



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV GEODÉZIE**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF GEODESY

# TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI VÝŠEK URČOVANÝCH TECHNOLOGIÍ GNSS

TESTING OF THE ACCURACY OF THE HEIGHTS MEASURED BY GNSS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. KLÁRA KORDASOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL KURUC, Ph.D.**

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** N3646 Geodézie a kartografie  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3646R003 Geodézie a kartografie (N)  
**Pracoviště** Ústav geodézie

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Kordasová Klára

**Název** Testování přesnosti výšek určovaných technologií GNSS

**Vedoucí diplomové práce** Ing. Michal Kuruc, Ph.D.

**Datum zadání diplomové práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání diplomové práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

doc. RNDr. Miloslav Švec, CSc.  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Vyhláška o katastru nemovitostí (katastrální vyhláška) č. 357/2013 Sb.  
Návod pro obnovu katastrálního operátu a převod, ČÚZK, Praha 2015

## **Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)**

Navrhnete a uskutečnete testovací měření, pomocí kterého bude možné vyhodnotit přesnost výšek určených technologií GNSS. Za tímto účelem vybudujte síť testovacích bodů takovým způsobem, aby bylo možné vyhodnotit působení vlivů okolních překážek (měření v uliční zástavbě, měření na okraji lesa, měření v blízkosti nadzemního elektrického vedení apod.).

Z naměřených dat vyhodnoťte přesnost výsledných souřadnic, zejména se zaměřte na přesnost výškové složky.

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....  
Ing. Michal Kuruc, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt v Českém jazyce**

Cílem této diplomové práce je testovat přesnost výšek určených metodou GNSS RTK u poskytovatelů služeb CZEPOS a Trimble VRS Now. Práce se zabývá přesností výškového měření za přítomnosti vlivu okolních překážek, jako vícecestné šíření signálu, zastínění vysokými budovami, přítomností vedení vysokého napětí, omezeným obzorem na okraji lesa a měřením v ideálních podmínkách. Práce se dále zabývá porovnáním doby inicializace v těchto sledovaných podmínkách.

V uvedených lokalitách byla vybudována síť testovacích bodů. Pro měření byla využita GNSS aparatura Leica System 1200. Bylo měřeno pětikrát pětisekundovými epochami a třikrát dvacetisekundovými epochami pro každého poskytovatele na pěti lokalitách a třiceti bodech v dopolední i odpolední dobu. Pro nezávislé výškové porovnání bylo využito metody technické nivelace. Výsledek práce je využitelný v praktickém použití.

## **Klíčová slova**

GNSS, RTK, CZEPOS, Trimble VRS Now, výška

## **Abstract in English language**

The aim of this thesis is to test the accuracy of the heights measured by GNSS RTK with service providers CZEPOS and Trimble VRS Now. The thesis deals with precise of height measurement with the influence of surrounded obstacles, such as multipath, fading with the tall buildings, presence of high-voltage lines, limited shadow horizons at the edge of the forest, and measurement under the ideal conditions. The work also deals with the comparison of the period initialization of these monitored conditions.

In the locations mentioned a network of test points was built. For measuring GNSS Leica System 1200 apparatus was used. It was measured always five times in five-second epochs and three times twenty-second epochs for each provider in five locations and thirty points during the mornings and afternoons. For independent height comparison the technical levelling was used. The outcome can be applied in practical use.

## **Keywords**

GNSS, RTK, CZEPOS, Trimble VRS Now, height

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Klára Kordasová *Testování přesnosti výšek určovaných technologií GNSS*. Brno, 2016. 60 s., 5 příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....  
podpis autora  
Bc. Klára Kordasová

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....  
podpis autora  
Bc. Klára Kordasová

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kurucovi, Ph.D. za užitečné rady a připomínky při vyhotovení této práce.

V Brně dne

.....  
podpis autora  
Bc. Klára Kordasová



## Obsah

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2. GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉM</b> .....	<b>11</b>
2.1 STRUKTURA GNSS .....	11
2.1.1 Kosmický segment.....	11
2.1.2 Řídící segment .....	11
2.1.3 Uživatelský segment.....	12
2.2 NAVSTAR GPS .....	12
2.3 GLONASS .....	14
2.4 GALILEO .....	15
2.5 Síť permanentních stanic na území ČR .....	15
2.5.1 CZEPOS.....	15
2.5.2 Trimble VRS Now .....	17
2.5.3 TopNET .....	17
2.5.4 Georbit .....	17
<b>3. METODY URČOVÁNÍ POLOHY</b> .....	<b>18</b>
3.1 Rozdělení dle měřených veličin.....	18
3.2 Rozdělení podle metod GPS měření .....	19
3.3 Rozdělení podle určení polohy .....	20
3.4 Rozdělení systematických vlivů při GPS měření .....	21
<b>4. MĚŘENÍ VÝŠEK</b> .....	<b>27</b>
<b>5. TESTOVÁNÍ MĚŘENÍ V LOKALITĚ BRNO LESNÁ</b> .....	<b>28</b>
5.1 Lokalita .....	28
5.2 Stabilizace bodů .....	31
5.3 Číslování bodů .....	31
5.4 Použité přístroje .....	32
5.4.1 Parametry a součásti přístroje .....	32
5.4.2 Přesnost přístroje .....	33
5.5 Harmonogram měřících prací .....	34
<b>6. ZPRACOVÁNÍ DAT</b> .....	<b>37</b>
6.1 Zpracování GNSS měření .....	37
6.2 Testování naměřených dat.....	37
6.2.1 Testování normality výběrového souboru .....	38
6.2.2 Střední výšková chyba a doba inicializace.....	39
6.2.3 Vývoj výškové složky v průběhu měření .....	43
6.2.4 Test závislosti měření na denní době .....	43
6.2.5 Závislost VDOP na počtu družic.....	46
6.2.6 Závislost počtu družic na dopoledním a odpoledním měření .....	47
6.3 Technická nivelace.....	48
<b>7. ZÁVĚR</b> .....	<b>52</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÉ LITARATURY</b> .....	<b>54</b>
<b>9. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ</b> .....	<b>57</b>
<b>10. SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>58</b>
<b>11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b> .....	<b>59</b>
<b>12. SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>60</b>

## 1. ÚVOD

Předmětem diplomové práce bylo zhodnocení přesnosti výšek bodů určených technologií GNSS u poskytovatelů služeb CZEPOS a Trimble VRS Now přístrojem Leica GPS System 1200. V první části jsou popisovány základní informace o technologii GNSS, referenčních stanicích, metodách měření, jejich přesnosti a systematických vlivech při měření. Praktická část je zaměřena na měření testovacích bodů sítě, jejich zpracování, statistické testování, porovnání s technickou nivelací, dosažení výsledků a jejich porovnání.

Úkolem této práce bylo vybudovat síť testovacích bodů v lokalitě města Brna v blízkosti působení vlivů okolních překážek. Měření probíhalo v části města Brno-Lesná v uliční zástavbě, v blízkosti nadzemního elektrického vedení, na okraji lesa a na poli. Síť je tvořena třiceti body. Na každém bodě bylo měřeno metodou RTK pětisekundovými a dvacetisekundovými epochami v dopolední i odpolední dobu. Každý bod obsahoval 32 měření, celý soubor obsahoval 960 měření. Naměřené hodnoty jsou předmětem statistického zpracování. Pro nezávislé výškové porovnání bodů byla použita metoda technické nivelace.

Cílem této práce bylo zjistit, zda výsledky testování závisí na působení vlivů okolních překážek a na denní době při měření metodou RTK u jednotlivých poskytovatelů.

## **2. GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉM**

Globální navigační satelitní systém, uváděn zkratkou GNSS (Global Navigation Satellite System) umožňuje za pomoci signálů z družic určování polohy s relativně velkou přesností. V současnosti je tvořen zejména systémy NAVSTAR GPS (USA), GLONASS (Rusko) a dalšími globálními systémy, které budou v budoucnu uváděny do provozu. Těmito systémy jsou Galileo (Evropa), Compass (Čína) a další.

### **2.1 STRUKTURA GNSS**

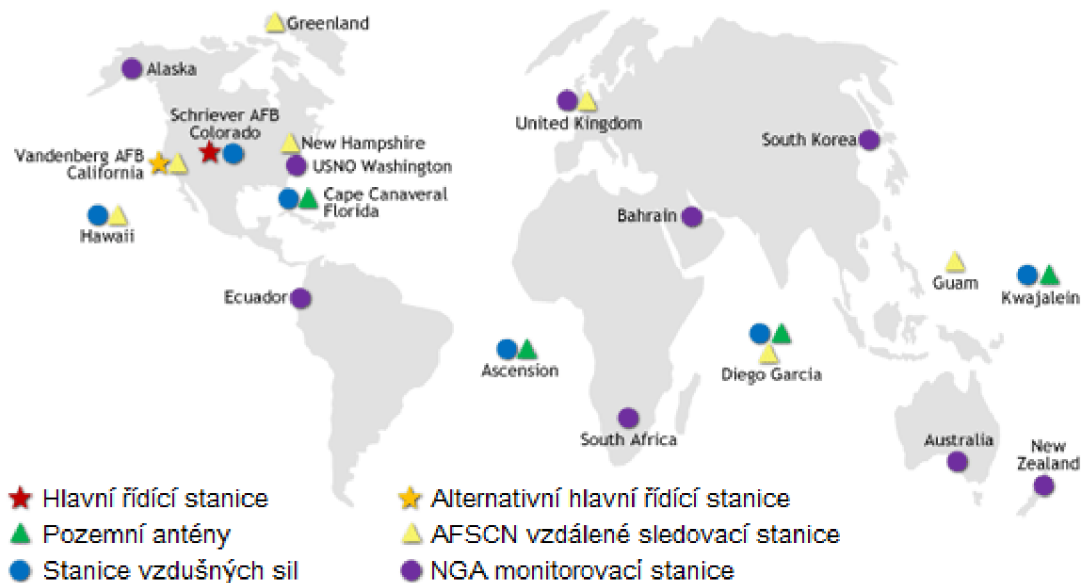
#### **2.1.1 Kosmický segment**

Kosmický segment se skládá z aktivních družic a jejich vybavení. Přístrojové vybavení družice se skládá z přijímače, vysílače, atomových hodin, procesorové jednotky, zdroje elektrické energie a dalších přístrojů, které slouží pro navigaci nebo jiné vojenské účely. Družice obíhají po oběžných drahách v různé výšce pro každý systém. Počet drah, družic, jejich doba oběhu a sklon k rovníku je také pro každý systém jiný. [1], [2]

#### **2.1.2 Řídící segment**

Operační řídicí segment tvoří hlavní řídicí stanice, monitorovací stanice a stanice pro komunikaci s družicemi. Úkolem řídicího segmentu je monitorování funkcí každé družice, sledování a výpočet dráhy družice, komunikace a zajištění přesného chodu atomových hodin na družicích.

Řídící segment má právo aktivovat nebo deaktivovat opatření k zabránění plného využití systému neautorizovanými uživateli GPS. Schéma rozmístění stanic jednotlivých navigačních systémů je na obr. 1. [1], [3], [4]



Obr. 1 - Rozmístění stanic řídicího segmentu a další sledovací stanice GPS pro výpočet přesných efemerid [3]

### 2.1.3 Uživatelský segment

Jsou to uživatelé, kteří umožňují přijímat signály z družic a získávat z nich informace o své poloze a čase. Uživatelský segment tvoří pasivní přijímače, které přijímají a dekodují signály z družic. Využívání těchto služeb je zdarma, ale některé jsou dostupné pouze pro autorizované uživatele.

Využití v geodézii, turistice, geologii, dopravě a dalších se řadí do civilního sektoru. Vyšší přesnosti mohou získat autorizovaní uživatelé, což jsou především armádní sektory. [1], [4], [5]

## 2.2 NAVSTAR GPS

NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) je vojenský globální družicový systém, který je provozován ministerstvem obrany USA.

Kosmický segment je tvořen 24 družicemi rovnoměrně rozložených v 6 oběžných rovinách. Roviny mají sklon k rovníku přibližně  $55^\circ$  a jsou k sobě posunuty o  $60^\circ$  podél rovníku. Družice obíhají přibližně ve výšce 20 200 km, oběžná doba je 11 h 58 min. Konstelace družic zajišťuje všude na Zemi a v každém okamžiku pokrytí 4 až 8 družicemi s elevací nad  $15^\circ$ .

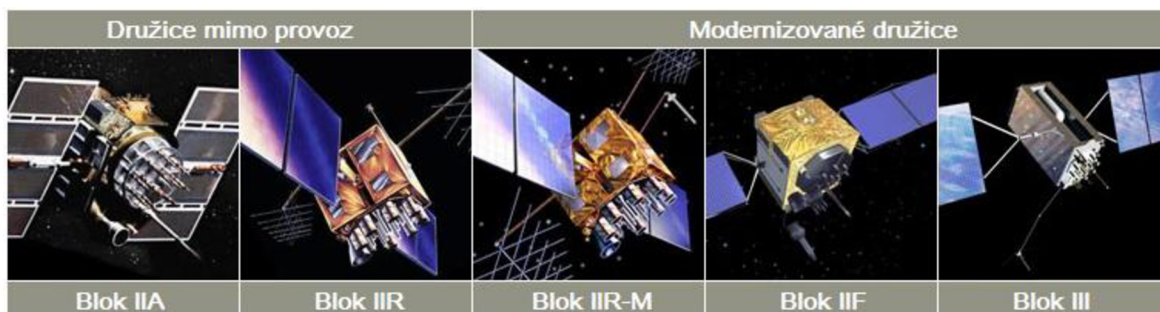
Na oběžnou dráhu bylo umístěno několik generací družic. Mimo provoz jsou nyní družice Bloku I a Bloku II. Mezi současné družice patří družice Bloku IIA, vypuštěné

v letech 1990-1996, z níž bylo vypuštěno 19 satelitů a v současné době je aktivních 9. Plánovaná životnost byla 7 let, v provozu jsou stále 3 satelity. Písmeno „A“ znamená pokročilý, obsahující kódy C/A a P(Y). (C/A – kód z anglického *Clear Access* a znamená volný přístup, P(Y) – kód z anglického *Protected* a znamená chráněný).

Mezi nejmodernější družice umístěné na oběžné dráze patří družice Bloku IIR a Bloku IIF. Družice Bloku IIR byly vypuštěné v letech 1997-2004. Písmeno „R“ je odvozeno z anglického „*Replenishment*“ a znamená doplnění. Firma Lockheed Martin vyrobila 13 satelitů, ale první byl ztracen při neúspěšném startu. Životnost družic Bloku IIR byla plánována na 10 let, některé ji ovšem překonaly. U tohoto bloku dochází ke zlepšení odstínění před kosmickým zářením, větší zásobě paliva pro raketové motory a neprogramovatelný palubní počítač. Značnou výhodou družice je schopnost samostatného fungování bez zásahu z pozemního řídicího střediska.

Družice Bloku IIR-M vypuštěné v letech 2005-2009, obsahovala 8 satelitů, z nichž je funkčních 7 satelitů. Plánovaná životnost je přibližně 7 a půl roku. Písmeno „M“ znamená modernizovaný. Kromě dvou civilních signálů byl přidán signál L2 (L2C). Družice Bloku IIF byly vypuštěné roku 2010. Písmeno „F“ znamenající pokračování má oproti ostatním blokům delší životnost a to 12 let. Kromě tří civilních signálů obsahuje navíc signál L5. Družice obsahovala 12 družic, nyní je v provozu 11.

U družice nové generace Bloku III je naplánováno zavedení dalšího civilního signálu L1C. Tento signál by měl být kompatibilní s evropským systémem Galileo. Funkce SA je zde vypuštěna, životnost této družice by měla být 15 let. Plánovaný termín vypuštění družic je stanoven na rok 2016. [3], [4]

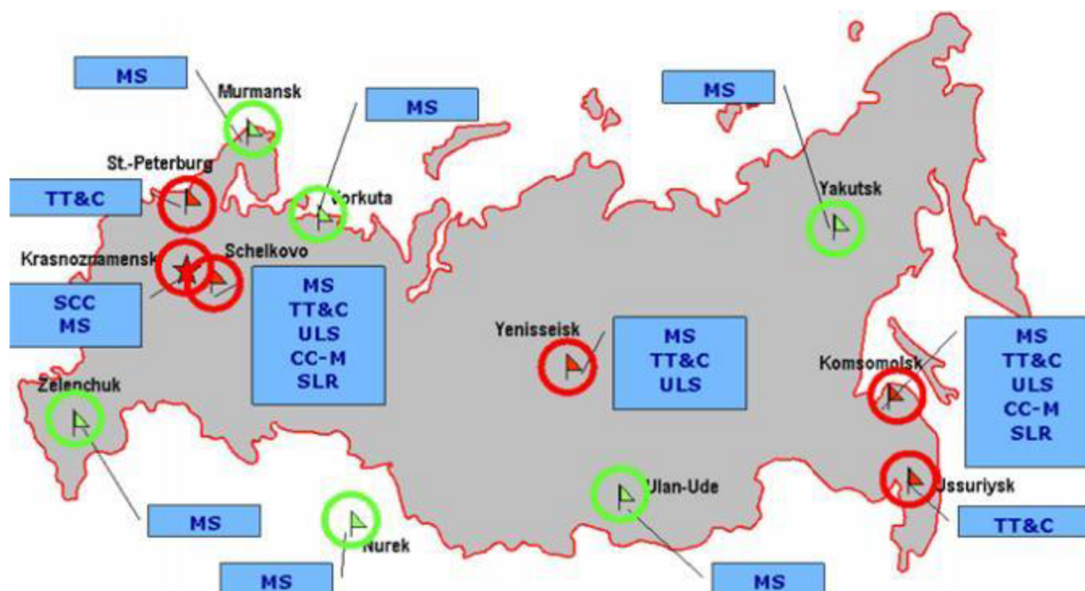


Obr. 2 - Blok IIA, IIR, IIR-M, IIF, III [3]

## 2.3 GLONASS

Družicový radionavigační systém je ruskou obdobou GPS. Vývoj byl zahájen v 70. letech 20. století. Účelem globálního navigačního systému je umožnit neomezenému množství uživatelů v libovolném počasí určovat polohu, rychlost pohybu a čas kdekoli na Zemi a v jejím blízkém prostoru. V konstelaci je 28 družic, z toho je 23 operačních. Družice jsou na třech orbitálních dráhách, jejichž roviny jsou navzájem posunuty o  $120^\circ$ , sklon je přibližně  $65^\circ$  k rovníku. Družice obíhají ve výšce 19 100 km a jejich oběžná doba je 11 hod 15 min.

Řídící segment se nachází na území Ruska s hlavní stanicí umístěnou v Moskvě. Jeho účelem je monitorování kosmického segmentu, rozmístování družic, korekce jejich drah a vysílání navigačních dat na jednotlivé družice systému. Skládá se z řídicího střediska, 5 povelových stanic (TT&C), ústředních hodin v Schelkovo, 3 nahrávacích stanic (ULS), 2 laserových lokací (SLR) a 6 dalších monitorovacích a měřicích stanic (MS) viz obr. 3. [1], [2]



Obr. 3 - Řídící segment GLONASS [23]

## 2.4 GALILEO

Navigační systém Galileo je plánovaný autonomní evropský GNSS, který by měl být obdobou amerického systému NAVSTAR GPS a ruskému systému GLONASS. Evropská unie zajišťuje jeho výstavbu. GNSS Galileo měl být provozuschopný od roku 2010, ale dle nových plánů je nejbližší rok spuštění naplánován na rok 2018.

System se bude skládat z 30 družic (27 operačních a 3 záložní) obíhajících ve třech rovinách po kruhových dráhách na střední oběžné dráze Země ve výšce 23 222 km. Roviny dráhy budou svírat s rovinou rovníku úhel  $56^\circ$ , což umožní využívat navigační systém až do míst ležících na  $75^\circ$  zeměpisné šířky. Spolehlivou funkci systému zajistí velký počet družic, i když některá družice přestane správně pracovat. Systém Galileo umožní držitelům přijímačů signálu určit jejich aktuální polohu s autonomní přesností lepší než jeden metr. [6]

## 2.5 Síť permanentních stanic na území ČR

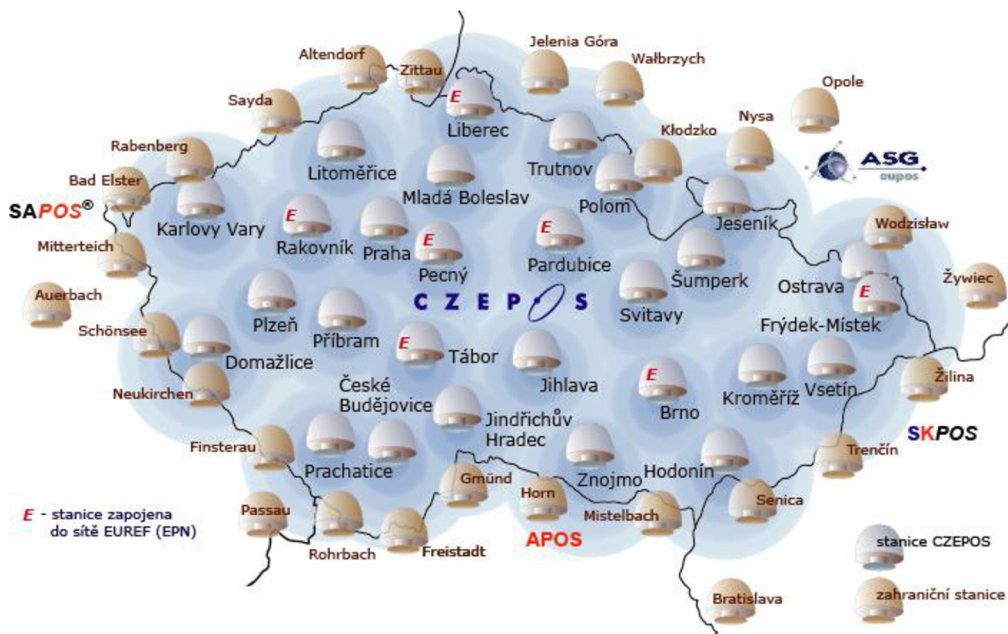
Síť referenčních stanic na území České republiky jsou:

- CZEPOS
- Trimble VRS Now
- TopNET
- Georbit

### 2.5.1 CZEPOS

CZEPOS poskytuje uživatelům globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky. CZEPOS spravuje a provozuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky. [7]

Síť permanentních stanic GNSS České republiky vzniká postupně od roku 2004 a v současnosti je rovnoměrně rozmístěných 28 stanic na území České republiky. Do síťového řešení je zapojeno i 27 příhraničních stanic okolních států. Všechny stanice provádí nepřetržitě 24 hodin denně přesné GNSS měření, která se dále zpracovávají a poskytují uživatelům formou korekcí. [7]



Obr. 4 - Referenční stanice CZEPOS [7]

Prostřednictvím služeb CZEPOS poskytuje uživatelům korekční data v reálném čase. Korekce CZEPOS jsou poskytovány přes internet, k jejich příjmu je zapotřebí mobilní internetové připojení. [7]

DGPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DGPS</li> </ul>
RTK	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RTK</li> <li>• RTK3-GG, RTK3-NS-GG</li> </ul>
VRS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RTK-PRS, RTK3-FKP</li> <li>• VRS3-MAX, VRS3-iMAX</li> <li>• VRS3-MAX-GG, VRS3-iMAX-GG, VRS3-VirtualRS-GG</li> <li>• VRS-MAX-GG_L4G, VRS-iMAX-GG_CMR/CMR+</li> </ul>

Obr. 5 - Poskytované služby [7]



### **2.5.2 Trimble VRS Now**

Trimble VRS Now Czech (Trimble) je síť referenčních stanic, která také poskytuje korekce všem GPS/GNSS přijímačům jakýchkoliv značek jak pro geodézii, tak i pro GIS. Síť je provozovaná firmou Trimble stejně jako v dalších evropských zemích - Velká Británie (115 stanic), Německo (170 stanic), Irsko (22 stanic) a Estonsko (21 stanic). V České republice je rozmístěno 25 referenčních stanic tak, aby měl uživatel kdekoliv v Čechách, na Moravě či ve Slezsku zajištěn kvalitní příjem RTK korekcí. Do sítě jsou dodávána ještě data z 8 stanic v Německu, která jsou součástí sítě Trimble VRS Now Deutschland, aby byla pokryta západní část České republiky. [8]

### **2.5.3 TopNET**

V roce 2004 byla spuštěna první stanice sítě v Brně. Měření na tuto stanici se osvědčilo, proto bylo rozhodnuto vybudovat další stanice na Moravě, které by sloužily pro podporu terénních prací zaměstnanců tehdejšího GEODIS GROUP. Nyní je síť provozována společností GB-geodézie. Roku 2007 byla data ze sítě TopNET zpoplatněna a zpřístupněna veřejnosti. V roce 2010 bylo dokončeno pokrytí celé ČR RTK korekcemi a mohlo být spuštěno generování virtuálních referenčních stanic (VRS).

V současnosti je v síti zapojeno 35 GNSS stanic, 32 z nich je rozloženo po celém území ČR tak, aby celá ČR byla pokryta RTK a VRS korekcemi. Průměrná vzdálenost stanic je 55 km. [9]

### **2.5.4 Georbit**

Georbit je síť GNSS referenčních stanic poskytující korekční data všem GNSS (GPS) přijímačům. Georbit je síť určená všem aplikacím a všem přístrojům. 30 referenčních stanic bude rozmístěno a provozováno v testovacím provozu do konce roku 2016 a od roku 2017 bude k dispozici v plném provozu. Tato síť je provozována firmou geobchod, s. r. o. [24]

## 3. METODY URČOVÁNÍ POLOHY

### 3.1 Rozdělení dle měřených veličin

- **Kódové měření**

Měření probíhá na C/A kódu nosné L1 vlny. Měřená vzdálenost je nahrazena měřením času potřebného k tomu, aby signál z družice dosáhl přijímače. V přijímači se porovnává vytvořený referenční signál s přijatým družicovým signálem. Přijatý signál je opožděný oproti signálu vytvořenému v přijímači, což je čas potřebný k přenosu signálu. Referenční signál v přijímači je posouván do té doby, než se oba signály optimálně shodují – nastává korelace. Tím je získán časový posun odpovídající tranzitnímu času průchodu signálu mezi anténou družice a fázovým centrem antény přijímače. Časové systémy na družici a v přijímači nejsou přesně synchronizovány, proto se z měření získá tzv. pseudovzdálenost. Tato vzdálenost je zatížena všemi systematickými vlivy (chyba hodin družice, chyba hodin přijímače, chyba z průchodu ionosférou a troposférou). K určení polohy je potřeba minimálně 4 družic. [10], [12]

- **Fázové měření**

Principem je opět určování pseudovzdáleností pomocí celých vln a měření fázových doměrků. Jedná se o měření prováděná přímo na nosných vlnách signálů GNSS. Vzdálenost mezi družicí a přijímačem se určuje jako násobek vlnové délky nosné vlny. Ten se skládá z celočíselné části a ze snadno měřitelného zlomku vlnové délky. [25]

Tato část (veličina) se nazývá počáteční celočíselná ambiguita a zůstává stejná po celou dobu měření, dokud nedojde k přerušení signálu. Ambiguity se řeší ve třech krocích. Prvním je vyrovnáním MNC, tím se určí hodnoty ambiguit jako reálná čísla (*float řešení*). Druhým je vyhledání celočíselných hodnot ambiguit a posledním je nové vyrovnání s již celočíselnými hodnotami. Druhý a poslední krok se opakuje, dokud se nenalezne řešení s nejmenší směrodatnou odchylkou, to znamená, že se testují charakteristiky přesnosti nejlepšího a druhého nejlepšího výsledku. Řešení se statisticky významným zmenšením variace oproti druhému nejlepšímu se označí jako fixované (*fixed*). Pokud se testem neprokáže nejlepší řešení, použijí se původní reálné hodnoty označované jako *float*, dokud není řešení *fixed*. [4], [10], [12]

## 3.2 Rozdělení podle metod GPS měření

### Statická metoda

Jedná se o nejstarší metodu, při které jsou oba přijímače po celou dobu měření vzhledem k zemskému povrchu v klidu. Metoda používá dlouhé observace (hodiny nebo i dny) pro získání vysoké přesnosti  $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ . Tuto metodu lze využít při budování základních geodetických sítí na velkém území, při národních a kontinentálních měření. [10], [12]

### Rychlá statická metoda

Tato metoda je modifikovaná metoda statická. Liší se kratší dobou observace (obvykle několik minut) při větším počtu družic. Při měření se více projevuje vliv náhodných chyb kvůli menšímu souboru měření. Přesnost metody je  $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ . Metodu lze využít při zhušťování sítí, při místní triangulaci a při hraničním měření. [10], [12]

### RTK (Real Time Kinematic)

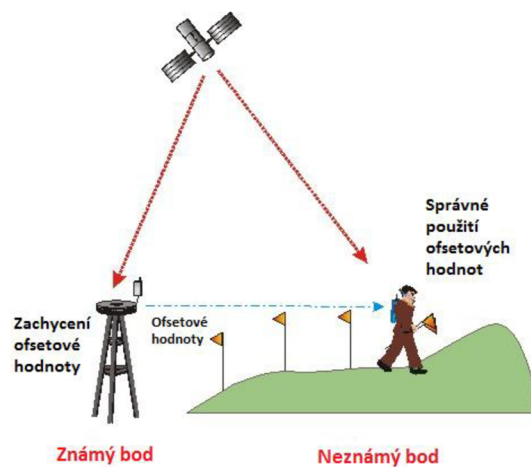
Jedná se o fázové a přesné kódové měření. Měření je zpracováváno alespoň ze dvou aparatur, které přijímají signál ve stejný časový okamžik (viz obr. 6). Přenos korekcí je realizován pseudovzdáleností a fázovým měřením z referenční stanice do roveru v reálném čase. Pomocí metody *On the Fly* (kinematické měření s inicializací za pohybu) jsou řešeny ambiguity v roveru, tím nastane okamžitý výpočet parametrů měřeného vektoru. Pro tuto metodu je potřeba mobilního internetového připojení pro příjem korekcí ve formátu RTCM. Přístroj umožňuje i posoudit kvalitu určovaných souřadnic, které se zobrazí na displeji a současně se ukládají do paměti. Přímou na měřeném bodě může být rozhodnuto, zda jsou určené souřadnice vyhovující nebo nikoliv, v tomto případě je možné měření zopakovat. Přesnost této metody je  $10 - 20 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ .

Výhody metody RTK:

- Měření prostorové polohy bodů v reálném čase
- Využití při rychlém vytyčování
- Využití pro přesné aplikace pro GIS

Nevýhody metody RTK:

- Závislost na signálu mobilního operátora
- Zpoplatnění služby operátora
- Minimálně 5 viditelných družic [10], [12]



Obr. 6 - Princip metody RTK [22]

### 3.3 Rozdělení podle určení polohy

#### Absolutní metoda

Jde o metodu, u které se určuje poloha jednotlivého přijímače měřením pseudovzdáleností. Ve stejný okamžik je třeba určit pseudovzdálenost alespoň ke čtyřem družicím. Výsledkem je absolutní prostorová poloha antény přijímače v geodetickém systému WGS 84.

U této metody jsou definovány dva způsoby měření, SPP (*Single point positioning*) a PPP (*Precise Point Positioning*), který využívá i fázových měření. Tato metoda využívá dlouhé observace a dochází zde k eliminaci systematických vlivů. Přesnost u PPP je centimetrová, pro SPP je dosažená přesnost v řádu metrů. Po skončení měření lze uživatelům poskytnout stažené korekce z online databází zpracovatelských center. [10], [12]

## **Relativní metoda**

U relativního určení polohy jsou zpracovávány měření alespoň ze dvou aparatur, které přijímají signály ve stejný časový okamžik. Je určován vektor mezi těmito dvěma body. Na koncových bodech vytvořené základny (*baseline*) jsou umístěny přijímače (referenční stanice). Referenční stanice na známém bodě je *reference*, stanice na určovaném bodě je *rover*. Tato stanice je po celou dobu měření na jednom známém místě. *Rover* určuje polohu neznámých bodů. Při fázovém měření můžeme dosáhnout nejvýše milimetrové přesnosti. [10], [12]

Pro zvýšení přesnosti se využívá speciálních technik, které z větší části eliminují systematické vlivy.

### **3.4 Rozdělení systematických vlivů při GPS měření**

#### **Umělé ovlivňování kvality signálu**

SA – *Selective Availability*, umělá degradace dráhových údajů a ovlivňování palubních hodin družic podle utajeného algoritmu. Nyní již není aplikováno na GNSS signály.

AS – *Anti Spoofing* - přepis P – kódu dalším W-kódem. Výsledný Y – kód je tajný, přístupný pouze autorizovaným uživatelům. Moderní GPS přijímače dokážou pomocí speciálních technik tuto obtíž obejít, ovšem se zvýšenou úrovní šumu. [4], [10]

#### **Chyby spojené s družicemi**

Chyby družicových hodin a zpoždění signálu v obvodech družice ovlivňují přesnost určení tranzitního času. Přesnost určení parametrů drah družic ovlivňuje zejména autonomní určení polohy. Poloha fázového centra antény družice není totožná s jejím těžištěm. Při přesném zpracování delších vektorů je třeba tento vliv brát v úvahu. [4], [10]

## Chyby při šíření signálu atmosférou

Signál vysílaný z družice prochází atmosférou, ta ovlivňuje rychlost šíření vysílané vlny a tím dochází ke změnám měřených parametrů – pseudovzdáleností nebo fází. Průchodem družicového signálu atmosférou působí refrakce, která má vliv na určení tranzitního času a tím i na měřenou délku. Refrakce je rozlišována na ionosférickou a troposférickou.

Ionosférická refrakce - intenzita je určena počtem volných elektronů v ionosféře (ve výšce 50 – 1000 km) a je závislá na frekvenci procházejícího vlnění. Odstraňuje se měřením na obou frekvencích vytvořením vhodné lineární kombinace (označuje se např. jako *iono-free*), zaváděním ionosférických korekcí z navigační zprávy nebo použitím regionálních/globálních modelů ionosféry. Pro malá území lze považovat vliv ionosféry za stejný a při tvoření diferencí se její vliv z větší části vyloučí.

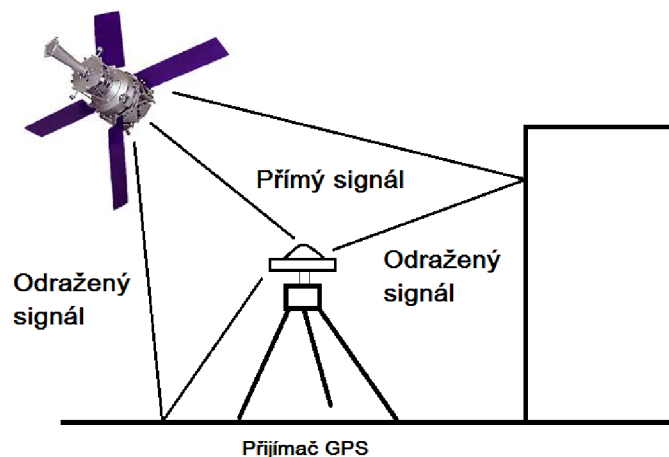
Troposférická refrakce – Tato refrakce závisí na hustotě nižších vrstev atmosféry (výška cca 10 km). Je stejná pro obě frekvence i pro kódová i fázová měření. Maximální troposférické ovlivnění dosahuje hodnot 2,3 m ve směru zenitu a až 25 m pro družice s elevací kolem 15°. U kratších vektorů se při tvorbě diferencí její vliv vyloučí. Pro snížení vlivu se používá standardního modelu atmosféry nebo výpočet parametrů troposféry z GPS měření na známých bodech. [4], [10], [12].

## Chyby spojené s přijímačem

V GPS přijímačích nemohou být používány vysoce přesné oscilátory, jako jsou atomové hodiny na družicích, z tohoto důvodu musí být časové údaje přijímače korigovány vzhledem k systémovému GPS času. Mezi ovlivňující chyby patří chyba hodin přijímače a nepřesná znalost excentricit fázových center GPS antén. Přesnost hodin v přijímači je o několik řádů horší než na družici. Obvykle se korekce určují pro jednotlivé epochy měření v rámci výpočtu polohy. [4], [10], [12].

## Chyby spojené s místem měření

Vícecestné šíření signálu (Multipath) – přijímač GPS zpracovává nejen přijatý signál, ale i signál odražený od blízkých ploch, čímž dochází k chybám ve zpracování měření. Kódová měření mohou mít chyby až 50 m, fázová měření až 5 cm. Multipath lze eliminovat pomocí konstrukcí antén, výběrem stanoviště a delší observací na rizikových bodech. [4], [10], [12].



Obr. 7 - Vícecestné šíření GPS signálu (Multipath) [27]

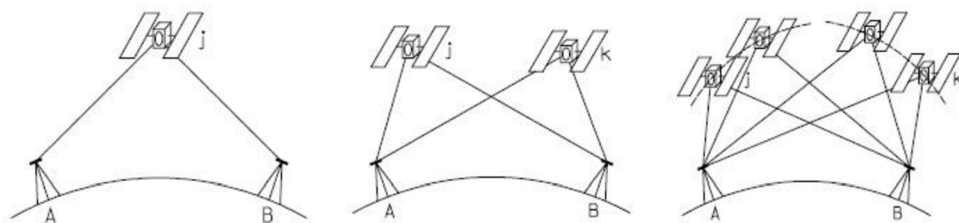
Pro eliminaci systematických vlivů se vytváří difference simultánních měření dvojice přijímačů. Rozdělují se:

- **Jednoduché difference** – současně se pozoruje stejná družice minimálně ze dvou koncových bodů. Umožňuje ovlivňovat ofset časové základny družice. Jednoduché difference snižují chyby hodin přijímače, vliv ionosférické a troposférické korekce.
- **Dvojité difference** – získávají se rozdílem dvou jednoduchých diferencí na dvou družicích. Členy ve výpočetní rovnici nejsou závislé na frekvenci a na korekcích hodin přijímačů. Eliminují ofset časových základen přijímačů, snižují vliv chyb hodin družice, chyb hodin přijímače a vliv ionosférické a troposférické korekce.
- **Trojité difference** – získávají se rozdílem dvojitých diferencí zaměřených ve dvou různých epochách. Nelze je používat pro přesné určení relativní polohy. V trojitých diferencích jsou vyloučeny chyby hodin družice, přijímačů a celočíselné kombinace počtu

cyklů - ambiguit. Nevýhodou těchto diferencí je menší přesnost výsledků než výsledků získaných z jednoduchých i dvojitých diferencí.

- **Lineární kombinace** – jde o kombinaci kódových i fázových měření na obou nosných vlnách. Lineární kombinace  $L_3$  (označována u fázových měření) umožňují téměř eliminovat vliv ionosférické refrakce (*ionosphere-free*). Rozdíl  $W_3$  mezi ionosférickou refrakcí kombinací  $L_3$  a  $P_3$  (označována u kódových měření) lze využít pro detekci vícecestného šíření signálu. Nevýhodou je však nízká přesnost kódových měření.

Další kombinace ( $L_4$ ,  $P_4$ ) je jak fázových, tak kódových měření a je označována „*geometry-free*“. Tato kombinace lze využít pro určování modelů ionosférické refrakce. Kombinace eliminující efekt ionosféry, troposféry, geometrie a chyb hodin se nazývá *Melbourne-Wübbenova* lineární kombinace a využívá se při kinematických metodách. [10], [12]



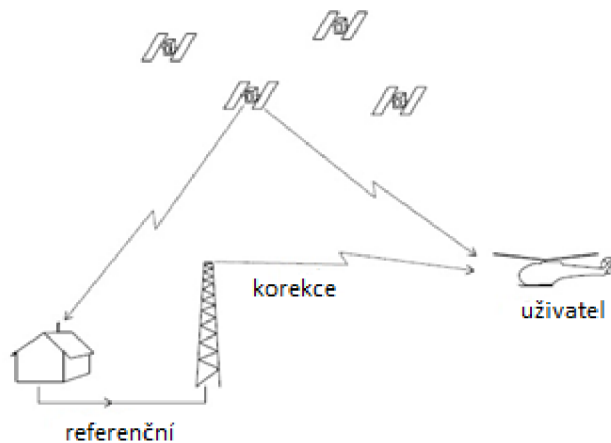
Obr. 8 - Vytváření diferencí [12]



## DIFERENČNÍ GPS (DGPS)

Principem této metody je nepřetržité měření pseudovzdálenosti na bodě o známých souřadnicích ke všem viditelným družicím. Počítají se rozdíly mezi vypočtenou vzdáleností ze souřadnic referenční stanice, družice a měřenou hodnotou pseudovzdálenosti. Tyto korekce jsou předávány pomocí rádiových vln mobilním přijímačům, které je využívají k přesnějšímu určení polohy měřených podrobných bodů.

Pro přenos korekcí se používá protokol RTCM-104. Tato přenesená data, stejně jako korekce RTK, jsou rozdělena do zpráv, jejichž formát i obsah je dán typem zprávy. Celkem je 64 typů zpráv. Přesnost diferenčního určování polohy je 0,5 m.



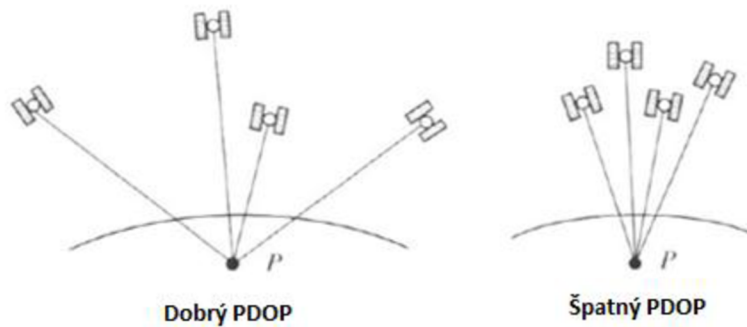
Obr. 9 - Princip diferenčního určování polohy [12]

## PŘESNOST PŘI MĚŘENÍ

Charakteristika kvality konfigurace je tzv. faktor snížení přesnosti, označován jako DOP (*Dilution of Precision*). Pomocí faktorů DOP se definuje přesnost určení neznámých prvků. Čím je hodnota DOP nižší, tím dosáhne vyšší přesnosti. Hodnota DOP se mění v závislosti na konfiguraci družic a také jejich počtu.

Druhy DOP:

- GDOP (faktor globálního snížení přesnosti)
- PDOP (faktor snížení přesnosti v určení polohy)
- HDOP (faktor snížení přesnosti určení v horizontální poloze)
- VDOP (faktor snížení přesnosti ve výšce)
- TDOP (faktor snížení přesnosti v určení korekce hodin přijímače) [12]



Obr. 10 - Vliv konfigurace družic na polohovou přesnost [12]

## 4. MĚŘENÍ VÝŠEK

Na měřené výškové rozdíly jsou kladeny různé nároky na přesnosti požadovaných hodnot. Přesnost nivelačních metod se rozděluje podle střední kilometrové chyby  $\sigma_0$  dle použitých nivelačních přístrojů.

- Technická nivelace
- Přesná nivelace
- Velmi přesná nivelace
- Zvlášť přesná nivelace

Pro další výškové zaměření bylo postačující zaměření bodů technickou nivelací (TN), metodou geometrické nivelace ze středu.

Geometrická nivelace ze středu je metoda, kterou se určí převýšení mezi body, je-li známá nadmořská výška v příslušném výškovém systému alespoň jednoho z nich. Principem je vymezení horizontální přímky nivelačním přístrojem a měření svislé odlehlosti (laťového úseku) bodů pomocí nivelačních laťů. [13]

Rozdíl délek vzad a vpřed nesmí být velký (1-2 m), aby se eliminoval vliv přístrojových chyb nivelačního přístroje. Vložené a uzavřené pořady se měří jedenkrát. [14]

Výšky jsou určeny v systému Bpv (Balt po vyrovnání). Z bodů České státní nivelační sítě (ČSNS) byly využity výškové body JM-071-550, JM-071-523 z nivelačního pořadu PNS-JM 071 Brno. Body byly vyhledány pomocí geodetických údajů a jejich poloha se ověřila změřením oměrných měř.

Kritérium přesnosti je mezní odchylka mezi daným a měřeným převýšením. Ta se určí ze vzorce:

$${}^1\Delta h_{\max} = 40 * \sqrt{R} \text{ [mm]} \quad (1)$$

Kde  $R$  je délka nivelačního pořadu v kilometrech.

Vzniklá odchylka se rozdělí úměrně jednotlivým horizontům přístroje. Pokud bylo převýšení měřeno dvakrát, uvádí se ještě mezní odchylka mezi dvakrát měřeným převýšením:

$${}^2\Delta h_{\max} = 0,67 * 40 * \sqrt{R} \text{ [mm]} \quad (2)$$

## 5. TESTOVÁNÍ MĚŘENÍ V LOKALITĚ BRNO LESNÁ

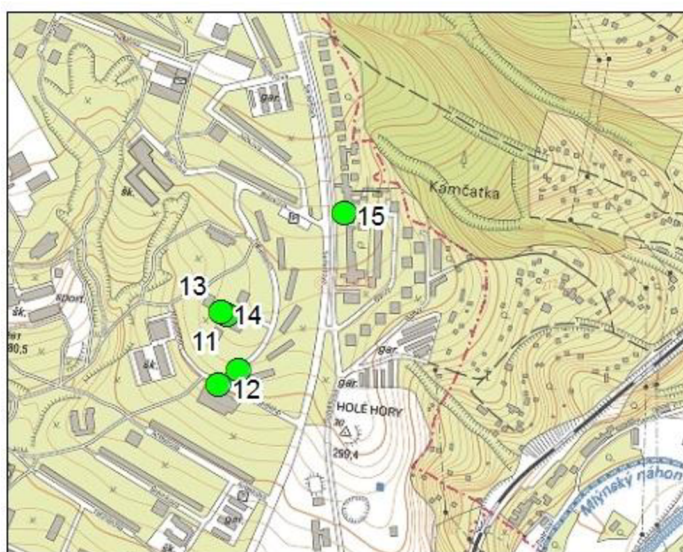
Zadáním této práce bylo otestovat vybudovanou síť bodů, jejichž výšky byly měřeny metodou RTK. Body byly rozmístěny podle níže uvedených lokalit. V každé lokalitě působí na měření různé vlivy prostředí a každá lokalita má odlišný zákrytový obzor. Pro nezávislou kontrolu a porovnání výsledných výšek byla použita metoda TN.

### 5.1 Lokalita

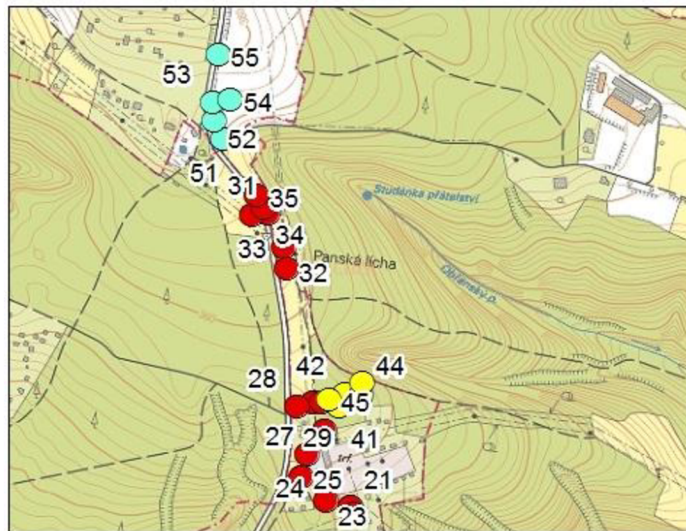
Vlastní měření probíhalo na pěti lokalitách v Brně. Všechna měření byla realizována v části Brno Lesná. Toto území bylo zvoleno z hlediska rozmístění všech lokalit, kterými jsou:

- Uliční zástavba
- Vedení vysokého napětí a mimo něj
- Pole
- Les

První lokalita *uliční zástavba* se nachází v blízkosti ulice Seifertova (body označeny zeleným kolečkem, viz obr. 11). Druhá a třetí lokalita *vedení vysokého napětí a mimo něj* se nachází u rozvodny směr Soběšice (body označeny červeným kolečkem, viz obr. 12). Čtvrtá lokalita *les* je směrem na východ u zastávky U rozvodny (body označeny žlutým kolečkem, viz obr. 12). Poslední, pátá lokalita *pole* se nachází u Panské Líchy (body označeny modrým kolečkem, viz obr. 12). Dohromady bylo měřeno na 30 bodech. Přehledná mapa rozmístění bodů byla vytvořena v programu ArcMap 10.3. Přehledná situace bodů je v příloze č. 3.



Obr. 11 - Rozmístění bodů 11-15



Obr. 12 - Rozmístění bodů 21-55

Body ve všech lokalitách byly voleny tak, aby na ně působily různé vlivy prostředí. V lokalitě zástavba se body nachází v blízkosti vysokých budov cca 30 m. Bod 11 je zastíněn z jižní strany, bod 12 ze západní strany, bod 13 z jihovýchodní strany, bod 14 ze severovýchodní strany a bod 15 je zastíněn z východozápadní strany.



Obr. 13 - Zastínění ze severovýchodní strany



Obr. 14 - Měření na bodě v zástavbě

V lokalitě vedení vysokého napětí se body nachází pod dálkovým vedením vysokého napětí a mimo něj. Bylo zde měřeno z důvodu, zda se prokáže vliv elektrického vedení při měření GNSS.

Měření v lese bylo voleno z důvodu zakrytého obzoru vegetací.



Obr. 15 - Měření pod el. vedením



Obr. 16 - Měření v lese

Poslední lokalita pole byla zvolena kvůli volnému obzoru, proto by zde měření a testování mělo vycházet nejlépe.



Obr. 17 - Lokalita pole

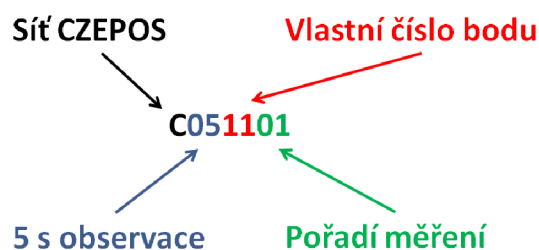
## 5.2 Stabilizace bodů

Použité materiály měřických značek byly stabilizovány dle povrchu nacházejícího se v daném místě. Pro uliční zástavbu byly použity měřické hřeby zatlučené do země. U lokality vedení vysokého napětí byly taktéž převážně použity měřické hřeby a dřevěné kolíky zatlučené mírně nad povrch terénu a signalizované dalším kolíkem nastříkaným signalizačním sprejem pro lepší viditelnost. Pro poslední lokalitu pole byla použita trubka a dřevěné kolíky.

## 5.3 Číslování bodů

Číslování bodů bylo rozděleno podle parametrů observace poskytované od CZEPOS a Trimble VRS Now. Body se označují sedmimístným úplným číslem ve tvaru SDDCCPP.

První znak S označuje poskytovanou síť. C v případě použití sítě CZEPOS, T v případě Trimble. Druhý znak DD označuje dobu observace 05 nebo 20. Třetí znak CC je vlastní číslo bodu dle měřené lokality. Poslední znak PP uvádí pořadí měření.



Obr. 18 - Číslování bodů

Pro lokalitu uliční zástavba jsou použita čísla bodů 11-15. Část vedení vysokého napětí a mimo něj 21-35. Pro les byla použita čísla 41-45 (bod číslo 44 byl zničen v průběhu měření, proto byl změřen nový bod 46 a dále přečíslován na bod 44) a pro lokalitu pole 51-55.

## 5.4 Použité přístroje

Pro vlastní měření byl použit přístroj Leica GPS System 1200. Je to přístroj využívající dva globální navigační systémy GPS a GLONASS. Řadí se mezi první světové přístroje, které zmírňují multipath. Přístroj byl navržen pro podporu budoucích GNSS signálů L5. Výrobce udává možnost odolání extrémním teplotám v rozsahu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Další výhody jsou vysoká přesnost a zvýšení počtu přijímaných satelitů. [15]



Obr. 19 - Leica GPS System 1200

### 5.4.1 Parametry a součásti přístroje

- GPS přijímač GX 1230GG – dvou frekvenční
- Anténa AX1202 GG – standardní, frekvence L1 a L2
- Kontroler GX1210 – dotykový displej
- Další součásti přístroje: baterie, kabely pro propojení nabíječky a kontroleru, nabíječka [16]



### 5.4.2 Přesnost přístroje

Přesnost tohoto přístroje je závislá na několika faktorech. Těmito faktory jsou počet a rozmístění satelitů, délka observace, efemeridy, ionosférické podmínky, multipath a další. Přesnosti uváděné výrobcem jsou pro střední kvadratickou chybu rms (*root mean square*), pro měření v reálném čase a zpracované v programu LGO.

Přesnosti pro kinematickou metodu je přesnost v poloze 10 mm + 1 ppm a ve výšce 20 mm + 1 ppm. Pro statickou metodu je přesnost v poloze 5 mm + 0,5 ppm a ve výšce 10 mm + 0,5 ppm. U kódových měření výrobce udává přesnost 25 cm. [15]

Další nezávislé měření výšek bylo provedeno nivelačním digitálním přístrojem Sprinter 150M, jehož technické parametry jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 - Technické parametry



Technické parametry	
Zvětšení dalekohledu	24x
Přesnosti měření délek	±10 mm / 10m
Střední kilometrová chyba	± 1,5 mm
Rozsah kompenzátoru	+/- 10 '

Obr. 20 - Nivelační přístroj Sprinter 150M

## 5.5 Harmonogram měřících prací

Tab. 2 - Harmonogram měřících prací

Činnost	Termín
Rekognoskace terénu	6. – 7. 9. 2015
Dopolední i odpolední měření v uliční zástavbě	16. 9. 2015
Dopolední měření u vedení vysokého napětí	18. 9. 2015
Dopolední měření u vedení vysokého napětí	1. 10. 2015
Dopolední měření u vedení vysokého napětí a u lesa	3. 10. 2015
Dopolední i odpolední měření u vedení vysokého napětí a u lesa	4. 10. 2015
Odpolední měření u vedení vysokého napětí a na poli	16. 10. 2015
Dopolední i odpolední měření u vedení vysokého napětí, pole i lesa	17. 10. 2015
Dopolední i odpolední měření lesa	18. 10. 2015
Technická nivelace	16. - 17. 11. 2015 15. 1. 2016

Při rekognoskaci terénu byly dohledány body výškového bodového pole pomocí geodetických údajů na webových stránkách Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK). Výsledky rekognoskace jsou uvedeny v tab. 3. Geodetické údaje o použitých bodech jsou uvedeny v příloze č. 2.1.

Tab. 3 - Rekognoskace výškového bodového pole

Číslo bodu	Stabilizace	Výška [m]	Dostupnost
JM-071-550	kamenný kříž	275,128	nalezen
JM-071-523	čepová značka	300,639	nalezen
JM-071-524	čepová značka	308,540	nenalezen
JM-071-525	bet.základ el. stožáru	329,467	nenalezen
JM-071-526	nivelační kámen	355,28	pravděpodobně zničen
20.3	žulový kámen	365,88	nalezen

Před měřením proběhla rekognoskace a stabilizace jednotlivých bodů, aby byl zajištěn hladký průběh přemístění na jednotlivé body a urychlení hledání vhodného místa.

Na každé lokalitě bylo měřeno v dopolední i odpolední dobu na pěti vlastních libovolných bodech, v lokalitě vedení vysokého napětí a mimo něj dohromady na patnácti bodech. Body v uliční zástavbě byly rozmístěny podle zastínění budov.

U bodu 15 při dopoledním dvacetisekundovém záznamu měření poskytovatelem CZEPOS byla odchylka ve výšce příliš vysoká, proto tyto měření byly ze souboru vyloučeny. Hodnota faktoru DOP však nebyla rozdílná od jiných měření, taktéž počet satelitů byl dobrý. Zastínění bodu je na obr. 21.



Obr. 21 - Zastínění zástavbou na bodě 15

U vedení vysokého napětí byly body rozmístěny pod dráty vysokého napětí a na pravou i levou stranu od drátů v přibližné vzdálenosti do 10 m. Body v lese a na poli jsou rovnoměrně rozmístěny po celé lokalitě.

Na všech bodech nejdříve proběhla centrace a horizontce, dále byla změřena výška antény, poté byl v kontroleru nastaven příjem korekcí pro poskytovatele CZEPOS nebo Trimble (střídavě), číslo bodu a změřená výška. Kontroler se musel připojit k internetu a od této doby byla na stopkách stopována doba inicializace. Číslování bodů je uvedeno v kapitole 4.3. *Číslování bodů*. Po zafixování přístroje bylo spuštěno měření a po pěti sekundách uloženo. Po pěti opakováních byl změněn příjem korekcí a celý postup

opakován. Dále následovaly dvacetisekundové záznamy, které se opakovaly třikrát. Pro lepší představivost je průběh měření uveden v tab. 4.

Nejdříve proběhlo měření v uliční zástavbě, dále postupně u vedení vysokého napětí, lesa a pole. V uliční zástavbě, v lese a u vedení vysokého napětí bylo záměrně měřeno v zákrytu, abychom zjistili, jak velký má vliv na počet viditelných družic, tak na míru přesnosti faktoru DOP (*Viz Přesnost při měření*).

Nejhorší situace při měření nastala v lokalitě lesa, kde byla nejdelší fixace na bodech. Zajímavostí bylo, že horší fixaci zde měl poskytovatel korekcí Trimble.

Celé měření aparaturou Leica zabralo 9 dní. Celkově bylo na každém bodě 32 měření. Dohromady bylo realizováno 960 měření.

Tab. 4 - Průběh měření na bodě

<b>PRŮBĚH MĚŘENÍ NA BODĚ dopolední i odpolední měření</b>	
1.	Centrace a horizontace GPS přístroje na bodě
2.	Změření výšky antény
3.	Nastavení příjmu korekcí pro CZEPOS nebo Trimble VRS Now
4.	Připojení k internetu
5.	Stopování na stopkách dobu inicializace na bodě, zapsání času
6.	Po 20 s zastavení příjmu korekcí, uložení bodu a pokračování dalšího měření (3x opakování)
7.	Střídání poskytovatele
8.	Po 20 s zastavení příjmu korekcí, uložení bodu a pokračování dalšího měření (3x opakování)
9.	Střídání poskytovatele
10.	Po 5 s zastavení příjmu korekcí, uložení bodu a pokračování dalšího měření (5x opakování)
11.	Střídání poskytovatele
12.	Po 5 s zastavení příjmu korekcí, uložení bodu a pokračování dalšího měření (5x opakování)
13.	Přechod na další bod

## 6. ZPRACOVÁNÍ DAT

Tato kapitola obsahuje postup výpočtu dat z GNSS měření, výšek bodů z technické nivelace, jednotlivé testování a tvorbu grafů. Popisují zde programy, které byly použity pro jednotlivé úkony.

### 6.1 Zpracování GNSS měření

Naměřená data byla zpracována v programu Leica Geo Office 8.2 (dále jen LGO). Další výpočty byly provedeny v programu Microsoft Office Excel 2007 a programu Statistica 12.

Surová data byla naimportována do programu LGO. Tato data byla v systému ETRS-89 (European Terrestrial Reference System) a pro převod do systému S-JTSK byla použita aktuálně platná zpřesněná globální transformace. Jako transformační klíč byl použit CZ\_JT13. Dle pokynů ČÚZK se tato transformace smí používat od 1. 7. 2012 a smí se užívat pro celé území ČR. [17]

### 6.2 Testování naměřených dat

Soubor měření byl předmětem statistického zpracování. Toto statistické zpracování sestávalo z:

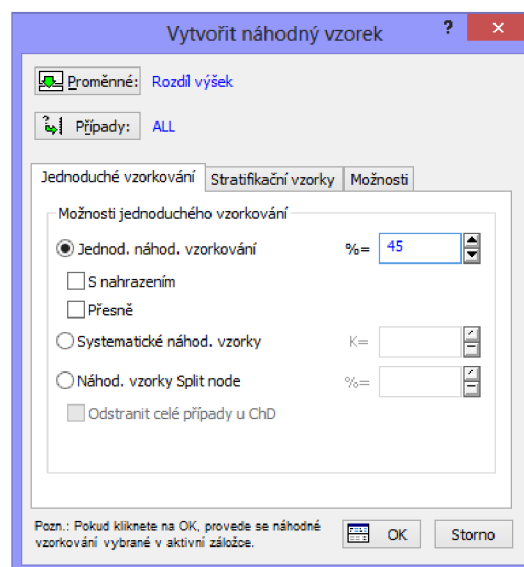
- Testování normality výběrového souboru
- Střední výšková chyba  $m_h$
- Vývoj výškové složky v průběhu měření
- Test závislosti měření na denní době
- Závislost VDOP na počtu družic
- Závislost počtu družic na dopoledním a odpoledním měření

### 6.2.1 Testování normality výběrového souboru

Prvním testováním byla normalita výběrového souboru. Je to jeden ze základních předpokladů mnoha statistických hypotéz. Pokud normální rozdělení předpokládáme, je nutné toto tvrzení ověřit. K otestování normálního rozdělení slouží různé testy. V programu Statistica 12 - Základní statistiky - Popisné statistiky byl použit Kolmogorovův – Smirnovův a Lillieforsův test.

Pro všechny lokality byla otestovaná normalita. Kvůli velkému souboru měření byl vybrán náhodný výběr rozdílů oprav měřených výšek.

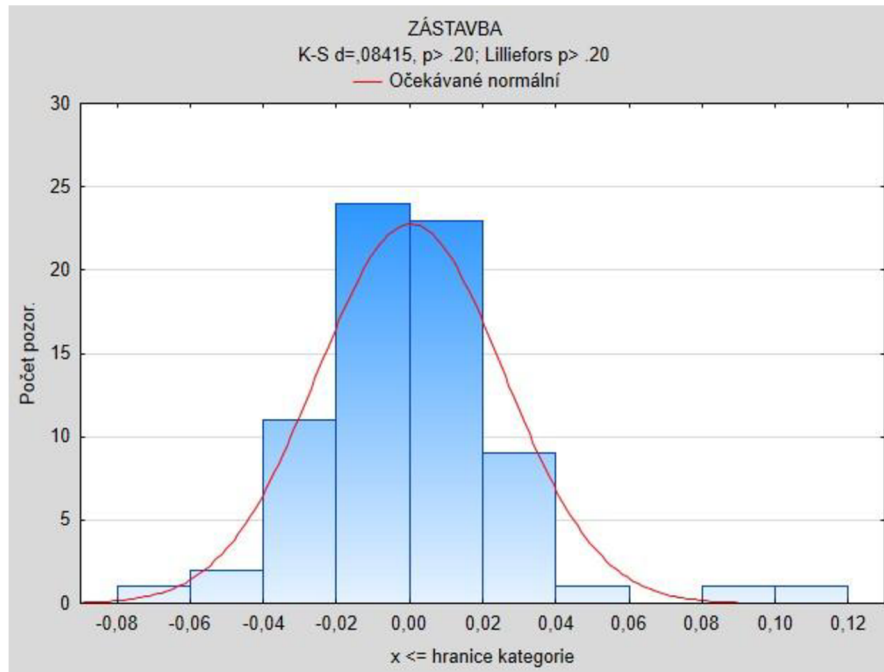
Ukázka zadání náhodného výběru v programu Statistica 12 na obr. 22. Výstupem z tohoto programu je histogram rozdílů oprav měřených výšek pro jednotlivé lokality. Všechny grafy jsou uvedeny v příloze č. 4. 1.



Obr. 22 - Vytvoření náhodného výběru

U testu je zvolena hladina alfa (chyba prvního druhu), kterou je třeba dodržet – podle této hodnoty je určen interval spolehlivosti ( $\alpha = 0,05$ , pak se jedná o 95% interval) a je porovnáváno, zda spočítaná hodnota statisticky leží nebo neleží v tomto intervalu.

P – hodnota je nejmenší hladina, na které zamítáme. Pokud je p – hodnota menší než  $\alpha$ , pak zamítáme nulovou hypotézu. [18]



Obr. 23 - Testování normality pro lokalitu Zástavba

Na základě tohoto programu bylo ověřeno normální rozdělení. Všechny lokality mají normální rozdělení. Vyhodnocené p – hodnoty jsou větší než hladina alfa, takže nulovou hypotézu nezamítáme.

### 6.2.2 Střední výšková chyba a doba inicializace

Jedním z prvních testování bylo spočítat střední výškovou chybu  $m_h$  pro všechny body v dané lokalitě pro jednotlivé poskytovatele, podle sekundových záznamů a průměrnou délku inicializace v dané lokalitě. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7.

Před vypočítáním střední výškové chyby byly hodnoty vyrovnány pomocí vyrovnání měření stejné přesnosti. Nejprve byl spočítán aritmetický průměr výšek  $\bar{x}$  pro každý bod podle vzorce: [19]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{\sum l_i}{n} \quad (3)$$

kde  $X_i$ , resp.  $l_i$  jsou naměřené výšky a  $n$  je počet měření. Od aritmetického průměru byly vypočítány rozdíly odchylek (oprav)  $v_i$  jednotlivých výšek podle vzorce:

$$v_i = \bar{x} - l_i \quad (4)$$

Střední výšková chyba se dále vypočítala podle vzorce:

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-k}} \quad (5)$$

Kde  $k$  je počet nadbytečných měření. Dle tab. 5 nejvyšší hodnoty střední výškové chyby  $m_h$  dosahují body v lokalitách les a zástavba, což je pravděpodobně způsobeno omezeným obzorem. V tab. 8 jsou uvedeny všechny střední výškové chyby pro jednotlivé poskytovatele dle sekundových záznamů, průměrné střední výškové chyby jak pro dopolední, tak i odpolední čas a výsledná průměrná střední výšková chyba pro danou lokalitu.

Tab. 5 - Maximální střední výšková chyba v lokalitách

Lokalita	Měření	Poskytovatel	[s]	$m_h$ [m]
Les	odpoledne	Trimble	20	0,060
Zástavba	dopoledne	Trimble	20	0,044
Pole	odpoledne	CZEPOS	20	0,015
Mimo el. vedení	dopoledne	Trimble	5	0,016
Pod el. vedením	dopoledne	CZEPOS	20	0,011
	odpoledne	Trimble	20	0,011



## Doba inicializace

Doba inicializace byla zapsána před každým měřením v rámci poskytovatele. Celkem bylo na každém bodě 8 hodnot a tyto hodnoty byly zprůměrovány v rámci lokalit. Nejdelší doba inicializace byla v lokalitě *lesa* a dosahovala hodnot i desítek minut. Tyto hodnoty inicializace byly vyloučeny z průměrování a řadily se mezi neúspěšné měření. Proto lze říci, že doba inicializace je závislá na lokalitě.

Delší dobu inicializace na lokalitách měl poskytovatel služeb CZEPOS, ale u lokality *lesa* byla delší inicializace u poskytovatele služeb Trimble.

Průměrná délka inicializace na všech lokalitách je téměř shodná pro oba poskytovatele – viz tab. 6.

Tab. 6 - Průměrná délka inicializace

Poskytovatel	Ø délka inicializace [s]
CZEPOS	25,3
Trimble	27,3

Počet neúspěšných měření byl způsoben výpadkem internetu nebo ztrátou inicializace – viz tab. 7.

Tab. 7 - Počet neúspěšných měření a průměrná doba inicializace

Lokalita	Počet neúspěšných měření	Ø Délka inicializace [s]
Les	9	56,5
Zástavba	0	24,1
Mimo el. vedení	10	18,8
Pod. el. vedením	1	16,6
Pole	3	15,5

Tab. 8 - Střední výšková chyba a průměrná doba inicializace

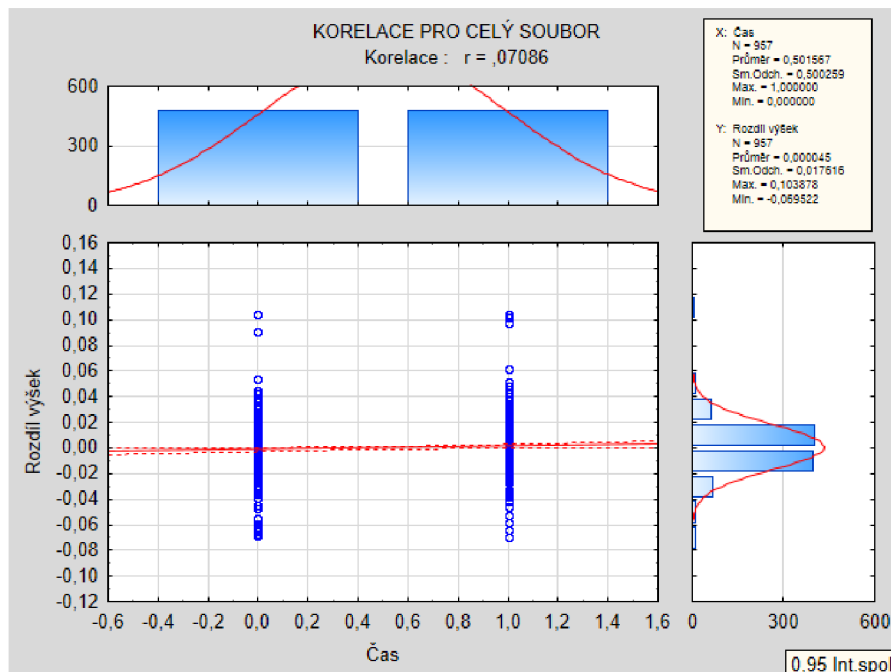
Lokalita	Měření	Poskytovatel	[s]	mh [m]	mh <sup>(D)</sup> [m] mh <sup>(O)</sup> [m]	mh [m]	Ø Délka inicializace [s]
Zástavba	dopoledne	CZEPOS	5	0,018	0,026	0,024	19,2
			20	0,024			49,2
		Trimble	5	0,020			17,4
			20	0,044			34,0
	odpoledne	CZEPOS	5	0,015	0,022		20,8
			20	0,034			19,6
		Trimble	5	0,020			16,2
			20	0,018			16,6
Pod el. Vedením	dopoledne	CZEPOS	5	0,009	0,010	0,009	19,2
			20	0,011			15,8
		Trimble	5	0,009			12,6
			20	0,009			14,0
	odpoledne	CZEPOS	5	0,008	0,009		26,6
			20	0,009			17,0
		Trimble	5	0,008			11,8
			20	0,011			15,6
Mimo el. Vedení	dopoledne	CZEPOS	5	0,015	0,012	0,012	21,9
			20	0,011			20,0
		Trimble	5	0,016			14,3
			20	0,008			12,3
	odpoledne	CZEPOS	5	0,009	0,011		22,7
			20	0,012			27,4
		Trimble	5	0,013			14,8
			20	0,011			16,6
Les	dopoledne	CZEPOS	5	0,044	0,031	0,034	25,8
			20	0,032			57,0
		Trimble	5	0,027			49,4
			20	0,021			73,8
	odpoledne	CZEPOS	5	0,026	0,036		36,6
			20	0,027			29,0
		Trimble	5	0,031			60,8
			20	0,060			119,4
Pole	dopoledne	CZEPOS	5	0,006	0,006	0,008	19,4
			20	0,006			17,8
		Trimble	5	0,007			11,6
			20	0,007			12,0
	odpoledne	CZEPOS	5	0,009	0,010		18,6
			20	0,015			21,4
		Trimble	5	0,009			13,0
			20	0,009			10,4



program Statistica v tabulce nepodporuje texty, bylo využito pro číselné vyjádření veličin, které jsou uvedené v tab. 9.

Tab. 9 - Rozdělení čísel veličinám

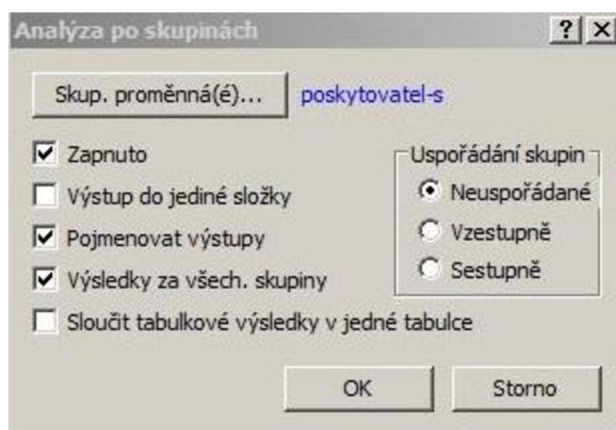
Veličina		Číslo
Denní doba	dopoledne	0
	odpoledne	1
Poskytovatel	CZEPOS	2
	Trimble	3
Lokalita	zástavba	4
	pod el. Vedením	5
	mimo el. Vedení	6
	les pole	7 8



Obr. 25 - Závislost měření na denní době

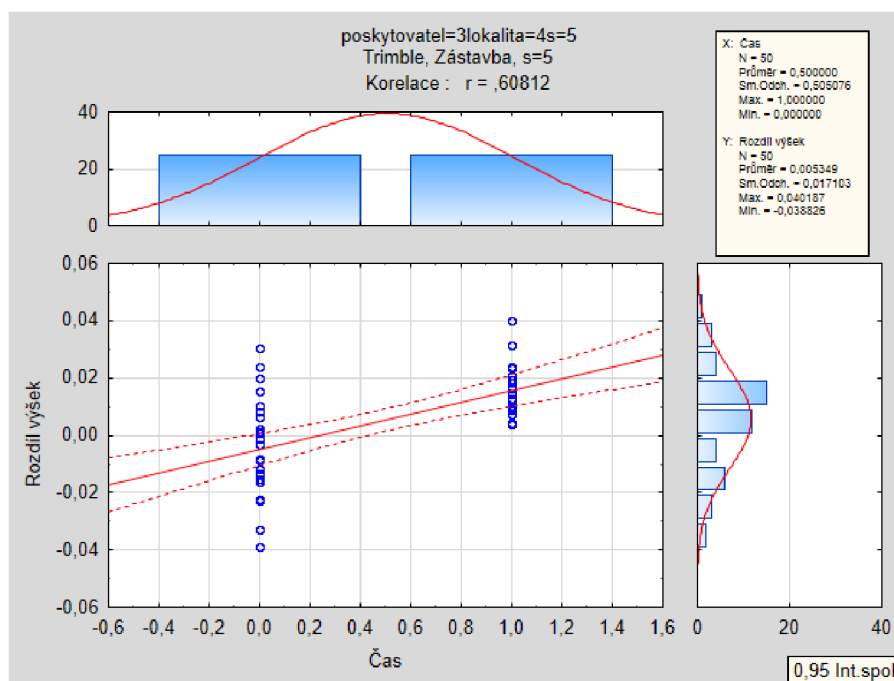
Výsledek korelační analýzy je zřejmý z grafu na obr. 25. Hodnota korelačního koeficientu činí  $r = 0,07$ , což znamená, že nezáleží na denní době při měření GPS.

V tomto programu lze vytvářet tzv. Analýzy skupin. Program následně vytvoří jednotlivé grafy podle zadaných proměnných, kterými jsou poskytovatel, lokalita a délka záznamu.



Obr. 26 - Analýza skupin

Všechny grafy jsou uvedeny v příloze č. 4. 3. Pro všechny lokality u obou poskytovatelů nezáleží na denní době při měření. Na denní době záleží pouze u poskytovatele Trimble v lokalitě zástavba při pětisekundových záznamech. (viz obr. 27). Hodnota korelačního koeficientu pro toto rozdělení je  $r = 0,61$ .

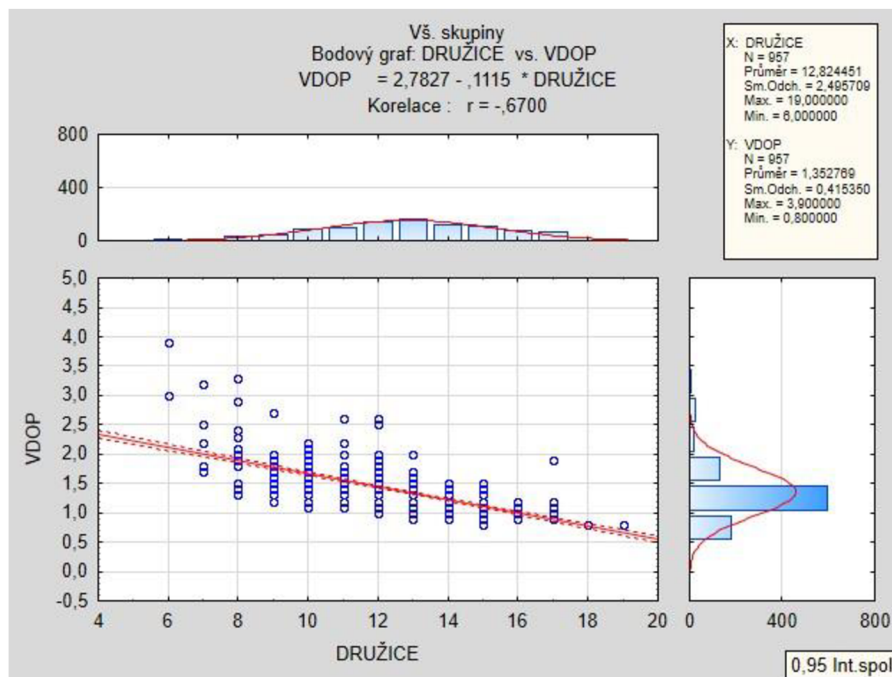


Obr. 27 - Závislost denní doby pro poskytovatele Trimble v lokalitě Zástavba

### 6.2.5 Závislost VDOP na počtu družic

Čím je hodnota DOP nižší, tím je dosaženo vyšší přesnosti. Hodnota DOP se mění v závislosti na konfiguraci družic a také jejich počtu. [10]

Závislost VDOP (Faktoru snížení přesnosti ve výšce) v lokalitách je uvedena v tab. 10. Čím vyšší počet družic, tím je hodnota VDOP nižší. Na obr. 28 je graf závislosti VDOP na družicích pro všechny lokality. Grafy pro jednotlivé lokality jsou v příloze č. 4. 4.



Obr. 28 - Závislost VDOP na družicích pro všechny lokality

Tab. 10 - Závislost VDOP na družicích

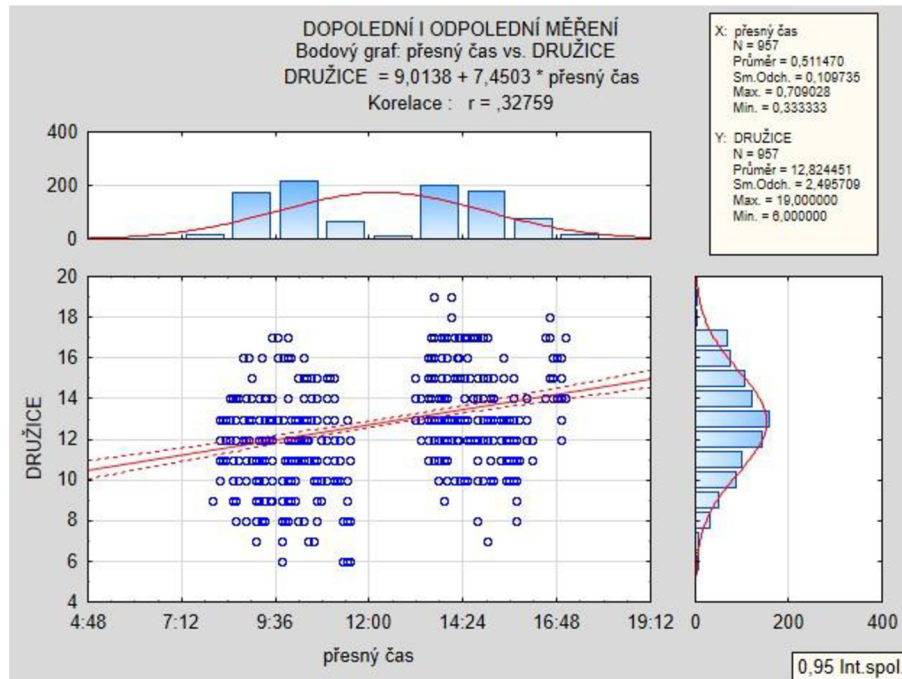
Lokalita	r [-]
Zástavba	-0,65
Mimo el. Vedení	-0,65
Pole	-0,59
Pod el. Vedením	-0,56
Les	-0,36

Největší závislost hodnoty faktoru VDOP na počtu družic se projevuje ve všech uvedených lokalitách mimo lokalitu lesa, kde korelační koeficient nabývá hodnoty - 0,36, což je způsobeno nízkým počtem viditelných družic.

## 6.2.6 Závislost počtu družic na dopoledním a odpoledním měření

Dalším otěstováním byl počet viditelných družic při dopoledním a odpoledním měření. Počet družic v odpolední dobu byl v rámci všech měření průměrně o 12% vyšší než v dopoledních hodinách.

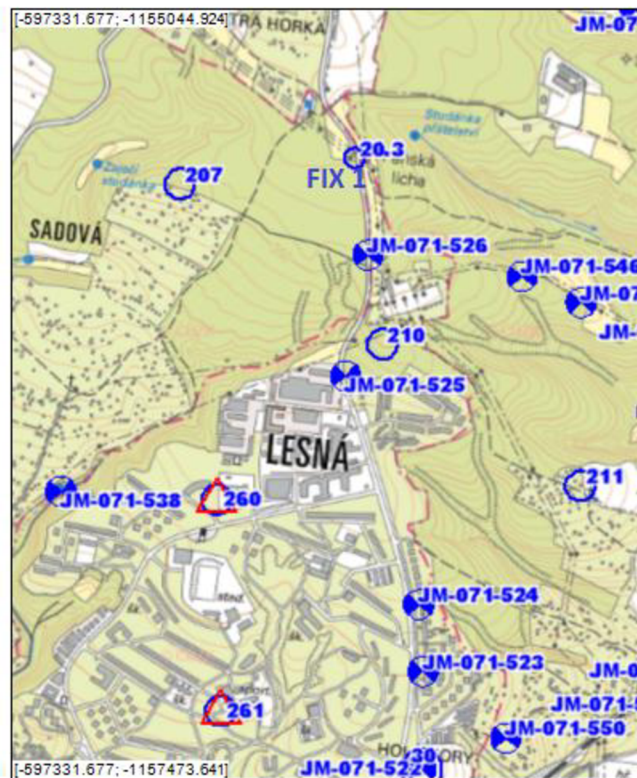
Na grafu (obr. 29) je znázorněn počet družic pro dopolední i odpolední měření. Rozdělené grafy dle denní doby jsou uvedeny v příloze č. 4. 5.



Obr. 29 - Závislost počtu družic na dopoledním a odpoledním měření

### 6.3 Technická nivelace

Před začátkem měření byla provedena zkouška nivelačního přístroje, která se poté automaticky vypočítala a nastavila do přístroje. Výšky bodů jsou určeny ve výškovém systému Bpv.



Obr. 30 - Nivelační body [7]

Technickou nivelací byly určeny všechny body určené technologií GNSS. Bod FIX 1 byl určen dvojím měřením z bodu JM-071-550 přes bod JM-071-523. Dohromady bylo nivelováno ve třech oddílech. První oddíl sestával z bodů JM-071-523 přes body uliční zástavby (1-15) a zpět. Druhý oddíl byl nivelován od bodu FIX 1 přes body pole (51-55) a body (33-35). Poslední oddíl obsahoval všechny zbývající body (21-32, 41-45). Oddíly byly měřeny dvakrát. Všechny nivelační oddíly splnily kritéria mezních odchylek pro TN a byly vyrovnány – viz tab. 11. Zápisky jsou uvedeny v příloze č. 2. 2. Rozdíl průměrných výšek na jednotlivých bodech mezi zaměřením technologií GNSS a technické nivelace je uveden v tab. 12.



Tab. 11 - Dosažené mezní odchylky pro TN

Mezní odchylky pro TN				
Oddíl	R [km]	Dosažená $\Delta_h$ [m]	Mezní $\Delta h_{\max}=40*\sqrt{R}$ [m]	Podmínka
JM-071-550 - JM-071-523	0,5	0,006	0,028	Splněno
JM-071-523 - JM-071-523	1,07	0,000	0,041	Splněno
JM-071-523 - JM-071-523	1,10	-0,001	0,042	Splněno
FIX 1 - FIX 1	0,94	-0,001	0,039	Splněno
FIX 1 - FIX 1	1,65	-0,001	0,051	Splněno
FIX 1 - FIX 1	1,68	0,000	0,052	Splněno

Zaměřené nivelační oddíly vyhovují i kritériu mezní odchylky pro zvýšenou přesnost:  $\Delta h_{\max} = 20 * \sqrt{R}$  [m] (6)

Tab. 12 - Rozdíl průměrných výšek na bodech mezi GNSS a technickou nivelací

Lokalita	Bod	GPS [m]	TN [m]	$\delta_h$ [m]
ZÁSTAVBA	11	293,472	293,443	0,029
	12	291,560	291,578	-0,018
	13	298,574	298,593	-0,019
	14	298,526	298,548	-0,022
	15	303,704	303,698	0,006
VEDENÍ VYSOKÉHO NAPĚTÍ	21	345,939	345,925	0,014
	22	345,344	345,335	0,009
	23	349,698	349,679	0,019
	24	351,663	351,653	0,010
	25	351,581	351,567	0,014
	26	353,258	353,244	0,014
	27	355,673	355,665	0,008
	28	354,772	354,755	0,017
	29	356,478	356,468	0,010
	30	363,041	363,033	0,008
	31	365,493	365,481	0,012
	32	362,580	362,577	0,003
	33	366,845	366,850	-0,005
34	366,296	366,287	0,009	
35	366,608	366,606	0,002	
LES	41	355,720	355,704	0,016
	42	355,381	355,319	0,062
	43	353,779	353,750	0,029
	44	353,446	353,414	0,032
	45	357,709	357,686	0,023
POLE	51	369,289	369,284	0,005
	52	370,577	370,568	0,009
	53	371,934	371,928	0,006
	54	371,281	371,278	0,003
	55	378,442	378,445	-0,003

Tab. 13 - Průměrná odchylka výšky v rámci lokalit

Porovnání průměrné odchylky v rámci lokalit $\delta_h$ [m]	
LES	0,032
ULIČNÍ ZÁSTAVBA	0,019
MIMO VEDENÍ EL. NAPĚTÍ	0,010
POD VEDENÍM EL. NAPĚTÍ	0,009
POLE	0,005

Podle tab. 13 lze vidět, že v uliční zástavbě a v lese jsou rozdíly výšek větší, což může být způsobeno vícecestným šířením signálu nebo omezeným obzorem. Pro ostatní lokality jsou rozdíly výšek malé, proto lze říci, že GNSS metoda RTK je vhodná pro určení výšek v daných lokalitách.

#### Porovnání s přístrojem Trimble R4

Součástí diplomové práce je i porovnání výsledků měření z jiného přístroje na stejných testovaných bodech. Bylo měřeno za stejných podmínek a stejnou metodou. Byl vypočítán rozdíl mezi technickou nivelací a jednotlivými přístroji. Měřená data přístrojem Trimble R4 byly vyhodnoceny v rámci diplomové práce *Testování přesnosti výšek určených GNSS přijímačem Trimble R4*. Rozdíly jsou uvedeny v tab. 14.

Dle dosažených rozdílů výšek lze říci, že lepší přesnost v lokalitách s vlivem okolních překážek má Trimble R4. Při měření v ideálních podmínkách v lokalitě pole je dosažená přesnost shodná.

Tab. 14 - Porovnání výsledků mezi TN a přístroji GPS

Lokalita	BOD	TN <sub>TAM</sub> [m]	TN <sub>ZPĚT</sub> [m]	PRŮMĚR TN [m]	GPS (LEICA) [m]	GPS (TRIMBLE) [m]	ROZDÍL TN-GPS (LEICA) [m]	ROZDÍL TN-GPS (TRIMBLE) [m]
ZÁSTAVBA	11	293,442	293,443	293,443	293,471	293,459	<b>0,028</b>	<b>0,016</b>
	12	291,578	291,577	291,577	291,560	291,543	<b>-0,017</b>	<b>-0,034</b>
	13	298,594	298,591	298,591	298,574	298,595	<b>-0,017</b>	<b>0,004</b>
	14	298,547	298,548	298,548	298,526	298,523	<b>-0,022</b>	<b>-0,025</b>
	15	303,698	303,698	303,698	303,704	303,709	<b>0,006</b>	<b>0,011</b>
VEDENÍ VYSOKÉHO NAPĚTÍ	21	345,925	345,924	345,924	345,939	345,927	<b>0,015</b>	<b>0,003</b>
	22	345,336	345,334	345,334	345,344	345,341	<b>0,010</b>	<b>0,007</b>
	23	349,679	349,679	349,679	349,698	349,691	<b>0,019</b>	<b>0,012</b>
	24	351,653	351,652	351,652	351,663	351,648	<b>0,011</b>	<b>-0,004</b>
	25	351,566	351,567	351,567	351,581	351,559	<b>0,014</b>	<b>-0,008</b>
	26	353,245	353,243	353,243	353,258	353,241	<b>0,015</b>	<b>-0,002</b>
	27	355,664	355,665	355,665	355,673	355,661	<b>0,008</b>	<b>-0,004</b>
	28	354,754	354,755	354,755	354,772	354,755	<b>0,017</b>	<b>0,000</b>
	29	356,468	356,468	356,468	356,479	356,477	<b>0,011</b>	<b>0,009</b>
	30	363,033	363,033	363,033	363,041	363,035	<b>0,008</b>	<b>0,002</b>
	31	365,480	365,482	365,482	365,493	365,485	<b>0,011</b>	<b>0,003</b>
	32	362,576	362,577	362,577	362,579	362,585	<b>0,002</b>	<b>0,008</b>
	33	366,851	366,848	366,848	366,845	366,847	<b>-0,003</b>	<b>-0,001</b>
34	366,289	366,285	366,285	366,296	366,282	<b>0,011</b>	<b>-0,003</b>	
35	366,606	366,605	366,605	366,608	366,601	<b>0,003</b>	<b>-0,004</b>	
LES	41	355,704	355,704	355,704	355,716	355,725	<b>0,012</b>	<b>0,021</b>
	42	355,319	355,318	355,318	355,381	355,358	<b>0,063</b>	<b>0,040</b>
	43	353,749	353,750	353,750	353,779	353,781	<b>0,029</b>	<b>0,031</b>
	44	353,414	353,414	353,414	353,446	353,444	<b>0,032</b>	<b>0,030</b>
	45	357,686	357,685	357,685	357,710	357,697	<b>0,025</b>	<b>0,012</b>
POLE	51	369,286	369,284	369,284	369,289	369,278	<b>0,005</b>	<b>-0,006</b>
	52	370,568	370,568	370,568	370,577	370,562	<b>0,009</b>	<b>-0,006</b>
	53	371,928	371,928	371,928	371,934	371,923	<b>0,006</b>	<b>-0,005</b>
	54	371,279	371,277	371,277	371,281	371,274	<b>0,003</b>	<b>-0,003</b>
	55	378,445	378,445	378,445	378,442	378,439	<b>-0,003</b>	<b>-0,006</b>

## 7. ZÁVĚR

V rámci vypracování diplomové práce byla vyhodnocována přesnost výšek určovaných bodů měřených technologií GNSS metodou RTK pro dva různé poskytovatele, CZEPOS a Trimble VRS Now přístrojem Leica GPS System 1200.

Bylo měřeno za přítomnosti vlivu okolních překážek, jako je multipath, zastínění vysokými budovami, přítomností vedení vysokého napětí, omezeným obzorem na okraji lesa a měřením v ideálních podmínkách na poli.

Výsledkem testování bylo ověřeno, že naměřené hodnoty jsou distribuovány dle normálního rozdělení. Nejvyšší hodnoty střední výškové chyby  $m_h$  dosahují body v lokalitách zástavba a les, což je způsobeno omezeným obzorem. Také z důvodu zastíněného obzoru byla doba inicializace v lokalitě lesa výrazně delší. Omezený obzor je tedy rozhodujícím faktorem pro délku inicializace a to tak, že čím větší zastínění, tím delší inicializační doba. Stejným způsobem se faktor zastínění projevuje na střední výškové chybě  $m_h$ .

Ze zpracování vyplynulo, že na denní době při GNSS měření nezáleží, pouze u poskytovatele Trimble VRS Now je lepší měřit v odpolední dobu a to v případě měření blízkosti zástavby.

Vzhledem k vyššímu počtu viditelných družic v odpoledních hodinách lze konstatovat, že s uvedenou měřicí aparaturou je možné dosáhnout kratší doby inicializace. V lokalitách zástavba a u vedení vysokého napětí došlo ke zvýšení přesnosti měření výšek ve stejném čase než v dopoledních hodinách, v lokalitách les a pole se přesnost měření výšek zhoršila. Ke změně došlo v řádu jednotek milimetrů, lze tedy říct, že změna není příliš významná. Vyšší hodnota VDOP je také dosažena při větším počtu družic.

Při porovnání průměrných středních chyb výšek zaměřených mezi GNSS metodou RTK a technickou nivelací lze konstatovat, že obě metody jsou vhodné pro měření v daných lokalitách. V uliční zástavbě a v lese jsou rozdíly středních chyb výšek v rozmezí -2 cm až +6 cm, což odpovídá výškové přesnosti deklarované poskytovateli GNSS korekcí.

Při měření pod vedením vysokého napětí se vliv tohoto faktoru na měřenou výšku nepotvrdil. Metoda GPS RTK je převážně nejvíce používanou metodou, ale přednostně nenahradí technickou nivelaci. Při zeměměřických činnostech jsou výsledky použitelné. Podle normy *ČSN 01 3410 Mapy velkých měřítek. Základní a účelové mapy* byla

posuzována přesnost výškových odchylek a střední výběrová chyba. Střední výběrová chyba je 0,01 m. Kritéria pro 3. třídu přesnosti byla splněna.

Srovnáním jednotlivých typů přístrojů v lokalitách s vlivem okolních překážek dosahuje lepší přesnosti přístroj Trimble R4. Při měření v ideálních podmínkách na poli je dosažená přesnost shodná.

## 8. SEZNAM POUŽITÉ LITARATURY

- [1] KRATOCHVÍL, V., FIXEL, J. *Globální systém určování polohy-GPS, Využití v geodézii*. Brno. Vojenská akademie v Brně. 2001. [studijní opory]
- [2] *ESA Navipedia: European Space Agency* [online]. 2014 [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.navipedia.net/index.php/%20Category:%20GLONASS>
- [3] *Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics* [online]. [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>
- [4] ŠVÁBENSKÝ, O., WEIGL, J., MACHOTKA, R. *Metodika GPS měření a vyhodnocení. Modul 01*. Brno VUT 2007. [studijní opory]
- [5] *Land Managemant* [online]. [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.la-ma.cz/?p=87>
- [6] *Český kosmický portál: Informační stránky Koordinační rady ministra dopravy pro kosmické aktivity* [online]. 2016 [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>
- [7] *Česká síť permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS* [online]. 2009 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://czeapos.cuzk.cz/>
- [8] *Geotronics Praha* [online]. Praha: GEOTRONICS Praha, s.r.o., 2008 [cit. 2015-11-26]. Dostupné z: <http://www.geotronics.cz/specifikace-site>
- [9] *GB-geodezie TopNET* [online]. 2012 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: <http://topnet.gb-geodezie.cz/topnet/topnet.aspx#history>
- [10] OPATŘILOVÁ, I., *Seminář GPS, Úvod do problematiky GNSS prezentace*. Brno 2013. [studijní opory]
- [11] *Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi* [online]. [cit. 21. 11. 2015]. Dostupné z: [http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_08\\_1009.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1009.pdf)
- [12] MACHOTKA, R., FIXEL, J. *Geodetická astronomie a kosmická geodézie II. Modul 01*. Brno VUT 2007. [studijní opory]
- [13] VONDRÁK, J. *Geodetická cvičení II. Modul 01*. Brno VUT 2004. [studijní opory]
- [14] NEVOSÁD, Z. – VITÁSEK, J. *Geodézie III*. Brno: Vutium. 2000. ISBN 80-214-1774-9

- [15] *Leica Geosystems: Leica GPS1200 Series: High performance GNSS System* [online]. 2006 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: [http://www.leica-geosystems.se/se/gps\\_1200\\_glonass\\_150dpi.pdf](http://www.leica-geosystems.se/se/gps_1200_glonass_150dpi.pdf)
- [16] *Leica Geosystems: Leica GPS1200 Series: Equipment List* [online]. 2006 [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: [http://www.clevelandutilities.com/gis/GPS%5CGPS1200\\_Equipmentlist\\_en.pdf](http://www.clevelandutilities.com/gis/GPS%5CGPS1200_Equipmentlist_en.pdf)
- [17] *Leica Geosystems: Nový globální transformační klíč* [online]. 2012 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: [http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Globalni\\_klic\\_CZ\\_JT13/Leica\\_trf\\_CZ\\_JT13\\_navod.pdf](http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Globalni_klic_CZ_JT13/Leica_trf_CZ_JT13_navod.pdf)
- [18] *Statsoft: Ovládání a základy statistiky v softwaru STATISTICA* [online]. Praha: StatSoft CR s.r.o., 2013 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.statsoft.cz/file1/PDF/StrucnyManualSTATISTICA.pdf>  
Dostupné z: <http://www.statsoft.cz/file1/PDF/StrucnyManualSTATISTICA.pdf>
- [19] WEIGEL, J. *Teorie chyb a vyrovnávací počet I*, GE04\_M02 Základní druhy vyrovnání (1. Část). Brno: VUT 2004. [studijní opory]
- [20] *Statsoft: Možnosti korelační analýzy* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: [http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2014\\_11\\_26\\_Moznosti\\_korelacni\\_analyzy.pdf](http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2014_11_26_Moznosti_korelacni_analyzy.pdf)
- [21] *Asociace ve čtyřpolní tabulce a základy korelační analýzy* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.iba.muni.cz/esf/res/file/bimat-prednasky/biostatistika-pro-matematickou-biologii/BpMB-11.pdf>
- [22] *Wireless Dictionary* [online]. 2009 [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: [http://www.wirelessdictionary.com/wireless\\_dictionary\\_gps\\_rtk\\_gps\\_definition.html](http://www.wirelessdictionary.com/wireless_dictionary_gps_rtk_gps_definition.html)
- [23] *Global Navigation Satellite System* [online]. 2006 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.glonass.it/eng/glonass-story.aspx>
- [24] *Georbit* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.georbit.cz/>
- [25] *VÚGTK: Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/5863\\_fazove-mereni](https://www.vugtk.cz/slovník/5863_fazove-mereni)
- [26] Vyhláška č. 357/2013 Sb., o katastru nemovitostí (katastrální vyhláška)
- [27] *ČESKÁ ASTRONOMICKÁ SPOLEČNOST: Astronomický informační server* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z:

<http://www.astro.cz/clanky/kosmonautika/astronomicka-druzice-gravity-probe-b-zahajila-vyzkum.html>

- [28] ČSN 01 3410 *Mapy velkých měřítek. Základní a účelové mapy*. Praha: Vydavatelství norem. 1990.



## 9. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

- Obr. 1 - Rozmístění stanic řídicího segmentu a další sledovací stanice GPS pro výpočet přesných efemerid [3]
- Obr. 2 - Blok IIA, IIR, IIR-M, IIF, III [3]
- Obr. 3 - Řídicí segment GLONASS [23]
- Obr. 4 - Referenční stanice CZEPOS [7]
- Obr. 5 - Poskytované služby [7]
- Obr. 6 - Princip metody RTK [22]
- Obr. 7 - Vícecestné šíření GPS signálu (Multipath) [27]
- Obr. 8 - Vytváření diferencí [12]
- Obr. 9 - Princip diferenčního určování polohy [12]
- Obr. 10 - Vliv konfigurace družic na polohovou přesnost [12]
- Obr. 11 - Rozmístění bodů 21-55
- Obr. 12 - Rozmístění bodů 11-15
- Obr. 13 - Zastínění ze severovýchodní strany
- Obr. 14 - Měření na bodě v zástavbě
- Obr. 15 - Měření pod el. vedením
- Obr. 16 - Měření v lese
- Obr. 17 - Lokalita pole
- Obr. 18 - Číslování bodů
- Obr. 19 - Přístroj Leica GPS System 1200
- Obr. 20 - Nivelační přístroj Sprinter 150M
- Obr. 21 - Zastínění zástavbou na bodě 15
- Obr. 22 - Vytvoření náhodného výběr
- Obr. 23 - Testování normality pro lokalitu Zástavba
- Obr. 24 - Časový průběh rozdílů výšek v lokalitě Zástavba
- Obr. 25 - Závislost měření na denní době
- Obr. 26 - Analýza skupin
- Obr. 27 - Závislost denní doby pro poskytovatele Trimble v lokalitě Zástavba
- Obr. 28 - Závislost VDOP na družicích pro všechny lokality
- Obr. 29 - Závislost počtu družic na dopoledním a odpoledním měření
- Obr. 30 - Nivelační body [7]

## **10. SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 - Technické parametry

Tab. 2 - Harmonogram měřících prací

Tab. 3 - Rekognoskace výškového bodového pole

Tab. 4 - Průběh měření na bodě

Tab. 5 - Maximální střední výšková chyba v lokalitách

Tab. 6 - Průměrná délka inicializace

Tab. 7 - Počet neúspěšných měření a průměrná doba inicializace

Tab. 8 - Střední výšková chyba a doba inicializace

Tab. 9 - Rozdělení čísel veličinám

Tab. 10 - Závislost VDOP na družicích

Tab. 11 - Dosažené mezní odchylky pro TN

Tab. 12 - Rozdíl průměrných výšek na bodech mezi GNSS a technickou nivelací

Tab. 13 - Průměrná odchylka výšky v rámci lokalit

Tab. 14 - Porovnání výsledků mezi TN a přístroji GPS

## 11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<b>Bpv</b>	Balt po vyrovnání
<b>CZEPOS</b>	Česká permanentní observační služba
<b>ČSNS</b>	Česká státní nivelační síť
<b>ČUZK</b>	Český úřad zeměměřický a katastrální
<b>DGPS</b>	Differential Navigation Satellite System (Diferenční GPS)
<b>DOP</b>	Dilution of precission (Parametr přesnosti)
<b>ETRS-89</b>	European Terrestrial Reference System (Evropský terestrický referenční systém)
<b>GLONASS</b>	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma (Globální družicový polohový systém)
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System (Globální navigační satelitní systém)
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>LGO</b>	Leica Geo Office
<b>NAVSTAR</b>	Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System
<b>PPM</b>	Part per milion
<b>RMS</b>	Root mean square (Střední kvadratická chyba)
<b>RTCM</b>	Radio Technical Commission for Maritime Services
<b>RTK</b>	Real time kinematic
<b>S-JTSK</b>	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
<b>TN</b>	Technická nivelace
<b>VRS</b>	Virtual Reference Stations (Síť permanentních referenčních stanic)

## 12. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Data měření	(elektronicky)
Příloha č. 2 Nivelační údaje a zápisníky	(elektronicky)
Příloha č. 3 Přehledná situace bodů	(tištěná, elektronicky)
Příloha č. 4 Výsledné grafy dle jednotlivých testů	(elektronicky)
Příloha č. 5 Posouzení přesnosti výšek dle kritéria 3. třídy přesnosti	(elektronicky)