

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PRAHA 2016

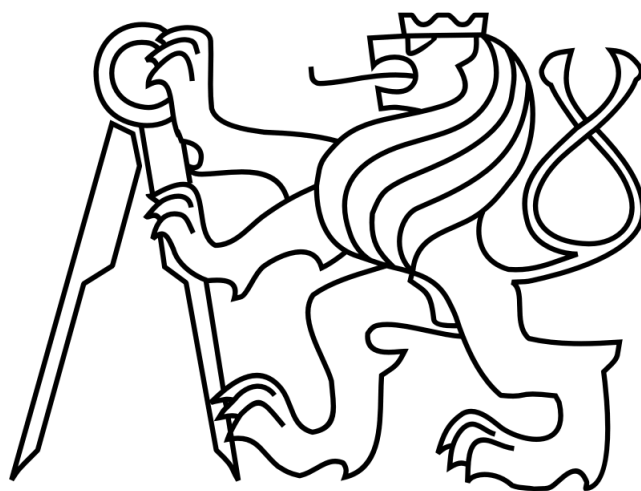
Jaroslav PYŠEK

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

POROVNÁNÍ AUTOMATICKÉHO A MANUÁLNÍHO CÍLENÍ  
VE ZKUŠEBNÍ SÍTI DVOJICÍ PŘÍSTOJŮ (Trimble S3)

Vedoucí práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Katedra speciální geodézie

Květen 2016

Jaroslav Pyšek



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: P Y Š E K Jméno: Jaroslav Osobní číslo: 396927  
Zadávací katedra: 11154 (speciální geodézie)  
Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
Studijní obor: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Porovnání automatického a manuálního cílení ve zkušební síti dvojicí přístrojů (Trimble S3)

Název diplomové práce anglicky: Comparison of Automatic and Manual Targeting in the Test Network by two Instruments (Trimble S3)

Pokyny pro vypracování:

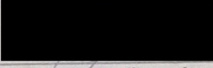
1. Výběr lokality a návrh tvaru zkušební sítě po předchozí rekognoscaci terénu
2. Opakované měření osnov vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek dvojicí totálních stanic stejného typu ve třech skupinách
3. Zpracování výsledků měření a jejich analýza
4. Určení souřadnic a výšek bodů sítě pomocí technologie GNSS (RTK) za účelem redukce délek a umístění sítě do roviny Křovákova zobrazení
5. Výpočet sítě s vyrovnáním MNČ v Matlabu (sestavení skriptu pro vyrovnání volné sítě)
6. Zhodnocení výsledků měření a závěry pro praxi


Seznam doporučené literatury:

- /1/ Böhlm, J. a kol.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990
- /2/ Ingeduld, M. a kol.: Geodézie - metody výpočtu a vyrovnání geodetických sítí. Praha, ČVUT 1990
- /3/ Skořepa, Z.: Geodézie 4. Praha, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2014

Jméno vedoucího diplomové práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Datum zadání diplomové práce: 22.2.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2016

  
Podpis vedoucího práce

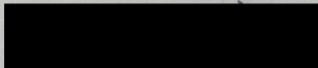
  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.*

3.3. 2016

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním dvojice přístrojů stejného typu Trimble S3 a dále porovnává jednotlivé metody cílení na různé hranoly. Výsledky byly testovány ve zkušební síti, která byla vyrovnána pomocí MNČ jako volná síť.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Volná síť, automatické a manuální cílení, Trimble S3, analýza oprav, vyrovnání metodou nejmenších čtverců, histogram

## ABSTRACT

Diplom thesis is focus on comparison of pair the same type total stations Trimble S3 and compares the each method of targeting to different prisms. The results was tested in test network, wich was equalised as a free network by method of least squares.

## KEYWORDS

Free network, automatic and manual targeting, Trimble S3, analysis of repairs, the method of least squares equalising, histogram

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Porovnání automatického a manuálního cílení ve zkušební síti dvojicí přístrojů (Trimble S3)“ jsem vypracoval samostatně. Seznam použité literatury a podklady jsou uvedeny v seznamu zdrojů.

V Praze dne .....

.....  
Jaroslav Pyšek

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Dr. Ing. Zdeňku Skořepovi za jeho čas pro konzultace, trpělivost a cenné rady při zpracování této práce. Také bych chtěl poděkovat Fakultě stavební ČVUT v Praze a firmě PYŠEK zeměměřické práce s.r.o. za zapůjčení měřického materiálu.

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Přístrojové vybavení</b> .....	<b>9</b>
1.1 Totální stanice Trimble S3 .....	9
1.1.1 Systém Autolock.....	9
1.2 Trimble R4 GNSS.....	11
1.3 Teploměr a tlakoměr .....	12
<b>2 Postup měření</b> .....	<b>13</b>
2.1 Lokalita měření a návrh sítě .....	13
2.1.1 Stabilizace bodů .....	13
2.2 Postup měření .....	14
2.2.1 Měření č. 1 .....	14
2.2.2 Měření č. 2 .....	15
<b>3 Zpracování měření</b> .....	<b>16</b>
3.1 Zpracování měřených směrů .....	16
3.1.1 Vodorovný směr.....	16
3.1.2 Zenitový úhel.....	16
3.2 Redukce délek .....	17
3.3 GNSS Trimble VRS now.....	21
<b>4 Vyrovnání</b> .....	<b>23</b>
4.1 Volná síť.....	23
4.2 Volba vah pro vyrovnání.....	23
4.3 Vyrovnání volné sítě .....	25
4.3.1 Sestavení normálních rovnic.....	27
4.3.2 Podmínky pro umístění sítě .....	30
<b>5 Analýza oprav</b> .....	<b>34</b>
5.1 Kovarianční matice .....	35
5.2 Analýza oprav .....	38
5.2.1 Histogramy měření č. 1 .....	41
5.2.2 Histogramy měření č. 2 .....	44
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>48</b>
<b>Seznam zdrojů</b> .....	<b>50</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>51</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>52</b>
<b>Seznam příloh</b> .....	<b>53</b>

# Úvod

Účelem této diplomové práce je porovnání dvojice totálních stanic typu Trimble S3. Přístroje jsou různě staré, přístroj č. 1 byl vyroben v roce 2014 (v. č. 91210565) a přístroj č. 2 v roce 2010 (v. č. 91210010). Pro účely firmy bylo třeba rozhodnout, jestli automatické cílení lze použít při přesném měření, a jaký je rozdíl vůči všesměrovému hranolu 360°. V okolí hranolů se nevyskytovaly žádné jiné odrazné prvky, na které by se totální stanice mohla chybně zacílit. Porovnání těchto dvou přístrojů bylo provedeno na základě měřených směrů a délek systémem Autolock (automatického cílení) a optického cílení ve zkušební síti o pěti bodech. Síť byla vyrovnána jako volná metodou nejmenších čtverců (MNČ). Výsledky vyrovnání nejsou ovlivněny podkladem a vyrovnávají se všechny body sítě.

Řešení normálních rovnic bylo provedeno pomocí rozkladu matice normálních rovnic. Sestavená matice plánu  $A$  ve volné síti má neúplnou hodnotu. Díky tomu je matice soustavy normálních rovnic singulární. Pro umístění sítě do roviny je nutné použít doplňující podmínky (v této práci ve variantě bod a směrník).

Dále proběhlo testování aposteriorních směrodatných odchylek měření. Závěrečné testování jednotlivých totálních stanic proběhlo na základě homogenizovaných oprav měření.



# 1 Přístrojové vybavení

Pro tuto diplomovou práci byly použity dvě totální stanice Trimble S3, dále GNSS přijímač Trimble R4 a digitální teploměr a tlakoměr. Přístroje a pomůcky byly zapůjčeny firmou PYŠEK zeměměřická práce s.r.o. a Fakultou stavební ČVUT.

## 1.1 Totální stanice Trimble S3



Obr. 1 Trimble S3

Pro měření byla použita dvojice totálních stanic stejného typu Trimble S3 (obr. 1). Odlišují se pouze na základě data výroby a přivedením do pracovního provozu. Mezi oběma přístroji je časové rozmezí kolem čtyř let, lze tedy předpokládat, že novější přístroj bude mít aktualizovaný a vylepšený software i provedení celé totální stanice. Technické parametry této totální stanice uváděné výrobcem jsou uvedeny v tab. 1 a v příloze č. 5. Tyto přístroje jsou vybaveny robotickým systémem, který byl použit při měření.

Tab. 1 Technické parametry přístroje [1]

Totální stanice TRIMBLE S3	
Přesnost měření směru	0,6 mgon
Přesnost měření délek na hranol	2 mm + 2 ppm

### 1.1.1 Systém Autolock

Autolock je systém pro automatické vyhledávání, cílení a sledování cíle. Je možné ho zapínat a vypínat dle potřeby a je funkční na všechny druhy hranolů. Je



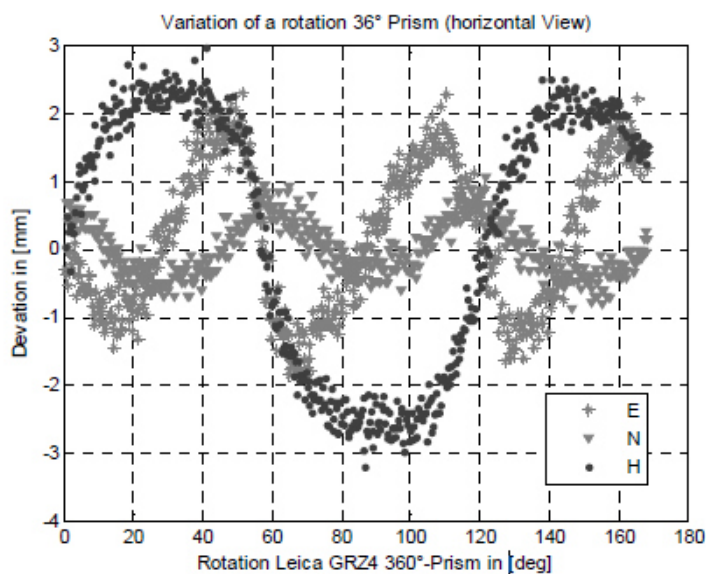
koaxiální se záměrnou osou dalekohledu. Při hrubém zacílení na hranol systém automaticky nalezne nejsilnější odražený signál, vysílaný z totální stanice, a docílí na daný hranol. [2]

Pomocí tohoto systému proběhla během měření zkouška přesnosti cílení na všesměrový hranol 360°. Bylo zjištěno, že vodorovný směr měřený na hranol se mění v závislosti na natočení hranolu. Tato zkouška byla provedena v terénu mezi body sítě 3 - 5 a 3 - 1. V následující tabulce jsou uvedeny maximální rozdíly  $\Delta_M$  měřeného směru a jejich příčná odchylka  $q$  na měřeném bodě. Měřeno bylo oběma přístroji. Výsledky byly totožné, proto jsou zde uvedeny pouze jedny hodnoty.

Tab. 2 Testování odchylek směru

<b>Odchylka na bodě vlivem maximálního rozdílu měřeného směru způsobeného různým natočením všesměrového hranolu 360°</b>			
Mezi body	Vzdálenost [m]	$\Delta_M$	$q$ [mm]
3 - 5	53,58	64 <sup>cc</sup>	5
3 - 1	168,64	19 <sup>cc</sup>	5

Podle tohoto testování můžeme říci, že přesnost měření vodorovného směru na všesměrový hranol 360° nezáleží na vzdálenosti. Záleží na natočení tohoto hranolu na totální stanici. Jsou různé typy všesměrových hranolů, dle článku [3] byl testován všesměrový hranol Leica GRZ4. Na obr. 2 jsou zobrazeny výsledky měření na tento typ hranolu, který je zde s krokem 0,3° postupně otáčen kolem své osy. Tmavé tečky (H) znázorňují výškové odchylky měření, šedé křížky (E) odchylky v měřené délce a trojúhelníky (N) zobrazují příčné odchylky v měřeném směru na daný bod. Měřeno bylo na vzdálenost 50 metrů a výsledky jsou uvedeny v milimetrech. Z grafu je patrné, že maximální příčná odchylka je kolem 4 mm. Při testování hranolu použitého pro tuto diplomovou práci, byly zjištěny podobné hodnoty. Lze tedy říci, že všesměrové hranoly jsou, co se týká přesnosti měřeného směru, podobné.



Obr. 2 Změna vodorovného směru v závislosti na otáčení hranolu

## 1.2 Trimble R4 GNSS

Pro určení rozměru a tvaru sítě a přibližných souřadnic v systému S - JTSK pro vyrovnání MNČ, byl použit přijímač Trimble R4 GNSS 3. generace. Korekce RTK byly přijímány pomocí sítě Trimble VRS Now Czech. Protokoly určení souřadnic všech bodů sítě v prvním a druhém měření jsou uvedeny v příloze 3 a 4.

TRIMBLE WRS now Czech je síť referenčních stanic, která poskytuje korekce všem GPS přijímačům. Síť je provozovaná firmou Trimble. V České republice je rozmístěno 25 referenčních stanic tak, aby měl uživatel GNSS kdekoliv kvalitní příjem RTK korekcí. [1]



Obr. 3 Přijímač a kontroler GPS

### 1.3 Teploměr a tlakoměr

K určení teploty byl použit digitální teploměr GFTH 95 a k naměření tlaku atmosféry digitální tlakoměr GPB 1300, viz obr. 4. Naměřené hodnoty těmito přístroji bylo potřeba k nastavení fyzikálních redukcí. Parametry přístrojů jsou uvedeny v tab. 3. [4] [5]



Obr. 4 Digitální teploměr GFTH 95 a tlakoměr GPB 1300

Tab. 3 Parametry přístrojů

	Parametry teploměru a tlakoměru	
	Teploměr GFTH 95	Tlakoměr GPB 1300
<b>Přesnost</b>	$\pm 0.55$ z MH $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	$\pm 1$ mBar
<b>Rozsah</b>	- 20 až + 70 °c	0 až 1300 mBar

## 2 Postup měření

### 2.1 Lokalita měření a návrh sítě

Pro navržení a umístění sítě do terénu bylo potřeba zvolit vhodné prostředí. Prostředí, které by umožnilo vytvořit zkušební měřickou síť s délkami do 200 metrů a tak, aby bylo možné z každého bodu měřit na všechny ostatní. Pro účely naší zkušební měřické sítě nám posloužilo místo bývalého kamenného lomu poblíž Plzně, nedaleko obce Koterov.

Zde byla provedena rekognoskace terénu, po níž byla zvolena místa pro umístění bodů sítě. Tato zkušební síť byla tvořena pěti body tak, že pátý bod ležel uvnitř čtyřúhelníku (obr. 5). Obrázek obsahuje ortofoto tohoto bývalého lomu s měřickou sítí. Body sítě byly umístěny přibližně v jedné rovině, kromě bodu č. 4. Ten byl umístěn na vyvýšené místo, jednak z důvodu nedostatku prostoru v kamenolomu a také pro zjištění, zda na automatické cílení má vliv strmější záměra dalekohledu.



Obr. 5 Tvar měřické sítě

#### 2.1.1 Stabilizace bodů

Body sítě nebyly v terénu pevně stabilizovány žádnou značkou ani hřebem, ale pouze volně postavenými stativy, a to z důvodu vyloučení chyby z centrace. Na stativy byly připevněny hranoly Leica a následně všesměrový hranol 360°. Hranoly Leica byly vždy před dalším měřením správně nasměrovány. Ukázka stabilizace bodu s hranoly je zobrazena níže.





Obr. 6 Hranoly Leica a všesměrový 360°

Délkové konstanty u těchto hranolů byly zvoleny a ověřeny pro Leica hranol  $c = -34\text{mm}$  a pro všesměrový hranol 360°  $c = +2\text{mm}$ .

## 2.2 Postup měření

V této kapitole bude podrobně popsán postup měření. Protože první měření probíhalo za špatných meteorologických podmínek, bylo měření provedeno podruhé, abychom porovnali měření za špatných i dobrých podmínek.

### 2.2.1 Měření č. 1

První měření proběhlo dne 20. 2. 2016, jak již bylo zmíněno, v bývalém kamenolomu poblíž obce Koterov. Pro vytvoření sítě byly v terénu rozmístěny stativy, na které byly postaveny hranoly Leica. Stativy byly pečlivě stabilizovány a urovnány podle přístrojové elektronické libely. Bylo měřeno na každém bodě, a to na všechny zbývající body sítě. Měření byly vodorovné směry, zenitové úhly a délky ve třech skupinách. Při měření skupin byl použit robotický systém, který otáčí totální stanici na jednotlivé body a do jednotlivých poloh. Na body bylo cíleno pomocí systému Autolock a poté manuálním - optickým cílením. Na jednotlivých bodech bylo měřeno nejdříve jedním přístrojem a poté hned přístrojem druhým. Výměna totálních stanic a hranolů probíhala pouze jejich vyjmutím z trojnožky. Po proměření sítě oběma přístroji



byly Leica hranoly vyměněny za všesměrové hranoly 360° a proběhlo stejné měření jako v prvním případě. Optické cílení bylo pro tento typ hranolu vynecháno.

Bylo provedeno také měření pomocí GNSS. Pro určení tvaru a rozměru volné sítě byly na každém bodě určeny souřadnice v systému S-JTSK pomocí korekcí WRS now. Do trojnožky byl nasazen přijímač GPS a po dobu 1 minuty probíhala observace na bodě. Všechny body byly určeny 2krát nezávisle s odstupem cca pěti hodin.

Měřické podmínky byly proměnlivé. Začátkem měření se hodnoty teploty a tlaku pohybovaly kolem 2 - 4 °C a 970 mBar, bylo polojasno a foukal mírný jihozápadní vítr. Během dne a odpoledne se podmínky pro měření výrazně zhoršily tak, že foukal silný vítr a padal déšť se sněhem, byla tedy zhoršená viditelnost, a vítr rozkvíval totální stanici při měření a cílení na hranoly. Toto počasí bylo převážně při měření sítě na všesměrové hranoly.

### 2.2.2 Měření č. 2

Druhé měření proběhlo dne 10. 4. 2016. Systém měření totálními stanicemi Trimble S3 byl totožný s měřením prvním. Horizontace na jednotlivých bodech byla provedena pomocí elektronické libely. Ve třech skupinách proběhlo měření vodorovných směrů, zenitových uhlů a šikmých délek na hranoly Leica a poté na všesměrové hranoly 360°. Doba observace na bodě metodou GPS byla zvolena necelé dvě minuty. Tvar a rozměr sítě byl volen stejně jako při prvním měření. Jelikož byly body stabilizovány pouze volně postavenými stativy, nebylo možné, aby při druhém měření byly body umístěny na totožných místech. To pro výslednou analýzu měření není podstatné.

Podmínky pro měření: teplota se pohybovala v rozmezí od rána 8°C do odpoledne 15°C, tlak byl konstantní 960 mBar. Bylo zataženo až polojasno, foukal mírný severní vítr beze srážek. Na rozdíl od prvního měření, kdy foukal velmi silný vítr a posléze i přšelo, můžeme říci, že tyto podmínky byly pro měření lepší.

Na konci tohoto měření proběhla zkouška měření směru na hranol 360° v závislosti na jeho otáčení kolem své osy viz kapitola 1.1.1. Z výsledků lze soudit, že přesnost měření vodorovného směru na tento hranol je kolem 5 mm. Pro přesné geodetické práce tento hranol není vhodný.



## 3 Zpracování měření

Všechna naměřená data byla registrována. Zpracování měření bylo provedeno v programu Excel.

### 3.1 Zpracování měřených směrů

V síti byly měřeny vodorovné směry a zenitové úhly. Zpracování těchto veličin měřených ve 3 skupinách proběhlo v programu Excel následujícím způsobem. Směry byly měřeny klasicky. Nejprve v první poloze dalekohledu v kladném směru, dále po proložení do druhé polohy bylo měřeno ve směru opačném, vždy s uzávěrem. Díky pevnému dělenému kruhu jsme v dalších skupinách měření nemuseli nastavovat jiný směr na počáteční bod. V jednotlivých skupinách se jednotlivé směry lišily minimálně v rámci vteřin. Výsledné směry nebyly redukovány k 0.

#### 3.1.1 Vodorovný směr

Vodorovný směr měřený v jedné skupině je průměr z I. a II. polohy dalekohledu

$$\psi = \frac{(\psi^I + \psi^{II} \pm 200 \text{ gon})}{2} , \quad (1)$$

výsledný směr je průměr ze skupin

$$\bar{\psi} = \frac{\sum \psi}{s} , \quad (2)$$

kde

$\psi^I, \psi^{II}$  je měřený směr v I. a II. poloze dalekohledu  
 $s$  je počet skupin měření.

#### 3.1.2 Zenitový úhel

Pro každý zenitový úhel byla vypočtena indexová chyba dalekohledu

$$i = \frac{400 - (z^I + z^{II})}{2} , \quad (3)$$

kde

$z^I, z^{II}$  je zenitový úhel měřený v I. a II. poloze dalekohledu.





Poté vztah pro výsledný zenitový úhel je:

$$z = z^I + i = \frac{400 + z^I - z^{II}}{2} . \quad (4)$$

### 3.2 Redukce délek

Pro redukci šikmých délek na vodorovné bylo uvažováno zakřivení Země. Podle obr. 7 byl vypočten úhel sbíhavosti tížnic  $\varphi$

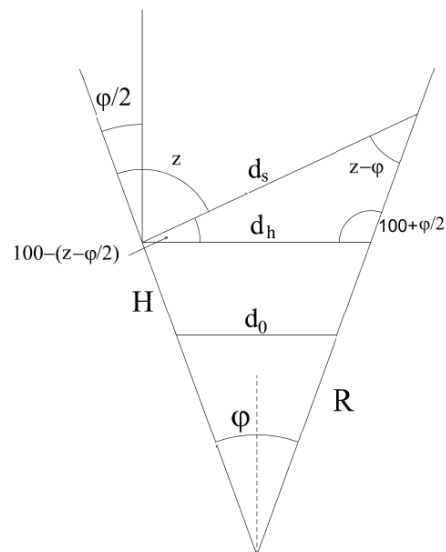
$$\varphi = \frac{d_s \cdot \sin z}{R} \cdot \rho , \quad (5)$$

kde  $d_s$  je šikmá délka

$z$  je zenitový úhel

$R$  je poloměr referenční koule 6380 km

$\rho$  je radián  $\frac{200}{\pi}$ .



Obr. 7 schéma pro výpočet úhlu  $\varphi$

Šikmé délky byly měřeny ve 3 skupinách na každém bodě, tzn. že délky byly měřeny obousměrně. Celkem bylo na jednom bodě naměřeno jedním přístrojem 24 délek a v celé síti poté 95.

Vodorovné délky  $d_h$  byly vypočteny podle vztahu

$$d_h = d_s \cdot \sin(z - \varphi) . \quad (6)$$

Výsledná průměrná hodnota vodorovných délek byla následně převedena do systému S - JTSK, tedy do nulového horizontu  $d_0$  a následně podle příslušného kartografického měřítka do zobrazení  $d_{S-JTSK}$ .

$$d_0 = d_h \cdot \frac{R}{R + H} , \quad (7)$$

kde

$H$  je průměrná nadmořská výška spojnice příslušných dvou bodů.



Tyto průměrné výšky spojnic bodů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4 Nadmořské výšky spojnic bodů

Průměrné nadmořské výšky spojnic bodů určených pomocí GNSS		
Spojnice bodů	Měření č. 1	Měření č. 2
	$H$ [m]	$H$ [m]
1 - 2	404,578	404,549
1 - 3	405,759	405,773
1 - 4	412,219	412,215
1 - 5	405,283	405,441
2 - 3	407,017	407,013
2 - 4	413,477	413,456
2 - 5	406,541	406,682
3 - 4	414,658	414,680
3 - 5	407,723	407,905
4 - 5	414,182	414,348

Rovinné délky byly vypočteny ze vztahu

$$d_{S-JTSK} = d_0 \cdot m \quad , \quad (8)$$

kde

$m$  je měřítko zobrazení (Křovákovo) na bodě, ze kterého je měřena délka.

Konečný vzorec pro převod délky do S - JTSK lze napsat

$$d_{S-JTSK} = m \cdot d_h \cdot \frac{R}{R + H} \quad . \quad (9)$$

Výsledné délky v systému S-JTSK jsou uvedeny v tabulkách 5 a 6, kde je obsaženo jejich porovnání mezi prvním a druhým přístrojem a jejich rozdíl  $d$ . U automatického cílení na hranoly Leica si můžeme všimnout výrazných rozdílů při měření na stanovisku č. 2. Na tomto stanovisku bylo započato měření, a tak s největší pravděpodobností tyto velké rozdíly způsobila kratší doba temperace prvního přístroje. Zde můžeme říci, že při měření délek je totální stanice citlivá na změny teplot, a pro přesné geodetické práce je potřeba přístroj déle temperovat. U ostatních rovinných délek nedochází k žádným výraznějším odchýlkám.[6]



Tab. 5 Porovnání rovinných délek mezi přístroji měření č. 1

Porovnání rovinných délek naměřených prvním (novým) a druhým (starším) přístrojem na hranoly Leica a všesměrový hranol 360°										
Stan.	Bod	Automatické cílení - hranol Leica		d [mm]	Optické cílení - hranol Leica		d [mm]	Automatické cílení - všesměrový hranol 360°		d [mm]
		1. přístroj	2. přístroj		1. přístroj	2. přístroj		1. přístroj	2. přístroj	
		délka [m]			délka [m]			délka [m]		
1	2	107,288	107,287	1	107,288	107,287	1	107,288	107,287	1
	3	166,912	166,910	2	166,912	166,910	2	166,911	166,909	2
	4	115,874	115,873	1	115,874	115,874	0	115,876	115,875	1
	5	111,846	111,844	2	111,846	111,844	2	111,849	111,846	3
2	1	107,274	107,288	-14	107,289	107,288	1	107,289	107,287	1
	3	81,612	81,626	-14	81,627	81,626	1	81,627	81,626	1
	4	107,445	107,457	-12	107,459	107,457	2	107,462	107,459	2
	5	61,975	61,990	-15	61,990	61,990	0	61,992	61,991	1
3	1	166,912	166,909	3	166,912	166,910	2	166,915	166,912	2
	2	81,628	81,627	1	81,627	81,627	0	81,628	81,627	0
	4	94,774	94,773	1	94,774	94,773	0	94,778	94,776	2
	5	58,868	58,867	1	58,868	58,867	1	58,869	58,868	1
4	1	115,874	115,874	1	115,874	115,874	1	115,875	115,876	-1
	2	107,459	107,457	2	107,459	107,457	2	107,460	107,461	-1
	3	94,774	94,773	1	94,774	94,773	1	94,776	94,775	0
	5	48,739	48,738	1	48,739	48,738	1	48,740	48,741	-1
5	1	111,846	111,844	2	111,846	111,844	2	111,849	111,846	3
	2	61,990	61,989	1	61,990	61,990	1	61,992	61,990	1
	3	58,868	58,867	1	58,868	58,867	1	58,868	58,867	1
	4	48,739	48,738	1	48,739	48,737	2	48,740	48,738	2



Tab. 6 Porovnání rovinných délek mezi přístroji měření č. 2

Porovnání rovinných délek naměřených prvním (novým) a druhým (starším) přístrojem na hranoly Leica a všesměrový hranol 360°										
Stan.	Bod	Automatické cílení - hranol Leica		d [mm]	Optické cílení - hranol Leica		d [mm]	Automatické cílení - všesměrový hranol 360°		d [mm]
		1. přístroj	2. přístroj		1. přístroj	2. přístroj		1. přístroj	2. přístroj	
		délka [m]		délka [m]		délka [m]				
1	2	107,723	107,722	2	107,724	107,722	1	107,725	107,723	1
	3	168,635	168,634	1	168,635	168,634	1	168,639	168,636	3
	4	116,022	116,021	1	116,022	116,021	1	116,023	116,020	3
	5	117,269	117,266	3	117,269	117,267	2	117,272	117,269	3
2	1	107,723	107,722	2	107,723	107,722	1	107,725	107,723	1
	3	84,091	84,090	2	84,091	84,090	1	84,093	84,091	2
	4	109,010	109,010	0	109,010	109,010	0	109,011	109,010	2
	5	60,917	60,916	1	60,917	60,916	1	60,920	60,919	1
3	1	168,635	168,633	2	168,635	168,634	1	168,638	168,636	3
	2	84,090	84,088	1	84,090	84,088	2	84,094	84,092	2
	4	95,948	95,948	0	95,948	95,949	0	95,949	95,948	1
	5	53,579	53,578	0	53,578	53,578	0	53,581	53,580	1
4	1	116,022	116,022	0	116,022	116,022	0	116,023	116,021	2
	2	109,009	109,008	2	109,009	109,008	1	109,012	109,010	2
	3	95,948	95,946	1	95,947	95,947	1	95,949	95,948	1
	5	54,719	54,718	1	54,719	54,717	2	54,721	54,719	2
5	1	117,269	117,267	2	117,269	117,268	1	117,272	117,269	3
	2	60,916	60,916	0	60,916	60,916	1	60,919	60,919	0
	3	53,578	53,578	0	53,579	53,577	1	53,580	53,579	2
	4	54,721	54,720	1	54,720	54,720	1	54,721	54,720	1

V důsledku zaokrouhlování souřadnic mohou být rozdíly  $d$  numericky jiné, než jak vycházejí z rozdílu hodnot jednotlivých délek v tabulce. Z hodnot zobrazených v tabulkách 5 a 6 bylo zjištěno, že přístroj č. 1 měří systematicky větší délky. Pomocí následujících vztahů lze přes měřické dvojice odvodit směrodatnou odchylku měření délky.

Měřená délka z dvojice měření je

$$D = D^1 + \Delta^1 = D^2 + \Delta^2, \quad (10)$$

kde

$\Delta^1$  a  $\Delta^2$  jsou skutečné chyby délek.



Rozdíl této měřické dvojice je

$$d = D^2 - D^1 = \Delta^2 - \Delta^1 . \quad (11)$$

Z výsledných tabulek lze odvodit  $d \geq 0$ , z toho můžeme říci, že

$$\Delta^1 \geq \Delta^2 . \quad (12)$$

Vztah pro směrodatnou odchylku rozdílu měřených délek je

$$\sigma_d^2 = \frac{\sum dd}{n} , \quad (13)$$

kde

$n$  je počet výsledných měřených délek.

Z této úvahy lze určit směrodatnou odchylku měřené délky jako

$$\sigma_D = \frac{\sigma_d}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{\sum dd}{2n}} . \quad (14)$$

Směrodatné odchylky uvedeny v tab. 7 jsou pouze orientační, neboť se jedná o měřické dvojice délek ze dvou totálních stanic.

Tab. 7 Směrodatné odchylky délek

	Hranol Leica - Autolock	Hranol Leica - manuální cílení	Hranol 360° - Autolock
	$\sigma_D$ [mm]		
<b>Měření č. 1</b>	0	1	1
<b>Měření č. 2</b>	1	1	1

### 3.3 GNSS Trimble VRS now

Data z přístroje GPS byla exportována v podobě protokolů měření. Výstupem byly dvojice souřadnice v systému S - JTSK určené nezávisle s časovým odstupem. Určené souřadnice byly následně zprůměrovány a použity jako přibližné souřadnice



do vyrovnání. Výsledné souřadnice určené při prvním a druhém měření jsou uvedeny v následujících tabulkách. V této diplomové práci se zabývám pouze polohovou složkou sítě, v tabulkách výsledných souřadnic proto chybí souřadnice nadmořských výšek bodů.

Tab. 8 Určení souřadnic bodů metodou GNSS při měření č. 1

BOD	Dvojí určení souřadnic GNSS			Průměrné souřadnice určené GNSS	
	Měření	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
1	I.	818 265,424	1 073 664,148	818 265,424	1 073 664,150
	II.	818 265,424	1 073 664,152		
2	I.	818 343,846	1 073 590,932	818 343,848	1 073 590,932
	II.	818 343,850	1 073 590,932		
3	I.	818 330,420	1 073 510,400	818 330,420	1 073 510,408
	II.	818 330,419	1 073 510,416		
4	I.	818 244,402	1 073 550,193	818 244,403	1 073 550,196
	II.	818 244,404	1 073 550,198		
5	I.	818 292,834	1 073 555,715	818 292,832	1 073 555,711
	II.	818 292,830	1 073 555,707		

Tab. 9 Určení souřadnic bodů metodou GNSS měření č. 2

BOD	Dvojí určení souřadnic GNSS			Průměrné souřadnice určené GNSS	
	Měření	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
1	I.	818 264,452	1 073 664,731	818 264,447	1 073 664,726
	II.	818 264,441	1 073 664,722		
2	I.	818 344,737	1 073 592,919	818 344,736	1 073 592,909
	II.	818 344,734	1 073 592,899		
3	I.	818 331,289	1 073 509,915	818 331,286	1 073 509,911
	II.	818 331,283	1 073 509,906		
4	I.	818 244,342	1 073 550,470	818 244,343	1 073 550,469
	II.	818 244,343	1 073 550,467		
5	I.	818 299,015	1 073 552,673	818 299,012	1 073 552,672
	II.	818 299,009	1 073 552,672		



## 4 Vyrovnání

### 4.1 Volná síť

Geodetické sítě dělíme na polohové a prostorové, dále se rozlišují sítě volné a vázané. Ve vázané síti se některé body určují vzhledem k daným bodům sítě, tedy vyrovnávané body jsou pouze body určované. Volnou sítí se rozumí řešení sítě za předpokladu, že předmětem vyrovnání jsou všechny body. Pro tuto diplomovou práci bylo použito vyrovnání volné sítě. V tomto vyrovnání jsou nejdůležitější opravy měřených vodorovných směrů a délek.

Celkový počet veličin v síti o  $k$  bodech, lze odvodit z následujících vztahů. Pro naši zkušební síť o pěti bodech je celkový počet měření pro:

1. délky

$$\binom{k}{2} = \frac{1}{2} \cdot k(k-1) = 10 \quad (15)$$

2. směry

$$k(k-1) = 20 \quad (16)$$

Celkový počet veličin v dané síti je tedy 30.

### 4.2 Volba vah pro vyrovnání

Pro měření je potřeba určit přesnost všech jeho složek. Pro délky byla použita směrodatná odchylka daná výrobcem  $\sigma_d = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ . Přesnost vodorovných směrů byla vypočtena pomocí úhlových uzávěrů trojúhelníků v měřené síti. Výsledné výběrové směrodatné odchylky vodorovných směrů pro jednotlivé přístroje jsou uvedeny v tabulkách 12 a 13 Tab. 13. Ty byly vypočteny z Ferrerova vzorce.

Úhlový uzávěr  $U$  v trojúhelníku je

$$U = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - 200\text{gon} \quad (17)$$

kde

$\omega_i$  jsou jednotlivé úhly v trojúhelníku.



V síti bylo ze všech kombinací bodů vytvořeno 8 trojúhelníků. Pro všechny byly vypočteny jejich uzávěry, které jsou uvedeny v tabulkách 10 a 11. Tyto uzávěry jsou rozděleny podle typu cílení a totální stanice.

Tab. 10 Uzávěry jednotlivých trojúhelníků v síti při měření č. 1

Hranol	Přístroj č. 1			Přístroj č. 2		
	Leica	Leica	360°	Leica	Leica	360°
Cílení	Autolock	Manuální	Autolock	Autolock	Manuální	Autolock
Trojúhelník	$U[mgon]$			$U[mgon]$		
1	0,5	-1,5	11,2	-0,2	-0,2	9,6
2	0,3	1,2	-9,4	-0,1	0,4	-8,7
3	-0,9	0,0	1,3	-0,1	-0,3	4,1
4	0,9	-0,1	3,5	0,4	0,9	-1,6
5	-0,3	0,2	-4,3	-0,2	-0,6	-3,5
6	-0,5	0,2	-2,3	0,2	-0,2	0,1
7	0,3	0,2	-6,3	0,1	-1,4	-4,2
8	-1,1	0,3	-0,3	-0,2	0,6	0,7

Tab. 11 Uzávěry jednotlivých trojúhelníků v síti při měření č. 2

Hranol	Přístroj č. 1			Přístroj č. 2		
	Leica	Leica	360°	Leica	Leica	360°
Cílení	Autolock	Manuální	Autolock	Autolock	Manuální	Autolock
Trojúhelník	$U[mgon]$			$U[mgon]$		
1	1,3	0,9	8,2	0,2	-0,4	6,3
2	-1,6	-1,5	3,5	-0,8	0,5	1,8
3	-1,0	-0,7	-10,8	0,2	0,3	-6,6
4	1,4	1,3	-2,3	0,4	0,5	-2,7
5	-2,3	-2,1	-2,4	-0,6	-0,7	-1,0
6	2,2	2,2	3,8	0,7	-0,1	2,3
7	0,4	-0,4	-0,1	-0,6	-1,2	1,1
8	-0,5	0,4	1,5	0,7	0,4	0,2

Výběrová směrodatná odchylka směru vypočtena podle Ferrerova vzorce:

$$s_{\bar{\nu}} = \sqrt{\frac{\sum U^2}{6 \cdot t}} \quad , \quad (18)$$

kde

$t$  je počet trojúhelníkových uzávěrů - 8





Tab. 12 Výběrové směrodatné odchylky

Výběrové směrodatné odchylky vodorovných směrů pro měření č. 1			
Přístroj	Hranoly Leica		Hranol 360°
	Autolock	Optické cílení	Autolock
	[mgon]	[mgon]	[mgon]
1. Přístroj	0,3	0,3	2,5
2. Přístroj	0,1	0,3	2,1

Tab. 13 Výběrové směrodatné odchylky

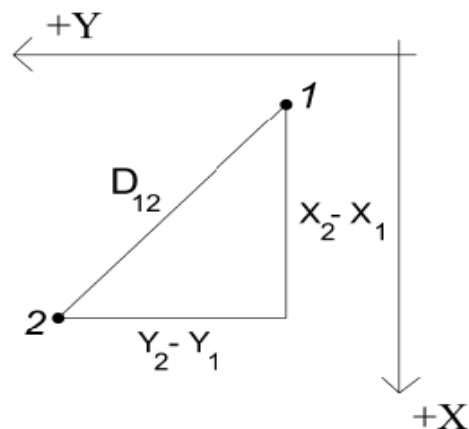
Výběrové směrodatné odchylky vodorovných směrů pro měření č. 2			
Přístroj	Hranoly Leica		Hranol 360°
	Autolock	Optické cílení	Autolock
	[mgon]	[mgon]	[mgon]
1. Přístroj	0,6	0,6	2,2
2. Přístroj	0,2	0,2	1,5

### 4.3 Vyrovnání volné sítě

Pro vyrovnání volné sítě byl vytvořen výpočetní skript v programu Matlab. Pro odvození prvků matice plánu **A** se vyjde ze vztahů vyjadřujících závislost zprostředkujících měření na souřadnicích. Vychází se tedy z výpočtu délek mezi jednotlivými body a dále také z výpočtu směru.

Změna délky v závislosti na změnách souřadnic je vyjádřena v tab. 14. Výpočet délky ze souřadnic podle obr. 8 je

$$D_{12} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (19)$$



Obr. 8 Délka

Tab. 14 Parciální derivace délky

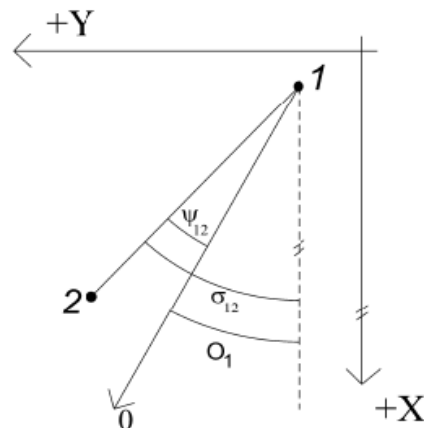
	$\partial X_1$	$\partial Y_1$	$\partial X_2$	$\partial Y_2$
$\partial D_{12}$	$-\frac{X_2 - X_1}{D_{12}}$	$-\frac{Y_2 - Y_1}{D_{12}}$	$\frac{X_2 - X_1}{D_{12}}$	$\frac{Y_2 - Y_1}{D_{12}}$



Změna směru vypočteného pomocí souřadnic a orientačního posunu v závislosti na změnách souřadnic je vyjádřena v tab. 15.

Výpočet směru pomocí směrníku vypočteného ze souřadnic a orientačního posunu na daném bodě podle obr. 9 je

$$\psi_{12} = \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} - O_1 \quad (20)$$



Obr. 9 Směr

Tab. 15 Parciální derivace vypočteného směru

	$\partial X_1$	$\partial Y_1$	$\partial X_2$	$\partial Y_2$	$\partial O_1$
$\partial \psi_{12}$	$\frac{Y_2 - Y_1}{D_{12}^2}$	$-\frac{X_2 - X_1}{D_{12}^2}$	$-\frac{Y_2 - Y_1}{D_{12}^2}$	$\frac{Y_2 - Y_1}{D_{12}^2}$	-1

Do vyrovnání vstupují všechny výsledné měřené směry a obousměrně měřené délky v síti. Řádky matice **A** představují jednotlivé vztahy sestavené pro všechny zprostředkující veličiny měření. Tvar výsledné matice plánu je

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{\partial D}{\partial X_1} & \frac{\partial D}{\partial Y_1} & \dots & \dots & \frac{\partial D}{\partial X_5} & \frac{\partial D}{\partial Y_5} & \frac{\partial D}{\partial O_1} & \frac{\partial D}{\partial O_2} & \dots & \frac{\partial D}{\partial O_5} \\ \frac{\partial \psi}{\partial X_1} & \frac{\partial \psi}{\partial Y_1} & \dots & \dots & \frac{\partial \psi}{\partial X_5} & \frac{\partial \psi}{\partial Y_5} & \frac{\partial \psi}{\partial O_1} & \frac{\partial \psi}{\partial O_2} & \dots & \frac{\partial \psi}{\partial O_5} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \cdot \quad (21)$$

Celkový počet měření je 20 směrů a 20 délek. Rozměr matice plánu **A** je  $r \times 3k$ , kde  $r$  je počet měření a  $k$  počet bodů sítě, tedy  $\mathbf{A}[40 \times 15]$ . Pro správné vytvoření této matice bylo potřeba dodržet pořadí délek a směrů tak, jak jsou tyto veličiny poskládány ve vektoru měření **L**. Pro zadání přesnosti měření jednotlivých veličin byla sestavena diagonální matice vah měření **P** (jednotlivá měření jsou nekorelovaná). Váhy byly voleny podle vztahu

$$p_d \sigma_d^2 = p_\psi \sigma_\psi^2 = \sigma_0^2 \quad (22)$$



Apriorní směrodatná odchylka  $\sigma_0$  byla zvolena 1. Platí tedy

$$p_d = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_d^2} = \frac{1}{\sigma_d^2} \quad (23)$$

$$p_\psi = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_\psi^2} = \frac{1}{\sigma_\psi^2} \quad (24)$$

Ve výpočtu vyrovnání jsou pracovními jednotkami metry a radiány.

### 4.3.1 Sestavení normálních rovnic

Při vyrovnání volné sítě metodou nejmenších čtverců (MNČ) dochází k vyrovnání všech souřadnic bodů, síť tedy není umístěna a orientována v rovině. Je tedy zřejmé, že konfigurační matice  $\mathbf{A}$  má lineárně závislé sloupce v počtu chybějících podmínek, a to posunutí a rotace.

Vyrovnání popisuje následující vztah

$$(\mathbf{L} + \mathbf{v}) - \mathbf{F}(\mathbf{X}^0 + \mathbf{h}_0) = \mathbf{0} \quad , \quad (25)$$

kde

$\mathbf{L}$  je vektor měření

$\mathbf{v}$  je vektor oprav měření

$\mathbf{X}^0$  je vektor přibližných souřadnic

$\mathbf{h}_0$  je vektor korekcí neznámých, tj. souřadnic určovaných bodů a vyrovnaných orientačních posunů.

Pro každou osnovu směrů odpovídá jeden orientační posun. Ve výsledném vektoru  $\mathbf{h}_0$  ( $15 \times 1$ ) je 10 korekcí souřadnic X, Y a 5 výsledných orientačních posunů.

Linearizací (Taylorův rozvoj vektorové funkce  $\mathbf{F}$  s uvážením lineárních členů) vztahu (25) vznikne systém rovnic oprav

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h}_0 - (\mathbf{L} - \mathbf{F}(\mathbf{X}^0)) \quad , \quad (26)$$



$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h}_0 - \mathbf{l} , \quad (27)$$

kde

$\mathbf{l}$  je nenulový vektor redukováných měření.

Aplikuje se metoda nejmenších čtverců, pro kterou platí  $\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \min$ . Soustava normálních rovnic je

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} . \quad (28)$$

Hodnost matice  $\mathbf{A}$  je  $r(\mathbf{A}) = 3k - 3 = 3(k - 1) = 12$ , kde  $k$  je počet bodů v síti. Determinant matice  $\mathbf{N}$  je  $\det(\mathbf{N}) = 0$ . Matice  $\mathbf{N}$  je tedy singulární. Defekt sítě je roven 3. Řešení sítě MNČ dostaneme vztah

$$(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}) \cdot \mathbf{h}_0 = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l} , \quad (29)$$

označením  $\mathbf{c} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}$  vznikne vztah

$$\mathbf{N} \cdot \mathbf{h}_0 = \mathbf{c} . \quad (30)$$

Existuje nekonečně mnoho řešení soustavy (25), které se skládá z jednoho partikulárního řešení soustavy a řešení homogenní soustavy rovnic, kde vektor na pravé straně je nulový. Jedno konkrétní řešení soustavy (25) je založeno na rozkladu matice soustavy normálních rovnic  $\mathbf{N}$  ve tvaru

$$\mathbf{N} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{U}^T . \quad (31)$$

V programu Matlab byla tato dekompozice provedena příkazem  $[U, S] = \text{eig}(N)$ . Matice  $\mathbf{S}$  je diagonální matice vlastních čísel  $\lambda$ , která jsou reálná, protože matice  $\mathbf{N}$  je symetrická. Matice  $\mathbf{U}$  je ortonormální, její sloupce jsou vlastní vektory matice  $\mathbf{N}$ , tedy první sloupec matice  $\mathbf{U}$  odpovídá prvnímu diagonálnímu prvku matice  $\mathbf{S}$ . Tento rozklad byl aplikován až na matici  $\mathbf{N} = (\mathbf{N} + \mathbf{N}^T) / 2$  která je symetrická. V opačném případě mohou výsledná vlastní čísla vyjít jako komplexní čísla.



Dosazením rozkladu (31) do normálních rovnic vznikne vztah

$$\mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{h}_0 = \mathbf{c} \quad . \quad (32)$$

Jednoduchými úpravami a zavedením nového označení  $\mathbf{z} = \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{h}_0$  a  $\mathbf{d} = \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{c}$  dostaneme nový tvar normálních rovnic

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{z} = \mathbf{d} \quad . \quad (33)$$

Jak bylo výše uvedeno, matice plánu  $\mathbf{A}$  má 3 lineárně závislé sloupce, které odpovídají třem chybějícím podmínkám pro umístění sítě v rovině a její orientaci. Na diagonále matice  $\mathbf{S}$  jsou díky tomu první tři prvky nulové. Zde je zřejmé, že pro nenulové diagonální prvky matice  $\mathbf{S}$  platí

$$z_i = \frac{d_i}{s_{ii}} \quad . \quad (34)$$

Pro nulový diagonální prvek dochází k dělení nulou. Jednotlivé prvky vektoru  $\mathbf{z}$ , byly vypočteny podle vztahu (34), a pro  $s = 0$  se zvolí  $z = 0$ , pak má vektor  $\mathbf{z}$  minimální velikost.

Ze vztahu  $\mathbf{z} = \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{h}_0$  je patrné, že velikost vektoru  $\mathbf{h}_0$  je stejná jako  $\mathbf{z}$ , tj.  $\mathbf{h}_0^T \cdot \mathbf{h}_0 = \min$ . Vyrovnaná měření (směry a délky) nemají vliv na výsledný vektor korekcí. Ten byl vypočten ze vztahu

$$\mathbf{h}_0 = \mathbf{U} \cdot \mathbf{z} \quad . \quad (35)$$

Pomocí tohoto vektoru byly následně určeny vyrovnané souřadnice bodů sítě

$$\widehat{\mathbf{X}} = \mathbf{X}^0 + \mathbf{h}_0 \quad . \quad (36)$$

Opravy měření byly vypočteny podle vztahu

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h}_0 - \mathbf{l} \quad , \quad (37)$$



a druhý výpočet oprav

$$\mathbf{v}_2 = \mathbf{F}(\hat{\mathbf{X}} + \mathbf{h}_0) - \mathbf{L} \quad . \quad (38)$$

Druhý výpočet oprav nám dává kontrolu vyrovnání. Tyto druhé opravy musí být stejné jako opravy první, tj.  $\mathbf{v} - \mathbf{v}_2 = \mathbf{0}$ . Opravy měřených směrů a délek zůstávají tedy stejné, ale síť není umístěna v rovině. V následující kapitole je popsáno řešení, kde byla síť fixována pomocí bodu a směrníku na další bod.

Výše uvedený postup byl sepsán na základě konzultací s vedoucím této diplomové práce.

### 4.3.2 Podmínky pro umístění sítě

Pro umístění sítě v soustavě souřadnic se definují podmínky, kterými lze tuto síť jednoznačně umístit. V tomto případě se jedná o 3 podmínky. Zvolit jeden pevný bod a směrník na další bod sítě. Jako pevný bod byl zvolen bod č. 1 a na bod č. 3 byl zvolen pevný směrník. Tyto body byly využity z důvodu nejdelší vzájemné vzdálenosti.

Podmínky jsou popsány následovně

$$\mathbf{G}^T \cdot \hat{\mathbf{h}} = \mathbf{0} \quad , \quad (39)$$

kde

$\mathbf{G}^T$  je podmínková matice

$\hat{\mathbf{h}}$  je vektor korekcí souřadnic a orientačních posunů.

Rovnice popisující posun sítě a orientaci jsou

$$\begin{aligned} X_1^0 + dx_1 &= 0 \\ Y_1^0 + dy_1 &= 0 \\ \arctg \frac{(Y_3^0 + dy_3) - (Y_1^0 + dy_1)}{(X_3^0 + dx_3) - (X_1^0 + dx_1)} &= 0 \end{aligned} \quad . \quad (40)$$



Linearizací byly upraveny tyto rovnice na

$$\begin{aligned} dx_1 &= 0 \\ dy_1 &= 0 \\ -\sin \varphi_{13} \cdot dx_3 + \cos \varphi_{13} \cdot dy_3 &= 0 \end{aligned} \quad . \quad (41)$$

Byla sestavena podmínková matice  $\mathbf{G}^T$  pomocí parciálních derivací těchto tří rovnic, pro kterou platí (39)

$$\mathbf{G}^T = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccc} dx_1 & dy_1 & \dots & dx_3 & dy_3 & \dots & dx_k & dy_k & O_1 & \dots & O_5 \end{array} \\ \hline \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & -\sin \varphi & \cos \varphi & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad (42)$$

Pomocí funkce *null* v matlabu  $\mathbf{H} = \text{null}(\mathbf{A})$  byl zjištěn nulový prostor matice  $\mathbf{A}$ , platí  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{H} = \mathbf{0}$ , sloupce matice  $\mathbf{H}$  tvoří nulový prostor. Výsledné řešení normálních rovnic sestává z partikulárního řešení  $\mathbf{h}_0$  a z řešení homogenní soustavy  $\mathbf{H} \cdot \mathbf{t}$ , která tvoří nulový prostor matice  $\mathbf{A}$

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{h}_0 + \mathbf{H} \cdot \mathbf{t} \quad . \quad (43)$$

Dosazením rovnice (39) do tohoto vztahu vznikne

$$\mathbf{G}^T \cdot \hat{\mathbf{h}} = \mathbf{G}^T (\mathbf{h}_0 + \mathbf{H} \cdot \mathbf{t}) = \mathbf{0} \quad . \quad (44)$$

Vyjádřením vektoru  $\mathbf{t} = -(\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{H})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T \cdot \mathbf{h}_0$ , který byl dosazen zpět do vztahu (43), byl získán vztah

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{h}_0 - \mathbf{H} \cdot (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{H})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T \cdot \mathbf{h}_0 \quad . \quad (45)$$



Použitím substituce  $\mathbf{S} = (\mathbf{E} - \mathbf{H} \cdot (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{H})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T) \cdot \mathbf{h}_0$  byl výsledný výpočet vektoru korekcí a tím tedy fixace sítě do soustavy souřadnic pomocí bodu a směrníku

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{h}_0 \quad . \quad (46)$$

Vyrovnané souřadnice při výpočtu vyrovnaní s pevným bodem a směrníkem byly poté spočteny podle stejného principu jako při řešení předchozím.

Pro znázornění kvality určení souřadnic měřické sítě pomocí GPS vůči měření totální stanicí byly vytvořeny tabulky s hodnotami korekcí vektoru  $\hat{\mathbf{h}}$ .

Tab. 16 Hodnoty vektoru korekcí měření č. 1

Změna souřadnic při použití metody fixace sítě bod a směrník - Měření č. 1							
Přístroj 1				Přístroj 2			
Hranol	Leica		360°	Hranol	Leica		360°
Cílení	Autolock	Manuální	Autolock	Cílení	Autolock	Manuální	Autolock
$\hat{\mathbf{h}}$	[mm]			$\hat{\mathbf{h}}$	[mm]		
dx <sub>1</sub>	0	0	0	dx <sub>1</sub>	0	0	0
dy <sub>1</sub>	0	0	0	dy <sub>1</sub>	0	0	0
dx <sub>2</sub>	-4	-5	-5	dx <sub>2</sub>	-3	-3	-4
dy <sub>2</sub>	-9	-7	-7	dy <sub>2</sub>	-8	-8	-8
dx <sub>3</sub>	8	4	3	dx <sub>3</sub>	6	5	5
dy <sub>3</sub>	-3	-2	-1	dy <sub>3</sub>	-2	-2	-2
dx <sub>4</sub>	5	2	2	dx <sub>4</sub>	5	4	2
dy <sub>4</sub>	-2	-3	-5	dy <sub>4</sub>	-3	-3	-6
dx <sub>5</sub>	3	1	-1	dx <sub>5</sub>	3	3	1
dy <sub>5</sub>	-7	-7	-7	dy <sub>5</sub>	-7	-7	-8





Tab. 17 Hodnoty vektoru korekcí měření č. 2

Změna souřadnic při použití metody fixace sítě bod a směrník - Měření č. 2							
Přístroj 1				Přístroj 2			
Hranol	Leica		360°	Hranol	Leica		360°
Cílení	Autolock	Manuální	Autolock	Cílení	Autolock	Manuální	Autolock
$\hat{h}$	[mm]			$\hat{h}$	[mm]		
$dx_1$	0	0	0	$dx_1$	0	0	0
$dy_1$	0	0	0	$dy_1$	0	0	0
$dx_2$	2	2	2	$dx_2$	2	2	3
$dy_2$	4	4	6	$dy_2$	3	4	4
$dx_3$	-8	-7	-11	$dx_3$	-6	-7	-8
$dy_3$	3	3	5	$dy_3$	3	3	3
$dx_4$	-8	-8	-11	$dx_4$	-8	-8	-8
$dy_4$	-8	-8	-8	$dy_4$	-7	-8	-8
$dx_5$	-6	-6	-7	$dx_5$	-5	-6	-5
$dy_5$	-2	-2	-2	$dy_5$	-2	-2	-3

Z hodnot uvedených v tabulkách 16 a 17 je vidět, že výsledné hodnoty korekcí při měření na hranoly Leica pomocí Autolocku a manuálního cílení jsou u měření č. 2 stejné. U přístroje č. 1 se poté hodnoty korekcí u měření na hranol 360° mírně liší. Na rozdíl od měření č. 2 jsou hodnoty korekcí u měření č. 1 různé. To může být způsobeno proměnlivými měřickými podmínkami - špatné počasí.

Celkově se hodnoty korekcí pohybují do 11 mm. Při menším nároku na přesnost lze body měřické sítě určit pomocí GPS. Z časového a praktického hlediska je tento způsob určení souřadnic velice výhodný.



## 5 Analýza oprav

Pro výslednou dosaženou přesnost bylo testováno dodržení apriorní směrodatné odchylky  $\sigma_0$ . Odhad směrodatné odchylky jednotkové (aposteriorní) se vypočte dle vztahu

$$\sigma'_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}}{n'}} \quad , \quad (47)$$

kde

$n'$  je počet nadbytečných měření.

Počet nadbytečných měření (počet stupňů volnosti) byl vypočten na základě počtu měření  $r$  a hodnosti matice  $\mathbf{A}$

$$n' = r - r(\mathbf{A}) = 28 \quad . \quad (48)$$

Hodnost matice  $\mathbf{A}$  se vypočte jako  $r(\mathbf{A}) = 3k - 3$ , kde hodnota 3 udává počet stupňů volnosti pro umístění sítě v rovině a  $k$  počet bodů sítě.

Interval spolehlivosti se určí pomocí náhodně veličiny  $\frac{n' \sigma_0'^2}{\sigma_0^2} \approx \chi_{n'}^2$ , která má

chí-kvadrát rozdělení a  $n'$  stupňů volnosti. Interval spolehlivosti pro veličinu  $\frac{\sigma'_0}{\sigma_0}$  je

$$\sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(n')}{n'}} \leq \frac{\sigma'_0}{\sigma_0} \leq \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2}^2(n')}{n'}} \quad , \quad (49)$$

kde

$n'$  je počet nadbytečných měření a  $\chi_{\alpha/2}^2(n')$ ,  $\chi_{1-\alpha/2}^2(n')$  jsou kritické hodnoty chí-kvadrát rozdělení.

Pro tento počet nadbytečných měření je interval spolehlivosti pro pravděpodobnost 95% roven (0,739 - 1,260). Intervaly byly vyhledány v tabulkách a zkontrolovány v programu Matlab. Výsledné aposteriorní směrodatné odchylky jsou uvedeny v následující tabulce.



Tab. 18 Testování přesnosti

Aposteriorní směrodatné odchylky						
Přístroj č. 1		Měření č. 1	Měření č. 2	Interval spolehlivosti	Vyhovuje	
Cílení	Hranol				Měření č. 1	Měření č. 2
Autolock	Leica	2,531	0,546	(0,739-1,260)	NE	NE
	360°	0,786	0,727		ANO	NE
Manuální	Leica	0,648	0,489		NE	NE
Přístroj č. 2		Měření č. 1	Měření č. 2		Vyhovuje	
Cílení	Hranol				Měření č. 1	Měření č. 2
Autolock	Leica	0,759	0,751		ANO	ANO
	360°	0,598	0,746		NE	ANO
Manuální	Leica	1,038	1,255		ANO	ANO

Jak je vidět, polovina hodnot aposteriorních směrodatných odchylek se nevešla do stanoveného intervalu. Dosažená přesnost tedy neodpovídá přesnosti, dané při volbě vah měření. Tyto hodnoty, jsou až na jednu výjimku pod stanoveným intervalem. Důvodem překročení intervalu shora (2,531) jsou špatně měřené délky na stanovisku 2, díky krátké době temperace. Z hlediska ostatních hodnot můžeme říci, že měření mělo větší přesnost, než jakou uvádí výpočet přesnosti směřů přes výpočet úhlových uzávěrů.

## 5.1 Kovarianční matice

Pro analýzu měření, je nutné, aby opravy byly nezávislé. Pro tuto podmínku byly vypočteny homogenizované opravy. Jejich výpočet vychází z partikulárního řešení ze vztahu

$$\mathbf{h}_0 = \mathbf{U} \cdot \mathbf{z} = [\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2] \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{z}_2 \end{bmatrix} = [\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2] \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{z}_2 \end{bmatrix} = \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{z}_2, \quad (50)$$

kde

$\mathbf{U}_2$  je  $15 \times 12$  matice,  $\mathbf{z}_2$  je nenulový vektor a  $\mathbf{z}_1 = \mathbf{0}$ .

Podle vztahu (33), je tuto rovnici, pro lepší porozumění následujících vztahů, možné schematicky znázornit

$$\begin{bmatrix} \mathbf{S}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{S}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{z}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{d}_1 \\ \mathbf{d}_2 \end{pmatrix}, \quad (51)$$



kde

$\mathbf{S}_1$  je  $3 \times 3$  nulová matice, a  $\mathbf{S}_2$  diagonální  $12 \times 12$  matice. Vektory  $\mathbf{z}_1 = \mathbf{0}$  a  $\mathbf{d}_1$  mají stejný rozměr  $3 \times 1$ .

Výpočet vektoru  $\mathbf{z}_2$  je dán vztahem

$$\mathbf{z}_2 = \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{d}_2 \quad . \quad (52)$$

Dosažením do (50) vznikne

$$\mathbf{h}_0 = \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{d}_2 \quad . \quad (53)$$

Pro další výpočet bylo potřeba vytvořit matici  $\mathbf{J}$  sestavenou z nulové a jednotkové matice, platí  $\mathbf{J} \cdot \mathbf{d} = \mathbf{d}_2$ , její rozměr je  $12 \times 15$ .

$$\mathbf{J} = \left( \begin{array}{ccc|ccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array} \right) \quad . \quad (54)$$

Do rovnice (53) zavedeme substituci  $\mathbf{d}_2 = \mathbf{J} \cdot \mathbf{d} = \mathbf{J} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}$ , pak

$$\mathbf{h}_0 = \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{J} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l} \quad . \quad (55)$$

Tento výpočet vektoru neznámých korekcí souřadnic a orientačních posunů  $\mathbf{h}_0$  je shodný s výše uvedeným vztahem (35).

V dalším kroku se provede výpočet kovarianční matice neznámých  $\Sigma_h$

$$\Sigma_h = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{J} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{P}^{-1} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{J}^T \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \quad . \quad (56)$$

Úpravou, kdy  $\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{U}^T$  a  $\mathbf{P}^{-1} \cdot \mathbf{P} = \mathbf{E}$  byl tento vztah zjednodušen na

$$\Sigma_h = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{J} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{J}^T \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \quad . \quad (57)$$



Dalšími úpravami se dostane

$$\Sigma_h = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \mathbf{U}_2^T \quad . \quad (58)$$

Kovarianční matice oprav měření byla vypočtena rozdílem kovarianční matice měření  $\Sigma_L$  a kovarianční matice vyrovnaného měření  $\Sigma_{\bar{L}}$ .

Kovarianční matice oprav měření  $\Sigma_v$  je tedy

$$\Sigma_v = \Sigma_L - \Sigma_{\bar{L}} \quad , \quad (59)$$

kde

$$\Sigma_{\bar{L}} = \mathbf{A} \cdot \Sigma_h \cdot \mathbf{A}^T = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{A}^T \quad , \quad (60)$$

$$\Sigma_L = \mathbf{P}^{-1} \cdot \sigma_0'^2 \quad . \quad (61)$$

Dosazením byl vztah upraven na

$$\Sigma_v = \sigma_0'^2 (\mathbf{E} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P}) \cdot \mathbf{P}^{-1} \quad . \quad (62)$$

Označením  $\mathbf{R} = \mathbf{E} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P}$  je

$$\Sigma_v = \mathbf{R} \cdot \Sigma_L \quad . \quad (63)$$

Matice  $\mathbf{R}$  je symetrická a idempotentní  $\mathbf{R} = \mathbf{R}^2$ .

Jestliže hodnota  $\frac{\sigma_0'}{\sigma_0}$  překročí kritickou hodnotu, použijeme pro výpočet charakteristiky přesnosti směrodatnou odchylku odhadnutou z oprav měření - aposteriorní. Překročení tohoto poměru může být způsobeno vlivem fyzikálních podmínek, nebo chybami přístroje. Ve výše uvedených vztazích je obsažena apriorní směrodatná odchylka měření.

Postup výpočtu byl zpracován na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.



## 5.2 Analýza oprav

Výpočet homogenizovaných oprav se počítá pro analýzu oprav měření a pro označení podezřelých a odlehlých měření. Homogenizací je odstraněna závislost mezi jednotlivými hodnotami. Vektor homogenizovaných oprav byl vypočten pomocí následujících vztahů.

Kovarianční  $40 \times 40$  matice oprav  $\Sigma_v$  je singulární a rozloží se na součin

$$\Sigma_v = \mathbf{V} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{V}^T . \quad (64)$$

Matice  $\mathbf{D}$  je diagonální matice vlastních čísel  $\lambda$ , z nichž některá jsou nulová, konkrétně 12. Počet nenulových prvků odpovídá počtu stupňů volnosti, tj. 28. V této matici jsou vlastní čísla sestavena vzestupně.

Inverzní odmocninová matice

$$\Sigma_v^{-1/2} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{D}^{-1/2} \cdot \mathbf{V}^T , \quad (65)$$

kde diagonální  $40 \times 40$  matice  $\mathbf{D}^{-1/2}$  má prvních 12 prvků nulových a další jsou upravená vlastní čísla  $\lambda^{-1/2}$ .

$$\mathbf{D}^{-1/2} = \text{diag}(0,0,\dots,0, \frac{1}{\sqrt{\lambda_{ii}}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{\lambda_{ii}}}) \quad (66)$$

Výsledný vektor homogenizovaných oprav je

$$\tilde{\mathbf{v}} = \Sigma_v^{-1/2} \cdot \mathbf{v} . \quad (67)$$

Tyto homogenizované opravy jsou tedy navzájem nezávislé, předpokládá se normální rozdělení  $\tilde{\mathbf{v}} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{E})$ . Opravy, které nevyhovují intervalu spolehlivosti  $(-t_{\alpha/2} \leq \tilde{v}_i \leq t_{\alpha/2})$ , jsou zatíženy většími chybami. Pro riziko testu  $\alpha = 0.05$  je hodnota  $t_{\alpha/2} = 1,96$ .

Toto testování bylo provedeno pro normální a standardní měření. Výsledné hodnoty z prvního a druhého měření jsou zobrazeny v následujících tabulkách.



Tab. 19 Homogenizované opravy - měření č. 1

Měření č. 1											
Přístroj				Přístroj č. 1			Přístroj č. 2				
Cílení	stan.		bod	Autolock	Manuální	Autolock	Autolock	Manuální	Autolock		
Hranol				Leica		360°	Leica		360°		
	1	délka	2	-0.77	0.00	1.69	0.08	0.23	1.88		
			3	-0.33	0.61	-0.49	0.29	0.25	-0.06		
			4	-0.31	0.68	0.27	-0.19	-0.31	0.25		
			5	-0.27	0.25	0.81	-0.18	-0.25	0.33		
			2	0.30	0.48	-0.02	-1.76	-1.20	-0.24		
		směr	3	-0.19	-0.79	-1.00	2.70	2.00	-1.23		
			4	-0.32	1.10	-0.41	-1.15	-0.65	0.02		
			5	0.21	-0.79	1.43	0.21	-0.15	1.45		
			2	délka	1	2.49	-0.52	0.18	-0.84	-0.50	0.33
					3	2.33	-0.37	-0.09	0.22	-0.02	0.04
	4	2.51			-0.10	-0.85	-0.37	-0.43	-1.02		
	5	2.08			-0.14	-0.56	0.35	0.22	0.94		
	směr	1		-0.27	1.46	-1.31	-0.49	0.13	-1.32		
		3	0.04	0.77	-0.05	-0.17	0.45	-0.33			
		4	0.07	-2.11	0.97	1.50	1.94	1.53			
		5	0.17	-0.12	0.39	-0.84	-2.52	0.12			
		3	délka	1	-0.77	0.00	-0.86	0.74	0.23	-0.63	
	2			-0.83	-0.37	-0.72	-0.44	-0.35	-0.80		
	4			-0.63	0.04	-0.79	0.12	0.23	-0.42		
	5			-0.61	-1.02	-1.10	0.04	0.18	-0.76		
1	0.05			0.52	0.40	1.12	-0.49	0.69			
směr	2		-0.09	-0.40	0.44	-0.54	-1.05	0.50			
	4		-0.10	0.32	0.82	-1.27	-0.52	0.52			
	5		0.14	-0.45	-1.66	0.69	2.06	-1.71			
	4		délka	1	-0.68	-0.14	0.91	0.35	0.17	-0.42	
				2	-0.42	-0.52	0.71	-0.51	-0.24	-0.59	
3		-0.63		0.04	0.06	0.12	0.23	-0.73			
5		-0.31		0.68	0.48	-0.85	-0.31	-1.19			
1		-0.14		-1.30	0.80	-1.01	-0.04	0.03			
směr		2	-0.30	0.36	0.52	0.84	1.21	0.38			
		3	0.12	0.83	-1.54	-0.42	-1.35	-0.18			
		5	0.33	0.10	0.21	0.60	0.19	-0.22			
		5	délka	1	-0.33	0.61	-0.49	0.29	0.25	-0.06	
				2	-0.46	-0.10	-0.85	0.29	-0.52	-0.18	
3	-0.61			-1.02	-0.46	0.04	0.18	0.07			
4	-0.42			-0.52	0.06	-0.51	0.25	1.32			
1	0.00			-1.52	0.31	-1.54	-0.46	0.49			
směr	2		-0.05	2.63	-1.73	-0.05	-0.17	-1.62			
	3		-0.24	-0.71	0.77	0.81	-0.15	1.17			
	4		0.28	-0.40	0.65	0.78	0.79	-0.04			



Tab. 20 Homogenizované opravy - měření č. 2

Měření č. 2									
Přístroj				Přístroj č. 1			Přístroj č. 2		
Cílení	stan.		bod	Autolock	Manuální	Autolock	Autolock	Manuální	Autolock
Hranol				Leica		360°	Leica		360°
	1	délka	2	0.42	0.01	-0.27	0.01	-0.01	-0.10
			3	0.42	0.16	-0.97	0.98	0.11	-0.41
			4	-0.23	-0.30	0.90	-0.03	-0.09	1.27
			5	0.70	0.55	0.18	0.72	0.26	0.13
		směr	2	-0.04	0.03	0.69	1.55	0.03	0.87
			3	0.36	1.20	-0.64	0.10	1.40	-0.68
			4	-1.27	-1.69	-0.16	-1.49	-1.97	-0.11
			5	0.94	0.46	0.12	-0.16	0.54	-0.08
	2	délka	1	0.70	0.55	0.18	0.72	0.26	0.13
			3	-0.85	-1.24	-0.06	-0.57	-0.54	0.40
			4	0.14	0.16	-0.70	0.53	0.06	-0.69
			5	-0.39	-0.03	1.30	-0.84	-0.01	0.42
		směr	1	-1.37	-1.15	-0.91	0.01	-1.34	-0.78
			3	-1.18	-1.60	-0.16	0.37	-1.87	-0.33
			4	1.14	0.85	1.46	-1.61	0.99	1.94
			5	1.40	1.91	-0.39	1.22	2.23	-0.83
	3	délka	1	0.42	0.01	0.41	0.01	-0.01	-0.10
			2	0.06	-0.22	-0.75	0.76	-0.14	-0.28
			4	-0.85	-0.64	0.00	-1.88	-0.29	-0.25
			5	-1.33	-0.54	-0.99	-0.56	-0.28	-0.65
směr		1	0.79	-0.14	0.47	-1.46	-0.17	0.27	
		2	0.74	1.20	-0.91	-0.15	1.41	-0.93	
		4	-1.38	-1.20	-1.83	1.30	-1.41	-1.81	
		5	-0.15	0.15	2.27	0.30	0.17	2.47	
4	délka	1	-0.23	-0.30	0.90	-0.70	-0.09	0.60	
		2	0.53	0.99	0.61	0.50	0.39	0.42	
		3	0.01	0.36	-0.64	0.89	0.15	-0.15	
		5	-0.85	0.38	0.00	-0.55	0.10	-0.25	
	směr	1	0.88	0.84	-0.61	1.32	0.98	-0.72	
		2	-1.16	-0.77	0.20	-0.14	-0.90	0.26	
		3	-0.57	-0.54	0.02	-0.30	-0.63	0.50	
		5	0.85	0.47	0.39	-0.87	0.55	-0.04	
5	délka	1	0.42	0.16	-0.97	0.31	0.11	-0.41	
		2	1.06	1.18	-0.01	0.53	0.46	-0.69	
		3	-0.42	-1.56	-0.31	0.11	-0.67	0.02	
		4	-1.82	-0.66	-0.64	-1.11	-0.25	-0.82	
	směr	1	-0.13	0.29	1.26	0.13	0.34	1.43	
		2	-1.00	-1.18	-0.74	0.92	-1.38	-0.88	
		3	0.37	0.43	-1.44	-0.64	0.50	-1.36	
		4	0.76	0.46	0.92	-0.41	0.54	0.81	





Měření by mělo mít normální rozdělení, tedy i homogenizované opravy tohoto měření by měly odpovídat normálnímu rozdělení. Pomocí homogenizovaných oprav byly vytvořeny histogramy četností, které byly proloženy křivkou normálního rozdělení. Vytvořené histogramy se střední hodnotou normálního rozdělení  $\mu$  a variancí  $\sigma$  jsou uvedeny níže.

### 5.2.1 Histogramy měření č. 1

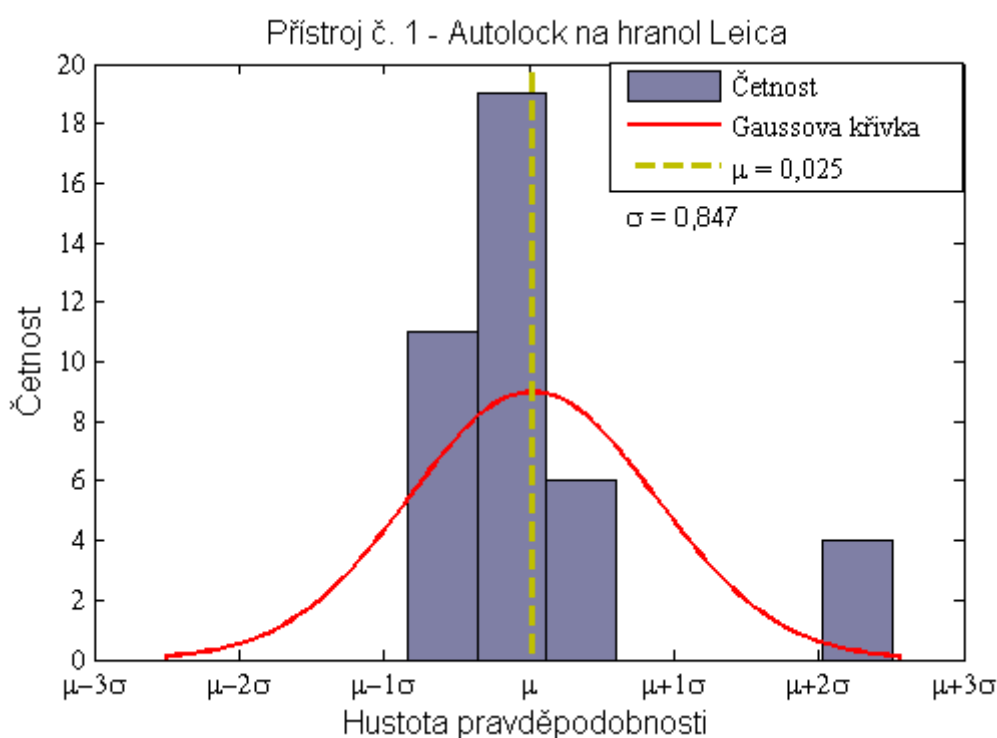
Histogramy homogenizovaných oprav vypočtených analýzou oprav z prvního měření byly vytvořeny v programu Matlab. Podle těchto histogramů můžeme říci, zda jednotlivá měření vykazují normální rozdělení, nebo ne. Histogramy byly rozděleny do tříd, podle vztahu

$$k = [1 + 1,4426 \cdot \ln(r)] = 7, \quad (68)$$

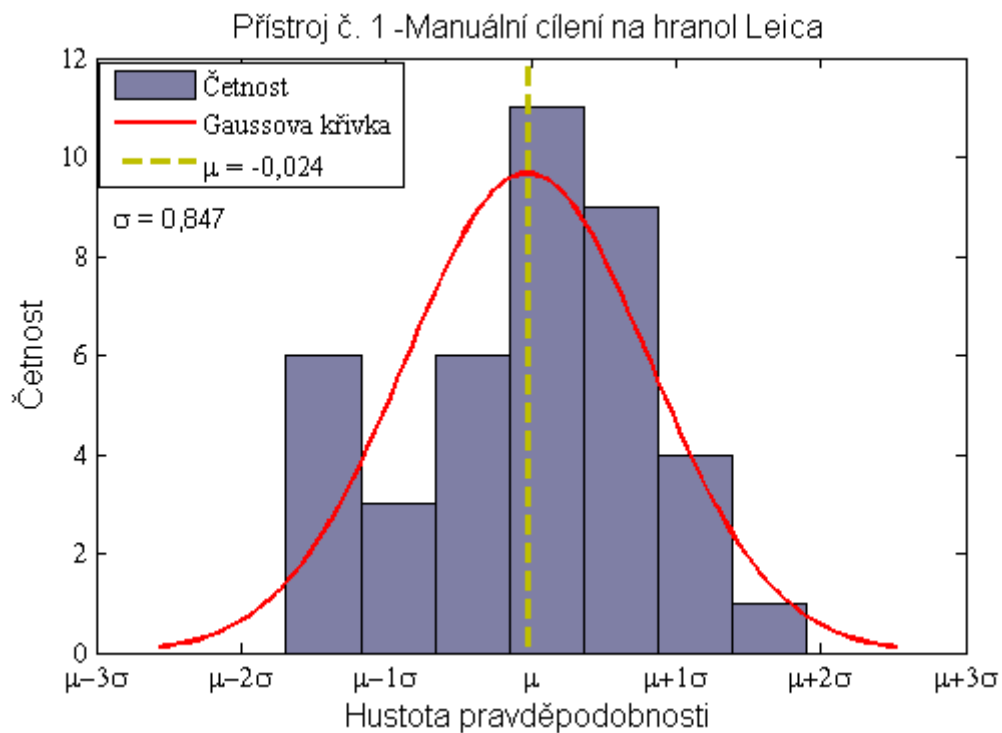
kde

$r$  je velikost testovaného souboru  $r = 40$ .

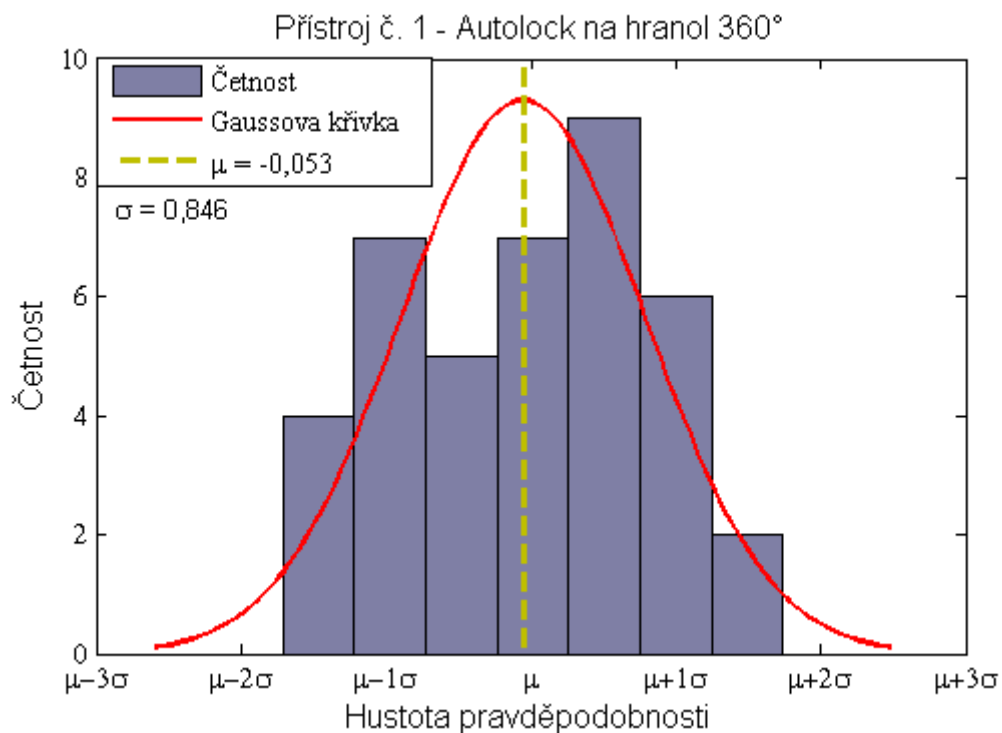
Tento vztah je určen jen pro velikost testovaného souboru  $r \leq 40$ , který pro nás platí. Jednotlivé grafy znázorňují četnosti homogenizovaných oprav. [8]



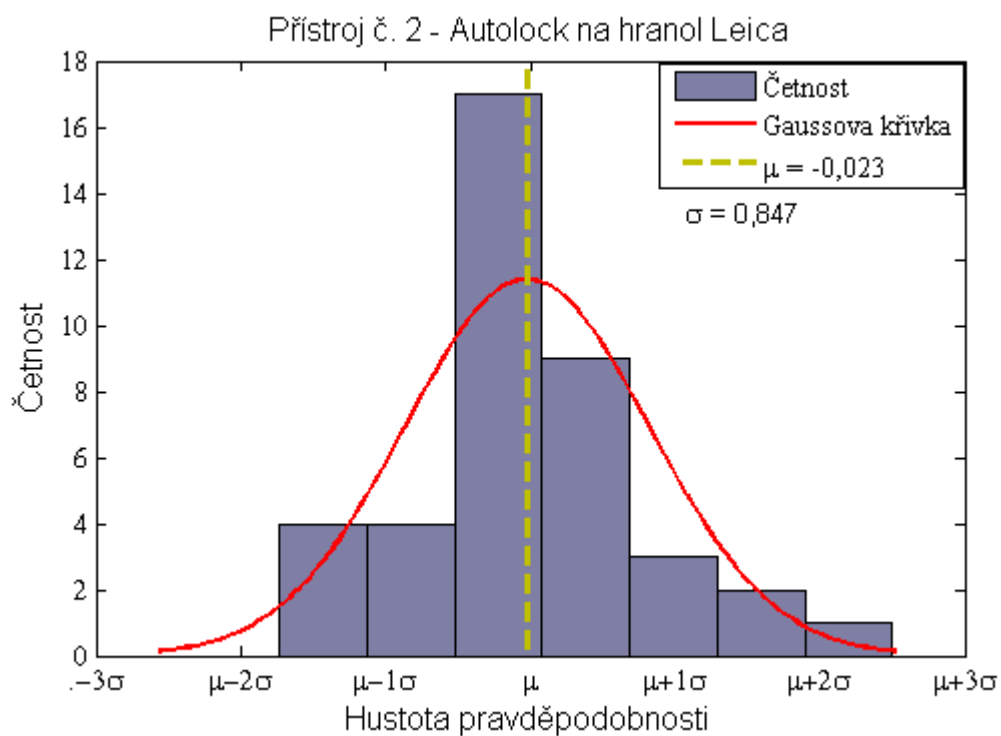
Obr. 10 Histogram 1 - cílení systémem Autolock na hranol Leica



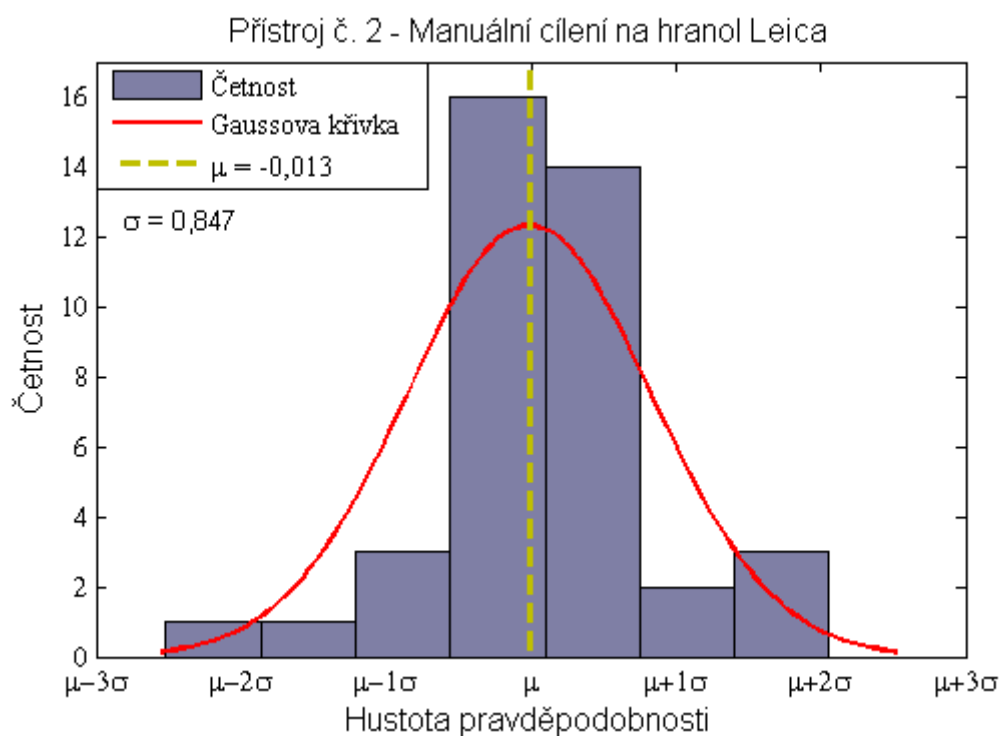
Obr. 11 Histogram 2 - manuální cílení na hranol Leica



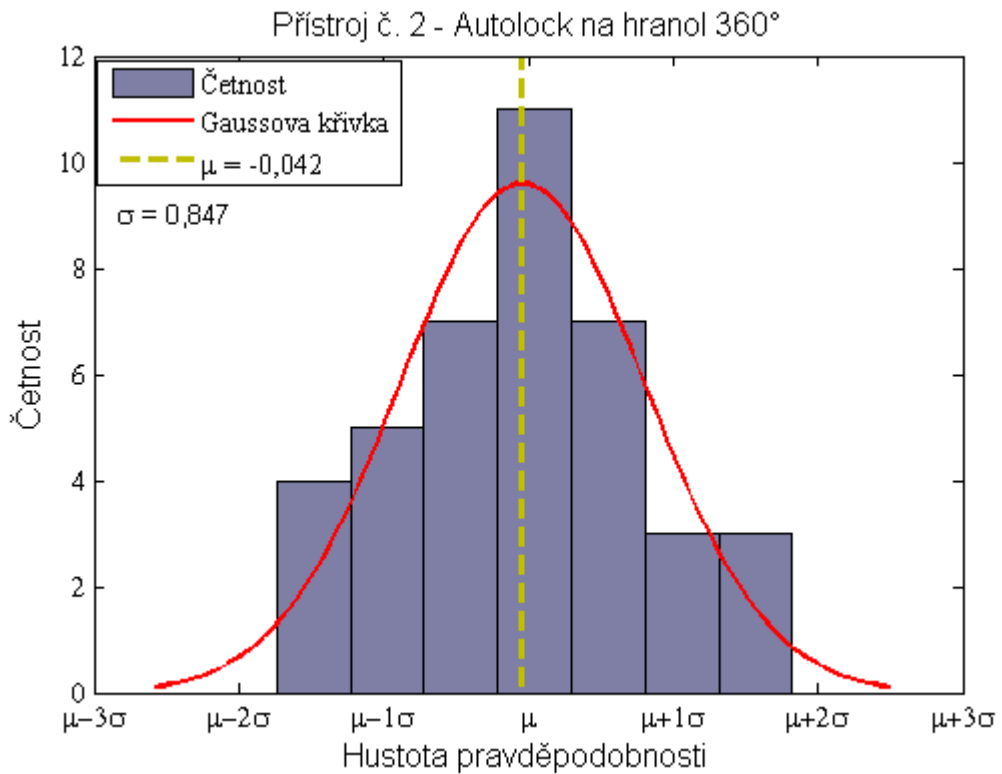
Obr. 12 Histogram 3 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol



Obr. 13 Histogram 4 - cílení systémem Autolock na hranol Leica

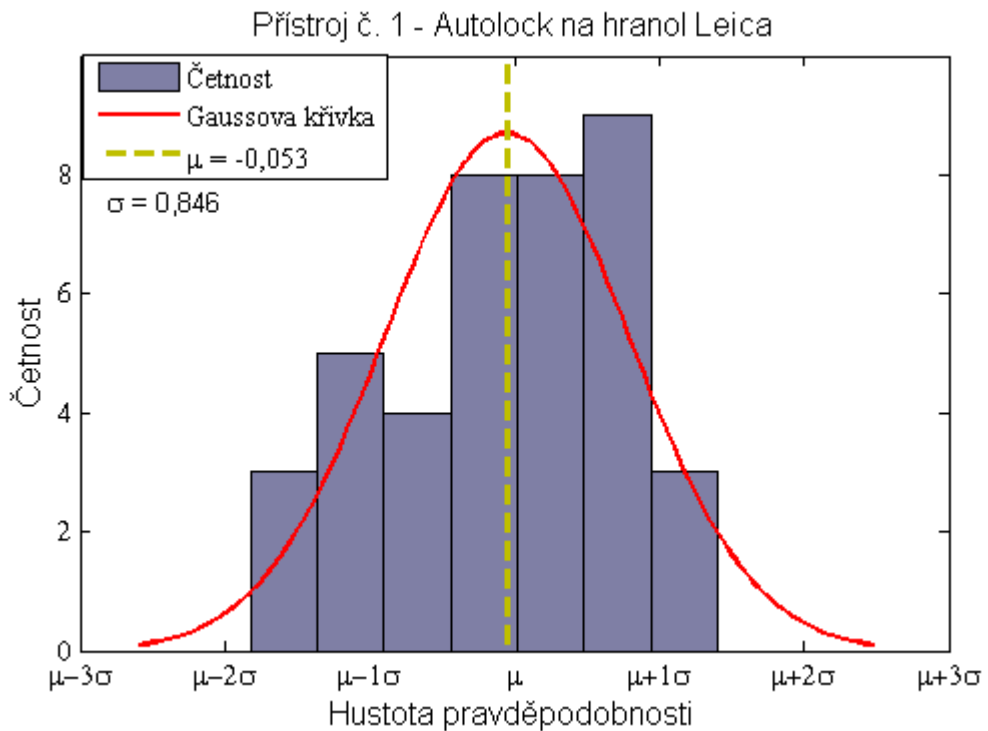


Obr. 14 Histogram 5 - manuální cílení na hranol Leica

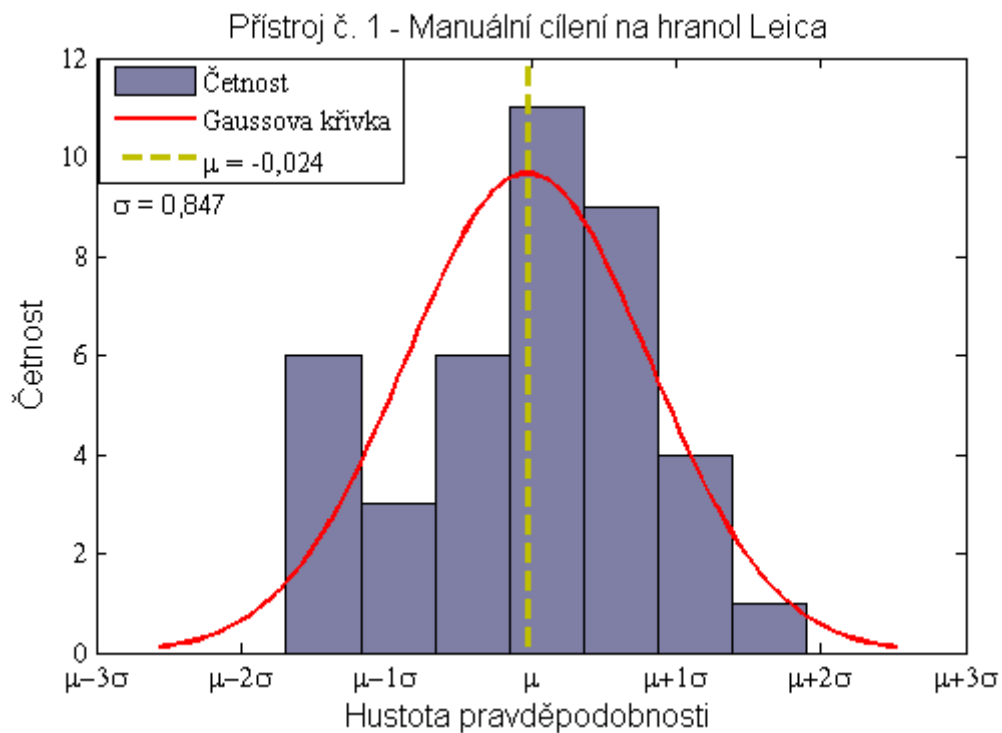


Obr. 15 Histogram 6 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol

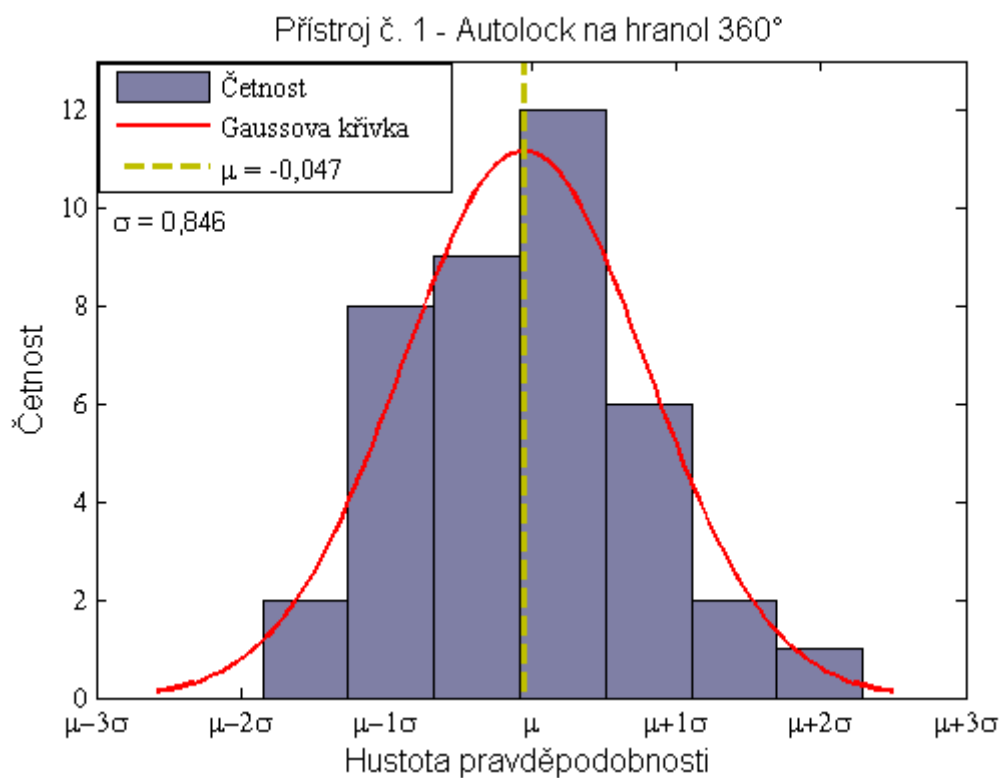
## 5.2.2 Histogramy měření č. 2



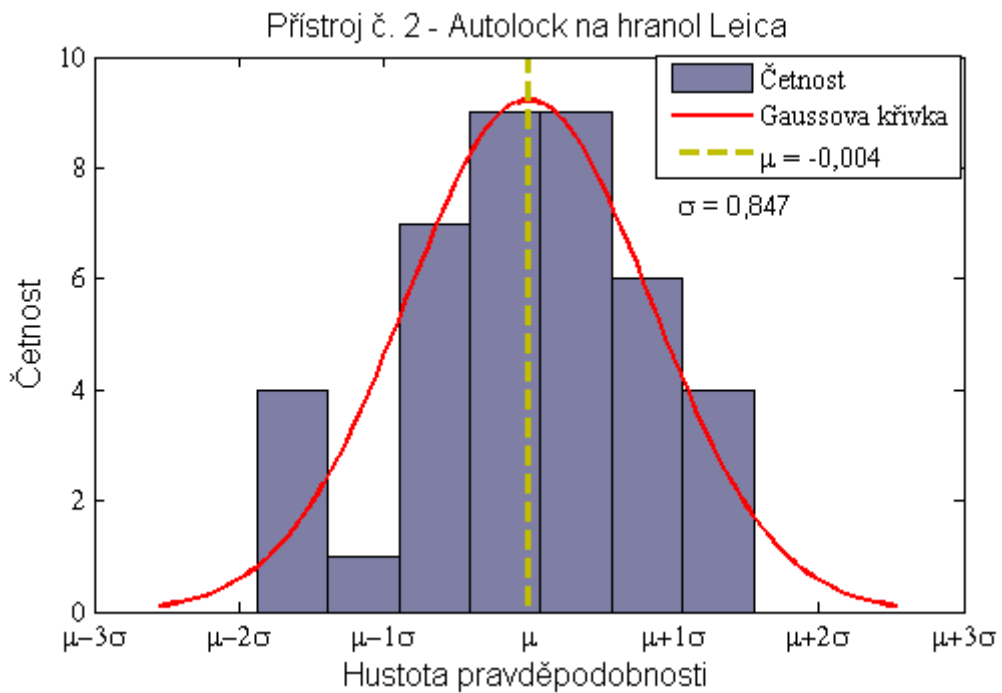
Obr. 16 Histogram 7 - cílení systémem Autolock na hranol Leica



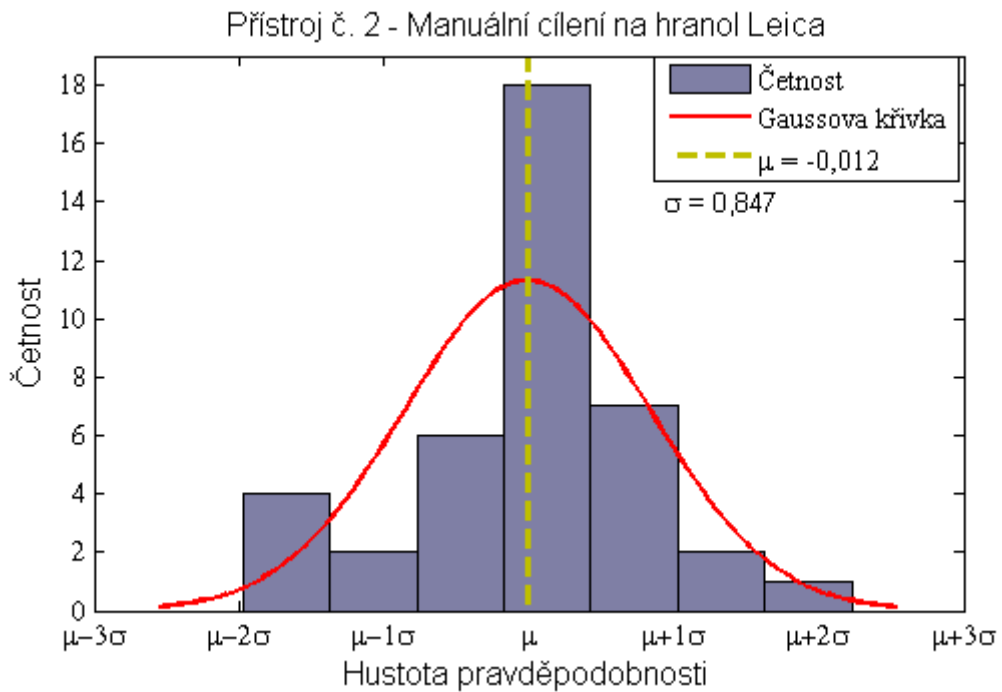
Obr. 17 Histogram 8 - manuální cílení na hranol Leica



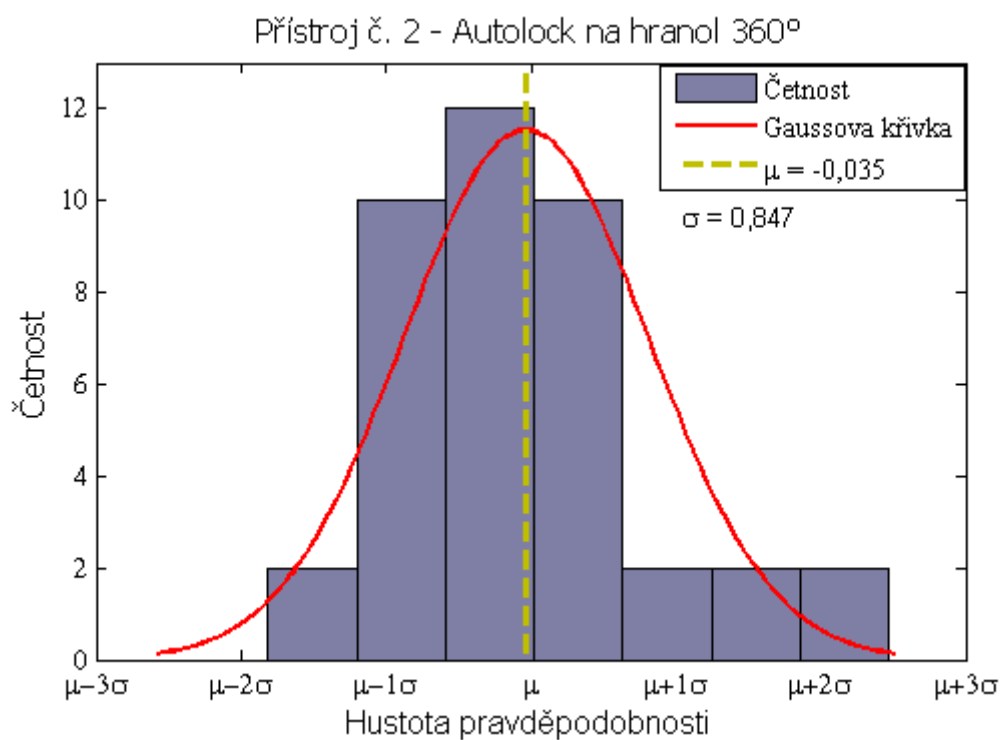
Obr. 18 Histogram 9 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol



Obr. 19 Histogram 10 - cílení systémem Autolock na hranol Leica



Obr. 20 Histogram 11 - manuální cílení na hranol Leica



Obr. 21 Histogram 12 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol



## Závěr

Účelem této diplomové práce bylo porovnání výsledků automatického cílení systémem Autolock a optického cílení na hranoly Leica pomocí analýzy měření ve volné síti. Také byly porovnávány výsledky měření na dva různé hranoly, na které bylo cíleno systémem Autolock, a to na všesměrový kruhový hranol  $360^\circ$  a hranoly Leica. Všechna měření byla následně vyrovnána a byly posouzeny výsledky jednotlivých měření.

Při porovnávání délek, které tvoří spolu s měřenými směry vektor měření, bylo zjištěno, že délky naměřené přístrojem č. 1 jsou systematicky větší než délky měřené přístrojem č. 2 (v průměru o 2 mm). Nebyly zjištěny příčiny těchto rozdílů, proto byly tyto délky použity pro další výpočty.

Pro vyrovnání volné sítě metodou nejmenších čtverců existuje nekonečně mnoho řešení a pro tuto práci bylo použito řešení založené na rozkladu matice soustavy normálních rovnic.

Dále bylo provedeno testování aposteriorní směrodatné odchylky měření. Při tomto testování bylo zjištěno, že polovina měření neodpovídá přesnosti (hodnoty mimo interval zdola), která vyplývá u směrů z trojúhelníkových uzávěrů a u délek z parametrů přístroje.

Nakonec byly vypočteny homogenizované opravy, které jsou nekorelované a v případě normálního rozdělení i nezávislé a mají rozdělení  $N(0, 1)$ . Vypočtené homogenizované opravy byly testovány na základě normálního rozdělení. Měření, u kterých se homogenizované opravy nevešly do stanoveného intervalu, jsou zatíženy většími chybami. Těchto hodnot bylo v prvním měření pro přístroj č. 1 celkově 6 a pro přístroj č. 2 pouze 3. V druhém měření byla u přístroje č. 1 překročena jen jedna hodnota a u přístroje č. 2 dvě. U prvního měření většina hodnot překročila stanovený interval na stanovisku č. 2, na kterém začínalo měření. Jedná se o homogenizované opravy, které přísluší délkám, měřených systémem Autolock na hranol Leica. Tyto překročené hodnoty lze odůvodnit krátkou temperací přístroje na začátku měření. Přístroj tedy reaguje citlivě na změny teplot.

Z homogenizovaných oprav vypočtených analýzou oprav byly vytvořeny v programu Matlab histogramy. Podle těchto histogramů, je možné říci, zda jednotlivá měření vykazují normální rozdělení či nikoliv. Srovnání histogramů s normálním rozdělením bylo provedeno proložením Gaussovy křivky v Matlabu, kterou nám tento





program vypočetl. Podle grafů měřená data odpovídají normálnímu rozdělení. Odhady středních hodnot  $\mu$  jsou kolem 0 a variance  $\sigma = 0,85$ .

Výpočet vyrovnání byl vždy kontrolován dvojím výpočtem oprav měření, pro které platilo, že jejich rozdíl je nulový. Dále byla provedena kontrola výpočtu vyrovnání pro umístění sítě pomocí programového systému Groma (protokol v příloze č. 2). Všechny kontroly proběhly v pořádku.

Z výsledků můžeme říci, že cílení na hranoly Leica pomocí systému Autolock je stejně přesné, jako cílení manuální. Při měření na všesměrové hranoly  $360^\circ$  je přesnost menší v závislosti na natočení hranolu. U automatického cílení při strmější záměře dalekohledu nebylo prokázáno zhoršení výsledků.

## Seznam zdrojů

- [1] *Trimble* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://www.trimble.com/>
- [2] HRČKA, Michal. *Využitie automatizovaného cielenia v inžinierskej geodézii* [online]. [cit. 2016-05-12].
- [3] KIRSCHNER, Holger a Werner STEMPFHUBER. *The Kinematic Potential of Modern Tracking Total Stations - A State of the Art Report on the Leica TPS1200+* [online]. 2008, , 6-7 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.mcg.ethz.ch/papres/Kirschner\\_Stempfhuber\\_05.pdf](http://www.mcg.ethz.ch/papres/Kirschner_Stempfhuber_05.pdf)
- [4] Analyzátor spalin. . [online]. 3.4.2016 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: [www.mru.cz](http://www.mru.cz)
- [5] AMT měřicí technika. . [online]. 3.4.2016 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: [www.amt.cz](http://www.amt.cz)
- [6] Ing. Pavla FORMANOVÁ, Ph.D., a Ing. Tomáš KUBÍN, Ph.D. *GEODÉZIE 1,2 Návody na cvičení*. Praha, 2009. České vysoké učení technické.
- [7] Bc. Zbyněk PROKŠ. *Studie o vyrovnání měření (2D volné sítě)*. Praha, 2008. ČVUT.
- [8] *Kvalitajednoduse.cz: Histogram* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://kvalita-jednoduse.cz/histogram/>

## Seznam obrázků

Obr. 22 Trimble S3 .....	9
Obr. 23 Změna vodorovného směru v závislosti na otáčení hranolu .....	11
Obr. 24 Přijímač a kontroler GPS .....	11
Obr. 25 Digitální teploměr GFTH 95 a tlakoměr GPB 1300 .....	12
Obr. 26 Tvar měřické sítě .....	13
Obr. 27 Hranoly Leica a všesměrový 360° .....	14
Obr. 28 schéma pro výpočet úhlu $\varphi$ .....	17
Obr. 29 Délka .....	25
Obr. 30 Směr .....	26
Obr. 10 Histogram 1 - cílení systémem Autolock na hranol Leica .....	41
Obr. 11 Histogram 2 - manuální cílení na hranol Leica .....	42
Obr. 12 Histogram 3 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol .....	42
Obr. 13 Histogram 4 - cílení systémem Autolock na hranol Leica .....	43
Obr. 14 Histogram 5 - manuální cílení na hranol Leica .....	43
Obr. 15 Histogram 6 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol .....	44
Obr. 16 Histogram 7 - cílení systémem Autolock na hranol Leica .....	44
Obr. 17 Histogram 8 - manuální cílení na hranol Leica .....	45
Obr. 18 Histogram 9 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol .....	45
Obr. 19 Histogram 10 - cílení systémem Autolock na hranol Leica .....	46
Obr. 20 Histogram 11 - manuální cílení na hranol Leica .....	46
Obr. 21 Histogram 12 - cílení systémem Autolock na všesměrový hranol .....	
47	

## Seznam tabulek

Tab. 21 Technické parametry přístroje [1] .....	9
Tab. 22 Testování odchylek směru .....	10
Tab. 23 Parametry přístrojů .....	12
Tab. 24 Nadmořské výšky spojnic bodů .....	18
Tab. 25 Porovnání rovinných délek mezi přístroji měření č. 1 .....	19
Tab. 26 Porovnání rovinných délek mezi přístroji měření č. 2 .....	20
Tab. 27 Směrodatné odchylky délek .....	21
Tab. 28 Určení souřadnic bodů metodou GNSS při měření č. 1 .....	22
Tab. 29 Určení souřadnic bodů metodou GNSS měření č. 2 .....	22
Tab. 30 Uzávěry jednotlivých trojúhelníků v síti při měření č. 1 .....	24
Tab. 31 Uzávěry jednotlivých trojúhelníků v síti při měření č. 2 .....	24
Tab. 32 Výběrové směrodatné odchylky .....	25
Tab. 33 Výběrové směrodatné odchylky .....	25
Tab. 34 Parciální derivace délky .....	25
Tab. 35 Parciální derivace vypočteného směru .....	26
Tab. 36 Hodnoty vektoru korekcí měření č. 1 .....	32
Tab. 37 Hodnoty vektoru korekcí měření č. 2 .....	33
Tab. 38 Testování přesnosti .....	35
Tab. 39 Homogenizované opravy - měření č. 1 .....	39
Tab. 40 Homogenizované opravy - měření č. 2 .....	40

# Seznam příloh

Příloha 1: Výpočetní skript vyrovnání volné sítě v program Matlab

Příloha 2: Protokol vyrovnání volné sítě v programu Groma

Příloha 3: Protokol měření pomocí GPS měření č. 1

Příloha 4: Protokol měření pomocí GPS měření č. 2

Příloha 5: Certifikát totální stanice Trimble S3

## Příloha 1: Výpočetní skript vyrovnání volné sítě v program Matlab

### Měření č. 2 pro přístroj č. 1 automatického cílení na hranoly Leica

```
format long g
clc
clear all
%Nový přístroj automatické cílení na hranol leica
%Souřadnice určené GPS
%
%      ID      Y      X
pnts = [ 1      818264.447  1073664.726
         2      818344.736  1073592.909
         3      818331.286  1073509.911
         4      818244.343  1073550.469
         5      818299.012  1073552.672 ];
%Typ veličiny: 1 - délka 2 - směr
%
%      stan.   typ   cíl   veličina
Matice = [ 1      1      3      168.635
           1      1      5      117.269
           1      1      4      116.022
           1      1      2      107.723
           1      2      3      396.8172
           1      2      5      3.7171
           1      2      4      33.8549
           1      2      2      369.2185
           2      1      1      107.723
           2      1      3      84.091
           2      1      5      60.917
           2      1      4      109.010
           2      2      1      244.8834
           2      2      3      108.6551
           2      2      5      152.4830
           2      2      4      172.9623
           3      1      1      168.635
           3      1      2      84.090
           3      1      4      95.948
           3      1      5      53.579
           3      2      1      382.4905
           3      2      2      18.6639
           3      2      4      336.2211
           3      2      5      367.2731
           4      1      1      116.022
           4      1      2      109.009
           4      1      5      54.719
           4      1      3      95.948
           4      2      1      30.9001
           4      2      2      94.3449
           4      2      5      117.2433
           4      2      3      147.5927
           5      1      1      117.269
           5      1      2      60.916
           5      1      3      53.578
           5      1      4      54.721
           5      2      1      209.1117
           5      2      2      282.2140
           5      2      3      386.9938
           5      2      4      125.5914];

%naplnění matice plánu[dx1 dy2 dx2 dy2 ... dx5 dy5 o1 o2 o3 o4 o5]
A = zeros(size(Matice,1), 15);
indexor = 10;
indexbodu = [1,2];
```

```

%Vektor přibližného měření vypočteného ze souřadnic
mersour = zeros(size(Matice, 1),1);
for iRow = 1:size(Matice,1)

    if( Matice(iRow,2) == 1 )
        A(iRow, ( Matice(iRow,1) - 1)*2 + indexbodu) =
dsdA(Matice(iRow,1) , Matice(iRow,3));
        A(iRow, ( Matice(iRow,3) - 1)*2 + indexbodu) =
dsdB(Matice(iRow,1) , Matice(iRow,3));
        mersour(iRow,1) = norm([pnts(Matice(iRow,1),3) -
pnts(Matice(iRow,3),3), pnts(Matice(iRow,1),2) -
pnts(Matice(iRow,3),2)]);

    elseif( Matice(iRow,2) == 2 )

        A(iRow, ( Matice(iRow,1) - 1)*2 + indexbodu) =
dsmdA(Matice(iRow,1) , Matice(iRow,3));
        A(iRow, ( Matice(iRow,3) - 1)*2 + indexbodu) =
dsmdB(Matice(iRow,1) , Matice(iRow,3));
        A(iRow, indexor + Matice(iRow,1)) = -1;

        mersour(iRow,1) = atan2(pnts(Matice(iRow,3),2) -
pnts(Matice(iRow,1),2), pnts(Matice(iRow,3),3) -
pnts(Matice(iRow,1),3))*200/pi;
        mersour(mersour < 0) = (mersour(mersour < 0) + 400);
    end
end

%Vektor redukováného měření l
rozdil = Matice(:,4) - mersour;
rozdil(rozdil > 0 & Matice(:,2) == 2) = rozdil(rozdil > 0 &
Matice(:,2) == 2) - 400;
rozdil( Matice(:,2) == 2) = rozdil( Matice(:,2) == 2)*pi/200;
l = rozdil;

%Matice vah
PP = zeros(40,40);
for iRow = 1:size(Matice,1)
    for iCol = 1:40

        if( Matice(iRow,2) == 1 && iRow == iCol)
            PP (iRow,iCol) = 1/(0.002^2);

            elseif(Matice(iRow,2) == 2 && iRow == iCol)
                PP (iRow,iCol) = 1/((0.0006*(pi/200))^2);
            end
        end
    end
end

%Řešení normálních rovnic
N = A'*PP*A;
c = A'*PP*l;

%Symetrická matice
SYM = 0.5*(N+N');
%Rozklad
[U,S] = eig(SYM);
S(1,1) = 0;
S(2,2) =0;
S(3,3) =0;
SS = diag(S);
d = U'*c;

for i = 4:15

```

```

    z(i) = d(i)/SS(i);
end

S2 = S(4:15,4:15);
J = [zeros(12,3),eye(12,12)];
U2 = U(:,4:15);
h2 = U2*S2^-1*J*U'*A'*PP*1;

%Symetrická, idenpotentni matice
R = eye(40,40) - A*U2*S2^-1*U2'*A'*PP;

%Vektor korekcí
h = U*z';

%Vektor oprav měření
v = (A*h-1);

%Aposteriorní směrodatná odchylka
sig0 = sqrt((v'*PP*v)/(length(1)-rank(A)));

%Podíl aposteriorní a apriorní sm. odchylky
P = sig0/1;

%Chikvadrat spodní hranice intervalu
CHL = sqrt(chi2inv(0.025,28)/28);
%Chikvadrat horní hranice intervalu
CHP = sqrt(chi2inv(0.975,28)/28);

%Kovarianční matice měření
sigmaV = PP^-1*sig0^2;

%Kovarianční matice oprav měření
kovv = R*sigmaV;
kovvv = 0.5*(kovv+kovv');

%Rozklad kovarianční matice oprav měření
[V,D]= eig(kovvv);

aa = diag(D);
aa(1:12)=0;

bb = aa(1:12);
cc = aa(13:40).^(-0.5);
dd = [bb;cc];

%Diagonální matice vlastních čísel
DD = diag(dd);
%Kovarianční matice oprav měření
SIGV = V*DD*V';

%%
%Dvojí výpočet oprav
%Vyrovnané souřadnice
for iRow = 1:5

VyrSourX = [pnts(1,3)+h(1), pnts(2,3)+h(3), pnts(3,3)+h(5),
pnts(4,3)+h(7), pnts(5,3)+h(9)]';
VyrSourY = [pnts(1,2)+h(2), pnts(2,2)+h(4), pnts(3,2)+h(6),
pnts(4,2)+h(8), pnts(5,2)+h(10)]';
id = [1 2 3 4 5]';
VyrSour = [id VyrSourY VyrSourX];
end

%Sestavení vektoru měření z vyrovnaných souřadnic

```



```

Lvyr = zeros(size(Matice, 1),1);

for iRow = 1:size(Matice,1)

    if( Matice(iRow,2) == 1 )
        Lvyr(iRow,1) = sqrt((VyrSour(Matice(iRow,1),3) -
VyrSour(Matice(iRow,3),3))^2+ (VyrSour(Matice(iRow,1),2) -
VyrSour(Matice(iRow,3),2))^2);

    elseif( Matice(iRow,2) == 2 )
        Lvyr(iRow,1) = atan2(VyrSour(Matice(iRow,3),2) -
VyrSour(Matice(iRow,1),2), VyrSour(Matice(iRow,3),3) -
VyrSour(Matice(iRow,1),3))*200/pi;
        Lvyr(Lvyr < 0) = (Lvyr(Lvyr < 0) + 400);
    end
end

vyr_mer = Lvyr;
vyr_mer(5:8) = (Lvyr(5:8) -h(11)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer(13:16) = (Lvyr(13:16) -h(12)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer(21:24) = (Lvyr(21:24) -h(13)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer(29:32) = (Lvyr(29:32) -h(14)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer(37:40) = (Lvyr(37:40) -h(15)*200/pi)*pi/200;

for i = 1:40
    if (vyr_mer(i) < 0 )
        vyr_mer(i) = vyr_mer(i)+2*pi;
    end
end
%2. opravy
VVV =zeros(size(Matice, 1),1) ;
for i = 1:40
    VVV(i,1) = vyr_mer(i) - Matice(i,4);

    if (Matice(i,2)==2)
        VVV(i,1)=vyr_mer(i) - Matice(i,4)*pi/200;
    end
end
%Homogenizovane opravy
V1 = SIGV*v;

%Histogram
CET = histfit(V1,7,'normal');
title('Přístroj č. 1 - Autolock na hranol Leica');
xlabel('Hustota pravděpodobnosti');
ylabel('Četnost');
text(1,7,'\sigma = 0,846');

legend('Četnost','Gaussova křivka');
set(CET(1), 'facecolor', [0.5,0.5,0.65]);
get(CET(1)) ;
[mu, sigma] = normfit(V1);
%parametry krivky
pd = fitdist(V1,'normal');

%vyrovnané měření
X = Matice(:,4) +v;

-----

%Umístění sítě
%Nulový prostor matice A
H = null(A);

%Podmínková matice pro bod 1 a směrník na bod 3

```

```

GT = [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      0 0 0 0 -sin(174.0539*pi/200) cos(174.0539*pi/200) 0 0 0
      0 0 0 0 0 0];

t = -inv(GT*H)*GT*h;

%Vektor korekcí
hh = h+H*t;
%vyrovnané souřadnice umístěné v Křovákovo zobrazení
VyrSourXX = [pnts(1,3)+hh(1), pnts(2,3)+hh(3), pnts(3,3)+hh(5),
pnts(4,3)+hh(7), pnts(5,3)+hh(9)]';
VyrSourYY = [pnts(1,2)+hh(2), pnts(2,2)+hh(4), pnts(3,2)+hh(6),
pnts(4,2)+hh(8), pnts(5,2)+hh(10)]';
id = [1 2 3 4 5]';
VyrSour_BS = [id VyrSourYY VyrSourXX];

%Opravy měření
opravy = A*hh-l;

rozdil_oprav= v-opravy;

%Dvojí výpočet oprav
%Sestavení vektoru měření z vyrovnaných souřadnic bod a směrník
LLvyr = zeros(size(Matice, 1),1);

for iRow = 1:size(Matice,1)

    if( Matice(iRow,2) == 1 )
        LLvyr(iRow,1) = sqrt((VyrSour_BS(Matice(iRow,1),3) -
VyrSour_BS(Matice(iRow,3),3))^2+ (VyrSour_BS(Matice(iRow,1),2) -
VyrSour_BS(Matice(iRow,3),2))^2);

    elseif( Matice(iRow,2) == 2 )
        LLvyr(iRow,1) = atan2(VyrSour_BS(Matice(iRow,3),2) -
VyrSour_BS(Matice(iRow,1),2), VyrSour_BS(Matice(iRow,3),3) -
VyrSour_BS(Matice(iRow,1),3))*200/pi;
        LLvyr(LLvyr < 0) = (LLvyr(LLvyr < 0) + 400);
    end
end

vyr_mer1 = LLvyr;
vyr_mer1(5:8) = (LLvyr(5:8) -hh(11)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer1(13:16) = (LLvyr(13:16) -hh(12)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer1(21:24) = (LLvyr(21:24) -hh(13)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer1(29:32) = (LLvyr(29:32) -hh(14)*200/pi)*pi/200;
vyr_mer1(37:40) = (LLvyr(37:40) -hh(15)*200/pi)*pi/200;

for i = 1:40
    if (vyr_mer1(i) < 0 )
        vyr_mer1(i) = vyr_mer1(i)+2*pi;
    end
end

%2. opravy
VVV2 =zeros(size(Matice, 1),1) ;
for i = 1:40

    VVV2(i,1) = vyr_mer1(i) - Matice(i,4);

    if (Matice(i,2)==2)
        VVV2(i,1)=vyr_mer1(i) - Matice(i,4)*pi/200;
    end
end
end

```

```

%kontrola Vektoru korekcí
HH = inv(A'*PP*A+GT'*GT)*A'*PP*1;

%Kontrola oprav
opravy1 = A*HH-1;

```

## Výpočetní funkce derivace délek a směrniců

```

%vypocet derivace smerniku
% pro koncovy bod - B
% function [ddx,ddy] = dsmdB (A, B)
function dd = dsmdB (A, B)

%           p.n.           Y           X
pnts = [1  818264.447  1073664.726
        2  818344.736  1073592.909
        3  818331.286  1073509.911
        4  818244.343  1073550.469
        5  818299.012  1073552.672 ];

XB = pnts(B,3);
YB = pnts(B,2);
XA = pnts(A,3);
YA = pnts(A,2);

%derivace smerniku podle x a y koncoveho bodu
ddx = -(YB-YA)/((XA-XB)^2+(YA-YB)^2);
ddy = (XB-XA)/((XA-XB)^2+(YA-YB)^2);
dd = [ddx, ddy];

end

%vypocet derivace smerniku
% pro pocatecni bod - A
% function [ddx,ddy] = dsmdA (A, B)
function dd = dsmdA (A, B)

%           p.n.           Y           X
pnts = [1  818264.447  1073664.726
        2  818344.736  1073592.909
        3  818331.286  1073509.911
        4  818244.343  1073550.469
        5  818299.012  1073552.672 ];

XB = pnts(B,3);
YB = pnts(B,2);
XA = pnts(A,3);
YA = pnts(A,2);

%derivace smerniku podle x a y pocatecniho bodu
ddx = (YB-YA)/((XA-XB)^2+(YA-YB)^2);
ddy = -(XB-XA)/((XA-XB)^2+(YA-YB)^2);
dd = [ddx, ddy];

end

%pocatecni bod - A
% function [ddx,ddy] = dsdA (A, B)
function dd = dsdA (A, B)

%           p.n.           Y           X
pnts = [1  818264.447  1073664.726

```

```

2 818344.736 1073592.909
3 818331.286 1073509.911
4 818244.343 1073550.469
5 818299.012 1073552.672 ];

XB = pnts(B,3);
YB = pnts(B,2);
XA = pnts(A,3);
YA = pnts(A,2);

%derivace delky podle x a y pocatecniho bodu
ddx = -(XB-XA)/(sqrt((XA-XB)^2+(YA-YB)^2));
ddy = -(YB-YA)/(sqrt((XA-XB)^2+(YA-YB)^2));
dd = [ddx, ddy];

end

%vypocet derivace delky
%koncovy bod - B
% function [ddx,ddy] = dsdB (A, B)
function dd = dsdB (A, B)

%      p.n.      Y      X
pnts = [1 818264.447 1073664.726
2 818344.736 1073592.909
3 818331.286 1073509.911
4 818244.343 1073550.469
5 818299.012 1073552.672 ];

XB = pnts(B,3);
YB = pnts(B,2);
XA = pnts(A,3);
YA = pnts(A,2);

%derivace delky podle x a y koncoveho bodu
ddx = (XB-XA)/(sqrt((XA-XB)^2+(YA-YB)^2));
ddy = (YB-YA)/(sqrt((XA-XB)^2+(YA-YB)^2));
dd = [ddx, ddy];

end

```

Pro ostatní měření je výpočetní skript stejný, proto je zde uvedena pouze počáteční matice, která obsahuje měření.

## Měření č. 1

### Přístroj č. 1 automatické cílení na hranoly Leica

```

%1 - delka      2 - smer
%      stn      typ      cil      velicina
Matice = [ 1      1      3      166.912
1      1      5      111.846
1      1      4      115.874
1      1      2      107.288
1      2      3      0.06458
1      2      5      9.7707
1      2      4      37.1425
1      2      2      373.3479
2      1      1      107.274

```

2	1	3	81.612
2	1	5	61.975
2	1	4	107.445
2	2	1	0.1982
2	2	3	262.8946
2	2	5	313.9149
2	2	4	327.6299
3	1	1	166.912
3	1	2	81.628
3	1	4	94.774
3	1	5	58.868
3	2	1	0.0979
3	2	2	36.0779
3	2	4	353.1411
3	2	5	381.4631
4	1	2	107.459
4	1	5	48.739
4	1	3	94.774
4	1	1	115.874
4	2	2	0.1032
4	2	5	17.6335
4	2	3	52.4308
4	2	1	336.465
5	1	1	111.846
5	1	2	61.990
5	1	3	58.868
5	1	4	48.739
5	2	1	0.0721
5	2	2	77.3666
5	2	3	171.7318
5	2	4	308.6116];

### Přístroj č. 1 manuální cílení na hranoly Leica

```

%1 - delka   2 - smer
%
Matice = [  %   stn   typ   cil   velicina
1           1     1     3     166.912
1           1     1     5     111.846
1           1     1     4     115.874
1           1     1     2     107.288
1           1     2     3     0.0646
1           1     2     5     9.7709
1           1     2     4     37.1425
1           1     2     2     373.3480
2           2     1     1     107.289
2           2     1     3     81.627
2           2     1     5     61.990
2           2     1     4     107.459
2           2     2     1     0.1980
2           2     2     3     262.8944
2           2     2     5     313.9152
2           2     2     4     327.6304
3           3     1     1     166.912
3           3     1     2     81.627
3           3     1     4     94.774
3           3     1     5     58.868
3           3     2     1     0.0985
3           3     2     2     36.0781
3           3     2     4     353.1416
3           3     2     5     381.4635
4           4     1     2     107.459
4           4     1     5     48.739
4           4     1     3     94.774

```

4	1	1	115.874
4	2	2	0.1028
4	2	5	17.6333
4	2	3	52.4302
4	2	1	336.4653
5	1	1	111.846
5	1	2	61.990
5	1	3	58.868
5	1	4	48.739
5	2	1	0.0717
5	2	2	77.3645
5	2	3	171.7303
5	2	4	308.6115];

### Přístroj č. 1 automatické cílení na hranoly 360°

```
%1 - delka  2 - smer
%           stn      typ      cil           velicina
Matice = [  1        1        3        166.911
            1        1        5        111.849
            1        1        4        115.876
            1        1        2        107.288
            1        2        3         0.0867
            1        2        5         9.7943
            1        2        4        37.1661
            1        2        2       373.3687
            2        1        1        107.289
            2        1        3         81.627
            2        1        5         61.992
            2        1        4       107.462
            2        2        1         0.1093
            2        2        3       262.8022
            2        2        5       313.8210
            2        2        4       327.5382
            3        1        1        166.915
            3        1        2         81.628
            3        1        4         94.778
            3        1        5         58.869
            3        2        1         0.0478
            3        2        2         36.0271
            3        2        4       353.0889
            3        2        5       381.4154
            4        1        1        115.875
            4        1        2       107.460
            4        1        5         48.740
            4        1        3         94.776
            4        2        1         0.0822
            4        2        2         63.7200
            4        2        5         81.2539
            4        2        3       116.0462
            5        1        1        111.849
            5        1        2         61.992
            5        1        3         58.868
            5        1        4         48.740
            5        2        1         0.07945
            5        2        2         77.3767
            5        2        3       171.7369
            5        2        4       308.6195];
```

### Přístroj č. 2 automatické cílení na hranoly Leica

```
%1 - delka  2 - smer
%           stn      typ      cil           velicina
```

```

Matice = [ 1      1      3      166.910
           1      1      5      111.844
           1      1      4      115.873
           1      1      2      107.287
           1      2      3       0.0515
           1      2      5       9.7573
           1      2      4      37.1295
           1      2      2      373.3341
           2      1      1      107.288
           2      1      3      81.626
           2      1      5      61.990
           2      1      4      107.457
           2      2      1       0.1442
           2      2      3      262.84085
           2      2      5      313.86155
           2      2      4      327.5768
           3      1      1      166.909
           3      1      2      81.627
           3      1      4      94.773
           3      1      5      58.867
           3      2      1       0.09765
           3      2      2      36.0772
           3      2      4      353.1415
           3      2      5      381.4629
           4      1      2      107.457
           4      1      5      48.738
           4      1      3      94.773
           4      1      1      115.874
           4      2      2       0.0761
           4      2      5      17.6064
           4      2      3      52.4044
           4      2      1      336.4387
           5      1      1      111.844
           5      1      2      61.989
           5      1      3      58.867
           5      1      4      48.738
           5      2      1       0.0858
           5      2      2      77.3798
           5      2      3      171.7447
           5      2      4      308.62525];

```

## Přístroj č. 2 manuální cílení na hranoly Leica

```

%1 - delka   2 - smer
%          stn      typ      cil          velicina
Matice = [ 1      1      3      166.910
           1      1      5      111.844
           1      1      4      115.874
           1      1      2      107.287
           1      2      3       0.0513
           1      2      5       9.7565
           1      2      4      37.1293
           1      2      2      373.3341
           2      1      1      107.2875
           2      1      3      81.6263
           2      1      5      61.9898
           2      1      4      107.4569
           2      2      1       0.1440
           2      2      3      262.8396
           2      2      5      313.8604
           2      2      4      327.5768
           3      1      1      166.910
           3      1      2      81.627
           3      1      4      94.773

```

3	1	5	58.867
3	2	1	0.0979
3	2	2	36.0769
3	2	4	353.1413
3	2	5	381.4623
4	1	2	107.457
4	1	5	48.738
4	1	3	94.773
4	1	1	115.874
4	2	2	0.0757
4	2	5	17.6054
4	2	3	52.4044
4	2	1	336.4387
5	1	1	111.844
5	1	2	61.990
5	1	3	58.867
5	1	4	48.737
5	2	1	0.0856
5	2	2	77.3794
5	2	3	171.7445
5	2	4	308.6242];

### Přístroj č. 2 automatické cílení na hranoly 360°

```

%1 - delka   2 - smer
%
Maticce = [  stn   typ   cil   velicina
1      1      1      3      166.909
1      1      1      5      111.846
1      1      1      4      115.875
1      1      1      2      107.287
1      2      2      3      0.0628
1      2      2      5      9.7703
1      2      2      4      37.1414
1      2      2      2      373.3445
2      1      1      1      107.287
2      1      1      3      81.626
2      1      1      5      61.991
2      1      1      4      107.459
2      2      2      1      0.0820
2      2      2      3      262.7761
2      2      2      5      313.7948
2      2      2      4      327.5120
3      1      1      1      166.912
3      1      1      2      81.627
3      1      1      4      94.776
3      1      1      5      58.868
3      2      2      1      0.0441
3      2      2      2      36.0235
3      2      2      4      353.0863
3      2      2      5      381.4115
4      1      1      3      94.776
4      1      1      1      115.876
4      1      1      2      107.461
4      1      1      5      48.7410
4      2      2      3      0.1006
4      2      2      1      284.1371
4      2      2      2      347.7745
4      2      2      5      365.3044
5      1      1      1      111.846
5      1      1      2      61.990
5      1      1      3      58.867
5      1      1      4      48.738
5      2      2      1      0.0851
5      2      2      2      77.3817

```



5	2	3	171.7424
5	2	4	308.6250];

## Měření č. 2

### Přístroj č. 1 manuální cílení na hranoly Leica

```

%1 - delka    2 - smer
%
Matice = [  stn      typ      cil      velicina
1          1        1        3        168.635
1          1        5        117.269
1          1        4        116.022
1          1        2        107.723
1          2        3        396.8169
1          2        5        3.7167
1          2        4        33.8552
1          2        2        369.2184
2          1        1        107.723
2          1        3        84.091
2          1        5        60.917
2          1        4        109.010
2          2        1        244.8830
2          2        3        108.6549
2          2        5        152.4830
2          2        4        172.9621
3          1        1        168.635
3          1        2        84.090
3          1        4        95.948
3          1        5        53.578
3          2        1        382.4907
3          2        2        18.6637
3          2        4        336.2206
3          2        5        367.2727
4          1        1        116.022
4          1        2        109.009
4          1        5        54.719
4          1        3        95.947
4          2        1        30.9005
4          2        2        94.3448
4          2        5        117.2431
4          2        3        147.5924
5          1        1        117.269
5          1        2        60.916
5          1        3        53.579
5          1        4        54.720
5          2        1        209.1116
5          2        2        282.2141
5          2        3        386.9935
5          2        4        125.5914];

```

### Přístroj č. 1 automatické cílení na hranoly 360°

```

%1 - delka    2 - smer
%
Matice = [  stn      typ      cil      velicina
1          1        1        3        168.639
1          1        5        117.272
1          1        4        116.023
1          1        2        107.725
1          2        3        0.0773
1          2        5        6.9795
1          2        4        37.1163
1          2        2        372.4792
2          1        1        107.725

```

2	1	3	84.093
2	1	5	60.920
2	1	4	109.011
2	2	1	0.1803
2	2	3	263.9519
2	2	5	307.7781
2	2	4	328.2591
3	1	1	168.638
3	1	2	84.094
3	1	4	95.949
3	1	5	53.581
3	2	1	0.0383
3	2	2	36.2143
3	2	4	353.7708
3	2	5	384.8179
4	1	1	116.023
4	1	2	109.012
4	1	5	54.721
4	1	3	95.949
4	2	1	0.0707
4	2	2	63.5124
4	2	5	86.4098
4	2	3	116.7603
5	1	1	117.272
5	1	2	60.919
5	1	3	53.580
5	1	4	54.721
5	2	1	0.0581
5	2	2	73.1638
5	2	3	177.9448
5	2	4	316.5363];

## Přístroj č. 2 - automatické cílení na hranoly Leica

```

%1 - delka   2 - smer
%           stn   typ   cil   velicina
Matice = [ 1     1     1     3     168.634
            1     1     5     117.267
            1     1     4     116.021
            1     1     2     107.722
            1     2     3     0.0299
            1     2     5     6.9303
            1     2     4     37.0678
            1     2     2     372.4318
            2     1     1     107.722
            2     1     3     84.090
            2     1     5     60.916
            2     1     4     109.010
            2     2     1     0.0469
            2     2     3     263.8186
            2     2     5     307.6479
            2     2     4     328.1266
            3     1     1     168.634
            3     1     2     84.088
            3     1     4     95.949
            3     1     5     53.578
            3     2     1     0.0302
            3     2     2     36.2034
            3     2     4     353.7596
            3     2     5     384.8120
            4     1     1     116.022
            4     1     2     109.008
            4     1     5     54.717

```

4	1	3	95.947
4	2	1	0.0429
4	2	2	63.4872
4	2	5	86.3856
4	2	3	116.7356
5	1	1	117.268
5	1	2	60.916
5	1	3	53.577
5	1	4	54.720
5	2	1	0.0433
5	2	2	73.1454
5	2	3	177.9253
5	2	4	316.5231];

## Přístroj č. 2 manuální cílení na hranoly Leica

```
%1 - delka  2 - smer
%
Matice = [  1      1      3      168.635
            1      1      5      117.269
            1      1      4      116.022
            1      1      2      107.723
            1      2      3      396.8169
            1      2      5      3.7167
            1      2      4      33.8552
            1      2      2      369.2184
            2      1      1      107.723
            2      1      3      84.091
            2      1      5      60.917
            2      1      4      109.010
            2      2      1      244.8830
            2      2      3      108.6549
            2      2      5      152.4830
            2      2      4      172.9621
            3      1      1      168.635
            3      1      2      84.090
            3      1      4      95.948
            3      1      5      53.578
            3      2      1      382.4907
            3      2      2      18.6637
            3      2      4      336.2206
            3      2      5      367.2727
            4      1      1      116.022
            4      1      2      109.009
            4      1      5      54.719
            4      1      3      95.947
            4      2      1      30.9005
            4      2      2      94.3448
            4      2      5      117.2431
            4      2      3      147.5924
            5      1      1      117.269
            5      1      2      60.916
            5      1      3      53.579
            5      1      4      54.720
            5      2      1      209.1116
            5      2      2      282.2141
            5      2      3      386.9935
            5      2      4      125.5914];
```

## Přístroj č. 2 automatické cílení na hranoly 360°

```
%1 - delka  2 - smer
%
          stn      typ      cil      velicina
```

```
Matrice = [ 1      1      3      168.636
            1      1      5      117.269
            1      1      4      116.020
            1      1      2      107.723
            1      2      3       0.0482
            1      2      5       6.9501
            1      2      4      37.0867
            1      2      2      372.4504
            2      1      1      107.723
            2      1      3      84.091
            2      1      5      60.919
            2      1      4      109.010
            2      2      1       0.2275
            2      2      3      263.9991
            2      2      5      307.8257
            2      2      4      328.3071
            3      1      1      168.636
            3      1      2      84.092
            3      1      4      95.948
            3      1      5      53.580
            3      2      1       0.0364
            3      2      2      36.2110
            3      2      4      353.7683
            3      2      5      384.8164
            4      1      1      116.021
            4      1      2      109.010
            4      1      5      54.719
            4      1      3      95.948
            4      2      1       0.1057
            4      2      2      63.5479
            4      2      5      86.4453
            4      2      3      116.7971
            5      1      1      117.269
            5      1      2      60.919
            5      1      3      53.579
            5      1      4      54.720
            5      2      1       0.0785
            5      2      2      73.1833
            5      2      3      177.9639
            5      2      4      316.5574];
```

## Příloha 2: Protokol vyrovnání volné sítě v programu Groma

GROMA - VYROVNÁNÍ SÍTĚ

=====

### Měření č.2 - 1. přístroj - manuální cílení na hranol Leica

Lokalita:

Datum :

Etapa :

PŘIBLIŽNÉ SOUŘADNICE:

=====

	Bod	Y	X	Char	Délek	Směrů
-----	1	818264.4470	1073664.7260	Pevný bod	3	4
	2	818344.7360	1073592.9090	Volný	2	4
	3	818331.2860	1073509.9110	Pevný směrník	1	4
	4	818244.3430	1073550.4690	Volný	2	4
	5	818299.0120	1073552.6720	Volný	2	4
-----						

MĚŘENÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 1

	Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
-----	2	107.7230	2.00	0.2500
	4	116.0220	2.00	0.2500
	5	117.2690	2.00	0.2500
-----				

Stanovisko: 2

	Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
-----	3	84.0910	2.00	0.2500
	5	60.9170	2.00	0.2500
-----				

Stanovisko: 3

	Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
-----	1	168.6350	2.00	0.2500
-----				

Stanovisko: 4

	Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
-----	2	109.0090	2.00	0.2500
	3	95.9470	2.00	0.2500
-----				

Stanovisko: 5

	Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
-----	3	53.5790	2.00	0.2500
	4	54.7200	2.00	0.2500
-----				

MĚŘENÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 1

Cíl	Směr	m [cc]	váha
5	3.71670	6.00	0.0278
4	33.85520	6.00	0.0278
2	369.21840	6.00	0.0278
3	396.81690	6.00	0.0278

Stanovisko: 2

Cíl	Směr	m [cc]	váha
3	108.65490	6.00	0.0278
5	152.48300	6.00	0.0278
4	172.96210	6.00	0.0278
1	244.88300	6.00	0.0278

Stanovisko: 3

Cíl	Směr	m [cc]	váha
2	18.66370	6.00	0.0278
4	336.22060	6.00	0.0278
5	367.27270	6.00	0.0278
1	382.49070	6.00	0.0278

Stanovisko: 4

Cíl	Směr	m [cc]	váha
1	30.90050	6.00	0.0278
2	94.34480	6.00	0.0278
5	117.24310	6.00	0.0278
3	147.59240	6.00	0.0278

Stanovisko: 5

Cíl	Směr	m [cc]	váha
4	125.59140	6.00	0.0278
1	209.11160	6.00	0.0278
2	282.21410	6.00	0.0278
3	386.99350	6.00	0.0278

PARAMETRY SÍTĚ:

=====

Testování oprav měření se provádí oboustranným testem k hladině významnosti Alfa = 10.0

Při překročení kritické hodnoty  $t > 1.65$  je vypočten odhad chyby měřené veličiny Eps.

Současně je vypočtena hodnota mezní chyby k necentrálnímu parametru Delta = 2.49.

Pravděpodobnost chyby 2. druhu Beta = 20.0 %.

Počet bodů v síti : 5

Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 5

Počet neznámých : 8

Počet měřených délek : 10

Počet měřených směrů : 20

Počet měřených veličin : 30  
 Počet zprostředkujících úhlů : 15  
 Počet zprostředkujících veličin : 25  
 Počet podmínek : 3  
 Počet podmínkových rovnic : 1  
 Způsob připojení sítě : Pevný bod: 1, pevný směrník na bod: 3

VÝPOČETNÍ KONTROLY:

=====

Norma matice reziduí  $A \cdot \text{inv}(A)$  : -4.44e-016 (má být 0).  
 Norma matice reziduí  $\text{inv}(A) \cdot A$  : -8.88e-016 (má být 0).  
 Kontrola podmínky  $G_h = 0$  [ 1]: -6.22e-015 (má být 0).  
 Norma vektoru  $AtPw$  : 5.08e-014 (má být 0).

LEGENDA K VYROVNANÝM DÉLKÁM A SMĚRŮM:

=====

l : Vektor pravých stran linearizovaného modelu sítě  
 r : Podíl dané veličiny na počtu nadbytečných veličin  
 t : Podíl opravy a její střední chyby  
 Eps : Odhad chyby geometrické veličiny  
 EpsMax: Odhad mezní hodnoty chyby geometrické veličiny pro necentrální parametr Delta  
 w : Opravy zprostředkujících geometrických veličin (úhlů)

VYROVNANÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 1

	Cíl	Délka	v souř	v r.o.	ms	l	r	t	Eps	EpsMax
		[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			[mm]	[mm]
	2	107.7235	0.49	0.49	0.52	1.11	0.80	0.47		
	4	116.0217	-0.30	-0.30	0.53	9.79	0.79	0.29		
	5	117.2691	0.14	0.14	0.52	5.03	0.80	0.13		

Stanovisko: 2

	Cíl	Délka	v souř	v r.o.	ms	l	r	t	Eps	EpsMax
		[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			[mm]	[mm]
	3	84.0899	-1.08	-1.08	0.50	10.26	0.82	1.03		
	5	60.9172	0.23	0.23	0.40	9.69	0.88	0.21		

Stanovisko: 3

	Cíl	Délka	v souř	v r.o.	ms	l	r	t	Eps	EpsMax
		[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			[mm]	[mm]
	1	168.6351	0.07	0.07	0.64	7.79	0.70	0.07		

Stanovisko: 4

	Cíl	Délka	v souř	v r.o.	ms	l	r	t	Eps	EpsMax
		[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			[mm]	[mm]
	2	109.0100	0.99	0.99	0.50	14.01	0.81	0.94		
	3	95.9474	0.40	0.40	0.53	9.33	0.80	0.38		

Stanovisko: 5

Cíl	Délka [m]	v souř [mm]	v r.o. [mm]	ms [mm]	l [mm]	r	t	Eps [mm]	EpsMax [mm]
3	53.5776	-1.44	-1.44	0.41	5.55	0.88	1.32		
4	54.7193	-0.70	-0.70	0.42	6.63	0.87	0.64		

Průměrná střední chyba vyrovnané délky [mm]: 0.50

Průměrná hodnota měřené délky [m]: 96.7912

Průměrná hodnota vyrovnané délky [m]: 96.7911

VYROVNANÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 1

Cíl	Směr	v	m	l	r	t	w r.o.	w souř
Eps	EpsMax	[g]	[cc]	[cc]	[cc]		[cc]	[cc]
[cc]	[cc]							

5	3.71709	3.89	2.06	23.11	0.65	1.38	-8.54	-8.55
4	33.85473	-4.66	2.48	-65.21	0.50	1.89	5.34	5.35
-9.39	1.23							
2	369.21847	0.69	2.47	24.61	0.50	0.28	-0.60	-0.60
3	396.81691	0.09	1.95		0.69	0.03		

Stanovisko: 2

Cíl	Směr	v	m	l	r	t	w r.o.	w souř
Eps	EpsMax	[g]	[cc]	[cc]	[cc]		[cc]	[cc]
[cc]	[cc]							

3	108.65438	-5.22	2.72	-23.73	0.39	2.38	8.10	8.10
13.27	1.39							
5	152.48329	2.89	2.41	-9.38	0.53	1.14	2.76	2.76
4	172.96266	5.65	2.24	12.42	0.59	2.11	-8.97	-8.97
9.61	1.13							
1	244.88267	-3.32	2.72		0.39	1.51		

Stanovisko: 3

Cíl	Směr	v	m	l	r	t	w r.o.	w souř
Eps	EpsMax	[g]	[cc]	[cc]	[cc]		[cc]	[cc]
[cc]	[cc]							

2	18.66393	2.27	2.58	-27.42	0.45	0.96	-4.78	-4.78
4	336.22035	-2.50	2.48	-8.39	0.50	1.01	3.16	3.16
5	367.27277	0.66	2.40	43.73	0.53	0.26	-1.09	-1.09
1	382.49066	-0.43	2.12		0.63	0.16		

Stanovisko: 4

Cíl	Směr	v	m	l	r	t	w r.o.	w souř
Eps	EpsMax	[g]	[cc]	[cc]	[cc]		[cc]	[cc]
[cc]	[cc]							



1	30.90077	2.68	2.68	-57.63	0.41	1.19	-5.69	-5.68
2	94.34450	-3.00	2.25	4.60	0.59	1.12	0.96	0.96
5	117.24290	-2.04	2.35	-19.91	0.55	0.79	4.40	4.40
3	147.59264	2.36	2.58		0.46	1.00		

-----  
Stanovisko: 5

	Cíl	Směr	v	m	l	r	t	w	r.o.	w	souř
Eps	EpsMax										
		[g]	[cc]	[cc]	[cc]				[cc]	[cc]	
[cc]	[cc]										

4	125.59150	0.97	2.83	42.92	0.35	0.47	0.27	0.27		
1	209.11172	1.24	2.56	-37.15	0.47	0.52	-4.99	-4.99		
2	282.21373	-3.75	2.77	-27.08	0.37	1.76	5.28	5.28	-	
10.10	1.43									
3	386.99365	1.53	2.90		0.31	0.78				

-----  
Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 2.49

VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:

=====

[pvv] : 6.1143  
[pvv] (1. kontrola) : 6.1138  
[pvv] (2. kontrola) : 6.1138  
Počet nadbytečných měření : 18  
Základní střední chyba m0 apriorní [cc]: 1.00  
Základní střední chyba m0 aposteriorní [cc]: 0.58  
m0 aposteriorní / m0 apriorní : 0.58  
Interval spolehlivosti : 0.67 - 1.33  
Stopa matice L : 12.0000 (má být 12.0000)  
Stopa submatice L - délky : 1.8581  
Stopa submatice L - směry : 10.1419

VYROVNANÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	dy	dx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]
1	818264.4470	1073664.7260	0.00	0.00
2	818344.7399	1073592.9110	3.90	1.96
3	818331.2891	1073509.9038	3.12	-7.22
4	818244.3349	1073550.4608	-8.08	-8.21
5	818299.0098	1073552.6659	-2.23	-6.09

-----  
INFORMACE O STŘEDNÍCH CHYBÁCH:

=====

Bod	my	mx	mye	mxe	mxy	Stoč.
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[g]
1	Pevný bod					
2	0.39	0.50	0.33	0.54	0.45	167.09
3	0.25	0.59	0.00	0.64	0.45	174.05
4	0.39	0.55	0.38	0.56	0.48	184.32
5	0.29	0.49	0.22	0.53	0.40	174.88

-----

Střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 0.45  
 Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 4.675938  
 Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic (kont.): 4.675938  
 Norma kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 3.200439  
 Maximální vlastní číslo : 3.110360  
 Minimální vlastní číslo : 0.056925  
 Rozdíl maximálního a minimálního vlastního čísla : 3.053435

VYROVNANÉ SMĚRNÍKY A DÉLKY:

=====

Stanovisko: 1

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

Stanovisko: 2

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
3	210.22713	2.29	84.0899	0.50	0.29	0.51	5.96
4	274.53541	2.66	109.0100		0.50	0.46	4.63
5	254.05604	2.93	60.9172	0.40	0.33	0.36	6.52

Stanovisko: 3

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
2	10.22713	2.96	84.0899		0.39	0.50	5.04
4	327.78355	2.17	95.9474		0.39	0.55	5.49
5	358.83596	4.28	53.5776		0.29	0.49	5.00

Stanovisko: 4

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
2	74.53541	2.66	109.0100	0.50	0.50	0.46	4.63
3	127.78355	2.29	95.9474	0.53	0.47	0.42	5.47
5	97.43381	2.88	54.7193		0.42	0.24	7.65

Stanovisko: 5

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
2	54.05604	2.93	60.9172		0.33	0.36	6.52
3	158.83596	2.45	53.5776	0.41	0.29	0.36	7.68
4	297.43381	2.88	54.7193	0.42	0.42	0.24	7.65

ALOKACE PAMĚTI PRO MATICE:

=====

Během výpočtu postupně alokováno [B] : 25520  
 Maximálně alokováno [B] : 22384  
 Největší matice [B] : 7200 (30x30)  
 Celkový počet matic : 35  
 Doba výpočtu : 0:00:00.1

### Příloha 3: Protokol měření pomocí GPS měření č. 1

-----  
PROTOKOL GNSS (RTK) MĚŘENÍ  
-----

Firma: PYSEK zememericke prace s.r.o.  
Bezinkova 247/36  
312 00 Plzen

Zakazka: diplomka

Meril:

Datum: 20.02.2016

Přístroj: Trimble R4-3, fw: 4.93, vyr. c.: 5448486092

Trimble General Survey SW: 2.61

Verze protokolu: 4.93

Body vypsány od (RRRRMMDD): 20160101

Souradnicovy system: Pouzit transformacni modul zpresnene globalni transformace  
Trimble 2013 verze 1.0 schvaleny CUZK pro mereni od 1.7.2012.

Zona: Krovak\_2013

Soubor rovinne dotransformace: KG2013

Vertikalni transformace

-----  
Model kvazigeoidu: CR2005  
-----

POUZITE A MĚŘENÉ BODY

-----  
Cislo bodu            Y            X            Z            Presnost            PDOP            Sit            Pocet  
Antena            Datum            Zacatek            Doba            Kod bodu            XY            Z            sat.  
vyska; od#            mereni            mereni[s]  
-----

		3-1	818330.420	1073510.400	408.216	0.008	0.012	1.82	1	14
0.10	SZ	20.02	09:13	53						
		2-1	818343.846	1073590.932	405.836	0.006	0.011	1.55	1	13
0.10	SZ	20.02	09:16	61						
		1-1	818265.424	1073664.148	403.313	0.007	0.010	1.55	1	15
0.10	SZ	20.02	09:21	61						
		5-1	818292.834	1073555.715	407.243	0.008	0.013	1.75	1	13
0.10	SZ	20.02	09:25	69						
		4-1	818244.402	1073550.193	421.109	0.007	0.013	1.73	1	13
0.10	SZ	20.02	09:30	61						
		4-2	818244.404	1073550.198	421.126	0.006	0.009	1.36	1	14
0.10	SZ	20.02	15:33	55						
		3-2	818330.419	1073510.416	408.180	0.008	0.011	1.57	1	13
0.10	SZ	20.02	15:38	53						
		2-2	818343.850	1073590.932	405.835	0.009	0.012	1.92	1	11
0.10	SZ	20.02	15:41	77						
		1-2	818265.424	1073664.152	403.326	0.007	0.010	1.55	1	13
0.10	SZ	20.02	15:45	97						
		5-2	818292.830	1073555.707	407.251	0.007	0.010	1.58	1	13
0.10	SZ	20.02	15:49	63						

-----  
# Vyska anteny merena od: FC = fazoveho centra; SZ = spodku zavitu; SN = stredu  
narazniku  
# Bod meren na: 1 = Trimble VRS NOW CZ; 2 = TOPNET; 3 = CZEPOS RTK  
4 = CzePOS PRS/FKP; 5 = CZEPOS RTK3/MAX3; 6 = Neznama sit  
Hodnoty PDOP oznacene \* jsou mimo nastavenou toleranci: 7.00 Hodnoty PDOP oznacene \*  
jsou mimo nastavenou toleranci: 7.00  
Hodnoty s RMS oznacene # jsou mimo nastavenou toleranci: 40.00  
Body oznacene ! NoFix ! pred cislem bodu, nebyly pri mereni Fixovany!

## Příloha 4: Protokol měření pomocí GPS měření č. 2

-----  
PROTOKOL GNSS (RTK) MERENI  
-----

Firma: PYSEK zememericke prace s.r.o.  
Bezinkova 247/36  
312 00 Plzen

Zakazka: diplomka

Meril:

Datum: 10.04.2016

Pristroj: Trimble R4-3, fw: 4.93, vyr. c.: 5448486092

Trimble General Survey SW: 2.61

Verze protokolu: 4.95

Body vypsany od (RRRRMMDD): 20150101

Souradnicovy system: Pouzit transformacni modul zpresnene globalni transformace  
Trimble 2013 verze 1.0 schvaleny CUZK pro mereni od 1.7.2012.

Zona: Krovak\_2013

Soubor rovinne dotransformace: KG2013

Vertikalni transformace

-----  
Model kvazigeoidu: CR2005  
-----

POUZITE A MERENE BODY  
-----

	Cislo bodu	Y	X	Z	Presnost	PDOP	Sit*			
Pocet	Antena	Datum	Zacatek	Doba	Kod bodu					
sat.	vyska; od**	mereni	mereni[s]						Z	
17	0.03	SZ 10.04	5.1 818299.015	13:39 110	1073552.673	407.572	0.006 0.009	1.46	1	VRS
13	0.03	SZ 10.04	3.1 818331.289	13:42 110	1073509.915	408.234	0.008 0.012	1.83	1	VRS
13	0.03	SZ 10.04	2.1 818344.737	13:51 111	1073592.919	405.792	0.009 0.015	2.03	1	VRS
15	0.03	SZ 10.04	1.1 818264.452	13:55 104	1073664.731	403.305	0.006 0.010	1.53	1	VRS
15	0.03	SZ 10.04	4.1 818244.342	14:03 101	1073550.470	421.116	0.006 0.011	1.56	1	VRS
15	0.03	SZ 10.04	5.2 818299.009	16:36 105	1073552.672	407.575	0.007 0.009	1.46	1	VRS
14	0.03	SZ 10.04	3.2 818331.283	16:42 102	1073509.906	408.240	0.010 0.013	1.88	1	VRS
13	0.03	SZ 10.04	2.2 818344.734	16:51 127	1073592.899	405.787	0.010 0.015	2.10	1	VRS
16	0.03	SZ 10.04	1.2 818264.441	16:57 114	1073664.722	403.311	0.005 0.009	1.33	1	VRS
17	0.03	SZ 10.04	4.2 818244.343	17:04 103	1073550.467	421.128	0.006 0.010	1.34	1	VRS

```

-----
* Bod meren na: 1 VRS = Trimble VRS NOW CZ
                2   = TOPNET
                3 RTK = CZEPOS RTK a RTK3
                3 PRS = CZEPOS RTK-PRS;           3 FKP = CZEPOS RTK-FKP;
                3 MAX = CZEPOS VRS3-MAX;         3 iMAX = CZEPOS VRS3-iMAX;
                3 MAXG = CZEPOS VRS3-MAX-GG;     3 iMAXG = CZEPOS VRS3-iMAX-

```

GG;

```

                3 CMR = CZEPOS VRS3-iMAX-GG_CM;  3 CMR+ = CZEPOS VRS3-iMAX-GG_CM+;
                4   = ostatni

```

\*\* Vyska anteny merena od: FC = fazoveho centra; SZ = spodku zavitu; SN = stredu narazniku

Hodnoty PDOP oznacene \* jsou mimo nastavenou toleranci: 7.00

Hodnoty s RMS oznacene # jsou mimo nastavenou toleranci: 40.00

Body oznacene ! NoFix ! pred cislem bodu nebyly pri mereni Fixovany!

-----  
PRUMEROVANI BODU  
-----

Cislo bodu	Y	X	Z	dY	dX	dZ
5.1	818299.015	1073552.673	407.572	-0.003	-0.001	0.001
5.2	818299.009	1073552.672	407.575	0.003	0.000	-0.002
-----						
5	818299.012	1073552.672	407.573	Cas.odstup:0dnu,2:57:32		
3.1	818331.289	1073509.915	408.234	-0.003	-0.004	0.003
3.2	818331.283	1073509.906	408.240	0.003	0.005	-0.003
-----						
3	818331.286	1073509.911	408.237	Cas.odstup: 0dnu,3:0:41		
2.1	818344.737	1073592.919	405.792	-0.001	-0.010	-0.002
2.2	818344.734	1073592.899	405.787	0.002	0.010	0.003
-----						
2	818344.736	1073592.909	405.790	Cas.odstup: 0dnu,3:0:29		
1.1	818264.452	1073664.731	403.305	-0.005	-0.005	0.003
1.2	818264.441	1073664.722	403.311	0.006	0.004	-0.003
-----						
1	818264.447	1073664.726	403.308	Cas.odstup: 0dnu,3:1:34		
4.1	818244.342	1073550.470	421.116	0.001	-0.001	0.006
4.2	818244.343	1073550.467	421.128	0.000	0.002	-0.006
-----						
4	818244.343	1073550.469	421.122	Cas.odstup: 0dnu,3:1:47		

-----  
ZPRUMEROVANE BODY  
-----

Cislo bodu	Y	X	Z	Kod
5	818299.012	1073552.672	407.573	
3	818331.286	1073509.911	408.237	
2	818344.736	1073592.909	405.790	

1	818264.447	1073664.726	403.308
4	818244.343	1073550.469	421.122

-----  
MERE NE BODY  
-----

Cislo bodu	Y	X	Z	Kod bodu
5.1	818299.015	1073552.673	407.572	
3.1	818331.289	1073509.915	408.234	
2.1	818344.737	1073592.919	405.792	
1.1	818264.452	1073664.731	403.305	
4.1	818244.342	1073550.470	421.116	
5.2	818299.009	1073552.672	407.575	
3.2	818331.283	1073509.906	408.240	
2.2	818344.734	1073592.899	405.787	
1.2	818264.441	1073664.722	403.311	
4.2	818244.343	1073550.467	421.128	

## Příloha 5: Certifikát totální stanice Trimble S3

# Certificate

**TRIMBLE S3 WITH SERIAL NUMBER 91210565  
COMPLIES WITH THESE SPECIFICATIONS:**

### ANGLE MEASUREMENT

**Accuracy** (*Standard deviation based on DIN 18723*): 0.6 mgon = 6 cc (2")  
**Automatic level compensator**  
Dual-axis with a working range of:  $\pm 100$  mgon = 10 c (5.4")

### DISTANCE MEASUREMENT

**Accuracy RMSE (without reflector)** (3 mm + 2 ppm) (0.01 ft + 2 ppm)  
**Accuracy RMSE (with reflector)** (2 mm + 2 ppm) (0.0065 ft + 2 ppm)

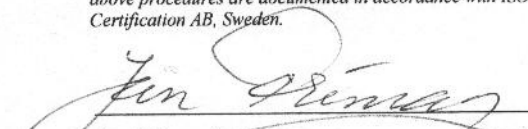
### RANGE

Range without reflector  
Towards Kodak Grey (18%): 250 m (820 ft)  
**No of prisms:** **Range:**  
Range using Trimble prism 571 125 021. Standard clear\*  
With one prism: 2500 m (8,202 ft)  
With triple prism: 5000 m (16,404 ft)

*The range is also dependent on atmospheric conditions and background radiation.  
\*Standard clear: No haze, overcast or moderate sunlight with very light heat shimmer.*

*Trimble instrument type Trimble S3 has been tested and complies with the original specification. Tests have been conducted over established baselines and angular measurements have been achieved by testing at calibrated baselines at Trimble AB, Sweden. EDM Baselines at Trimble AB, Sweden, have been calibrated with the special Trimble instrument which is calibrated at the Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig, Germany. The special Trimble instrument has calibration certificate 50866 PTB 14. All the above procedures are documented in accordance with ISO 9001(2008) issued by DNV Certification AB, Sweden.*



  
Jan Friman, Inspector  
04/12/2014, Danderyd, Sweden

