTSK byl uskutečněn pomocí programu TranGPS. Program TranGPS byl vyvinut firmou GEODIS, s.r.o. Brno a je určen k transformaci GNSS měření do systému JTSK. K převodu se používá sedmi-prvková Helmertova transformace, proto je zapotřebí minimálně 4 identických bodů. Střední chyba transformace lokálního klíče pro rok 2010 je 0,0112 m, pro rok 2011 je 0,0107 m. I když byly použity stejné identické body, je střední chyba transformace v roce 2011 menší. Je to důsledek přechodu z rámce ETRF89 na ETRF2000.

5.6 Vyhodnocení výsledků

Z jednoho měření jsme získali dvojice souřadnice bodu v systému ETRS89. Jedny výpočtem pomocí satelitů GPS, druhé výpočtem pomocí satelitů GLONASS. Souřadnice ze systému ETRS89 byly transformací s lokálním klíčem převedeny do národního geodetického referenčního systému JTSK. Jelikož měření probíhalo na bodech podrobného polohového bodového pole, u nichž jsou již známé souřadnice, měli jsme možnost pro kontrolu porovnat vypočítané souřadnice s danými.

V následující tabulce (tabulka 5.5) jsou výsledné souřadnice převedené do systému JTSK. V tabulce 5.6 najdeme dané souřadnice a průměrné souřadnice z GPS a GLONASS satelitů.

Tabulka 5.5: Výsledné souřadnice v S-JTSK

Rok	Bod_ Měření	GPS			GLONASS		
		Souř.Y (m)	Souř.X (m)	Výška (m)	Souř.Y (m)	Souř.X (m)	Výška (m)
2010	519_1	834259,49	1043457,52	489,33			
	519_2	834259,49	1043457,54	489,38	834259,49	1043457,53	489,36
	603_1	834590,05	1044214,33	548,57			
	603_2	834590,06	1044214,33	548,65	834590,06	1044214,33	548,68
	604_1	834491,71	1044139,15	551,32			
	604_2	834491,71	1044139,17	551,32	834491,69	1044139,16	551,37
	608_1	834329,33	1044035,19	538,63			
	608_2	834329,32	1044035,21	538,70	834329,41	1044035,33	538,94
	610_1	834303,45	1044098,15	536,45			
	610_2	834303,45	1044098,12	536,46	834303,44	1044098,13	536,47
2011	230_1	834687,75	1044014,21	548,40	834687,07	1044014,92	549,75
	230_2	834687,74	1044014,21	548,35	834687,73	1044014,18	548,34
	231_1	834619,24	1044932,26	566,09	834619,23	1044932,26	566,05
	231_2	834619,25	1044932,27	565,97	834619,25	1044932,28	565,98
	501_1	834665,94	1044812,10	568,10	834665,94	1044812,09	568,03
	501_2	834665,95	1044812,13	568,17	834665,94	1044812,10	568,10
	502_1	834677,70	1044158,40	549,31	834677,67	1044158,40	549,25
	502_2	834677,69	1044158,44	549,44	834677,71	1044158,40	549,39
	503_1	834656,75	1044057,93	548,66	834656,55	1044057,88	548,50
	503_2	834656,77	1044057,91	548,70	834656,74	1044057,91	548,73
601_1	834730,75	1044583,90	568,56	834730,74	1044583,90	568,49	

Výsledné souřadnice jednotlivých bodů byly porovnány s danými souřadnicemi, zjištěnými z geodetických údajů o bodech podrobného polohového bodového pole. Výsledné rozdíly souřadnic najdeme v tabulce 5.7.

V terénu při určování souřadnic nového bodu neznáme souřadnice bodu, na kterém stojíme a který chceme určit. V tabulce 5.7 je vidět, že pokud nám poloha vypočítaná pomocí jednoho GNSS systému vyjde nepřesně, poznáme to na rozdílu souřadnic získaných ze satelitů GLONASS a satelitů GPS jak je vidět u prvního měření na bodě 230 (sloupec GPS-GLONASS). Z tohoto měření nám vyšla poloha vypočítaná z GPS satelitů s dostačující přesností, ale poloha vypočítaná z GLONASS satelitů vyšla hodně nepřesně. Pokud bychom tedy znali pouze souřadnice vypočítané z GLONASS a GPS satelitů a neznali dané souřadnice, můžeme i tak zjistit zda není jedna z poloh vypočítaná z GPS nebo GLONASS určena chybně a to právě z rozdílu souřadnic. Z tohoto rozdílu nezjistíme, jaká poloha vyšla nepřesně, ale pro nás je důležité umět říci alespoň to, že tyto výsledky nelze použít a že jeden z výsledků je určen chybně.

Tabulka 5.6: Dané souřadnice a průměrné souřadnice z GPS a GLONASS

Rok	Bod_ Měření	Dané souřadnice			Průměr GPS a GLONASS		
		Souř.Y (m)	Souř.X (m)	Výška (m)	Souř.Y (m)	Souř.X (m)	Výška (m)
2010	519_1	834259,55	1043457,60	489,41			
	519_2	834259,55	1043457,60	489,41	834259,49	1043457,53	489,36
	603_1	834590,05	1044214,30	548,63			
	603_2	834590,05	1044214,30	548,63	834590,06	1044214,33	548,68
	604_1	834491,70	1044139,12	-			
	604_2	834491,70	1044139,12	-	834491,69	1044139,16	551,37
	608_1	834329,34	1044035,18	-			
	608_2	834329,34	1044035,18	-	834329,41	1044035,33	538,94
	610_1	834303,47	1044098,12	536,45			
	610_2	834303,47	1044098,12	536,45	522049,06	268,22	0,01
2011	230_1	834687,75	1044014,18	548,34	834687,41	1044014,56	549,07
	230_2	834687,75	1044014,18	548,34	522007,09	1279,67	0,00
	231_1	834619,26	1044932,27	565,97	834619,24	1044932,26	566,07
	231_2	834619,26	1044932,27	565,97	834619,25	1044932,27	565,97
	501_1	834665,96	1044812,09	568,07	834665,94	1044812,09	568,06
	501_2	834665,96	1044812,09	568,07	834665,95	1044812,11	568,13
	502_1	834677,70	1044158,33	549,31	834677,68	1044158,40	549,28
	502_2	834677,70	1044158,33	549,31	834677,70	1044158,42	549,42
	503_1	834656,77	1044057,85	548,68	834656,65	1044057,90	548,58
	503_2	834656,77	1044057,85	548,68	834656,76	1044057,91	548,71
	601_1	834730,74	1044583,91	-	834730,75	1044583,90	568,53

U bodů 604, 608 a 601 v tabulce 5.6 nejsou uvedeny dané výšky, jelikož geodetické údaje o těchto bodech tuto informaci neobsahují.

Z prvních observací na bodech 519, 603, 604, 608 a 610 nebyly vypočítány souřadnice bodů ze satelitů GLONASS, protože v době měření bylo na obloze málo viditelných satelitů tohoto systému.

U bodu 230_1 dosahují rozdíly daných souřadnic a vypočítaných souřadnic z GLONASS satelitů vysokých hodnot, jak je vidět v tabulce 5.7. Velká chyba v určení polohy je způsobena extrémními hodnotami PDOP po celou dobu observace. Ještě před samotným výpočtem souřadnic bylo možné z vysokých hodnot PDOP usoudit, že určení polohy pomocí satelitů GLONASS z tohoto měření bude chybné. Na tomto bodě je vidět jak moc velký vliv můžou mít hodnoty PDOP na výslednou přesnost.

Vysoké hodnoty PDOP byly zjištěny i u měření na bodě 601, ale jen v druhé polovině observace. Předpokládalo se, že výsledná poloha nebude určena zcela přesně. Z tabulky

porovnání (tabulka 5.7) je vidět, že difference u tohoto bodu dosahují maximálně jednoho centimetru, tedy přesnosti velmi vysoké.

Nepotvrdilo se ani to, že doba měření na jednotlivých bodech v roce 2011 je příliš krátká vzhledem k délce zpracovávaného vektoru. Z výsledných diferencí je zřejmé, že dvanáctiminutové observace byly dostačující.

Tabulka 5.7: Porovnání souřadnic

Rok	Bod_ Měření	Dané - GPS			Dané - GLONASS			GPS-GLONASS			Dané - Průměr GPS a GLONASS		
		dy	dx	dh	dy	dx	dh	dy	dx	dh	dy	dx	dh
2010	519_1	0,06	0,08	0,08									
	519_2	0,07	0,06	0,03	0,07	0,07	0,05	0,00	0,01	0,02	0,07	0,07	0,05
	603_1	0,00	-0,03	0,06									
	603_2	-0,01	-0,03	-0,02	-0,01	-0,03	-0,05	0,00	0,00	-0,03	-0,01	-0,03	-0,05
	604_1	-0,01	-0,03										
	604_2	-0,01	-0,05		0,01	-0,04		0,02	0,00	-0,05	0,01	-0,04	
	608_1	0,01	-0,01										
	608_2	0,02	-0,03		-0,07	-0,15		-0,09	-0,12	-0,24	-0,07	-0,15	
	610_1	0,02	-0,03	0,00									
	610_2	0,02	0,00	-0,01	0,03	-0,01	-0,02	0,01	-0,01	-0,01	0,03	0,00	-0,02
2011	230_1	0,00	-0,03	-0,05	0,68	-0,74	-1,41	0,68	-0,71	-1,35	0,34	-0,38	-0,73
	230_2	0,01	-0,03	-0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,02	-0,01	0,00
	231_1	0,02	0,01	-0,12	0,03	0,02	-0,08	0,01	0,00	0,04	0,02	0,01	-0,10
	231_2	0,01	0,01	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,01	0,00	0,00
	501_1	0,02	-0,01	-0,02	0,02	0,00	0,04	0,00	0,01	0,06	0,02	0,00	0,01
	501_2	0,01	-0,04	-0,1	0,02	-0,01	-0,03	0,02	0,04	0,07	0,01	-0,02	-0,06
	502_1	0,00	-0,07	0,00	0,03	-0,07	0,06	0,04	-0,01	0,06	0,02	-0,07	0,03
	502_2	0,01	-0,11	-0,13	-0,01	-0,07	-0,08	-0,01	0,04	0,05	0,00	-0,09	-0,11
	503_1	0,02	-0,08	0,02	0,22	-0,03	0,18	0,2	0,05	0,16	0,12	-0,05	0,10
	503_2	0,00	-0,06	-0,02	0,03	-0,06	-0,05	0,02	-0,01	-0,03	0,02	-0,06	-0,03
	601_1	-0,01	0,01		0,00	0,01		0,01	0,00	0,07	-0,01	0,01	

Podle katastrální vyhlášky [20] se podrobné polohové bodové pole vytváří s přesností, která je dána základní střední souřadnicovou chybou 0,06 m a která se vztahuje k nejbližším bodům polohového bodového pole a zhušťovacím bodům. Mezní odchylka je stanovena 2,5 násobkem střední souřadnicové chyby, tedy 0,15 m.

Z našeho souboru dat byly vyloučeny souřadnice bodu 230 vypočítané z prvního měření, jelikož rozdíly souřadnic daných a průměrných přesahovaly mezní odchylky $u_x = 2 \cdot m_x$ a $u_y = 2 \cdot m_y$.

Ze zbylého souboru dat byla vypočítána střední výběrová chyba.

- Střední výběrová chyba našeho souboru dat: **0,053 m**.
- Výběrová střední chyba ve směru osy y: 0,061 m.
- Výběrová střední chyba ve směru osy x je 0,044 m.
- Výběrová střední chyba ve směru výšky je 0,065 m.

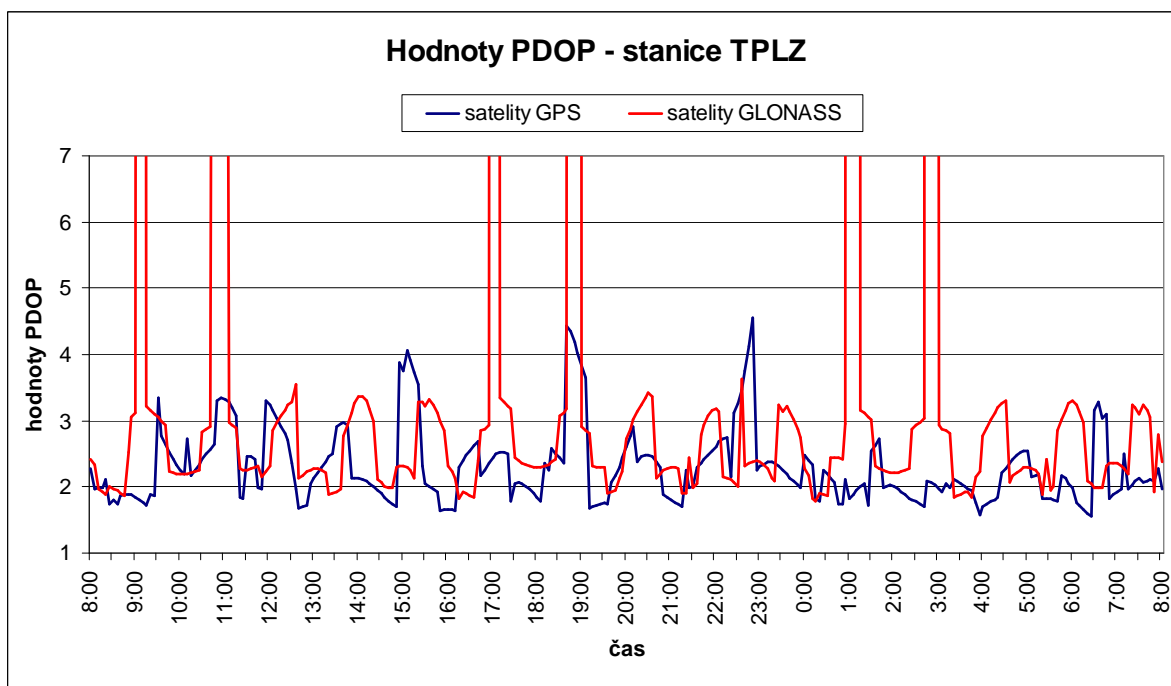
Střední výběrová chyba našeho souboru dat je menší než chyba uváděná ve vyhlášce. Lze tedy prohlásit, že náš soubor dat vyhovuje požadavkům vyhlášky.

5.7 Potenciální problematické faktory, kritické z pohledu získávání dvou nezávislých určení polohy z jednoho měření GNSS aparaturou

Pokud chceme z jednoho měření získat dvě nezávislé určení polohy, musíme brát v potaz některé faktory, které by mohly zapříčinit chybné určení polohy. Během zpracování této bakalářské práce jsme zatím narazili na dva faktory, které by mohli znemožnit určení přesné polohy z jednoho měření aparaturou GNSS. Tyto faktory jsou parametr PDOP a stav troposféry.

Extrémní hodnoty parametru PDOP mají velký vliv na přesnost určení polohy, proto bylo zjišťováno, jakých hodnot PDOP dosahují družice jednotlivých navigačních systémů dnes, tedy v roce 2012. Jak už bylo řečeno, v současné době obsahuje systém GPS 31 plně funkčních satelitů a systém GLONASS 24 plně funkčních satelitů. Oba dva systémy nám v dnešní době zaručují stálou viditelnost minimálně 4 satelitů potřebných k výpočtu třírozměrné polohy. Díky velkému počtu satelitů GPS dosahují hodnoty PDOP tohoto systému na území České republiky stále vhodných hodnot (menších než 7). I když systém GLONASS je od konce roku 2011 kompletní a obsahuje 24 družic, rozložení družic není pravděpodobně úplně ideální a hodnoty PDOP se občas dostanou do extrému. Obrázek 5.6 znázorňuje graf s hodnotami PDOP satelitů GPS a GLONASS z časového období 8:00 13.5.2012 až 8:00 14.5.2012 (čas UTC). Hodnoty byly zjišťovány pomocí programu Planning od firmy Trimble. Byl použit almanach z 12.5.2012, který byl stáhnut z webových stránek firmy Trimble. Z grafu je vidět, že hodnoty PDOP vypočítané ze satelitů GPS dosahují po celou dobu (celých 24 hodin) přijatelných hodnot. Ale hodnoty PDOP pro satelity GLONASS se vyšplhaly čtyřikrát do extrémů. Pokud bychom si vybrali pro

měření právě tuto dobu, nemohli bychom dosáhnout přesných výsledků. Tedy pokud chceme počítat polohu jen z GLONASS satelitů, musíme pro měření vybrat správný čas.



5.6: Hodnoty PDOP satelitů GPS a GLONASS na stanici PLZE v časovém období od 8:00 13. 5. 2012 do 8:00 14. 5. 2012

Stav troposféry ovlivňují meteorologické vlivy jako teplota, tlak nebo vlhkost. Obsah vodních par [12] v troposféře značně ovlivňuje stav počasí a jeho vývoj. Teplý vzduch ohřátý o zemský povrch stoupá vzhůru a pokud obsahuje i vodní páry, vznikají mračka. Pokud je vzduch dostatečně vlhký a teplý může zapříčinit i vznik bouřky. Troposférická refrakce, která má vliv na signál vyslaný družicí, může způsobit chybu až několik metrů. Tato refrakce je závislá na hustotě prostředí, především na množství vodních par [19].

Může se nám stát, že během měření se přežene přes referenční stanici, z které čerpáme korekce přehánka nebo bouřka. Pokud budeme několik desítek kilometrů daleko od referenční stanice, nemusíme ani postřehnout, že někde nějaká bouřka je. Pokud bychom chtěli získat dva nezávislé výsledky z jednoho GNSS měření a nad referenční stanicí, z které bychom čerpali data by byla silná bouřka, mohla by tato skutečnost zapříčinit chybné určení obou výsledků. Čekali jsme na bouřku, která by se přehnala přes nějakou námi vytipovanou referenční stanici. Chtěli jsme zkoumat jak velký vliv na přesnost bude mít procházející bouřka nad referenční stanicí poskytující korekce. Vzali bychom data ze 2 referenčních stanic a jednu stanici prohlásili za určovaný bod. Rozestupy většiny referenčních stanic jsou ale poměrně velké. Jinak řečeno je jen málo dvojic referenčních

stanic, které jsou relativně blízko sobě a právě nad některou z těchto stanic musela přejít bouřka. Sledovali jsme stav počasí pomocí portálu Českého a hydrometeorologického ústavu, ale bohužel žádná bouřka přes námi vytipované území neprošla.

6 Závěr

V teoretické části bakalářské práce byly popsány globální navigační družicové systémy, které jsou v plném operačním provozu – systém NAVSTAR GPS a GLONASS, a globální navigační družicové systém ve fázi rozvoje – Galileo a Compass. Dále byly popsány GNSS metody, které se využívají v geodézii. Jsou to metody, kterými lze dosáhnout vysoké přesnosti. Také byly popsány faktory, které nejvíce ovlivňují GNSS měření a mají vliv na výslednou přesnost.

Praktická část bakalářské práce se zabývá ověřením hypotézy, zda z jednoho měření v jediném časovém intervalu aparaturou GNSS lze získat dvě určení polohy, které bychom mohli považovat za nezávislé. V této navrhované metodě se zpracování GPS a GLONASS satelity odděleně. Za účelem ověření této hypotézy byly zrealizovány dvě měřické kampaně na měřické základně v Nečtinech. K měření byla zvolena rychlá statická metoda. Korekce byly použity ze stanice PLZE. Pro výpočet polohy bodů byl zvolen software pro zpracování GNSS měření TopconTools. Pro výpočet parametru PDOP byly použity programy Pinnacle a Planning Trimble. Z důvodu ještě neúplného systému GLONASS v roce 2010 bylo na některých bodech nedostatek satelitů tohoto zmíněného systému. V roce 2011 byla některá měření ovlivněna příliš vysokými hodnotami parametru PDOP, které zapříčinily nepřesné výsledky. Bylo zjištěno, že i když dnes (v roce 2012) je systém GLONASS již kompletní, je stále problém v některých časových úsecích s příliš vysokými hodnotami parametru PDOP. Získané souřadnice byly převedeny ze systému ETRS89 do systému JTSK pomocí programu TranGPS.

Ze souboru dat bylo vyloučeno první měření na bodě 230, jelikož poloha vypočítaná ze satelitů GLONASS u tohoto měření vyšla velice nepřesně a to z důvodu příliš vysokých hodnot PDOP po celou dobu observace na tomto bodě. Ze zbylého souboru dat byla vypočtena výběrová střední souřadnicová chyba a porovnána s chybou uvedenou ve vyhlášce, s kterou se buduje podrobné polohové bodové pole. Dle vyhlášky se PBPP buduje se střední souřadnicovou chybou 0,06 m a mezní chyba je stanovena hodnotou 0,15 m. Z našeho souboru dat byla vypočtena výběrová střední souřadnicová chyba 0,053 m. Je vidět, že náš soubor dat vyhovuje odchylce, která je daná vyhláškou.

Na našem poměrně malém souboru dat jsme ukázali, že navrhovaný postup, kterým získáme dvě nezávislé určení polohy z jediného měření je teoreticky použitelný. Tato

metoda je efektivnější a časově úspornější než metody, které jsou povoleny vyhláškou. Používání této metody by mohlo přispět k urychlení některých zeměměřických prací.

Literatura

- [1] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2002 [cit. 2012-02-01].
Dostupné z: <http://gis.vsb.cz/dokumenty/dns-gps/view>
- [2] Odbor kosmických technologií a družicových systémů. GNSS systémy [online]. [cit. 2012-04-02].
Dostupné z: <http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/gnss-systemy/>
- [3] LÁSKA, Tomáš, Martin TEŠNAR, Jaroslav SLABÝ a Jan SUKUP. *Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi: Učební texty k semináři* [online]. Brno: VUT, 2010 [cit. 2012-04-03].
Dostupné z:
http://gis.vsb.cz/vojtek/content/gnps_p/files/source/brozura_08_1009.pdf
- [4] Inside GNSS - Engineering Solutions from the Global Navigation Satellite System Community [online]. [cit. 2012-04-02].
Dostupné z: <http://www.insidegnss.com>
- [5] PosiTim: Global Navigation Satellite System (GNSS) [online]. [cit. 2012-04-02].
Dostupné z: http://www.positim.com/navsys_overview.html
- [6] Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics [online]. [cit. 2012-04-03].
Dostupné z: <http://www.gps.gov>
- [7] CLINTON, Bill. Office of the Press Secretary: Improving the Civilian Global Positioning System (GPS) [online]. [cit. 2012-05-12].
Dostupné z: http://clinton3.nara.gov/WH/New/html/20000501_2.html
- [8] Russian Space Agency [online]. [cit. 2012-04-03].
Dostupné z: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>

- [9] ESA - European Space Agency. Galileo navigation [online].[cit. 2012-04-01].
Dostupné z: http://www.esa.int/esaNA/ESAAZZ6708D_galileo_0.html
- [10] European Commission. Satellite Navigation Galileo [online]. [cit. 2012-04-01].
Dostupné z: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/index_en.htm
- [11] China Space Agency [online]. [cit. 2012-04-04].
Dostupné z: <http://www.beidou.gov.cn/>
- [12] Český hydrometeorologický ústav - Infomet. Jak vzniká bouřka [online].
[cit 2012-05-15].
Dostupné z: <http://infomet.cz/index.php?id=read&idd=1307570519>
- [13] MARVART, Leoš a Miloš CIMBÁLNÍK. Vyšší geodézie 2. Praha: ČVUT, 1997.
- [14] VUGTK. Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí [online].
[cit. 2012-04-22].
Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/>
- [15] ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS* [online]. Praha: Karlova univerzita v Praze, 2008 [cit. 2012-04-20].
Dostupné z: <http://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/view>
- [16] Zeměměřický úřad. CZEPOS – Síť permanentních stanic GNSS České republiky [online].[cit. 2012-04-17].
Dostupné z: <http://czeapos.cuzk.cz/>
- [17] Geodis Brno, spol. s r.o. TopNet – Síť permanentních stanic GNSS [online].
[cit. 2012-04-17].
Dostupné z: <http://topnet.geodis.cz/topnet/>

- [18] Trimble. Trimble VRS Now Czech - Síť permanentních stanic GNSS [online].
[cit. 2012-04-17].
Online: <http://www.geotronics.cz/trimble-vrs-now-czech>
- [19] SCHENK, Jan. *Globální polohové systémy v geodézii* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003 [cit. 2012-04-18].
Dostupné z: http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/Globalni_polohove_systemy.pdf
- [20] Vyhláška č. 26/2007 Sb., kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- [21] Topcon Tools. Reference Manual, 2007.
- [22] KRAUS, František. Zpracování geodetických údajů pro bodové pole v katastrálním území Nečtiny [online]. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2012-05-12].
Dostupné z:
http://gis.zcu.cz/studium/ZaverecnePrace/2006/Kraus_Zpracovani_geodetickych_uzemi_Nectiny_BP.pdf
- [23] VESOG [online]. [cit 2012-03-25].
Dostupné z: <http://oko.asu.cas.cz/vesog/>
- [24] Zeměměřický úřad: Nová realizace systému ETRS89 v ČR [online].
[cit.2012-03-25].
Dostupné z:
http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE;=DOK:10-NR_ETRS89
- [25] Vyhláška č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, ve znění

vyhlášky č. 212/1995 Sb., vyhlášky č. 365/2001 Sb., vyhlášky č. 92/2005 Sb. a vyhlášky č. 311/2009 Sb.

[26] EPN – EUREF Permanent Network [online]. [cit.2012-05-01].

Dostupné z: <http://www.epncb.oma.be/>

[27] Zeměměřický úřad. DATAZ – Databáze bodových polí [online]. [cit 2012-01-10].

Dostupné z: <http://bodovapole.cuzk.cz/>

Přílohy

Příloha A. Obsah příloženého CD

BP_ziskani_dvou_nezavislych_poloh_GNSS.pdf

GNSS_data	Zde jsou uložena všechna naměřená data a data z referenční stanice. Data jsou uložena ve dvou adresářích podle roku měření.
PDOP	Zde jsou uloženy tabulky hodnot parametru DOP všech observací vygenerované programem Pinnacle nebo Planning Trimble rozdělené do adresářů podle roku měření, všechny grafy hodnot PDOP a sešit Microsoft Excel, ve kterém byly grafy vyhotoveny.
Transformace	Zde jsou uloženy protokoly transformací z programu TranGPS, použité identické body, souřadnice bodů v systému ETRS89 a souřadnice bodů v systému JTSK.
Vypocet_polohy	Zde jsou uloženy všechny výpočetní protokoly z programu Topcon Tools rozdělené podle roku měření a sešit Microsoft Excel s výpočtem diferencí souřadnic a výběrovou chybou.