

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY
A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ



**Testování spolehlivosti RTK metody
v závislosti na vzdálenosti roveru od referenční
stanice**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Vítězslav Moudrý

Bakalant: Jana Řimnáčová

2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované geoinformatiky a územního
plánování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Řimnáčová Jana

Územní technická a správní služba - kombinované Litvínov

Název práce

Testování spolehlivosti RTK metody v závislosti na vzdálenosti roveru od referenční stanice

Anglický název

RTK reliability testing in dependence on the distance of rover from the reference station

Cíle práce

Cíle práce jsou formulovány obecně v bodech. Dílčí cíle konkretizuje autorka v rámci řešení.

- Literární rešerše
- Zaměření cca 40 bodů do vzdálenosti 30km od zvolené referenční stanice (single reference station)
- Zhodnocení vlivu vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice
- Porovnání dosažené přesnosti se síťovým řešením (multiple reference station)

Metodika

Autorka zpracuje literární rešerši z oblasti globálních navigačních satelitních systémů (GNSS), přičemž se podrobněji zaměří na RTK metodu, chyby ovlivňující měření touto metodou a možnosti jejich eliminace. Přesnost RTK metody je mimo jiné ovlivňována chybou z oběžné dráhy, troposférickou a ionosférickou refrakcí. Velikost této chyby je pak závislá na vzdálenosti referenční stanice a roveru. Autorka provede měření dvoufrekvenční geodetickou GPS aparaturou na cca 40 bodech polohového bodového pole do vzdálenosti 30km od zvolené referenční stanice (single reference station) a vyhodnotí spolehlivost RTK metody v závislosti na vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice. Přesnost dosažených výsledků porovná s publikovanými výsledky síťového řešení (multiple reference station).

Rozsah textové části

30 - 40 stran

Klíčová slova

Autorka zpracuje klíčová slova v rámci řešení práce

Doporučené zdroje informací

Hofmann-Wellenhopf B., Lichtenegger H. & Wasle E., 2008: GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS Galileo & more. Springer Wien, New York.

Klobuchar J. A., 1996: Ionospheric Effects on GPS, Global Positioning Systems: Theory and Applications, Vol I, ed. B.W. Parkinson and J.J. Spilker Jr., American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington DC, pp. 485-516.

Mendes V. B. & Langley R. B., 1994: "A comprehensive analysis of mapping functions used in modeling tropospheric propagation delay in space geodetic data." Proceedings of KIS94, International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Banff, Canada, 30 August - 2 September, 1994, pp. 87-98.

Petrie E. J., Hernández-Pajares M., Spalla P., Moore P. & King M., 2010: A Review of Higher Order Ionospheric Refraction Effects on Dual Frequency GPS. Surveys in Geophysics, 32(3), 197-253. doi: 10.1007/s10712-010-9105-z.

Rapant P., 2002: Družicové polohové systémy. VŠB-TU Ostrava, 200 str. ISBN 80-248-0124-8

Rapant P., 2006: Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠB-TU Ostrava, 500 str. ISBN 80-248-1264-9

Retscher G., 2002: Accuracy performance of virtual reference station (VRS) networks, Journal of Global Positioning Systems 1(1): 40-47

Vollath U., Landau H., Chen X., Doucet K. & Pagels C., 2002: Network RTK versus single base RTK – Understanding the error characteristics, Proceedings of ION GPS 2002, Portland, OR, 2774- 2781

Vedoucí práce

Moudrý Vítězslav, Ing.

Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 15.8.2011

Prohlášení autora BP

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala zcela samostatně, pod vedením Ing. Vítězslava Moudrého. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 25. 4. 2012

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Vítězslavu Moudrému za odbornou pomoc při tvorbě práce. Poděkování patří také skupině Czech Coal Group za zapůjčení GPS aparatury.

ABSTRAKT

Název práce: Testování spolehlivosti RTK metody v závislosti na vzdálenosti roveru od referenční stanice

RTK metoda patří mezi nejpoužívanější měřickou metodu určování prostorových souřadnic. Její přesnost je ovlivněna řadou chyb vznikajících při získávání signálu od družice k přijímači. Některé hypotézy uvádí, že přesnost měření metodou RTK je ovlivněna vzdáleností mezi referenční stanicí a přijímačem (roverem). Tato bakalářská práce je zaměřena na posouzení přesnosti měření systému GPS metodou RTK v závislosti na vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice. Teoretická část obsahuje rešerši o dostupných globálních navigačních satelitních systémech, připravovaných projektech (Galileo) i regionálních satelitních systémech. Podrobněji je zde uveden systém GPS, signály vysílané družicemi i chyby vznikající při měření. Praktická část obsahuje metodiku měření, to znamená výběr měřických bodů, postup měření, způsob zpracování výsledků a analýzu naměřených dat. Zjištěné výsledky jsou v diskuzi porovnány s publikovaným síťovým řešením. Závěr této práce uvádí, že vliv vzdálenosti roveru od referenční stanice na přesnost měření metodou RTK není patrný.

KLÍČOVÁ SLOVA

Globální navigační satelitní systémy, korekce, ionosféra, síťové řešení

ABSTRACT

The title of the work: RTK reliability testing in dependence on the distance of rover from the reference station

RTK method is one of the most common surveying methods for determining the spatial coordinates. Its accuracy is affected by many errors arising from getting the signal from the satellite to the receiver. Some of the hypotheses state that the RTK measurement accuracy method is affected by the distance between the reference station and the receiver (rover). This bachelor thesis is focused on an assessment of GPS system measurement accuracy by the RTK method depending on the distance of the measured point from the reference station. The theoretical part includes a search regarding the available global navigation satellite systems, upcoming projects (Galileo) and even the regional satellite systems. GPS system, the signals transmitted from satellites as well as the errors arising during the measurement are analysed here in more detail. The practical part includes the measurement methodology, which means the selection of measuring points, the measurement procedure, the method of processing the results and the analysis of measured data. The results are compared in a discussion with the published network solution. The conclusion of this work states that the influence of the rover's distance from the reference station using the RTK accuracy measurement method is not evident.

KEY WORDS

Global navigation satellite systems, correction, ionosphere, network solution.

Obsah

1. ÚVOD	9
2. CÍLE PRÁCE	10
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3.1 Globální navigační satelitní systémy	11
3.1.1 GPS	11
3.1.2 GLONASS	14
3.1.3 GALILEO	15
3.1.4 Beidou / Compass.....	17
3.2 Regionální navigační systémy	18
3.2.1 Quasi-Zenith	18
3.2.2 IRNSS.....	19
3.3 Signály systému GPS	19
3.3.1 C / A kód.....	20
3.3.2 P - kód	20
3.3.3 Y - kód	20
3.3.4 Navigační zpráva	21
3.4 Chyby systému GPS.....	21
3.4.1 Konstelace družic.....	22
3.4.2 Chyby efemerid družice	22
3.4.3 Chyby hodin družic	22
3.4.4 Ionosférická refrakce.....	23
3.4.5 Troposférická refrakce	25
3.4.6 Chyba hodin přijímače	26
3.4.7 Ofsety a variace fázového centra antény	27
3.4.8 Vícecestné šíření	27
3.5 GPS metody určování polohy	27
3.5.1 Metody měření při relativním určování polohy bodu	28
3.5.1.1 Statická metoda	28
3.5.1.2 Pseudostatická metoda.....	28
3.5.1.3 Rychlá statická metoda	29
3.5.1.4 Kinematické metody.....	29

4. METODIKA.....	32
4.1 Výběr bodů	32
4.2 Zaměření bodů	32
4.2.1. Postup měření	33
4.2.2 Faktory PDOP ovlivňující přesnost měření.....	35
4.3 Zpracování výsledků měření.....	36
4.4 Použité přístroje a software.....	37
5. VÝSLEDKY.....	38
6. DISKUZE	39
7. ZÁVĚR	41
8. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
9. SEZNAM PŘÍLOH.....	48

1. Úvod

Globální navigační satelitní systémy jsou nedílnou součástí moderní společnosti. Mnohé služby těchto systémů jsou denně využívány miliony uživatelů, kteří si ani neuvědomují jejich existenci. Jedná se nejen o navigační přístroje do automobilů, aplikace mobilních telefonů, systémy sledování pohybů firemních vozidel, ale i propracované sporttestery pro sportovce, kde se zaznamenává např. trasa pohybu s daty o rychlosti (nejvyšší, průměrné), nadmořské výšce a další údaje. To znamená, že pojem navigační systémy nevyjadřuje pouze možnosti navigace, ale i zpětné získávání informací o poloze a možnost práce s těmito daty.

Moderní společnost však vyžaduje neustálé zlepšování technologií, což v této problematice znamená snahu o co nejvyšší přesnost a dostupnost navigačních systémů. Přesnost v určení prostorových souřadnic je dána typem použitých metod měření. Nejpoužívanější a pro okamžité zpracování dat je nejvhodnější metoda RTK, kinematická metoda, která funguje v reálném čase. To znamená, že právě změřené souřadnice jsou ihned k dispozici a lze s nimi pracovat. Přesnost měření ovlivňuje nejen použitá metoda, ale také chyby, o kterých je více uvedeno v kapitole 5. Kromě výše uvedených, přesnost měření RTK metody také ovlivňuje vzdálenost mezi referenční stanicí a roverem, lépe řečeno, s rostoucí vzdáleností mezi roverem a referenční stanicí (nad 15 km) je přesnost měření metodou RTK nižší (El-Rabanny, 2002).

Výše uvedené tvrzení je předmětem zkoumání této bakalářské práce. Pro zjištění vlivu vzdálenosti roveru od referenční stanice na přesnost měření metodou RTK byla vybrána jedna referenční stanice a 39 trigonometrických bodů v pásmu Krušných hor od Klášterce nad Ohří po Teplice. Příjem korekcí z referenčních stanic je placenou službou Czepos (sít' permanentních stanic GNSS České republiky), proto byl výběr jediné referenční stanice, která se nachází zhruba uprostřed zájmového území, nejdostupnější variantou. Naopak Šedivý (2011) ve své bakalářské práci zpracoval menší množství zaměřovaných trigonometrických bodů, nacházejících se v jiné lokalitě a použil více referenčních stanic Czepos a v závěru práce uvádí, že vzdálenost mezi roverem a referenční stanicí nemá vliv na přesnost měření metodou RTK.

2. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je seznámení se s globálními navigačními satelitními systémy, principy měření a chybami vznikajícími při získávání měřených dat. Pro tuto práci bylo vybráno 39 trigonometrických bodů o známých souřadnicích ve vzdálenosti do 30 km od zvolené referenční stanice a 36 z nich bylo opakovaně zaměřeno metodou RTK. Cílem práce je vyhodnocení naměřených dat (v programu Microsoft Excel), porovnání dosažené přesnosti s publikovaným síťovým řešením a prokázání hypotézy o vlivu vzdálenosti roveru od referenční stanice na přesnost měření metodou RTK.

3. Literární rešerše

3.1 Globální navigační satelitní systémy

Globální navigační satelitní systémy (GNSS – Global Navigation Satellite Systems) umožňují z kteréhokoli místa na Zemi (na pevnině, hladině vody a ve vzduchu) určit prostorové souřadnice tohoto místa a rychlost (v případě pohybu přijímače) v souřadnicovém systému, který je společný pro celou Zemi (Rapant, 2006). Primárně jsou tyto systémy určeny pro využití v prostorech, kde je přímá viditelnost na oblohu, odkud je přijímán signál z družic. Avšak poptávka po navigačních systémech fungujících ve vnitřních prostorách (budovách, tunelech atd.) stále roste a v blízké budoucnosti nebude problém určit tyto polohové souřadnice (Gleason, 2009).

Obecně jsou globální navigační satelitní systémy tvořeny třemi segmenty: kosmický, řídicí a uživatelský. Kosmický segment se skládá ze soustavy umělých družic, které jsou systematicky umístěny na přesně definovaných oběžných drahách a vysílají navigační signály (Láska et al., 2010). Řídicí segment je tvořen soustavou pozemních stanic (hlavní řídicí, monitorovací a stanice pro komunikaci s družicemi), které plní řadu úloh (GPS.gov, 2012a). Poslední uživatelský segment tvoří uživatelé svými přijímači, postupy a vyhodnocovacími nástroji.

3.1.1 GPS

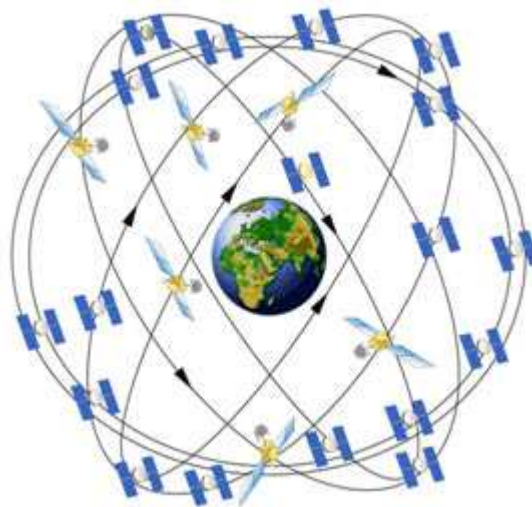
Nejrozšířenějším satelitním systémem je systém NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System). Systém GPS je primárně vojenský, ale je využíván desítkami milionů civilních uživatelů.

K tomuto vysokému počtu civilních uživatelů přispívá zejména (Rapant, 2006):

- vysoká polohová přesnost (od desítek metrů po milimetry)
- dostupnost signálu kdekoliv na Zemi (na povrchu, na moři, ve vzduchu, v blízkém kosmickém prostoru)
- dostupný systém 24 hodin denně za každého počasí
- dostupnost standardní polohové služby civilním uživatelům bez poplatků a její běžné využití za použití cenově snáze dostupných přijímačů (např. mobilní telefony, navigace do automobilů).

Kosmický segment se skládá z minimálně 24 družic (21 družic operativních, 3 záložní pro případ vyřazení z provozu některé z operativních družic). Počet družic obíhajících Zemi se mění z důvodů vypouštění nových a případné likvidaci starých

družic (Čábelka, 2008). Všechny družice obíhají na přesně stanovených oběžných drahách, které mají stálou polohu vůči Zemi (obr. č. 1). Těchto 6 oběžných drah má sklon přibližně 55° vzhledem k rovině rovníku, oběžné dráhy se nachází ve výšce přibližně 20 200 km nad Zemí a doba oběhu družic je 11 hodin a 58 minut (Sedlák et al., 2009). Tato konstelace zaručuje příjem signálu z minimálně 4 družic na kterémkoli místě na Zemi, většinou je tento počet vyšší, mezi 6 – 12 družicemi. Každý hvězdný den (tj. čas, kdy se Země otočí o 360°) se družice nachází ve stejný čas ve stejné konstelaci. Důležitá je také korekce oběžných drah, neboť každá družice má tendence se vychylovat z vyhrazené plochy na oběžné dráze (Rapant, 2002).



obr. č. 1 Konstelace kosmického segmentu (GPS.gov, 2012b)

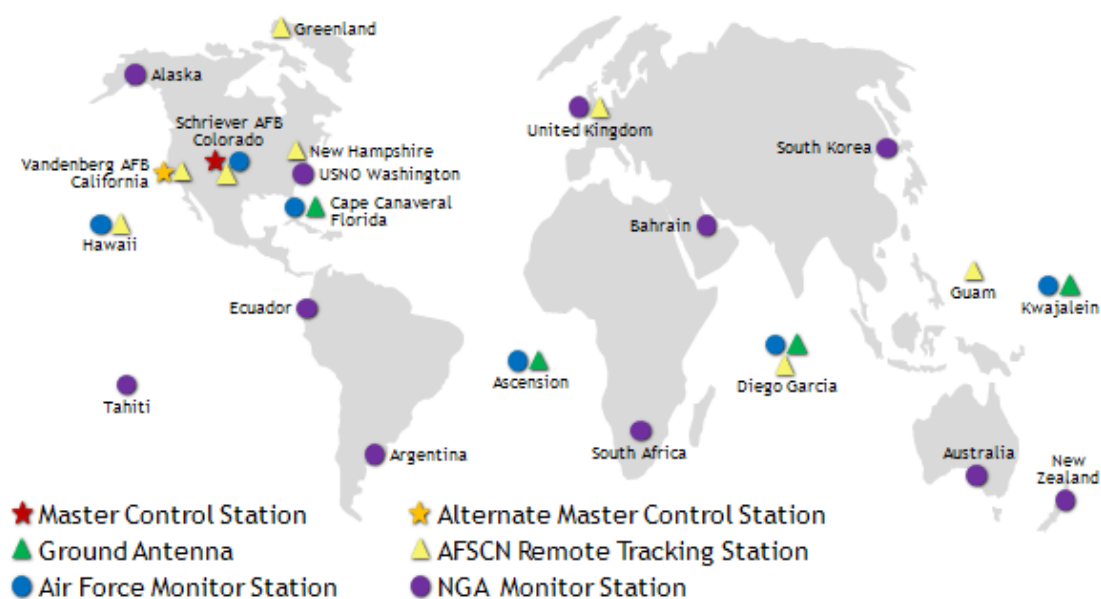
Jednotlivé družice se skládají z těchto částí (Sedlák et al., 2009):

- velmi přesných hodin (césiové hodiny, vyžadující periodickou údržbu, která se provádí přibližně dvakrát do roka a trvá 18 hodin – po tuto dobu se družice ukazuje jako „nezdravá“ (El - Rabbany, 2002))
- radiového vysílače
- systému na převod sluneční energie na elektrickou (sluneční panely vytvářející charakteristický tvar družice)
- pohonného systému
- přijímače signálů a počítače.

V letech 2010 – 2011 proběhla modernizace systému GPS, kdy byly tři vybrané družice přemístěny na jiné vyhrazené místo na oběžné dráze. Tato operace, známá jako „rozšířitelný 24“, začala v lednu 2010 a poslední družice dorazila na své nové místo 15. června 2011. Tato změna zajišťuje celosvětové

pokrytí signálu GPS, silnější signál a vyšší pravděpodobnost získání signálu v místech se složitým terénem (Schriever Air Force Base, 2011).

Řídící segment (obr. č. 2) má na starosti nepřetržitou činnost systému. Jeho prvořadým úkolem z uživatelského hlediska je aktualizace údajů obsažených v navigačních zprávách, které vysílají všechny družice kosmického segmentu (Sedlák et al., 2009). Řídící segment se skládá z hlavní řídicí stanice (MCS = Master Control Station), náhradní řídicí stanice (alternative MCS), dvanácti stanic pro komunikaci s družicemi (command and control antennas) a šestnácti monitorovacích stanic (monitoring sites) (GPS.gov, 2012a).



obr. č. 2 Kontrolní segment (GPS.gov, 2012a)

Hlavní řídicí stanice vypočítává přesné parametry oběžných drah (tzv. efemeridy) a korekce atomových hodin pro jednotlivé družice (El - Rabbany, 2002). Tyto informace vypočítává na základě přijatých měření z pozemních monitorovacích stanic a následně je vysílá stanicím pro komunikaci s družicemi. Stanice pro komunikaci s družicemi vysílají efemeridy a údaje o nastavení hodin jednotlivým družicím (Sedlák et al., 2009). Přijímače GPS pak získávají přesný čas a parametry oběžných drah z příslušných družic (Rapant, 2002). Veškeré pozemní stanice jsou plně automatické, bezobslužné, dálkové řízené z hlavní řídicí stanice. Všechna měření jsou kódová, dvou-frekvenční (viz samostatná kapitola 3.3 Signály systému GPS) a neprovádí se žádné zpracování přijatých dat. Určují se pouze zdánlivé vzdálenosti k družicím a přijímají se navigační zprávy (Rapant 2006).

Uživatelský segment tvoří samotní uživatelé GPS přijímačů a zpracovatelského softwaru. Existují různé typy GPS přijímačů (obr. č. 3), lze je dělit např. (Švábenský et al., 1995):

- dle způsobu použití (ve vesmíru, ve vzduchu, na vodě, pozemní GPS)
- dle způsobu měření na fázové měření a sledování PRN kódu (Pseudo Random Noise – pseudonáhodný šum)
- anebo dle počtu současně sledovaných satelitů na jednonábové, vícekanábové a hybridní.



obr. č. 3 GPS + GLONASS přijímač Leica GS09 GNSS (Geoserver, 2012)

Pro přesné měření je zapotřebí tzv. referenčních stanic, které se umísťují na místa o známých souřadnicích a pomocí těchto referenčních stanic se zjišťují korekce pro mobilní přijímače GPS - rovery. Tato soustava zajišťuje přesné určení prostorových souřadnic s přesností na milimetry, v závislosti na použité měřické metodě.

3.1.2 GLONASS

Dalším ze systémů je ruský pasivní dálkoměrný družicový radiový navigační systém GLONASS (GLObalnaja NAvigacionnaja Sputnikovaja Systěma). Kosmický segment zde tvoří 24 družic (v plném stavu), které obíhají Zemi ve třech orbitálních rovinách, vzájemně posunutých o 120° (na každou rovinu připadne 8 družic) ve výšce 19 100 km (což je níže než u systému GPS). Důsledkem této nižší výšky je kratší oběžná doba družic, a sice 11 hodin a 15 minut (Rao, 2010). To znamená, že z kteréhokoli místa na Zemi je možné „vidět“ minimálně 6 a maximálně 11 družic (Rapant, 2002). Oběžné dráhy jsou přibližně kruhové se sklonem k rovině rovníku 64,8°, což umožňuje satelitům dostat se do odlehlejších polárních oblastí (Rao, 2010). Každých osm dní se identicky opakuje rozmístění družic kolem Země, avšak rozdíl oproti systému GPS je, že po jednom hvězdném dni dochází

k neidentickému opakování (non - identical repeat) – jiná družice zaujme stejné místo jako předchozí (MD, 2012b). S družicemi systému GLONASS lze velmi rychle manipulovat a případná změna oběžné dráhy je možná již během několika dní, na rozdíl od družic systému GPS, kde takováto změna může trvat řádově i měsíce (Rapant, 2002).

Dalším typickým znakem systému GLONASS je charakteristika vysílacích kódů a frekvencí. Pseudonáhodné kódy (P - kód, C / A kód) jsou pro všechny družice stejné, pro identifikaci jednotlivých satelitů má každý svou frekvenci, na které vysílá. To je nazýváno frekvenční identifikace družic (FDMA = frequency division multiple acces) (Láska et al., 2010).

Frekvence L 1 a L 2 jsou definovány těmito vztahy (Láska et al., 2010):

$$L 1 = 1\,602 \text{ MHz} + n * 0,5625 \text{ MHz}$$

$$L 2 = 1\,246 \text{ MHz} + n * 0,4375 \text{ MHz}$$

kde n je číslo frekvenčního kanálu družice.

Pozemní řídicí segment sestává z řídicích a monitorovacích stanic, které jsou všechny umístěny na území Svazu nezávislých států (organizace zahrnující 9 z 15 bývalých svazových republik Sovětského svazu). Hlavní řídicí centrum, sídlící nedaleko Moskvy (70 km jihozápadně od Moskvy), má na starosti zpracovávání a vyhodnocování dat přijatých z ostatních řídicích a monitorovacích stanic (Hofmann - Wellenhofer et Lichtenegger, 2008). Vyhodnocují se přesné parametry oběžných drah družic, korekce družicových hodin a aktualizují se navigační zprávy. Přenos těchto důležitých dat zajišťuje dvakrát denně stanice pro komunikaci s družicemi. Tyto stanice nepřetržitě monitorují signály všech viditelných družic, provádějí laserové měření vzdáleností mezi stanicemi a družicemi. Takto uspořádaný kontrolní a řídicí segment je jistou nevýhodou systému GLONASS, neboť každá družice je zhruba 16 hodin denně mimo dosah kontrolního a řídicího segmentu. Tím je zatíženo monitorování stavu družic a snížena je i přesnost určování efemerid. Proto se u příští generace družic GLONASS – M plánuje, že družice budou schopné vzájemné komunikace a tím i monitorování, což umožní zajistit kontrolu integrity systému i po dobu, kdy jsou družice mimo přímý dosah pozemního řídicího komplexu (Rapant, 2002).

3.1.3 GALILEO

Globální navigační systém Galileo je stejně jako NAVSTAR GPS nebo GLONASS pasivní dálkoměrný systém, který je však ještě ve výstavbě (zprovoznění v základní konfiguraci se očekává v roce 2014) a je financován evropskými státy

přes evropskou kosmickou agenturu, resp. Evropskou unií (Česká kosmická kancelář, 2012). Počátkem devadesátých let 20. století se Evropa začala zabývat myšlenkou vlastního navigačního systému, zejména z důvodu zbavení se závislosti na USA (NAVSTAR GPS). Nicméně první ekonomická ohodnocení projektu a rovněž nejednotnost pohledu států EU výrazně oslabily tyto tendence a Evropa hledala alternativní cestu. Z technických i politických důvodů se v první polovině devadesátých let prosazovala varianta podpory výstavby systému GLONASS (Rapant, 2002). Avšak převážili vyšší politické a ekonomické zájmy a počátkem roku 1999 přijala Evropská unie rozhodnutí vybudovat vlastní navigační systém, který bude garantovat trvalou provozuschopnost. Galileo je prvním společným projektem Evropské unie reprezentované evropskou komisí (EC = European Commission) a Evropskou kosmickou agenturou (ESA = European Space Agency) (Čábelka, 2008).

Kosmický segment Galilea se bude skládat z 30 družic obíhajících ve třech rovinách na kruhových drahách, které budou rozmístěny vždy po 9 aktivních + 1 záložní družici ve výšce 23 222 km. Každá z rovin dráhy bude svírat s rovinou rovníku úhel 56°, což umožní využívat navigační systém bez potíží až do míst ležících na 75° zeměpisné šířky (MD, 2012a). Toto uvítají zejména státy severní Evropy. Systém Galileo bude umožňovat každému uživateli určit jeho aktuální polohu s přesností lepší než jeden metr. Velkou výhodou systému Galileo bude jeho možné propojení se systémem GPS. Tím rapidně vzroste přesnost určení polohy, při použití 6 – 8 družic Galileo + použití dalších viditelných družic GPS bude možné určit aktuální polohu přijímače s přesností až na centimetry. Vyšší počet družic rovněž zvýší kvalitu přijímaného signálu zejména ve městech, kde vysoké budovy brání příjmu signálu z družic, které se nacházejí nízko nad horizontem (European Commission, 2012).

Pozemní řídicí komplex systému Galileo se bude skládat z řídicího centra navigačního systému, globální sítě bezobslužných orbitografických a synchronizačních stanic a řadou dálkově řízených sledovacích, telemetrických a řídicích stanic. Bezobslužné stanice určují zdánlivé vzdálenosti a sledují navigační zprávy všech právě viditelných družic kosmického segmentu. Řídicí centrum má na starosti řízení družic a řízení navigace (Hofmann - Wellenhopf et Lichtenegger, 2008). Řízení družic zahrnuje jejich start a zavedení na oběžnou dráhu, uvedení do provozu a provoz družic. Řízení navigace udržuje systémový čas Galilea a dále zpracovává data přijatá z bezobslužných stanic, určuje efemeridy

družic a korekce hodin. Tato data předává jednotlivým družicím, kde se stávají součástí navigační zprávy (Rapant, 2002).

Realizace systému Galileo probíhá ve čtyřech fázích (Blair, 2011):

1. mise GIOVE (Galileo In - Orbit Validation Element), která má za hlavní cíle: bezpečné použití frekvencí přidělených Mezinárodní telekomunikační unií (ITU); kontrolu nejdůležitějších technologií systému Galileo; charakterizovat nové funkce signálu Galileo včetně ověření příjmu uživatelských signálů a jejich odolnost proti rušení a odrazu (Kramer, 2002).
2. IOV fáze (In - Orbit Validation) – tato fáze je zaměřena na přípravu prostoru Galileo, rozsáhlé testování jak pozemního a uživatelského segmentu, tak i testování provozu čtyř IOV satelitů (zahrnuje doplnění dvou experimentálních GIOVE družic o čtyři provozní IOV družice, které byly vyslány na oběžnou dráhu vždy po dvou během roku 2011) (European Space Agency, 2011).
3. FOC fáze 1 zahrnuje obsazení 18ti družic na oběžnou dráhu (4 IOV družice se doplní o dalších 14, dle plánu by se tak mělo stát v letech 2012 - 2014) a provoz služeb (MD, 2012a):
 - základní služba (Open Service)
 - vyhledávací a záchranná služba (Search And Rescue service)
 - veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service).
4. FOC fáze 2 znamená plný provoz systému Galileo, na oběžné dráze bude plný počet družic (30) a v provozu budou všechny garantované služby, k výše zmíněným přibude:
 - komerční služba (Commercial Service)
 - služba „kritická“ z hlediska bezpečnosti (Safety Of Life service).

3.1.4 Beidou / Compass

Satelitní navigační a polohový systém Beidou / Compass by mohl být zařazen v podkapitole 3.2 regionální navigační satelitní systémy, avšak z důvodu plánovaného rozšíření pokrytí signálu pro celou Zemi je zahrnut v podkapitole globálních navigačních satelitních systémů.

Už v polovině 80. let vyvinula Čína místní navigační systém zvaný Twin - star, který mohla otestovat v roce 1989 pomocí dvou družic DFH - 2A. Testy prokázaly přesnost určení polohy na stejné úrovni jako americký NAVSTAR GPS, možná proto byl v roce 1993 vyhlášen vývoj vlastního nezávislého navigačního systému. Navigační systém Beidou - 1 pracuje na odlišném technologickém postupu oproti GPS, GLONASS nebo Galileo. Zatímco družice těchto systémů obíhají Zemi vzhledem k zemskému povrchu na střední oběžné dráze, systém Beidou - 1 používá geostacionární družice, které jsou výše, ale na stejném místě – Zemi neobíhají. To znamená, že pro fungování systému postačí méně družic oproti GPS a ostatním systémům, ale signál pokryje pouze oblast, nad kterou je družice nastálo. V současné době funguje Beidou - 1 v lokalitě, která se nachází mezi 70° - 140° východní délky a 5° - 55° severní šířky (Samama, 2008).

Systém Beidou - 1 funguje následujícím způsobem: uživatelské zařízení vyšle signál družicím. Družice signál přijmou a vyšlou informaci (obsahující přesný čas příjmu signálu od uživatele) k pozemní stanici. V pozemní stanici je spočítána zeměpisná šířka a délka polohy uživatele, nadmořská výška je spočítána z digitálního modelu terénu. Tato 3D informace je z pozemní stanice vyslána družici a ta přepoše tuto informaci uživateli (MD, 2012c). V současné době je ve fázi budování globální navigační systém Compass, který bude v plné sestavě obsahovat 35 družic, z toho 5 geostacionárních, které budou svým signálem pokrývat celou Zemi. Compass bude poskytovat dva druhy služeb: volnou, která bude dostupná civilním uživatelům s přesností určení polohy na 10 m a licencované služby s vyšší přesností pro autorizované uživatele a vojenské složky. Tato služba bude sloužit i pro komunikaci a bude uživatelům poskytovat informace o stavu systému (Samama, 2008).

3.2 Regionální navigační systémy

Vedle globálních navigačních satelitních systémů existují i regionální, tedy místní navigační systémy.

3.2.1 Quasi - Zenith

Například japonský navigační družicový systém Quasi - Zenith, který je koncipován pro zpřesnění systému GPS. V japonských horách a podobně v úzkých ulicích s vysokými budovami je problém s příjmem signálu z družic systému GPS, proto byl vyvinut systém Quasi - Zenith, který využívá tři geostacionární družice. Spolupracuje se systémem GPS a tím zlepšuje dostupnost družic a přesnost určení polohy (Iwata et al., 2011).

3.2.2 IRNSS

Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS) jak už název napovídá je další regionální navigační systém, který je vyvíjen indickou organizací pro vesmírný průzkum a bude přímo řízen indickou vládou. Projekt je vyvíjen se záměrem zlepšit kvalitu indického bezpečnostního systému. Provoz první družice měl být zahájen na konci roku 2011 a s odstupem šesti měsíců se bude pokračovat dále až do roku 2014, kdy by dle plánů mělo být všech sedm družic v provozu (Pakistan defence, 2012). Přesnost určení polohy by měla být do 20 m (Majithiya et al., 2012).

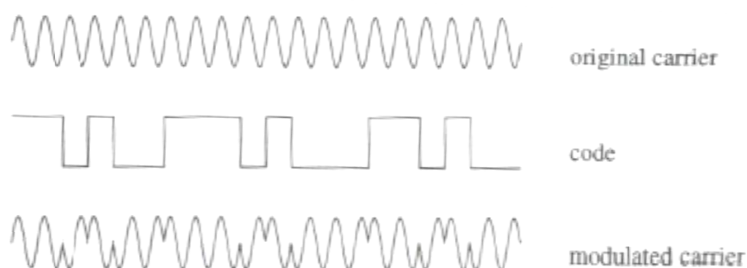
3.3 Signály systému GPS

Jak již bylo výše uvedeno, kosmický, uživatelský i řídicí segment globálních navigačních satelitních systémů mezi sebou komunikuje pomocí signálů. Tyto signály jsou soustavou modulovaných frekvencí (obr. č. 4), které vycházejí ze základní frekvence družicového oscilátoru: $f_0 = 10,23$ MHz (Kayton et Fried, 1997). Pro standardní polohové služby (SPS – standard positioning service) je modulována první sinusová nosná frekvence označovaná L 1, pro přesné polohové služby (PPS – precise positioning service) je modulována druhá sinusová nosná frekvence označovaná L 2, která umožňuje měření zpoždění signálu při průchodu ionosférou (Rapant, 2006).

Nosné frekvence L 1 a L 2 jsou vypočteny celočíselným násobkem základní frekvence a jejich parametry jsou následující (Mervart et Cimbálník, 1997):

$$f_1 = 154 * f_0; L 1 = 1574,42 \text{ MHz, kde vlnová délka je } 19 \text{ cm.}$$

$$f_2 = 120 * f_0; L 2 = 1227,60 \text{ MHz, kde vlnová délka je } 24 \text{ cm.}$$



obr. č. 4 Princip modulace družicového signálu (Mervart et Cimbálník, 1997)

Většina civilních uživatelů používá přijímače GPS využívající pouze první nosnou frekvenci. Ta je modulována dvěma dálkoměrnými kódy, z čehož je pro civilní uživatele dostačující C / A kód (coarse acquisition, C / A code), což vyplývá z jeho názvu – hrubý / dostupný kód. Druhým kódem je tzv. P - kód

(precision, P - code), přesný kód, který může být pro vojenské účely zašifrován – pak se označuje Y - kód. Druhá nosná frekvence L 2 je modulována pouze P - kódem, v případě šifrování Y - kódem (Sedlák et al., 2009). Kromě výše uvedených kódů je oběma frekvencemi přenášen binární kód, který obsahuje navigační zprávu a jeho kódování je zajištěno fázovými posuny nosných vln. C / A kód není šifrován, ale v případě potřeby má provozovatel GPS možnost snížení přesnosti tohoto kódu tzv. selektivní dostupností (SA – selective availability) tak, aby pozemní přijímače vypočetly aktuální polohu s chybou až 100 m (Rapant, 2006).

3.3.1 C / A kód

Moduluje nosnou frekvenci L 1 a přitom každá družice vysílá jedinečný C / A kód, který je určen pseudonáhodnou posloupností 1023 nul a jedniček. Tato posloupnost je blízká pseudonáhodnému šumu (PRN – pseudo random noise), ale přesto je jednoznačně definovaná. Frekvence C / A kódu vychází ze základní frekvence $f_0 / 10 = 1,023$ MHz, a vzhledem k velikosti posloupnosti kódu se děje jeho opakování každou milisekundu (El - Rabbany, 2002).

3.3.2 P - kód

Přesný kód – precise, nebo také protect – chráněný, moduluje obě nosné frekvence L 1 i L 2 a oproti C / A kódu je kratší a rychlejší. Díky těmto dvěma faktům je měření pomocí P - kódu přesnější, a proto jsou přijímače vysílající na obou frekvencích využívány pouze určitými skupinami civilních uživatelů, například geodety. Frekvence P - kódu je stejná jako základní frekvence $f_0 = 10,23$ MHz (Sedlák et al., 2009). Přesný kód je rozčleněn do sedmidenních sekvencí a každých sedm dní se opakuje (Rapant, 2006). Některé družice jsou vybaveny ochranným systémem AntiSpoofing (AS), který zabraňuje zneužití P - kódu (Mervart et Cimbálník, 1997).

3.3.3 Y - kód

V podstatě se jedná o šifrovaný P - kód. Dešifrovat tento kód mohou jen oprávnění uživatelé, kteří znají příslušné rovnice (které jsou pro civilní uživatele tajné). Aktivaci Y - kódu může provést pouze provozovatel NAVSTAR GPS – americká armáda. Pokud k tomu dojde, civilní uživatelé nemohou využívat P - kód ani Y - kód. Dvojice těchto kódů je základem přesné polohové služby (Sedlák, 2009).

3.3.4 Navigační zpráva

Je soubor údajů o družici, parametrů ostatních družic a jiné další informace, které vysílá každá družice. Díky těmto informacím jsou přijímače GPS schopné počítat přesnou polohu družice a přesný čas odeslání přijaté sekvence dálkoměrného kódu. V případě jedno-frekvenčního měření lze vypočítat z údajů v navigační zprávě korekce pro ionosférickou refrakci (Láska et al., 2010).

Údaje obsažené v navigační zprávě jsou (Rapant, 2006):

- přesné parametry oběžné dráhy družice
- almanach – přibližné parametry běžných drah všech družic kosmického segmentu
- údaje umožňující přesně korigovat čas vysílání družice
- koeficienty ionosférického modelu
- stav družice

3.4 Chyby systému GPS

Výsledky GPS měření jsou ovlivňovány mnoha rušivými faktory, které lze rozdělit na náhodné a systematické chyby. Mezi zdroje systematických chyb patří nepřesná znalost dráhy družic, chyba družicových hodin, zpoždění signálu způsobená atmosférou, chyba hodin přijímače, relativistické efekty, variace fázového centra antény přijímače apod. (Mervart et Cimbálník, 1997). Maximální velikosti některých chyb jsou znázorněny v tabulce č. 1. Podle toho, kde rušivé faktory vznikají, je lze rozdělit na následující skupiny (Švábenský, 2005):

- konstelace družic (vliv vzájemné konfigurace přijímače a družic vyjadřovaný faktory DOP)
- družice (chyby drah družic, chyby hodin družic)
- průchod signálu atmosférou (ionosférická a troposférická refrakce)
- přijímací aparatura (chyba hodin přijímače, ofsety a variace fázového centra antény)
- místo měření (vliv okolního prostředí, chyby centrace, vícecestné šíření a difrakce signálu).

<i>Zdroje chyb</i>	<i>Max. velikost chyby [m]</i>
<i>družicové hodiny</i>	<i>40 m</i>
<i>efemeridy družic</i>	<i>15 m</i>
<i>oběžná dráha</i>	<i>5 m</i>
<i>S/A</i>	<i>10 m</i>
<i>vliv ionosféry</i>	<i>12 m</i>
<i>vliv troposféry</i>	<i>3 m</i>
<i>PRN šum</i>	<i>1 m</i>
<i>šum přijímače</i>	<i>2 m</i>
<i>odražené signály</i>	<i>2 m</i>

tab. č. 1 zdroje a velikosti chyb (Sedlák et al., 2009)

3.4.1 Konstelace družic

Geometrické uspořádání družic, z kterých je signál přijímán, výrazně ovlivňuje přesnost určení polohy přijímače (Rapant, 2002). Pokud jsou družice rozloženy ve svazcích relativně blízko u sebe, je přesnost určení polohy přijímače výrazně nižší, než když tyto stejné družice budou rozmístěny po celém viditelném prostoru (Rao, 2010). Kvalita geometrického uspořádání družic je označována parametrem DOP (Dilution of Precision) – snížení přesnosti. Nižší hodnota znamená lepší uspořádání družic a lepší přesnost (Rapant, 2002).

3.4.2 Chyby efemerid družice

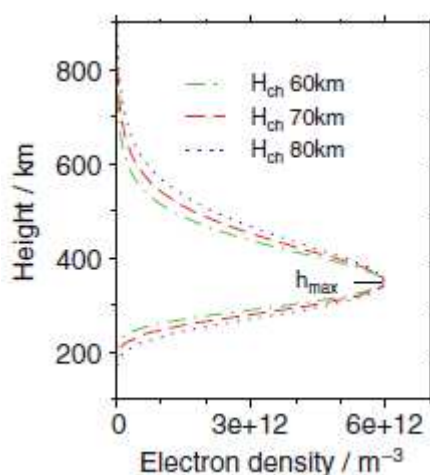
Pozemní monitorovací stanice průběžně monitorují dráhy družic (efemeridy), také je předpovídají a tyto předpovědi vysílají přes družice až k přijímači. Přesnost předpovědi efemerid družice je řádově několik metrů (Čábelka, 2008). Přibližné efemeridy mohou mít platnost až tři měsíců, ale pouze v tom případě, pokud nedojde k zásahu do konstelace družic. Přesnosti určení efemerid má na starost obsluha řídicího segmentu GPS a uživatel ji nemůže nijak ovlivnit. Pokud družice obdrží efemeridy chybné, pracuje s nimi až do doby získání efemerid nových (Rapant, 2002).

3.4.3 Chyby hodin družic

V některých družicích jsou umístěny atomové hodiny dvojího typu: cesiové a rubidiové. Zpravidla cesiové jsou vybrány pro určování času a rubidiové jsou záložní (El - Rabbany, 2002). Avšak i tyto velmi přesné hodiny jsou schopny během tří hodin nasbírat chybu asi jedné biliontiny sekundy. Proto pozemní monitorovací stanice kontrolují satelitní hodiny všech družic a srovnávají se s hlavním řídicím hodinovým systémem (ten je tvořen více než deseti velmi přesnými atomovými hodinami) (Čábelka, 2008). Korekce satelitních hodin jsou součástí navigačních zpráv vysílaných z pozemních monitorovacích stanic (El - Rabbany, 2002).

3.4.4 Ionosférická refrakce

Ionosférická refrakce neboli vliv ionosféry na šíření elektromagnetických vln (Mervart et Cimbálník, 1997). Vrstva ionosféry obklopuje Zemi ve výšce cca 50 - 1000 km nad Zemským povrchem (Klobuchar, 1991) a dělí se na několik vrstev: D (60-90 km), E (90-150 km) a F (150-800 km). Vrstva F se ve dne dělí na F 1 a F 2. Ionosféra je nabitá kladně a naproti tomu Zemský povrch je nabit přibližně stejně velkým nábojem opačné polarity (Kaizer, 2004). Frekvence radiových vln, které jsou nižší, než 30 MHz, se v ionosféře chovají jako zrcadlo. Jsou ohýbány zpět k Zemi, čímž prodlužují délku radiových vln. Systém GPS používá vyšší frekvence, které projdou skrz ionosféru, ale přesto je rychlost průchodu radiových vln skrz ionosféru ovlivněna hustotou volných elektronů. Čím větší je hustota elektronů, tím větší je rychlost radiových vln (Klobuchar, 1991). Chapmanův profil (obr. č. 5) vyjadřuje funkci udávající počet volných elektronů v závislosti na výšce nad Zemským povrchem (Petrie, 2010).

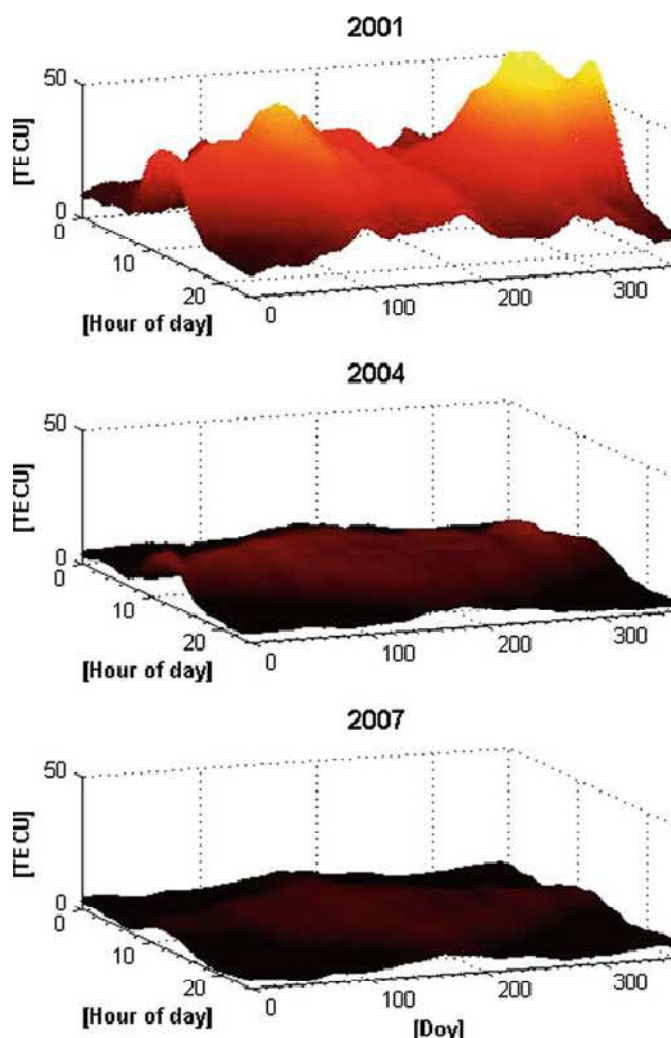


obr. č. 5 Chapmanův profil (Petrie, 2010)

Hustota elektronů (TEC – Total Electron Content – celkový obsah elektronů) se mění v závislosti na denní době, ročním období, geografickém území a fázi slunečního cyklu (Kasal, 2012). Elektronová hustota dosahuje denního maxima v časném odpoledni a minima o půlnoci místního času, v zimě je vyšší než v létě, v polárních a rovníkových oblastech je velmi nerovnoměrná a každých 11 let dosahuje maximálních hodnot. Vrchol fáze slunečního cyklu byl v roce 2001, jak je patrné z obr. č. 6 vyjadřujícího proměnlivost obsahu elektronů v ionosféře) (El - Rabbany, 2002).

Korekce pro vliv ionosféry lze počítat z obsahu volných elektronů v atmosféře anebo početní eliminací, kde se využívá dvou nosných frekvencí signálu GPS (Čábelka, 2008). Použití dvou-frekvenčních přijímačů eliminuje

ionosférickou refrakci prvního řádu, avšak pokud je vyžadována milimetrová přesnost, je nutné brát v úvahu ionosférické efekty vyšších řádů, které jsou závislé na hustotě elektronů. Korekce pro ionosférické efekty druhého řádu by mohlo vyřešit zavedení třetí nosné frekvence L 3 pro systémy GPS a GALILEO, založené na principu dvojitych diferencí (Hoque et Jakowski, 2006). Ionosférické efekty třetího řádu řeší korekce pro kvadratickou opravu indexu lomu a korekce ohýbání paprsku v nehomogenní vrstvě ionosféry (Kim et Tinin, 2006).



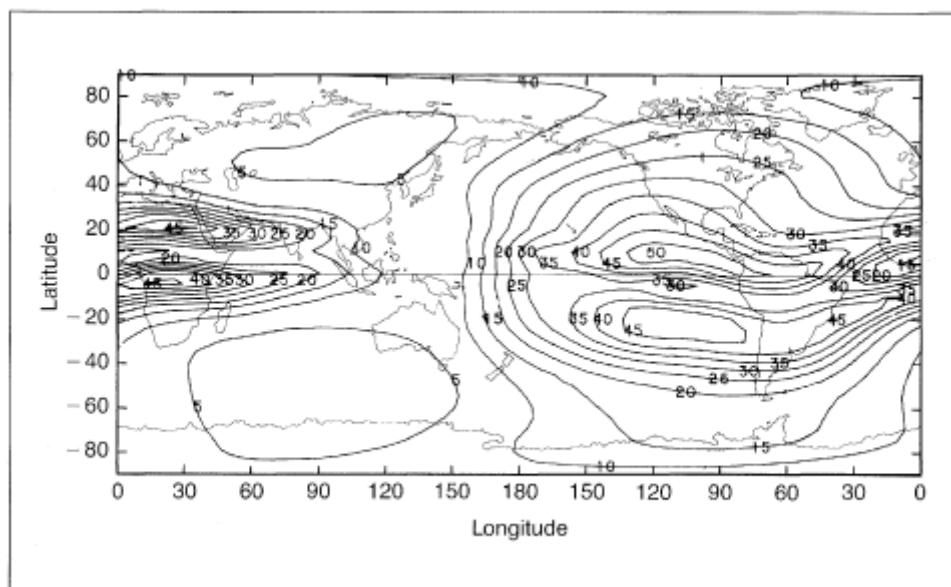
Obr. č. 6 hustota elektronů v ionosféře v letech 2001, 2004 a 2007 (Jakobsen et al., 2010)

Pro přesné měření jedno-frekvenčním přijímačem jsou zavedeny různé modely ionosféry (Jakobsen et al., 2010), na obrázku č. 7 je zobrazen globální model ionosféry.

Vzdálenost roveru od referenční stanice může mít vliv na přesnost měření, a to v závislosti na intenzitě sluneční aktivity (fázi slunečního cyklu) a zeměpisné šířce. V nízkých zeměpisných šířkách (střední Evropa) je vliv vzdálenosti roveru od referenční stanice na přesnost měření méně patrný, než je tomu ve středních

zeměpisných šířkách. Tento problém je řešen pomocí síťového řešení (Wanninger, 1999).

Zpoždění vlivem ionosféry nazývá Klobuchar (1991) skupinovým zpožděním (group delay), protože vysílaný signál je složen z mnoha (jen lehce odlišných) čistých sinusových vln. Rozsah skupinového zpoždění je identický jako rozsah fázového posunu s tím rozdílem, že skupinové zpoždění je opačného znaménka. Termín fázový posun (phase advance) je vyjádřen rozdílem rychlejšího průchodu radiových vln atmosférou oproti průchodu ve vakuu.



obr. č. 7 globální model ionosféry (Klobuchar, 1991)

3.4.5 Troposférická refrakce

Troposféra je elektricky neutrální část atmosféry sahající do výšky cca 50 km nad Zemským povrchem. Troposféra není disperzní pro rádiové frekvence nižší 15 GHz, což znamená, že měřená vzdálenost družice – přijímač bude delší, než skutečná geometrická vzdálenost (EI - Rabbany, 2002).

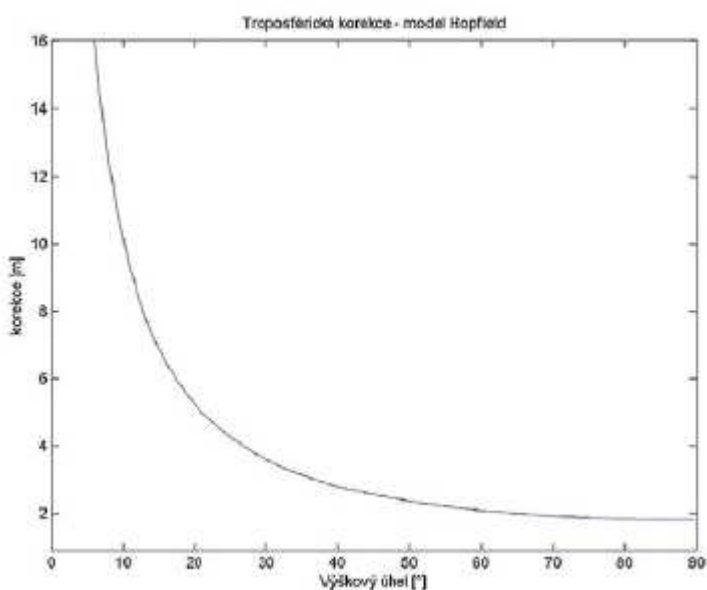
Troposférickou refrakci lze rozdělit na tzv. suchou a mokrou část. Suchá část je způsobena suchou atmosférou – bez vodních par, mokrá je způsobena vodními parami. Troposférická refrakce je způsobena z 90 % suchou částí atmosféry (Mervart et Cimbálník, 1997). Neutrální atmosféra ovlivňuje šíření vln, což způsobuje zpoždění a v menší míře ohyb paprsku (Mendes et Langley, 1994).

Na rozdíl od ionosférické refrakce, troposférická refrakce není závislá na frekvenci, tudíž dvou-frekvenční přijímače neřeší tuto chybu. Troposférické zpoždění závisí na tlaku, teplotě a vlhkosti prostředí kolem signálu procházejícího troposférou (EI - Rabbany, 2002). Troposférická refrakce závisí také na vzdálenosti,

kerou signál prochází neutrální atmosférou. Velikost troposférické refrakce také závisí na elevačním (výškovém) úhlu družice (obr. č. 8), čím níž nad horizontem se družice nachází (elevační úhel se blíží 0), průchod signálu troposférou je delší a tím pádem je troposférická korekce větší (Čábelka, 2008).

Vliv troposférické refrakce na signál GPS se řeší pomocí několika modelů: Saastamoinenův, Hopfieldové, zjednodušený model Hopfieldové a diferenciální refrakční model (Mervart et Cimbálník, 1997). Výběr konkrétního modelu troposférické refrakce může mít za následek systematické chyby. Proto je vhodné použít několik, na sobě nezávislých přesných modelů, které umožňují snížení vlivu systematických chyb na přesnost měření (Duev et al., 2011).

Modely troposférické refrakce (Saastamoinenův, Hopfieldové) závisí na přímých meteorologických měřeních a nejsou vhodné pro přesné určování polohy v reálném čase (metoda RTK). Existuje však více modelů troposférické refrakce, např. UNB, UNB3, UNB3m, ZTD (Zenith Tropospheric Delay), které více vysvětluje Li et al. (2012).



obr. č. 8 závislost troposférické korekce na výškovém úhlu družice (model Hopfield)
(Čábelka, 2008)

3.4.6 Chyba hodin přijímače

Mezi největší chybu patří chyba hodin přijímače. Hodiny přijímače jsou mnohem horší kvality, než hodiny satelitní (ty jsou velmi drahé a váží více než 20 kg (Čábelka, 2008) a proto se nevyužívají v přijímačích). Korekce pro opravu hodin vysílá družice k přijímači a uživatel tuto chybu nemůže nijak ovlivnit (Rapant, 2002). Chybu hodin přijímače je nutné uvažovat při výpočtu prostorových souřadnic jako

čtvrtý neznámý parametr v soustavě čtyř rovnic o čtyřech neznámých. Určování prostorových souřadnic proto závisí na viditelnosti minimálně čtyř satelitů (tři neznámé parametry jsou prostorové souřadnice, čtvrtým je chyba hodin přijímače) (Mervart et Cimbálník, 1997). Určení polohy přijímače je vypočteno ze vzdáleností mezi družicí a přijímačem a tato vzdálenost se vypočítává na základě času vyslání signálu z družice a příjmu signálu přijímačem, proto je přesnost hodin přijímače tak důležitá.

3.4.7 Ofsety a variace fázového centra antény

Fázová centra antény jsou body nacházející se v anténě přijímače, ke kterým se vztahuje geometrická vzdálenost. Geometrickou vzdáleností je myšlena vzdálenost mezi družicí v čase vyslání signálu a přijímačem v čase přijetí signálu. Fázová centra antény je potřeba přesně určit v případě velmi přesného měření – centimetrové i milimetrové přesnosti (Mervart et Cimbálník, 1997). Obecně platí, že fázové centrum antény není shodné s geometrickým středem antény. To se liší v závislosti na nadmořské výšce, azimutu družice a intenzitě přijatých signálů. Velikost této chyby záleží na typu antény a řádově se pohybuje v centimetrech (El - Rabbany, 2002).

3.4.8 Vícecestné šíření

Kvalita přijímaného signálu může být negativně ovlivněna vícecestným šířením (multipath). To znamená, že anténa přijímače přijímá dva signály: signál přímo z družice a nepřímý signál, který je odražen od okolních objektů (vysoké kovové nebo skleněné objekty, lesklé plochy – vodní hladiny, skalnaté útvary, ale i vozidla) (Rao, 2010). Tyto dva signály jsou příčinou chybného určení pseudovzdálenosti. Velikost těchto chyb závisí na druhu antény přijímače, na její schopnosti eliminovat vlivy odražených signálů, ale také na poloze satelitu vzhledem k obzoru. Je doporučeno vyrušit z měření všechny družice, které se nacházejí níže než 15° nad obzorem (Sedlák et al., 2009).

3.5 GPS metody určování polohy

Určení polohy přijímače v systému GPS je možno rozdělit na dvě základní metody: absolutní a relativní určování polohy bodu.

Absolutní určování polohy bodu (piont positioning) je prováděno v geocentrickém souřadnicovém systému WGS – 84 v reálném čase (Švábenský, 1995). Pro měření stačí použití pouze jedné přijímací armatury. Vzdálenosti mezi družicí a přijímačem jsou určovány pomocí pseudovzdáleností.

Absolutní určování polohy je využíváno především v navigaci (Čábelka, 2008). Přesnost tohoto způsobu určení polohy bodu je závislá na použití dálkoměrných kódů, buď pouze C / A kódu nebo použití C / A kódu současně s P - kódem (EI - Rabbany, 2002). Přesnost se pohybuje od jednoho do deseti metrů v závislosti na použití výše uvedených kódů (Švábenský, 1995).

Relativní určování polohy bodu (relative positioning) využívá fázových pozorování a při měření se používá minimálně dvou přijímačů zároveň. Nutnost alespoň dvou přijímačů vyplývá z potřeby použití tzv. referenční stanice. Referenční stanici představuje přijímač, který v průběhu měření nemění svoji polohu (Bureš et al., 2004) a je umístěn na bodě o známých souřadnicích. Přesnost těchto měření dosahuje řádově až milimetrů (v závislosti na použité metodě) a proto se relativní určování polohy používá zejména pro geodetická měření (Čábelka, 2008).

3.5.1 Metody měření při relativním určování polohy bodu

Metody relativního určování polohy bodu se dají rozdělit na dvě skupiny, statické a dynamické. Statická metoda spočívá v dlouhé, někdy i několikahodinové observační době, vysoké přesnosti měření – až jeden milimetr a zpracování dat až po ukončení měření (postprocessing) (Bureš et al., 2004). Oba přijímače jsou přítom na místě, na rozdíl od metod dynamických, kde jeden přijímač tvoří referenční stanice a druhý (rover) se pohybuje a provádí měření. Dynamické techniky lze dělit na tyto metody (Rapant, 2002):

- statická
- pseudostatická
- rychlá statická
- kinematické

3.5.1.1 Statická metoda.

Při statické metodě je na bodě o známých souřadnicích umístěna referenční stanice a druhý přijímač (popřípadě více přijímačů) je umístěn na bod, jehož souřadnice se budou zjišťovat. Podmínkou je viditelnost stejných satelitů (EI - Rabbany, 2002).

3.5.1.2 Pseudostatická metoda.

Tato metoda tvoří kompromis mezi metodou statickou a kinematickou. Používá se při měření, kde není možnost trvalého příjmu signálu z družic v době při přesunu mezi body. Má stejnou přesnost jako metoda statická a vyžaduje kratší dobu observace: 5 - 10 minut. Avšak každý takto měřený bod musí být zaměřen

alespoň dvakrát, s rozestupem minimálně jedné hodiny – z důvodu změny konstelace družic (Rapant, 2002).

3.5.1.3 Rychlá statická metoda

Pro svou krátkou dobu observace je rychlá statická (fast static) metoda nejvíce používanou statickou metodou v geodézii. Princip měření je stejný jako při měření statické metody, rychlá statická metoda je tedy ekonomičtější. Doba měření se pohybuje od 10 do 30 minut, dle typu přijímače a konfigurace satelitů (Mervart et Cimbálník, 1997).

3.5.1.4 Kinematické metody

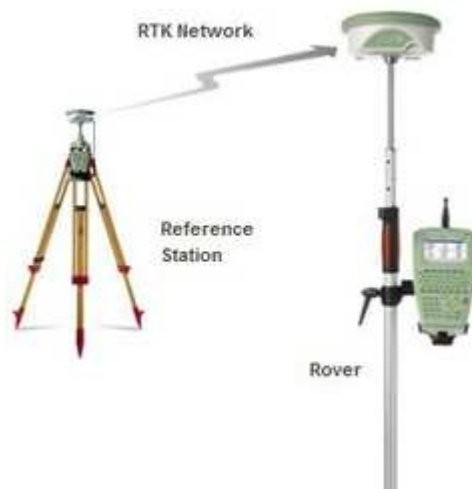
Metoda Stop & Go je polokinematická metoda, kde se na počátku měření inicializuje přijímač (vyřešení ambiguit), to trvá několik minut, poté probíhá vlastní měření. Na výchozím bodě zůstane referenční přijímač, druhý přijímač měří podrobné body ve více epochách a nakonec se vrátí zpět na výchozí bod. Přesnost této metody se pohybuje na úrovni 1 – 2 cm (Švábenský, 1995).

Klasická kinematická metoda je podobná metodě Stop & Go, na počátku měření je opět provedena několikaminutová inicializace a poté se poloha podrobných bodů určuje v předem nastavených časových intervalech. Přesnost této metody je na úrovni 2 – 5 cm. U obou výše uvedených metod se data zpracovávají až po skončení měření – postprocessing (Bureš et al., 2004).

Diferenční GPS (DGPS) – tato metoda jako jediná využívá pouze kódových měření. Její přesnost je vhodná pro mapování ve středních měřítcích. Metoda je založena na skutečnosti, že chyby měřených pseudovzdáleností jsou silně korelovány pro nepříliš vzdálené přijímače. Pokud bude jeden přijímač umístěn na bodě o známých souřadnicích, může chyby pseudovzdáleností vypočítat a v reálném čase je předat druhému přijímači (Mervart et Cimbálník, 1997).

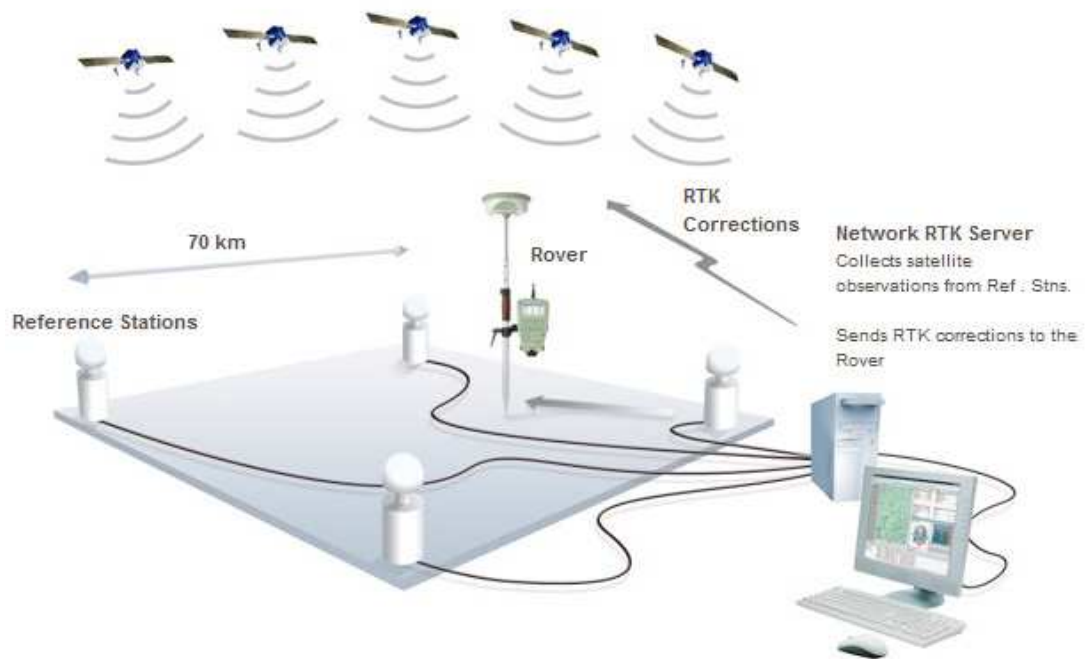
RTK metoda. Real Time Kinematic – metoda, která nabízí v reálném čase přesnost blízkou statické metodě: ± 2 cm (Gopi, 2005). Opět je potřeba minimálně dvou přijímačů – referenční stanice a roveru. Referenční stanice je přímo napojená na rover (GSM, internet...) a nepřetržitě vysílá korekce, jak znázorňuje obr. č. 9. Druhý přijímač (rover) se pohybuje po zaměřovaných bodech, musí neustále sledovat minimálně čtyři družice a před měřením je zapotřebí inicializace. Velkou výhodou této metody je možnost vytyčování, okamžitá znalost výsledků měření a přesnosti, s jakou byly body určeny (Sedlák et al., 2009). Tuto metodu je vhodné použít, pokud: je potřeba určit velké množství bodů v blízkém okolí referenční

stanice (tj. 10 – 15 km); tyto souřadnice jsou zapotřebí v reálném čase, a pokud je dobrá viditelnost družic (El - Rabbany, 2002).



obr. č. 9 vztah referenční stanice a roveru (Leica Geosystems, 2012)

Pokud je zapotřebí měření bodů více vzdálenějších od referenční stanice, než umožňuje RTK, nabízí se síťové řešení – Network RTK (obr. č. 10). Síťové řešení odstraní velké množství chyb způsobených ionosférou, troposférou a chyb z oběžných drah družic (Crespi et al., 2012). Síťové řešení vyžaduje minimálně 5 referenčních stanic, které jsou permanentně umístěny na bodech o známých souřadnicích a jsou od sebe vzdáleny do 70 km. Maximální počet těchto permanentních referenčních stanic není stanoven (Leica Geosystems, 2012). Referenční stanice nejdříve určí chyby v síti, po vyhodnocení jsou přeneseny na rover. Čím více je v síti referenčních stanic, tím náročnější je vyhodnocení oprav, proto se zavádí různé techniky filtrů (GPS World, 2007). Tyto výpočty zajišťuje centrální server napojený na referenční stanice a opravy vysílá roveru (Leica Geosystems, 2012).



obr. č. 10 network RTK (Leica Geosystems, 2012).

4. Metodika

4.1 Výběr bodů

Výběr bodů spočíval ve vytvoření přehledového schématu zájmového území, v tomto případě okolí Krušných hor v rozmezí od Klášterce nad Ohří po Teplice v Čechách. Toto území bylo vybráno z hlediska polohy referenční stanice (dále jen RS) skupiny Czech Coal Group sídlící v katastrálním území Ervěnice (nejbližší RS Czepos se nachází v Rakovníku, Litoměřicích nebo Karlových Varech) a vzdáleností trigonometrických bodů do 30 km východně a západně od této RS. Přehledové schéma zájmového území (Příloha č. 1) bylo vytvořeno na podkladech získaných z portálu ČÚZK (Český úřad zeměměřický a katastrální), s vyznačením polohového bodového pole a s čísly těchto bodů. Jednotlivé body byly vybrány dle následujících parametrů:

- souřadnice určeny v systému WGS-84
- rozestup jednotlivých bodů
- přístupnost bodů vzhledem k dopravní obslužnosti
- dostupnost bodů vzhledem k vegetaci – možné zastínění vzrostlými stromy
- nadmořské výšky jednotlivých bodů

Nadmořské výšky trigonometrických bodů byly důležitou součástí parametrů pro výběr bodů, jelikož ve vybraném zájmovém území Krušných hor je velice členitý reliéf a zaměření těchto bodů může přinést zajímavé výsledky.

Jednotlivé body byly zpracovány do přehledné tabulky (Příloha č. 2) s uvedením čísla bodu, přesného názvu bodu, místa pro bližší informaci o poloze bodu vůči obcím, souřadnic bodu v systému WGS - 84 získané z databáze bodových polí ČÚZK a vzdálenosti od RS. Ke každému bodu byl připraven místopis (geodetické údaje), získaný z portálu ČÚZK (viz příloha č. 3) a z mapového prohlížeče google byla zjištěna bližší přístupnost k bodu.

4.2 Zaměření bodů

Po získání veškerých potřebných podkladů, zejména informací o poloze bodu, byla vybrána co nejvhodnější trasa s počtem 7 – 10 bodů, podle vzdálenosti od výjezdního místa – Litvínova tak, aby tyto body byly zaměřeny v jeden den. Hlediskem byla co nejkratší trasa zahrnující co nejvíce bodů tak, aby byla efektivně využita celá trasa. Pro měření bodů bylo vybráno období srpen – září 2011,

s předpokladem teplého letního počasí, ale po většinu měření bylo chladno a deštivo.

Nebyly zaměřeny body 0612 - 203.2 Cínovec - kostel a 0617 - 201.1 Moldava - kostel, jelikož po vytrvalém dešti byly rozmáčené přístupové polní cesty, po kterých se bylo možné dopravovat pouze terénním vozem, který ovšem nebyl k dispozici. Pěší přístup v tomto případě by byl časově náročný, proto bylo od zaměření těchto bodů upuštěno. Bod 0624 - 43 Na návrší nemohl být zaměřen, jelikož byl zrušen v srpnu r. 2011 z důvodu postupu těžby lomu Jan Šverma.

Každý bod byl zaměřen dvakrát s časovým rozestupem minimálně jedné hodiny z důvodu různého postavení satelitů. Aby byla splněna tato podmínka, bylo druhé měření zvoleno v rámci stejné trasy, ale v opačném směru.

Trasa 1: 0503 – 211.1 Nová Ves → 0503 - 202 Brandov → 0503 – 209.1 Malý Háj → 0504 - 201 Svahová → 0508 – 7.1 Kalek → 0508 - 207 Pohraniční → 0504 - 204 Mezihorí → 0509 – 210.1 Blatno → 0504 - 216 Jindřišská → 0504 - 218 Vysoká Pec.

Trasa 2: 0509 - 220 Nebovazy → 0509 - 205 Hora Sv. Šebestiána → 0514 - 208 Výsluní → 0514 - 203 Kryštofovy Hamry → 0515 - 211 Petlery → 0515 - 223 Klášterec nad Ohří → 0510 - 222 Nová Víska → 0510 - 219 Černovice → 0505 - 209 Otvice.

Trasa 3: 0623 - 252 Litvínov → 0618 - 250 Loučná → 0618 - 206 Střelná → 0613 - 208 Vrchoslav → 0612 - 207 Fojtovice → 0617 - 205 Nové Město → 0618 - 208.2 Dlouhá Louka → 0622 - 210 Fláje → 0623 - 205 Klíny → 0623 - 224 Šumná.

Trasa 4: 0624 - 201 Horní Jiřetín → 0624 - 213 důl Centrum → 0624 - 218 Kopisty → 0624 - 221 koridor Komořany → 0624 - 219 koridor KSK → 0624 - 220 koridor SVAP → 0504 - 232 Nové Sedlo nad Bílinou.

4.2.1. Postup měření

Na každém bodě bylo provedeno měření dle stejného postupu. Po vyhledání trigonometrického bodu byla provedena vizuální kontrola pro určení schopnosti měření – zda viditelnosti satelitů nebrání vzrostlé stromy či jiná překážka

znemožňující např. umístění stativu. Po této kontrole byl nad daný bod umístěn stativ s podložkou pro uchycení GPS přijímače, byla provedena horizontace a centrace a na takto připravený stativ s podložkou byl připevněn přijímač GPS (viz foto č. 1).



foto č. 1 postavení GPS aparatury při měření (autor)

Po zapnutí přístroje a spojení přijímače s kontrolní jednotkou CU (kontroler) pomocí BluetoothTM, byl vybrán souřadnicový systém S-JTSK - použit transformační modul zpřesněné globální transformace Trimble 2011 schválený ČÚZK pro měření po 2. 1. 2011 a založena zakázka pro celý den měření. Spuštění měření bylo zahájeno na základě výběru RS. Komunikace GPS aparatury s RS pro přenos korekcí byla zajištěna pomocí GPRS. Dvakrát byla změřena šikmá výška od bodu ke středu nárazníku přijímače GPS. Po inicializaci přijímače bylo zapsáno číslo bodu ve formátu: číslo triangulačního listu, číslo bodu, za číslem tečka a pořadové číslo měření (05032020.1 - 05032020.35) a zapsána změřená šikmá výška.

Vlastní měření bylo prováděno následujícím způsobem: v rámci jedné inicializace byl bod měřen pětkrát po sobě, poté byla inicializace záměrně ztracena a opět získána, opět následovalo měření pětkrát po sobě, poté ztráta inicializace a toto se opakovalo až do počtu měření 35 (Celkový počet měření jednotlivých bodů je 35, v rámci jedné trasy byl daný bod zaměřen 20krát, při druhém měření byl ten stejný bod zaměřen 15krát dle stejného postupu). V případě ztráty inicializace vlivem okolních podmínek nebylo měření uloženo a pokračovalo se dále dle výše uvedených postupů. V případech ztráty korekcí nebylo měření ukončeno, pokud byla data opět získána, pokud však ztráta korekcí trvala delší dobu, bylo měření ukončeno a spuštěno nové.

Po potřebném počtu zaměření bodu bylo měření ukončeno, přístroj GPS vypnut, přijímač odmontován z podložky, stativ složen a po kontrole okolí bodu bylo stanoviště opuštěno a následoval přesun na další trigonometrický bod v rámci naplánované trasy. Pokud se nebylo možné dostat na plánovaný bod, byl nalezen dle stanovených kritérií a mapových podkladů nový bod vhodný pro měření, anebo se od vyhledání a zaměření nového bodu upustilo.

4.2.2 Faktory PDOP ovlivňující přesnost měření

Průměrná doba jednotlivého měření byla 6 sekund. Během měření na jednotlivých bodech byl sledován počet viditelných satelitů a hodnoty PDOP. Celkové rozmezí počtu viditelných satelitů bylo od 5 do 9, přičemž při měření na konkrétním bodě se počet viditelných satelitů výrazně neměnil, pouze kolísal ± 1 od počátečního počtu. Průměrný počet viditelných satelitů ze všech měření je 7. Hodnoty PDOP se též během měření výrazně neměnily, pouze pokud počet viditelných satelitů klesl na 5, hodnoty PDOP se zvýšily nad 4, viz obr. č. 11. Průměrná hodnota PDOP ze všech měření by se stanovila hůře, neboť na každém měřeném bodě jsou tyto hodnoty poměrně rozdílné, nicméně se pohybují okolo 2,5. V některých případech se hodnoty PDOP zvýšily nad 4 i při počtu 6 viditelných satelitů.

0.016	0.023	2.71	6	7	1.56	SN	31.07	12:51
0.015	0.022	2.71	6	7	1.56	SN	31.07	12:51
0.015	0.022	2.72	6	7	1.56	SN	31.07	12:51
0.016	0.023	3.28	6	6	1.56	SN	31.07	12:52
0.016	0.023	2.74	6	7	1.56	SN	31.07	12:52
0.016	0.024	2.75	6	7	1.56	SN	31.07	12:52
0.016	0.023	2.75	6	7	1.56	SN	31.07	12:52
0.015	0.022	2.76	6	7	1.56	SN	31.07	12:52
0.015	0.021	4.56	6	5	1.56	SN	31.07	12:53
0.015	0.022	2.78	6	7	1.56	SN	31.07	12:53
0.015	0.022	2.78	6	7	1.56	SN	31.07	12:53
0.015	0.022	2.79	6	7	1.56	SN	31.07	12:53
0.015	0.023	2.79	6	7	1.56	SN	31.07	12:53
0.014	0.021	2.82	6	7	1.56	SN	31.07	12:54
0.014	0.021	2.83	6	7	1.56	SN	31.07	12:55
0.013	0.018	2.85	6	7	1.56	SN	31.07	12:55
0.011	0.016	2.00	6	8	1.56	SN	31.07	12:56
0.010	0.015	2.03	6	8	1.56	SN	31.07	12:57
0.016	0.027	2.29	6	7	1.51	SN	31.07	13:32

obr. č. 11 Hodnoty PDOP a počet viditelných satelitů

4.3 Zpracování výsledků měření

Po ukončení měření byla celá zakázka vyexportována v několika formátech. Nejdůležitějším byl soubor se souřadnicemi bodů v systému WGS – 84, dále protokol měření ve formátu HTML, kde jsou podrobné informace o zakázce, zvoleném souřadnicovém systému, typu přijímače, typu antény, hodnotách RMS, DOP, stavu inicializace a další. Dalším typem exportu byl protokol měření v textovém formátu se souřadnicemi bodů v systému JTSK, kde jsou uvedeny hodnoty PDOP, počet satelitů, výška antény, datum, čas a doba měření. Tyto soubory byly průběžně ukládány podle toho, jak byly body postupně měřeny. Po ukončení všech měření byly exporty zkontrolovány, zda nedošlo ke hrubé chybě a po této kontrole se mohlo přejít k vytváření tabulek.

Nejprve byla vytvořena tabulka (viz příloha č. 4) v programu Microsoft Excel, kde se na jednotlivé listy uvedl každý měřený bod, jeho přesný název, souřadnice všech 35 měření, průměr z těchto měření, souřadnice získané z ČÚZK, jejich rozdíl od průměru měření (ΔN , ΔE a ΔH) a vzdálenost od RS k určovanému bodu. Dále byl proveden přepočít odchytek z míry stupňové do míry metrické za použití středního poloměru křivosti Besselovy koule $R = 6\,380\,704$ m (Vilímková, 2006).

ΔN , ΔE a ΔH jednotlivých bodů byly vypočteny ze vztahů:

$$\Delta N = N_i - N_0; \Delta E = E_i - E_0; \Delta H = H_i - H_0$$

kde $i = 1, 2, \dots, n$; n – počet zaměřovaných trigonometrických bodů (36)

N_0 , E_0 , H_0 – souřadnice měřeného bodu v systému WGS-84 získané z databáze bodových polí ČÚZK

Z tabulky (příloha č. 4) byl z hodnot ΔN a ΔE vypočten vektor, který byl použit pro znázornění velikosti odchytky naměřených hodnot a hodnot uvedených

v databázi bodových polí ČÚZK. Tento vektor byl vynásoben číslem 800 000, aby v měřítku rozložení měřených bodů, které je 1 : 200 000, byl zřetelný a jasně definoval směr vychýlení skutečné od naměřené hodnoty. Vektor vyjadřuje velikost a směr odchylky (viz výše) v bezrozměrném čísle, slouží pouze pro lepší přehlednost. Přehledové schéma znázorňující rozdíly naměřených a skutečných hodnot je uvedeno v příloze č. 6.

Z vypočtených hodnot ΔN a ΔE byl vytvořen graf (příloha č. 5), kde na osu x byly vyneseny hodnoty vzdáleností měřených bodů od RS s přesností na metry seřazené od nejbližšího (692,94m) k nejvzdálenějšímu (30965,63m) a na osu y byly vyneseny kladné i záporné hodnoty ΔN a ΔE s přesností na vteřiny. ΔN je vyjádřena modrou barvou, ΔE je vyjádřena červenou barvou.

Stejně jako graf pro znázornění polohových odchylek, byl z vypočtených hodnot ΔH vytvořen graf (příloha č. 7) pro znázornění výškových rozdílů. Opět byly na osu x byly vyneseny hodnoty vzdáleností měřených bodů od RS s přesností na metry seřazené od nejbližšího k nejvzdálenějšímu a na osu y byly vyneseny hodnoty ΔH s přesností na milimetry.

Pro porovnání přesnosti tohoto měření s přesností síťového řešení byl vytvořen graf (příloha č. 8) vycházející z hodnot uvedených v tabulce (příloha č. 4). Graf zobrazuje velikosti odchylek ΔN a ΔE s přesností na milimetry. Osa x znázorňuje vzdálenost měřených bodů od RS a na ose y jsou vyjádřeny odchylky ΔN a ΔE . ΔN je vyznačena modrou barvou, ΔE je vyznačena červenou barvou. V příloze č. 9 je uvedena tabulka hodnot naměřených polohových i výškových rozdílů.

4.4 Použité přístroje a software

Pro měření metodou RTK byla použita GPS aparatura Trimble R8 model 2, což je dvou-frekvenční geodetický přijímač. Zpracování výsledků naměřených hodnot bylo provedeno v programu Microsoft Excel v. 2007 a zobrazení výsledných vektorů bylo zpracováno a vyobrazeno v programu WinGeus v. 15.5.1.

5. Výsledky

Podkladem pro interpretaci výsledků byly použity výše uvedené grafy a tabulky. Naměřené souřadnicové odchylky dosáhly hodnot od -37 do +93 mm, výškové odchylky od -11 do -192 mm. Nejvyšší souřadnicové odchylky $\Delta E = +93$ mm a $\Delta N = +62$ mm byly zjištěny na bodě č. 0612 – 207 (Fojtovice), výškový rozdíl je zde $\Delta H = -45$ mm. Tento bod se nachází nejdále, cca 31 km východně od RS a leží v nadmořské výšce 727,30 m. Naopak nejmenší souřadnicové odchylky $\Delta E = +2$ mm a $\Delta N = -4$ mm byly zjištěny na bodě č. 0515 – 223 (Kláštorec nad Ohří), zde je výškový rozdíl také $\Delta H = -45$ mm. Tento bod se nachází cca 29 km západně od RS a leží v nadmořské výšce 385,62 m. Bod č. 0624 – 220 (koridor SVAP) ležící nejbližší RS (necelý jeden kilometr) je zaměřen s odchylkou $\Delta E = +44$ mm, $\Delta N = +38$ mm a $\Delta H = -38$ mm a jeho nadmořská výška je 246,84 m. Nejmenší rozdíl ve výšce byl zjištěn u bodu č. 0504 - 218 (Vysoká Pec), který je vzdálen 5 km od RS, kde $\Delta H = -11$ mm a jeho nadmořská výška je 314,56 m. Největší rozdíl ve výšce byl zjištěn u bodu č. 0613 - 208 (Vrchoslav), který je vzdálený 27 km od RS, kde $\Delta H = -192$ mm a jeho nadmořská výška je 318,45 m. Naměřené rozdíly všech bodů jsou uvedeny v příloze č. 9. Z této tabulky lze vyčíst, že ΔE dosahuje ve většině případů (89 %) vyšších hodnot než ΔN . ΔE je též ve většině případů (83 %) kladná, stejně jako ΔN (69 %). Co se týče výškových rozdílů, 100 % naměřených odchylek jsou záporné hodnoty. Průměrná výšková odchylka činí -65 mm.

6. Diskuze

Opakovaným měřením 36 státních trigonometrických bodů metodou RTK byly zjištěny vyšší odchylky, než byly očekávány. Z důvodu pevné stabilizace trigonometrických bodů, upevnění GPS aparatury na stativ a velmi pečlivé horizontce a centrace byly očekávány polohové i výškové rozdíly v přesnosti, kterou udává výrobce. Avšak zjištěné hodnoty odchylek jsou výrazně vyšší. Lze tedy diskutovat o tom, zda bylo měření ovlivněno chybou měřiče, okolními podmínkami (např. multipath) anebo zdali je chyba v určení trigonometrického bodu už v databázi bodových polí ČÚZK.

Také okolní prostředí bodů mohlo ovlivnit kvalitu měření, jelikož některé měřené body se nachází v blízkosti vysokých stromů a budov (např. bod č. 0618 - 208.2 (Dlouhá Louka), zde je výškový rozdíl $\Delta H = -131$ mm). Chybu v databázi bodových polí ČÚZK by mohlo odhalit opakované měření metodou RTK doplněné ještě přesnější metodou, např. Fast Static.

Je zajímavé, že všechny zaměřené výškové odchylky jsou záporných hodnot, tudíž naměřené absolutní výšky vycházejí níže, než uvádí databáze bodových polí ČÚZK. Toto by se mohlo ověřit výše zmíněným opakovaným měřením.

Výrobce GPS aparatury Trimble R8 uvádí přesnost pro kinematická měření:

Horizontální ± 10 mm + 1 ppm RMS

Vertikální ± 20 mm + 1 ppm RMS

Toto testování zjistilo horizontální rozdíly v zaměřovaných souřadnicích v rozmezí od 0 do 70 mm, průměrná hodnota vychýlení však byla 10 – 20 mm. 50 % zaměřovaných bodů odpovídá výše uvedené horizontální přesnosti ± 10 mm. Odchylka větší než ± 50 mm byla zjištěna v 11 % případů. Výšková přesnost daná výrobcem byla dosažena v pouze ve 14 % případů.

Delčev (2009) testoval přesnost měření síťového řešení v Srbsku aparaturou Trimble 5700 na čtyřech zaměřovaných bodech. Každý byl zaměřován 21krát s dobou observace 30 sekund po 15 minutových intervalech. Dosažená přesnost tohoto síťového řešení je od 1,6 do 10,1 mm v poloze a od 2,4 do 7,6 mm ve výšce, mezní přesnost síťového řešení je 20 – 30 mm, z čehož vyplývá, že dosažená přesnost je v mezích přesnosti síťového řešení. Nejvyšší odchylky byly zaměřeny v případech, kdy PDOP dosahovalo hodnot vyšších než 4. Delčev (2009) se též zabývá zkoumáním vlivu vzdálenosti roveru od RS na přesnost síťového řešení

a v závěru své práce uvádí, že vzdálenost mezi roverem a referenční stanicí nemá vliv na přesnost měření. Přesnost výše uvedeného měření je výrazně vyšší, než je dosaženo v této bakalářské práci. Jednak je to dáno přesností síťového řešení, které využívá více referenčních stanic, nebo může být přesnost ovlivněna způsobem a kvalitou měření. Hodnoty PDOP vyšší než 4 v této bakalářské práci vykazují, že byl signál přijímán z nižšího počtu družic, avšak na odchylky v měření nebyl vliv patrný, na rozdíl od studie v Srbsku.

Edwards (2008) přináší studii testování síťového řešení ve Velké Británii. Použitá aparatura se skládá ze třech přijímačů, Leica SmartNet a Trimble VRS NOW, z čehož Leica použila korekce jak pro GPS, tak pro GLONASS. Cílem této studie bylo mimo zjištění dosažitelné přesnosti také zkoumání výkonnosti systému při významných výškových rozdílech mezi RS a roverem. Testování bylo provedeno na různých místech v rámci Velké Británie. Výsledkem jsou hodnoty pro polohovou přesnost od 0 do 11 mm, ve výšce se jedná o hodnoty od 0 do 16 mm. V závěru této studie je uvedeno tvrzení, že síťové řešení ve Velké Británii poskytuje dosažitelnou horizontální přesnost 10 – 20 mm a dosažitelnou vertikální přesnost 15 – 35 mm. Podobnost s touto bakalářskou prací připodobňují významné výškové rozdíly mezi RS a roverem, avšak výše uvedená studie dosahuje velmi nízkých odchylek na rozdíl od této bakalářské práce. Možným důvodem může být použití síťového řešení oproti metodě RTK za použití jediné referenční stanice.

7. Závěr

Smyslem této bakalářské práce bylo uvedení existujících i plánovaných globálních navigačních satelitních systémů, kritéria jejich přesností, dostupností služeb, vymezení kódů, které používá systém GPS, vymezení chyb ovlivňujících měření a přehled měřických metod systému GPS. Jedna z měřických metod – metoda RTK, byla zkoumána z hlediska přesnosti měření v závislosti na vzdálenosti roveru od referenční stanice. Tímto aspektem se zabývá praktická část této bakalářské práce.

Co se týče existujících globálních navigačních satelitních systémů, nejrozšířenějším a nejpoužívanějším je systém GPS, avšak systém GLONASS je také hojně využíván. Systém Beidou – 1 používá geostacionární družice, proto tento systém funguje pouze nad určitým územím. Plánem systému Beidou – 1 je pokrytí celé Země signálem z 5 geostacionárních družic. Globální navigační satelitní systém Galileo je evropský projekt ve fázi výstavby, který bude dosahovat větších přesností než dosud existující GLONASS a GPS. Zmíněny byly i regionální navigační satelitní systémy, japonský Quasi – Zenith a indický IRNSS.

V bakalářské práci jsou též uvedeny signály vysílané družicemi k pozemním stanicím a přijímačům GPS a tyto signály ovlivňují různé chyby. Jedná se o chyby v konstelacích družic (faktory DOP), chyby hodin družic i přijímačů, chyby vznikající vlivem okolního prostředí (vícecestné šíření). Přesnost měření ovlivňuje také průchod signálu ionosférou a troposférou. Chybu vznikající průchodem signálu ionosférou lze vyrušit přijímací aparaturou GPS používající dvě nosné frekvence L 1 a L 2.

Nejpoužívanější měřickou metodou systému GPS je metoda RTK – kinematická metoda pracující v reálném čase. Měření pomocí metody RTK bylo předmětem zájmu této bakalářské práce. Cílem provedeného měření bylo zjištění, zda vzdálenost mezi roverem a referenční stanicí ovlivňuje přesnost měření metodou RTK.

První fází přípravy byl výběr zájmového území a výběr bodů, které vyhovují daným kritériím. Druhá fáze bylo samotné měření bodů GPS aparaturou Trimble, které proběhlo v období srpen – září 2011. Třetím krokem bylo zpracování měření. Z výstupních souborů byly tvořeny tabulky, které sloužili jako podklad pro vyhodnocení naměřených dat. Čtvrtým krokem bylo porovnání dosažených výsledků s přesností GPS aparatury udávanou výrobcem a publikovaným síťovým řešením.

Z vybraných 39 trigonometrických bodů bylo opakovaně zaměřeno 36 bodů metodou RTK. Vyhodnocení naměřených dat bylo provedeno v programu Microsoft Excel a výsledné hodnoty byly zaneseny do grafů, aby lépe vyjádřili svou hodnotu. Výsledky měření nebyly očekávány s tak velkými souřadnicovými rozdíly, nicméně zaměření bodů proběhlo dle měřických postupů a tak nemohou být výsledky zpochybněny. Zajímavé jsou výsledky vertikální složky, kde všechny naměřené body mají zápornou odchylku.

V diskuzi bylo toto měření metodou RTK za použití korekcí z jediné referenční stanice porovnáno s výsledky síťového řešení prováděného v Srbsku a Velké Británii. Přesnost síťového řešení je vyšší než přesnost metody RTK, která využívá jednu referenční stanici, což bylo výše uvedenými výsledky prokázáno. Studie ve Velké Británii řešila mimo jiné i velké výškové rozdíly mezi roverem a referenčními stanicemi, stejně jako tato bakalářská práce. Výškové rozdíly mezi zaměřenými a porovnávanými souřadnicemi jsou značné, proto by dalším možným řešením těchto výsledků mohlo být zaměření identických bodů rychlou statickou metodou (Fast Static), kde přesnost měření je řádově vyšší, ale není potřeba referenční stanice pro získání korekcí. Výsledky měření mohou být ovlivněny chybou z určení referenční stanice, která je v pravidelných intervalech přepočítávána z datových služeb Czepos. Tato problematika by mohla být předmětem řešení diplomové práce navazující na tuto bakalářskou práci.

Závěrem lze konstatovat, že nebyla prokázána závislost vzdálenosti roveru od RS na přesnost měření metodou RTK.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

BLAIR S., 2011: Birth of the European satellite navigation constellation Galileo in orbit validation. European space agency. France, online: http://www.esa.int/SPECIALS/ESA_Publications/SEMZP3FURTG_0.html, cit. 25. 1. 2012.

BUREŠ J., ŠVÁBENSKÝ O. et WEIGEL., 2004: Některé problémy spolehlivosti určování polohy GPS. In: Vysoké učení technické v Brně, ústav geodézie: Současný stav a vývoj bodových polí. *Econ Publishing s.r.o., Brno: 93-99.*

CRESPI M., MAZZONI A. et BRUNINI C., 2012: Geodesy for Planet Earth. *International Association of Geodesy Symposia (2012), Volume 136, Part 4: 761-768.*

ČÁBELKA M., 2008: Úvod do GPS. *CITT, Praha: 73 s.*

ČESKÁ KOSMICKÁ KANCELÁŘ, 2012: Galileo. Czech space office, Praha, online: <http://www.czechspace.cz/cs/ckk/galileo>, cit. 25. 1. 2012.

DELČEV S., OGRIZOVIĆ V., VASILIC V. et GUČEVIĆ J., 2009: Accuracy testing of RTK service of the permanent station network in the Republic of Serbia. *FIG Working Week, Israel 15 s.*

DUEV D. A., POGREBENKO S. V. et CALVÉS G. M., 2011: A Tropospheric Signal Delay Model for Radio Astronomical Observations. *Astronomicheskii Zhurnal, 2011, Vol. 88, No. 11: 1093 – 1101.*

EDWARDS S., CLARKE P., GOEBELL S. et PENNA N., 2008: An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain. *School of civil engineering and geosciences, Newcastle, 112 s.*

EL - RABBANY A., 2002: Introduction to GPS: The global positioning system. *Artech House, Norwood: 176 s.*

EUROPEAN COMMISSION, 2012: Enterprise and Industry. Brussel, Belgium, online: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/why/index_en.htm, cit. 25. 1. 2012.

EUROPEAN SPACE AGENCY, 2011: Galileo in - orbit validation. Paris, France, *online:*

http://download.esa.int/docs/Galileo_IOV_Launch/IOV_factsheet_20111003.pdf, cit. 25. 1. 2012.

GEOSERVER, 2012: Leica GS09 GNSS. Geodetické centrum s.r.o. Pardubice, *online:*

http://www.geoserver.cz/gps/gps-pro-geodety/leica/leica_gs09_gnss_rover_pro_czepos-1082, cit. 10. 3. 2012.

GLEASON S. et GEBRE-EGZIABHER D., 2009: GNSS Applications and methods. Artech House, Norwood: 508 s.

GOPI S., 2005: Global positioning system principles and applications. Tata McGraw Hill, New Delhi, India: 332 s.

GPS.GOV, 2012a: Control segment. Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics, US, *online:* *http://www.gps.gov/systems/gps/control/, cit. 25. 1. 2012.*

GPS.GOV, 2012b: Space segment. Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics, US, *online:* *http://www.gps.gov/systems/gps/space/, cit. 25. 1. 2012.*

GPS WORLD, 2007: The business and Technology of Global navigation and Timing. Santa Ana, CA 92707, *online:* *http://www.gpsworld.com/gnss-system/algorithms-methods/innovation-network-rtk-3485, cit. 25. 1. 2012.*

HOQUE M. M. et JAKOWSKI N., 2006: Higher order ionospheric effects in precise GNSS positioning. *J Geod (2007) 81: 259 – 268.*

HOFMANN-WELLENHOF B. et LICHTENEGGER H., 2008: Global navigation satellite systems. *Technische universität Graz, Graz, Austria: 516 s.*

IWATA T., MATSUZAWA T., MACHITA K. et ABEI A., 2011: Remote Synchronization Experiments for Quasi - Zenith Satellite System Using Multiple Navigation Signals as Feedback Control. *International Journal of Navigation and Observation*, Osaka, Japan, *online:* *http://www.hindawi.com/journals/ijno/2011/849814/, cit. 25. 1. 2012.*

- JAKOBSEN J., KNUDSEN P. et JENSEN A. B. O., 2010:** Analysis of local ionospheric time varying characteristics with singular value decomposition. *J Geod (2010) 84: 449 – 456.*
- KAIZER V., 2004:** Cluster, Polar, Wind, Magion – výzkum ionosféry. Aldebaran bulletin, Praha, *online: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_24_son.html, cit. 10. 3. 2012.*
- KASAL M., 2012:** Přírodní efekty při satelitní komunikaci. Vysoké Učení Technické v Brně, Brno, *online: http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/doc/dre2/satelit.pdf, cit. 10. 3. 2012.*
- KAYTON M. et FRIED W.R., 1997:** Avionics navigation systems. *John Wiley & sons, Inc, New York: 773 s.*
- KIM B. C. et TININ M. V., 2006:** Contribution of ionospheric irregularities to the error of dual - frequency GNSS positioning. *J Geod (2007) 81: 189 – 199.*
- KLOBUCHAR J. A., 1991:** Ionospheric effect on GPS. *GPS World April, Vol. 2, No. 4: 48 - 51.*
- KRAMER H. J., 2002:** Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors. Springer, Berlin: 1510s. eoPortal, *online: <http://events.eoportal.org/presentations/182/11874.html>, cit. 25. 1. 2012.*
- LÁSKA Z., TEŠNAR M., SLABÝ J. et SOUKUP J., 2010:** Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi. *VUT, Brno: 67 s.*
- LEICA GEOSYSTEMS, 2012:** Network RTK. Switzerland, *online: <http://smartnet.leica-geosystems.eu/spiderweb/2fNetworkRTK.html>, cit. 25. 1. 2012.*
- LI W., YUAN Y. B., OU J. K., LI H. et LI Z. S., 2012:** A new global zenith tropospheric delay model IGGtrop for GNSS applications. *Chinese science bulletin, 31 March 2012: 1 - 8.*
- MAJITHIYA P., KHATRI K. et HOTA J. K., 2012:** Indian Regional Navigation Satellite System. Space Applications Center, Indian space research organization, India, *online: <http://www.insidegnss.com/node/2429>, cit. 25. 1. 2012.*

MD, 2012a: Odbor kosmických technologií a družicových systémů, oddělení Galileo, ITS a GMES, Praha, *online: <http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/galileo/>*, cit. 25. 1. 2012.

MD, 2012b: Odbor kosmických technologií a družicových systémů, GNSS mimo Evropu, Praha, *online: <http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/gnss-systemy/gnss-mimo-evropu/rusky-glonass/>*, cit. 25. 1. 2012.

MD, 2012c: Odbor kosmických technologií a družicových systémů, GNSS mimo Evropu, Praha, *online: <http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/gnss-systemy/gnss-mimo-evropu/cinsky-beidou---compass/>*, cit. 25. 1. 2012.

MENDES V. B. et LANGLEY R.B., 1994: A comprehensive analysis of mapping functions used in modeling tropospheric propagation delay in space geodetic data. *International symposium on kinematic systems in geodesy, Canada: 6 s.*

MERVART L. et CIMBÁLNÍK M., 1997: Vyšší geodézie 2. ČVUT, Praha: 177 s.

PAKISTAN DEFENCE, 2012: Indian regional navigational satellite system. Pakistan, *online: <http://www.defence.pk/forums/indian-defence/68197-indian-regional-navigational-satellite-system-irnss.html>*, cit. 10. 3. 2012.

PETRIE E. J., HERNÁNDEZ-PAJEREZ M., SPALLA P., MOORE P. et KING M. A., 2010: A review of higher order ionospheric refraction effects on dual frequency GPS. *Springer Science + Business Media B. V. 2010: 198 - 253.*

RAO G.S., 2010: Global navigation satellite systems. *Tata McGraw Hill, New Delhi, India: 478 s.*

RAPANT P., 2002: Družicové polohové systémy. VŠB TU, Ostrava: 200 s.

RAPANT P., 2006: Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠB TU, Ostrava: 513 s.

SAMAMA N., 2008: Global positioning: technologies and performance. *John Wiley & sons, Inc, New Jersey: 419 s.*

SEDLÁK V., LOŠONCZI P. et PODLESNÁ I., 2009: Družicové navigačné systémy. VSBM, Košice: 75 s.

SCHRIEVER AIR FORCE BASE, 2011: 50 SW completes GPS constellation expansion. Colorado Springs, CO, *online:*
<http://www.schriever.af.mil/news/story.asp?id=123260251>, cit. 25. 1. 2012.

ŠEDIVÝ M., 2011: Bakalářská práce: Ověření dostupnosti a přesnosti RTK metody v závislosti na vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice. *Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň: 65 s.*

ŠVÁBENSKÝ O., FIXEL J. et WEIGEL J., 1995: Základy GPS a jeho praktické aplikace. *CERM, Brno: 123 s.*

ŠVÁBENSKÝ O., 2005: Aplikace astronomických a družicových metod v inženýrské geodézii. *VUTIUM, Brno: 21 s.*

VILÍMKOVÁ M., 2006: Diplomová práce: Testování sítě Czepos. *ČVUT, Praha: 109 s.*

WANNINGER L., 1999: The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS - networks under Solar Maximum Conditions. *Sborník ION GPS '99, Geodetic Institute, Dresden University of Technology, Germany: 9 s.*

9. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Přehledové schéma zaměřovaných trigonometrických bodů.

Příloha č. 2 - Přehled vybraných trigonometrických bodů.

Příloha č. 3 - Geodetické údaje (místopis) trigonometrického bodu č. 0622 - 210.

Příloha č. 4 - Tabulka zaměřovaných bodů – vzor: bod č. 0515 – 211 V zatáčce (Petlery).

Příloha č. 5 - Graf závislosti vzdálenosti měřeného bodu od RS na přesnost měření GPS metodou RTK znázorňující velikost odchylek ΔN a ΔE v souřadnicovém systému WGS – 84 (vyjádřené ve vteřinách).

Příloha č. 6 - Přehled (schéma) rozdílů naměřených hodnot trigonometrických bodů.

Příloha č. 7 - Graf závislosti vzdálenosti měřeného bodu od RS na přesnost měření GPS metodou RTK znázorňující velikost odchylky ΔH v souřadnicovém systému WGS – 84 (vyjádřené v milimetrech).

Příloha č. 8 - Graf závislosti vzdálenosti měřeného bodu od RS na přesnost měření GPS metodou RTK znázorňující velikost odchylek ΔN a ΔE v souřadnicovém systému WGS – 84 (vyjádřené v milimetrech).

Příloha č. 9 - Tabulka hodnot naměřených rozdílů ΔN a ΔE vyjádřených v milimetrech.

Příloha č. 1

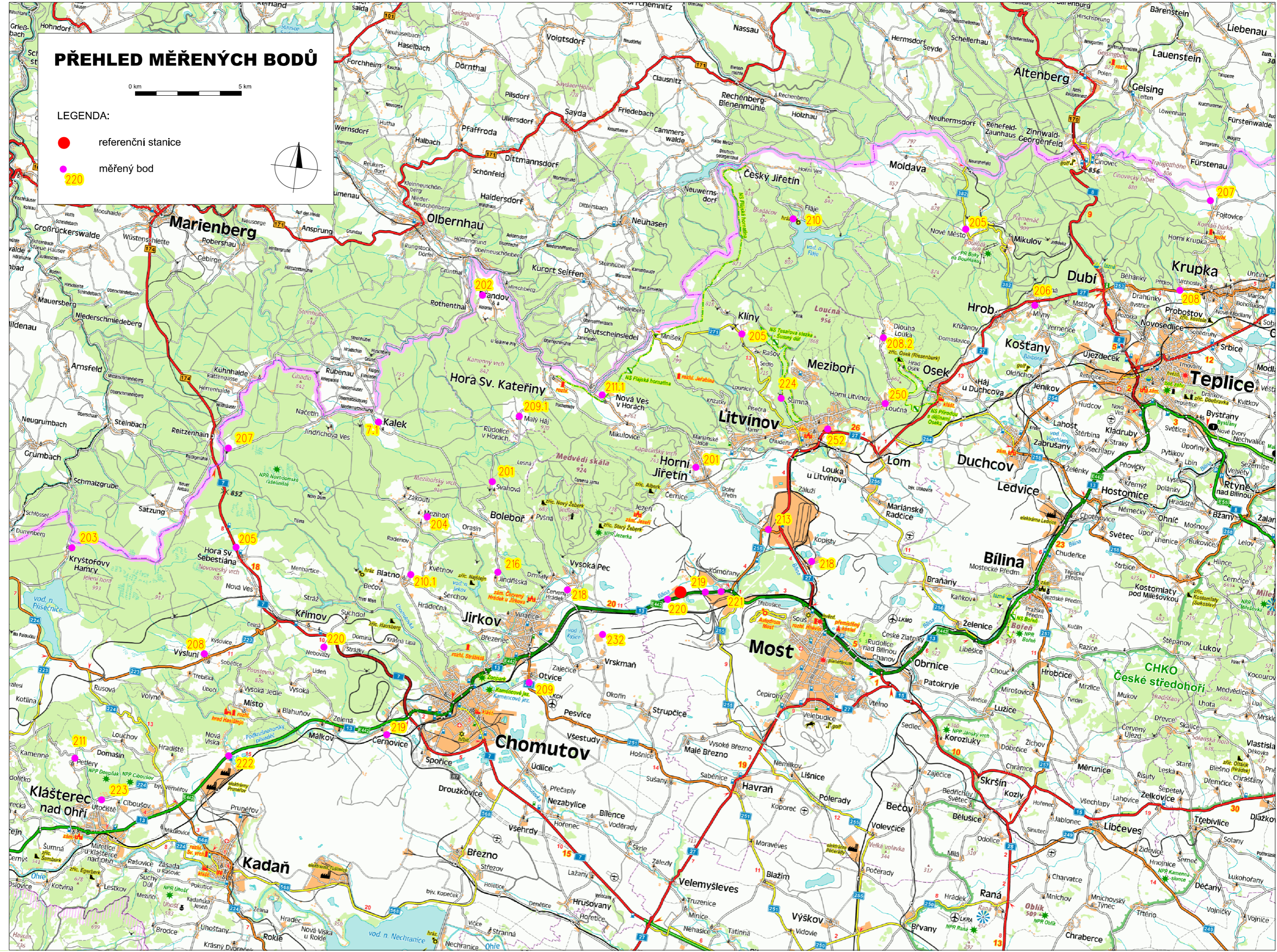
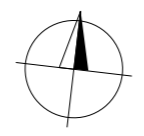
Přehledové schéma zaměřovaných trigonometrických bodů.

PŘEHLED MĚŘENÝCH BODŮ



LEGENDA:

- referenční stanice
- měřený bod



Příloha č. 2

Přehled vybraných trigonometrických bodů.

Body vyznačené červenou barvou nebyly zaměřeny.

Číslo bodu	název bodu	místo	N (° ' ")	E (° ' ")	H (Helips)	Vzdálenost od RS (m)
0503 - 202	Nad Alejí	Brandov	50 38 07.4249	13 22 58.0377	564.07	16772.26
0503 – 209.1	Malý Háj - kostel	Malý Háj	50 35 13.6960	13 25 08.2220	889.10	11211.97
0503 – 211.1	Nová Ves v Horách - ko	Nová Ves v Horách	50 36 04.6739	13 28 16.2109	707.94	9977.25
0504 - 201	U Svahové	Svahová	50 33 29.2883	13 24 27.8139	836.06	10256.73
0504 - 204	U Mezihoří	Mezihoří	50 32 21.4881	13 22 06.7316	772.82	12418.98
0504 - 216	Jindřišská, u silnice	Jindřišská	50 31 14.4294	13 25 13.2579	570.47	8633.50
0504 - 218	U sadu	Vysoká Pec	50 31 03.6021	13 28 03.6712	359.40	5313.65
0504 - 232	Nad dolem Šverma	Nové Sedlo nad Bílinou	50 30 04.5224	13 29 42.3995	320.05	4163.47
0505 - 209	Otvíce – u hřbitova	Otvíce	50 28 35.4441	13 27 06.4001	372.54	8282.91
0508 – 7.1	Kalek, kostel	Kalek	50 34 32.7970	13 19 37.8485	758.55	16286.21
0508 - 207	Pohraniční	Pohraniční	50 33 19.1043	13 13 52.6882	823.79	22301.41
0509 - 205	Nivelák	Hora Sv. Šebestiána	50 30 51.7596	13 14 46.7806	869.21	20993.89
0509 – 210.1	Blatno, kostel	Blatno	50 30 50.8770	13 21 48.7523	682.98	12701.05
0509 - 220	Nad Nebovazy	Nebovazy	50 28 41.9495	13 18 50.0543	740.31	16953.34
0510 - 219	V Dubině	Černovice	50 26 44.7534	13 21 49.3743	408.93	15341.85
0510 - 222	Ušák	Nová Víška	50 25 36.5845	13 15 44.8320	424.19	22583.18
0514 - 203	Kryštofovy Hamry východ	Kryštofovy Hamry	50 30 13.0003	13 08 20.1393	721.43	28675.14
0514 - 208	Výsluní nad OÚ	Výsluní	50 28 04.3466	13 14 10.6077	816.43	22564.53
0515 - 211	V zatáčce	Petlery	50 24 57.3667	13 09 43.9407	604.35	29508.98
0515 - 223	Pod Holubím vrchem	Kláštevec nad Ohří	50 24 00.9457	13 11 01.7665	431.20	28904.20
0612 – 203.2	Cínovec - kostel	Cínovec	50 43 50.5984	13 46 21.8421	876.35	28220.54
0612 - 207	U pomníku	Fojtovice	50 43 12.3543	13 51 08.1281	771.31	30965.63
0613 - 208	Vrchoslav	Vrchoslav	50 40 50.6802	13 50 26.7775	362.46	27425.97
0617 – 201.1	Moldava - kostel	Moldava	50 43 04.8439	13 38 46.2526	829.61	22828.69
0617 - 205	Nové Město	Nové Město	50 41 35.4276	13 41 38.1690	876.93	21695.61
0618 - 206	Stará Střelná - křížov	Střelná	50 39 56.1963	13 44 48.3195	394.06	21425.76
0618 – 208.2	Dlouhá Louka - kostel	Dlouhá Louka	50 38 33.9567	13 39 01.0516	826.04	15296.81
0618 - 250	Loučná - paneláky	Loučná	50 36 55.2945	13 39 28.5158	444.33	13084.60
0622 - 210	Hráz Fláje	Fláje	50 41 12.6554	13 34 45.7816	784.33	18331.15
0623 - 205	Klíny – obecní úřad	Klíny	50 38 07.9391	13 33 25.0738	821.92	12476.83
0623 - 224	Šumná - loučka	Šumná	50 36 39.8750	13 35 20.5812	430.00	10266.78
0623 - 252	H. Litvínov- Benzina	Litvínov	50 36 04.2032	13 37 21.4151	367.03	10330.87
0624 - 43	Na návrší	Šverma	50 30 05.8849	13 34 19.9137	325.86	28220.54
0624 - 201	H. Jiřetín u hřiště	Horní Jiřetín	50 34 36.9952	13 32 23.5424	342.44	5915.99
0624-213	U dolů	Důl Centrum	50 33 19.6751	13 35 36.5730	281.02	5074.08
0624 - 218	U emisí	Kopisty	50 32 41.3252	13 37 30.0650	285.01	6333.21
0624 - 219	Pod KSK	koridor	50 31 31.3261	13 33 29.8800	283.20	1169.00
0624 - 220	U SVAP	koridor	50 31 11.8787	13 32 03.3691	291.52	692.94
0624 - 221	Komořany	koridor	50 31 35.4708	13 34 06.6614	281.71	1904.54

Příloha č. 3

Geodetické údaje (místopis) trigonometrického bodu č. 0622 - 210.

GEODETICKÉ ÚDAJE
zhušřovacího bodu

Kraj: Ústecký
Okres: Most
Obec: Český Jiřetín

List č.: 1/1
Stav k:

Vytvořeno pro web 30.01.2012

TL	0622
ZM-50	02-31
SMO-5	020574

Číslo a název bodu		210		Hráz Fláje			
Bod	Druh	Y		X		Nadmořská výška	
						Bpv	vztahuje se na
210	ZHB	792611.28		968525.85		niv. 739.81	hranol
210.1	ZB1	792239.53		968540.41		738.91	hranol
ETRS-89		B		L		Helips	
210		50 41	12.6554	13 34	45.7816	784.33	STATIC
ETRS-89		B		L		Helips	
210.1		50 41	13.9630	13 35	04.6228	783.41	STATIC
Orientace na body (v grádech) :							
Bod číslo :	Jižník	Délka strany		Bod číslo :	Jižník	Délka strany	
210.1	302.4921	372.040		/0623/ 211.3	379.16595	4815.178	
/0623/ 211.2	379.12648	4803.824		209	Orientace z 210.1 187.76497	674.427	
<p>Místopisný popis : centr – u odbočky směr Klíny na Z straně koruny tělesa hráze vodní nádrže Fláje, asi 3m od krajnice a 3.5m před začátkem zábradlí. ZB – na S straně východního konce tělesa hráze, pod malými schůdky u konce zábradlí.</p> <p style="text-align: right;">Bod určen : 210 – GPS, 210.1 – GPS,</p>							
Bod	210		210.1				
Šlab. údaje	0.00	žula 16x16x75	0.00	žula 16x16x74	0.00		0.00
			.92	žula 30x30x10			
Ochranný znak (druh,rok)	OT-2001		OT-2001				
Kat.území Parc.čís.	Český Jiřetín 1211/26		Fláje 602/34				
Bod	210		210.1				
Organizace,rok	Zřízení	2001 KÚ Liberec		2001 KÚ Liberec			
	Určení YX	2001		2001			
	Určení výšky	2001		2001			
	[Pře]Stabilizace	2001		2001			
Rok	Údržba	1900					
	Obnova						
Poznámka : centr + ZB určeny GPS							

Příloha č. 4

Tabulka zaměřovaných bodů – vzor: bod č. 0515 – 211 V zatáčky (Petlery).

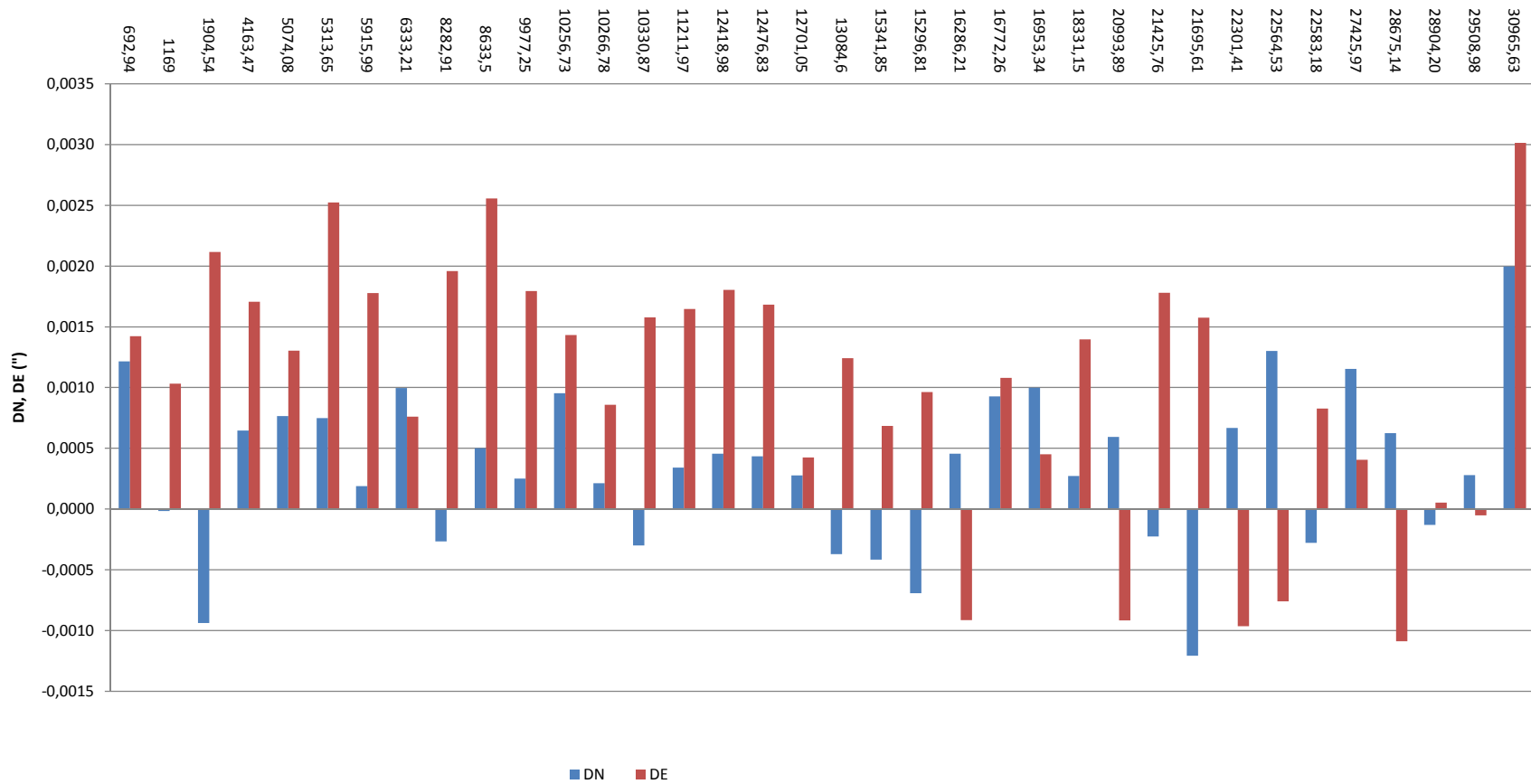
0515-211 Petlery V zatáčce

	N (° ' ")	E (° ' ")	H (m)
1	502457,3669	130943,9409	604,27
2	502457,3670	130943,9408	604,27
3	502457,3671	130943,9408	604,27
4	502457,3671	130943,9409	604,26
5	502457,3671	130943,9409	604,26
6	502457,3674	130943,9406	604,25
7	502457,3673	130943,9406	604,26
8	502457,3672	130943,9405	604,25
9	502457,3673	130943,9404	604,26
10	502457,3672	130943,9404	604,27
11	502457,3672	130943,9405	604,27
12	502457,3668	130943,9406	604,27
13	502457,3669	130943,9405	604,26
14	502457,3669	130943,9406	604,27
15	502457,3669	130943,9406	604,26
16	502457,3669	130943,9407	604,27
17	502457,3669	130943,9406	604,28
18	502457,3669	130943,9408	604,27
19	502457,3668	130943,9409	604,28
20	502457,3668	130943,9407	604,26
21	502457,3666	130943,9405	604,28
22	502457,3668	130943,9405	604,28
23	502457,3667	130943,9407	604,28
24	502457,3667	130943,9407	604,27
25	502457,3667	130943,9407	604,28
26	502457,3667	130943,9407	604,29
27	502457,3669	130943,9407	604,29
28	502457,3669	130943,9408	604,29
29	502457,3671	130943,9406	604,28
30	502457,3672	130943,9406	604,27
31	502457,3673	130943,9404	604,28
32	502457,3672	130943,9407	604,29
33	502457,3671	130943,9408	604,28
34	502457,3670	130943,9407	604,28
35	502457,3670	130943,9406	604,28
průměr	502457,3670	130943,9406	604,27
CUZK	502457,3667	130943,9407	604,35
rozdíl	0,0003	-0,0001	-0,08
převod na mm	9	-2	-78
vzdálenost od RS (m)	29508,98		

Příloha č. 5

Graf závislosti vzdálenosti měřeného bodu od RS na přesnost měření GPS metodou RTK znázorňující velikost odchylek ΔN a ΔE v souřadnicovém systému WGS – 84 (ve vteřinách).

Vzdálenost od RS (m)



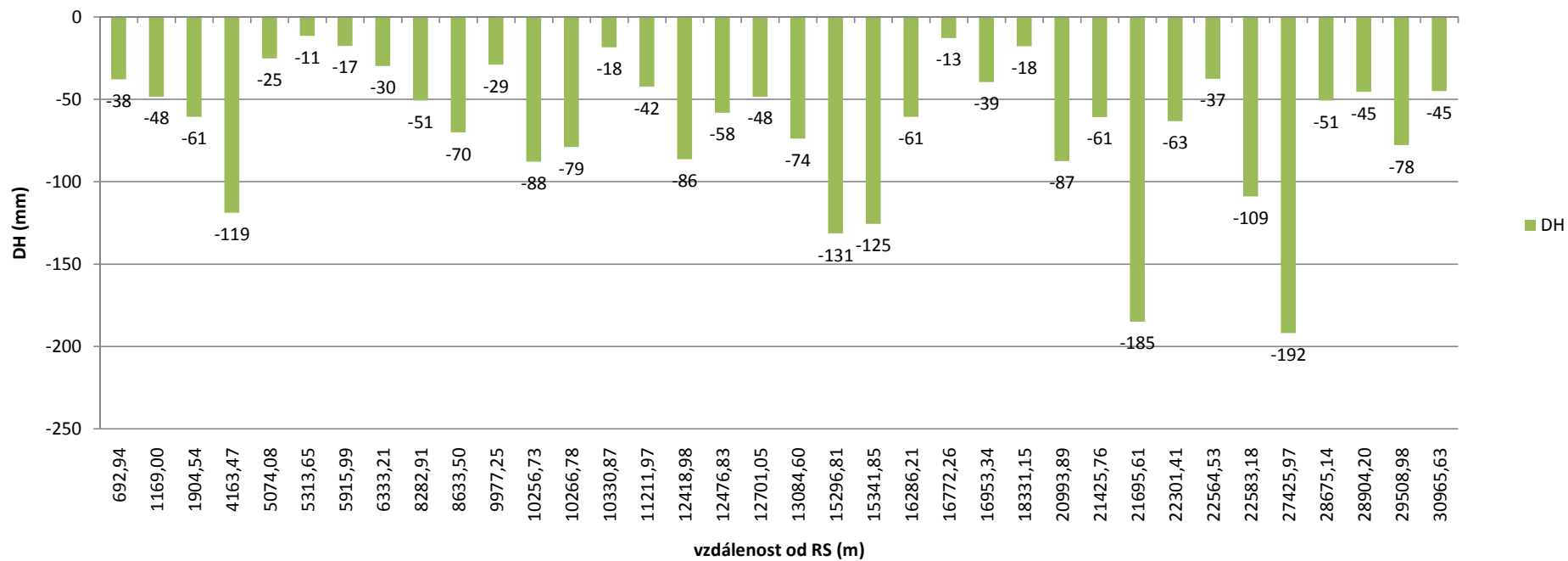
Příloha č. 6

Přehled (schéma) rozdílů naměřených hodnot trigonometrických bodů.

Příloha č. 7

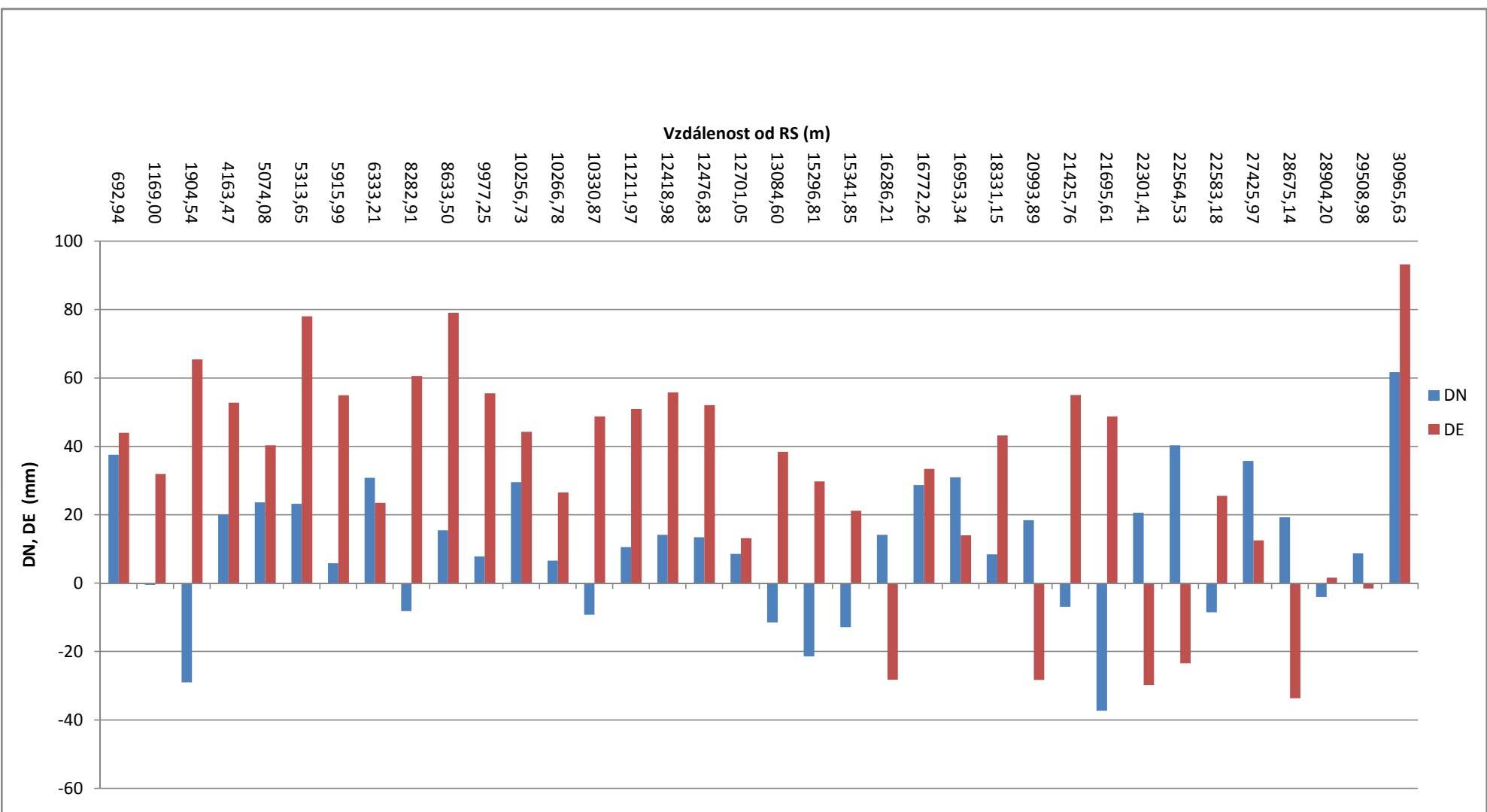
Graf závislosti vzdálenosti měřeného bodu od RS na přesnost měření GPS metodou RTK znázorňující velikost odchylky ΔH v souřadnicovém systému WGS – 84 (v milimetrech).

DH



Příloha č. 8

Graf závislosti vzdálenosti měřeného bodu od RS na přesnost měření GPS metodou RTK znázorňující velikost odchylek ΔN a ΔE v souřadnicovém systému WGS – 84 (v milimetrech).



Příloha č. 9

Tabulka hodnot naměřených rozdílů ΔN a ΔE vyjádřených v milimetrech.

Číslo bodu	název bodu	místo	DN (mm)	DE (mm)	vektor (mm)	DH (mm)	Vzdálenost od RS (m)
0624 - 220	U SVAP	koridor	38	44	58	-38	692,94
0624 - 219	Pod KSK	koridor	0	32	32	-48	1169
0624 - 221	Komořany	koridor	-29	65	71	-61	1904,54
0504 - 232	Nad dolem Šverma	Nové Sedlo nad Bílinou	20	53	57	-119	4163,47
0624-213	U dolů	Důl Centrum	24	40	47	-25	5074,08
0504 - 218	U sadu	Vysoká Pec	23	78	81	-11	5313,65
0624 - 201	H. Jiřetín u hřiště	Horní Jiřetín	6	55	55	-17	5915,99
0624 - 218	U emisí	Kopisty	31	24	39	-30	6333,21
0505 - 209	Otvice – u hřbitova	Otvice	-8	61	62	-51	8282,91
0504 - 216	Jindřišská, u silnice	Jindřišská	15	79	80	-70	8633,5
0503 – 211.1	Nová Ves v Horách - ko	Nová Ves v Horách	8	56	56	-29	9977,25
0504 - 201	U Svahové	Svahová	30	44	53	-88	10256,73
0623 - 224	Šumná - loučka	Šumná	7	27	28	-79	10266,78
0623 - 252	H. Litvínov- Benzina	Litvínov	-9	49	50	-18	10330,87
0503 – 209.1	Malý Háj - kostel	Malý Háj	11	51	52	-42	11211,97
0504 - 204	U Mezihoří	Mezihoří	14	56	58	-86	12418,98
0623 - 205	Klíny – obecní úřad	Klíny	13	52	54	-58	12476,83
0509 – 210.1	Blatno, kostel	Blatno	9	13	16	-48	12701,05
0618 - 250	Loučná - paneláky	Loučná	-11	38	40	-74	13084,6
0618 – 208.2	Dlouhá Louka - kostel	Dlouhá Louka	-21	30	37	-131	15296,81
0510 - 219	V Dubině	Černovice	-13	21	25	-125	15341,85
0508 – 7.1	Kalek, kostel	Kalek	14	-28	31	-61	16286,21
0503 - 202	Nad Alejí	Brandov	29	33	44	-13	16772,26
0509 - 220	Nad Nebovazy	Nebovazy	31	14	34	-39	16953,34
0622 - 210	Hráz Fláje	Fláje	8	43	44	-18	18331,15
0509 - 205	Nivelák	Hora Sv. Šebestiána	18	-28	33	-87	20993,89
0618 - 206	Stará Střelná - křížov	Střelná	-7	55	55	-61	21425,76
0617 - 205	Nové Město	Nové Město	-37	49	61	-185	21695,61
0508 - 207	Pohraniční	Pohraniční	21	-30	37	-63	22301,41
0514 - 208	Výsluní nad OÚ	Výsluní	40	-23	46	-37	22564,53
0510 - 222	Ušák	Nová Víska	-9	26	28	-109	22583,18
0613 - 208	Vrchoslav	Vrchoslav	36	13	38	-192	27425,97
0514 - 203	Kryštofovy Hamry východ	Kryštofovy Hamry	19	-34	39	-51	28675,14
0515 - 223	Pod Holubím vrchem	Kláštevec nad Ohří	-4	2	4	-45	28904,2
0515 - 211	V zatáčce	Petlery	9	-2	9	-78	29508,98
0612 - 207	U pomníku	Fojtovice	62	93	112	-45	30965,63