



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI VÝŠEK MĚŘENÝCH TECHNOLGIÍ GNSS

TESTING OF THE ACCURACY OF THE HEIGHTS MEASURED BY GNSS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. IVANA STOLÁROVÁ

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	Stolárová Ivana
Název	Testování přesnosti výšek měřených 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)

Navrhněte a uskutečňte 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 uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování 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

Diplomová práca sa zaoberá testovaním presnosti súradníc meraných v priaznivých aj nepriaznivých podmienkach, ktoré sú určené metódou GNSS RTK. Práca skúma reálnu presnosť a spoľahlivosť výškového merania za prítomnosti šumu a viacnásobného odrazu, ktorý je spôsobený vplyvom vegetácie, okolitej zástavby, prítomnosti vedenia vysokého napätia a zároveň presnosť merania za optimálnych podmienok na lúke. Sledovaný je vplyv dennej doby, dĺžky observácie a poskytovateľa korekcií na vonkajšiu aj vnútornú presnosť. Ďalej skúma problematiku inicializácie v týchto podmienkach. K tomuto účelu bol získaný štatistický súbor obsahujúci 960 meraní na 30 bodoch. Pri meraní bola použitá meračská aparátúra Trimble R4. GNSS merania boli štatisticky spracované a vyhodnotené a nakoniec boli výsledky porovnané s výsledkami Bc. Kláry Kordasovej, ktorá pri meraní na rovnakých testovacích bodoch totožnou metodikou použila meračskú aparátúru od firmy Leica. Výsledky práce je možné využiť v praxi.

Kľúčové slová: GNSS, RTK, výšková presnosť a spoľahlivosť, Trimble

Abstract

The diploma thesis deals with a testing of the real coordinates accuracy measured in favorable and unfavorable conditions, which are determined by method GNSS RTK. The work explores the real accuracy and reliability of heights measurement with the signal noise and multipath interference occurring, caused by surrounding vegetation, buildings, power lines, and also the accuracy under optimal conditions while measuring in a meadow. Influence of day time, observation length, correction provider to internal and external precision is watched. It also examines the issues of initialization in these conditions. For this purpose was collected set of statistics containing 960 measurements on 30 points. During survey was used apparatus Trimble R4. GNSS measurements were statistically processed and evaluated and finally the results were compared with the results of Bc. Klára Kordasová, who measured the same tested points with identical methodology using apparatus from Leica company. Results of the thesis can be used in praxis.

Keywords: GNSS, RTK, heights accuracy and reliability, Trimble

Bibliografická citácia VŠKP

Bc. Ivana Stolárová *Testování přesnosti výšek měřených technologií GNSS*. Brno, 2016. 67 s., 81 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc, Ph.D.

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracovala samostatne, pod vedením Ing. Michala Kuruce, PhD. a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 27.5.2016

.....
podpis autora

Bc. Ivana Stolárová

Pod'akovanie:

Touto cestou by som chcela poďakovať Ing. Michalovi Kurucovi, Ph.D. za jeho cenné rady, pripomienky a odborné vedenie pri realizácii tejto práce a taktiež rodine, ktorá ma podporovala počas celého štúdia.

Bc. Ivana Stolárová

OBSAH

1. Úvod.....	9
2. Teoretický základ.....	11
2.1 GNSS.....	11
2.2. Systematické vplyvy pri GNSS meraní.....	11
2.2.1 Chyby súvisiace s družicami.....	12
2.2.2 Vplyv atmosféry na meranie GNSS.....	12
2.2.3 Chyby súvisiace s prijímačom	13
2.2.4 Chyby súvisiace s miestom merania	13
2.2.5 Faktory presnosti GNSS meraní	15
2.3. GNSS systémy	15
2.4. Metódy merania GNSS	17
2.4.1 Delenie meračských metód.....	17
2.4.2 RTK	18
2.4.3 Trimble VRS Now Czech.....	19
2.4.4 CZEPOS.....	20
2.5. Technická nivelácia.....	21
2.6. Úvod do teórie chýb a vyrovnávacieho počtu.....	22
2.6.1 Rozdelenie chýb.....	23
2.6.2 Charakteristiky presnosti meraní	24
2.6.3 Gaussova krivka.....	25
2.6.4 Testovanie hypotéz a korelačná analýza.....	26
3. Popis lokalít	28
3.1. Lokalita s vplyvom zástavby.....	29
3.2. Lokalita s vplyvom elektrického vedenia	29
3.3. Lokalita s vplyvom lesného porastu.....	31
3.4. Lokalita bez rušivých vplyvov	32
4. Zber dát v teréne	33
4.1. Harmonogram meračských prác	33
4.2. Použité prístroje a pomôcky.....	33
4.2.1 Trimble R4.....	34

4.2.2	Leica Sprinter 150 M	34
4.3.	Spôsob stabilizácie bodov	35
4.4.	Príprava prístrojového vybavenia a pomôcok.....	36
4.5.	Metodika merania.....	36
5.	Inicializácia a problémy pri meraní	37
6.	Spracovanie meraných dát	39
6.1.	Testovanie vnútornej presnosti	39
6.1.1	Vyrovnanie priamych meraní	39
6.1.2	Test odľahlých hodnôt	40
6.1.3	Test normality súboru	42
6.1.4	Výpočet charakteristík presnosti.....	43
6.1.5	Grafická interpretácia výsledkov	46
6.1.6	Test dvoch výberových súborov	47
6.1.7	Korelačná analýza sledovaných javov	49
6.2.	Testovanie vonkajšej presnosti meraní	52
6.2.1	Technická nivelácia	52
6.2.2	Výpočet charakteristík presnosti.....	54
6.2.3	Grafická interpretácia výsledkov	55
6.2.4	Test dvoch výberových súborov	56
6.2.5	Korelačná analýza sledovaných javov	57
7.	Porovnanie aparátúr od výrobcov Trimble a Leica	58
8.	Záver	60
9.	Zoznam použitej literatúry	62
10.	Zoznam použitých skratiek	64
11.	Zoznam použitých obrázkov, tabuliek a grafov.....	65
11.1.	Zoznam obrázkov	65
11.2	Zoznam tabuliek	65
11.3	Zoznam grafov.....	66
12.	Zoznam príloh.....	67

1. ÚVOD

Technológia merania GNSS je v súčasnej dobe už samozrejmom a bežnou súčasťou geodetických postupov. Zabezpečiť si GNSS prijímač je cenovo zrovnateľné so zabezpečením totálnej stanice a preto je súčasťou vybavenia väčšiny geodetických firiem. Technológia určovania polohy s využitím globálnych navigačných systémov je oproti klasickým geodetickým metódam veľmi efektívna a úsporná (nie je nutná vzájomná viditeľnosť bodov a nie je závislá na dennej a nočnej dobe, počasi).

Vďaka vývoju nových prijímacích aparatúr a rozširovaniu navigačných družicových systémov o nové družice sa meranie stále spresňuje. K zjednodušeniu a spresneniu prispievajú aj verejné siete permanentných referenčných staníc, ktorých správcovia poskytujú korekcie meračských dát užívateľom (napr. CZEPOS, Trimble Vrs Now CZ). Tak je možné získavať a zároveň spracovávať dáta v reálnom čase – metóda RTK (Real Time Kinematic). Použitím tejto metódy sme schopní v intervale niekoľkých sekúnd až minút získať súradnice bodu s presnosťou na centimetre.

V GNSS meraní je výšková zložka menej presnou než polohová a jej presnosť je silne závislá na vonkajších podmienkach. V geodetickej praxi je dôležité poznať reálnu presnosť a spoľahlivosť používaného prístrojového vybavenia. Výrobca však udáva presnosť prístrojov spravidla pri používaní v optimálnych podmienkach. Preto je predmetom tejto práce testovanie presnosti určovania súradníc (so zameraním na výškovú zložku) meraných metódou GNSS RTK za podmienok obvyklých pri bežnom meraní, v ktorých je predpoklad výskytu viaccestného šírenia signálu, zvýšeného šumu signálu, problémov s inicializáciou a dostupnosťou mobilného internetu.

Cieľom práce je analýza súboru dát, ktoré boli namerané v rôznych podmienkach a posúdenie vplyvu okolitých prekážok na výslednú presnosť. Sledovaný je vplyv na meranie v uličnej zástavbe, na okraji lesa, v blízkosti nadzemného elektrického vedenia a za ideálnych podmienok na lúke. Z nameraných dát je vyhodnotená výsledná presnosť súradníc so zameraním na výškovú zložku. K tomuto účelu bola vytvorená sieť 30 testovacích bodov tak, aby na meranie pôsobil vždy jeden sledovaný faktor.

Pri meraní bol použitý GNSS prijímač Trimble R4. Na každom z 30 testovacích bodov bolo meranie uskutočnené 16 krát dopoludnia a 16 krát popoludní. Z dôvodu testovania vonkajšej presnosti boli výšky týchto bodov určené kontrolne – a to metódou technickej

nivelácie. Následne bola posúdená normalita získaného štatistického súboru. Dáta boli filtrované pomocou testovania odľahlých hodnôt a vypočítané výsledné stredné chyby meraní. Výsledky boli vyhodnotené a graficky prezentované. V závere práce sú porovnané s výsledkami Bc. Kláry Kordasovej, ktorá realizovala testovacie meranie na rovnakých bodoch s identickou metodikou. Pri zbere dát použila prijímač Leica.

V prvej časti práce je čitateľovi teoreticky priblížená problematika GNSS meraní – vplyvy na presnosť, družicové systémy, meračské metódy, teóriu chýb a štatistické spracovanie. V ďalších kapitolách sa práca zaoberá výberom lokalít pre zber dát, vlastným zberom dát v teréne a vzniknutých problémoch pri meraní, problematikou inicializácie, štatistickým spracovaním a vyhodnocovaním nazbieraných dát.

Motiváciou pre vznik práce bol osobný záujem o danú problematiku. V praxi sa pri meraní podrobných bodov v zástavbe vyskytovali problémy, najmä s určením výškovej zložky. To viedlo k úvahám nakoľko spoľahlivá a presná je často využívaná metóda RTK pri meraní v neoptimálnych podmienkach. Verím, že práca pomôže čitateľovi posúdiť vhodnosť využitia metódy pri špecifických podmienkach a poukáže na riziká s tým spojené.

2. TEORETICKÝ ZÁKLAD

Nasledujúca kapitola predstavuje teoretický úvod do problematiky meraní technológiou GNSS – popisuje družicové systémy, vplyvy pôsobiace na výslednú presnosť meraní, meračské metódy a ďalej zhrnutie základných znalostí z teórie chýb, vyrovnávacieho počtu a štatistiky, ktoré boli v práci využité.

2.1 GNSS

GNSS je skratkou pre Global Navigation Satellite System, v preklade globálny navigačný satelitný systém. GNSS je služba, ktorá umožňuje určovanie priestorovej polohy kdekoľvek na povrchu Zeme a v jej okolí širokému spektru užívateľov prakticky nezávisle na dennej dobe, počasí alebo vzájomnej viditeľnosti bodov na rozdiel od klasických terestrických úloh. Súradnice meračskej aparatury získavame na základe znalosti efemeríd družíc (priestorové súradnice premenné v čase). S ich znalosťou môžeme rôznymi meračskými metódami a spracovaním získať rôzne presné výsledné súradnice.

Systémy GNSS umožňujú:

- navigáciu na zemskom povrchu, na mori aj vo vzduchu
- autonómne určovanie 3D polohy, rýchlosti a presného času na Zemi a v jej blízkosti
- geodetické aplikácie (určovanie relatívnej 3D polohy)
- realizácia a udržiavanie globálnych a regionálnych referenčných systémov (ITRS, ETRS)
- riešenie geodynamických úloh (geotektonika)
- určovanie parametrov zemskej rotácie (EOP)
- získavanie údajov o stave zemskej atmosféry (meteorológia)
- presné prenášanie času (Švábenský, 2007).

2.2. Systematické vplyvy pri GNSS meraní

Vysielanie, šírenie a príjem GNSS signálu medzi družicou a prijímačom podlieha pôsobeniu mnohých systematických faktorov, ktoré môžeme rozdeliť na:

- umelé ovplyvňovanie kvality signálu
- chyby súvisiace s družicami
- chyby pri šírení signálu atmosférou
- chyby súvisiace s prijímačom

- chyby súvisiace s miestom merania a postavením antény (Švábenský, 2007).

2.2.1 Chyby súvisiace s družicami

Na každej družici sú inštalované atómové hodiny (väčšinou troje). Chyby súvisiace s družicami sa týkajú atómových hodín – ich chyba negatívne ovplyvňuje presnosť určenia tranzitného času, ktorý signál potrebuje na prekonanie dráhy medzi družicou a pozemným prijímačom rovnako ako oneskorenie signálu v obvodoch aparatury na družici. Ďalej dráh družíc – efemeridy dráh môžu byť určené s rôznou presnosťou v závislosti na metóde ich určenia. Môžu byť predikované (ultra – rapid), vysielané družicami (broadcast) alebo získané výpočtom po zistení skutočnej dráhy (precise). Presnosť určenia parametrov dráh družíc významnejšie ovplyvňuje výsledky autonómnych, než výsledky relatívnych GNSS meraní. Pri základniach, ktoré dosahujú stovky kilometrov je nutné uvažovať aj chybu polohy fázového centra antény – pokiaľ sa poloha fázového centra antény družice vysielajúcej signál nezhoduje s ťažiskom, ktoré je uvažované pri výpočte efemeríd (Švábenský, 2007).

2.2.2 Vplyv atmosféry na meranie GNSS

V homogénnom izotropnom prostredí sa elektromagnetické vlny šíria rovnakou rýchlosťou vo všetkých smeroch. Atmosféra, ktorá obklopuje Zem je prostredím rôznorodým a navyše premenlivým. Rôzne vrstvy atmosféry majú odlišné fyzikálne vlastnosti a ovplyvňujú tak rýchlosť a tým i dobu šírenia signálu a tým dochádza k zmenám meraných parametrov (pseudovzdialeností alebo fáz). Pre presné meranie je nutné zaviesť atmosférické korekcie. Počítame ich na základe znalosti vhodného modelu a empiricky získaných parametrov príslušných vrstiev atmosféry. Najviac je signál rušený v troposfére a ionosfére.

Troposféra je neutrálna vrstva atmosféry tesne nad zemským povrchom, ktorá siaha cca do výšky 10 km. Troposferická refrakcia má rovnakú hodnotu pre frekvencie do 15 GHz. Nezávisí tak na frekvenciách GNSS signálov, pretože tie sú nižšie ako 15 GHz, ale závisí na teplote, tlaku a vlhkosti. Obecne sa predpokladá, že jej vplyv sa prakticky vylúči pri tvorbe diferencií, čo platí pre kratšie vektory (kratšie ako 10 km). Vplyv troposféry závisí tiež na mikroklimé v okolí antény prijímača a niekedy sa nemusí podariť vylúčiť jej vplyv ani pri krátkych vektoroch. Vplyv troposféry sa redukuje buď

tvorbou modelu troposféry bez využitia GNSS meraní alebo určovaním jej parametrov z GNSS meraní na známych bodoch.

Ionosféra je časť atmosféry vo výške 50 – 1000 km nad Zemou, ktorá obsahuje veľké množstvo voľných elektrónov a iónov a chová sa ako disperzné médium. Na jej stav má vplyv slnečné žiarenie, ionosférické búrky, zmeny vyvolané slnečnými erupciami a jej poruchy (prevažne polárne a rovníkové oblasti). Ionosférická refrakcia je závislá na hustote voľných elektrónov. Líši sa pri rôznych frekvenciách a preto je možná jej redukcia meraním na oboch nosných frekvenciách vytvorením vhodnej lineárnej kombinácie. Pri relatívnom určovaní polohy je jej vplyv na krátke vektory (za predpokladu, že signál k obom prijímačom prechádza rovnakou časťou ionosféry) potlačený. Odstránenie jej vplyvu je tiež možné zavádzaním ionosférických modelov a korekcií z navigačnej správy (Kratochvíl, 2001).

2.2.3 Chyby súvisiace s prijímačom

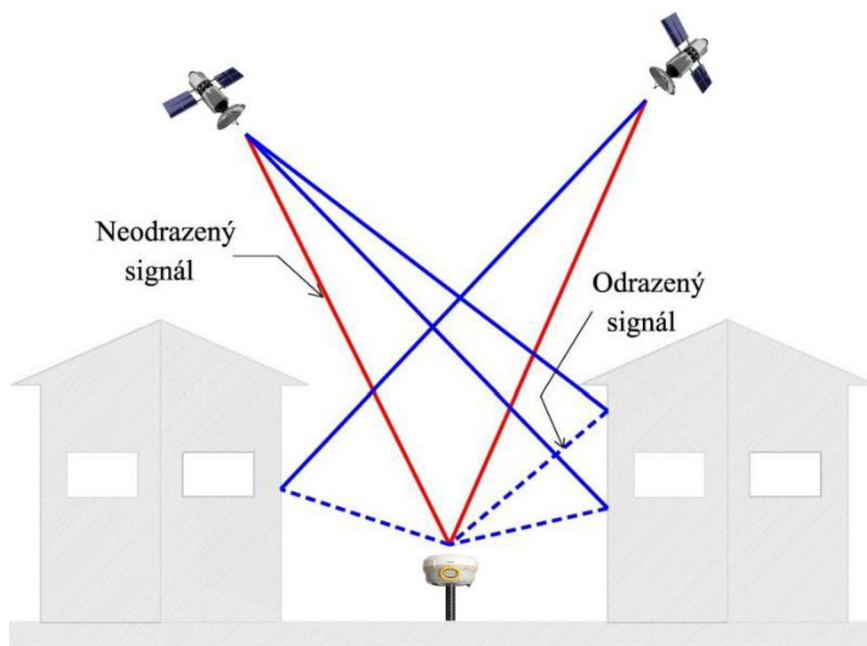
Z praktických dôvodov v prijímačoch nie sú používané hodiny s tak vysokou presnosťou, ako sú atómové hodiny na družiciach. To je dôvodom, prečo časové údaje prijímača musia byť korigované viac vzhľadom k systémovému GPS času. Hodnoty korekcií hodín prijímača sú obvykle určované pre jednotlivé epochy merania. Chyby sa do nameraných dát dostávajú tiež vplyvom oneskorenia signálu v obvodoch prijímača pri jeho prijímaní a spracovaní.

Ďalším významným zdrojom chýb je nepresná znalosť excentricít fázových centier GNSS antén – poloha fázového centra antény, kde je signál prijímaný sa nezhoduje s centrom (referenčným bodom) antény. Priestorová poloha sa mení v závislosti na elevačnom uhle a azimute družice a je rozdielna pre frekvencie L_1 a L_2 . Tieto chyby sa redukujú kalibráciou antén (zavedenie modelu variácií fázových centier) (Švábenský, 2007).

2.2.4 Chyby súvisiace s miestom merania

V dôsledku toho, že signál sa neprenáša v jednom ultratenkom zväzku dochádza k viaccestnému šíreniu signálu, ktoré označujeme ako multipath. Z dôvodu spoločného príjmu priamych aj odrazených vln od blízkych plôch anténou prijímača GNSS dochádza medzi signálmi k superpozícii a chybám v meraní. Okrem odrazivosti blízkych plôch

má na multipath vplyv aj elevačný uhol a azimut družice. Môžeme teda tvrdiť, že naplno závisí na mieste merania. Jeho hodnoty sa menia pri pohybu družice po oblohe a teda nie je možné vylúčiť ho relatívnym určovaním polohy. Je možné obmedziť ho vhodnou konštrukciou antény (tzv. choke ring – tlmiaci prstenec) a dlhšou dobou observácie.



Obrázok 1: Multipath efekt (prepracované podľa Technický popis Trimble R4, 2013; Satellite Sites: Do They Work?, 2012)

Pokiaľ sa signál prenáša cez vegetáciu je jeho kvalita zhoršovaná nielen multipath efektom, ale tiež zvýšením šumu. Strata kvality signálu závisí na druhu vegetácie a narastá s jej vlhkosťou. GNSS signál môže tiež interferovať so signálmi z iných zdrojov, ako sú napr. radary, televízne vysielacie, elektrický šum z elektroniky, vysoké a veľmi vysoké napätie. Tieto vplyvy je čiastočne možné eliminovať vhodnou konštrukciou aparátúr. K vplyvom, ktoré súvisia s miestom merania môžeme zaradiť aj nepresnosť určenia výšky antény a nepresnosť jej centrácie.

Presnosť signálu je tiež ovplyvňovaná rozložením družíc na oblohe. Číselným bezrozmerným vyjadrením sú tzv. faktory zníženia presnosti (DOP – Dilution of Precision). Tie delíme na:

- HDOP (Horizontal DOP) – horizontálne zníženie presnosti
- VDOP (Vertical DOP) – vertikálne zníženie presnosti
- PDOP (Position DOP) – priestorové zníženie presnosti, $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$
- TDOP (Time DOP) – presnosť určenia korekcie hodín prijímača

- GDOP (Geometric DOP) – presnosť určenia priestorovej polohy a hodín prijímača. Čím nižšia je hodnota DOP, tým menší je vplyv na presnosť. Vhodnosť a nevhodnosť je nutné posúdiť aj v závislosti na požiadavkách na presnosť meraní. TDOP nemá pri relatívnom určovaní polohy vplyv na polohovú presnosť (Švábenský, 2007).

2.2.5 Faktory presnosti GNSS meraní

Jednotlivé systematické faktory sa na výslednej presnosti GNSS meraní podieľajú rôznou mierou (viď. Tabuľka 1). Súčet vplyvu týchto faktorov na určenie vzdialenosti medzi družicou a prijímačom sa nazýva UERE (User Equivalent Range Error) a predstavuje celkovú chybu vo vzdialenosti družica – prijímač. Ďalej sa v práci budem zaoberať predovšetkým skúmaním multipath efektu a jeho vplyvu na meranie v reálnom čase (Švábenský, 2007).

Tabuľka 1: Systematické faktory pôsobiace na presnosť GNSS meraní (Švábenský, 2007)

Zdroj chýb	Vplyv na určenie polohy	
	Absolútne	Relatívne
Dráhy družíc (presné efemeridy)	3 – 5 m (3 – 10 cm)	0,1 – 0,2 ppm
Hodiny družíc (presné efemeridy)	3 – 5 m (5–20 cm)	–
Fázové centrá antén družíc	1 – 2 m	0 – 10 cm
Ionosféra (L ₁ bez korekcií)	1 – 100 m	0,08 – 8 ppm
Troposféra (štandardný model)	5 – 40 cm	1 – 100 cm
Fázové centrá antén prijímačov	1 – 10 cm	1 – 10 cm
Multipath efekt kód (fáze)	1 – 10 m (1 – 5 cm)	2 – 20 m (2 – 10 cm)
Šum signálu	0,2 – 5 mm	0,6 – 10 mm

2.3. GNSS systémy

GNSS je ucelený systém tvorený podsystémami GPS a GLONASS, no v súčasnej dobe sú vo vývoji ďalšie globálne systémy. Z významnejších je to európsky Galileo a čínsky Compass (dnešný Beidou v regionálnom rozsahu) a iné. Tieto majú byť do plnej prevádzky uvedené okolo roku 2020.

Štruktúra všetkých používaných a pripravovaných GNSS je obdobná a líši sa v zásade len v technických detailoch. Delíme ju na tri základné segmenty:

- **kozmicový** (Space Segment) taktiež označovaný aj ako družicový, zahŕňa aktívne umelé družice Zeme, ktorých poloha je kontinuálne určovaná v jednotnej celosvetovej geocentrickej sústave.
- **riadiaci** (Control Segment) je tvorený hlavnou riadiacou stanicou, monitorovacími stanicami a stanicami pre komunikáciu s družicami. Úlohou riadiaceho segmentu je sledovanie družíc a určovanie ich dráh, sledovanie palubných hodín družíc, zaistenie jednotného času pre celý systém a vysielanie dátových správ k družiciam.
- **užívateľský** (User Segment) je tvorený prakticky neobmedzeným počtom prijímačov, ktoré umožňujú príjem a vyhodnotenie rádiových signálov vysielaných družicami pre určenie svojej polohy a času.

Globálne pokrytie je spravidla dosiahnuté s využitím 20 – 30 satelitov na strednej obežnej dráhe (cca 20 000 km nad zemským povrchom) s vhodným sklonom dráhy. Táto výška zaisťuje cca 12 hodinovú dĺžku obehu družice okolo Zeme (Švábenský, 2007).

GPS

Globálny systém určovania polohy, známy tiež ako NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System) je družicový rádio navigačný systém zriadený Ministerstvom obrany Spojených štátov Amerických, ktoré dalo podnet k jeho vzniku a financuje vývoj aj prevádzku systému. Kozmicový segment sa skladá z 32 družíc rozmiestnených na šiestich obežných dráhach s inklináciou približne 55° a s 60° posunmi v rektascenzii výstupného uzlu. Konštelácia zaisťuje v každom okamihu viditeľnosť 4 – 8 družíc s eleváciou nad 15° všade na Zemi, za predpokladu voľného horizontu. Nadmorská výška družíc je približne 20 200 km a perióda obehu je 11 hod 58 min (Švábenský, 2007).

GLONASS

Družicový rádio navigačný systém GLONASS (Global'naja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma) je ruskou obdobou GPS. Je prevádzkovaný ruskou armádou a s miernymi obmedzeniami je k dispozícii aj pre civilné využitie. Jedným z hlavných rozdielov vzhľadom k GPS je používanie frekvenčnej identifikácie družíc (každá družica vysielala odlišné nosné frekvencie). Rovnako ako GPS obsahuje 3 základné segmenty. Kozmicový segment je tvorený 24 družicami, ktoré sú rozmiestnené po ôsmich na troch obežných dráhach so sklonom $64,8^\circ$. Nadmorská výška obehu je 19 500 km a obeh družíc trvá

11 hod 15 min 40 sec (identická konfigurácia každých 8 dní). Výhodou oproti GPS je lepšie pokrytie v zemepisnej šírke nad 50° . Kvôli obmedzeniam nie je možné napr. použiť k výpočtom statických observácií iba družice z tohto systému. Výpočet je nutné skombinovať ešte s ďalšími družicami (spravidla systém GPS) (Kratochvíl, 2001).

Galileo

Galileo je projektovaný európsky civilný satelitný navigačný systém, ktorý je vyvíjaný Európskou úniou v spolupráci s Európskou kozmickou agentúrou. Plánované je vypustiť 30 satelitov (z toho 6 záložných) v troch dráhových rovinách s inklináciou 56° vo výške 23 222 km nad zemským povrchom s dĺžkou obehu 14 hod 5 min (identická konfigurácia po 10 dňoch). Prvé dva satelity boli vypustené v roku 2011. Do plnej prevádzky bude systém pravdepodobne uvedený v roku 2020. (ESA, 2015)

Compass

Čínsky satelitný navigačný systém vznikne dobudovaním druhej generácie satelitného navigačného systému Beidou rozšírením v súčasnosti regionálneho ázijsko – pacifického systému na globálne pokrytie. Plánovaná doba ukončenia je v roku 2020. Systém bude tvoriť 5 geostacionárnych satelitov a 30 satelitov so strednou výškou obehu 21 150 km (System introduction).

2.4. Metódy merania GNSS

Nasledujúca podkapitola popisuje metódy meraní technológiou GNSS. Zameriava sa na metódu RTK a popisuje siete permanentných staníc, ktoré boli pri testovaní využité.

2.4.1 Delenie meračských metód

Pomocou signálu vysielaného družicami je možné určiť polohu rôznymi metódami, ktoré je možné vzájomne odlišovať podľa:

1. veličín, ktoré sa použijú k určeniu polohy – tu rozlišujeme merania:
 - **kódové** na C/A alebo P – kóde, určujú vzdialenosť z času, ktorý signál potrebuje na prekonanie tejto dráhy
 - **fázové** na frekvenciách f_1 alebo f_1 a f_2 , vzdialenosť získavame z rozdielu fázy medzi vysielaným a prijatým signálom
 - **kombinované** – využitie kódových aj fázových meraní

2. doby, ktorá uplynie medzi meraním a poskytnutím prvých polohových údajov rozlišujeme metódy:
 - *v reálnom čase* (navigácia, vytyčovacie práce)
 - *nasledujúcim spracovaním* – v teréne archivácia meračských dát so spracovaním v kancelárii
3. spôsobu určovania polohy rozlišujeme:
 - *autonómne*, tzv. absolútne, polohu jedného alebo viacerých prijímačov určujeme nezávisle na sebe, merania sú plnou mierou zaťažené systematickými chybami, ktoré znehodnocujú presnosť
 - *relatívne* – podstatou je simultánne meranie najmenej dvoch prijímačov, meranie sa potom spoločne spracuje a výsledkom je trojrozmerný vektor, ktorý definuje vzájomnú polohu dvojice prijímačov
 - *diferenčné* metódy využívajú meranie prijímača, ktorý je na bode o známych súradniciach a určuje chyby pseudovzdialeností medzi družicou a prijímačom a vysiela ich druhému, nie príliš vzdialenému prijímaču
4. pohybu prijímača v priebehu merania rozlišujeme režim:
 - *statický*, pri ktorom sa prijímač nepohybuje, určuje sa poloha jednotlivých bodov
 - *kinematický*, kde prijímač je v pohybe, výsledkom môže byť aj trajektória pohybujúceho sa prijímača (Kratochvíl, 2001).

2.4.2 RTK

Meranie v reálnom čase je jednou z najdynamickejšie sa vyvíjajúcich metód určovania polohy pomocou družicových systémov. Táto kinematická metóda využíva simultánne fázové meranie na dvoch stanicích – referenčnej a na roveri. Ako referenčná označujeme aparáturu, ktorá je umiestnená na bode o známych súradniciach. Referenčný prijímač môže patriť užívateľovi, môže byť súčasťou verejnej siete permanentných staníc, alebo virtuálnou stanicou z týchto odvodenou. Rover je aparátura, ktorá sa nachádza na bode, ktorého súradnice určujeme. Každá aparátura sa skladá z dvojfrekvenčného GNSS prijímača, antény pre príjem GNSS signálu a modemu s anténou, ktoré slúžia na prenos diferenčných korekcií.

Pri simultánnom meraní na dvoch stanicích dochádza na referenčnej stanici k výpočtu diferenčných korekcií (odstránenie chýb hodín a atmosféry) a k prenosu týchto korekcií

pomocou modemu na rover (rádiový, GSM alebo internetový prenos). Na určovanom bode sú vyhodnocované spoločne s údajmi o polohe určovaného bodu, ktoré boli získané družicovým meraním. Vďaka tomu sú prijímače schopné riešiť ambiguity v reálnom čase. Práve určovanie 3D polohy bodu priamo v teréne bez nutnosti postprocessingu je hlavnou výhodou metódy RTK. Obmedzujúcim parametrom merania je vzdialenosť od referenčnej stanice, kedy dochádza k znižovaniu presnosti s rastúcou vzdialenosťou. V súčasnosti je problém vyriešený využívaním sietí permanentných staníc.

Korekcie zo sietí je možné získať z vybranej alebo automaticky priradenej najbližšej referenčnej stanice. Možnosťou je aj príjem z virtuálnej referenčnej stanice vytvorenej v optimálnej vzdialenosti od rovera. Korekcie môžu byť spočítané z jednej referenčnej stanice, alebo na základe plošného výpočtu z permanentných alebo virtuálnych staníc (sieťové riešenie). Korekcie sú poskytované za poplatok (Láska, 2010).

Celoplošnými poskytovateľmi v Českej republike sú štátna sieť CZEPOS (Czech Positioning System), ktorá je spravovaná Českým úradom zememeračským a katastrálnym (ČÚZK), ďalšia je prevádzkovaná firmou Trimble pod názvom Trimble VRS Now Czech (ďalej Trimble VRS Now) a TopNet od firmy GB – geodézie a v súčasnosti je budovaná nová sieť Georbit prevádzkovaná firmou Geobchod. Tieto siete obsahujú desiatky permanentných staníc rozmiestnených po republike a v blízkosti hraníc. Siete Trimble a CZEPOS navyše podliehajú nezávislému monitoringu permanentných staníc, ktorý zabezpečuje VÚGTK (Výskumný ústav geodetický, topografický a kartografický). Ďalšie siete s menším pokrytím vznikli za iným účelom, ako poskytovanie služieb verejnosti a to napr. VESOG (výskumná a experimentálna sieť VÚGTK), GEONAS (geodynamická sieť Akadémie vied ČR), EPN (EUREF Permanent Network). Niektoré stanice týchto sietí sú spoločné s vyššie uvedenými. Pre potreby tejto práce boli využité korekcie od CZEPOS a Trimble VRS Now Czech (CZEPOS; Trimble VRS Now, 2008; Říha, 2014).

2.4.3 Trimble VRS Now Czech

Sieť referenčných staníc, ktorá poskytuje korekcie všetkým GNSS prijímačom nezávisle na značke a to pre geodéziu aj GIS. Je prevádzkovaná firmou Trimble aj v iných európskych krajinách (napr. v Nemecku má 170 referenčných staníc). V ČR má rozmiestnených 25 staníc tak, aby mal užívateľ kdekoľvek v republike zaistený kvalitný príjem RTK korekcií. Do siete sú dodávané ešte dáta z 8 staníc v Nemecku, ktoré

sú súčasťou siete Trimble VRS Now Deutschland, kvôli kvalitnému pokrytiu západu republiky. Poskytovateľ uvádza výškovú presnosť RTK merania 2 cm.

Na všetkých staniciach je umiestnený GNSS prijímač NetR5 (sledovanie GPS a GLONASS), NetR9 (prijem aj plánovaných družicových systémov, podporuje formát CMRx – najrýchlejší prenos korekcií), anténa Zephyr Geodetic 2 (s technológiou pre elimináciu viacnásobného odrazu), software VRS3Net (Trimble VRS Now, 2008).



Obrázok 2: Referenčné stanice siete Trimble VRS Now CZ (Trimble VRS Now, 2008)

2.4.4 CZEPOS

Štátna sieť, ktorá je prevádzkovaná Zememeračským úradom ako súčasť geodetických základov ČR. Poskytuje užívateľom GNSS korekčné dáta, ktoré slúžia k presnému určeniu polohy na území republiky. Začiatok prác na sieti bol v novembri roku 2004, dáta pre postprocessing sú poskytované od marca roku 2005 a sieťové riešenie, ktoré je potrebné pre služby RTK je spustené od marca roku 2006. Sieť obsahuje na území ČR 28 staníc rovnomerne rozmiestnených vo vzdialenosti cca 60 km. Ďalej sieť využíva pre výpočet sieťového riešenia aj dáta z 27 prihraničných staníc štátnych sietí susedných štátov. Na území ČR je 23 staníc v správe Zememeračského úradu (ZÚ) a sú umiestnené na budovách katastrálnych úradov alebo pracovísk a ďalších 5 staníc je spravovaných vedeckými a akademickými pracoviskami (stanice v Ostrave, Plzni, Pecněm, Brne, Polome). Poskytovateľ udáva presnosť horizontálnej zložky 1 cm a vertikálnej 3,9 cm.

Všetky stanice CZEPOS, ktoré sú v správe ZÚ sú vybavené prijímačom Leica GRX 1200+ GNSS (GPS, GLONASS, Galileo) a anténou Leica AR 25. Zber dát prebieha 24 hodín denne s intervalom záznamu 1 sekunda. Antény sú pripevnené k pevným častiam budov tak, aby maximálne zakrytie horizontu bolo 5°. Taktiež disponujú technológiou, ktorá potláča efekt viaccestného šírenia signálu (CZEPOS).



Obrázok 3: Referenčné stanice siete CZEPOS (CZEPOS)

2.5. Technická nivelácia

Technická nivelácia sa delí na niveláciu dopredu a zo stredy. Používa sa pri meraní pre bežné technické účely a pre určenie nadmorských výšok bodov v podrobnom výškovom bodovom poli. Rozlišuje sa technická nivelácia základnej a zvýšenej presnosti.

Nivelačnú súpravu tvorí nivelačný prístroj s minimálne 16 násobným zväčšením, nivelačnou libelou o citlivosti aspoň 60"/2 mm alebo kompenzátorom odpovedajúcej presnosti, nivelačné late so zreteľným delením a pevnou pätkou a nivelačné podložky. Dĺžka zámer sa volí až 120 m (optimálne 40 – 50 m), určujú sa krokováním. Výška zámeru nad terénom je aspoň 0,3 m. Nivelačný oddiel sa meria vždy 2 krát.

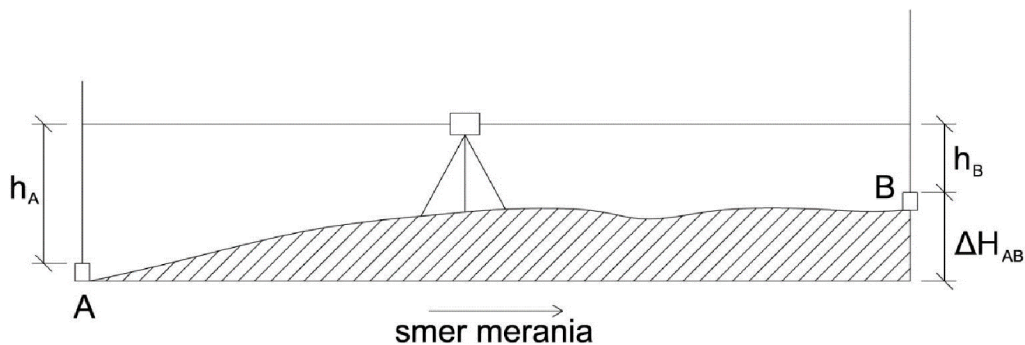
Kritériom presnosti je medzná odchýlka medzi daným a meraným prevýšením. Tá sa určí zo vzorca

$$\delta_{\Delta h} = 40 \cdot \sqrt{R} \text{ [mm]},$$

kde R je dĺžka nivelačného ťahu v kilometroch.

Vzniknutá odchýlka sa rozdelí úmerne jednotlivým horizontom prístroja. Pokiaľ meranie začínalo a končilo na rovnakom bode, medzná odchýlka je určená ako:

$$\delta_{\Delta h} = 0,707 \cdot 40 \cdot \sqrt{R} \text{ [mm]} \text{ (Čada; Bitterer 2003).}$$



Obrázok 4: Schéma nivelačného merania

2.6. Úvod do teórie chýb a vyrovnávacieho počtu

Z hľadiska teórie chýb považujeme meranie za pokus. Všeobecne ako pokus označujeme akúkoľvek činnosť alebo proces, ktoré sú ľubovoľne opakovateľné a uskutočňujú sa za dopredu vymedzených podmienok. Pokusy rozdeľujeme na deterministické (za vymedzených podmienok vedú pri ich opakovaní vždy k rovnakým výsledkom) a stochastické pokusy (na výsledok pôsobia ešte ďalšie podmienky a vplyvy, ktoré sú obvykle náhodného charakteru a spôsobujú, že výsledky opakovaného pokusu sú rôzne) (Weigel, 2004).

Každé reálne meranie sa koná v konkrétnych podmienkach, ktoré sú ovplyvňované zmenou teploty, tlaku, vlhkosti, slnečného svitu, vetra a pod. Na meraní sa podieľa aj ľudský faktor a teda nie je možné oddelovať podmienky deterministické od podmienok náhodných. Procesom merania sa pokúšame určiť skutočnú (pravú) hodnotu sledovanej veličiny. Meraním však pravú hodnotu nie je možné určiť, pretože každé meranie je ovplyvňované premenlivými podmienkami, pri ktorých je realizované. Právé hodnoty sú teda nespoznateľné a chyby, ktoré vznikajú premenlivosťou podmienok ovplyvňujú výsledok merania. Opakovaním merania je možné mnohé z týchto nepriaznivých vplyvov znížiť až eliminovať. Je teda dôležité určiť pre každý meračský úkon presnosť merania. Pokiaľ sú známe požiadavky na presnosť výsledkov dopredu, môžeme zvoliť optimálnu technológiu merania a vhodné pomôcky (Weigel, 2004; Bitterer 2003).

K určeniu dosiahnutej presnosti merania potrebujeme získať nadbytočné množstvo meraní. Existencia nadbytočných meraní umožňuje vyrovnať merania metódami vyrovnávacieho počtu. Úlohou vyrovnávacieho počtu je:

- určiť kritériá na vylúčenie odľahlých a nespoľahlivých meraní
- z opakovaných (nadbytočných) meraní určiť vyrovnanú hodnotu ako najpravdepodobnejší odhad neznámej skutočnej hodnoty meranej veličiny
- posúdiť presnosť merania a spoľahlivosť výsledkov merania (Bitterer 2003).

2.6.1 Rozdelenie chýb

Skutočná chyba merania vzniká ako algebrický súčet takzvaných elementárnych chýb. Všeobecne je meranie zložitým procesom s mnohými čiastkovými činnosťami a vplyvmi, z ktorých každý môže byť zdrojom inej chyby. Elementárne chyby majú v každom okamihu inú veľkosť aj znamienko. Táto premenlivosť spôsobuje, že sa do veľkej miery vzájomne eliminujú. Na meranie pôsobia nielen vplyvy náhodné, ale aj vplyvy systematické, hrubé chyby a omyly.

Hrubé chyby a omyly vznikajú nepozornosťou pri meraní (chyba v čítaní na prístroji, neurovnanie nivelačnej libely a pod.). Odstraňujú sa v priebehu merania opakovaním meračského úkonu a vylúčením chybných meraní.

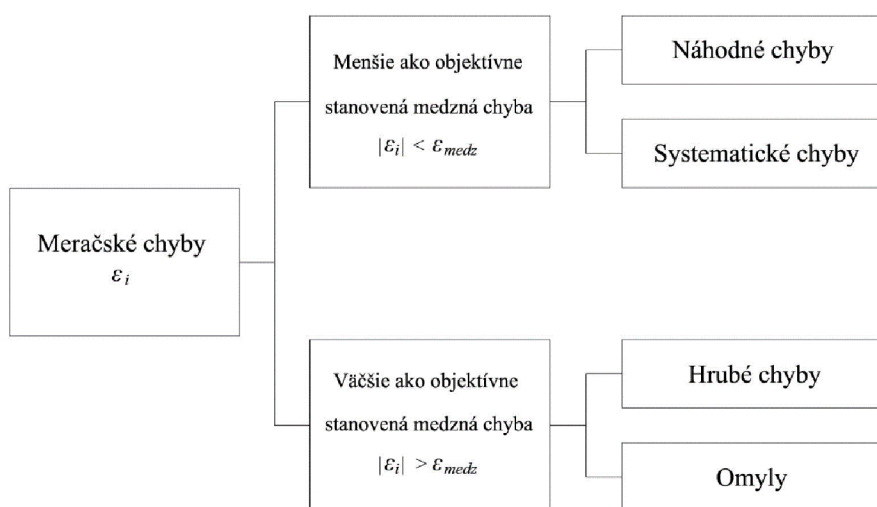
Systematické chyby pôsobia jednostranne na výsledok merania (kolimačná, indexová chyba, nevodorovná poloha pásma pri meraní dĺžok a pod.). Sú nebezpečné, pretože výsledok merania ovplyvňujú vždy jednostranne. Odstraňujú sa kalibráciou pomôcok a prístrojov, voľbou vhodnej technológie merania, zavedením korekcie a pod.).

Náhodné chyby zostávajú vo výsledkoch meraní, z ktorých boli odstránené hrubé a systematické chyby. Sú nevyhnutné a vyskytujú sa náhodne s kladným alebo záporným znamienkom. Jednotlivé náhodné chyby považujeme za vzájomne nezávislé. Vznikajú ako dôsledok nedokonalých zmyslových schopností merača, z dôvodu obmedzenej presnosti meracieho prístroja a premenlivosti vonkajších podmienok pri meraní. V súbore chýb sa správajú podľa zákonov pravdepodobnosti. Tieto zákony nám poskytujú informácie o prejavoch, charaktere a účinku náhodných chýb, ktoré sa potom používajú pri spracovávaní dát. Teoreticky majú náhodné chyby normálne rozdelenie pravdepodobnosti s nulovou strednou hodnotou a rozptylom. Vlastnosti náhodných chýb:

- náhodné chyby oscilujú okolo nulovej strednej hodnoty

- pravdepodobnosť výskytu kladnej aj zápornej chyby určitej veľkosti je rovnaká
- pravdepodobnosť výskytu náhodnej chyby je funkciou jej veľkosti, pričom malé chyby sú početnejšie ako chyby veľké
- pravdepodobnosť, že absolútna hodnota chyby prekročí určitú limitnú hodnotu je prakticky nulová.

Do vyrovnania nesmú byť zaradené merania, ktoré sú zaťažené hrubými a systematickými chybami. Vyrovnané môžu byť len merania obsahujúce náhodné chyby (Weigel, 2004; Bitterer 2003).



Obrázok 5: Rozdelenie chýb (prepracované podľa Weigel, 2004)

2.6.2 Charakteristiky presnosti meraní

Každý metóde merania pri rovnakých priemerných podmienkach prislúcha určitý variačný obor možných výsledkov meraní alebo základný súbor chýb s určitými parametrami rozdelenia. Opakované merania predstavujú náhodne vybranú vzorku zo základného súboru meraní alebo chýb. Šírka základného súboru chýb reprezentuje presnosť použitej metódy merania. Čím menej rozdielne sú výsledky jednotlivých opakovaných meraní, tým väčšia sa predpokladá presnosť a spoľahlivosť výsledkov meraní. Keďže praktické merania sú obmedzené svojím rozsahom (opakovaných meraní je vždy obmedzený počet), pracujeme s takzvaným výberovým súborom (súbor meraní s konečným počtom hodnôt). Keď opakujeme meranie sledovaného znaku rovnakou metódou a technológiou a pri rovnakých podmienkach merania predpokladáme, že výsledky sú náhodnými veličinami s rovnakým rozdelením pravdepodobnosti. Pokiaľ sú merania vzájomne

nezávislé a ich počet je n , hovoríme im náhodný výber o rozsahu n – výberový súbor je teda konkrétnou realizáciou náhodného výberu. Vo väčšine aplikácií predpokladáme, že merané veličiny majú normálne rozdelenie pravdepodobnosti.

Zo súboru meraní dokážeme definovať takzvané charakteristiky presnosti, ktoré zahŕňajú informácie o testovanom súbore. Najčastejšie sa používajú tzv. momentové charakteristiky. Poznáme dva druhy momentov:

- všeobecné momenty (okolo počiatku)
- centrálné momenty (okolo priemeru).

Všeobecný moment prvého rádu je jednoduchý aritmetický priemer (stredná hodnota), pre ktorý zavedieme označenie \bar{x} . Predstavuje najpravdepodobnejšiu (vyrovnanú) hodnotu meranej veličiny x :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \text{ kde}$$

x_i = jednotlivé merania

n = počet opakovaní.

Druhý centrálny moment sa nazýva rozptyl a označujeme ho σ_x^2 :

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-k}, \text{ kde}$$

k = počet nutných meraní.

Spravidla sa používa jeho druhá odmocnina – smerodajná odchýlka σ_x , ktorú tiež nazývame stredná (kvadratická) odchýlka (štandard). Vyjadruje stupeň koncentrácie výsledkov okolo strednej hodnoty \bar{x} :

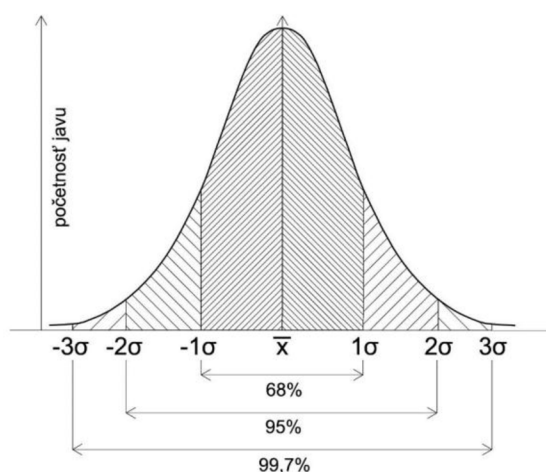
$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-k}} \text{ (Weigel, 2004; Bitterer 2003)}.$$

2.6.3 Gaussova krivka

Závislosť veľkosti náhodných chýb na pravdepodobnosti ich výskytu matematicky definoval Gauss podľa normálneho rozdelenia. Gaussova krivka je funkciou dvoch parametrov – strednej hodnoty a rozptylu. Je symetrická, stredná hodnota leží pod jej vrcholom. Tvar krivky s extrémom v mieste strednej hodnoty hovorí, že pri opakovaní náhodného pokusu, ktorý má normálne rozdelenie pravdepodobnosti budú najpočetnejšie výsledky blízke strednej hodnote. Symetria krivky hovorí, že výsledky vychýlené

nad aj pod strednú hodnotu sú rovnako pravdepodobné. Parameter σ_x^2 určuje, ako tesne sa krivka primyká strednej hodnote.

Pri analýze výberového súboru nás zaujíma, v akom pásme okolo zisteného aritmetického priemeru sa s dopredu zvolenou pravdepodobnosťou nachádza skutočná hodnota javu. Tento interval sa nazýva interval spoľahlivosti. Koeficient spoľahlivosti $(1 - \alpha)$ je pravdepodobnosť, že sa stredná hodnota vyskytuje v intervale spoľahlivosti (najčastejšie sa používa riziko 5 % a 1 %). Celú škálu štatistických metód je možné aplikovať iba na výberové súbory s normálnym rozdelením. K overeniu normality súboru slúžia tzv. testy normality (Bitterer 2003).



Obrázok 6: Gaussova krivka

2.6.4 Testovanie hypotéz a korelačná analýza

Štatistickými hypotézami rozumieme tvrdenia o rozdelení náhodných veličín X . Štatistické hypotézy sa teda môžu týkať buď typu rozdelenia náhodnej veličiny X , alebo hodnôt neznámeho parametru rozdelenia X (v prípade, že sme si typom rozdelenia X istí). Pokiaľ je hypotéza formulovaná tak, že jednoznačne určuje rozdelenie X , nazývame ju jednoduchou hypotézou. V opačnom prípade ide o hypotézu zloženú.

Pri testovaní hypotéz kladieme proti sebe vždy dve hypotézy – jednu z nich nazývame testovanou (nulovou) a označujeme ju H_0 . Druhú, popierajúcu platnosť testovanej hypotézy nazývame alternatívna hypotéza H . **Testom štatistickej hypotézy H_0** je postup, ktorý na základe realizácie náhodného výberu z rozdelenia X vedie k zamietnutiu alebo nezamietnutiu hypotézy H_0 . Rozhodnutie o zamietnutí alebo nezamietnutí H_0 je založené

na realizácii štatistiky $T = T(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Štatistika T sa nazýva testová štatistika (kritérium) a predstavuje mieru nesúladu výsledkov pokusu s nulovou hypotézou. Obor hodnôt štatistiky T sa delí na dve časti – kritický obor W a obor nezamietnutia V . Kritický obor predstavuje množinu všetkých hodnôt testovej štatistiky, ktoré vedú k zamietnutiu nulovej hypotézy. Naopak obor nezamietnutia predstavuje množinu hodnôt, ktoré vedú k jej nezamietnutiu. Testovanie môže viesť k dvom záverom – pokiaľ je zistené, že pre realizáciu t štatistiky T platí

$$t \in W,$$

hypotéza H_0 je zamietnutá. V opačnom prípade je hypotéza nezamietnutá.

Testovanie sa uskutočňuje na základe náhodného výberu. Preto je možné dopustiť sa vplyvom náhody pri rozhodovaní o zamietnutí, v resp. nezamietnutí nulovej hypotézy jednej z dvoch chýb:

- **Chyba 1. druhu** – pokiaľ nulová hypotéza H_0 platí, ale na základe testu $t \in W$ je táto hypotéza zamietnutá.
- **Chyba 2. druhu** – pokiaľ nulová hypotéza H_0 neplatí, ale na základe výsledku $t \notin W$ je táto hypotéza nezamietnutá.

Číslo α udáva v prípade testovania jednoduchej nulovej hypotézy H_0 pravdepodobnosť chyby 1. druhu a v prípade zloženej H_0 najmenšiu hornú hranicu pravdepodobnosti chyby 1. druhu. Nazývame ho **hladina významnosti testu** (Koutková 2007).

Korelačná analýza je metóda, ktorá sa používa k zisteniu tesnosti závislosti (sily vzťahu) dvoch náhodných spojitých premenných. Pojem korelácia označuje mieru stupňa asociácie dvoch veličín. Dve veličiny sú korelované, pokiaľ určité hodnoty jednej veličiny majú tendenciu vyskytovať sa spoločne s určitými hodnotami druhej veličiny. Obe premenné sú závislé navzájom. Najdôležitejšou a najčastejšie využívanou mierou sily vzťahu dvoch náhodných veličín je **Pearsonov korelačný koeficient** označovaný r . Podmienkou použitia korelačného koeficientu je normálne rozdelenie premenných. Korelačný koeficient r môže nadobúdať hodnoty v intervale $< -1; 1 >$. Čím väčšia je absolútna hodnota r , tým silnejšia je korelácia. Kladný koeficient vyjadruje priamu závislosť, záporný nepriamu. Pokiaľ je koeficient nulový, závislosť neexistuje (Bedáňová 2012).

3. POPIS LOKALÍT

Správna voľba lokalít a rozmiestnenie testovaných bodov tvoria ťažisko celej práce. Bez vhodného rozmiestnenia bodov by bol testovací súbor plný nežiadúcich náhodných vplyvov a výsledky testovania bez výpovednej hodnoty. Preto bola snaha rozmiestniť body tak, aby mal na meranie vplyv len jeden sledovaný faktor. Práca testuje vplyv okolitých prekážok na presnosť merania výšok pomocou technológie GNSS RTK – konkrétne je to vplyv šumu a viacccestného šírenia signálu v dôsledku blízkosti vegetácie, zástavby, vplyv nadzemného vedenia vysokého napätia a posledná skupina testovaných bodov bola umiestnená na lúku, kde sa predpokladá príjem signálu bez viacnásobných odrazov a so zníženým šumom. Na každej lokalite bolo stabilizovaných 5 bodov, pod elektrickým vedením 5 × 3 body (1 bod pod vedením, 2 po stranách).

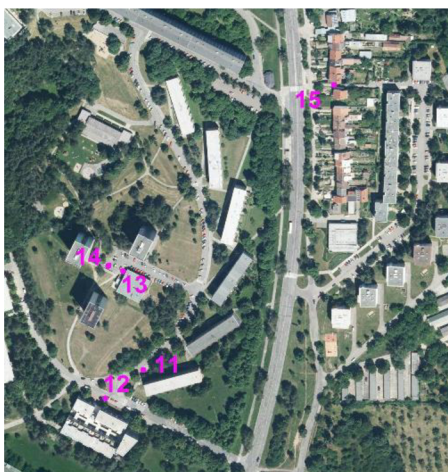
Číslovanie bodov bolo navrhnuté tak, aby poskytovalo informácie o jeho umiestnení a spôsobe merania. Prvá časť kódu je písmeno „c“ alebo „t“, ktoré označujú použitého poskytovateľa korekcií (CZEPOS iMAX alebo Trimble VRS Now CZ). Nasleduje číslo „5“ alebo „20“, ktoré udáva dĺžku observácie v sekundách. Druhá časť kódu poskytuje informáciu o lokalite – udáva poradové číslo bodu v lokalite a číslo merania. Lokalita v zástavbe je označená číslom 1, lokalita pod vedením číslami 2 a 3, v lese číslom 4 a lokalita nachádzajúca sa na lúke je označená číslom 5. Číslo bodu c5-1301 znamená, že bod sa nachádza v zástavbe a jeho číslo je 3 a je to prvé z meraní na bode, ktoré trvalo 5 sekúnd a poskytovateľom korekcií bol CZEPOS.



Obrázok 7: Spôsob kódovania čísla bodu

3.1. Lokalita s vplyvom zástavby

Body 11 – 15 boli stabilizované v zástavbe v mestskej časti Brno – Sever v štvrti Lesná. Body 11, 12 sú stabilizované na ulici Nejedlého, body 13, 14 na parkovisku v blízko tejto ulice. Bod 15 je stabilizovaný v uličke medzi ulicami Barvy a Seifertova neďaleko zastávky Blažkova. Ako je zjavné z obrázkov č. 8 a 9, body boli stabilizované v blízkosti budov, teda v prostredí bežnom pri meraní v mestskej zástavbe.



Obrázok 8: Rozmiestnenie bodov – lokalita Zástavba (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016)

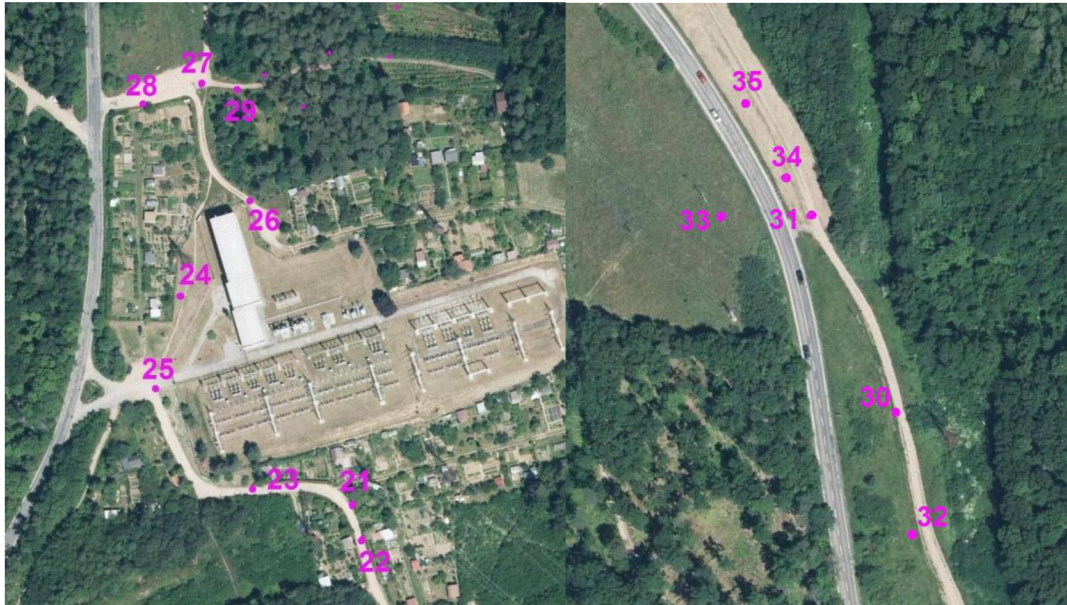


Obrázok 9: Pohľad na bod č. 14

3.2. Lokalita s vplyvom elektrického vedenia

Body 21 – 35 boli stabilizované v okolí elektrického vedenia. Lokalita sa nachádza za Brnom v smere na Soběšice medzi zastávkami U rozvodny a Panská lícha. Jeden bod

sa vždy nachádza priamo pod elektrickým vedením a dva body sú umiestnené po stranách vo vzdialenosti priemerne 30 m od prostredného bodu tak, aby sa v obzore vyskytovalo čo najmenej prekážok.



Obrázok 10: Rozmiestnenie bodov – lokalita Vedenie (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016)



Obrázok 11: Pohľad na bod č. 33

3.3. Lokalita s vplyvom lesného porastu

Body 41 – 45 boli stabilizované v blízkosti listnatého lesného porastu. Lokalita sa nachádza za Brnom v smere na Soběšice v lese v blízkosti zastávky U rozvodny. V okolí bodov sa nachádza množstvo prekážok a teda obzor nie je voľný.



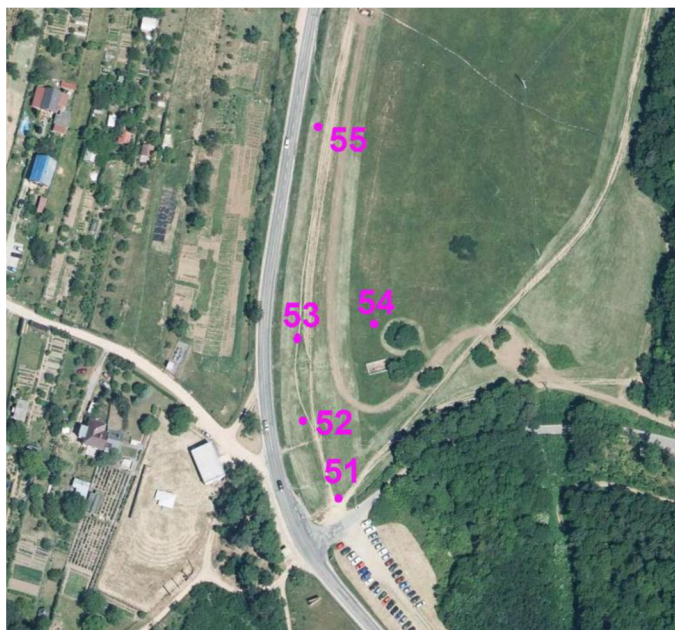
Obrázok 12: Rozmiestnenie bodov – lokalita Les (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016)



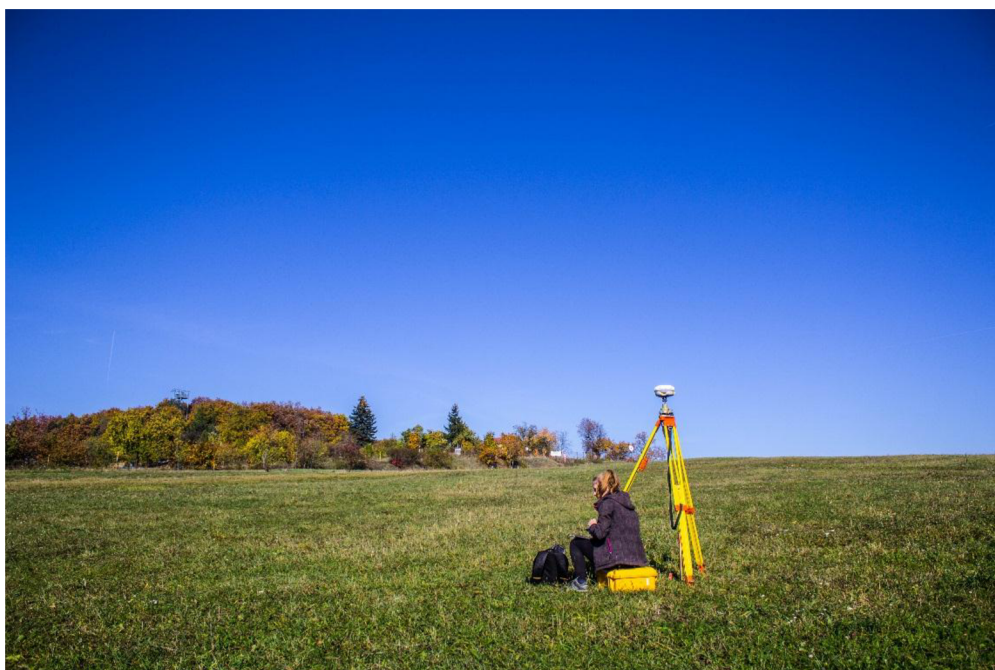
Obrázok 13: Pohľad na bod č. 43

3.4. Lokalita bez rušivých vplyvov

Body 51 – 55 boli stabilizované v mieste bez rušivých vplyvov. Lokalita sa nachádza za Brnom pri zastávke Panská lícha. Body sú rozmiestnené na lúke, obzor v okolí bodov je voľný, bez prekážok.



Obrázok 14: Rozmiestnenie bodov – lokalita Pole (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016)



Obrázok 15: Pohľad na bod č. 44

4. ZBER DÁT V TERÉNE

Základným predpokladom štatistického testovania a vyhodnotenia je kvalitný testovací súbor. V prípade tejto práce bola kvalita zabezpečená rozmiestnením bodov, prípravou pomôcok na meranie a dôslednosťou počas neho. Získané súradnice sú v súradnicovom systéme S-JTSK a vo výškovom systéme Bpv.

4.1. Harmonogram meračských prác

Práce v teréne je možné rozdeliť do niekoľkých fáz. Keďže na riešení problematiky spolupracovala Klára Kordasová, sieť testovacích bodov bola navrhnutá spoločne pre obe práce. Pri meraní bola snaha o synchronizáciu našich meraní (meraním z rovnakého postavenia statívu), čím bola eliminovaná chyba z horizontácie a centrácie medzi dvomi testovacími súbormi.

15.09.2015 Rekognoskácia lokalít, stabilizácia bodov

03.10.2015 Meranie bodov 41 – 43 dopoludnia, bodov 21 – 26 popoludní

04.10.2015 Meranie bodov 27 – 29, 32, 30, 42, 44, 45, dopoludnia

05.10.2015 Meranie bodov 21 – 26 dopoludnia

23.10.2015 Meranie bodov 27 – 29, 41 – 45 popoludní

24.10.2015 Meranie bodov 31, 33 – 35, 51 – 55 dopo., bodov 30 – 35, 51 – 55 popo.

26.10.2015 Meranie bodov 11 – 15 dopoludnia, bodov 11 – 15 popoludní

16.11.2015 Kontrolné meranie metódou technickej nivelácie

17.11.2015 Kontrolné meranie metódou technickej nivelácie

15.01.2016 Kontrolné meranie metódou technickej nivelácie

4.2. Použité prístroje a pomôcky

Prístroje a pomôcky, ktoré boli použité k zberu štatistických dát zapožičal Ústav geodézie, stabilizácie bodov boli zabezpečené z vlastných zdrojov.

- prijímač Trimble R4 s príslušenstvom (drevený statív určený pre totálne stanice, trojnožka, zvinovací meter)
- nivelačný prístroj Leica Sprinter 150 M s príslušenstvom (nivelačná lata, podložka, duralový statív)
- ostatné pomôcky: kladivo, výstražné reflexné vesty, drevené kolíky, meračské klince

4.2.1 Trimble R4

Testovaná aparátúra (prijímač R4 so softwarom Trimble Digital Fieldbook a kontrolerom Trimble Slate) je ľahká, ergonomická a bezdrôtová. Dvojfrekvenčná anténa má submilimetrovú stabilitu fázového centra, čím údajne poskytuje presné výsledky aj v náročných podmienkach. Vhodná je pre statické aj kinematické merania. Disponuje technológiou pre sledovanie družíc s nízkou eleváciou, vysoko presný viacnásobný korelátor pre GNSS merania, nefiltruje a nevyhladzuje pseudovzdialenosti, čo vedie k zníženiu šumu a údajne nízkej chybe z multipath, rýchlej korelácii a dynamickej odozve. Výrobca udáva rýchlosť inicializácie lepšiu ako 20 sekúnd s 99,9% úspešnosťou. Presnosť kinematického merania vid'. tabuľka 2 (Technický popis Trimble R4, 2013).

Tabuľka 2: Presnosť RTK merania (Technický popis Trimble R4, 2013)

Kinematické meranie RTK:	
Polohová presnosť	10 mm + 1 ppm RMS
Výšková presnosť	20 mm + 1 ppm RMS



Obrázok 16: Aparátúra Trimble R4 (Trimble R4, 2011)

4.2.2 Leica Sprinter 150 M

Elektronický nivelačný prístroj od firmy Leica eliminuje chyby spôsobené meračom (cielenie, odčítavanie). Prístroj kontroluje horizontálne urovnanie a upozorňuje na vychýlenie z vodorovnej polohy. Prístroj ďalej meria dĺžku zámer. Výrobca udáva strednú kilometrovú chybu prístroja +/- 1,5 mm/km. Dosah elektronického merania dĺžok je 2 – 100 m (Leica Sprinter, 2008).



Obrázok 17: Nivelačný prístroj Leica Sprinter (Leica Sprinter 150M)

4.3. Spôsob stabilizácie bodov

Pre potreby práce boli využité 2 typy stabilizácie – pomocou meračského klinca v spevnenom povrchu a dreveného kolíka v nespevnenom teréne. Signalizovaný bol dlhým kolíkom označeným číslom bodu. Použitý meračský kliniec mal dĺžku 22 mm a bol použitý k stabilizácii bodov: 11 – 15 v zástavbe a 21 – 26 pod elektrickým vedením. Ostatné body boli stabilizované dreveným kolíkom. Drevený kolík bol zatlčený tak, aby bol výškovo takmer zarovnaný s terénom, aby sa zabránilo náhodnému poškodeniu stanovišťa a zároveň nedošlo k jeho posunu v mokrej pôde. Bol označený geodetickým sprejom kvôli lepšej viditeľnosti. Pre lepšiu orientáciu medzi bodmi bol vedený ich prehľadný náčrt.



Obrázok 18: Spôsob stabilizácie testovacích bodov

4.4. Príprava prístrojového vybavenia a pomôcok

Príprava vybavenia je dôležitá z hľadiska vylúčenia hrubých chýb a omylov. Ďalšou snahou bolo vylúčiť niektoré systematické chyby správnym technologickým postupom pri meraní – aparátúra bola vždy pred meraním temperovaná. Na každom bode bol prijímač postavený na statív a dôsledne zcentrovaný a zhorizontovaný kvôli stabilite počas merania. Týmto spôsobom bol do veľkej miery eliminovaný vplyv nesprávnej centrácie a horizontácie a tak zabezpečená kvalita zbieraných štatistických dát.

Keďže cieľom práce je testovanie výšok meraných aparátúrou GNSS, bola výška postavenia meraná na každom stanovisku $3 \times$ (pred meraním, počas a na záver), špeciálnym 2 m pásmom, ktoré sa zasúvalo do trojnožky, čo vylúčilo omyly. Keďže pomôcka bola konštruovaná pre systémy od firmy Leica, k meranej hodnote zapisovanej do kontrolera bolo potrebné pripočítať konštantu 0,36 m podľa špecifikácie výrobcu.

4.5. Metodika merania

Postup merania na každom bode bol identický. Meranie na každom bode prebiehalo v dvoch etapách – dopoludnia a popoludní. Bola snaha, aby meranie prebiehalo v pracovnej dobe (t.j. od 7:30 do 11:30 a od 12:30 do 16:30). V každej z dvoch sérií sa striedali merania s využitím korekcií poskytovaných službou CZEPOS iMAX a Trimble Vrs Now nasledovne:

- Inicializácia, $3 \times$ meranie s využitím korekcií CZEPOS iMAX s dĺžkou 20 sekúnd
- Prepnutie na Trimble VRS Now, reinicializácia, $3 \times$ meranie s dĺžkou 20 sekúnd
- Prepnutie na CZEPOS iMAX, reinicializácia, $5 \times$ meranie s dĺžkou 5 sekúnd
- Prepnutie na Trimble VRS Now, reinicializácia, $5 \times$ meranie s dĺžkou 5 sekúnd

Pred každým meraním bola meraná dĺžka inicializácie pomocou stopiek. Na každom bode bola inicializácia meraná 8 krát (4 krát dopoludnia, 4 popoludní). Pri meraní sa vyskytovali problémy – strata korekcií, výpadok internetu, vysoký PDOP. Rýchlosť merania závisela na problémoch, ktoré sa pri meraní vyskytli. Často krát bolo nutné prestaviť statív tak, aby bola meračská aparátúra čo najvyššie a zvýšil sa tak počet viditeľných satelitov. Získané časy a sledované problémy slúžia k porovnaniu využitých poskytovateľov korekcií.

5. INICIALIZÁCIA A PROBLÉMY PRI MERANÍ

Pre testovanie doby potrebnej k inicializácii bolo na každej lokalite získaných 40 (v lokalite Mimo vedenia 80) časových údajov, z ktorých boli spočítané stredné hodnoty a stredné chyby. Výrobca udáva priemernú dĺžku inicializácie prijímača lepšiu ako 20 sekúnd (Technický popis Trimble R4, 2011). Reálna dĺžka inicializácie sa pohybovala v rozpätí niekoľkých sekúnd (10) až minút (5). Výrazne závisela na lokalite. Najdlhšie trvala v lokalite Les, väčšie problémy sa vyskytli aj v lokalite Zástavba, čo je viditeľné aj z dosiahnutej strednej chyby, ktorá bola spočítaná z odchýlok od priemeru.

Tabuľka 3: Dĺžka inicializácie a stredné chyby

Lokalita	Denná doba	VRS [sec]	CZ [sec]	VRS priemer [sec]	m _{VRS} [sec]	CZ priemer [sec]	m _{CZ} [sec]	Priemer lokalita [sec]	m _{PRIEMER} [sec]
ZÁSTAVBA	Dopo.	67	45	48	44	48	20	48	33
	Popo.	28	51						
POD VEDENÍM	Dopo.	16	32	17	6	38	13	27	10
	Popo.	18	43						
MIMO VEDENIA	Dopo.	15	33	18	7	34	11	26	9
	Popo.	22	35						
LES	Dopo.	37	92	35	26	84	66	59	49
	Popo.	33	75						
POLE	Dopo.	18	48	17	5	37	10	27	8
	Popo.	15	26						

Tabuľka 4: Minimálne a maximálne dĺžky inicializácie

Lokalita	MAX/MIN	CZEPOS [sec]	VRS [sec]
Zástavba	MAX	117	195
	MIN	25	15
Pod vedením	MAX	65	39
	MIN	22	10
Mimo vedenia	MAX	65	42
	MIN	21	9
Les	MAX	290	100
	MIN	27	15
Pole	MAX	68	35
	MIN	21	12

Vplyv vedenia vysokého napätia sa neprejavil, dĺžka inicializácie korešpondovala s dobou potrebnou k inicializácii v lokalite Pole. Na základe získaných dát môžem tvrdiť,

že priemerná dĺžka inicializácie zodpovedá časovému údaju uvedenému výrobcom iba pri meraní v optimálnych podmienkach. Ako je viditeľné z Tabuľky 3 a 4 (priaznivejší variant je zvýraznený) inicializácia bola spoľahlivejšia (menej výpadkov) a rýchlejšia s Trimble VRS Now.

Problémy pri meraní nie sú v praxi neobvyklé. Či už ide o problémy s internetom (jeho výpadky), alebo stratu príjmu signálu z družice z dôvodu dočasného zakrytia obzoru, alebo vysoký PDOP. Počas zberu dát bolo najčastejším chybovým hlásením nedostatočná presnosť a strata korekcií. Najviac problémov sa vyskytlo pri meraní v lese, kedy napríklad na bode 42 nebolo možné inicializovať prístroj pri prijme korekcií CZEPOS iMAX. Dáta boli získané nasledujúci deň. Ďalej získané súradnice na bode 43 pri meraní s využitím korekcií od CZEPOSU (doba merania 5 sekúnd) boli odchylené od ostatných meraní cca 1 m v polohe a 2,5 m vo výške, preto boli z výsledného spracovania vylúčené. Počas merania nebolo možné odhaliť chybovosť týchto dát – PDOP nebol neštandardne vysoký, korekcie boli prijímané z deviatich satelitov. Pomerne problematické bolo aj meranie v zástavbe, kedy na bode 13 bolo nutné počkať na zmenu konfigurácie satelitov.

Tabuľka 5: Prehľad zaznamenaných problémov pri meraní

Lokalita	Poskytovateľ	Počet neúspešných meraní	Denná doba	Počet neúspešných meraní
Zástavba	Trimble	3	Dopoludnia	3
	Czepos	5	Popoludní	5
Pod vedením	Trimble	1	Dopoludnia	2
	Czepos	1	Popoludní	0
Mimo vedenia	Trimble	2	Dopoludnia	2
	Czepos	2	Popoludní	2
Les	Trimble	4	Dopoludnia	4
	Czepos	8	Popoludní	8
Pole	Trimble	2	Dopoludnia	1
	Czepos	1	Popoludní	2

Čo sa týka problémov pri meraní, v ideálnych podmienkach sa obaja poskytovatelia korekcií ukázali ako rovnako spoľahliví. Vedenie vysokého napätia nemá vplyv na výpadky a chybovosť pri meraní. V nepriaznivých podmienkach sa ukázal Trimble ako spoľahlivejší. Testovacie meranie ukázalo, že pri meraní so zakrytým obzorom sa vyskytujú náhodne hrubé chyby – preto je vhodné za takýchto podmienok prístroj reinicializovať a vykonať kontrolné meranie.

6. SPRACOVANIE MERANÝCH DÁT

Výhodou metódy RTK je, že súradnice jednotlivých bodov boli získané bez dodatočných výpočtov priamo v teréne. Výpočet súradníc bol uskutočnený pomocou softwaru Trimble Access v zvolenom súradnicovom systéme (v našom prípade S-JTSK a Bpv). Súradnice X, Y, H boli následne vyexportované do protokolu GNSS (RTK) merania. Tieto testovacie súbory obsahujú dostatočné množstvo dát pre vyrovnanie a následnú analýzu presnosti. Keďže je práca zameraná na testovanie výšok, testovanie polohovej a výškovej zložky sa líši. Pri súradniciach Y, X testujeme len vnútornú presnosť v závislosti na rôznych vonkajších podmienkach. Pri výškovej zložke testujeme nielen vnútornú, ale aj vonkajšiu presnosť.

6.1. Testovanie vnútornej presnosti

Prvým krokom v analýze meraných dát bolo testovanie vnútornej presnosti meraní. Vnútornú presnosť môžeme definovať ako tesnosť zhody medzi meranými hodnotami získanými opakovaním merania za rovnakých podmienok. Testujeme teda konzistentnosť súboru, odchýlky dosiahnuteľné na lokalite a pod.

6.1.1 Vyrovnanie priamych meraní

Ide o najjednoduchší spôsob vyrovnania, pri ktorom je meranie jednej veličiny (v tomto prípade Y, X, H) niekoľko krát opakované a na jednej lokalite považované za meranie rovnakej presnosti.

Postup vyrovnania podľa (Böhm, 1990):

1. Výpočet strednej hodnoty meraní (aritmetický priemer)

$$\bar{l} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}, \text{ kde}$$

l_i = meraná veličina

\bar{l} = stredná hodnota

n = počet meraní.

2. Výpočet opráv

$$v_i = \bar{l} - l_i, \text{ kde}$$

v_i = oprava od strednej hodnoty

\bar{l} = stredná hodnota

l_i = meraná veličina.

3. Kontrola

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0$$

4. Výpočet výberovej strednej chyby merania

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n - 5}}$$

Tieto výpočty prebehli v prostredí programu Microsoft Excel samostatne pre súradnicu X, Y a výšku H. Merania boli vyhodnotené pre jednotlivé lokality. Najskôr bol spočítaný aritmetický priemer na každom bode v lokalite (zo 16 meraní dopoludnia a 16 popoludní). Od priemerov na bodoch jednotlivých lokalít bol určený súbor odchýlok. Celkom teda bolo vytvorených 5×3 testovaných súborov, ktoré obsahovali 160 odchýlok v_i (v prípade lokality mimo vedenia 320). Pri testovaní výškovej zložky z nich boli spočítané výberové stredné chyby $m_1 - m_5$, ktoré ďalej slúžia pre test odľahlých hodnôt.

Tabuľka 6: Vypočítané stredné chyby výšok pre test odľahlých hodnôt

Lokalita		Stredná chyba [m] m_i	Medzná odchýlka [m] $m_i \cdot t$
Zástavba	m_1	0.020	0.059
Pod vedením	m_2	0.009	0.027
Mimo vedenia	m_3	0.010	0.029
Les	m_4	0.029	0.088
Pole	m_5	0.011	0.032

6.1.2 Test odľahlých hodnôt

Pri výpočte charakteristík presnosti predpokladáme, že výberový súbor má normálne rozdelenie. Pokiaľ súbor obsahuje omyly a hrubé chyby, je nutné tieto dáta odfiltrovať. Prebehla iba filtrácia výškových dát, pretože pri súradnicových dátach je testovaná jedine vnútornú presnosť (snaha zachovať reálnosť dát). K tomuto účelu bol využitý test odľahlých hodnôt, ktorý prebehol v prostredí programu Microsoft Excel.

Pri zvolenom teste boli jednotlivé dosiahnuté opravy v na každej lokalite porovnané s medznou hodnotou. Tá bola vypočítaná ako trojnásobok výberovej strednej chyby – teda pravdepodobnosť, že skutočná hodnota sa nachádza v intervale $\pm m_i \cdot t$ je 99,7%,

kde m_i je výberová stredná chyba,
 t je súčiniteľ konfidencie, v tomto prípade je rovný 3.

Dôvody použitia takto širokého intervalu sú:

- v súbore sa predpokladá výskyt systematických chýb
- jednotlivé výškové odchýlky boli menšie, ako je očakávaná presnosť metódy
- bola snaha nevylúčiť zo súboru hodnoty, ktoré môžu patriť do výberového súboru s normálnym rozdelením (v rámci predpokladanej presnosti metódy).

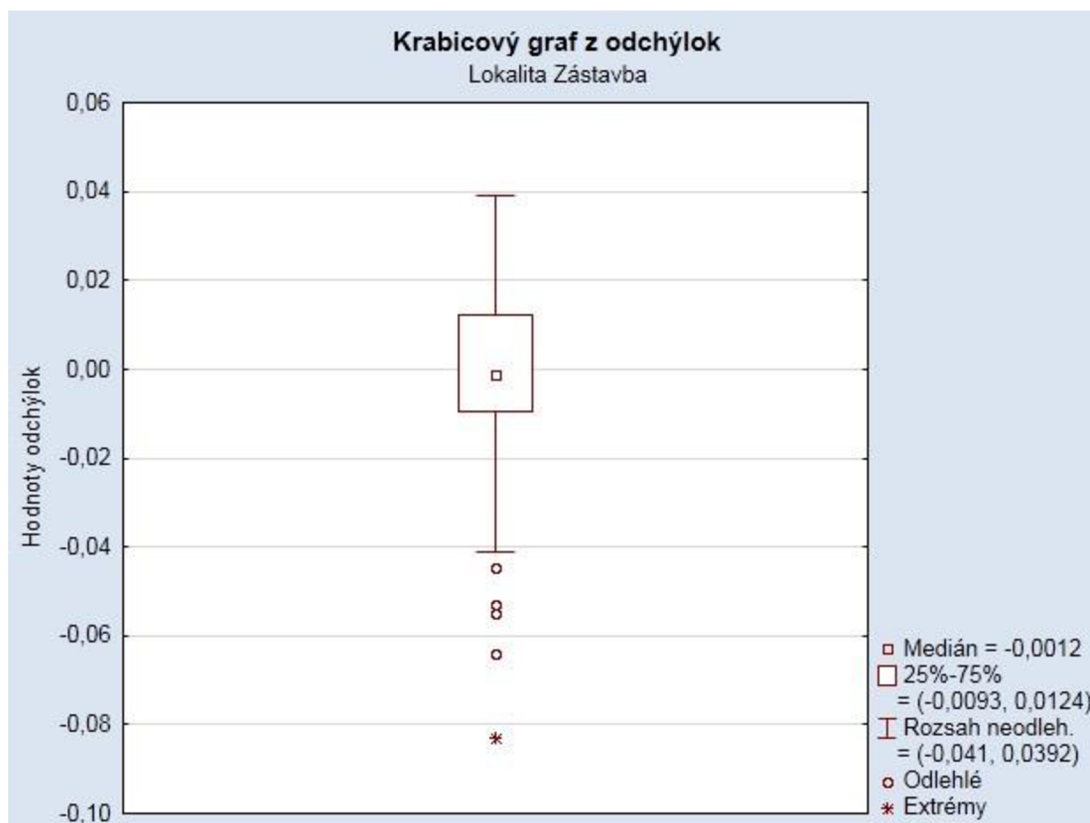
Opravy, ktoré prekročili toto kritérium, boli vylúčené. Celkovo boli vylúčené 2 merania z lokality Pole. V tabuľke č. 7 sú porovnané veľkosti výberových stredných chýb pred filtráciou a po nej. V lokalite Les bolo ešte pred samotnou filtráciou odľahlých hodnôt vylúčených 5 hodnôt (získaných s využitím služby CZEPOS a dĺžkou trvania 5 sekúnd), pretože merané hodnoty sa líšili od ostatných hodnôt v sérii o cca 2,5 m vo výške a 1 m v polohe (čo len potvrdzuje tvrdenie o výrazne horšej výškovej presnosti). Keďže žiadne ďalšie merania neboli vylúčené, stredná chyba pred testom odľahlých hodnôt aj po ňom je rovnaká.

Následne boli vyhotovené krabicové grafy v programe Statistica v. 12 (zahŕňajú aj hodnoty označené ako odľahlé), ktoré demonštrujú rozloženie odchýlok a odľahlé hodnoty (odľahlé podľa parametrov programu Statistica).

Tabuľka 7: Dosiahnuté stredné chyby pred filtráciou a po nej

Lokalita		Stredná chyba pred [m]	Stredná chyba po [m]	Rozdiel [m]
Zástavba	m_1	0,020	0,020	0,000
Pod vedením	m_2	0,009	0,009	0,000
Mimo vedenia	m_3	0,001	0,001	0,000
Les	m_4	0,029	0,029	0,000
Pole	m_5	0,011	0,010	0,001

Graf 1: Krabicový graf z odchýlok z lokality Zástavba



6.1.3 Test normality súboru

K ďalšej práci s meranými dátami je nutné otestovať súbor meraní – konkrétne či je predpoklad normálneho rozloženia dát skutočne splnený. Testovaný bol súbor výškových odchýlok, z ktorého boli vylúčené odľahlé hodnoty. Test prebehol zvlášť pre každú lokalitu v prostredí programu Statistica v. 12 a ide konkrétne o K – S test (Kolmogorov – Smirnov) a Lillieforsov test (založený na K – S teste, podrobnejší) na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ (Lilliefors Test for Normality, 2016).

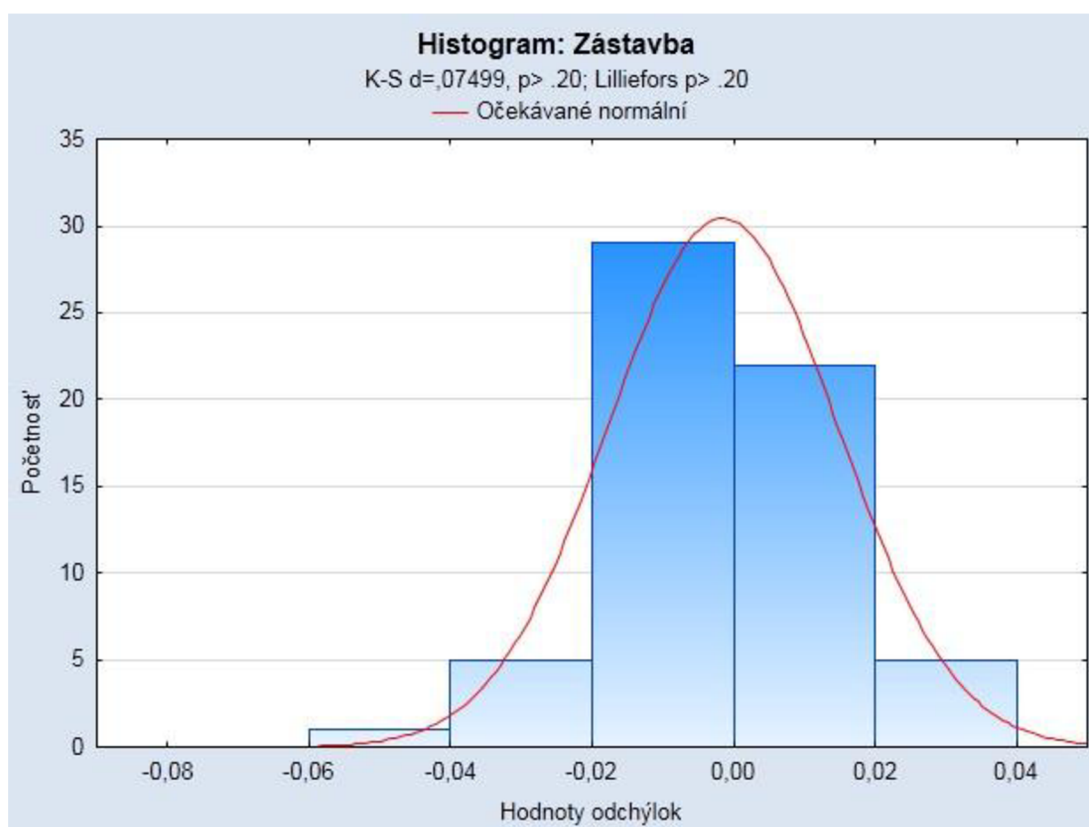
Kolmogorov – Smirnov test sa používa k porovnaniu dvoch vzoriek – v našom prípade je to vzorka s referenčným rozdelením pravdepodobnosti (normálne rozdelenie) a skúšobná vzorka. Štatistický test kvantifikuje vzdialenosť medzi empirickou a referenčnou distribučnou funkciou. Výstupom testu je d – štatistika a p – hodnota, ktorá odpovedá d – štatistike. D – štatistika predstavuje absolútnu maximálnu vzdialenosť distribučných funkcií – čím bližšie je toto číslo nule tým je vyššia pravdepodobnosť, že vzorky pochádzajú z rovnakého rozdelenia. P – hodnota slúži k testovaniu nulovej hypotézy (že dve vzorky majú rovnaké rozdelenie pravdepodobnosti) – zamietame ju pokiaľ je

p – hodnota menšia ako hladina významnosti $\alpha = 0,05$ (Interpreting results: Kolmogorov–Smirnov test, 2015).

Tabuľka 8: Vyhodnotenie výsledkov testu normality

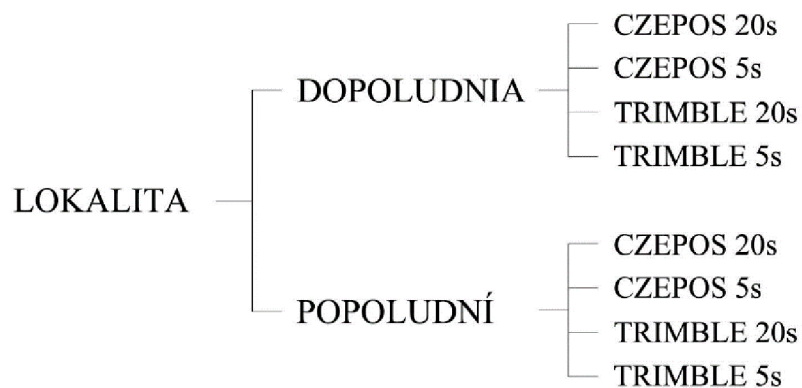
Lokalita	d (K–S)	p (K–S)	p (Lilliefors)	Normalita
Zástavba	0.07499	>0.2	>0.2	Áno
Pod vedením	0.09258	>0.2	>0.2	Áno
Mimo vedenia	0.05933	>0.2	>0.2	Áno
Les	0.06824	>0.2	>0.2	Áno
Pole	0.10426	>0.2	<0.1	Áno

Graf 2: Výstup testu normality – lokalita Zástavba



6.1.4 Výpočet charakteristík presnosti

Po vylúčení odľahlých hodnôt a overení skutočnosti, že dáta majú normálne rozdelenie bol súbor pripravený k ďalšej analýze. Keďže zbierané dáta boli kódované, na základe tohoto kódu je jednoduché roztriediť ich do celkom štyridsiatic kategórií. Každá lokalita je teda členená na osem kategórií (viď. Obrázok 19). Toto triedenie a aj výpočet charakteristík prebehol v programe Microsoft Excel.



Obrázok 19: Sledované kategórie

Po roztriedení dát boli pre každú kategóriu danej súradnice (X, Y, H) spočítané výberové stredné chyby (podľa vzorca z kapitoly 4.1., bod 4.). Ďalej boli vypočítané výberové stredné chyby jednotlivých sérií a celkové stredné chyby. Výsledky sú zostavené do prehľadných tabuliek (hodnoty zvýraznené červenou predstavujú maximálne a minimálne dosiahnuté stredné chyby). Následne boli zostrojené grafy vývoja výškových odchýlok počas merania a grafy znázorňujúce rozmiestnenie bodov v rovine okolo strednej hodnoty v jednotlivých lokalitách. Kompletné tabuľky a grafy sú súčasťou prílohy.

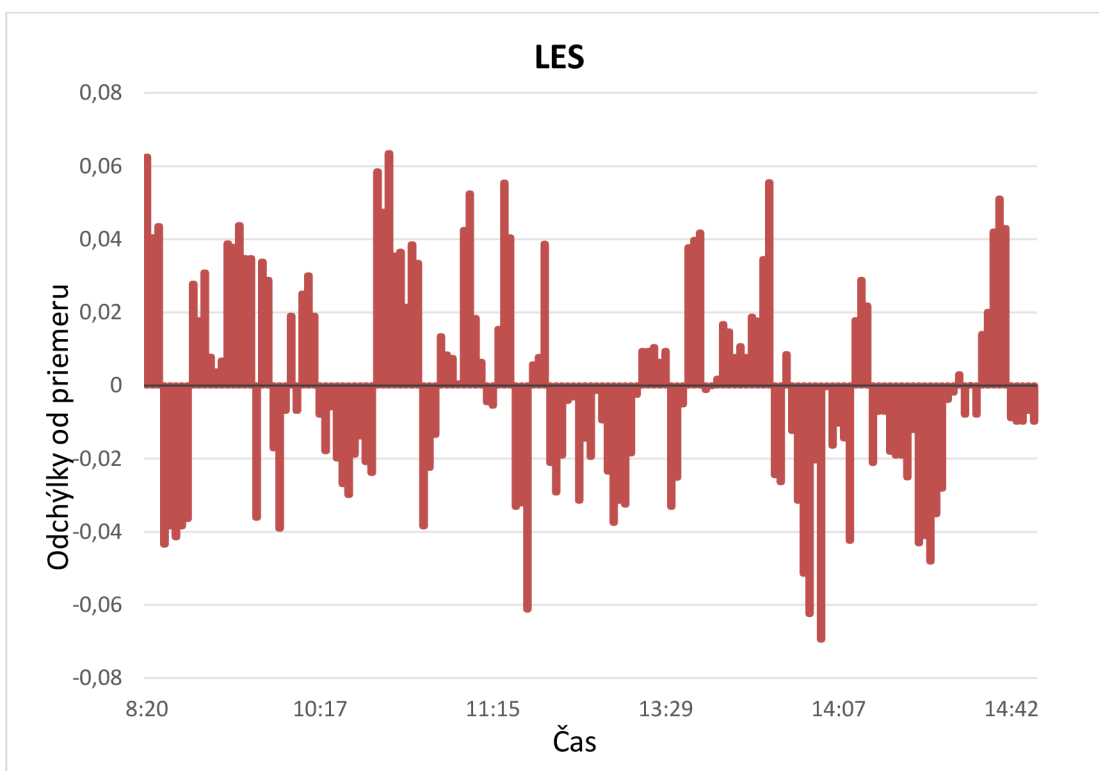
Tabuľka 9: Dosiiahnuté výberové stredné chyby výšok

Podmienky			m_H	$m_{H(D)}$ $m_{H(P)}$	$m_{H(MAX)}$	$m_{H(MIN)}$	m_H
Lokalita	Denná doba	Typ + čas					
Zástavba	Dopoludnia	c20	0.010	0.012	0.015	0.009	0.018
		c5	0.014				
		t20	0.009				
		t5	0.015				
	Popoludní	c20	0.025	0.014	0.025	0.011	
		c5	0.011				
		t20	0.013				
		t5	0.015				
Pod vedením	Dopoludnia	c20	0.008	0.006	0.008	0.006	0.009
		c5	0.007				
		t20	0.006				
		t5	0.007				
	Popoludní	c20	0.012	0.008	0.012	0.006	
		c5	0.007				
		t20	0.006				
		t5	0.010				
Mimo vedenia	Dopoludnia	c20	0.001	0.010	0.011	0.001	0.010
		c5	0.011				
		t20	0.011				
		t5	0.010				
	Popoludní	c20	0.009	0.008	0.011	0.005	
		c5	0.009				
		t20	0.011				
		t5	0.005				
Les	Dopoludnia	c20	0.034	0.029	0.039	0.026	0.029
		c5	0.039				
		t20	0.034				
		t5	0.026				
	Popoludní	c20	0.036	0.024	0.036	0.020	
		c5	0.020				
		t20	0.034				
		t5	0.021				
Pole	Dopoludnia	c20	0.015	0.012	0.015	0.011	0.010
		c5	0.015				
		t20	0.011				
		t5	0.014				
	Popoludní	c20	0.006	0.006	0.009	0.004	
		c5	0.007				
		t20	0.009				
		t5	0.004				

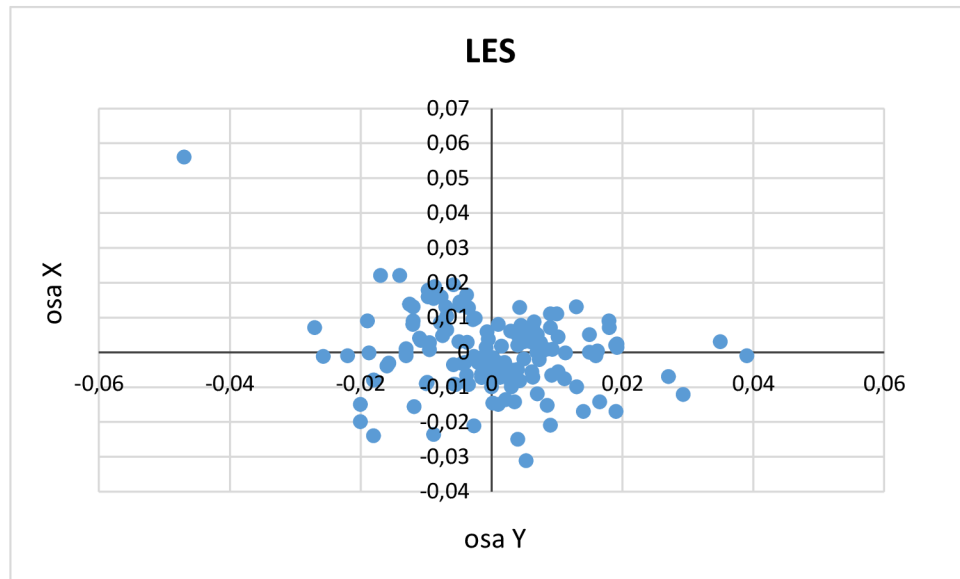
6.1.5 Grafická interpretácia výsledkov

Odchýlky meraní GNSS od priemernej hodnoty neboli využité len k výpočtu výberových stredných chýb. Slúžia aj ku grafickej demonštrácii dosahovaných výsledkov počas dňa – z nich boli vyhotovené grafy vývoja výškových odchýlok počas merania a vynesené polohové odchýlky od priemernej hodnoty. Z grafov je viditeľné, že výškové odchýlky na lokalitách majú náhodný charakter a sú rozmiestnené približne rovnomerne počas dňa, čo značí nezávislosť metódy RTK na dennej dobe. Grafické znázornenie polohových odchýlok ukazuje, že v lokalitách boli odchýlky rozmiestnené približne rovnomerne. Kompletné grafy sú súčasťou prílohy.

Graf 3: Časový vývoj výškových odchýlok – lokalita Les



Graf 4: Rozmiestnenie bodov v rovine okolo strednej hodnoty – lokalita Les



6.1.6 Test dvoch výberových súborov

Po určení stredných chýb prichádza na rad vyhodnotenie vplyvu a závislosti sledovaných javov. K posúdeniu veľkosti vplyvu bol využitý test dvoch výberových súborov. Ďalej boli vypočítané korelačné koeficienty, ktoré ukazujú mieru závislosti veľkosti výberovej strednej chyby na sledovaných parametroch.

Vykonané boli dve série meraní – dopoludnia a popoludní. Vzhľadom k tomu, že sledujeme vplyv dennej doby na GNSS meranie, boli dosiahnuté výberové stredné chyby testované medzi sebou. K interpretácii výsledkov bol použitý test dvoch výberových súborov. Cieľom je získať odpoveď na otázku, či dve výberové stredné chyby získané z dvoch rôznych súborov meraní patria do rovnakej populácie za predpokladu, že obe vzorky majú rovnaký počet stupňov voľnosti. Test bol vykonaný na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ pre všetky výberové stredné súradnicové chyby m_H , m_Y , m_X . Kompletne tabuľky sú súčasťou prílohy.

Testovaná je nulová hypotéza vzájomnej homogenity dvoch výberových súborov:

$$H_0: m_D = m_P, \text{ kde}$$

m_D = výberová stredná chyba spočítaná z dát získaných dopoludnia

m_P = výberová stredná chyba spočítaná z dát získaných popoludní.

Nulová hypotéza nie je zamietnutá, pokiaľ je splnená táto podmienka:

$$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_D^2}{m_P^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2), \text{ kde}$$

$F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$ = hodnota 2,5% horného kvantilu F – rozdelenia o v_1 a v_2 stupňoch voľnosti – tabuľkové hodnoty čerpané z (Hála 1999).

V opačnom prípade je nulová hypotéza zamietnutá (ČSN ISO 17123-3, 2005).

Tabuľka 10: Testovanie dvoch sérií meraní (výšková výberová stredná chyba)

Lokalita	Denná doba	Vnútoraná m_H [m]	$\frac{m_D^2}{m_P^2}$	$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_D^2}{m_P^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$	Výsledok
Zástavba	Dopoludnia	0.012	0.707	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Popoludní	0.014			
Pod vedením	Dopoludnia	0.006	0.664	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Popoludní	0.008			
Mimo vedení	Dopoludnia	0.010	1.673	$0.698 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.432$	Zamietam
	Popoludní	0.008			
Les	Dopoludnia	0.029	1.536	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Popoludní	0.024			
Pole	Dopoludnia	0.012	4.584	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Zamietam
	Popoludní	0.006			

Z výsledkov vyplýva, že väčšina výberových stredných chýb (pre všetky súradnice) dopoludnia a popoludní spadá do rovnakej populácie a teda môžeme povedať, že presnosť GNSS merania nie je závislá na dennej dobe.

Ďalším faktorom, ktorý bol vyhodnotený na základe testu dvoch výberových súborov, je vplyv jednotlivých lokalít na merania GNSS, predovšetkým vplyv vedenia vysokého napätia. Na prvý pohľad je zrejmé, že výberové stredné chyby z lokalít Pole, Mimo vedenia a Pod vedením sú si navzájom blízke. Hypotéza, či tieto stredné chyby spadajú do jednej populácie bola testovaná analogicky ako v prípade testovania dvoch sérií meraní.

$$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_P^2}{m_i^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2), \text{ kde}$$

m_P = celková výberová stredná chyba z lokality Pole

m_i = celková výberová stredná chyba z lokalít Pod vedením, Mimo vedenia.

Keďže test predpokladá rovnaký počet stupňov voľnosti oboch výberových súborov, pre lokalitu Mimo vedenia bol z 320 meraní uskutočnený náhodný výber 160 prvkov, z ktorých bola vypočítaná testovaná stredná chyba.

Tabuľka 11: Test dvoch súborov meraní pre m_H – lokality Pole, Pod vedením, Mimo vedenia

Lokalita	Vnútomá m_H [m]	$\frac{m_p^2}{m_i^2}$	$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_p^2}{m_i^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$	Výsledok
Pole	0.010			
Pod vedením	0.009	1.160	$0.602 \leq m_p^2/m_i^2 \leq 1.660$	Nezamietam
Mimo vedenie	0.010	1.064	$0.602 \leq m_p^2/m_i^2 \leq 1.660$	Nezamietam

Z výsledkov vyplýva, že vedenie vysokého napätia nemá vplyv na výslednú presnosť výšky. Pri teste výberových stredných súradnicových chýb m_x , m_y bola hypotéza zamietnutá v prípade lokality Mimo vedenia. To mohlo byť spôsobené tým, že v lokalite bol zákryt mierne vyšší ako v prípade lokalít Pod vedením a Pole. V prípade lokalít Les a Zástavba je očividný vplyv týchto lokalít na presnosť RTK meraní. Preto bola rovnakým spôsobom testovaná aj hypotéza pre lokality Les a Zástavba ktoré si boli opäť navzájom blízke.

Tabuľka 12: Test dvoch súborov meraní pre m_H – lokality Les, Zástavba

Lokalita	Vnútomá m_H [m]	$\frac{m_L^2}{m_Z^2}$	$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_L^2}{m_Z^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$	Výsledok
Les	0.029			
Zástavba	0.018	2.546	$0.602 \leq m_p^2/m_i^2 \leq 1.660$	Zamietam

Toto testovanie ukázalo, že presnosť merania GNSS technológiou je lepšia v uličnej zástavbe než v lokalite s lesným porastom a teda väčším zákrytom obzoru. Kompletne tabuľky sú súčasťou prílohy.

6.1.7 Korelačná analýza sledovaných javov

Dve hodnoty sú považované za závislé, pokiaľ majú medzi sebou väzbu. Intenzita tejto väzby je vyjadrená korelačným koeficientom. V prípade tejto práce je sledovaná závislosť veľkosti dosiahnutej výberovej strednej chyby na podmienkach, za akých boli merania uskutočnené. Toto vyhodnotenie prebehlo v programe Statistica v. 12 pomocou nástroja Základné štatistiky, kde bola zvolená funkcia kovariancie. Dáta boli vyhodnotené samostatne pre výškovú a polohovú zložku. Do programu boli načítané dosiahnuté stredné chyby a k nim prislúchajúce kategórie (viď. Obrázok 20). Vstupné hodnoty boli pre každú

lokalitu zoradené podľa strednej chyby od najmenej po najväčšiu. Stredné chyby boli definované ako referenčné a bola sledovaná ich premenlivosť v závislosti na sledovaných javoch. Test bol vykonaný na hladine významnosti $\alpha = 0,05$.

m_H [m]	Lokalita	Denná doba	Služby	Čas [s]
0.009	Zástavba	Dopoledne	VRS	20
0.010	Zástavba	Dopoledne	CZEPOS	20
0.011	Zástavba	Odpoledne	CZEPOS	5
0.013	Zástavba	Odpoledne	VRS	20
0.014	Zástavba	Dopoledne	CZEPOS	5
0.015	Zástavba	Dopoledne	VRS	5
0.015	Zástavba	Odpoledne	VRS	5
0.025	Zástavba	Odpoledne	CZEPOS	20
0.006	Pod vedením	Odpoledne	VRS	20
0.006	Pod vedením	Dopoledne	VRS	20
0.007	Pod vedením	Odpoledne	CZEPOS	5
0.007	Pod vedením	Dopoledne	VRS	5
0.007	Pod vedením	Dopoledne	CZEPOS	5
0.008	Pod vedením	Dopoledne	CZEPOS	20

Obrázok 20: Vstupné dáta do programu Statistica

Test potvrdil závislosť dosiahnutej strednej chyby na lokalite (viď. Tabuľka 13, 14). Táto hodnota znamená podľa (ZX510 Pokročilé statistické metódy geografického výskumu, 2013) podstatnú až veľmi silnú závislosť. V prípade polohovej zložky premenné dĺžka merania, poskytovateľ korekcií aj denná doba vykazujú nízku až strednú závislosť. Pre výškovú aj polohovú strednú chybu vychádza korelačný koeficient v kategórii denná doba záporný. Podľa (Bedáňová, 2012) zápornosť tohto čísla značí, že s rastúcimi hodnotami jednej veličiny klesajú hodnoty druhej. Keďže vstupné nastavenia boli:

Dopoludnia = 1

Popoludní = 2,

môžeme povedať, že stredné chyby popoludní sú mierne lepšie ako dopoludnia.

Získané korelačné koeficienty predstavujú iba odhad (na základe výberového súboru) skutočného korelačného koeficientu ρ . Pokiaľ chceme presne vedieť, či korelačný vzťah v testovacom súbore skutočne existuje, je nutné výberový korelačný koeficient r testovať. Za predpokladu, že náhodný výber, z ktorého je koeficient počítaný má dvojnornálne rozdelenie môžeme významnosť korelačného koeficientu testovať pomocou t – testu, kde vypočítanú hodnotu porovnáme s tabuľkovou (čerpané z Hála, 1999). Tabuľková hodnota predstavuje kvantily Študentovho rozdelenia $t_{1-\alpha/2}(n)$.

Testujeme nulovú hypotézu o nezávislosti sledovaných veličín:

$$H_0: \rho = 0.$$

Testovaciu štatistiku pre t – test vypočítame podľa vzťahu:

$$t = \frac{r}{s_r}, \text{ kde}$$

r = výberový korelačný koeficient

s_r = stredná chyba korelačného koeficientu, vypočítaná podľa vzťahu:

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}, \text{ kde}$$

n = celkový počet sledovaných veličín.

Pokiaľ je $t > t_{1-\alpha/2}(n)$, kde v znamená počet stupňov voľnosti, tak zamietame hypotézu nezávislosti sledovaných veličín (korelačný koeficient r je významný na hladine α).

Pokiaľ je $t < t_{1-\alpha/2}(n)$, tak nemôžeme zamietnuť hypotézu nezávislosti sledovaných veličín (korelačný koeficient r je nevýznamný na hladine α) (Bedáňová, 2012).

Tabuľka 13: Dosaiahnuté hodnoty korelačného koeficientu – H

Premenná	r	s_r	t	$t_{1-\alpha/2}$	Rozdiel	Výsledok
Lokalita	0.698	0.116	6.001	1.690	4.311	zamietam H_0
Denná doba	-0.076	0.162	-0.472		-1.218	r nevýznamný na hladine α
Služby	0.060	0.162	0.370		-1.320	
Čas	0.094	0.161	0.584		-1.106	

Tabuľka 14: Dosaiahnuté hodnoty korelačného koeficientu – X, Y

Premenná	r	s_r	t	$t_{1-\alpha/2}$	Rozdiel	Výsledok
Lokalita	0.717	0.079	9.082	1.667	7.415	zamietam H_0
Denná doba	-0.169	0.112	-1.515		-0.152	r nevýznamný na hladine α
Služby	0.174	0.111	1.561		-0.106	
Čas	0.207	0.111	1.872		0.205	zamietam H_0

Ako štatisticky významná sa prejavila len závislosť na lokalite merania, v prípade súradníc X, Y aj dĺžka merania. Fakt, že sa nepotvrdila výraznejšie závislosť na ostatných sledovaných faktoroch môže byť spôsobený tým, že pri testovaní vnútornej presnosti boli dosiahnuté stredné chyby relatívne malé (pohybovali sa maximálne do 3,5 cm) a jednotlivé sledované odchýlky boli podobné (rozdiely v mm až cm).

6.2. Testovanie vonkajšej presnosti meraní

Testovaním dosiahnutých diferencií meraní na jednotlivých bodoch bola otestovaná vnútorná presnosť prístroja. V praxi nás však zaujíma presnosť zvolenej metódy v porovnaní s nezávislými terestrickými metódami. Inými slovami: ak použijem GNSS prijímač, bude moje meranie rovnako presné, ako keď použijem nivelačný prístroj? Pri testovaní vonkajšej presnosti boli porovnávané výšky jednotlivých bodov získaných GNSS meraním s výškou získanou z technickej nivelácie. Keďže predchádzajúce testovanie ukázalo, že súbor má normálne rozdelenie, súbor je považovaný za vhodný k ďalšiemu spracovaniu. V tomto kroku už neboli vylučované odľahlé hodnoty z dôvodu zachovania reálnosti výsledkov.

6.2.1 Technická nivelácia

Získanie výšok nezávislou metódou bolo základom testovania vnútornej presnosti použitej aparatury GNSS. Ako nezávislá metóda bola zvolená technická nivelácia s využitím digitálneho nivelačného prístroja Leica Sprinter 150 M.

Keďže v lokalite testovacích meraní sa nenachádzajú žiadne zachované nivelačné body (body JM-071-525 a JM-071-526 neboli nájdené, bod JM-071-546 bol neprístupný), základnými výškovými bodmi, z ktorých boli určené výšky jednotlivých testovacích bodov sú Fix 1 a bod JM-071-523. Ako Fix 1 bol označený pridružený bod 000944210203, ktorého výška bola určená 2x z bodu JM-071-523. Tento bod je stabilizovaný v zemi žulovým kameňom. Najskôr bol bod JM-071-523 overený niveláciou z bodu JM-071-50, pričom diferenciacia nivelovanej výšky a výšky uvedenej v geodetických údajoch bola 6 mm, čím splňuje medznú hodnotu určenú podľa vzorca

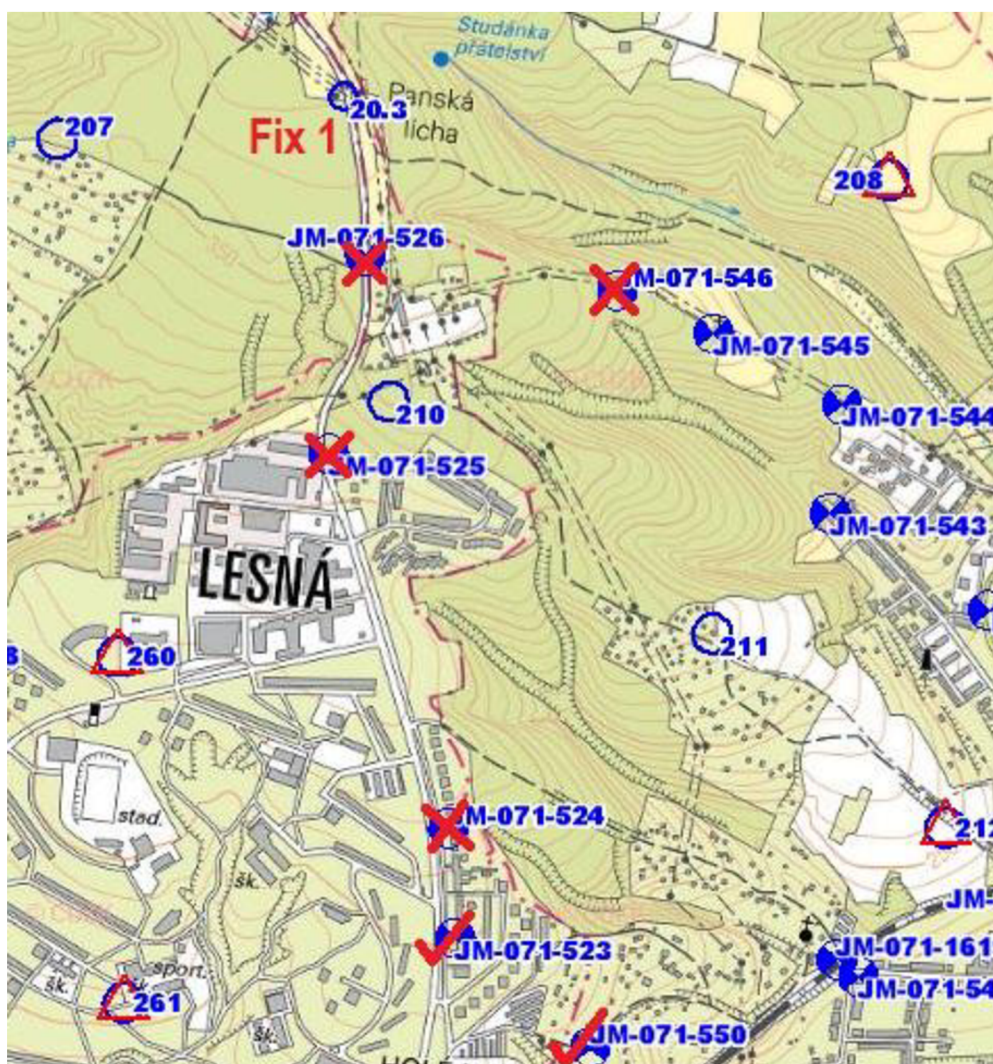
$$\delta_{\Delta h} = 20 \cdot \sqrt{R} = 20 \cdot \sqrt{0,5} = 14 \text{ mm}, \text{ kde}$$

R = dĺžka nivelačného ťahu v km (Čada).

Bod JM-071-523 je preto považovaný za overený.

Tabuľka 15: Nadmorská výška bodu Fix1 v systéme Bpv

Bod	H _{Bpv} [m]
Fix1	365.960



Obrázok 21: Prehľad nivelačných bodov v lokalite (Geoprohlížec)

Nivelačný ťah viedol z bodu JM-071-523 (začínal a končil na rovnakom bode) cez body 11 – 15 tam a späť, pričom diferenciu uzavretého nivelačného ťahu bola 1 mm. Ďalší ťah viedol z bodu Fix 1 cez body 31, 33 – 35, 51 – 55 a dosiahnutá diferenciu po návrate na bod Fix 1 bola 1 mm. A napokon posledný nivelačný ťah bol vedený z bodu Fix 1 cez body 21 – 30, 32, 41 – 45 tam a späť s diferenciou 1 mm. Dosiahnuté diferencie boli testované porovnaním dosiahnutej odchýlky s medznou hodnotou spočítanou podľa vzorca:

$$\delta_{\Delta h} = 0,707 \cdot 40 \cdot \sqrt{R} \text{ [mm]}, \text{ kde}$$

R = dĺžka nivelačného ťahu v km (Čada).

Napokon boli dva krát určené výšky priemerované a pripravené k ďalšiemu spracovaniu.

Tabuľka 16: Nivelované výšky bodov

BOD	TN _{SPÄŤ} [m]	TN _{TAM} [m]	TAM – SPÄŤ [m]	PRIEMER TN [m]	GNSS [m]	ROZDIEL [m]
11	293.443	293.442	-0.001	293.443	293.459	0.017
12	291.577	291.578	0.001	291.578	291.543	-0.034
13	298.591	298.594	0.003	298.593	298.595	0.003
14	298.548	298.547	-0.001	298.548	298.523	-0.024
15	303.698	303.698	0.000	303.698	303.709	0.011
21	345.924	345.925	0.001	345.925	345.927	0.002
22	345.334	345.336	0.002	345.335	345.341	0.006
23	349.679	349.679	0.000	349.679	349.691	0.012
24	351.652	351.653	0.001	351.653	351.648	-0.005
25	351.567	351.566	-0.001	351.567	351.559	-0.007
26	353.243	353.245	0.002	353.244	353.241	-0.003
27	355.665	355.664	-0.001	355.665	355.661	-0.003
28	354.755	354.754	-0.001	354.755	354.755	0.000
29	356.468	356.468	0.000	356.468	356.477	0.009
30	363.033	363.033	0.000	363.033	363.035	0.002
31	365.482	365.480	-0.002	365.481	365.485	0.004
32	362.577	362.576	-0.001	362.577	362.585	0.008
33	366.848	366.851	0.003	366.850	366.847	-0.003
34	366.285	366.289	0.004	366.287	366.282	-0.005
35	366.605	366.606	0.001	366.606	366.601	-0.005
41	355.704	355.704	0.000	355.704	355.725	0.021
42	355.318	355.319	0.001	355.319	355.358	0.040
43	353.750	353.749	-0.001	353.750	353.781	0.031
44	353.414	353.414	0.000	353.414	353.444	0.030
45	357.685	357.686	0.001	357.686	357.697	0.012
51	369.284	369.286	0.002	369.284	369.278	-0.006
52	370.568	370.568	0.000	370.568	370.562	-0.006
53	371.928	371.928	0.000	371.928	371.923	-0.005
54	371.277	371.279	0.002	371.278	371.274	-0.004
55	378.445	378.445	0.000	378.445	378.439	-0.006

6.2.2 Výpočet charakteristík presnosti

Súbor odchýlok bol získaný odčítaním výšky získanej niveláciou od jednotlivých meraní GNSS. Z týchto odchýlok, analogicky, ako v prípade testovania vnútornej presnosti, boli spočítané výberové stredné chyby pre všetkých 40 kategórií. V tabuľke č. 17 sú zobrazené všetky počítané výberové stredné chyby vrátane extrémnych hodnôt (maximum a minimum farebne zvýraznené červenou). Dosiahnuté výsledky sú v optimálnych podmienkach lepšie, než je očakávaná presnosť metódy.

Tabuľka 17: Dosiahnuté výškové stredné chyby

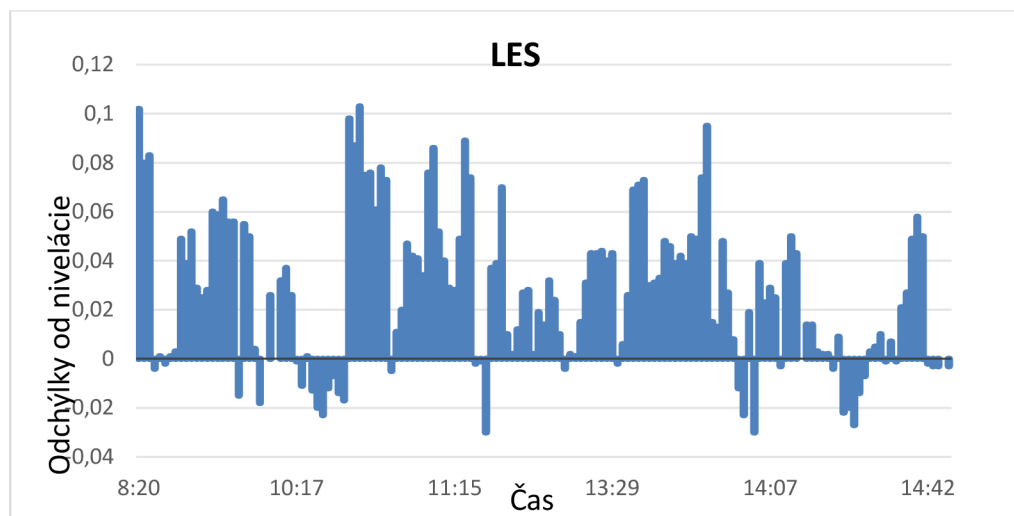
Podmienky			m _H	m _{H(D)} m _{H(P)}	m _{H(MAX)}	m _{H(MIN)}	m _H
Lokalita	Denná doba	Typ + čas					
Zástavba	Dopoludnia	c20	0.028	0.030	0.033	0.028	0.028
		c5	0.033				
		t20	0.031				
		t5	0.030				
	Popoludní	c20	0.040	0.027	0.040	0.021	
		c5	0.022				
		t20	0.030				
		t5	0.021				
Pod vedením	Dopoludnia	c20	0.009	0.011	0.015	0.008	0.010
		c5	0.015				
		t20	0.008				
		t5	0.010				
	Popoludní	c20	0.010	0.008	0.010	0.007	
		c5	0.008				
		t20	0.007				
		t5	0.009				
Mimo vedenia	Dopoludnia	c20	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012
		c5	0.012				
		t20	0.011				
		t5	0.013				
	Popoludní	c20	0.009	0.012	0.015	0.009	
		c5	0.013				
		t20	0.015				
		t5	0.009				
Les	Dopoludnia	c20	0.049	0.048	0.058	0.044	0.031
		c5	0.044				
		t20	0.058				
		t5	0.047				
	Popoludní	c20	0.025	0.033	0.048	0.025	
		c5	0.032				
		t20	0.048				
		t5	0.030				
Pole	Dopoludnia	c20	0.020	0.015	0.020	0.005	0.011
		c5	0.019				
		t20	0.005				
		t5	0.011				
	Popoludní	c20	0.005	0.006	0.008	0.004	
		c5	0.008				
		t20	0.007				
		t5	0.004				

6.2.3 Grafická interpretácia výsledkov

Odchýlky meraní GNSS od nivelovanej hodnoty boli využité aj ku grafickej demonštrácii dosahovaných výsledkov počas dňa – z nich boli vyhotovené grafy vývoja výškových

odchýlok počas merania. Z grafov je viditeľné, že odchýlky na lokalitách Pole, Pod vedením a Mimo vedenia majú náhodný charakter. V lokalitách Les a Zástavba je v dátach viditeľná systematickosť – zreteľnejšie sa prejavila v lokalite Les, kde sú odchýlky výrazne jednostranné. Tento jav bol pravdepodobne spôsobený multipath efektom. Ďalej grafy vyjadrujú nezávislosť metódy RTK na dennej dobe, keďže odchýlky na jednotlivých lokalitách sú počas dňa rozmiestnené približne rovnomerne. Kompletne grafy sú súčasťou prílohy.

Graf 5: Vývoj výškových odchýlok počas dňa – lokalita Les



6.2.4 Test dvoch výberových súborov

Na prvý pohľad je zrejmé, že výberové stredné chyby z lokalít Pole, Pod vedením a Mimo vedenia sú si navzájom blízke. Analogicky, ako v prípade testu vnútornej presnosti (kapitola 6.1.6), aj tu testujeme dosiahnuté stredné chyby na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ pomocou testu dvoch výberových súborov. Rovnako bola testovaná aj hypotéza pre lokality Les a Zástavba ktoré si boli opäť navzájom blízke.

Tabuľka 18: Test dvoch súborov meraní pre m_H (lokality Pole, Pod vedením, Mimo vedenia)

Lokalita	Vonkajšia m_H [m]	$\frac{m_p^2}{m_i^2}$	$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_p^2}{m_i^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$	Výsledok
Pole	0.011			
Pod vedením	0.010	1.357	$0.602 \leq m_p^2/m_i^2 \leq 1.660$	Nezamietam
Mimo vedenie	0.012	0.917	$0.602 \leq m_p^2/m_i^2 \leq 1.660$	Nezamietam

Tabuľka 19: Test dvoch súborov meraní pre m_H (lokality Les, Zástavba)

Lokalita	Vonkajšia m_H [m]	$\frac{m_L^2}{m_Z^2}$	$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_L^2}{m_Z^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$	Výsledok
Les	0.041			
Zástavba	0.029	2.028	$0.602 \leq m_p^2/m_i^2 \leq 1.660$	Zamietam

Z výsledkov je zrejmé, že vedenie vysokého napätia sa neprejaví na výslednej presnosti výšky ani v prípade porovnania s terestrickými metódami. V prípade lokalít Les a Zástavba je zrejmé, že tieto lokality majú vplyv na výslednú presnosť výškovej zložky. Meranie v uličnej zástavbe vykazuje opäť lepšie výsledky ako RTK meranie v lokalite s lesným porastom.

6.2.5 Korelačná analýza sledovaných javov

Pomocou korelačnej analýzy bola vyhodnotená závislosť dosahovanej presnosti na podmienkach pri meraní. Vstupnými dátami boli výberové stredné chyby. Rovnako ako pri vyhodnocovaní vnútornej presnosti, aj tu boli vypočítané a testované korelačné koeficienty.

Dosiahnuté korelačné koeficienty r obsahuje Tabuľka č. 20. Ako štatisticky významná sa prejavila výlučne závislosť na lokalite meraní, kde bol dosiahnutý korelačný koeficient 0,818, čo podľa (ZX510 Pokročilé štatistické metódy geografického výskumu, 2013) značí veľmi silnú závislosť. Nízku až strednú hladinu korelácie vykazuje denná doba a dĺžka merania. V prípade dennej doby sa ukázala presnosť meraní popoludní ako mierne lepšia. Pre dĺžku merania platí, že čím viac epoch je meraných, tým je meranie presnejšie. Na základe testovania korelačného koeficientu sú však tieto premenné štatisticky nevýznamné.

Tabuľka 20: Test korelačných koeficientov – vonkajšia výšková presnosť

Premenná	r	s_r	t	$t_{1-\alpha/2}$	Rozdiel	Výsledok
Lokalita	0.818	0.093	8.759	1.690	7.092	zamietam H_0
Denná doba	-0.187	0.159	-1.175		-0.492	r nevýznamný na hladine α
Služby	0.014	0.162	0.087		-1.580	
Čas	0.116	0.161	0.721		-0.946	

7. POROVNANIE APARATÚR OD VÝROBCOV TRIMBLE A LEICA

Pri výbere prístroja je výhodné mať možnosť porovnať parametre viacerých prijímačov. Preto sa posledná časť práce zaoberá porovnaním testovanej aparatury Trimble R4 s aparaturou Leica GPS System 1200, ktorá bola testovaná analogicky. Pre prijímač Leica udáva výrobca presnosť horizontálnej zložky 10 mm + 1 ppm a vertikálnej zložky 20 mm + 1 ppm. Dĺžka inicializácie udávaná výrobcom je 8 sekúnd. Porovnanie aparatur sa uskutočnilo porovnaním dosiahnutých výberových stredných chýb definujúcich vonkajšiu a vnútornú presnosť a zároveň priemernej dĺžky inicializácie. K porovnaniu dosiahnutých výsledkov bol opäť využitý test dvoch výberových súborov (Leica GPS1200+ Series).



Obrázok 22: Prijímač Leica GPS System 1200 (Leica GPS 1200)

Tabuľka 21: Porovnanie aparatur Trimble a Leica – VNÚTORNÁ presnosť

Lokalita	Výrobca	Vnútorná m_H [m]	$\frac{m_D^2}{m_P^2}$	$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_D^2}{m_P^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$	Výsledok
Zástavba	Trimble	0.018	0.563	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Zamietam
	Leica	0.024			
Pod vedením	Trimble	0.009	1.000	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Leica	0.009			
Mimo vedení	Trimble	0.010	0.653	$0.698 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.432$	Zamietam
	Leica	0.012			
Les	Trimble	0.029	0.728	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Leica	0.034			
Pole	Trimble	0.010	1.563	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Leica	0.008			

Tabuľka 22: Porovnanie aparatúr Trimble a Leica – VONKAJŠIA presnosť

Lokalita	Výrobca	Vnútoraná m_H [m]	$\frac{m_D^2}{m_P^2}$	$\frac{1}{F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)} \leq \frac{m_D^2}{m_P^2} \leq F_{(1-\alpha/2)}(v_1, v_2)$	Výsledok
Zástavba	Trimble	0.029	0.772	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Leica	0.033			
Pod vedením	Trimble	0.010	0.510	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Zamietam
	Leica	0.014			
Mimo vedení	Trimble	0.012	0.498	$0.698 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.432$	Zamietam
	Leica	0.017			
Les	Trimble	0.041	0.646	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Leica	0.051			
Pole	Trimble	0.011	1.210	$0.602 \leq m_D^2/m_P^2 \leq 1.660$	Nezamietam
	Leica	0.010			

Z testovania vyplýva, že vonkajšia aj vnútorná presnosť aparatúr v lokalite bez vplyvu okolitých prekážok je porovnateľná. Výsledky na ostatných lokalitách sú nekonzistentné. Z výberových stredných chýb však vyplýva, že na týchto lokalitách dosahoval vyššiu presnosť prijímač Trimble R4, keďže ich hodnoty sú na týchto lokalitách menšie.

Tabuľka 23: Porovnanie priemernej dĺžky inicializácie – Trimble vs. Leica

Lokalita	Priemer Trimble [sec]	Priemer Leica [sec]	Rozdiel [sec]
Zástavba	48	24	-24
Pod vedením	27	17	-10
Mimo vedení	26	19	-7
Les	59	57	-2
Pole	27	16	-11

Prijímač Trimble z porovnania doby potrebnej na inicializáciu vyšiel horšie – inicializácia bola rýchlejšia s prijímačom Leica priemerne o 11 sekúnd. Najväčší rozdiel vykázala lokalita Zástavba – 24 sekúnd. Dôvodom rozdielu môže byť skutočnosť, že prijímač Trimble mal pri použití služby CZEPOS výrazne dlhšiu inicializáciu, ktorá zhoršuje celkový priemer.

8. ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bolo navrhnuť a uskutočniť testovacie meranie, pomocou ktorého je možné vyhodnotiť reálnu presnosť súradníc (so zameraním na výškovú zložku) určených metódou GNSS RTK. Pri testovacom meraní bola využitá aparátúra Trimble R4. Práca zároveň porovnáva dosiahnuté výsledky s výsledkami prijímača Leica GPS System 1200. Popisuje jednotlivé fázy testovania, ktoré sú zoradené do časovej postupnosti.

Za účelom testovania bola vybudovaná sieť testovacích bodov tak, aby bolo možné vyhodnotiť pôsobenie vplyvov okolitých prekážok (meranie v uličnej zástavbe, na okraji lesa, v blízkosti nadzemného elektrického vedenia). Práce začali výberom a rekognoskáciou optimálnych lokalít pre testovacie merania. Následne bola vykonaná stabilizácia 30 testovacích bodov na piatich lokalitách (Zástavba, Pod vedením, Mimo vedenia, Les a Pole), ktoré sa nachádzajú v severnej časti Brna. Na každej lokalite bolo stabilizovaných päť bodov (v lokalite Mimo vedenia 10) tak, aby bolo vždy možné sledovať vplyv jedného typu prekážky.

Po vybudovaní siete nasledovala fáza testovacích meraní. Pri meraní sa striedavo využívali korekcie CZEPOS iMAX a Trimble VRS Now s rôznou dĺžkou observácie (5 a 20 sekúnd). Dôraz bol kladený na stabilitu počas merania, preto bola aparátúra postavená na statív, čo zabezpečilo do veľkej miery vylúčenie chýb z centrácie a horizontácie. Z dôvodu prehľadnosti boli merania kódované, čo bolo využité neskôr pri štatistickom spracovaní. Získané boli dve série meraní (dopoludnia a popoludní), vďaka ktorým bol sledovaný vplyv dennej doby na meranie technológiou GNSS. Na každom bode bolo získaných 32 meraní. Celkovo bol zozbieraný štatistický súbor obsahujúci 960 meraní.

Počas meraní bola zaznamenávaná dĺžka inicializácie a problémy, ktoré sa vyskytli pri meraní. Priemerná dĺžka inicializácie v optimálnych podmienkach pri využívaní korekcií Trimble VRS Now zodpovedala hodnote uvádzanej výrobcom (neplatilo s využitím CZEPOS). Maximum bolo dosiahnuté v lokalite Les (290 sekúnd). Inicializácia s využitím Trimble VRS Now sa ukázala ako rýchlejšia a istejšia. Čo sa týka problémov pri meraní, v ideálnych podmienkach sa obaja poskytovatelia korekcií ukázali ako rovnako spoľahliví. V nepriaznivých podmienkach sa ukázalo využitie Trimble VRS Now ako spoľahlivejšie.

Z meraných dát v systéme S-JTSK a výškovom systéme Bpv bola vyhodnotená vnútorná presnosť prístroja. Výberová stredná chyba prijímača v optimálnych podmienkach je 10 mm vo výške a 5 mm v polohe. Testovaním bol vylúčený vplyv nadzemného elektrického vedenia na merania GNSS. Ďalej potvrdilo závislosť presnosti meraní na lokalite a v prípade testovania horizontálnej zložky bola štatisticky významná aj závislosť na dĺžke observácie. Ukázalo sa, že RTK merania sú po inicializácii stabilné a preto odporúčam prístroj pri meraní v blízkosti prekážok reinitializovať a opakovať meranie.

Keďže v praxi nás zaujíma predovšetkým presnosť metódy RTK v porovnaní terestrickými metódami, bola testovaná aj vonkajšia presnosť výškovej zložky. K testovaniu boli výšky bodov určené metódou technickej nivelácie, ktoré boli porovnané s GNSS meraniami. Z testovania vyplýva, že vonkajšia presnosť určenia výšok v optimálnych podmienkach je 11 mm (lepšia, ako očakávaná) a v lokalitách so zakrytým obzorom 41 mm.

Pri porovnaní prístrojov od výrobcov Trimble a Leica boli porovnávané dosiahnuté celkové stredné výberové chyby a doba potrebná k inicializácii. Dĺžka inicializácie bola kratšia s prijímačom Leica (najväčší rozdiel v lokalite Zástavba). Testovanie ukázalo, že vonkajšia aj vnútorná presnosť aparátúr v lokalite bez vplyvu okolitých prekážok je porovnateľná. Výsledky na ostatných lokalitách sú nekonzistentné – hodnoty výberových stredných chýb sú však v prospech aparatúry Trimble R4.

Výsledky práce sú využiteľné v praxi pri posudzovaní vhodnosti využitia metódy GNSS RTK pri špecifických podmienkach a zároveň práca poukazuje na riziká s tým spojené.

9. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- BEDÁŇOVÁ, Iveta. 2012. Přednášky – Biostatistika: Lineární korelační závislost. In: *Veterinární a farmaceutická univerzita Brno* [online]. Brno [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn5/linearni.htm>
- BeiDou Navigation Satellite System — System Introduction. *BeiDou Navigation Satellite System* [online]. [cit. 2016–05–05]. Dostupné z: <http://en.beidou.gov.cn/introduction.html>
- BITTERER, Ladislav. 2003. *Geodézia: Interný učebný text katedry geodézie* [online]. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: <http://svf.uniza.sk/kgd/index.php?me=401&lc=sk&lm=s>
- BÖHM, Josef, Miroslav HAMPACHER a Vladimír RADOUCH. 1990. *Teorie chyb a vyrovnávací počet: Vysokoškolská učebnice pro studenty stavebních fakult. 2., upravené vyd.* Praha: Geodetický a kartografický podnik. ISBN 80–701–1056–2.
- CZEPOS: Popis sítě. ČÚZK: *Czepos* [online]. [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: http://czepos.cuzk.cz/_servicesProducts.aspx
- ČADA, Václav. *Přednáškové texty z geodézie: Geometrická nivelace* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch11s05.html>
- ČSN ISO 17123–3, *Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů: Část 3: Teodolity*. 2005. Český normalizační institut.
- ESA. 2015. What is Galileo? In: *European space agency* [online]. ESA [cit. 2016–05–04]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo
- Geoprohlížeč: Bodová pole. ČÚZK [online]. ČÚZK [cit. 2016–05–18]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?serverconf=bodpole>
- HÁLA, Martin a Daniela JARUŠKOVÁ. 1999. *Pravděpodobnost a matematická statistika 11: Tabulky*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80–010–2007–X.
- Interpreting results: Kolmogorov–Smirnov test. 2015. *GraphPad* [online]. GraphPad Software [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: http://www.graphpad.com/guides/prism/6/statistics/index.htm?interpreting_results_kolmogorov-smirnov_test.htm
- KOUTKOVÁ, Helena. 2007. *Pravděpodobnost a matematická statistika: Základy testování hypotéz*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978–80–7204–528–0.
- KRATOCHVÍL, Vlastimil a Jan FIXEL. 2001. *Globální systém určování polohy GPS: Využití v geodézii*. Brno: Vojenská akademie v Brně.
- LÁSKA, Z., M. TEŠNAR, J. SLABÝ a J. SUKUP. 2010. *Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi: Učební texty k semináři* [online]. Brno: VUT v Brně [cit. 2016–05–17]. ISBN CZ.1.07/2.3.00/09.0031. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1009.pdf

Leica GPS 1200. *EDI surveys: Equipment* [online]. [cit. 2016–05–18]. Dostupné z: <http://www.edisurveys.co.uk/images/equip-GPS1200-1.jpg>

Leica GPS1200+ Series: High performance GNSS system [online]. Heerbrugg: Leica Geosystems AG [cit. 2016–05–18]. Dostupné z: http://www.ltsht.com/download/strumenti/Leica_GX1230.pdf

Leica Sprinter [online]. 2008. Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems AG [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty_leica/stavebni_pristroje/sprinter150/sprinter_50,150,250_cz.pdf

Leica Sprinter 150M. *Geo-Science SA* [online]. [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: http://geo-science.ch/wp-content/uploads/2015/09/Leica_Sprinter_1_4efdb462958a7.jpg

Lilliefors Test for Normality. 2016. *Real-statistics* [online]. WordPress [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: <http://www.real-statistics.com/tests-normality-and-symmetry/statistical-tests-normality-symmetry/lilliefors-test-normality/>

Mapová služba WMS – Ortofoto. 2016. ČÚZK [online]. Praha: ČÚZK [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx

ŘÍHA, Jan. 2014. *Moderní přístrojová technika: Vybrané kapitoly: GNSS* [online]. Praha [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: <http://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf>

Satellite Sites: Do They Work? 2012. In: *Dukeo* [online]. Dukeo [cit. 2016–05–04]. Dostupné z: <http://dukeo.com/media/satellite-site.jpg>

ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Josef WEIGEL a Radovan MACHOTKA. 2007. *Seminář GPS: Metodika GPS měření a vyhodnocení* [online]. Brno: FAST VUT [cit. 2016–05–04]. Dostupné z: http://fast.darmy.net/opory-H1/HE09_M01-Seminář%20GPS.pdf

Technický popis Trimble R4. *Geotronics* [online]. Raunheim: Trimble Navigation Limited, 2013 [cit. 2016–04–27]. Dostupné z: http://www.geotronics.sk/wp-content/uploads/2014/10/CZE_TrimbleR4GNSS_DS.pdf

Trimble R4. 2011. *Geotech* [online]. [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: <http://www.geotech.gr/index.php/gps/dual-freq/trimble-r4>

Trimble VRS Now: Specifikace sítě. 2008. *Geotronics* [online]. Praha [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: <http://www.geotronics.cz/specifikace-site>

WEIGEL, Josef. 2004. *Teorie chyb a vyrovnávací počet: Měřické chyby* [online]. Brno: VUT v Brně [cit. 2016–05–17]. Dostupné z: http://fast.darmy.net/opory%20-%20I%20Bc/GE04-Teorie_chyb_a_vyrovnacni_pocet_I-M01-Mericke_chyby.pdf

ZX510 Pokročilé statistické metody geografického výzkumu: Měření síly asociace mezi proměnnými [online]. 2013. Brno: Masarykova univerzita [cit. 2016–05–18]. Dostupné z: http://geoinovace.data.quonia.cz/materialy/ZX510_Pokrocile_statisticke_metody_geografickeho_vyzkumu_MU/Korelacni_analyza.pdf

10. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

Bpv	Balt po vyrovnání
CZ	CZEPOS
CZEPOS	Czech Positioning System – sieť permanentných staníc GNSS ČR
ČR	Česká republika
ČSN	Česká štátna norma
Dopo.	dopoludnia
EOP	orientačné parametre Zeme
ESA	Európska vesmírna agentúra
ETRS	Európsky terestrický referenčný systém
EUREF	Európska referenčná organizácia
GIS	Globálny informačný systém
GLONASS	Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	globálny navigačný satelitný systém
GPS	Globálny navigačný systém
GSM	Globálny systém pre mobilnú komunikáciu
hod	hodina
ISO	Medzinárodná organizácia pre štandardizáciu
ITRS	Medzinárodný terestrický referenčný systém
K – S	Kolmogorov – Smirnov
min	minúta
PDOP	priestorové zníženie presnosti
ppm	milióntina meranej vzdialenosti
Popo.	popoludní
RMS	stredná kvadratická chyba
RTK	Real Time Kinematik – určovanie polohy v reálnom čase
S-JTSK	systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
sec	sekunda
TN	technická nivelácia
VRS	virtuálna referenčná stanica
VÚGTK	Výskumný ústav geodetický, topografický a kartografický
USERE	User Equivalent Range Error
WMS	webová mapová služba
ZÚ	Zememeračský úrad

11. ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV, TABULIEK A GRAFOV

11.1. Zoznam obrázkov

<i>Obrázok 1: Multipath efekt (prepracované podľa Technický popis Trimble R4, 2013; Satellite Sites: Do They Work?, 2012)</i>	<i>14</i>
<i>Obrázok 2: Referenčné stanice siete Trimble VRS Now CZ (Trimble VRS Now, 2008).....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázok 3: Referenčné stanice siete CZEPOS (CZEPOS)</i>	<i>21</i>
<i>Obrázok 4: Schéma nivelačného merania.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázok 5: Rozdelenie chýb (prepracované podľa Weigel, 2004)</i>	<i>24</i>
<i>Obrázok 6: Gaussova krivka.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázok 7: Spôsob kódovania čísla bodu.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázok 8: Rozmiestnenie bodov – lokalita Zástavba (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016)....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázok 9: Pohľad na bod č. 14.....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázok 10: Rozmiestnenie bodov – lokalita Vedenie (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016)....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázok 11: Pohľad na bod č. 33.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázok 12: Rozmiestnenie bodov – lokalita Les (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016).....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázok 13: Pohľad na bod č. 43.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázok 14: Rozmiestnenie bodov – lokalita Pole (Mapová služba WMS – Ortofoto, 2016).....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázok 15: Pohľad na bod č. 44.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázok 16: Aparatúra Trimble R4 (Trimble R4, 2011)</i>	<i>34</i>
<i>Obrázok 17: Nivelačný prístroj Leica Sprinter (Leica Sprinter 150M).....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázok 18: Spôsob stabilizácie testovacích bodov</i>	<i>35</i>
<i>Obrázok 19: Sledované kategórie</i>	<i>44</i>
<i>Obrázok 20: Vstupné dáta do programu Statistica.....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázok 21: Prehľad nivelačných bodov v lokalite (Geoprohlížeč).....</i>	<i>53</i>
<i>Obrázok 22: Prijímač Leica GPS System 1200 (Leica GPS 1200).....</i>	<i>58</i>

11.2 Zoznam tabuliek

<i>Tabuľka 1: Systematické faktory pôsobiace na presnosť GNSS meraní (Švábenský, 2007)</i>	<i>15</i>
<i>Tabuľka 2: Presnosť RTK merania (Technický popis Trimble R4, 2013).....</i>	<i>34</i>
<i>Tabuľka 3: Dĺžka inicializácie a stredné chyby.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabuľka 4: Minimálne a maximálne dĺžky inicializácie</i>	<i>37</i>
<i>Tabuľka 5: Prehľad zaznamenaných problémov pri meraní</i>	<i>38</i>
<i>Tabuľka 6: Vypočítané stredné chyby výšok pre test odľahlých hodnôt.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabuľka 7: Dosiahnuté stredné chyby pred filtráciou a po nej</i>	<i>41</i>

<i>Tabuľka 8: Vyhodnotenie výsledkov testu normality</i>	<i>43</i>
<i>Tabuľka 9: Dosiahnuté výberové stredné chyby výšok</i>	<i>45</i>
<i>Tabuľka 10: Testovanie dvoch sérií meraní (výšková výberová stredná chyba)</i>	<i>48</i>
<i>Tabuľka 11: Test dvoch súborov meraní pre m_H – lokality Pole, Pod vedením, Mimo vedenia....</i>	<i>49</i>
<i>Tabuľka 12: Test dvoch súborov meraní pre m_H – lokality Les, Zástavba</i>	<i>49</i>
<i>Tabuľka 13: Dosiahnuté hodnoty korelačného koeficientu – H.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabuľka 14: Dosiahnuté hodnoty korelačného koeficientu – X,Y.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabuľka 15: Nadmorská výška bodu Fix1 v systéme Bpv.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabuľka 16: Nivelované výšky bodov.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabuľka 17: Dosiahnuté výškové stredné chyby.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabuľka 18: Test dvoch súborov meraní pre m_H (lokality Pole, Pod vedením, Mimo vedenia)</i>	<i>56</i>
<i>Tabuľka 19: Test dvoch súborov meraní pre m_H (lokality Les, Zástavba).....</i>	<i>57</i>
<i>Tabuľka 20: Test korelačných koeficientov – vonkajšia výšková presnosť.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabuľka 21: Porovnanie aparatúr Trimble a Leica – VNÚTORNÁ presnosť</i>	<i>58</i>
<i>Tabuľka 22: Porovnanie aparatúr Trimble a Leica – VONKAJŠIA presnosť</i>	<i>59</i>
<i>Tabuľka 23: Porovnanie priemernej dĺžky inicializácie – Trimble vs. Leica</i>	<i>59</i>

11.3 Zoznam grafov

<i>Graf 1: Krabicový graf z odchýlok z lokality Zástavba</i>	<i>42</i>
<i>Graf 2: Výstup testu normality – lokalita Zástavba</i>	<i>43</i>
<i>Graf 3: Časový vývoj výškových odchýlok – lokalita Les</i>	<i>46</i>
<i>Graf 4: Rozmiestnenie bodov v rovine okolo strednej hodnoty – lokalita Les.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 5: Vývoj výškových odchýlok počas dňa – lokalita Les</i>	<i>56</i>

12. ZOZNAM PRÍLOH

VIAZANÉ PRÍLOHY:

Príloha 1_Krabicové grafy z odchýlok

Príloha 2_Histogramy – test normality

Príloha 3_ Výberové stredné chyby súradníc X, Y

Príloha 4_ Grafy – 04.1 Závislosť výšky na čase – vnútorná presnosť

– 04.2 Závislosť výšky na čase – vonkajšia presnosť

– 04.3 Rozloženie odchýlok horizontálnej zložky

Príloha 5_ Test dvoch výberových súborov – 5.1 Dve série meraní

– 5.2 Porovnanie lokalít

VOLNÉ PRÍLOHY:

Príloha 6_ CD – 6.1 Zápisníky meraní – 6.1.1 Zápisník GNSS

– 6.1.2 Zápisník TN

– 6.2 Tabuľky výpočtov – 6.2.1 Vnútorná presnosť Y

– 6.2.2 Vnútorná presnosť X

– 6.2.3 Vnútorná presnosť H

– 6.2.4 Vonkajšia presnosť H