

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Testování přesnosti a využitelnosti  
GNSS přijímače Trimble R12i**

Testing the accuracy and usability of the GNSS receiver Trimble R12i

Vedoucí práce: doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sochor Jméno: Miroslav Osobní číslo: 487735

Zadávací katedra: Speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Testování přesnosti a využitelnosti GNSS přijímače Trimble R12i

Název bakalářské práce anglicky: Testing the accuracy and usability of the GNSS receiver Trimble R12i

Pokyny pro vypracování:

Návrh, realizace a vyhodnocení testu přesnosti a využitelnosti GNSS přijímače Trimble R12i. Testování bude zaměřeno na měření bez urovnání libely (náklon) a dále na využitelnost při horších podmínkách příjmu signálu (vegetace).

Seznam doporučené literatury:

Urban, R.: Geodetické práce při měření posunu a deformací stavebních objektů 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2015. 227 s. ISBN 978-80-01-05786-5.

Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 16.2.2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

16.2.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem „Testování přesnosti a využitelnosti GNSS přijímače Trimble R12i“ vypracoval samostatně s výjimkou odborných konzultací s vedoucím bakalářské práce doc. Ing. Rudolfem Urbanem, Ph.D. Veškerá použitá literatura a další zdroje jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne: .....

.....

Miroslav Sochor

## **Poděkování:**

Chtěl bych v první řadě poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph.D. za vedení a jeho čas při poskytování odborných konzultací. Dále chci poděkovat firmě GEOTRONICS Praha s.r.o. za vypůjčení GNSS přijímače Trimble R12i a celkovou spolupráci, jmenovitě panu Ing. Tomáši Hončovi za vypůjčení testovaného přístroje a panu Ing. Marku Talovicovi za instruktáž a poskytnuté informace k testovanému přístroji. Také chci poděkovat mojí rodině a přítelkyni za podporu v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce vznikla za účelem otestování nového GNSS přijímače Trimble R12i, který využívá k měření tzv. kompenzaci náklonu.

Přesnost a spolehlivost kompenzace náklonu byla zjišťována opakovaným měřením při různých náklonech na experimentálním bodovém poli.

Výsledkem testování jsou směrodatné odchylky z měření na experimentálním bodovém poli, grafy změny polohy v čase, souřadnice bodů určené v nepříznivých podmínkách a časy ztráty a příjmu signálu.

## **Klíčová slova:**

GNSS, testování, přesnost

## **Abstract**

This bachelor thesis's purpose is testing new GNSS receiver Trimble R12i, which uses tilt compensation for measurement.

Compensation accuracy was testing using multiple measurement with various tilts at experimental set of points.

Testing results are standard deviations which came out of measurement at experimental set of points, charts describing position changes in time, points coordinates measured in unfavorable conditions and times of signal loss and receiving.

## **Key words:**

GNSS, testing, accuracy

# Obsah

Úvod	8
1. Popis a účel testování	9
2. Přístrojové vybavení	11
2.1. Charakteristika GNSS přijímače	11
2.2. Další příslušenství	13
3. Způsoby testování	14
3.1. Testování kompenzace náklonu	14
3.1.1. Vypnutý kompenzátor ve svislé poloze	14
3.1.1.1. Zpracování	15
3.1.1.2. Výsledky	16
3.1.2. Zapnutý kompenzátor ve svislé poloze	18
3.1.2.1. Zpracování	18
3.1.2.2. Výsledky	19
3.1.3. Zapnutý kompenzátor s náklonem 30° bez pohybu	20
3.1.3.1. Zpracování	20
3.1.3.2. Výsledky	21
3.1.4. Zapnutý kompenzátor s náklonem 30° v pohybu	22
3.1.4.1. Zpracování	22
3.1.4.2. Výsledky	23
3.1.5. Zapnutý kompenzátor s náklonem 90° bez pohybu	24
3.1.5.1. Zpracování	24
3.1.5.2. Výsledky	24
3.1.6. Zapnutý kompenzátor s náklonem 90° v pohybu	26
3.1.6.1. Zpracování	26
3.1.6.2. Výsledky	27
3.2. Testování v nepříznivých podmínkách	30
3.2.1. Ověření testovaných bodů	30
3.2.2. Ztráta a příjem signálu	32
3.2.3. Držení pozice „fixed“	36
3.2.4. Výsledky	37
3.3. Ověření ztráty přesnosti	38
4. Vliv času na určení polohy bodu	41
Závěr	44
Seznam použitých zdrojů	47
Seznam zkratk	48
Seznam obrázků	49
Seznam tabulek	50
Seznam grafů	52
Seznam příloh	53

# Úvod

GNSS technologie nachází v geodézii větší uplatnění, než tomu bylo například před dvaceti lety. Má ovšem mnoho nevýhod. Zásadní nevýhodou je znehodnocení měření v zastavěných oblastech, zarostlé vegetaci nebo pod elektrickým vedením. Tyto nepříznivé okolnosti v terénu zapříčiňují rušení příjmu signálu a viditelnost malého počtu družic. Špatný příjem signálu se dá eliminovat za pomoci inerciální měřické jednotky (tzv. IMU) a nesvislost výtyčky přijímače kompenzátorem náklonu. Výhodou pro uživatele je rychlé a pohodlné měření. Uplatnění najdeme zejména při měření obvodů budov pro katastr nemovitostí.

Vzhledem k tomu, že jsou v současnosti tyto přijímače žádány, rozhodl jsem se prakticky otestovat přesnost a využitelnost GNSS přijímače Trimble R12i. Dvěma experimenty, kompenzace náklonu a ztráta přesnosti závislá na čase, jsem se inspiroval v diplomové práci „Testování přesnosti a využitelnosti GNSS přijímače Leica GS18“ od studenta Bc. Jana Myslivce [10]. Třetí experiment, který je cílen na měření v nepříznivých podmínkách, jsme vymysleli společně s vedoucím bakalářské práce.

Cílem této bakalářské práce je praktické otestování přesnosti a využitelnosti přijímače pomocí tří experimentů, které jsem uvedl výše. Rozhodně jsem se nesnažil zkoumat strukturu výpočetních algoritmů uvnitř přijímače.

Pro tuto práci je stanoven souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv.



# 1. Popis a účel testování

Testování GNSS přijímače bylo provedeno před budovou Fakulty stavební ČVUT v Praze na experimentálním bodovém poli na bodech 1 až 6 (*Obr. 1 a Obr. 2*).

První experiment byl zaměřen na testování přesnosti a spolehlivosti kompenzace náklonu v různých polohách přijímače. Pro měření byly využity body 1 až 4 (*Obr. 1*). Každý bod se zaměřil nejprve klasicky, tzn. s vypnutým kompenzátořem náklonu ve svislé poloze (uřování pomocí krabicové libely), aby byla zajiřtřena kontrola pro další testování. Celkem bylo provedeno pět testů se zapnutým kompenzátořem:

- ve svislé poloze
- s náklonem cca. 30° bez pohybu
- s náklonem cca. 30° v pohybu
- s náklonem cca. 90° bez pohybu
- s náklonem cca. 90° v pohybu

Tyto testy byly zaměřeny v co nejkratřím čase z důvodu co největří eliminace rozdílné konfigurace družic a celkových podmínek při měření. Odlehlá měření byla prověřena robustní statistickou metodou [3] a z výpočtu následně vyloučena. Z výsledných hodnot jednotlivých testů byly spočteny směřodatné odchylky souřadnic a výřek. Tyto přesnosti byly vzájemně porovnány s obdobnými hodnotami, které byly uvedené v protokolu z přijímače.

Druhý experiment simuloval měření v nepříznivých podmínkách. Byla využita hustá vegetace a zastavěné okolí. Byly zde testovány časy přijmu a ztráty signálu přijímače a dále přesnost a spolehlivost, se kterou byly určeny souřadnice a výřky jednotlivých bodů. K testování byly využity body experimentálního bodového pole 5 a 6, které byly určeny prostorovou polární metodou za pomoci volného stanoviska z bodů 1 až 4 (*Obr. 1*). Výsledkem byly absolutní odchylky souřadnic a výřek a směřodatné odchylky.

Třetím experimentem bylo potřeba ověřit, zda nedochází ke ztrátě přesnosti s přibývajícíím časem při udržování přijímače ve statické poloze, protože tento má v sobě zabudovanou inerciální měřickou jednotku, která je pro správné fungování obecně závislá na pohybu. Výsledkem byly odchylky souřadnic a výřek od počátečního měření a znázornění jednotlivých odchylek v grafu.



Obr. 1 Přehledka bodového pole v softwaru GEUS



Obr. 2 Stabilizace bodů 1 až 6

## 2. Přístrojové vybavení

V této kapitole bude popsáno veškeré přístrojové vybavení a pomůcky, které byly použity při měření.

### 2.1. Charakteristika GNSS přijímače

Trimble R12i přijímá družicový signál ze systémů GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Má v sobě zabudovanou technologii Trimble 360, která dokáže rozeznat rušené a falešné signály na 672 kanálech při měření ve zhoršených podmínkách a zlepšuje tím přesnost a spolehlivost výsledků měření. Výrobce udává kinematickou přesnost v reálném čase, tzv. RTK, je 8 mm v poloze a 15 mm ve výšce. Přesností se rozumí směrodatná odchylka. Testovaný přijímač je spárován s polním softwarem Trimble Access 2020.

Přístroj (*Obr. 3*) disponuje inerciální měřickou jednotkou, která je schopna při náklonu přijímače dopočítat prostorovou polohu hrotu tyčky, musí však znát výšku antény [10]. Pro správné fungování obecně potřebuje pohyb. Inerciální měřická jednotka testovaného přístroje má v sobě zabudované tři gyroskopy a tři akcelerometry [9], čímž, se domníváme, je zajištěna vyšší přesnost a spolehlivost měření při statické poloze přijímače, než tomu je například u GNSS přijímače Leica GS18 I. Tato skutečnost byla zjištěna z diplomové práce od Bc. Jana myslivce [10].

Pro správné fungování testovaného přístroje je před měřením potřeba zinicilizovat IMU v prostoru krátkým pohybem. Jednotka je odolná proti magnetickému rušení, takže není potřeba ji kalibrovat. Výrobce doporučuje náklon přijímače v rozmezí 0° až 30°, protože při větším náklonu může být narušen příjem signálu, např. multipath efektem. Pro tento interval náklonu je výrobcem uvedená maximální přesnost 5 mm + 0,4 mm/°.

Popis a charakteristiky přijímače lze najít v [2] a [9].



Obr. 3 GNSS přijímač Trimble R12i s kontrolerem [1]

## 2.2. Další příslušenství

K tachymetrickému měření byla použita robotická totální stanice Trimble S6 HP, stativ, odrazný minihranol Leica GMP111 a stojánek na stabilizaci výtyčky, pro zakrytí antény přijímače při testování ztráty signálu byl použit kovový kbelík (Obr. 4). Stabilizace bodů experimentálního bodového pole byla zajištěna šesti měřickými hřebíky (Obr. 2) a šest kolíků bylo použito pro signalizaci.



Obr. 4 Další příslušenství k měření

## 3. Způsoby testování

Způsoby testování byly navrženy tak, aby byl prakticky využit co největší potenciál přijímače z hlediska přesnosti a spolehlivosti klasického RTK měření.

### 3.1. Testování kompenzace náklonu

Cílem tohoto experimentu bylo maximálně ověřit přesnost a spolehlivost měření s využitím kompenzace náklonu. Měření probíhalo v různých polohách přijímače. K testování byly použity body experimentálního bodového pole 1 až 4 (*Obr. 1*). Celkem bylo provedeno šest sérií včetně prvního s vypnutým kompenzátozem. Všechny body byly zaměřeny pětivteřinovou observací. Pro skutečné a spolehlivé výsledky jednotlivých bodů bylo provedeno vyloučení odlehlých hodnot pomocí robustní metody podle normy L1 [3] v programu MATLAB. Výsledky byly následně zpracovány v programu Microsoft Excel.

#### 3.1.1 Vypnutý kompenzátozem ve svislé poloze

První série určení bodů 1 až 4 (*Obr. 1*) byla provedena s vypnutým kompenzátozem ve svislé poloze, aby byla zajištěna kontrola pro další série měření se zapnutým kompenzátozem a nedocházelo ke znehodnocení výsledků. Měření bylo opakováno celkem desetkrát na každém bodu, přičemž k bodům bylo přistupováno při každém opakování postupně v pořadí 1, 2, 3, 4. Od pátého opakování bylo přistupováno k bodům z opačné strany, tzn. že přijímač byl otočen zhruba o 200 gonů kolem svislé osy, aby byla eliminována chyba z nesvislosti způsobená měřičem nebo krabicovou libelou. Vzhledem k tomu, že nebylo otestováno všech sérií uskutečněno v jeden den, bylo potřeba v každém dnu udělat na začátku měření s vypnutým kompenzátozem, aby bylo možné eliminovat systematický posun způsobený konfigurací a pohybem družic.

### 3.1.1.1. Zpracování

Odlehlá měření byla prověřena robustní metodou podle normy L1 [3], která počítá váhy (značí se  $w$ ) pro jednotlivá měření. Normované opravy (značí se  $v_{norm}$ ) byly počítány jako podíl opravy od průměru a směrodatné odchylky, poté byl proveden výpočet vah pomocí konstanty  $c = 2$  (volí se 1,5 až 2) následovně podle [11]

$$v_{norm} \leq c, \text{ pak } w = 1$$

$$v_{norm} > c, \text{ pak } w = \frac{c}{v_{norm}}$$

[11]

Dalším krokem bylo zprůměrování správných hodnot a tím byla získána skutečná hodnota (aritmetický průměr) pro body 1 až 4. Následně byly spočteny opravy od průměru a jejich kvadráty. Podle [4] byly vypočteny výběrové směrodatné odchylky souřadnic  $X$ ,  $Y$  a výšky  $H$ :

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum \Delta X^2}{n-1}}$$

[4]

kde  $X$  je daná souřadnice (obdobně platí pro souřadnice  $Y$ ,  $X$  a výšku  $H$ ),  $\Delta X$  je oprava od průměru,  $n$  je počet průměrovaných souřadnic.

Podle [5] byly kvadraticky zprůměrovány výběrové směrodatné odchylky  $\sigma_X$  a  $\sigma_Y$  a tím byla získána směrodatná souřadnicová odchylka  $\sigma_{XY}$ :

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{2}}$$

[5]

Směrodatná odchylka výšky byla získána jako výběrová směrodatná odchylka výšky, protože tyto hodnoty mají stejný charakter.

V rámci celé série byly kvadraticky zprůměrované směrodatné odchylky souřadnic  $n$  bodů podle [6]:

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{XYi}^2}{n}}$$

[6]

A také směrodatné odchylky výšek podle [7]:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{Hi}^2}{n}}$$

[7]

V *Tab.1* jsou uvedeny odchylky souřadnic a výšek mezi oběma dny. Odchylky jsou způsobené pohybem a konfigurací družic, dále omezenou přesností přijímače.

*Tab.1* Vypnutý kompenzátor, svislá poloha – odchylky souřadnic a výšek

č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	-0,006	-0,003	0,008
2	-0,002	0,002	-0,001
3	-0,003	-0,001	0,005
4	0,005	-0,002	0,001

### 3.1.1.2. Výsledky

Z měření byly vyloučeny dvě hodnoty z druhého dne. V *Tab.2* a *Tab.3* jsou uvedeny rozdíly směrodatných odchylek vypočtených a uvedených v kompletním protokolu z obou dnů měření. Protokol byl vyexportován z přijímače. Dále jsou zde uvedeny kvadratické průměry vypočtených směrodatných odchylek všech bodů v rámci série. Při výpočtu byly výsledky sestaveny předpisem: „má být“ (protokol) - „jest“ (výpočet).



Tab.2 Vypnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek z 1. dne

vypnutý kompenzátor, svislá poloha, 1. den						
č. b.	směr. odchylka (vypočtená)		směr. odchylka (protokol)		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	7,2	4,3	7,1	8,2	-0,1	3,9
2	5,8	6,1	6,8	8,4	1,0	2,3
3	4,7	6,6	7,2	8,6	2,5	2,0
4	11,0	17,3	10,5	13,2	-0,5	-4,1
celá série	směrodatná souřadnicová odchylka:				7,6 mm	
	směrodatná výšková odchylka:				10,0 mm	

Tab.3 Vypnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek z 2. dne

vypnutý kompenzátor, svislá poloha, 2. den						
č. b.	směr. odchylka (vypočtená)		směr. odchylka (protokol)		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	9,3	9,4	8,7	12,5	-0,6	3,1
2	6,8	6,2	8,2	10,7	1,4	4,5
3	8,6	9,4	9,3	13,3	0,7	3,9
4	7,7	6,7	9,1	12,7	1,4	6,0
celá série	směrodatná souřadnicová odchylka:				8,2 mm	
	směrodatná výšková odchylka:				8,1 mm	

### 3.1.2. Zapnutý kompenzátor ve svislé poloze

Druhá série byla měřena obdobně jako první (3.1.1) s tím rozdílem, že byl zapnutý kompenzátor. Měření proběhlo opět desetkrát na každém bodu a přistupovalo se při každém opakování postupně v pořadí 1, 2, 3, 4. Od pátého bylo přistupováno k bodům z opačné strany (otočení zhruba o 200 gonů kolem svislé osy). Měření proběhlo první den.

#### 3.1.2.1. Zpracování

Výsledky byly zpracovány obdobně jako u první série (3.1.1.1). Odlehlá měření byla prověřena robustní metodou dle normy L1 [3]. Byly zprůměrovány počty opakování konkrétního bodu, spočteny opravy od průměru, jejich kvadráty a následně výběrové směrodatné odchytky souřadnic a výšek pro body 1 až 4 podle [4]. Dále byly kvadraticky zprůměrovány výběrové směrodatné odchytky souřadnic X a Y, z čehož byla získána směrodatná souřadnicová odchytká podle [5]. Směrodatná výšková odchytká zůstává zachována. Byly také kvadraticky zprůměrovány směrodatné odchytky souřadnic [6] a výšek [7] všech bodů v rámci série.

V *Tab.4* jsou uvedeny odchytky souřadnic a výšek od měření s vypnutým kompenzátozem ve svislé poloze. Odchytky se vztahují k prvnímu dni měření.

*Tab.4 Zapnutý kompenzátor, svislá poloha – odchytky souřadnic a výšek*

č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	0,004	0,003	0,002
2	0,002	0,006	0,002
3	0,004	0,006	-0,007
4	0,004	0,005	-0,019

### 3.1.2.2. Výsledky

Z měření byla vyloučena jedna hodnota. V *Tab.5* je uvedeno porovnání směrodatných odchylek vypočtených ze souřadnic a uvedených v kompletním protokolu, dále kvadraticky zprůměrované vypočtené směrodatné odchylky pro všechny body v rámci série a v *Tab.6* porovnání vypočtených směrodatných odchylek s vypnutým kompenzátorem.

*Tab.5 Zapnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek*

zapnutý kompenzátor, svislá poloha, 1. den						
č. b.	směr. odchylka (vypočtená)		směr. odchylka (protokol)		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	9,2	7,5	8,3	9,2	-0,9	1,7
2	9,1	9,6	7,9	9,2	-1,2	-0,4
3	9,9	11,4	7,9	9,3	-2,0	-2,1
4	14,2	16,7	8,9	11,3	-5,3	-5,4
celá série	směrodatná souřadnicová odchylka:				10,8 mm	
	směrodatná výšková odchylka:				11,8 mm	

*Tab.6 Zapnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek dvou sérií*

	vypnutý náklon, svislá poloha		zapnutý náklon, svislá poloha			
č. b.	směr. odchylka		směr. odchylka		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	7,2	4,3	9,2	7,5	-2,0	-3,2
2	5,8	6,1	9,1	9,6	-3,3	-3,5
3	4,7	6,6	9,9	11,4	-5,2	-4,8
4	11,0	17,3	14,2	16,7	-3,2	0,6

### 3.1.3. Zapnutý kompenzátor s náklonem 30° bez pohybu

Ve třetí sérii byl testován kompenzátor s náklonem zhruba 30° bez pohybu. Měření bylo obdobné jako u předchozích sérií s tím rozdílem, že nebyl přijímač držen svisle a měření tím pádem bylo pohodlnější. Opakovalo se desetkrát na každém bodu a při každém opakování bylo přistupováno v pořadí 1, 2, 3, 4. Od pátého opakování bylo přistupováno z opačné strany (otočení zhruba o 200 gonů kolem svislé osy), aby byla otestována orientace kompenzátoru ve více směrech. Měření proběhlo první den. Náklon 30° byl zvolen proto, že v technických specifikacích má přijímač nejspolehlivější interval náklonu 0°- 30° [2] a chceme zjistit, jestli tomu tak opravdu je.

#### 3.1.3.1. Zpracování

Postup zpracování je stále obdobný jako v předchozích sériích. Odlehlá měření byla prověřena robustní metodou [3]. Byl vypočten aritmetický průměr, opravy od průměru, jejich kvadráty a z toho výběrové směrodatné odchytky souřadnic Y, X a výšek H pro body 1 až 4 podle [4]. Ze směrodatných odchylek souřadnic Y, X byl spočten kvadratický průměr a tím byla získána směrodatná souřadnicová odchylka podle [5]. Hodnota směrodatné výškové odchylky zůstává zachována. Dále byly kvadraticky zprůměrovány směrodatné odchytky souřadnic [6] a výšek [7] všech bodů v rámci série.

V Tab.7 jsou uvedeny odchytky souřadnic a výšek od měření s vypnutým kompenzátozem ve svislé poloze (3.1.1). Odchytky se vztahují k prvnímu dni měření.

Tab.7 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, bez pohybu – odchytky souřadnic a výšek

č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	0,001	0,004	-0,002
2	-0,001	0,010	-0,001
3	0,001	0,010	-0,004
4	-0,006	0,011	0,000

### 3.1.3.2. Výsledky

Ze série nebyla vyloučena žádná hodnota po prověření odlehlých měření. V *Tab.8* je uvedeno porovnání směrodatných odchylek vypočtených a uvedených v kompletním protokolu z GNSS přijímače, kvadratické průměry vypočtených směrodatných odchylek v rámci série všech bodů a v *Tab.9* porovnání vypočtených směrodatných odchylek s vypnutým kompenzátorem. Hodnoty se vztahují k prvnímu dni měření.

*Tab.8 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek*

zapnutý kompenzátor, náklon 30°, bez pohybu						
č. b.	směr. odchylka (vypočtená)		směr. odchylka (protokol)		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	4,7	5,6	11,4	9,1	6,7	3,5
2	4,4	9,9	11,4	9,2	7,0	-0,7
3	7,3	12,6	11,6	9,2	4,3	-3,4
4	8,6	9,6	12,5	10,2	3,9	0,6
celá série	směrodatná souřadnicová odchylka:				6,5 mm	
	směrodatná výšková odchylka:				9,7 mm	

*Tab.9 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek dvou sérií*

	vypnutý náklon, svislá poloha		zapnutý náklon, 30°, bez pohybu			
č. b.	směr. odchylka		směr. odchylka		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	7,2	4,3	4,7	5,6	2,5	-1,3
2	5,8	6,1	4,4	9,9	1,4	-3,8
3	4,7	6,6	7,3	12,6	-2,6	-6,0
4	11,0	17,3	8,6	9,6	2,4	7,7

### 3.1.4. Zapnutý kompenzátor s náklonem 30° v pohybu

Čtvrtá série byla otestována obdobně jako třetí (3.1.3) s tím rozdílem, že přijímač byl v neustálém pohybu. Měření se opakovalo desetkrát na každém bodu a bylo k nim přistupováno při každém opakování postupně v pořadí 1, 2, 3, 4. Od pátého opakování k nim bylo přistupováno z opačné strany. Měření proběhlo první den.

#### 3.1.4.1. Zpracování

Postup zpracování je stále stejný jako v předchozích zpracovaných sériích. Odlehlá měření byla prověřena robustní metodou dle normy L1 [3]. Byl vypočten aritmetický průměr, opravy od průměru, jejich kvadráty, a nakonec výběrové směrodatné odchylky souřadnic a výšek bodů 1 až 4 podle [4]. Kvadraticky byly zprůměrované směrodatné odchylky souřadnic X, Y a získána směrodatná souřadnicová odchylka podle [5]. Směrodatná odchylka výšky zůstává zachována. Dále byly v rámci série kvadraticky zprůměrované směrodatné odchylky souřadnic [6] a výšek [7] všech bodů.

V Tab.10 jsou uvedeny odchylky souřadnic a výšek od měření s vypnutým kompenzátozem ve svislé poloze.

Tab.10 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, pohyb – odchylky souřadnic a výšek

č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	0,002	-0,001	-0,005
2	0,004	0,001	-0,002
3	-0,001	0,009	-0,003
4	0,003	0,006	-0,009

### 3.1.4.2. Výsledky

Po prověření odlehlých měření vypadly ze série celkem dvě hodnoty. *Tab.11* obsahuje porovnání směrodatných odchylek vypočtených a uvedených v kompletním protokolu z GNSS přijímače, kvadraticky zprůměrované vypočtené směrodatné odchylky souřadnic a výšek všech bodů v rámci série a v *Tab.12* je uvedeno porovnání vypočtených směrodatných odchylek s vypnutým kompenzátorem.

*Tab.11 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, pohyb – porovnání směr. odchylek*

zapnutý kompenzátor, náklon 30°, v pohybu						
č. b.	směr. odchylka (vypočtená)		směr. odchylka (protokol)		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	9,2	10,7	12,4	8,9	3,2	-1,8
2	8,8	5,5	11,6	9,0	2,8	3,5
3	8,9	14,3	13,3	11,1	4,4	-3,2
4	13,6	17,6	13,5	12,6	-0,1	-5,0
celá série	směrodatná souřadnicová odchylka:				10,3 mm	
	směrodatná výšková odchylka:				12,8 mm	

*Tab.12 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, pohyb – porovnání směr. odchylek dvou sérií*

	vypnutý náklon, svislá poloha		zapnutý náklon, 30°, v pohybu			
č. b.	směr. odchylka		směr. odchylka		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	7,2	4,3	9,2	10,7	-2,0	-6,4
2	5,8	6,1	8,8	5,5	-3,0	0,6
3	4,7	6,6	8,9	14,3	-4,2	-7,7
4	11,0	17,3	13,6	17,6	-2,6	-0,3

### 3.1.5. Zapnutý kompenzátor s náklonem 90° bez pohybu

Pátá série byla otestována obdobně jako předchozí (3.1.3) s tím rozdílem, že přijímač byl nakloněn zhruba o 90°. Nepředpokládal jsem, že by uživatel měl potřebu přijímač naklánět více. Měření se opakovalo opět desetkrát na každém bodu, přičemž při každém opakování bylo k bodům přistupováno postupně v pořadí 1, 2, 3, 4. Od pátého opakování bylo k bodům přistupováno z opačné strany z důvodu otestování orientace kompenzátoru ve více směrech. Měření bylo provedeno druhý den.

#### 3.1.5.1. Zpracování

Zpracování bylo obdobné jako v předchozích sériích. Byl spočten aritmetický průměr, opravy od průměru, jejich kvadráty, a nakonec výběrové směrodatné odchytky souřadnic X, Y a výšek H podle [4]. Výběrové směrodatné odchytky X, Y byly kvadraticky zprůměrovány a byla získána směrodatná souřadnicová odchytky podle [5]. Směrodatná výšková odchytky zůstává zachována. Dále byly kvadraticky zprůměrovány směrodatné odchytky souřadnic [6] a výšek [7] všech bodů v rámci série.

V *Tab.13* jsou uvedeny odchytky souřadnic a výšek od měření s vypnutým kompenzátozem. Odchytky se vztahují ke druhému dni měření.

*Tab.13 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, bez pohybu – odchytky souřadnic a výšek*

č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	-0,005	0,002	0,006
2	0,006	-0,003	0,003
3	0,005	-0,008	-0,004
4	0,010	-0,002	0,009

#### 3.1.5.2. Výsledky

Po prověření odlehlých měření robustní metodou [3] nebyla vyloučena žádná hodnota. Výsledkem v *Tab.14* je porovnání směrodatných odchylek vypočtených a uvedených v kompletním protokolu z GNSS přijímače, kvadraticky zprůměrované vypočtené



směrodatné odchytky všech bodů v rámci série a v *Tab.15* porovnání směrodatných odchylek s vypnutým kompenzátorem.

*Tab.14 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek*

zapnutý kompenzátor, náklon 90°, bez pohybu							
č. b.	směr. odchytky (vypočtená)		směr. odchytky (protokol)		rozdíl		
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]	
1	13,4	18,5	23,6	14,1	10,2	-4,4	
2	14,2	19,6	21,4	16,5	7,2	-3,1	
3	13,0	15,6	21,6	15,9	8,6	0,3	
4	16,6	22,1	24,7	24,3	8,1	2,2	
celá série	směrodatná souřadnicová odchytky:					14,4 mm	
	směrodatná výšková odchytky:					19,1 mm	

*Tab.15 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek dvou sérií*

	vypnutý náklon, svislá poloha		zapnutý náklon, 90°, bez pohybu			
č. b.	směr. odchytky		směr. odchytky		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	9,3	9,4	13,4	18,5	-4,1	-9,1
2	6,8	6,2	14,2	19,6	-7,4	-13,4
3	8,6	9,4	13,0	15,6	-4,4	-6,2
4	7,7	6,7	16,6	22,1	-8,9	-15,4

### 3.1.6. Zapnutý kompenzátor s náklonem 90° v pohybu

Měření bylo provedeno stejně jako v předchozí sérii s tím rozdílem, že pět opakování bylo změřeno první den a zbylých pět opakování druhý den z důvodu nedostatku času. Při každém opakování bylo k bodům přistupováno postupně v pořadí 1, 2, 3, 4. Přijímač byl držen ledabyle s náklonem zhruba 90°. Zde bylo k bodům přistupováno střídavě do různých směrů při každém opakování.

#### 3.1.6.1. Zpracování

Zpracování bylo provedeno zvlášť pro oba dny, aby byl eliminován systematický pohyb a konfigurace družic. V první sérii měření s vypnutým kompenzátorem (3.1.1) bylo měřeno pro oba dny z důvodu kontroly. Série byla prověřena testováním odlehlých měření pomocí robustní metody dle normy L1 [3] jako v předchozích případech. Každý den byl zpracováván zvlášť. Byl vypočten aritmetický průměr, opravy od průměru a jejich kvadráty, a nakonec výběrové směrodatné odchytky pro souřadnice X, Y a výšku H podle [4]. Dále byly kvadraticky zprůměrovány výběrové směrodatné odchytky souřadnic X, Y podle [5] a byla získána směrodatná souřadnicová odchytky. Směrodatná odchytky výšky zůstává zachována. V rámci série byly všechny směrodatné odchytky souřadnic [6] a výšek [7] kvadraticky zprůměrovány.

V *Tab.16* je uvedeno porovnání odchylek souřadnic a výšek s vypnutým kompenzátorem, v *Tab.17* jsou vzájemně porovnány odchytky z obou dnů.

Tab.16 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – odchylky souřadnic a výšek

odchylky - 1. den			
č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	0,002	0,009	-0,008
2	0,001	0,010	-0,002
3	0,001	0,004	-0,007
4	0,006	0,017	0,003
odchylky - 2. den			
č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	-0,014	-0,005	0,002
2	-0,007	-0,017	-0,008
3	-0,006	0,008	-0,024
4	-0,013	0,000	-0,011

Tab.17 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – rozdíl souřadnic a výšek mezi oběma dny měření

zapnutý kompenzátor, náklon 90°, v pohybu			
č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	-0,010	-0,011	0,002
2	-0,006	-0,029	-0,005
3	-0,004	0,005	-0,022
4	-0,024	-0,015	-0,015

### 3.1.6.2. Výsledky

Všechny hodnoty opakování z prvního dne zůstaly, ale z druhého dne byla vyloučena jedna. V *Tab.18* a *Tab.19* je porovnání vypočtených směrodatných odchylek a uvedených v kompletním protokolu z GNSS přijímače, kvadraticky zprůměrované vypočtené směrodatné odchylky všech bodů v rámci série a v *Tab.20* a *Tab.21* porovnání směrodatných odchylek s vypnutým kompenzátořem pro oba dny.

Tab.18 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směr. odchylek, 1. den

zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb, 1. den						
č. b.	směr. odchylka (vypočtená)		směr. odchylka (protokol)		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	11,3	12,7	11,8	11,2	0,5	-1,5
2	5,3	6,3	13,1	11,5	7,8	5,2
3	8,2	20,4	11,9	10,9	3,7	-9,5
4	12,2	16,7	13,8	14,3	1,6	-2,4
celá série		směr. souřadnicová odchylka:			9,6 mm	
		směr. výšková odchylka:			15,0 mm	

Tab.19 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směr. odchylek, 2. den

Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb, 2. den						
č. b.	směr. odchylka (vypočtená)		směr. odchylka (protokol)		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	5,8	18,5	21,2	17,8	15,4	-0,7
2	13,1	12,8	21,5	15,5	8,4	2,7
3	23,3	17,9	47,1	19,5	23,8	1,6
4	16,2	11,3	34,4	22,7	18,2	11,4
celá série		směr. souřadnicová odchylka:			17,4 mm	
		směr. výšková odchylka:			13,5 mm	

Tab.20 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směrodatných odchylek dvou sérií, 1. den

	vypnutý náklon, svislá poloha, 1. den		zapnutý náklon, 90°, v pohybu, 1. den			
č. b.	směr. odchylka		směr. odchylka		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	7,2	4,3	11,3	12,7	-4,1	-8,4
2	5,8	6,1	5,3	6,3	0,5	-0,2
3	4,7	6,6	8,2	20,4	-3,5	-13,8
4	11,0	17,3	12,2	16,7	-1,2	0,6

Tab.21 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směrodatných odchylek dvou sérií, 2. den

	vypnutý náklon, svislá poloha, 2. den		zapnutý náklon, 90°, v pohybu, 2. den			
č. b.	směr. odchylka		směr. odchylka		rozdíl	
	YX [mm]	H [mm]	YX [mm]	H [mm]	$\Delta$ YX [mm]	$\Delta$ H [mm]
1	9,3	9,4	5,8	18,5	3,5	-9,1
2	6,8	6,2	13,1	12,8	-6,3	-6,6
3	8,6	9,4	23,3	17,9	-14,7	-8,5
4	7,7	6,7	16,2	11,3	-8,5	-4,6

## 3.2. Testování v nepříznivých podmínkách

Tímto experimentem byla ověřena přesnost IMU při měření v zarostlé vegetaci a zastavěném okolí. Měření proběhlo se zapnutým kompenzátorem ve svislé poloze a byly testovány body 5 a 6. Výstupem jsou souřadnice a výšky bodů včetně odchylek a časy příjmu a ztráty signálu. Prvním testem (3.2.2) bylo třeba zjistit, jak moc budou znehodnocené výsledky, pokud bude přijímač zafixován přímo pod vegetací. Ve druhém testu (3.2.3) bylo přistupováno na body s odstupem mimo vegetaci se zafixovaným přijímačem a bylo třeba zjistit, jak bude reagovat během cesty na bod nebo přímo na něm.

### 3.2.1. Ověření testovaných bodů

Pro kontrolu a nezhodnocení výsledků GNSS měření v těchto podmínkách bylo potřeba body 5 a 6 zaměřit metodou, na kterou se může geodet v zarostlé vegetaci a zastavěném okolí jistě spolehnout. Byl využit výpočet volného stanoviska z bodů 1 až 4 a následně určeny body 5 a 6 pomocí prostorové polární metody. Připojení bylo provedeno na body bodového pole 1 až 4 (*Obr. 1*), které lze brát jako pevné, přičemž bylo vycházeno z měření s vypnutým kompenzátorem, které proběhlo ve stejný den jako tachymetrie. Na orientačních bodech 1 až 4 a určovaných bodech 5 a 6 (*Obr. 1*) byly měřeny vodorovné směry, šikmé délky a zenitové úhly, vše ve dvou polohách dalekohledu. Výtyčka s hranolem byla stabilizována ve stojánku (*Obr. 5*), aby byla eliminována chyba z nesvislosti způsobená měřičem. Bylo třeba znát výšky cíle na bodech. Výška stanoviska je 0,000 m, protože se v tomto případě vztahuje k horizontu přístroje. Měření totální stanicí bylo realizováno dvakrát s odstupem hodiny a půl.

K měření byla použita robotická totální stanice Trimble S6 HP. Přesnost vodorovného a zenitového úhlu je 0,31 miligonů, přesnost elektronicky měřené délky je 1 + 1 ppm (viz. Příloha 5). Jako odrazný systém byl použit minihranol Leica GMP111 (*Obr. 6*) [8] stabilizovaný ve stojánku. Absolutní konstanta činí 16,9 mm, jejíž hodnota byla zjištěna přímo v totální stanici.

Nejprve bylo zpracováno měření ve dvou polohách dalekohledu, následně byly body vypočteny pomocí polární metody dávkou. Ke zpracování byl použit software GROMA.



Obr. 5 Stabilizace minihranolu na bodech 1 až 6



Obr. 6 Minihranol Leica GMP111

V Tab.22 jsou uvedeny průměry souřadnic a výšek bodů 5 a 6. Výsledky obou měření odpovídaly přesnosti prostorové polární metody v jednotkách milimetrů a pro další výpočty byly zprůměrovány (viz. Příloha 6).

Tab.22 Souřadnice a výšky bodů 5, 6 zaměřené tachymetricky

č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]
5	744965,620	1040971,312	222,353
6	745022,858	1040937,354	225,649

### 3.2.2. Ztráta a příjem signálu

Tento test byl zaměřen na přesnost určení souřadnic a výšek ihned po ztrátě signálu při měření se zapnutým kompenzátozem ve svislé poloze (Obr. 8), dále na určení času, za jak dlouho přijímač ztratí a přijme signál ve vyhovujících a nepříznivých podmínkách. Pro zakrytí přijímače byl použit kovový kbelík a byl stabilizován ve stojánku. V Tab.23 jsou uvedeny časy příjmu a ztráty signálu měřeny v nepříznivých podmínkách (Obr. 7) na bodech 5 a 6, v Tab.24 jsou časy naměřené ve vyhovujících podmínkách na bodech 1 a 4. Příjmem signálu se rozumí objevení zelené ikony „Fixed“ na displeji místo červené „Auto“ a ztrátou signálu se rozumí opačný proces. Dále v Tab.25 jsou uvedeny odchylky souřadnic a výšek bodů určené metodou GNSS a tachymetricky.

Tab.23 Časy ztráty a příjmu signálu na bodech 5, 6

metoda	příjem signálu		ztráta signálu	
bod	5	6	5	6
časy [s]:	8:53	8:91	6:65	3:24
	10:29	10:62	7:80	3:03
	8:00	10:26	5:70	3:28
	8:46	19:18	5:59	2:32
	9:97	7:93	4:20	3:22
	11:02	8:28	3:29	3:09
	12:18	11:73	4:20	2:96
	12:06	8:62	4:93	3:02
	7:21	11:16	3:11	
	10:21		4:32	



V Tab.23 chybí tři časy z toho důvodu, že od posledního opakování docházelo k výpadku signálu a přijímači trvalo dlouho, než se opět zafixoval. Celkově od začátku měření byl zaregistrován výpadek:

- na bodu 5 za 25 minut
- na bodu 6 za 15 minut

Tab.24 Časy ztráty a příjmu signálu na bodech 1, 4

metoda	příjem signálu		ztráta signálu	
č. b.	1	4	1	4
časy [s]:	8:34	6:94	5:24	6:03
	8:26	8:72	6:16	5:45
	8:02	7:60	5:91	5:12
	8:26	5:97	4:86	5:71
	9:31	8:07	6:50	5:45
	6:10	9:55	5:45	4:98
	6:50	7:54	6:23	5:12
	7:21	6:81	5:24	5:19
	7:04	7:08	5:98	3:74
	7:09	5:98	5:92	3:68

V Tab.24 nechybí žádná z deseti naměřených hodnot, vzhledem k odkrytému obzoru a dobrým podmínkám měření nebyl problém s výpadkem družic.

Tab.25 Souřadnice a výšky bodů 5, 6 zaměřené metodou GNSS včetně absolutních odchylek

č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]	metoda
<b>5</b>	<b>744965,620</b>	<b>1040971,312</b>	<b>222,353</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>tachymetrie</b>
5	744965,625	1040971,284	222,354	-0,005	0,028	-0,001	GNSS
5	744965,630	1040971,298	222,338	-0,010	0,014	0,015	GNSS
<b>5</b>	<b>744965,502</b>	<b>1040971,211</b>	<b>222,623</b>	<b>0,118</b>	<b>0,101</b>	<b>-0,270</b>	<b>GNSS</b>
č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]	metoda
<b>6</b>	<b>745022,858</b>	<b>1040937,354</b>	<b>225,649</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>tachymetrie</b>
6	745022,850	1040937,336	225,602	0,008	0,018	0,047	GNSS
6	745022,890	1040937,342	225,632	-0,032	0,012	0,017	GNSS
6	745022,881	1040937,322	225,683	-0,023	0,032	-0,034	GNSS
6	745022,880	1040937,330	225,646	-0,022	0,024	0,003	GNSS
6	745022,877	1040937,331	225,621	-0,019	0,023	0,028	GNSS
6	745022,875	1040937,338	225,640	-0,017	0,016	0,009	GNSS
6	745022,871	1040937,321	225,644	-0,013	0,033	0,005	GNSS
6	745022,871	1040937,315	225,613	-0,013	0,039	0,036	GNSS

Oranžově označená hodnota v Tab.25 je odlehlá. Tato série byla testována robustní metodou podle normy L1 [3]. Původním plánem bylo zaměřit každý bod desetkrát, ovšem přijímač po určité době přestal přijímat signál a došlo k úplnému výpadku. Nebylo snahou se opět zafixovat mimo vegetaci, cílem bylo, jak dlouho vydrží přijímač navazovat signál přímo pod vegetací.



Obr. 7 Vegetace na bodech 5, 6



Obr. 8 GNSS přijímač Trimble R12i stabilizovaný ve stojánku na bodu 6

Z Tab.25 jsou spočítány aritmetické průměry absolutních odchylek.

Průměrná odchylka na bodu 5:

- $\Delta Y = -0,008 \text{ m}$
- $\Delta X = 0,021 \text{ m}$
- $\Delta H = 0,007 \text{ m}$

Průměrná odchylka na bodu 6:

- $\Delta Y = -0,016 \text{ m}$
- $\Delta X = 0,025 \text{ m}$
- $\Delta H = 0,014 \text{ m}$

### 3.2.3. Držení pozice „fixed“

Tímto testem bylo za cíl dokázat, zda je přijímač schopen udržet pozici „fixed“ při přechodu z nekrytého obzoru do zarostlé vegetace a spolehlivě určit souřadnice a výšky bodů v těchto podmínkách. K bodům 5 a 6 bylo pokaždé přistupováno ze stejného místa, které bylo vzdálené od konkrétního bodu zhruba patnáct metrů. Při postupném přibližování docházelo k přerušovanému výpadku, ale při stabilní poloze na bodu byl přijímač opět zafixován. Body 5 a 6 zaměřené tachymetricky byly určeny dvakrát, proto je v *Tab.26* uveden jejich aritmetický průměr, kde jsou zároveň uvedeny souřadnice a výšky bodů 5 a 6 určené metodou GNSS včetně absolutních odchylek.

*Tab.26 Souřadnice a výšky bodů 5, 6 zaměřené metodou GNSS včetně absolutních odchylek*

č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]	metoda
<b>6</b>	<b>745022,858</b>	<b>1040937,354</b>	<b>225,649</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>tachymetrie</b>
6	745022,868	1040937,381	225,619	-0,010	-0,027	0,030	GNSS
6	745022,859	1040937,357	225,635	-0,001	-0,003	0,014	GNSS
6	745022,850	1040937,360	225,620	0,008	-0,006	0,029	GNSS
6	745022,858	1040937,349	225,585	0,000	0,005	0,064	GNSS
č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]	metoda
<b>5</b>	<b>744965,620</b>	<b>1040971,312</b>	<b>222,353</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>tachymetrie</b>
5	744961,306	1040961,928	222,207	4,314	9,384	0,146	GNSS
5	744965,608	1040971,311	222,347	0,012	0,001	0,006	GNSS
5	744965,619	1040971,314	222,358	0,001	-0,002	-0,005	GNSS
5	744965,625	1040971,313	222,374	-0,005	-0,001	-0,021	GNSS
5	744965,629	1040971,315	222,369	-0,009	-0,003	-0,016	GNSS
5	744965,629	1040971,312	222,369	-0,009	0,000	-0,016	GNSS
5	744962,206	1040962,231	222,398	3,414	9,081	-0,045	GNSS
5	744965,626	1040971,317	222,368	-0,006	-0,005	-0,015	GNSS
5	744965,622	1040971,307	222,355	-0,002	0,005	-0,002	GNSS
5	744965,622	1040971,301	222,350	-0,002	0,011	0,003	GNSS

Měření bylo testováno robustní metodou podle normy L1 [3]. Oranžově označené hodnoty v *Tab.26* jsou odlehlé. Původním plánem bylo zaměřit každý bod opět desetkrát, ale po čtvrtém opakování na bodu 6 došlo k úplnému výpadku přijímaného signálu.

Byly vytvořeny aritmetické průměry absolutních odchylek z *Tab.26*.

Průměrná odchylka na bodu 5:

- $\Delta Y = -0,002$  m
- $\Delta X = 0,001$  m
- $\Delta H = -0,008$  m

Průměrná odchylka na bodu 6:

- $\Delta Y = -0,001$  m
- $\Delta X = -0,008$  m
- $\Delta H = 0,034$  m

### 3.2.4. Výsledky

Celkem byla vyloučena tři odlehlá měření, která byla prověřena robustní metodou podle normy L1 [3]. Finálním produktem tohoto experimentu jsou směrodatné odchylky na bodech 5 a 6 v *Tab.27*:

*Tab.27 Směrodatné odchylky z měření v nepříznivých podmínkách*

č. b.	směrodatná odchylka [mm]		metoda určení
	souřadnicová	výšková	
5	6,0	10,1	držení "fixed"
5	7,4	11,3	po ztrátě signálu
č. b.	směrodatná odchylka [mm]		metoda určení
	souřadnicová	výšková	
6	11,0	21,1	držení "fixed"
6	10,5	24,8	po ztrátě signálu

### 3.3. Ověření ztráty přesnosti

Tímto experimentem byla snaha ověřit ztrátu přesnosti při statické poloze přijímače se zapnutým kompenzátozem v náklonu zhruba 30° od svislice (*Obr. 9*). Přístroj byl opřen, tudíž nedocházelo k žádnému pohybu. Pro správné fungování IMU se musela jednotka zinicizovat krátkým pohybem. Měření probíhalo v absolutně odkrytém obzoru, aby přesnost přijímače nebyla narušena vnějšími vlivy. Každou minutu byla měřena pětivteřinová observace v obou sériích. Hrot tyčky přijímače byl postaven náhodně, protože v tomto případě je určována relativní přesnost od počátečního měření, tudíž není potřeba znát „správné“ souřadnice bodu, na kterém jsou prováděné observace. Testování bylo prováděno v katastrálním území Radnice u Rokycan.

Byly provedeny dvě série měření:

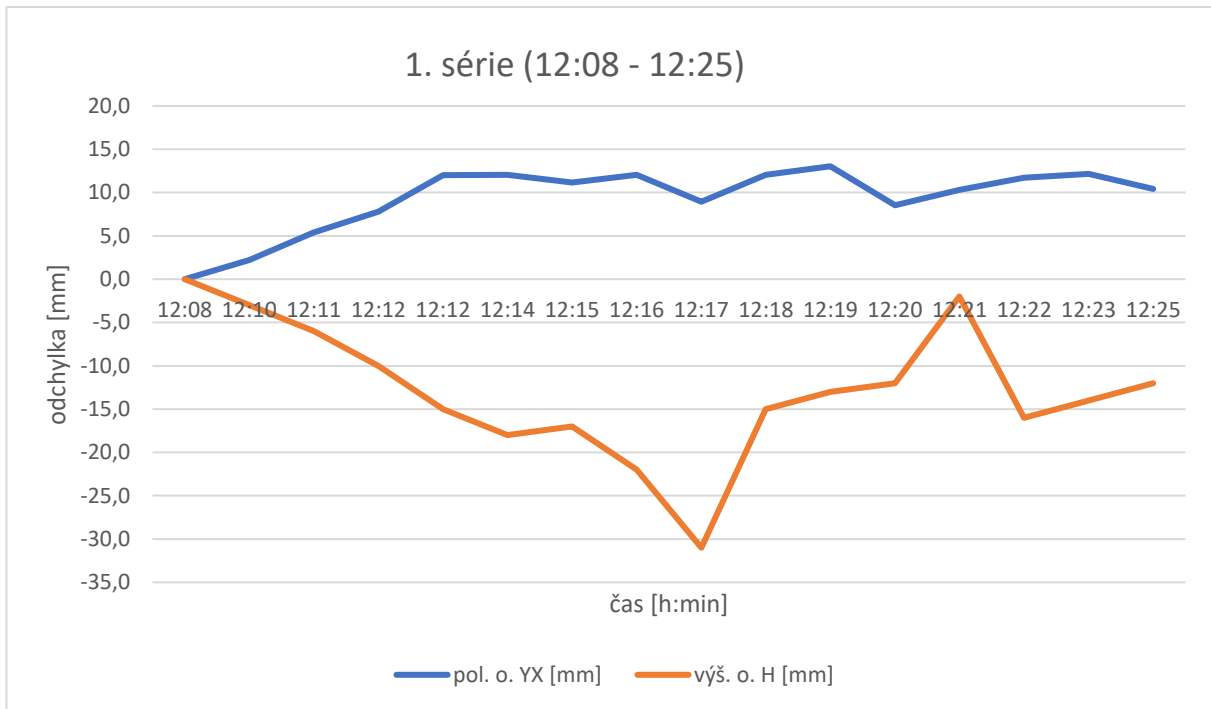
- první série v čase 12:08 – 12:25
- druhá série v čase 12:28 – 13:15

Bylo plánováno zaměřit pouze první sérii, ale bylo zajímavé, že se přesnost neztrácí ani po takové době, takže byla pro jistotu ještě provedena druhá. V diplomové práci „Testování přesnosti a využitelnosti GNSS přijímače Leica GS18“ od Bc. Jana Myslivce [10] se přesnost ztratila téměř po pěti minutách, ovšem u testovaného přístroje tomu tak není. Jak už bylo zmíněno na začátku (2.1), přijímač disponuje třemi gyroskopy a třemi akcelerometry, čímž předpokládáme lepší přesnost IMU v závislosti na statické poloze přijímače.

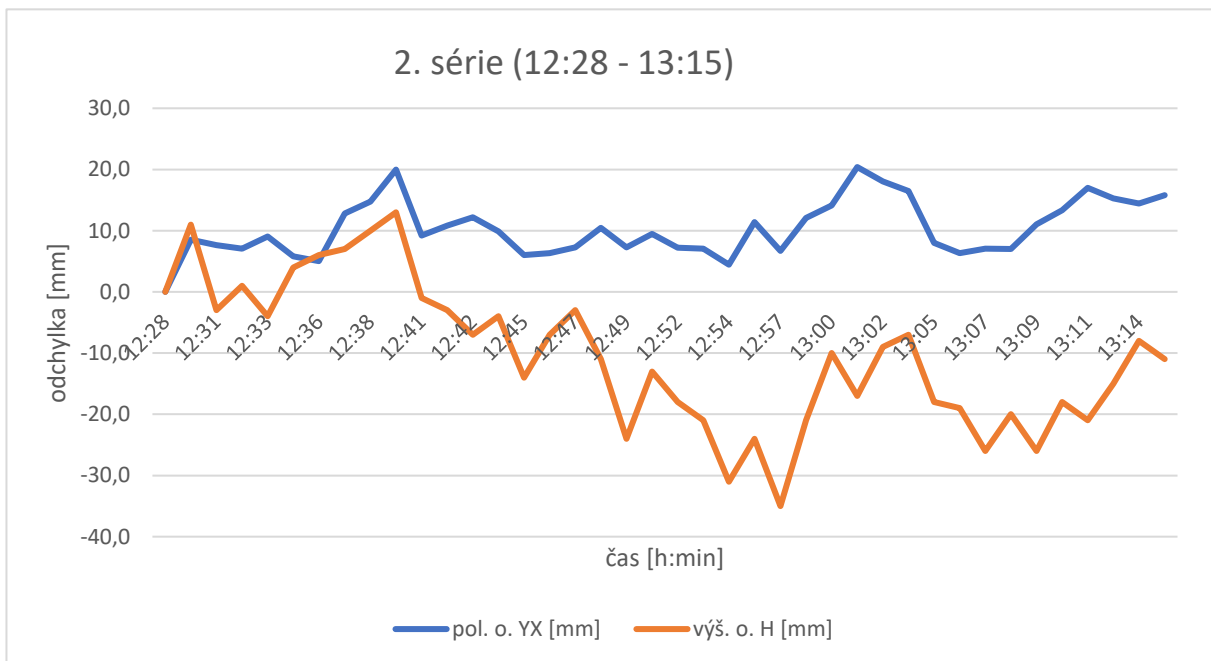


Obr. 9 GNSS přijímač s náklonem 30°

Pro tento experiment nebyly počítány směrodatné odchylky, jako znázornění přesnosti bylo lepší použít grafy (*Graf 1* a *Graf 2*), kde je přesnost přijímače závislá na časové prodlevě. Byly vytvořeny grafy pro obě série měření:



*Graf 1 Relativní přesnost přijímače závislá na časové prodlevě (1. série)*



*Graf 2 Relativní přesnost přijímače závislá na časové prodlevě (2. série)*



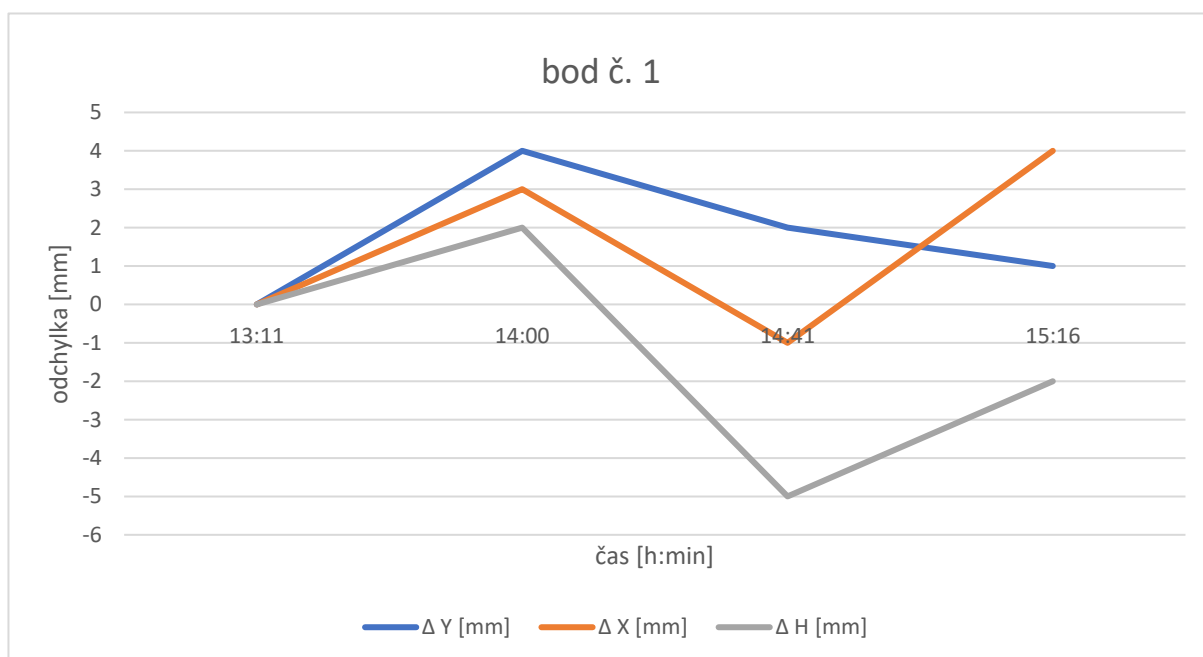
## 4. Vliv času na určení polohy bodu

V této kapitole budou vizualizovány posuny bodů od první série (3.1.1), jelikož k posunům dochází automaticky kvůli pohybu a konfiguraci družic. Čím větší je časová prodleva, tím jsou souřadnice a výšky různé. Nutno říct, že GNSS přijímač má svoji omezenou přesnost. Je potřeba brát odchylky s rezervou, protože se zde neprojeví chyba pouze z pohybu a konfigurace družic.

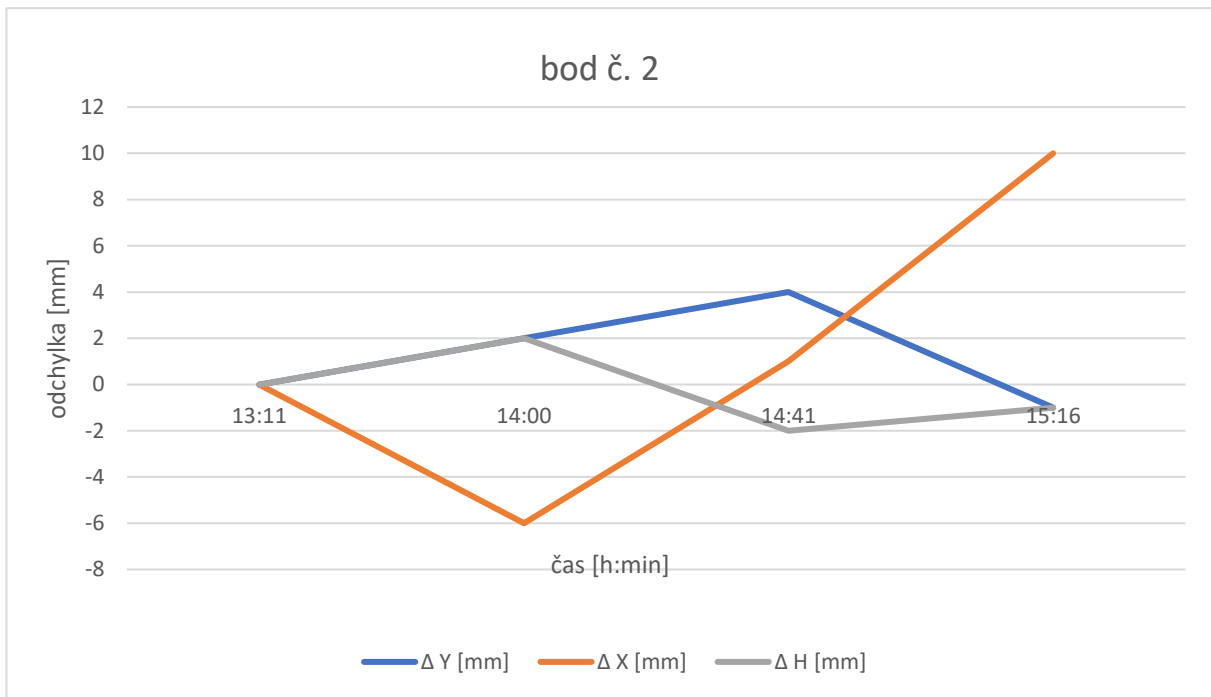
V našem případě byla časová prodleva zhruba tři hodiny mezi první a čtvrtou sérií, zaměření proběhlo první den:

- 1. série - vypnutý kompenzátor ve svislé poloze (12:38 – 13:40)
- 2. série - zapnutý kompenzátor ve svislé poloze (13:47 – 14:13)
- 3. série - zapnutý kompenzátor s náklonem 30° v pohybu (14:19 – 15:04)
- 4. série - zapnutý kompenzátor s náklonem 30° bez pohybu (15:06 – 15:26)

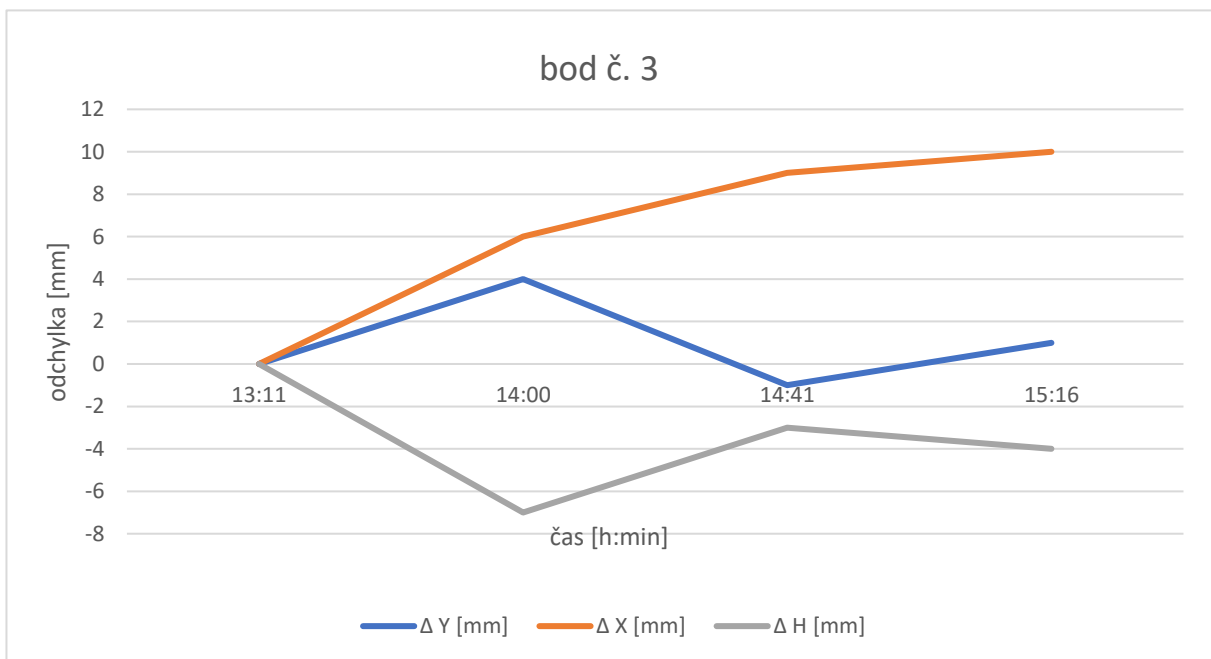
Další dvě série (3.1.5 a 3.1.6), které byly provedeny s náklonem 90°, raději nebudou použity, protože doporučený náklon přijímače je pouze 0° až 30°. Dá se tedy předpokládat, že se na výsledky z tohoto intervalu můžeme spolehnout. Pro body 1, 2, 3, 4 byly vytvořeny grafy (Graf 3 až Graf 6), kde jsou znázorněny odchylky souřadnic Y, X a výšky H od první série (3.1.1). Pro každou sérii byly vloženy aritmetické průměry polohy bodů a čas byl volen jako průměr časového úseku pro danou sérii.



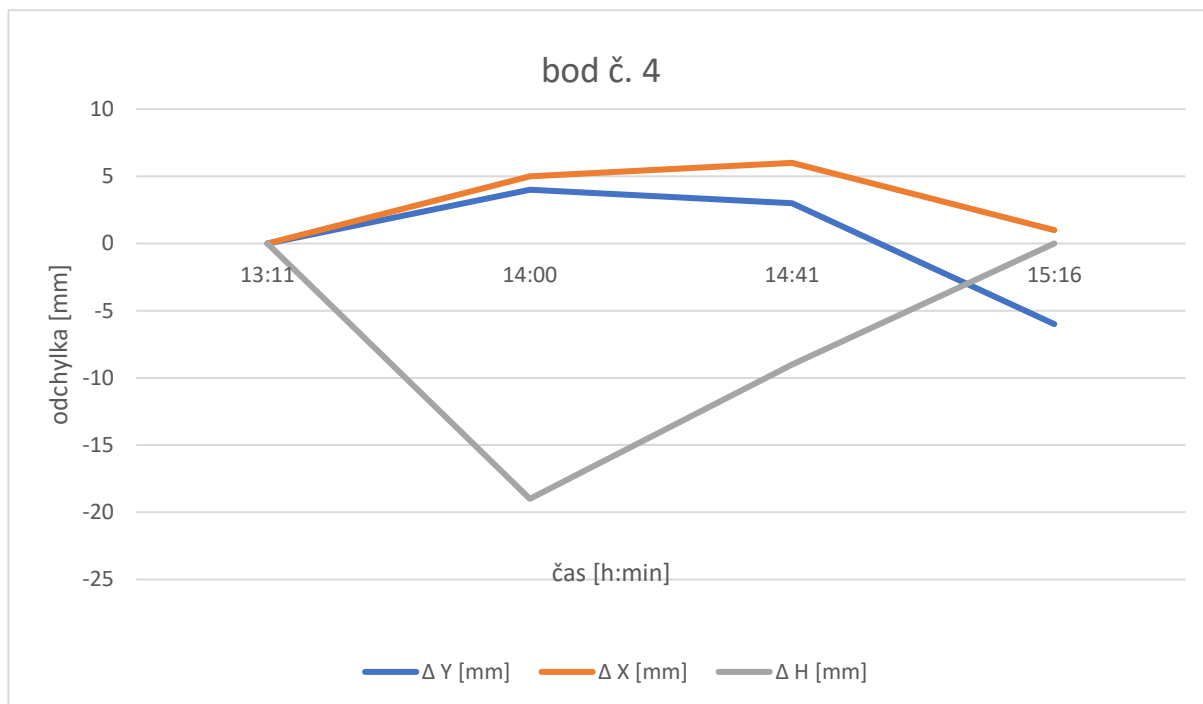
Graf 3 Vliv času na polohu bodu č. 1



*Graf 4 Vliv času na polohu bodu č. 2*



*Graf 5 Vliv času na polohu bodu č. 3*



*Graf 6 Průběh přesnosti na bodu č. 4*

Cílem bylo graficky znázornit průběh přesnosti čtyř nejspolehlivějších měřených sérií a eventuálně najít systematickou chybu vzhledem k pohybu a konfiguraci družic na bodech 1, 2, 3, 4. V tomto případě nebude brán ohled na eliminaci tohoto rozptylu přesnosti, vzhledem k tomu, že není provedeno druhé měření (s vypnutým kompenzátořem ve svislé poloze) na konci.

# Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo komplexně ověřit přesnost a spolehlivost GNSS přijímače se zabudovanou inerciální měřickou jednotkou při určování bodů. Měření bylo prováděno v různých polohách a situacích přijímače.

V prvním experimentu byla v plné míře otestována přesnost a spolehlivost inerciální měřické jednotky při různých náklonech a polohách přijímače.

Ve druhém experimentu bylo cílem otestovat zejména technologii Trimble 360, která rozpoznává rušené a falešné signály na 672 kanálech, čímž zlepšuje přesnost při měření ve zhoršených podmínkách. Dále testování bylo spojeno s dobou navázání a ztráty signálu v těchto podmínkách.

Třetí experiment byl pojat jako ověření, zda se bude ztrácet přesnost přijímače úměrně s časovou prodlevou při statické poloze. Podstatou testování byla inerciální měřická jednotka, která potřebuje obecně ke svému fungování pohyb.

## Důležité poznatky z prvního experimentu:

Směrodatná souřadnicová odchylka  $\sigma_{XY}$ :

- vypnutá kompenzace, svisle – 7,6 mm (první den), 8,2 mm (druhý den)
- zapnutá kompenzace, svisle – 10,8 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 30°, bez pohybu – 6,5 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 30°, pohyb – 10,3 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 90°, bez pohybu – 14,4 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 90°, pohyb – 9,6 mm (první den), 17,4 mm (druhý den)

Směrodatná odchylka výšky  $\sigma_H$ :

- vypnutá kompenzace, svisle – 10,0 mm (první den), 8,1 mm (druhý den)
- zapnutá kompenzace, svisle – 11,8 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 30°, bez pohybu – 9,7 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 30°, pohyb – 12,8 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 90°, bez pohybu – 19,1 mm
- zapnutá kompenzace, náklon 90°, pohyb – 15,0 mm (první den), 13,5 mm (druhý den)

Ze směrodatných odchylek je patrné, že nejpřesnější výsledky jsou z intervalu 0° až 30° pro polohu i výšku, čímž byl ověřen fakt, že je tento náklon doporučený. Statická poloha přijímače neměla vliv na přesnost měření. Směrodatné odchytky s náklonem 90° jsou méně přesné, ovšem pro účely katastru nemovitostí tato přesnost bohatě postačí.

Největší rozdíl mezi směrodatnými odchylkami byl při měření se zapnutým kompenzátozem v pohybu při 90° náklonu 23,8 mm v poloze a 11,4 mm ve výšce.

Nejmenší rozdíl mezi směrodatnými odchylkami byl při měření s vypnutým kompenzátozem ve svislé poloze 0,1 mm v poloze a při měření se zapnutým kompenzátozem v pohybu při 90° náklonu 0,3 mm ve výšce.

### **Důležité poznatky z druhého experimentu:**

Při odkrytém obzoru na bodech 1 a 4 se doba navázání příjmu signálu pohybovala v rozmezí 6 až 9 s, naopak ztráta se pohybovala v rozmezí 4 až 6 s. Pod zarostlými korunami stromů na bodech 5 a 6 byla doba příjmu 7 až 12 s, signál se ztrácel v rozmezí 3 až 7 s. Tímto testováním byl ověřen předpoklad, že přijímači trvá déle navázat signál v zarostlé vegetaci než při odkrytém obzoru, konkrétně zhruba o dvě vteřiny. Signál se v obou prostředích ztrácel téměř ve stejnou dobu. Uživatel by si měl dát pozor na měření během ztráty signálu, protože zelená ikonka „Fixed“ svítí na displeji ještě chvíli po tom, co dojde ke ztrátě. Pokud by byla stihnuta observace, je pravděpodobné, že výsledky nebudou spolehlivé.

Z měření GNSS přijímačem je na bodu 5 směrodatná souřadnicová odchylka 6,0 mm a 7,4 mm, směrodatná výšková odchylka 10,1 a 11,3 mm. Na bodu 6 je směrodatná souřadnicová odchylka 11,0 mm a 10,5 mm, směrodatná výšková odchylka 21,1 mm a 24,8 mm. Směrodatné odchylky na bodu 6 jsou obecně vyšší než na bodu 5, čímž byl ověřen další předpoklad vzhledem k různé vegetaci na bodech.

#### **Důležité poznatky ze třetího experimentu:**

Nejvyšší vypočtená polohová odchylka od počátečního měření byla 12,2 mm, výšková odchylka 31,0 mm. Na displeji po skončení měření bylo zaregistrováno zhoršení v poloze o 4 mm a ve výšce o 1 mm v obou etapách, které trvaly 17 a 47 minut. Tento experiment se nepovedlo ověřit z důvodu lépe ošetřené inerciální měřické jednotky v přijímači, která je imunní vůči statické poloze. Uživatel se tím pádem nemusí bát měření dlouhých observací, aniž by musel s přístrojem jakkoli hýbat a inicializovat ho neustále v prostoru, měření se tak stává o něco pohodlnější.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Trimble R12i with SiteVision | Trimble Geospatial. *Trimble Geospatial | Transforming the Way the World Works* [online]. Copyright © Copyright 2021, Trimble Inc. Alle Rechte vorbehalten. [cit. 11.05.2021]. Dostupné z: <https://de.geospatial.trimble.com/r12i-sitevision>
- [2] Trimble R12i GNSS System. Trimble R12i GNSS System [online]. Copyright © Copyright 2020 Trimble Inc. All rights reserved. [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://r12i.trimble.com/>
- [3] Speciální geodézie [online]. Copyright © [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH2/Tch2\\_pred\\_4\\_Robust.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH2/Tch2_pred_4_Robust.pdf)
- [8] GEFOS Leica | GMP111-0 sada mini-hranolu s nulovou konstantou s mini-výtyčkou. *GEFOS Leica | Oficiální zastoupení* [online]. Copyright © 2011 [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: [https://www.gefos-leica.cz/e-shop/prislusenstvi-geodeticke/odrazne-hranoly-a-stitky/gmp111-0-sada-mini-hranolu-s-nulovou-konstantou-s-mini-vytyckou\\_\\_\\_642534](https://www.gefos-leica.cz/e-shop/prislusenstvi-geodeticke/odrazne-hranoly-a-stitky/gmp111-0-sada-mini-hranolu-s-nulovou-konstantou-s-mini-vytyckou___642534)
- [9] Trimble R12i GNSS System [online]. Copyright ©H [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://r12i.trimble.com/img/Trimble%20R12i%20Customer%20FAQs.pdf>
- [10] MYSLIVEC, Jan. Testování přesnosti a využitelnosti GNSS přijímače Leica GS18 [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-5-13]. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie. Vedoucí práce Ing. Martin Štroner, Ph.D.

## Seznam zkratek

GNSS	globální navigační satelitní systém
GPS	globální polohový systém
GLONASS	globální navigační satelitní systém (Ruská federace)
IMU	inerciální měřická jednotka
RTK	real time kinematic
S-JTSK	System jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Balt po vyrovnání
ppm	parts per million



# Seznam obrázků

Obr. 1: Přehledka bodového pole v softwaru GEUS

Obr. 2: Stabilizace bodů 1 až 6

Obr. 3: GNSS přijímač Trimble R12i s kontrolerem [1]

Obr. 4: Další příslušenství k měření

Obr. 5: Stabilizace minihranolu na bodech 1 až 6

Obr. 6: Minihranol Leica GMP111

Obr. 7: Vegetace na bodech 5, 6

Obr. 8: GNSS přijímač Trimble R12i stabilizovaný ve stojánku na bodu 6

Obr. 9: GNSS přijímač s náklonem 30°

# Seznam tabulek

- Tab.1 Vypnutý kompenzátor, svislá poloha – odchylky souřadnic a výšek
- Tab.2 Vypnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek z 1. dne
- Tab.3 Vypnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek z 2. dne
- Tab.4 Zapnutý kompenzátor, svislá poloha – odchylky souřadnic a výšek
- Tab.5 Zapnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek
- Tab.6 Zapnutý kompenzátor, svislá poloha – porovnání směr. odchylek dvou sérií
- Tab.7 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, bez pohybu – odchylky souřadnic a výšek
- Tab.8 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek
- Tab.9 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek dvou sérií
- Tab.10 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, pohyb – odchylky souřadnic a výšek
- Tab.11 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, pohyb – porovnání směr. odchylek
- Tab.12 Zapnutý kompenzátor, náklon 30°, pohyb – porovnání směr. odchylek dvou sérií
- Tab.13 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, bez pohybu – odchylky souřadnic a výšek
- Tab.14 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek
- Tab.15 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, bez pohybu – porovnání směr. odchylek dvou sérií
- Tab.16 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – odchylky souřadnic a výšek
- Tab.17 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – rozdíl souřadnic a výšek mezi oběma dny měření
- Tab.18 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směr. odchylek, 1. den
- Tab.19 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směr. odchylek, 2. den
- Tab.20 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směrodatných odchylek dvou sérií, 1. den
- Tab.21 Zapnutý kompenzátor, náklon 90°, pohyb – porovnání směrodatných odchylek dvou sérií, 2. den

Tab.22 Souřadnice a výšky bodů 5, 6 zaměřené tachymetricky

Tab.23 Časy ztráty a příjmu signálu na bodech 5, 6

Tab.24 Časy ztráty a příjmu signálu na bodech 1, 4

Tab.25 Souřadnice a výšky bodů 5, 6 zaměřené metodou GNSS včetně absolutních odchylek

Tab.26 Souřadnice a výšky bodů 5, 6 zaměřené metodou GNSS včetně absolutních odchylek

Tab.27 Směrodatné odchylky z měření v nepříznivých podmínkách

## Seznam grafů

- Graf 1      Relativní přesnost přijímače závislá na časové prodlevě (1. série)
- Graf 2      Relativní přesnost přijímače závislá na časové prodlevě (2. série)
- Graf 3      Vliv času na polohu bodu č. 1
- Graf 4      Vliv času na polohu bodu č. 2
- Graf 5      Vliv času na polohu bodu č. 3
- Graf 6      Průběh přesnosti na bodu č. 4

# Seznam příloh

- Příloha 1: Kompletní GNSS protokol
- Příloha 2: Výpočetní protokol volného stanoviska v programu GROMA
- Příloha 3: Ukázkový skript robustní metody dle normy L1 v programu MATLAB
- Příloha 4: Ukázková tabulka výpočtu směrodatných odchylek v programu Excel
- Příloha 5: Protokol z měření totální stanicí
- Příloha 6: Seznam souřadnic prostorové polární metody

# Příloha 1: Kompletní GNSS protokol

## PROTOKOL GNSS (RTK) MERENI

Firma: GEOTRONICS Praha, s.r.o.  
Pikovicka 206/11  
147 00 Praha 4

Zakazka: bakalarka  
Meril:  
Datum: 01.03.2021

Přístroj: Trimble R12i, fw: 6.08, vyr. c.: 6104F01532

Trimble General Survey SW: 21.00

Verze protokolu: 4.95

Souradnicovy system: Pouzit transformacni modul zpsrenene globalni transformace Trimble 2018 verze 1.0 schvaleny CUZK pro mereni od 1.1.2018

Zona: Krovak\_2018

Soubor rovinné dotransformace: KG2018

## Vertikalni transformace

Model kvazigeoidu: CR2005

POUZITE A MERENE BODY

Cislo bodu	Y	X	Z	Presnost XY	Presnost Z	PDOP	Sit*	Pocet sat.	Antena vyska;	Datum od**	Zacatek mereni	Doba mereni[s]	Kod bodu
4001	-744902.260	-1040952.688	219.616	0.012	0.011	1.42	1 VRS	18	2.00	01.03	12:38	5	vypnak,svisle
4002	-744909.287	-1040942.474	219.761	0.010	0.010	1.37	1 VRS	19	2.00	01.03	12:41	5	vypnak,svisle
4003	-744929.481	-1040936.406	220.545	0.010	0.009	1.44	1 VRS	18	2.00	01.03	12:43	5	vypnak,svisle
4004	-744937.672	-1040932.173	220.960	0.009	0.009	1.48	1 VRS	17	2.00	01.03	12:44	5	vypnak,svisle
4001.1	-744902.261	-1040952.698	219.620	0.007	0.007	1.34	1 VRS	19	2.00	01.03	12:51	5	vypnak,svisle

## Příloha 2: Výpočetní protokol volného stanoviska z programu GROMA

Orientace osnovy na bodě 4007:

Bod	Y	X	Z
4007	744968.915	1040966.233	224.244

Orientace:

Bod	Y	X	Z
5002	744909.287	1040942.478	219.762
5003	744929.478	1040936.398	220.548
5004	744937.676	1040932.174	220.961

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
5002	388.6266	275.8648	0.0002	64.195	-0.009	-0.002	0.0001 *
5003	371.5306	258.7685	-0.0001	49.457	-0.006	-0.001	0.0003
5004	360.0146	247.2524	-0.0002	46.223	-0.007	0.001	0.0002

Orientační posun : 287.2380g  
 $m_0 = \text{SQRT}([vv]/(n-1))$  : 0.0002g  
 $\text{SQRT}([vv]/(n*(n-1)))$  : 0.0001g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0002, Mezní hodnota: 0.0800  
 Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Orientace osnovy na bodě 4008:

Bod	Y	X	Z
4008	744968.910	1040966.236	224.244

Orientace:

Bod	Y	X	Z
5002	744909.287	1040942.478	219.762
5003	744929.478	1040936.398	220.548
5004	744937.676	1040932.174	220.961

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
5002	388.6171	275.8602	0.0001	64.191	-0.009	-0.002	0.0002
5003	371.5184	258.7615	0.0001	49.455	-0.006	-0.001	0.0002
5004	360.0017	247.2445	-0.0002	46.221	-0.006	0.002	0.0000 *

Orientační posun : 287.2430g  
 $m_0 = \text{SQRT}([vv]/(n-1))$  : 0.0002g  
 $\text{SQRT}([vv]/(n*(n-1)))$  : 0.0001g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0002, Mezní hodnota: 0.0800  
 Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

### Příloha 3: Výpočetní skript robustní metody dle normy L1 v programu MATLAB

```
clear;clc
format long g

%% VYPNUTY NAKLON, SVISLE - 4001 (1. DEN)
% mereni (Y X Z)
mereni_4001 = [744902.260 1040952.688 219.616
              744902.261 1040952.698 219.620
              744902.266 1040952.684 219.610
              744902.250 1040952.699 219.621
              744902.247 1040952.685 219.617
              744902.260 1040952.685 219.615
              744902.261 1040952.678 219.624
              744902.264 1040952.673 219.623
              744902.258 1040952.685 219.620
              744902.266 1040952.681 219.615];

% presnost mereni (m)
s_d = 0.025;

% konstanty
c = 2;
u_p = 2;
vaha = 1;

% aritmeticky prumer
pocet = length(mereni_4001);
prumer_Y_4001 = sum(mereni_4001(:,1)) / pocet;

while abs(prumer_Y_4001 - vaha) > 0.00001;
    for i = 1:pocet
        z_Y_4001(i) = mereni_4001(i,1) * vaha;
    end

    vazeny_prumer_Y_4001 = sum(z_Y_4001) / (pocet * vaha);
    opravy_Y_4001 = abs(vazeny_prumer_Y_4001 - mereni_4001(:,1));
    opravy_norm_Y_4001 = opravy_Y_4001 / s_d;

    for i = 1:pocet;
        if opravy_norm_Y_4001(i) <= c
            vaha(i) = 1;
        else vaha(i) = c / opravy_norm_Y_4001(i);
        end
    end
end
```



```

    vaha = vaha';
    p = prumer_Y_4001;
    prumer_Y_4001 = vaha;
    vaha = p;
end

% maximalni oprava
max_Y_4001 = u_p * s_d;

for i = 1:pocet
    if opravy_Y_4001(i) >= max_Y_4001
        kontrola(i,2) = 0;
        kontrola(i,1) = i;
    else kontrola(i,2) = 1;
        kontrola(i,1) = i;
    end
end

vaha;
mereni_2 = mereni_4001(:,1);

mereni_spravne_Y_4001 = mereni_4001(:,1);

pocet_2_Y_4001 = length(mereni_spravne_Y_4001);

vaha_2 = vaha;

for i = 1:pocet_2_Y_4001
    z_2_Y_4001(i) = mereni_spravne_Y_4001(i) * vaha_2(i);
end

z_2_Y_4001 = z_2_Y_4001';
vazeny_prumer_2_Y_4001 = sum(z_2_Y_4001) / sum(vaha_2);

for i = 1:pocet_2_Y_4001
    opravy_2_Y_4001(i,1) = vazeny_prumer_2_Y_4001 - mereni_spravne_Y_4001(i);
end

ctverce_oprav_Y_4001 = opravy_2_Y_4001.^2;
suma_ctvercu_Y_4001 = sum(ctverce_oprav_Y_4001);

smer_odch_Y_4001 = sqrt((suma_ctvercu_Y_4001) / (pocet_2_Y_4001 - 1));

vyloucene_hodnoty_Y_4001 = pocet - pocet_2_Y_4001;

```

## Příloha 4: Ukázková tabulka výpočtu směrodatných odchylek v programu Excel

1. TEST - VYPNUTÝ KOMPENZÁTOR, SVISLÁ POLOHA (1. DEN)															
Č.b.	Y (m)	X (m)	H (m)	Č.b.	Y (m)	X (m)	H (m)	Č.b.	Y (m)	X (m)	H (m)	Č.b.	Y (m)	X (m)	H (m)
4001	744902,260	1040952,688	219,616	4002	744909,287	1040942,474	219,761	4003	744929,481	1040936,406	220,545	4004	744937,672	1040932,173	220,960
4001	744902,261	1040952,698	219,620	4002	744909,288	1040942,484	219,768	4003	744929,478	1040936,404	220,547	4004	744937,677	1040932,175	220,950
4001	744902,266	1040952,684	219,610	4002	744909,290	1040942,473	219,756	4003	744929,480	1040936,397	220,535	4004	744937,682	1040932,173	220,953
4001	744902,250	1040952,699	219,621	4002	744909,277	1040942,479	219,763	4003	744929,474	1040936,402	220,544	4004	744937,679	1040932,180	220,943
4001	744902,247	1040952,685	219,617	4002	744909,285	1040942,484	219,768	4003	744929,480	1040936,401	220,540	4004	744937,688	1040932,176	220,939
4001	744902,260	1040952,685	219,615	4002	744909,286	1040942,476	219,770	4003	744929,477	1040936,402	220,536	4004	744937,650	1040932,197	220,987
4001	744902,261	1040952,678	219,624	4002	744909,292	1040942,477	219,768	4003	744929,482	1040936,390	220,545	4004	744937,651	1040932,175	220,988
4001	744902,264	1040952,673	219,623	4002	744909,295	1040942,466	219,758	4003	744929,480	1040936,392	220,548	4004	744937,666	1040932,177	220,969
4001	744902,258	1040952,685	219,620	4002	744909,293	1040942,474	219,769	4003	744929,484	1040936,402	220,553	4004	744937,669	1040932,171	220,968
4001	744902,266	1040952,681	219,615	4002	744909,298	1040942,471	219,753	4003	744929,489	1040936,395	220,532	4004	744937,680	1040932,161	220,947
4001	744902,259	1040952,686	219,618	4002	744909,289	1040942,476	219,763	4003	744929,481	1040936,399	220,543	4004	744937,671	1040932,176	220,960
opravy	-0,001	-0,002	0,002	opravy	0,002	0,002	0,002	opravy	0,000	-0,007	-0,002	opravy	-0,001	0,003	0,000
	-0,002	-0,012	-0,002		0,001	-0,008	-0,005		0,003	-0,005	-0,004		-0,006	0,001	0,010
	-0,007	0,002	0,008		-0,001	0,003	0,007		0,001	0,002	0,008		-0,011	0,003	0,007
	0,009	-0,013	-0,003		0,012	-0,003	0,000		0,007	-0,003	-0,001		-0,008	-0,004	0,017
	0,012	0,001	0,001		0,004	-0,008	-0,005		0,001	-0,002	0,003		-0,017	0,000	0,021
	-0,001	0,001	0,003		0,003	0,000	-0,007		0,004	-0,003	0,007		0,021	-0,021	-0,027
	-0,002	0,008	-0,006		-0,003	-0,001	-0,005		-0,001	0,009	-0,002		0,020	0,001	-0,028
	-0,005	0,013	-0,005		-0,006	0,010	0,005		0,001	0,007	-0,005		0,005	-0,001	-0,009
	0,001	0,001	-0,002		-0,004	0,002	-0,006		-0,003	-0,003	-0,010		0,002	0,005	-0,008
	-0,007	0,005	0,003		-0,009	0,005	0,010		-0,008	0,004	0,011		-0,009	0,015	0,013
kvadrát	0,00000049	0,00000576	0,00000441	kvadrát	0,00000441	0,00000324	0,00000576	kvadrát	0,00000025	0,00004761	0,00000625	kvadrát	0,00000036	0,00000784	0,00000016
	0,00000289	0,00015376	0,00000361		0,00000121	0,00006724	0,00002116		0,00000625	0,00002401	0,00002025		0,00000136	0,00000064	0,00010816
	0,00004489	0,00000256	0,00006561		0,00000081	0,00000784	0,00005476		0,00000025	0,00000441	0,00005625		0,00011236	0,00000784	0,000005476
	0,00008649	0,00017956	0,00000841		0,00014641	0,00001024	0,00000016		0,00004225	0,00000841	0,00000225		0,00005776	0,00001764	0,00030276
	0,00015129	0,00000036	0,00000121		0,00001681	0,00006724	0,00002116		0,00000025	0,00000361	0,00000625		0,00027556	0,00000004	0,00045796
	0,00000049	0,00000036	0,00000961		0,00000961	0,00000004	0,00004356		0,00001225	0,00000841	0,00004225		0,00045796	0,00044944	0,00070756
	0,00000289	0,00005776	0,00003481		0,00000841	0,00000144	0,00002116		0,00000225	0,00008281	0,00000625		0,00041616	0,00000064	0,00076176
	0,00002209	0,00015876	0,00002401		0,00003481	0,00009604	0,00002916		0,00000025	0,00005041	0,00003025		0,00002916	0,00000144	0,00007396
	0,00000169	0,00000036	0,00000361		0,00001521	0,00000324	0,00003136		0,00001225	0,00000841	0,00011025		0,00000576	0,00002304	0,00005776
	0,00004489	0,00002116	0,00000961		0,00007921	0,00002304	0,00010816		0,00007225	0,00001681	0,00011025		0,00007396	0,00021904	0,00017956
suma	0,000358	0,000580	0,000165	suma	0,000317	0,000280	0,000336	suma	0,000148	0,000255	0,000390	suma	0,001460	0,000728	0,002704
sm.o.v. YXZ	0,0063	0,0080	0,0043	sm.o.	0,0059	0,0056	0,0061	sm.o.	0,0041	0,0053	0,0066	sm.o.	0,0127	0,0090	0,0173
souf.o. YX	0,0072				0,0058				0,0047				0,0110		
kvadrát	0,00005214	0,00001832		kvadrát	0,00003314	0,00003738		kvadrát	0,00002241	0,00004339		kvadrát	0,00012156	0,00030049	
suma kvad.	0,00022924	0,00039958													
souf.o. YXZ	0,0076	0,0100													

## Příloha 5: Protokol z měření totální stanice

### Protokol měření

Název jobu	01032021
Verze	12.22
Jednotky délek	Metry
Jednotky úhlů	Grady
Jednotky tlaku	mbar
Jednotky teploty	Celsius

Souřadnicový systém (Job)

Systém	
Zóna	
Systém	

Zobrazení

Zobrazení	Pouze měřítkový faktor
Měřítko	1.00000000
Jižník (grid)	Ano
Grid souřadnice	Narůstá Jih-Západ

Transform. na místní body

Typ	Grid
-----	------

Transformace

Typ	Žádný
-----	-------

Získaná polní data

Korekce

Jižník (grid)	Ano
Grid souřadnice	Narůstá Jih-Západ
Magnetická deklinace	0.00000
Délky	Grid
Připojení na vztažné body	Off

Zobrazení

Zobrazení	Pouze měřítkový faktor
Měřítko	1.00000000

Transform. na místní body

Typ	Grid
-----	------

Transformace

Typ	Žádný
-----	-------

Přístroj

Typ přístroje	Trimble VX/S Series
Index refrakce dálkoměru	278.6
Vlnová délka dálkoměru	80.6
Mód vodorovného kruhu	Nastavit azimut
Přesnost vodorovného úhlu	0.00031
Přesnost zenitového úhlu	0.00031
EDM přesnost	1mm +1ppm

Přístroj

Typ přístroje	Trimble VX/S Series
Index refrakce dálkoměru	278.6
Vlnová délka dálkoměru	80.6
Mód vodorovného kruhu	Nastavit azimut
Přesnost vodorovného úhlu	0.00031
Přesnost zenitového úhlu	0.00031
EDM přesnost	1mm +1ppm

<b>Bod</b>	4007	<b>Y</b>		<b>X</b>		<b>Z</b>		<b>Kód</b>
Přístroj								
<b>Typ přístroje</b>	Trimble VX S Series							
<b>Index refrakce dálkoměru</b>	278.6							
<b>Vlnová délka dálkoměru</b>	80.6							
<b>Mód vodorovného kruhu</b>	Nastavit azimut							
<b>Přesnost vodorovného úhlu</b>	0.00031							
<b>Přesnost zenitového úhlu</b>	0.00031							
<b>EDM přesnost</b>	1mm +1ppm							
Atmosféra								
<b>Tlak</b>	981.00mbar	<b>Teplota</b>	3.0°C	<b>ppm</b>	-7.7	<b>Konstanta refrakce</b>		
Určení stanoviška								
<b>Staničení</b>	4007	<b>Výška přístroje</b>	0.000	<b>Typ stanoviška</b>	Určení stanoviška	<b>Měřitkový faktor</b>	1.00000000	<b>St. chyba</b>
Orientace								
<b>Stanoviško</b>	4007	<b>Orientační bod</b>	4001	<b>Korekce orientace</b>	0.00000	<b>Sm. odch. orientace</b>		<b>?</b>
<b>Bod (Or.)</b>	4001	<b>H<sub>z</sub></b>	0.00000	<b>V</b>	104.18960	<b>SD</b>	68.222	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					
Přístroj								
<b>Typ přístroje</b>	Trimble VX S Series							
<b>Index refrakce dálkoměru</b>	278.6							
<b>Vlnová délka dálkoměru</b>	80.6							
<b>Mód vodorovného kruhu</b>	Nastavit azimut							
<b>Přesnost vodorovného úhlu</b>	0.00031							
<b>Přesnost zenitového úhlu</b>	0.00031							
<b>EDM přesnost</b>	1mm +1ppm							
Atmosféra								
<b>Tlak</b>	981.00mbar	<b>Teplota</b>	3.0°C	<b>ppm</b>	-7.7	<b>Konstanta refrakce</b>		
Určení stanoviška								
<b>Staničení</b>	4007	<b>Výška přístroje</b>	0.000	<b>Typ stanoviška</b>	Určení stanoviška	<b>Měřitkový faktor</b>	1.00000000	<b>St. chyba</b>
Orientace								
<b>Stanoviško</b>	4007	<b>Orientační bod</b>	4001	<b>Korekce orientace</b>	0.00000	<b>Sm. odch. orientace</b>		<b>?</b>
<b>Bod (Or.)</b>	4001	<b>H<sub>z</sub></b>	0.00000	<b>V</b>	103.35000	<b>SD</b>	68.168	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					
<b>Bod</b>	4001.1	<b>H<sub>z</sub></b>	199.99950	<b>V</b>	296.64320	<b>SD</b>	68.169	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					
<b>Bod</b>	4002	<b>H<sub>z</sub></b>	388.63970	<b>V</b>	103.41180	<b>SD</b>	64.295	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					
<b>Bod</b>	4002.1	<b>H<sub>z</sub></b>	188.63890	<b>V</b>	296.58160	<b>SD</b>	64.295	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					
<b>Bod</b>	4001.2	<b>H<sub>z</sub></b>	0.00070	<b>V</b>	103.35020	<b>SD</b>	68.170	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					
<b>Bod</b>	4001.3	<b>H<sub>z</sub></b>	199.99960	<b>V</b>	296.64320	<b>SD</b>	68.170	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					
<b>Bod</b>	4003	<b>H<sub>z</sub></b>	371.59170	<b>V</b>	103.42700	<b>SD</b>	49.480	<b>Kód</b>
<b>St. chyby</b>		<b>H<sub>z</sub></b>	0.00031	<b>V</b>	0.00031	<b>SD</b>	0.001	
<b>Výška cíle</b>	0.000	<b>Konstanta hranolu</b>	-16.9mm					

## Příloha 6: Seznam souřadnic z prostorové polární metody

SEZNAM SOUŘADNIC					
Bod	Y [m]	X [m]	H [m]	KK	Popis
5	744965.620	1040971.312	222.353	3	určovaný bod
6	745022.858	1040937.354	225.649	3	určovaný bod
4007	744968.915	1040966.233	224.244	3	volné stanovisko
4008	744968.910	1040966.236	224.244	3	volné stanovisko
5001	744902.253	1040952.683	219.626	3	orientace GNSS
5002	744909.287	1040942.478	219.762	3	orientace GNSS
5003	744929.478	1040936.398	220.548	3	orientace GNSS
5004	744937.676	1040932.174	220.961	3	orientace GNSS