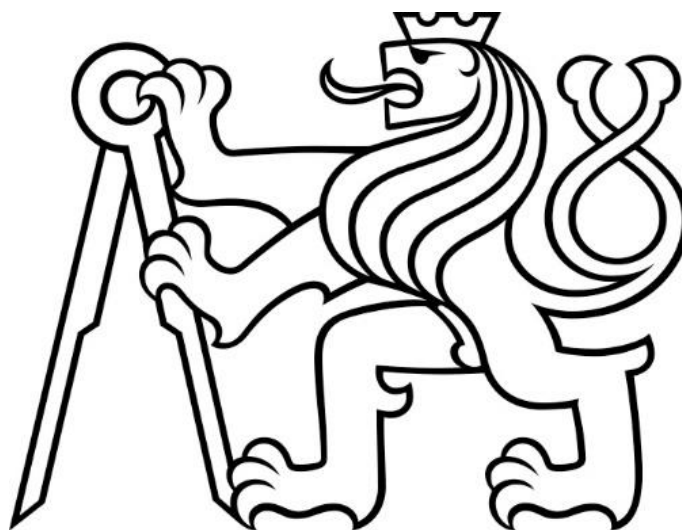


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

STUDIUM O VYROVNÁNÍ TRIGONOMETRICKÉ VÝŠKOVÉ SÍTĚ  
V LOKALITĚ MARIÁNSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: HORNÍK Jméno: Martin Osobní číslo: 486156  
Zadávající katedra: Speciální geodézie  
Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie o vyrovnání trigonometrické výškové sítě v lokalitě Mariánská  
Název bakalářské práce anglicky: Study about adjustment of the trigonometric height network in the Mariánská locality

Pokyny pro vypracování:

Měření, tj. zenitové úhly, délky, nivelaci a GNSS RTK převzít z výuky geodézie v terénu (září 2020). Výšková síť změřena dvakrát - vlastní měření + měření realizováno druhou dvojicí měřičů ze skupiny - dva paralelní výpočty a porovnat výsledky. Výškovému vyrovnání předchází úprava měřených veličin před výpočty a určení přesnosti měřených zenitových úhlů. Vyrovnání sítě podle teorie vyrovnání měření zprostředkujících, eventuálně podmínkových měření - jeden bod sítě je daný, nadmořská výška určena nivelací (PN, IV. řád). Zhodnocení výsledků měření a vyrovnání.

Seznam doporučené literatury:

- /1/ Böhm, J. a kol.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik, 1990. 416 s.
- /2/ BLAŽEK, R. - SKOŘEPA, Z.: Geodézie 3 - výškopis. Vydání 3. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2009. 162 s. ISBN 978-80-01-04358-5.
- /3/ HRADILEK, L.: Vysokohorská geodézie. Vydání 1. Praha, Academia, 1984. 232 s.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Datum zadání bakalářské práce: 18. 2. 2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16. 5. 2021

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

24. 2. 2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Studie o vyrovnání trigonometrické výškové sítě v lokalitě Mariánská“ vypracoval samostatně za pomoci využití literatury uvedené v seznamu zdrojů a mého vedoucího Dr. Ing. Zdeňka Skořepy.

V Praze 15. 5. 2021

Martin Horník

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Dr. Ing. Zdeňku Skořepovi za věnovaný čas, odborné konzultace a vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým spolužákům za pomoc při měření a poskytnutí dat pro zpracování.

## **Abstrakt**

Tato bakalářské práce je zaměřena na vyrovnání výškové sítě s jedním fixním bodem. Výšková síť je určena trigonometrickým určováním výškových rozdílů. Výsledkem bakalářské práce jsou vyrovnané výšky, převýšení, opravy a směrodatné odchylky.

## **Klíčová slova**

GNSS, MNČ, vyrovnání, výšková síť, model, opravy, směrodatná odchylka

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on adjustment of the height network with one fixed point. The height network determined by trigonometric determination of height differences. The result of the bachelor thesis are adjusted heights, elevations, corrections and standard deviations.

## **Key word**

GNSS, least squares method, adjustment, height network, model, corrections, standard deviations

# Obsah

1	Úvod .....	8
2	Popis lokality .....	9
3	Totální stanice .....	10
4	Měření.....	11
4.1	GNSS.....	11
4.2	Připojení výškové sítě pomocí nivelace .....	11
4.3	Trigonometrické měření .....	13
4.3.1	Laboratorní jednotka .....	16
4.4	Měření délek.....	19
4.4.1	Vliv délek na převýšení .....	19
5	Vlivy prostředí a přesnosti přístroje .....	21
5.1	Refrakce.....	21
5.2	Indexová chyba.....	24
6	Vyrovnání MNČ .....	25
6.1	Kontrola a přesnosti vyrovnání .....	29
7	Modely výškové sítě.....	31
7.1	1. model .....	31
7.2	2. model .....	31
7.3	3. model .....	31
7.4	4. model .....	32
8	Výsledky.....	34
8.1	1. model .....	34
8.2	2. model .....	35
8.3	3. model .....	36
8.4	4. model .....	38

8.5	Porovnání výsledků .....	39
9	Závěr.....	41
	Seznam zdrojů.....	42
	Seznam obrázků.....	43
	Seznam tabulek .....	44
	Seznam tištěných příloh.....	45
	Seznam elektronických příloh .....	46

# 1 Úvod

V dnešní době se geodetická praxe často uchyluje k tvorbě výškových sítí pomocí technologie GNSS, která není vhodná pro tvorbu nebo připojení, jelikož výsledky dosažené pomocí GNSS jsou v řádech několika centimetrů. V bakalářské práci se věnuji tvorbě výškové sítě pomocí prověřené metody – trigonometrické určení výškových rozdílů a rozdílů z měřených zenitových a šikmých délek s excentrickým postavením totální stanice a cílových znaků. V zaměřené síti se vyskytuje nadbytečný počet měření. Výpočet byl provedený s vyrovnáním metodou nejmenších čtverců (MNC), výškovým připojením na nivelační bod PNS-KV-037-108 pomocí přesné nivelace.

Výpočet vyrovnání výškové sítě je proveden z oboustranně měřených zenitových úhlů ve dvou laboratorních jednotkách (získáme dva výsledné zenitové úhly). V naší síti se vyskytuje jeden fixní bod, proto je vyrovnávána jako volná síť (jedna podmínka = fixní bod). Pro vyrovnání byly vytvořeny čtyři modely:

- a) První model se řeší pro průměrné zenitové úhly z jednotlivých laboratorních jednotek, pro tento model byla zvolena matice vah jako jednotková
- b) druhý model se řeší tak, že se opravy zenitových úhlů přiřazují každé laboratorní jednotce se zavedením matice vah pro jednotlivá měření
- c) třetí model je podobný druhému, ale zavádí se navíc opravy převýšení, které slouží pro převod na spojnicí centrických bodů
- d) čtvrtý model je nejjednodušší, podobný prvnímu, kde se opravy z vyrovnání nepřidělují měřeným zenitovým úhlům, ale vypočteným (měřeným) převýšením.

Pro výpočet byly použity dva různé nezávislé soubory měřených zenitových úhlů, převýšení excentrického postavení přístroje vůči centru a šikmých délek. Měřický soubor vždy realizovali dva měřiči.

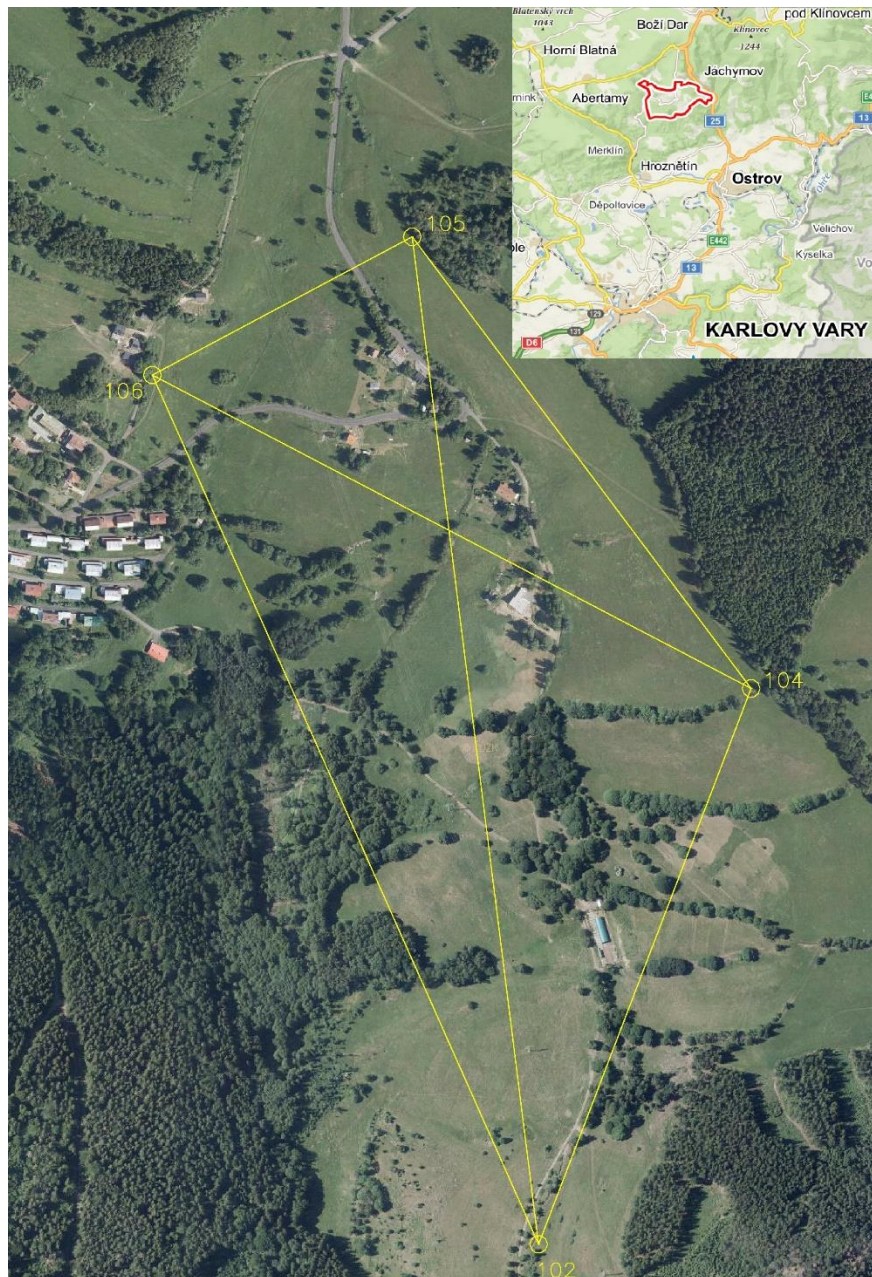
Výsledkem bakalářské práce jsou vyrovnané nadmořské výšky, které byly porovnány s výškami zaměřenými GNSS pomocí služby CZEPOS RTK (real time kinematics – kinematika v reálném čase). Dalšími výstupy jsou opravy měřených zenitových úhlů pro jednotlivé modely. V rámci úprav měření před výpočty jsou také znázorněny velikosti indexových chyb a vypočteny směrodatné odchylky průměrů laboratorních jednotek. Měření bylo přehledně zpracováno v softwaru Microsoft Excel a výpočet v softwaru MATLAB. Měření proběhlo 2. 9. 2020, kdy bylo jasno až polojasno s teplotou 15°C.



## 2 Popis lokality

Výšková síť se nachází v okolí horského střediska Mariánská (obr. 1), která leží 2 km jihozápadně od města Jáchymov. Mariánská leží 15 km severně od Karlových Varů a nedaleko od hraničního přechodu Boží Dar.

Přibližná výška oblasti Mariánská je 800-850 m.n.m. Nejvyšším vrcholem poblíž oblasti výškové sítě je Čimický vrch (934 m.n.m.). Zároveň se nedaleko nachází nejvyšší vrchol Krušných hor Klínovec (1 244 m.n.m.). [1]



**Obr. 1** Lokalita výškové sítě [2]

### 3 Totální stanice

Měření zenitových úhlů a vzdáleností bylo provedeno pomocí totální stanice (TS) Leica TS06 (obr. 2), která patří do modelové řady FlexLine vybavené firmwarem FlexField. Přesnost měřených zenitových úhlů v jedné skupině je 0,6 mgon. Pro měření šikmých délek byl použit režim dálkoměru HR-standart, kde se jedná o velmi přesné měření na odrazný hranol s přesností (směrodatnou odchylkou) 1,5 mm + 2 ppm. S dosahem dálkoměru TS nebyl problém, jelikož bylo měřeno na přesný kulatý hranol GPR1 s antireflexní vrstvou, kde je dosah měřených délek 3,5 km. [3]

Poznámka: Při měření je potřeba dát pozor na vzdálenost hranolů mezi sebou, protože zároveň probíhalo měření jiné měřické skupiny a jednou nastala situace, kdy totální stanice neměřila, protože odrazné hranoly byly příliš blízko sebe.



**Obr. 2** Totální stanice Leica TS06

## 4 Měření

### 4.1 GNSS

Výšková síť byla na začátku zaměřena pomocí přístroje GNSS Trimble GeoXR s připojením do systému referenčních stanic CZEPOS – referenční stanice Karlovy Vary (CKVA). Měření bylo provedeno pomocí metody RTK, jedná se o měření v reálném čase, kdy se využívá měření přijímače a korekčních dat (korekce GPS a GLONASS) z referenční stanice. Doba měření na stanovišti byla minimálně 30 s. Měření bylo opakovaně provedeno s několikahodinovým odstupem při jiné konfiguraci družic a rozdílné výšce antény. Výsledné souřadnice byly vypočteny jako průměr prvního a druhého měření. Zjištěné nadmořské výšky pomocí technologie GNSS jsou uvedeny v tab.1 a dále slouží jako přibližné výšky do vyrovnání.

**Tab. 1** Přibližné výšky GNSS

Číslo bodu	H <sub>1</sub> [m]	H <sub>2</sub> [m]	H [m] (průměr)
106.1	873,423	873,453	873,438
105.2	905,922	905,965	905,944
104.1	897,070	897,140	897,105
102.0	827,313	827,314	827,314

### 4.2 Připojení výškové sítě pomocí nivelace

Výšková síť byla připojena do výškového systému Balt po vyrovnání (Bpv). Bod sítě 106.1 byl zaměřen přesnou nivelací (obousměrná nivelace), kde určovaný bod byl určen dvěma nivelačními oddíly z bodu PNS KV-037-108. Totožnost a neměnnost nivelačního bodu 108 byla ověřena kontrolním měřením – nivelačním oddílem mezi tímto bodem a bodem KV-037-107. Znamé body jsou stabilizovány na původních kamenných budovách čepovou značkou. Výšky byly zjištěny z nivelačních údajů (příloha 2). Výpočet nivelace byl proveden v softwaru Groma. Přehledně zpracované výsledky nivelace jsou obsaženy v tab. 2 a 3.

Byla použita geometrická nivelace ze středu, dle požadavku přesnosti – přesná nivelace (PN), IV. řád. Při měření se používají celistvé latě s invarovou stupnicí. Délky

záměr se nekroují ale rozměřují (měřící kolečko), volí se sudý počet sestav (odstraní se indexová chyba latě).

Podle vyhlášky č. 31/1995 Sb. se totožnost a neměnnost připojovacích nivelačních bodů ověřuje kontrolním měřením. Odchylnka mezi daným a naměřeným převýšením ( $\Delta$ ) nesmí překročit hodnotu (IV. řád)

$$2 \text{ mm} + 5 \sqrt{R} . \quad (1)$$

Pro posouzení přesnosti měření PN nesmí odchylnka mezi nivelačním měřením obousměrné nivelace v nivelačním oddílu překročit mezní hodnotu

$$5 \sqrt{R} , \quad (2)$$

kde

$R$  je délka nivelačního oddílu v kilometrech a výsledek (1), (2) je v milimetrech.

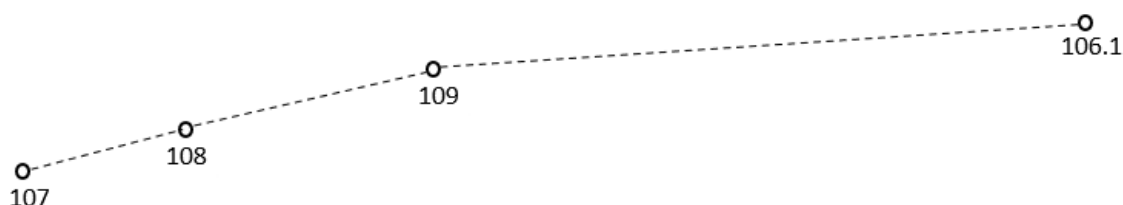
**Tab. 2** Výsledky přesné nivelace

Niv. oddíl	Délka oddílu	Niv. převýšení	$\rho$	Mezní odch. (2)	Průměr	Dané převýšení	$\Delta$	Mezní odch. (1)
	(km)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(mm)	(mm)
108-107	0,1691	-5,7050	+0,3	+2,1	<b>-5,7052</b>	-5,707	- 1,8	+4,1
107-108		+5,7053						
108-109	0,3198	+18,7966	+1,0	+2,8	<b>+18,7961</b>	-	-	-
109-108		-18,7956						
109-106.1	0,8961	+14,1428	+0,0	+1,5	<b>+14,1428</b>	-	-	-
106.1-109		-14,1428						
			vyhovuje			vyhovuje		

**Tab. 3** Přehled výšek přesné nivelace

Číslo bodu	Vypočtená výška [m]	Daná výška [m]
107	-	834,840
108	-	840,547
109	859,3431	-
106.1	<b>873,4859</b>	-

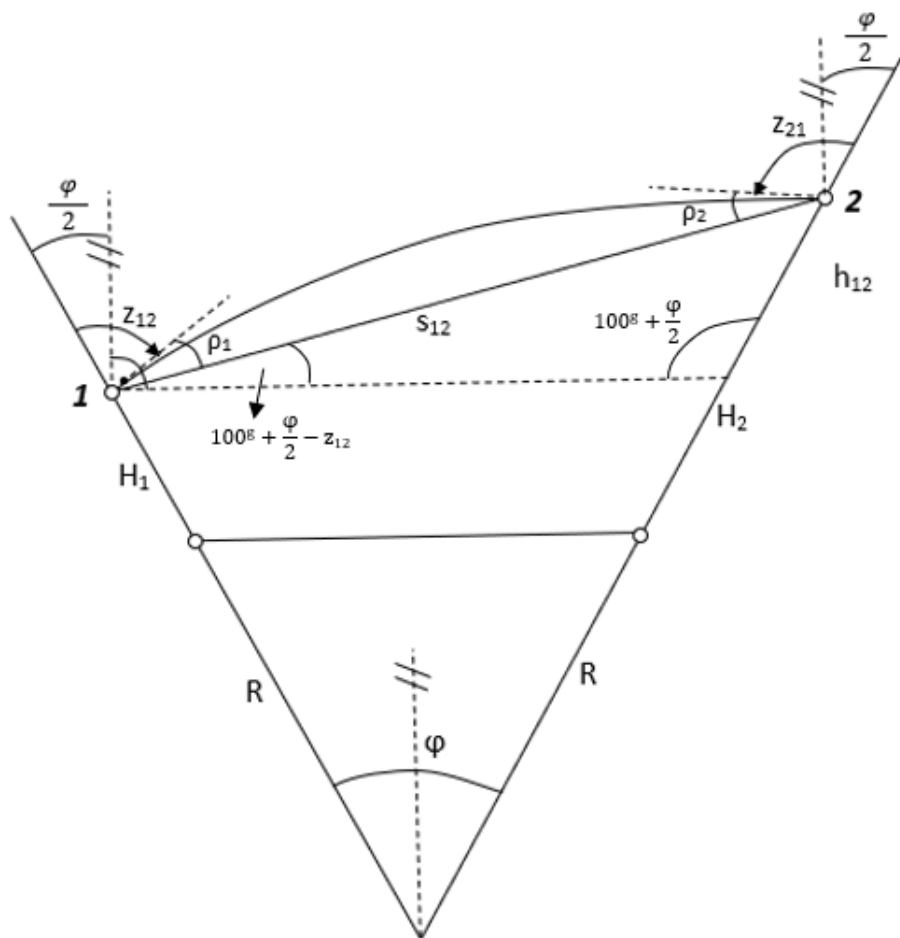
Výška bodu *106.1* určena pomocí nivelace vystupuje při výpočtu vyrovnání výškové sítě jako známá výška. Po připojení jsou trigonometrické výškové rozdíly (převýšení) ve výškovém systému Bpv (tížnicové odchylky se neuvažují).



**Obr. 3** Schéma nivelace

### 4.3 Trigonometrické měření

Pro výpočet výškových rozdílů mezi jednotlivými body je potřeba znát šikmou délku a jednostranně nebo oboustranně měřené zenitové úhly. V určované výškové síti je využito oboustranně měřených zenitových úhlů. Tato metoda měření zenitových úhlů je výhodná, protože můžeme předpokládat, že je vliv refrakce na obou koncích záměry stejný. Předpoklad o stejné refrakci lze uplatnit především u kratších vzdáleností (2-3 km). Další důležitou podmínkou je, aby zenitové úhly byly na obou koncích měřeny současně, nebo za podobných meteorologických podmínek. [4]



**Obr. 4** Trigonometrický výškový rozdíl

Z obr. 4 lze snadno odvodit vztah pro zenitové úhly

$$200 \text{ gon} - (z_{12} + \rho_1) + 200 \text{ gon} - (z_{21} + \rho_2) + \varphi = 200 \text{ gon}, \quad (3)$$

kde

$z_{12}, z_{21}$  jsou měřené zenitové úhly

$\rho_1, \rho_2$  jsou refrakční úhly na koncích měřené spojnice

$\varphi$  je úhel sbíhavosti tížnic, který se vypočte ze vztahu

$$\varphi = \varphi_{12} [\text{gon}] = 0,00998 s_{12} \sin z_{12}, \quad (4)$$

kde

$s_{12}$  je šikmá délka v kilometrech.

0,00998 se rovná  $\frac{200}{\pi R}$ ,  $R = 6381 \text{ km}$ .

Pokud předpokládáme přibližnou rovnost refrakčních úhlů pro oboustranně měřené zenitové úhly

$$\rho_1 \approx \rho_2 \approx \rho, \quad (5)$$

tak uvážením vztahu (5) dostaneme ze vztahu (3)

$$\rho = 100 \text{ gon} + \frac{\varphi}{2} - \frac{z_{12} + z_{21}}{2}. \quad (6)$$

Hodnota úhlu  $\rho$  může nabývat kladných i záporných hodnot. Z obr. 4 lze odvodit vztah pro výpočet převýšení

$$h_{12} = s_{12} \frac{\cos\left(z_{12} + \rho - \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos \frac{\varphi}{2}}. \quad (7)$$

Následně se do vztahu (7) dosadí vztah (6) a dostaneme

$$h_{12} = s_{12} \frac{\cos\left(100 \text{ gon} - \frac{z_{21} - z_{12}}{2}\right)}{\cos \frac{\varphi}{2}}. \quad (8)$$

Po úpravě rovnice (8) a s uvážením, že pro  $s_{12} < 2 \text{ km}$  je  $\varphi/2 < 0,01 \text{ gon}$  bude výsledné převýšení určeno vztahem

$$h_{12} = s_{12} \sin \frac{z_{21} - z_{12}}{2}. \quad (9)$$

Pro dosažení vysoké přesnosti měření zenitových úhlů bylo použito měření v laboratorní jednotce. Dále bylo při měření v síti použito excentrického postavení přístroje a odrazného hranolu na všech spojnicích. Tato metoda je výhodná, jelikož jsme se tím vyhnuli přímému měření výšky přístroje a cíle a opakovanému centrování přístroje na jednotlivých bodech sítě. Převýšení centr – excentr je určeno vztahem

$$h_{ex} = -s_c \cos z_c, \quad (10)$$

kde

$s_c$  je šikmá délka na centr (měřeno pomocí pásma)

$z_c$  je zenitový úhel měřený na centr.

Pro kontrolu  $h_{ex}$  bylo na centr určeno převýšení na délkové měřítko při vodorovné poloze záměry (zenitový úhel 100 gon). Při měření bylo využito toho, že TS a odrazný hranol jsou od stejného výrobce, tudíž při jejich výměně zůstává převýšení spojnice excentr – excentr stejné. V případně excentrického postavení přístroje a cíle je potřeba rovnici (9) opravit

$$h_{12} = h_{ex1} + s_{12} \sin \frac{z_{21} - z_{12}}{2} - h_{ex2} , \quad (11)$$

kde

$h_{ex1}$  a  $h_{ex2}$  jsou převýšení přístroje a cíle z excentrického postavení vůči centru.

Odvození bylo provedeno dle [5].

### 4.3.1 Laboratorní jednotka

Historicky se tato metoda využívala tak, že se délky a zenitové úhly měřily odděleně, kde měření zenitových úhlů probíhalo na černobílé válcové signály a pro cílení se využívala barevná rozhraní válce. Tato metoda byla v rámci našeho měření BP modifikována, jelikož dnes máme možnost měřit TS současně šikmé délky a zenitové úhly, které byly měřeny na střed hranolu (obr. 5).



Obr. 5 Odrazný hranol Leica [6]



Jedná se o postup měření zenitových úhlů, kdy je výsledný zenitový úhel určen ze dvanácti cílení, které jsou uspořádány do tří čtveřic podle schématu:

$$|O_1 O_1 O_2 O_2| \quad |O_2 O_2 O_1 O_1| \quad |O_1 O_1 O_2 O_2|,$$

kde  $o_1$  je měřený zenitový úhel v první poloze dalekohledu a  $o_2$  v druhé poloze dalekohledu. Toto uspořádané měření zenitových úhlů respektuje svým postupem možný časový vliv proměnnosti fyzikálních a meteorologických veličin a z toho vyplývajících krátkodobých změn vlivu refrakce na měřený zenitový úhel. [4]

Měření jedné laboratorní jednotky TS zabere podle našich zkušeností přibližně 5 minut – šikmou délkou stačí měřit na začátku a na konci měření. Pro dvě jednotky máme celkem čtyři měření, která se prakticky neliší. Výsledný zenitový úhel pro jednu laboratorní jednotku se vypočte jako průměr

$$\bar{z} = 200 \text{ gon} + \frac{\sum o_1 - \sum o_2}{12}. \quad (12)$$

Kromě průměru byl v BP vypočten medián, kterým lze zjistit, zda výsledek neovlivňují případná odlehlá měření – v souboru všech měření v této BP žádná odlehlá měření nebyla, průměr a medián se prakticky neliší. V rovnici (12) je započtena velikost průměrné indexové chyby, kterou lze vypočítat ze vztahu

$$i = 200 \text{ gon} - \frac{\sum o_1 + \sum o_2}{12}. \quad (13)$$

Výsledný zenitový úhel vypočtený ze dvou laboratorních jednotek je průměr

$$z = \frac{\bar{z}_1 + \bar{z}_2}{2}, \quad (14)$$

kde

$\bar{z}_1$  a  $\bar{z}_2$  jsou výsledné zenitové úhly z první a druhé laboratorní jednotky.

Výslednou přesnost měření zenitového úhlu lze vyjádřit pomocí směrodatné odchylky

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, \quad (15)$$

kde

$v$  jsou opravy zenitových úhlů (rozdíly měřených zenitových úhlů od průměru)

$n = 6$  je počet měření.

Dále je možné určit přesnost výsledku laboratorní jednotky pomocí směrodatné odchylky průměru

$$\sigma_{\bar{z}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma_z}{\sqrt{n}}. \quad (16)$$

Směrodatné odchylky (15), (16) slouží pro výpočet váhové matice ve vyrovnání.

Přehledně zpracované měřené zenitové úhly a jejich výsledky jsou v příloze 4, ukázka je v tab. 4.

**Tab. 4** Zpracování měření laboratorní jednotky

1. skupina (1. měřič) - spojnice 105.2-106.1							
1. lab. jednotka				2. lab. jednotka			
$o_1$	$o_2$	$400 - o_2$	$i$	$o_1$	$o_2$	$400 - o_2$	$i$
106,2502	293,7494	106,2506	0,0002	106,2513	293,7508	106,2492	-0,0011
106,2512	293,7487	106,2513	0,0001	106,2500	293,7493	106,2507	0,0003
106,2516	293,7488	106,2512	-0,0002	106,2523	293,7494	106,2506	-0,0008
106,2522	293,7489	106,2511	-0,0005	106,2519	293,7497	106,2503	-0,0008
106,2521	293,7495	106,2505	-0,0008	106,2523	293,7493	106,2507	-0,0008
106,2519	293,7490	106,2510	-0,0005	106,2516	293,749	106,2510	-0,0003
Výsledky 1. lab. j.				Výsledky 2. lab. j.			
Průměr			106,2512	Průměr			106,2510
Medián			106,2512	Medián			106,2509
$\sigma_z$			0,00063	$\sigma_z$			0,00094
$\sigma_{\bar{z}}$			0,00018	$\sigma_{\bar{z}}$			0,00027
Výsledný zenitový úhel (průměr)						106,2511	

## 4.4 Měření délek

Délky byly měřeny současně se zenitovými úhly a byly opraveny o fyzikální redukce, které provádí TS automaticky po zadání teploty a tlaku vzduchu. Délky byly měřeny s přesností uvedenou v kapitole 3. Délky mezi měřickými skupinami se liší z důvodu různých excentrických postavení TS a odrazných hranolů.

**Tab. 5** Měřené šikmé délky

Spojnice	1. měřická skupina		2. měřická skupina	
	<i>s</i>	Průměr	<i>s</i>	Průměr
	(m)	(m)	(m)	(m)
105.2-106.1	330,657	330,656	330,138	330,138
106.1-105.2	330,656		330,138	
104.1-106.1	751,216	751,215	750,160	750,156
106.1-104.1	751,214		750,152	
104.1-105.2	632,250	632,249	632,228	632,227
105.2-104.1	632,248		632,226	
102.0-105.2	1143,041	1143,040	1143,334	1143,333
105.2-102.0	1143,038		1143,331	
102.0-104.1	670,620	670,619	670,133	670,132
104.1-102.0	670,618		670,130	
102.0-106.1	1063,012	1063,012	1063,976	1063,975
106.1-102.0	1063,012		1063,974	

### 4.4.1 Vliv délek na převýšení

Vliv délek na výslednou přesnost nelze v některých případech zanedbat, proto je potřeba zjistit výsledný vliv měřených délek na přesnost převýšení. Skutečnou chybu měřeného převýšení (stačí uvažovat převýšení z jednostranně zaměřených zenitových úhlů, refrakční úhel  $\rho = 0$ , sbíhavost tížnic  $\varphi$  je malý úhel, pro délku 1 km je  $\varphi = 0,01$  gon)

$$h = s_d \frac{\cos\left(z - \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos\frac{\varphi}{2}} \approx s_d \cos\left(z - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (17)$$

lze vyjádřit rovnicí

$$\varepsilon_h = \varepsilon_d \cdot \cos\left(z - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (18)$$

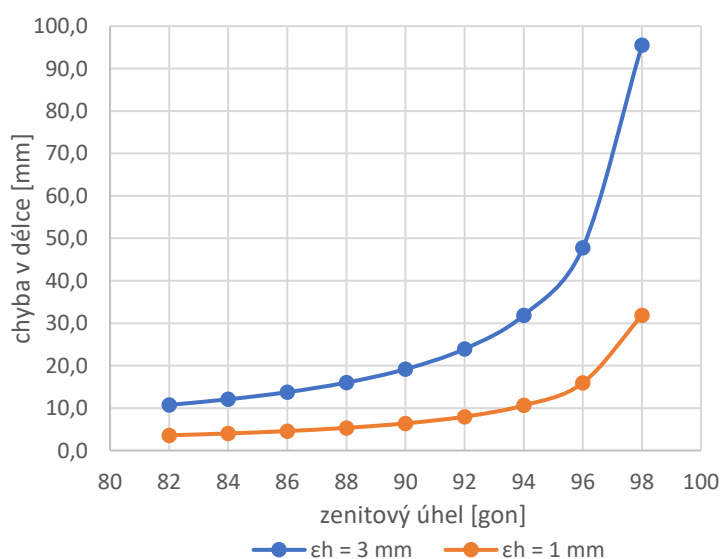
Skutečnou chybu měřené délky  $\varepsilon_d$  určíme z rovnice (18)

$$\varepsilon_d = \frac{\varepsilon_h}{\cos z} \quad (19)$$

Z rovnice (19) vyplývá, že přesnost měřené délky je ovlivněna požadovanou přesností převýšení, a také je závislá na sklonu záměry. Pro výpočet skutečné chyby v délce je uvažována přesnost měřeného převýšení 1 a 3 milimetry. V řešené výškové síti je nejdelší měřená délka 1,2 kilometru (tab. 5) a zenitový úhel 93 gon (příloha 4). Z tab. 6 vyplývá, že není potřeba uvažovat vliv měřených délek, jelikož měříme délky přesněji, než je jejich požadovaná přesnost. Vývoj chyby je znázorněn na obr.6, kde je patrné, že se strmostí záměry roste vliv přesnosti měřené délky na výsledné převýšení.

**Tab. 6** Velikost  $\varepsilon_d$  v milimetrech

z [gon]	$\varepsilon_h = 3 \text{ mm}$	$\varepsilon_h = 1 \text{ mm}$
82	10,8	3,6
84	12,1	4,0
86	13,8	4,6
88	16,0	5,3
90	19,2	6,4
92	23,9	8,0
94	31,9	10,6
96	47,8	15,9
98	95,5	31,8



**Obr. 6** Chyba v délce vlivem výškových rozdílů

## 5 Vlivy prostředí a přesnosti přístroje

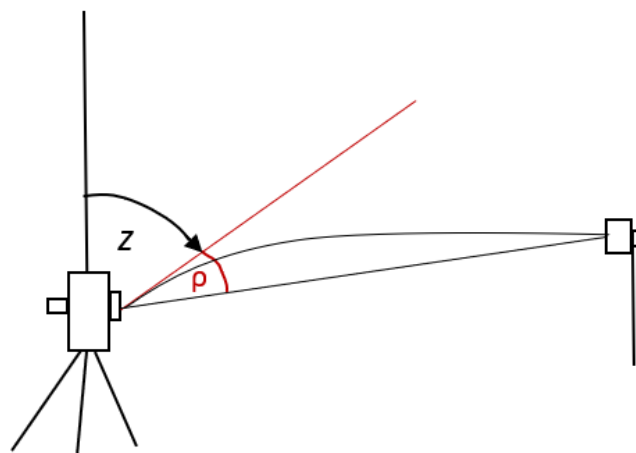
### 5.1 Refrakce

Jedná se o zakřivení světelných paprsků, které přichází z cílového znaku k měřiči oproti geometricky přímé spojnici. To je způsobeno proměnlivou hustotou vzduchových vrstev. Paprsek prochází podle Fermatova principu vždy opticky nejkratší cestou (za minimální čas).

Refrakci můžeme rozdělit na astronomickou a geodetickou. Nás zajímá pouze refrakce geodetická, která se projevuje při měření na pozemské cíle. Jedná se o to, že záměra, ze které odvozujeme zenitový úhel je tečnou k zakřivené prostorové dráze paprsku (obr. 7), který se odchyluje o refrakční úhel  $\rho$ . Jedná se o odchylku záměry od přímé spojnice (chyba mezi skutečností a záměrnou přímou). Posuzovat vliv refrakce lze:

- a) pomocí meteorologických dat,
- b) pomocí refrakčního koeficientu  $k$  a úhlu  $\rho$ .

Nejvíce se refrakce projevuje při měření zenitových úhlů jako změna vertikální refrakce světelných paprsků. Určení refrakce z oboustranně měřených zenitových úhlů (měřených s malým časovým odstupem), které může výrazně zpřesnit výsledky trigonometrického měření za předpokladu, že je refrakce na obou koncích záměry stejná díky tomu je vzorec (9) zbaven vlivu refrakce. Tento předpoklad můžeme použít při kratších délkách (2 km) a méně strmých záměrách ( $90 \text{ gon} < z < 110 \text{ gon}$ ). Další podmínkou je, aby průběh nad terénem byl alespoň přibližně středově souměrný (Na obr.8 jsou podélné profily našich záměr). [4]



Obr. 7 Refrakce

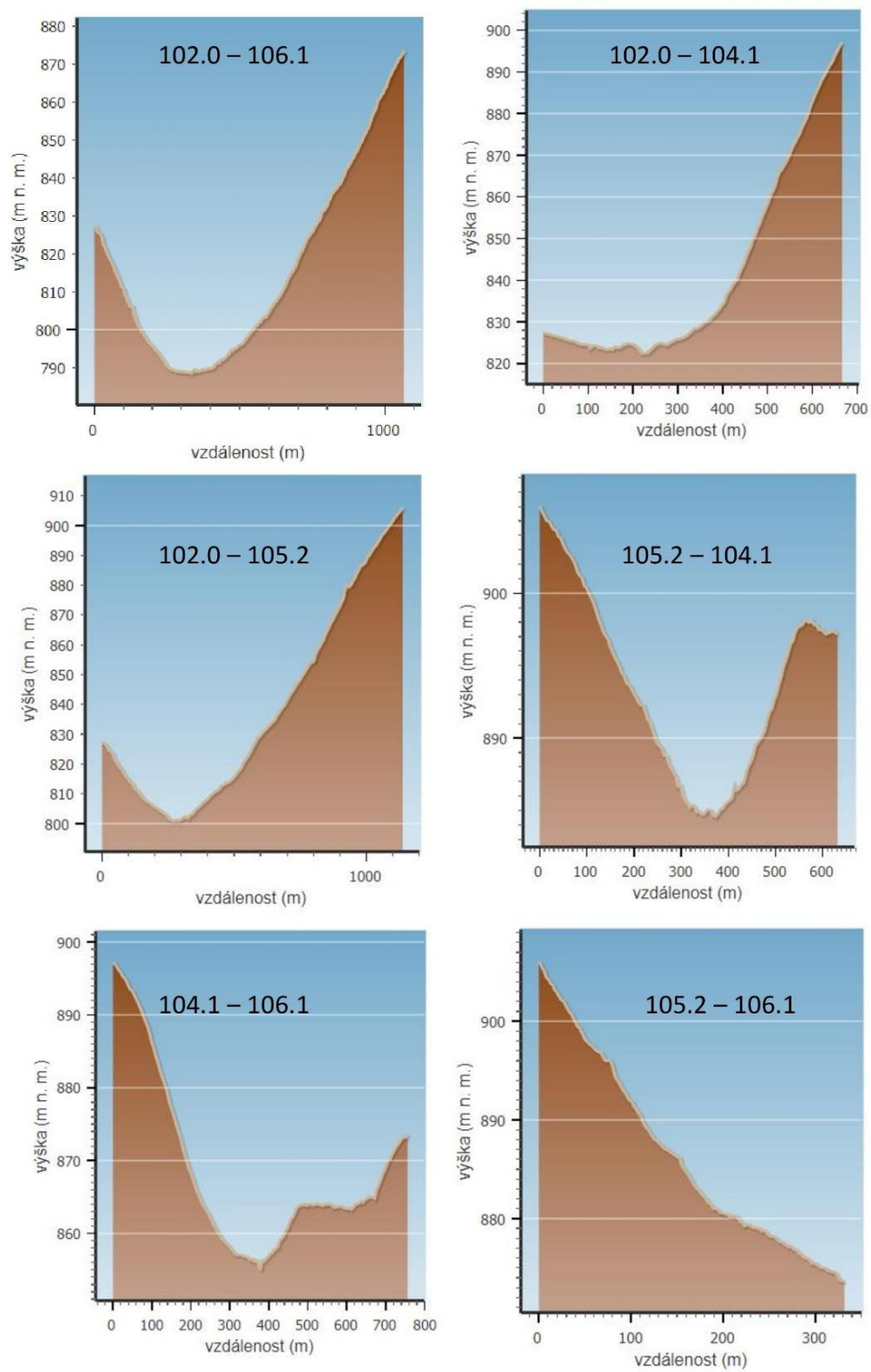
Po vypočtení refrakčního úhlu (6) můžeme vypočítat refrakční koeficient

$$k_{12} = \frac{2 \rho_{12}}{\varphi_{12}}. \quad (20)$$

Výpočet jednotlivých refrakčních úhlů a koeficientů ve výškové síti je uveden v tab.7. Z tabulky je patrné, že při měření dvěma měřickými skupinami docházelo k malým změnám refrakčních koeficientů (měření s malým časovým odstupem), které mohou být způsobeny změnou vnějšího prostředí při měření nebo také přesností měření. Průměr refrakčních koeficientů pro celou síť je prakticky nulový pro obě skupiny měřičů.

**Tab. 7** Refrakční úhly a koeficienty

Spojnice	1.skupina			2. skupina		
	$\varphi$ [gon]	$\rho$ [gon]	$k$	$\varphi$ [gon]	$\rho$ [gon]	$k$
105.2-106.1	0,0033	-0,00006	-0,04	0,0033	-0,00009	-0,06
104.1-106.1	0,0075	-0,00008	-0,02	0,0075	0,00012	0,03
104.1-105.2	0,0063	-0,00111	-0,35	0,0063	-0,00099	-0,31
102.0-105.2	0,0114	0,00011	0,02	0,0114	-0,00008	-0,01
102.0-104.1	0,0067	0,00046	0,14	0,0067	0,00006	0,02
102.0-106.1	0,0106	0,00102	0,19	0,0106	0,00070	0,13



**Obr. 8** Výškové profily záměr [7]

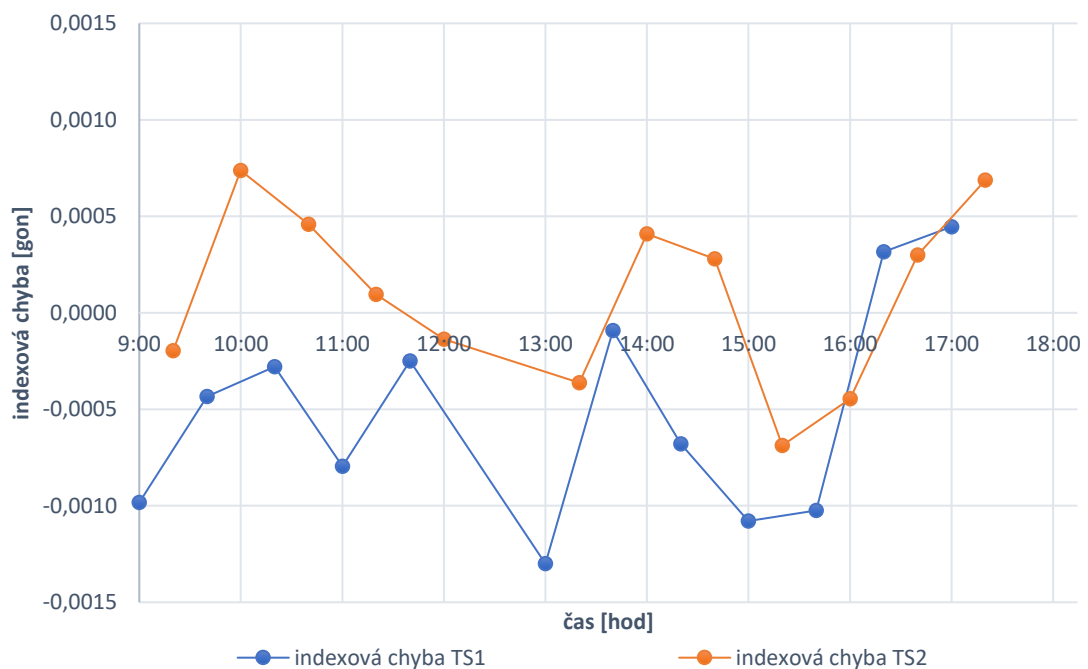
## 5.2 Indexová chyba

Je to chyba výškového indexu, kde při vodorovné záměrné přímce a volně kmitajícím kyvadlu výškového indexu (zajišťuje vodorovnou polohu indexu, který je pevný) má být údaj svislého kruhu 100 gon. Pokud toto přístroj nesplňuje má indexovou chybu.

Jedná se o systematickou chybu, kterou lze zjistit měřením ve dvou polohách dalekohledu a početně eliminovat. Indexovou chybu určíme ze vzorce

$$i = \frac{400 \text{ gon} - (o_1 + o_2)}{2}. \quad (21)$$

Indexová chyba je pro přístroj konstantní, v rámci měření jsou přítomné náhodné chyby v cílení a projeví se také změna teploty přístroje. Jak je z obr. 9 patrné, při měření docházelo ke změnám indexové chyby v čase pro dva přístroje stejného typu při obousměrném měření zenitových úhlů.



Obr. 9 Indexová chyba



## 6 Vyrovnání MNČ

Jedná se v geodézii o nejpoužívanější metodu, která se využívá v případě nadbytečného počtu měření. Poté není výpočet jednoznačný a je potřeba provést vyrovnání, které nám poskytne nejspolehlivější hodnotu neznámých. Podmínka MNČ je

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min , \quad (22)$$

kde

$\mathbf{v}$  je vektor oprav měřených veličin

$\mathbf{P}$  je váhová matice měření.

Pro výpočet vyrovnání je důležité si určit velikosti jednotlivých matic:

a)  $r$  je počet měření

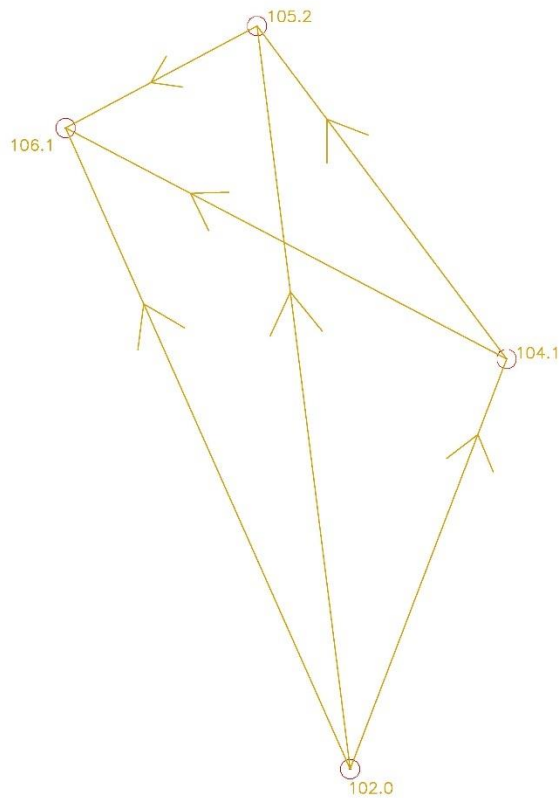
b)  $m$  je počet měřených převýšení (počet zprostředkujících vztahů)

c)  $k$  je počet neznámých = počet určovaných nadmořských výšek bodů.

Pro vyrovnání sítě platí, že  $r \geq m > k$ . Pokud platí tento vztah, tak potom může dojít k vyrovnání. Velikosti prvků pro jednotlivé modely jsou v tab. 8. Pro výpočet je také důležitý obr. 10, šipky označují směr výpočtu převýšení, který je důležitý pro výpočet matice  $\mathbf{A}$ .

**Tab. 8** Prvky určující velikosti matic

	$r$	$m$	$k$
1. model	12	6	3
2. model	24	12	
3. model	36	12	
4. model	6	6	



**Obr. 10** Schéma výškové síť

Obecný nelineární model měření ve výškové síti lze zapsat vztahem

$$F(L + v, {}^1X^0 + x, {}^2X) = \mathbf{0}, \quad (23)$$

kde

$L$  je vektor měření

${}^1X^0$  je vektor přibližných výšek určených bodů

$x$  je vektor korekcí přibližných výšek

${}^2X$  je vektor výšek daných bodů (v našem případě jednoho).

Přibližné hodnoty nadmořských výšek byly určeny pomocí technologie GNSS a bod 106.1 je daný bod, určený přesnou nivelací.

Následnou linearizací vztahu (23) dostaneme systém rovnic oprav

$$\mathbf{D} \mathbf{v} + \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{l} = \mathbf{0}, \quad (24)$$

kde

$\mathbf{l}$  je vektor redukováných měření

$\mathbf{D}$  je matice parciálních derivací funkce (23) podle měření

$\mathbf{A}$  je matice plánu – parciálních derivací funkce (23) podle neznámých.

Vektor redukováných měření  $\mathbf{l}$  o velikosti  $m \times 1$ , je závislý na vektoru měření  $\mathbf{L}$  a vektoru přibližných výšek určovaných bodů  ${}^1\mathbf{X}^0$ , jeho prvky lze vyjádřit vztahem

$$l_{ij} = h_{ij} - (H_j^0 - H_i^0), \quad (25)$$

kde

$h_{ij}$  je vypočtené převýšení z měřených hodnot

$H_j^0$  a  $H_i^0$  jsou přibližné výšky určovaných bodů.

Pro tvorbu matice  $\mathbf{D}$  a  $\mathbf{A}$  je potřeba určit zprostředkující rovnici (jejich počet se rovná počtu měřených převýšení v síti), která vychází z rovnice (11) a (23) ve tvaru

$$(s_{12} \sin \frac{z_{21} - z_{12}}{2} + h_{ex1} - h_{ex2}) - (H_2 - H_1) = 0. \quad (26)$$

Matice  $\mathbf{A}$  má rozměr  $m \times k$ . Výsledky derivací jsou zapsány v tab. 9.

**Tab. 9** Prvky matice  $\mathbf{A}$  ve výškové síti

$\frac{\partial F}{\partial H_{105}}$	$\frac{\partial F}{\partial H_{104}}$	$\frac{\partial F}{\partial H_{102}}$
1	0	0
0	1	0
-1	1	0
-1	0	1
0	-1	1
0	0	1

Matice  $D$  má rozměr  $m \times r$ . Výsledky derivací pro spojnicí 1-2 jsou uvedeny v tab. 10.

**Tab. 10** Prvky matice  $D$

$\frac{\partial F}{\partial z_{12}}$	$\frac{\partial F}{\partial z_{21}}$	$\frac{\partial F}{\partial h_{ex1}}$	$\frac{\partial F}{\partial h_{ex2}}$
$-\frac{s_{12}}{2} \cos \frac{z_{21} - z_{12}}{2}$	$\frac{s_{12}}{2} \cos \frac{z_{21} - z_{12}}{2}$	1	-1

Váhová matice  $P$  je diagonální (jednotlivá měření zenitových úhlů jsou nekorelovaná) čtvercová matice o rozměru  $r \times r$  obsahující váhy jednotlivých měření. Váhy jednotlivých měření jsou určeny následujícím způsobem

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_z^2}, \quad (27)$$

kde

$\sigma_0$  je apriorní směrodatná odchylka (zvolena 1)

$\sigma_z$  je směrodatná odchylka zenitového úhlu – průměru podle (16)

Následně je možné vypočítat vektor oprav, který musí podle kritéria MNČ splňovat podmínku (22) a současně systém rovnic oprav. Výsledná funkce je

$$v^T P v - 2 k^T (D v + A x + l) = \min . \quad (28)$$

Výpočtem a úpravou dostaneme opravy

$$v = P^{-1} D^T k , \quad (29)$$

kde

$k$  je vektor Lagrangeových koeficientů (korelát), které můžeme vypočítat ze vztahu

$$k = -Q_l^{-1}(A x + l) , \quad (30)$$

kde

$Q_l$  je matice váhových koeficientů redukovanych měření vypočtena ze vztahu

$$Q_l = D P^{-1} D^T . \quad (31)$$

Dále je pro výpočet oprav a vyrovnaných hodnot nutné vypočítat vektor korekcí přibližných výšek

$$\mathbf{x} = -\mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_l^{-1} \mathbf{l} , \quad (32)$$

kde

$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_l^{-1} \mathbf{A}$  je matice soustavy normálních rovnic.

Po výpočtu vektorů korekcí můžeme vypočítat vyrovnané výšky, pro které platí

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{X}^0 + \mathbf{x}. \quad (33)$$

Použitím rovnice (29) získáme vyrovnaná měření

$$\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \mathbf{v}. \quad (34)$$

## 6.1 Kontrola a přesnosti vyrovnání

Kontrola vyrovnání je splnění rovnice (24) a funkčního vztahu

$$\mathbf{F}(\hat{\mathbf{L}} + \mathbf{v}, \mathbf{X}^1, \mathbf{X}^2) = \mathbf{0} . \quad (35)$$

Pokud nám tato rovnice vyjde nula, tak můžeme prohlásit, že vyrovnání proběhlo v pořádku. Poté můžeme vypočítat empirickou hodnotu směrodatné odchylky jednotkové

$$\sigma'_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n'}}, \quad (36)$$

kde

$n'$  je počet stupňů volnosti (počet nadbytečných měření) určený ze vztahu

$$n' = r - r(\mathbf{A}), \quad (37)$$

kde

$r$  je celkový počet měření

$r(\mathbf{A})$  je hodnota matice  $\mathbf{A}$ , která je rovna počtu neznámých výšek.

Pro veličinu (36) se určí interval spolehlivosti, který je zvolený na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$

$$\sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2(n)}^2}{n'}} \leq \frac{\sigma'_0}{\sigma_0} \leq \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2(n)}^2}{n'}} , \quad (38)$$

kde

$\chi_{1-\alpha/2(n)}^2$  a  $\chi_{\alpha/2(n)}^2$  jsou kritické hodnoty chí – kvadrát rozdělení pro  $n'$  stupňů volnosti.

Dále je možné vypočítat kovarianční matici vyrovnaných výšek, která nám udává jejich přesnost. Na diagonále jsou rozptyly vyrovnaných výšek, jejich odmocněním dostaneme směrodatné odchylky vyrovnaných výšek ( $\sigma_H$ ). Mimo diagonálu jsou kovariance jednotlivých neznámých, které udávají míru závislosti

$$\mathbf{M}_x = \sigma_0^2 \mathbf{N}^{-1} . \quad (39)$$

Můžeme také vypočítat kovarianční matici vyrovnaných převýšení

$$\mathbf{M}_{\hat{h}} = \sigma_0^2 \mathbf{A} \mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T . \quad (40)$$

Nakonec vypočteme kovarianční matici vyrovnaných zenitových úhlů a v případě 3. modelu i pro vyrovnaná měření excentrického postavení přístroje a cíle

$$\mathbf{M}_{\hat{l}} = \sigma_0^2 \mathbf{S} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{S}^T , \quad (41)$$

kde

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} - \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{Q}_l^{-1} (\mathbf{D} - \mathbf{A} \mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_l^{-1} \mathbf{D})$$
 je matice.

Tento vztah se dá odvodit zákonem hromadění skutečných chyb a směrodatných odchylek.

Vyrovnaní je zpracování dle [8] a konzultací s vedoucím BP.

## 7 Modely výškové sítě

### 7.1 1. model

Pro 1. model jsou zenitové úhly vypočtené jako průměr první a druhé laboratorní jednotky. Váhová matice pro tato měření je jednotková (všechna měření mají stejnou váhu). Měření excentrického postavení přístroje je v tomto modelu považováno za bezchybné. Pro kovarianční matice je uvažována směrodatná odchylka počítaná dle rovnice (36), ze které dostaneme v tomto modelu směrodatnou odchylku jednotkovou měřeného úhlu.

### 7.2 2. model

Ve 2. modelu je použito měření zenitových úhlů z první a druhé laboratorní jednotky odděleně. Pro tato měření byla váhová matice sestavena podle rovnice (27). Pro tento model je opět uváženo, že měření excentrického postavení přístroje je bezchybné.

### 7.3 3. model

Pro 3. model je opět počítáno s měřením zenitových úhlů v první a druhé laboratorní jednotce odděleně a je zde uváženo i vliv měření excentrického postavení přístroje. Proto váhová matice na diagonále obsahuje váhy dle rovnice (27) a váhy pro převýšení

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{hex}^2}, \quad (42)$$

kde

$\sigma_{hex}$  je směrodatná odchylka měřeného excentrického převýšení.

Pro naši síť byla vypočtena  $\sigma_{hex} = 1,5$  mm. Tato přesnost vychází ze vztahu (10) odvozeného pomocí zákona hromadění směrodatných odchylek

$$\sigma_{hex}^2 = \cos^2 z_c \sigma_e^2 + (e \sin z_c)^2 \sigma_z^2, \quad (43)$$

kde

$z_c$  je zenitový úhel na centr

$e$  je šikmá délka excentricity

$\sigma_e$  je směrodatná odchylka excentricity

$\sigma_z$  je směrodatná odchylka měřeného zenitového úhlu.

Pro hodnoty zenitového úhlu 130 gon, šikmé délky excentricity 5 m a směrodatné odchylky 3 mm / 0,01 gon je  $\sigma_{hex} = 1,5$  mm.

## 7.4 4. model

1. – 3. model se zásadně neliší na rozdíl od 4. modelu. Vyrovnání zprostředkujících měření, systém rovnic oprav má tvar

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l}. \quad (44)$$

Dále je pro výpočet oprav a vyrovnaných hodnot nutné vypočítat vektor korekcí přibližných výšek, který je pro tento model

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}. \quad (45)$$

Váhovou matici, matici plánu, vyrovnané výšky, vyrovnaná měření a posteriorní směrodatnou odchylku vypočteme podobně jako v kapitole 7. Kovarianční matice vyrovnaných výšek se v tomto případě vypočte ze vztahu

$$\mathbf{M}_x = \sigma_0^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}. \quad (46)$$

Nakonec můžeme vypočítat kovarianční matici měření (převýšení) ze vztahu

$$\mathbf{M}_{\hat{h}} = \sigma_0^2 \mathbf{A} (\mathbf{A} \mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A}^T. \quad (47)$$



V tomto modelu vstupují jako měřené hodnoty vypočtená převýšení ze vztahu (11), kde je zenitový úhel vypočten jako průměr laboratorních jednotek. Váhová matice  $P$  je pro tento model počítána ze vztahu

$$p_i = \frac{1}{s_i^2}, \quad (48)$$

kde

$s$  je délka záměry v kilometrech.

Pro výpočet kovarianční matice se použije apriorní hodnota  $\sigma_{0_{km}} = 4,4$  mm, která se dá odvodit zákonem hromadění směrodatných odchylek z rovnice (9)

$$\sigma_h = \sigma_s^2 \cos^2 z_{12} + \frac{\sigma_z^2 s_{12}^2 \sin^2 z_{12}}{2}. \quad (49)$$

Ve vzorci (49) se vliv délkového měření neuplatní a pro délku  $s_{12} = 1$  km,  $\sigma_z = 0,4$  mgon a záměrám blízkým vodorovné (ve výškové síti jsou zenitové úhly 93-107 gon) je  $\sigma_{0_{km}} = 4,4$  mm/km.

Poznámka: Hodnota  $\sigma_z$  byla stanovena v rámci rozborů přesnosti měřených zenitových úhlů, ze kterých byly vypočteny směrodatné odchylka průměrů (16). Z nich byly vypočteny kvadratické průměry pro 1. a 2. skupinu, kde výsledek pro 1. skupinu byl 0,33 mgon a pro 2. skupinu 0,27 mgon. Z hodnoty 0,33 byla stanovena naše apriorní hodnota  $\sigma_z = 4$  mgon (větší průměr byl zaokrouhlen nahoru).

## 8 Výsledky

Všechny důležité výsledky vyrovnání výškové sítě jsou uvedeny v tab.11 – tab.21

### 8.1 1. model

**Tab. 11** Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek

Bod	H [m]		$H_1 - H_2$ [m]	$\sigma_H$ [mm]	
	1. skupina	2. skupina		1. skupina	2. skupina
105.2	905,9858	905,9889	-0,0031	1,0	1,4
104.1	897,1266	897,1370	-0,0104	1,6	2,1
102.0	827,3521	827,3725	-0,0204	1,9	2,7

**Tab. 12** Vyrovnaná měření, opravy, sm. odch. jednotková a sm. odch. vyr. měření

Měřená veličina	Vyrovnané zenitové úhly a opravy [gon/mgon]				$\sigma_{\hat{\gamma}}$ [mgon]	
	1. skupina	2. skupina	1. skupina	2. skupina	1. skupina	2. skupina
$Z_{105.2-106.1}$	106,25112	106,23330	+0,02	+0,20	0,29	0,39
$Z_{106.1-105.2}$	93,75228	93,77020	-0,02	-0,20	0,29	0,39
$Z_{104.1-106.1}$	102,00499	102,03842	+0,29	-0,08	0,25	0,34
$Z_{106.1-104.1}$	98,00271	97,96878	-0,29	+0,08	0,25	0,34
$Z_{104.1-105.2}$	99,10044	99,09033	+0,04	+0,03	0,26	0,34
$Z_{105.2-104.1}$	100,90776	100,91797	-0,04	-0,03	0,26	0,36
$Z_{102.0-105.2}$	95,62149	95,61904	-0,01	+0,64	0,24	0,36
$Z_{105.2-102.0}$	104,38971	104,39256	+0,01	-0,64	0,24	0,32
$Z_{102.0-104.1}$	93,29220	93,29096	+0,30	-0,04	0,27	0,32
$Z_{104.1-102.0}$	106,71350	106,71554	-0,30	+0,04	0,27	0,37
$Z_{102.0-106.1}$	97,28773	97,29956	-0,47	-0,54	0,24	0,37
$Z_{106.1-102.0}$	102,72087	102,70964	+0,47	+0,54	0,24	0,33
$\sigma'_z = \sigma'_0$	0,30	0,41				

**Tab. 13** Vyrovnaná převýšení a sm. odch. vyr. převýšení

Měřená veličina	Vyrovnaná převýšení [m]		$\sigma_{\hat{h}}$ [mm]	
	1. skupina	2.skupina	1. skupina	2.skupina
$h_{105.2-106.1}$	-32,4999	-32,5030	1,0	1,4
$h_{104.1-106.1}$	-23,6407	-23,6511	1,6	2,1
$h_{104.1-105.2}$	+8,8593	+8,8519	1,5	2,1
$h_{102.0-105.2}$	+78,6338	+78,6163	1,9	2,6
$h_{102.0-104.1}$	+69,7745	+69,7645	1,8	2,4
$h_{102.0-106.1}$	+46,1338	+46,1134	1,9	2,7

## 8.2 2. model

**Tab. 14** Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek

Bod	H [m]		$H_1 - H_2$ [m]	$\sigma_H$ [mm]
	1. skupina	2. skupina		
105.2	905,9861	905,9885	-0,0024	0,6
104.1	897,1261	897,1374	-0,0113	1,1
102.0	827,3566	827,3745	-0,0179	1,4

**Tab. 15** Vyrovnaná převýšení a sm. odch. vyr. převýšení

Měřená veličina	Vyrovnaná převýšení [m]		$\sigma_{\hat{h}}$ [mm]
	1. skupina	2.skupina	
$h_{105.2-106.1}^I$	-32,5002	-32.5026	0,6
$h_{104.1-106.1}^I$	-23.6402	-23.6515	1,1
$h_{104.1-105.2}^I$	+8.8600	+8.8511	1,2
$h_{102.0-105.2}^I$	+78.6296	+78.6140	1,4
$h_{102.0-104.1}^I$	+69.7696	+69.7629	1,5
$h_{102.0-106.1}^I$	+46.1293	+46.1114	1,4
$h_{105.2-106.1}^{II}$	-32,5002	-32.5026	0,6
$h_{104.1-106.1}^{II}$	-23.6402	-23.6515	1,1
$h_{104.1-105.2}^{II}$	+8.8600	+8.8511	1,2
$h_{102.0-105.2}^{II}$	+78.6296	+78.6140	1,4
$h_{102.0-104.1}^{II}$	+69.7696	+69.7629	1,5
$h_{102.0-106.1}^{II}$	+46.1293	+46.1114	1,4

Poznámka:  $z^I$  a  $z^{II}$  značí zenitové úhly v první a druhé laboratorní jednotce.  $h^I$  a  $h^{II}$  značí převýšení z první a druhé laboratorní jednotky (Vyrovnaná převýšení z první a druhé laboratorní jednotky se musí sobě rovnat).

**Tab. 16** Vyrovnaná měření, opravy, sm. odch. jednotková a sm. odch. vyr. měření

Měřená veličina	Vyrovnané zenitové úhly a opravy [gon/mgon]				$\sigma_L$ [mgon]
	1. skupina	2. skupina	1. skupina	2. skupina	
$Z_{105.2-106.1}^I$	106,25125	106,25125	+0,05	+0,08	0,17
$Z_{106.1-105.2}^I$	93,75230	93,75230	-0,10	-0,16	0,21
$Z_{104.1-106.1}^I$	102,00512	102,00512	+0,42	-0,34	0,25
$Z_{106.1-104.1}^I$	98,00292	98,00291	-0,18	+0,15	0,22
$Z_{104.1-105.2}^I$	99,10073	99,10073	+0,73	+0,19	0,29
$Z_{105.2-104.1}^I$	100,90820	100,90820	-0,10	-0,03	0,20
$Z_{102.0-105.2}^I$	95,62185	95,62185	+0,54	+0,42	0,23
$Z_{105.2-102.0}^I$	104,38960	104,38960	-0,30	-0,23	0,21
$Z_{102.0-104.1}^I$	93,29327	93,29327	+1,17	+0,41	0,34
$Z_{104.1-102.0}^I$	106,71361	106,71361	-0,59	-0,21	0,29
$Z_{102.0-106.1}^I$	97,28870	97,28870	-0,30	-0,16	0,11
$Z_{106.1-102.0}^I$	102,72130	102,72130	+1,10	+0,58	0,17
$Z_{105.2-106.1}^{II}$	106,25107	106,25107	+0,07	+0,16	0,23
$Z_{106.1-105.2}^{II}$	93,75212	93,75212	-0,08	-0,19	0,23
$Z_{104.1-106.1}^{II}$	102,00505	102,00505	+0,45	+0,19	0,20
$Z_{106.1-104.1}^{II}$	98,00285	98,00285	-0,05	-0,02	0,11
$Z_{104.1-105.2}^{II}$	99,10064	99,10064	-0,06	+0,18	0,27
$Z_{105.2-104.1}^{II}$	100,90811	100,90811	+0,01	-0,04	0,19
$Z_{102.0-105.2}^{II}$	95,62172	95,62172	+0,12	+1,93	0,22
$Z_{105.2-102.0}^{II}$	104,38947	104,38947	-0,03	-0,42	0,18
$Z_{102.0-104.1}^{II}$	93,29305	93,29305	+1,35	-0,26	0,31
$Z_{104.1-102.0}^{II}$	106,71340	106,71334	-0,10	+0,02	0,17
$Z_{102.0-106.1}^{II}$	97,28773	97,28773	+0,33	-0,62	0,26
$Z_{106.1-102.0}^{II}$	102,72033	102,72033	-0,17	+0,32	0,24
Interval spolehlivosti	<0,70; 1,30>				
$\sigma'_0$	1,61	1,43			

### 8.3 3. model

**Tab. 17** Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek

Bod	H [m]		$H_1 - H_2$ [m]	$\sigma_H$ [mm]
	1. skupina	2. skupina		
<i>105.2</i>	905,9877	905,9912	-0,0035	1,8
<i>104.1</i>	897,1273	897,1383	-0,0110	1,9
<i>102.0</i>	827,3565	827,3745	-0,0180	2,0

**Tab. 18** Vyrovnaná měření, opravy, sm. odch. jednotková a sm. odch. vyr. měření

Měřená veličina	Vyrovnaná měření [gon/m] a opravy [mgon/mm]				$\sigma_{\hat{L}}$ [mgon/mm]
	1. skupina	2. skupina	1.skupina	2. skupina	
$z_{105.2-106.1}^I$	106,25122	106,23292	0,02	0,02	0,17
$z_{106.1-105.2}^I$	93,75236	93,77015	0,03	0,08	0,23
$z_{104.1-106.1}^I$	102,00493	102,03822	0,23	-0,28	0,27
$z_{106.1-104.1}^I$	98,00230	97,96842	0,21	0,26	0,24
$z_{104.1-105.2}^I$	99,10056	99,09014	0,56	-0,05	0,36
$z_{105.2-104.1}^I$	100,90822	100,91791	-0,21	-0,05	0,34
$z_{102.0-105.2}^I$	95,62165	95,61837	0,35	-0,03	0,26
$z_{105.2-102.0}^I$	104,38971	104,39232	-0,13	1,35	0,27
$z_{102.0-104.1}^I$	93,29368	93,29118	0,58	0,28	0,37
$z_{104.1-102.0}^I$	106,71391	106,71566	0,54	-0,44	0,38
$z_{102.0-106.1}^I$	97,28882	97,30013	-0,18	-0,07	0,11
$z_{106.1-102.0}^I$	102,72087	102,70954	0,68	-0,33	0,27
$z_{105.2-106.1}^{II}$	106,25103	106,23328	-0,04	-0,05	0,22
$z_{106.1-105.2}^{II}$	93,75217	93,77051	-0,03	-0,09	0,24
$z_{104.1-106.1}^{II}$	102,00481	102,03886	-0,10	0,12	0,22
$z_{106.1-104.1}^{II}$	98,00288	97,96907	-0,02	-0,03	0,11
$z_{104.1-105.2}^{II}$	99,10048	99,09035	-0,08	0,01	0,20
$z_{105.2-104.1}^{II}$	100,90815	100,91811	0,05	0,01	0,20
$z_{102.0-105.2}^{II}$	95,62147	95,61976	-0,19	0,02	0,22
$z_{105.2-102.0}^{II}$	104,38953	104,39371	0,03	-0,29	0,19
$z_{102.0-104.1}^{II}$	93,29224	93,29076	-0,29	-0,14	0,30
$z_{104.1-102.0}^{II}$	106,71346	106,71523	-0,04	0,03	0,17
$z_{102.0-106.1}^{II}$	97,28808	97,29967	0,67	0,24	0,19
$z_{106.1-102.0}^{II}$	102,72014	102,70901	-0,36	0,18	0,24
$h_{ex\ 105.2-106.1}$	1,2391	1,1584	-0,9	-1,6	1,4
$h_{ex\ 106.1-105.2}$	1,3339	1,4006	0,9	1,6	1,4
$h_{ex\ 104.1-106.1}$	1,4596	1,6548	-1,4	-0,2	1,4
$h_{ex\ 106.1-104.1}$	1,4934	1,3332	1,4	0,2	1,4
$h_{ex\ 104.1-105.2}$	1,4707	1,4912	-0,3	0,2	1,4
$h_{ex\ 105.2-104.1}$	1,5863	1,7138	0,3	-0,2	1,4
$h_{ex\ 102.0-105.2}$	1,3434	1,3192	-0,6	-1,8	1,4
$h_{ex\ 105.2-102.0}$	1,3646	1,4278	0,6	1,8	1,4
$h_{ex\ 102.0-104.1}$	1,3803	1,3710	-1,7	0,0	1,4
$h_{ex\ 104.1-102.0}$	2,1687	2,1320	1,7	0,0	1,4
$h_{ex\ 102.0-106.1}$	1,9463	2,1258	2,3	1,8	1,4
$h_{ex\ 106.1-102.0}$	1,1547	1,2042	-2,3	-1,8	1,4
Interval spolehlivosti	<0,76;1,07>				
$\sigma'_0$	0,99	0,87			

**Tab. 19** Vyrovnaná převýšení a sm. odch. vyr. převýšení

Měřená veličina	Vyrovnání převýšení [m]		$\sigma_{\hat{h}}$ [mm]
	1. skupina	2. skupina	
$h_{105.2-106.1}^I$	-32.5018	-32.5053	1,8
$h_{104.1-106.1}^I$	-23.6414	-23.6524	1,8
$h_{104.1-105.2}^I$	8.8604	8.8528	1,9
$h_{102.0-105.2}^I$	78.6311	78.6167	1,9
$h_{102.0-104.1}^I$	69.7708	69.7639	2,0
$h_{102.0-106.1}^I$	46.1294	46.1114	2,0
$h_{105.2-106.1}^{II}$	-32.5018	-32.5053	2,2
$h_{104.1-106.1}^{II}$	-23.6414	-23.6524	2,2
$h_{104.1-105.2}^{II}$	8.8604	8.8528	2,1
$h_{102.0-105.2}^{II}$	78.6311	78.6167	2,1
$h_{102.0-104.1}^{II}$	69.7708	69.7639	2,0
$h_{102.0-106.1}^{II}$	46.1294	46.1114	2,0

## 8.4 4. model

**Tab. 20** Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek

Bod	H [m]		$H_1 - H_2$ [m]	$\sigma_H$ [mm]
	1. skupina	2. skupina		
105.2	905,9855	905,9889	-0,0058	1,4
104.1	897,1251	897,1370	-0,0134	2,1
102.0	827,3514	827,3727	-0,0204	2,6

**Tab. 21** Vyrovnaná převýšení, opravy a sm. odch. vyr. převýšení

Měřená veličina	Vyrovnaná převýšení a opravy [m/mm]				$\sigma_{\hat{h}}$ [mm]
	1. skupina	2. skupina	1. skupina	2. skupina	
$h_{105.2-106.1}$	-32,4996	-32,5030	-0,4	-1,0	1,4
$h_{104.1-106.1}$	-23,6392	-23,6511	-2,2	0,8	2,1
$h_{104.1-105.2}$	8,8604	8,8519	-1,6	0,0	2,0
$h_{102.0-105.2}$	78,6341	78,6162	-2,5	-1,1	2,6
$h_{102.0-104.1}$	69,7737	69,7643	-3,6	0,6	2,4
$h_{102.0-106.1}$	46,1345	46,1132	9,2	8,4	2,6
Interval spolehlivosti	<0.27;1,8>				
$\sigma'_{0km}$	6,4	7,6			

## 8.5 Porovnání výsledků

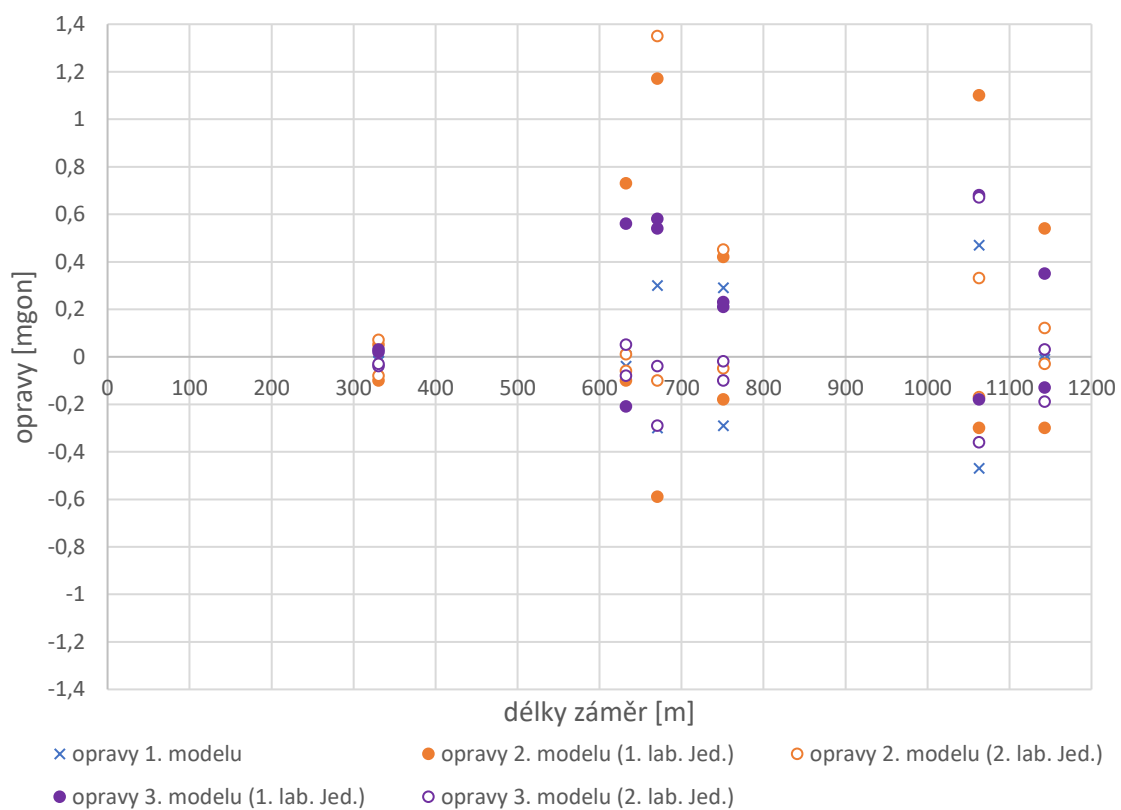
V tab.22 a tab.23 jsou uvedeny výsledky jednotlivých modelů porovnaných vůči nadmořským výškám zaměřených GNSS (přibližné výšky do vyrovnání). V obr. 11 a obr. 12 jsou graficky znázorněny velikosti oprav zenitových úhlů.

**Tab. 22** Vyrovnané výšky porovnané s GNSS (1. skupina)

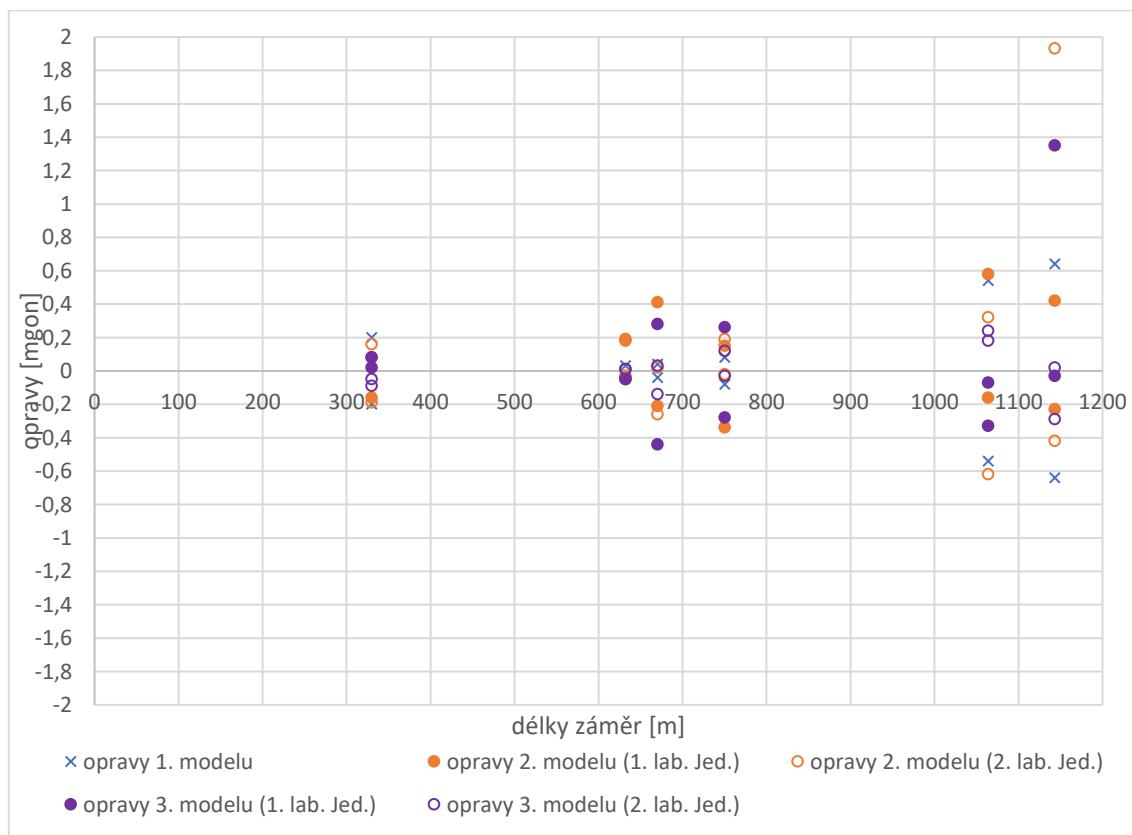
Bod	GNSS	1. model	2. model	3. model	4. model	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)	(5) - (1)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(m)	(m)	(m)	(m)
<i>105.2</i>	905,944	905,986	905,986	905,988	905,986	+0,042	+0,042	+0,044	+0,042
<i>104.1</i>	897,105	897,127	897,126	897,127	897,125	+0,022	+0,021	+0,022	+0,020
<i>102.0</i>	827,314	827,352	827,357	827,357	827,351	+0,038	+0,043	+0,043	+0,037

**Tab. 23** Vyrovnané výšky porovnané s GNSS (2. skupina)

Bod	GNSS	1. model	2. model	3. model	4. model	(2) - (1)	(3) - (1)	(4) - (1)	(5) - (1)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(m)	(m)	(m)	(m)
<i>105.2</i>	905,944	905,989	905,989	905,991	905,989	+0,045	+0,045	+0,047	+0,045
<i>104.1</i>	897,105	897,137	897,137	897,138	897,137	+0,032	+0,032	+0,033	+0,032
<i>102.0</i>	827,314	827,373	827,375	827,375	827,373	+0,059	+0,061	+0,061	+0,059



**Obr. 11** Opravy zenitových úhlů 1. skupiny



**Obr. 12** Opravy zenitových úhlů 2. skupina



## 9 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo pomocí různých modelů MNČ vypočítat vyrovnané výšky určených bodů ze dvou nezávislých měření. Vyrovnaní předcházelo zpracování a úprava měřených hodnot v softwaru MS Excel a stanovení přesností potřebné pro vyrovnaní. V rámci úpravy měřených hodnot byly vypočteny rozdíly prvních a druhých laboratorních jednotek pro jednotlivé měřiče (0,7 mgon, -1,2 mgon, -1,2 mgon a 17 mgon), ze kterých lze říct, že chyby měřených zenitových úhlů mají charakter náhodných chyb. Výpočty všech modelů podle kapitoly 6 a 7 byly provedeny v softwaru pro vědeckotechnické výpočty MATLAB, podle vlastně sestavených skriptů, kde pracovní jednotky při výpočtu jsou metry a radiány.

Vyrovnaním byly vypočteny nadmořské výšky bodů výškové sítě, opravy měření a vyrovnaná měření a převýšení, empirické hodnoty jednotkové směrodatné odchylky, směrodatné odchylky vyrovnaných výšek a vyrovnaných měření a převýšení. Vyrovnané výšky obou skupin se liší systematicky přibližně o 4 cm oproti měření GNSS. Z obr.11 a obr.12 se dá usoudit, že přesnost měření 2. skupiny bylo lepší než měření 1. skupiny.

Z tab.22 pro 1. skupinu je patrné, že k sobě nejvíce sedí 1. a 3. model, kde je maximální rozdíl mezi výškami 2 mm. Zároveň k sobě sedí 1. a 4. model, kde je maximální rozdíl mezi výškami také 2 mm. Při porovnání všech modelů mezi sebou byly zjištěny maximální rozdíly výšek 6 mm mezi 3. a 4. modelem.

Z tab. 23 pro 2. skupinu vidíme, že mezi modely jsou malé rozdíly (max. 2 mm mezi různými modely). Nejvíc zajímavé je, že vyrovnané výšky z 1. modelu a 4. modelu jsou stejné.

V 2. modelu byl překročen interval spolehlivosti pro empirickou hodnotu  $\sigma_0'$ . Může to být způsobeno tím, že není uváženo vliv měření excentrického postavení přístroje. Ve 3. a 4. modelu nebyl interval spolehlivosti pro empirickou hodnotu  $\sigma_0'$  překročen.

## Seznam zdrojů

- [1] Mariánská [online]. Wikipedie, poslední aktualizace 13. 4. 2021 v 11:25 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mari%C3%A1nsk%C3%A1>
- [2] Mapy.cz [online]. Seznam.cz [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=12.8809554&y=50.3348678&z=13&source=ward&id=3850>
- [3] Leica FlexLine plus [online]. GEFOS [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: [https://www.gefos-leica.cz/data/original/totalni-stanice/leica\\_flexlineplus\\_2013.pdf](https://www.gefos-leica.cz/data/original/totalni-stanice/leica_flexlineplus_2013.pdf)
- [4] HRADÍLEK, Ludvík. Vysokohorská GEODÉZIE. Praha: nakladatelství Československé akademie věd, 1984.
- [5] BLAŽEK, Radim a Zdeněk SKOŘEPA. Geodézie 3: výškopis. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04358-5.
- [6] Profesionální kompaktní hranol s držákem a cílovou deskou [online]. GEFOS [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/data/original/prislusenstvi/e-shop/hranoly/gpr121.jpg>
- [7] Analýza Výškopisu: Prohlížeč služba WMS - DMR 5G [online]. Český úřad zeměměřický a katastrální [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/>
- [8] SKOŘEPA, Zdeněk. Geodézie 4. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05481-9.

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b> Lokalita výšková síť [2] .....	9
<b>Obr. 2</b> Totální stanice Leica TS06 .....	10
<b>Obr. 3</b> Schéma nivelace .....	13
<b>Obr. 4</b> Trigonometrický výškový rozdíl .....	14
<b>Obr. 5</b> Odrazný hranol Leica [6].....	16
<b>Obr. 6</b> Chyba v délce vlivem výškových rozdílů.....	20
<b>Obr. 7</b> Refrakce .....	21
<b>Obr. 8</b> Výškové profily záměr [7].....	23
<b>Obr. 9</b> Indexová chyba .....	24
<b>Obr. 10</b> Schéma výškové sítě.....	26
<b>Obr. 11</b> Opravy zenitových úhlů 1. skupiny .....	40
<b>Obr. 12</b> Opravy zenitových úhlů 2. skupina .....	40

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b> Přibližné výšky GNSS .....	11
<b>Tab. 2</b> Výsledky přesné nivelace .....	12
<b>Tab. 3</b> Přehled výšek přesné nivelace .....	12
<b>Tab. 4</b> Zpracování měření laboratorní jednotky .....	18
<b>Tab. 5</b> Měření šikmé délky .....	19
<b>Tab. 6</b> Velikost $\varepsilon_d$ v milimetrech .....	20
<b>Tab. 7</b> Refrakční úhly a koeficienty .....	22
<b>Tab. 8</b> Prvky určující velikosti matic .....	25
<b>Tab. 9</b> Prvky matice <b>A</b> ve výškové síti .....	27
<b>Tab. 10</b> Prvky matice <b>D</b> .....	28
<b>Tab. 11</b> Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek .....	34
<b>Tab. 12</b> Vyrovnaná měření, opravy, sm. odch. jednotková a sm. odch. vyr. měření.....	34
<b>Tab. 13</b> Vyrovnaná převýšení a sm. odch. vyr. převýšení .....	34
<b>Tab. 14</b> Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek .....	35
<b>Tab. 15</b> Vyrovnaná převýšení a sm. odch. vyr. převýšení .....	35
<b>Tab. 16</b> Vyrovnaná měření, opravy, sm. odch. jednotková a sm. odch. vyr. měření.....	36
<b>Tab. 17</b> Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek .....	36
<b>Tab. 18</b> Vyrovnaná měření, opravy, sm. odch. jednotková a sm. odch. vyr. měření.....	37
<b>Tab. 19</b> Vyrovnaná převýšení a sm. odch. vyr. převýšení .....	38
<b>Tab. 20</b> Vyrovnané výšky a sm. odch. vyr. výšek .....	38
<b>Tab. 21</b> Vyrovnaná převýšení, opravy a sm. odch. vyr. převýšení .....	38
<b>Tab. 22</b> Vyrovnané výšky porovnané s GNSS (1. skupina) .....	39
<b>Tab. 23</b> Vyrovnané výšky porvané s GNSS (2. skupina) .....	39

# Seznam tištěných příloh

Příloha 1: Protokol o měření GNSS

Příloha 2: Nivelační údaje

Příloha 3: ukázka měřených nezpracovaných dat z TS

Příloha 4: Zpracované měření zenitových úhlů

Příloha 5: Výpočetní skript vyrovnání výškové sítě v programu MATLAB

# Seznam elektronických příloh

## 1) složka měření TS

- Sk1\_m1\_0902.GSI
- Sk1\_m2\_0902.GSI
- Sk2\_m1\_0902.GSI
- Sk2\_m2\_0902.GSI

## 2) složka měření nivelace

- data.gsi
- nivelacni\_udaje\_KV\_037\_107.pdf
- nivelacni\_udaje\_KV\_037\_108.pdf
- zpracovani.mes
- zpracovani.lvl

## 3) složka měření GNSS

- protokol.txt

## 4) složka zpracované měření

- zpracovane\_mereni.xlsx

## 5) složka výpočetní skripty

- der\_h\_ij.m (funkce)
- der\_h\_ji.m (funkce)
- model1\_sk1.m
- model1\_sk2.m
- model2\_sk1.m
- model2\_sk2.m
- model3\_sk1.m
- model3\_sk2.m
- model4\_sk1.m
- model4\_sk2.m

## Příloha 1 – protokol o měření GNSS

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

Firma: CVUT v Praze  
Thakurova 7  
166 29 Praha 6

Zakazka: skup12

Meril:

Datum: 31.08.2020

Přístroj: Trimble GeoXR, fw: 4.55, vyr. c.: 5141409191

Trimble General Survey SW: 2.11

Verze protokolu: 4.95

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

Zona: Krovak\_2018

Soubor rovinne dotransformace: KG2018

Vertikalni transformace

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

-----  
POUZITE A MERENE BODY  
-----

Cislo bodu	Y	X	Z	Presnost		PDOP	Sit	Pocet Antena	Datum	Doba	
				XY	Z						sat. vyska
RTCM0072	852063.796	1010482.564	400.223			3	RTK CKVA		31.08	08:52	NaN
1061	845994.333	997338.202	873.423	0.029	0.049	1.98	3 RTK CKVA	11 2.00	31.08	09:03	64
1052	845701.525	997182.274	905.922	0.017	0.025	2.28	3 RTK CKVA	12 2.00	31.08	09:17	68
1041	845324.644	997688.911	897.070	0.012	0.020	1.45	3 RTK CKVA	15 2.00	31.08	09:44	65
1020	845562.341	998311.121	827.313	0.012	0.020	1.48	3 RTK CKVA	15 2.00	31.08	09:58	37
1061a	845994.302	997338.251	873.453	0.012	0.017	2.05	3 RTK CKVA	12 1.80	31.08	15:39	70
1052a	845701.528	997182.306	905.965	0.011	0.016	1.37	3 RTK CKVA	15 1.80	31.08	15:50	64
1041a	845324.648	997688.963	897.140	0.011	0.016	1.46	3 RTK CKVA	14 1.80	31.08	16:03	78
1020a	845562.347	998311.106	827.314	0.009	0.017	1.67	3 RTK CKVA	14 1.80	31.08	16:21	64

-----  
\* Bod meren na: 1 VRS = Trimble VRS NOW CZ

2 = TOPNET

3 RTK = CZEPOS RTK a RTK3;

3 RTK3-MSM = CZEPOS RTK3-MSM;

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\_CMV;

3 CMR+ = CZEPOS VRS3-iMAX-GG\_CMV+;

4 = GEOORBIT

5 = ostatni

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

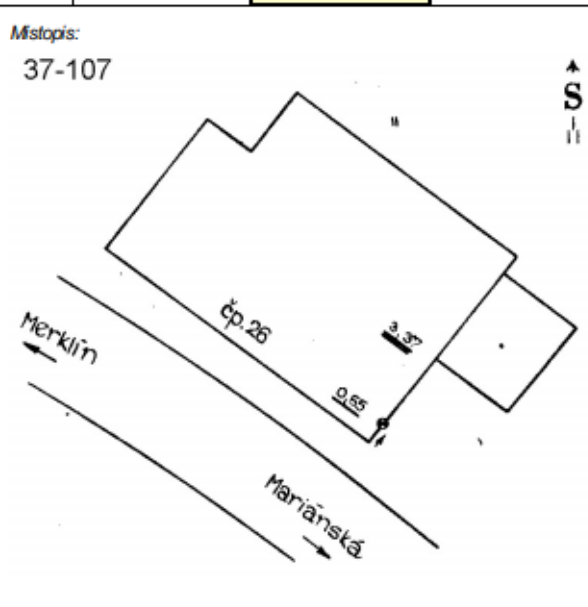
Hodnoty PDOP oznacene \* jsou mimo nastavenou toleranci: 7.00

Hodnoty s RMS oznacene # jsou mimo nastavenou toleranci: 40.00

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

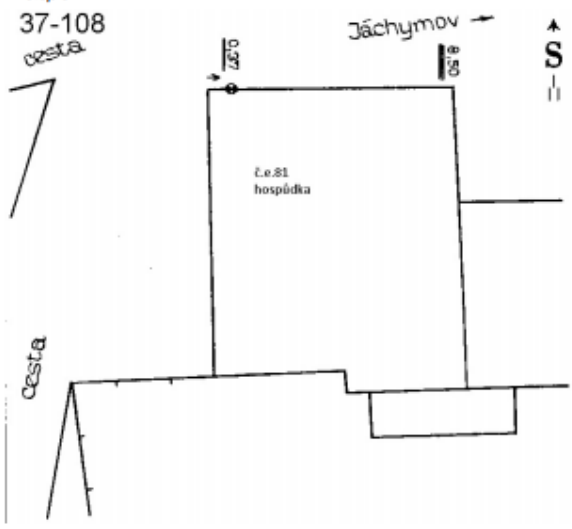
Příloha 2 - Nivelační údaje

## NIVELAČNÍ ÚDAJE

Nivelační pořad: PNS-KV 037 Jáchymov						
Předchozí bod	Nivelační bod	Délka v km		Nadmořská výška Bpv	Výška z roku	
		odřezu	od počátku			
	<b>KV-037-107</b>	0.000	0.000	<b>834.840 m</b>	1949	
<p>Místopisný popis: dům čp. 26</p>		<p>Místopis: 37-107</p> 				
<p>Stav a stáří objektu: značka 0.5 m nad zemí, stavba z žulových kvádrů, podsklepená z r. 1933</p> <p>Poznámky:</p>		<p>Úz. jednotka: 340302501 Okres: Karlovy Vary Obec: JÁCHYMOV Kat. území: JÁCHYMOV Mastrník/parc. č.: /</p>				
ZM-50	11-21		SMO-5	Jáchymov 8-8		
Druh zn.	Stupeň stab.	Stabilizoval	Druh bodu	Souřadnice v S-JTSK		
Č	2	KNV, ing. Halásek		Y	846408 m	dig.
	Druh stab.			X	997482 m	
	N			1949		
Zeměpisná délka		Zeměpisná šířka	Gs	Gn	Ba	
0° 0' 0,0"		0° 0' 0,0"	0 mgal	0 mgal	0 mgal	
Datum: 12.5.2021						



# NIVELAČNÍ ÚDAJE

<b>Nivelační pořad: PNS-KV 037 Jáchymov</b>															
Předchozí bod	Nivelační bod	Délka v km		Nadmořská výška Bpv	Výška z roku										
		oddílu	od počátku												
	<b>KV-037-108</b>	0.000	0.000	<b>840.547 m</b>	1949										
<p>Místopisný popis: dům č.e.81, hospůdka</p>		<p>Místopis: 37-108 cesta</p> 													
<p>Stav a stáří objektu: značka 0.5 m nad zemí, omítnutá, kamenná stavba z r. 1913</p> <p>Poznámky:</p>		<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none; width: 30%;">Úz. jednotka:</td> <td style="border: none;">340302501</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Okres:</td> <td style="border: none;">Karlovy Vary</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Obec:</td> <td style="border: none;">JÁCHYMOV</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Kat. území:</td> <td style="border: none;">JÁCHYMOV</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Vlastník/parc. č.:</td> <td style="border: none;">/</td> </tr> </table>				Úz. jednotka:	340302501	Okres:	Karlovy Vary	Obec:	JÁCHYMOV	Kat. území:	JÁCHYMOV	Vlastník/parc. č.:	/
Úz. jednotka:	340302501														
Okres:	Karlovy Vary														
Obec:	JÁCHYMOV														
Kat. území:	JÁCHYMOV														
Vlastník/parc. č.:	/														
ZM-50	11-21		SMD-5	Jáchymov 8-8											
Druh zn.	Stupeň stab.	Stabilizoval	Druh bodu	Souřadnice v S-JTSK											
Č	3	KNV, ing. Halásek		Y	846265 m	dig.									
	Druh stab.			X	997550 m										
	N			1949											
Zeměpisná délka		Zeměpisná šířka		Gs	Gn	Ba									
0° 0' 0,0"		0° 0' 0,0"		0 mgal	0 mgal	0 mgal									
Datum: 12.5.2021															

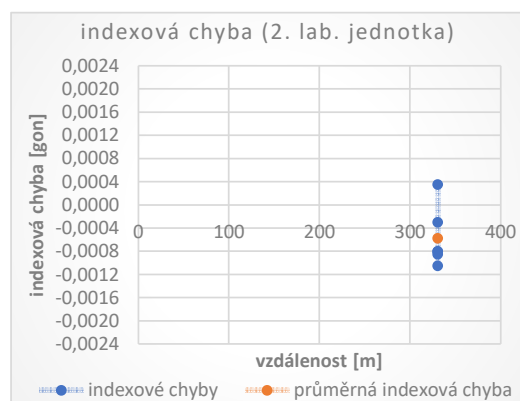
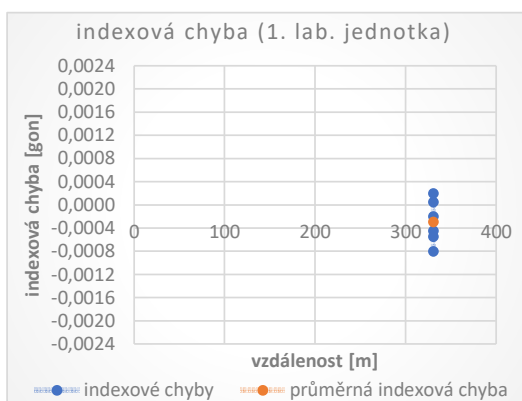
### Příloha 3 - ukázka měřených nezpracovaných dat z TS

Ostatní měřená data jsou přehledně zpracována v elektronické příloze zpracované měření.

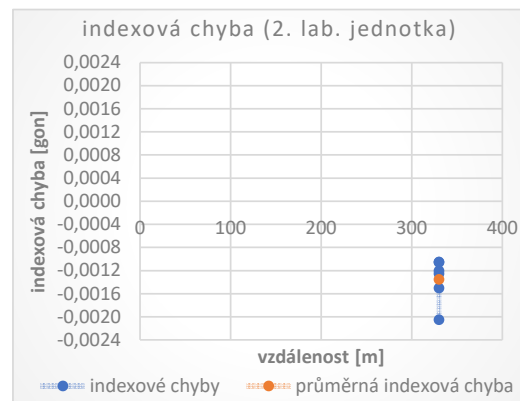
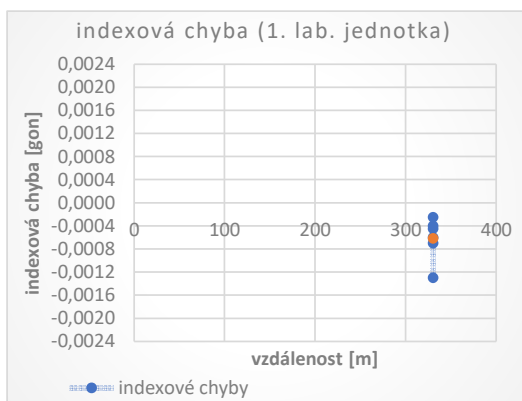
105ex				104ex			
106.1	240,2930	106,2328	330,1390	106.1	12,0573	102,0389	750,1600
106.2	240,2925	106,2335	330,1380	106.2	12,0589	102,0388	750,1600
106.3	40,2930	293,7677	330,1380	106.3	212,0577	297,9618	750,1600
106.4	40,2923	293,7677	330,1380	106.4	212,0581	297,9619	750,1600
106.5	40,2914	293,7684	330,1380	106.5	212,0581	297,9613	750,1600
106.6	40,2922	293,7674	330,1380	106.6	212,0579	297,9617	750,1600
106.7	240,2916	106,2342	330,1380	106.7	12,0578	102,0385	750,1610
106.8	240,2914	106,2334	330,1380	106.8	12,0585	102,0394	750,1610
106.9	240,2916	106,2337	330,1380	106.9	12,0576	102,0384	750,1600
106.10	240,2915	106,2337	330,1380	106.10	12,0576	102,0381	750,1610
106.11	40,2917	293,7672	330,1380	106.11	212,0576	297,9620	750,1600
106.12	40,2929	293,7677	330,1380	106.12	212,0571	297,9614	750,1600
106.1	240,2915	106,2347	330,1380	106.1	12,0571	102,0389	750,1600
106.2	240,2941	106,2345	330,1380	106.2	12,0582	102,0397	750,1600
106.3	40,2924	293,7674	330,1380	106.3	212,0572	297,9624	750,1610
106.4	40,2937	293,7679	330,1370	106.4	212,0576	297,9609	750,1610
106.5	40,2936	293,7675	330,1370	106.5	212,0578	297,9615	750,1600
106.6	40,2911	293,7687	330,1380	106.6	212,0564	297,9626	750,1600
106.7	240,2930	106,2346	330,1380	106.7	12,0552	102,0389	750,1610
106.8	240,2939	106,2343	330,1380	106.8	12,0566	102,0382	750,1610
106.9	240,2951	106,2337	330,1380	106.9	12,0545	102,0388	750,1600
106.10	240,2940	106,2354	330,1380	106.10	12,0556	102,0391	750,1610
106.11	40,2943	293,7688	330,1370	106.11	212,0563	297,9618	750,1600
106.12	40,2927	293,7687	330,1380	106.12	212,0557	297,9617	750,1600
105	2,0360	131,9725	2,4100	104	215,5733	128,2248	3,8580
105	202,0371	268,0276	2,4100	104	15,5635	271,7770	3,8580

**Příloha 4 - Zpracované měření zenitových úhlů (všechny hodnoty jsou v gonech)**

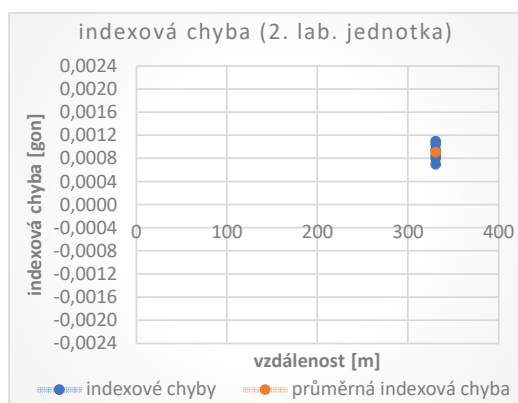
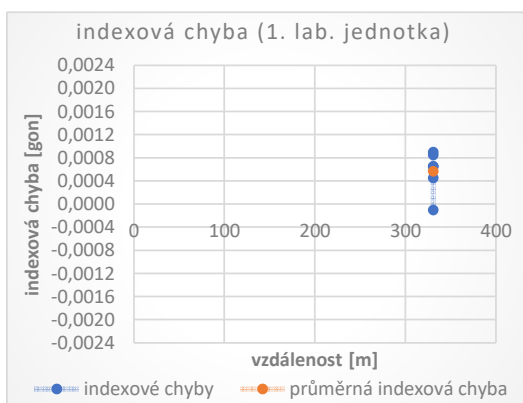
1. skupina (1. měřič) spojnice 105.2-106.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400 - o2	i	o1	o2	400 - o2	i
106,2502	293,7494	106,2506	0,0002	106,2513	293,7508	106,2492	-0,0011
106,2512	293,7487	106,2513	0,0001	106,2500	293,7493	106,2507	0,0003
106,2516	293,7488	106,2512	-0,0002	106,2523	293,7494	106,2506	-0,0008
106,2522	293,7489	106,2511	-0,0005	106,2519	293,7497	106,2503	-0,0008
106,2521	293,7495	106,2505	-0,0008	106,2523	293,7493	106,2507	-0,0008
106,2519	293,7490	106,2510	-0,0005	106,2516	293,749	106,2510	-0,0003
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			106,2512	průměr			106,2510
median			106,2512	median			106,2509
směrodatná odch. měření			0,00063	směrodatná odch. měření			0,00094
směrodatná odch. průměru			0,00018	směrodatná odch. průměru			0,00027
výsledný zenitový úhel (průměr)							106,2511



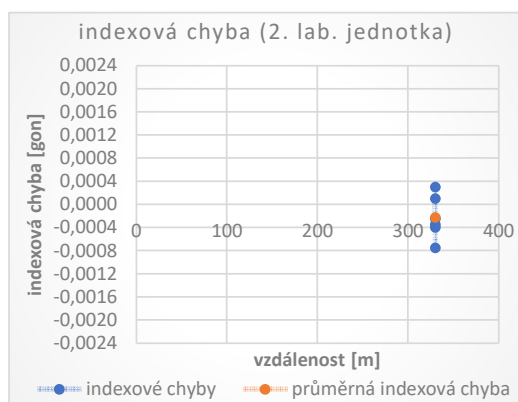
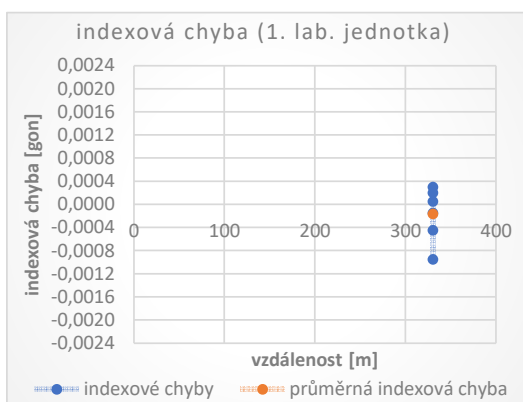
2. skupina (1. měřič) spojnice 105.2-106.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400 - o2	i	o1	o2	400 - o2	i
106,2328	293,7677	106,2323	-0,0002	106,2347	293,7674	106,2326	-0,0011
106,2335	293,7677	106,2323	-0,0006	106,2345	293,7679	106,2321	-0,0012
106,2342	293,7684	106,2316	-0,0013	106,2346	293,7675	106,2325	-0,0010
106,2334	293,7674	106,2326	-0,0004	106,2343	293,7687	106,2313	-0,0015
106,2337	293,7672	106,2328	-0,0005	106,2337	293,7688	106,2312	-0,0012
106,2337	293,7677	106,2323	-0,0007	106,2354	293,7687	106,2313	-0,0021
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			106,2329	průměr			106,2332
median			106,2328	median			106,2332
směrodatná odch. měření			0,00077	směrodatná odch. měření			0,0015
směrodatná odch. průměru			0,00022	směrodatná odch. průměru			0,00044
výsledný zenitový úhel (průměr)							106,2331



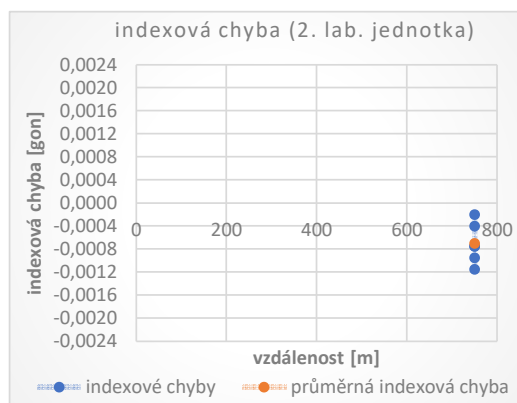
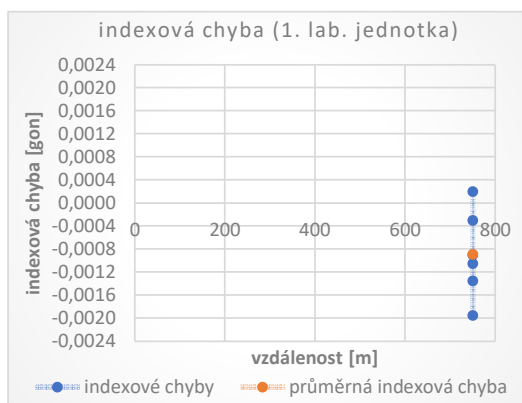
1. skupina (2.měřič) spojnice 106.1-105.2							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
93,7510	306,2481	93,7519	0,0004	93,7515	306,2468	93,7532	0,0008
93,7522	306,2480	93,7520	-0,0001	93,7516	306,2468	93,7532	0,0008
93,7518	306,2469	93,7531	0,0007	93,7509	306,2472	93,7528	0,0009
93,7519	306,2468	93,7532	0,0006	93,7510	306,2468	93,7532	0,0011
93,7522	306,2461	93,7539	0,0008	93,7515	306,2464	93,7536	0,0011
93,7517	306,2465	93,7535	0,0009	93,7514	306,2472	93,7528	0,0007
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			93,7524	průměr			93,7522
median			93,7521	median			93,7522
směrodatná odch. měření			0,00086	směrodatná odch. měření			0,00099
směrodatná odch. průměru			0,00025	směrodatná odch. průměru			0,00029
výsledný zanitový úhel (průměr)						93,7523	



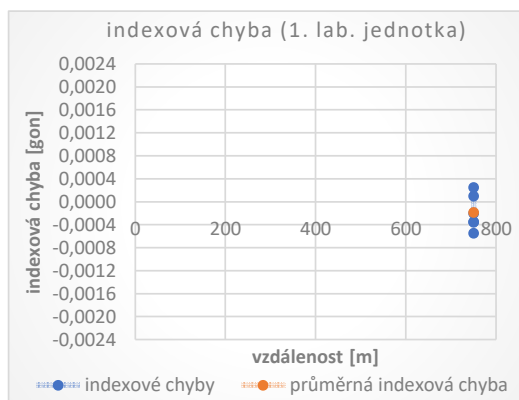
2. skupina (2.měřič) spojnice 106.1-105.2							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
93,7700	306,2296	93,7704	0,0002	93,7713	306,2295	93,7705	-0,0004
93,7711	306,2298	93,7702	-0,0005	93,7708	306,2297	93,7703	-0,0002
93,7711	306,2308	93,7692	-0,0009	93,7706	306,2288	93,7712	0,0003
93,7698	306,2305	93,7695	-0,0002	93,7712	306,2295	93,7705	-0,0003
93,7698	306,2296	93,7704	0,0003	93,7695	306,2303	93,7697	0,0001
93,7706	306,2293	93,7707	0,0000	93,7714	306,2301	93,7699	-0,0007
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			93,7702	průměr			93,7706
median			93,7703	median			93,7706
směrodatná odch. měření			0,00060	směrodatná odch. měření			0,00064
směrodatná odch. průměru			0,00017	směrodatná odch. průměru			0,00018
výsledný zanitový úhel (průměr)						93,7704	



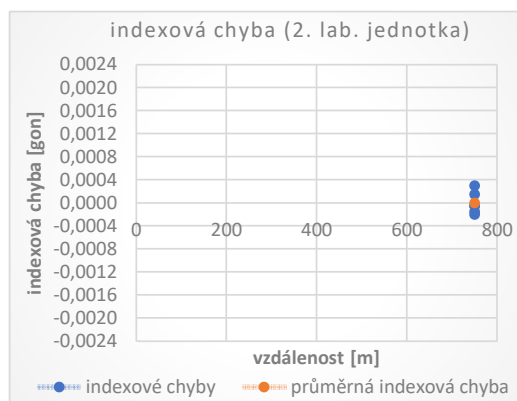
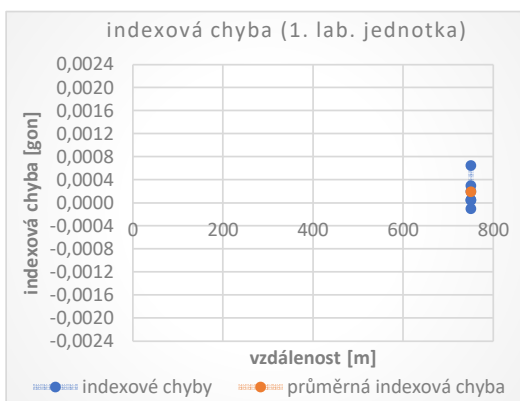
1. skupina (1. měřič) spojnice 104.1-106.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
102,0044	297,9952	102,0048	0,0002	102,005	297,9965	102,0035	-0,0008
102,0042	297,9964	102,0036	-0,0003	102,0037	297,9967	102,0033	-0,0002
102,0065	297,9974	102,0026	-0,0020	102,0065	297,9958	102,0042	-0,0011
102,0053	297,9968	102,0032	-0,0011	102,0052	297,9967	102,0033	-0,0009
102,0066	297,9952	102,0048	-0,0009	102,0063	297,9952	102,0048	-0,0008
102,0065	297,9962	102,0038	-0,0013	102,0053	297,9955	102,0045	-0,0004
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			102,0047	průměr			102,0046
median			102,0046	median			102,0047
směrodatná odch. měření			0,0013	směrodatná odch. měření			0,0011
směrodatná odch. průměru			0,00038	směrodatná odch. průměru			0,00032
výsledný zanitový úhel (průměr)						102,0047	



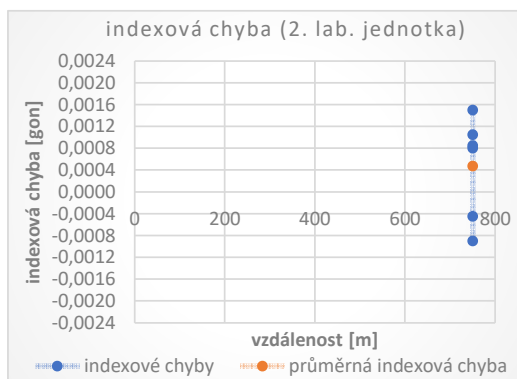
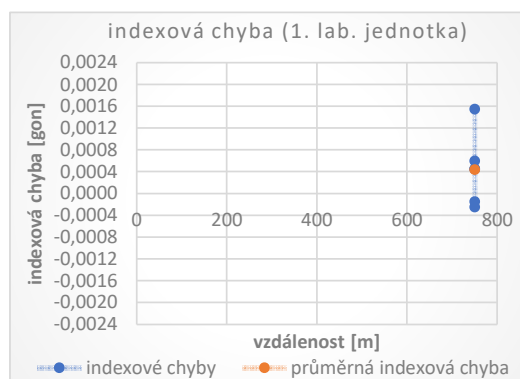
2. skupina (1. měřič) spojnice 104.1-106.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
102,0389	297,9618	102,0382	-0,0003	102,0389	297,9624	102,0376	-0,0007
102,0388	297,9619	102,0381	-0,0004	102,0397	297,9609	102,0391	-0,0003
102,0385	297,9613	102,0387	0,0001	102,0389	297,9615	102,0385	-0,0002
102,0394	297,9617	102,0383	-0,0006	102,0382	297,9626	102,0374	-0,0004
102,0384	297,9620	102,0380	-0,0002	102,0388	297,9618	102,0382	-0,0003
102,0381	297,9614	102,0386	0,0002	102,0391	297,9617	102,0383	-0,0004
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			102,0385	průměr			102,0386
median			102,0385	median			102,0387
směrodatná odch. měření			0,00041	směrodatná odch. měření			0,00066
směrodatná odch. průměru			0,00012	směrodatná odch. průměru			0,00019
výsledný zanitový úhel (průměr)						102,0385	



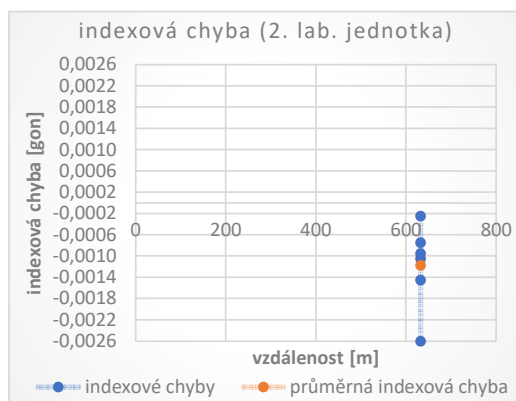
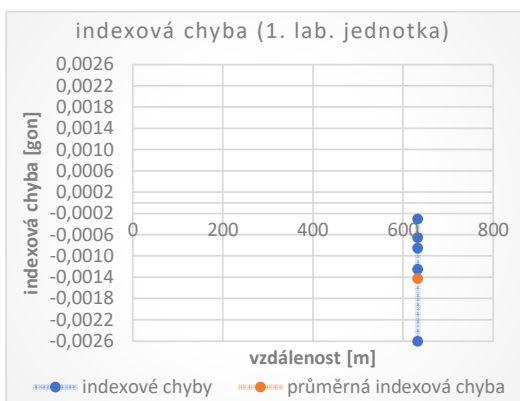
1. skupina (2. měřič) spojnice 106.1-104.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
98,0012	301,9982	98,0018	0,0003	98,0027	301,9967	98,0033	0,0003
98,0025	301,9962	98,0038	0,0007	98,0027	301,9976	98,0024	-0,0001
98,0034	301,9962	98,0038	0,0002	98,0022	301,9975	98,0025	0,0001
98,0031	301,9971	98,0029	-0,0001	98,0030	301,9971	98,0029	0,0000
98,0037	301,9962	98,0038	0,0001	98,0033	301,9968	98,0032	-0,0001
98,0036	301,9963	98,0037	0,0000	98,0034	301,9970	98,0030	-0,0002
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			98,0031	průměr			98,0029
median			98,0035	median			98,0030
směrodatná odch. měření			0,00086	směrodatná odch. měření			0,00039
směrodatná odch. průměru			0,00025	směrodatná odch. průměru			0,00011
výsledný zanitový úhel (průměr)						98,0030	



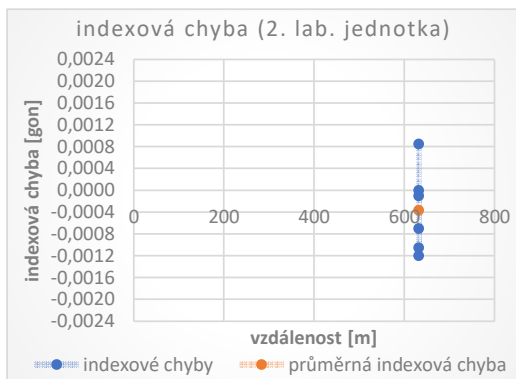
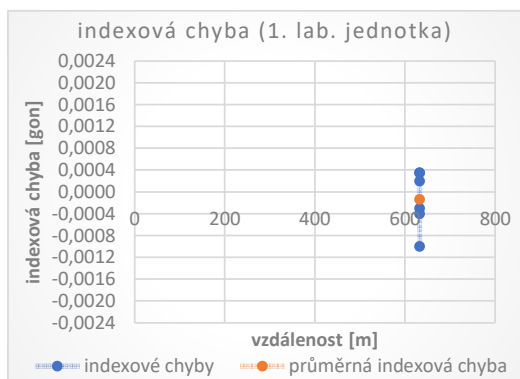
2. skupina (2. měřič) spojnice 106.1-104.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
97,9674	302,0295	97,9705	0,0016	97,9681	302,0289	97,9711	0,0015
97,9678	302,0325	97,9675	-0,0002	97,9677	302,0306	97,9694	0,0009
97,9681	302,0324	97,9676	-0,0003	97,9677	302,0307	97,9693	0,0008
97,9679	302,0312	97,9688	0,0004	97,9696	302,0322	97,9678	-0,0009
97,9682	302,0306	97,9694	0,0006	97,9695	302,0314	97,9686	-0,0005
97,9679	302,0312	97,9688	0,0004	97,9692	302,0287	97,9713	0,0010
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			97,9683	průměr			97,9691
median			97,9680	median			97,9693
směrodatná odch. měření			0,00091	směrodatná odch. měření			0,0012
směrodatná odch. průměru			0,00026	směrodatná odch. průměru			0,00035
výsledný zanitový úhel (průměr)						97,9687	



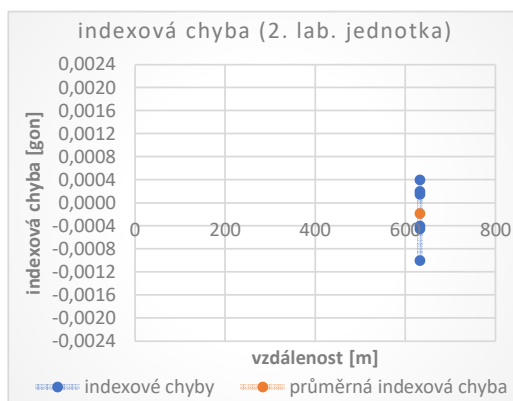
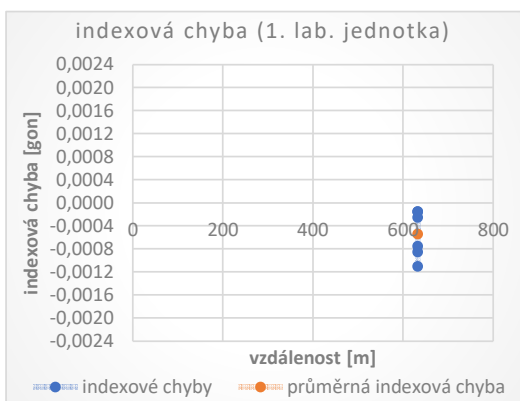
1. skupina (1. měřič) spojnice 104.1-105.2							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
99,1007	300,9006	99,0994	-0,0007	99,1015	300,9000	99,1000	-0,0007
99,1017	300,9000	99,1000	-0,0008	99,1032	300,9020	99,0980	-0,0026
99,1016	300,9009	99,0991	-0,0012	99,1005	300,9014	99,0986	-0,0010
99,1034	300,9018	99,0982	-0,0026	99,1010	300,8995	99,1005	-0,0002
99,0992	300,9014	99,0986	-0,0003	99,1024	300,8997	99,1003	-0,0010
99,1020	300,9038	99,0962	-0,0029	99,1026	300,9003	99,0997	-0,0015
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			99,1000	průměr			99,1007
median			99,0997	median			99,1005
směrodatná odch. měření			0,0020	směrodatná odch. měření			0,0016
směrodatná odch. průměru			0,00057	směrodatná odch. průměru			0,00045
výsledný zanitový úhel (průměr)						99,1004	



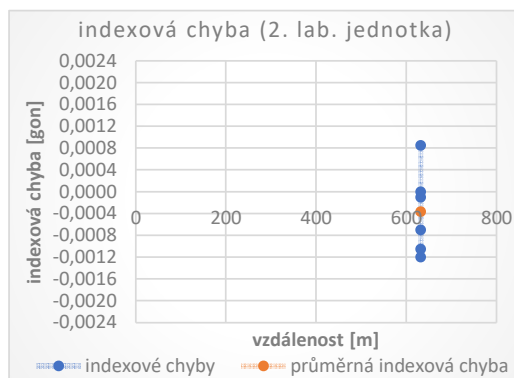
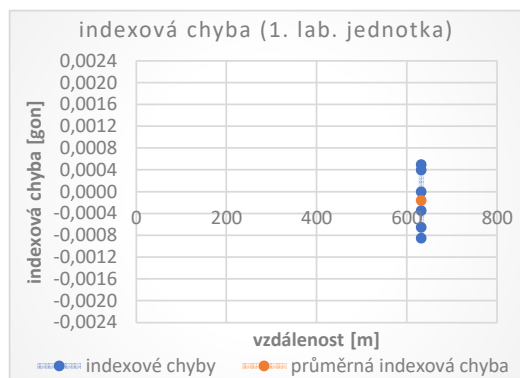
2. skupina (1. měřič) spojnice 104.1 - 105.2							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
99,0891	300,9102	99,0898	0,0004	99,0890	300,9093	99,0907	0,0009
99,0899	300,9094	99,0906	0,0003	99,0908	300,9094	99,0906	-0,0001
99,0920	300,9100	99,0900	-0,0010	99,0917	300,9107	99,0893	-0,0012
99,0908	300,9098	99,0902	-0,0003	99,0919	300,9102	99,0898	-0,0010
99,0900	300,9108	99,0892	-0,0004	99,0907	300,9093	99,0907	0,0000
99,0901	300,9095	99,0905	0,0002	99,0903	300,9111	99,0889	-0,0007
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			99,0902	průměr			99,0904
median			99,0901	median			99,0907
směrodatná odch. měření			0,00076	směrodatná odch. měření			0,00096
směrodatná odch. průměru			0,00022	směrodatná odch. průměru			0,00028
výsledný zanitový úhel (průměr)						99,0903	



1. skupina (2. měřič) spojnice 105.2-104.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
100,9091	299,0926	100,9074	-0,0008	100,9071	299,0921	100,9079	0,0004
100,9099	299,0923	100,9077	-0,0011	100,9073	299,0923	100,9077	0,0002
100,9083	299,0922	100,9078	-0,0002	100,9083	299,0926	100,9074	-0,0005
100,9083	299,092	100,908	-0,0001	100,9087	299,0921	100,9079	-0,0004
100,9092	299,0923	100,9077	-0,0008	100,9097	299,0923	100,9077	-0,0010
100,9083	299,0920	100,9080	-0,0001	100,9084	299,0913	100,9087	0,0002
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			100,9083	průměr			100,9081
median			100,9082	median			100,9079
směrodatná odch. měření			0,00074	směrodatná odch. měření			0,00073
směrodatná odch. průměru			0,00021	směrodatná odch. průměru			0,00021
výsledný zanitový úhel (průměr)						100,9082	

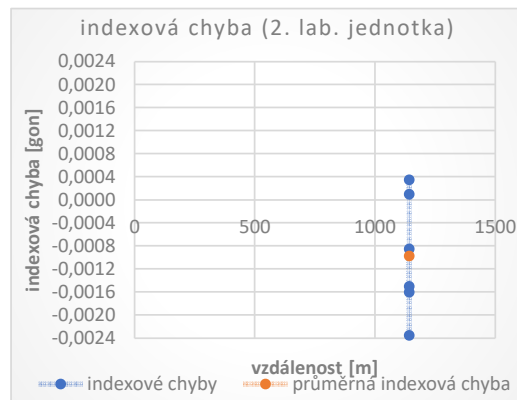
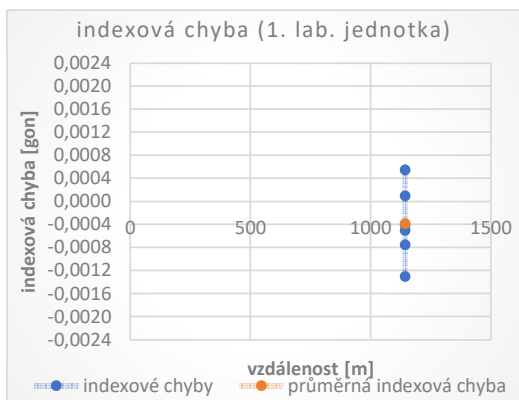


2. skupina (2. měřič) spojnice 105.2-104.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
100,9180	299,0837	100,9163	-0,0009	100,9185	299,0813	100,9187	0,0001
100,9180	299,0833	100,9167	-0,0007	100,9186	299,0812	100,9188	0,0001
100,9176	299,0814	100,9186	0,0005	100,9180	299,0812	100,9188	0,0004
100,9174	299,0818	100,9182	0,0004	100,9181	299,0848	100,9152	-0,0014
100,9180	299,0820	100,9180	0,0000	100,9181	299,0818	100,9182	0,0001
100,9193	299,0814	100,9186	-0,0003	100,9181	299,0817	100,9183	0,0001
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			100,9179	průměr			100,9181
median			100,9180	median			100,9183
směrodatná odch. měření			0,00082	směrodatná odch. měření			0,00096
směrodatná odch. průměru			0,00024	směrodatná odch. průměru			0,00028
výsledný zanitový úhel (průměr)						100,9180	

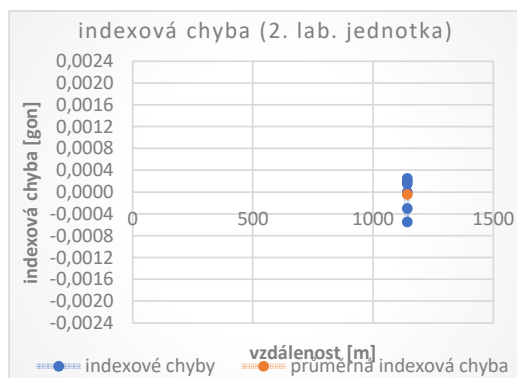
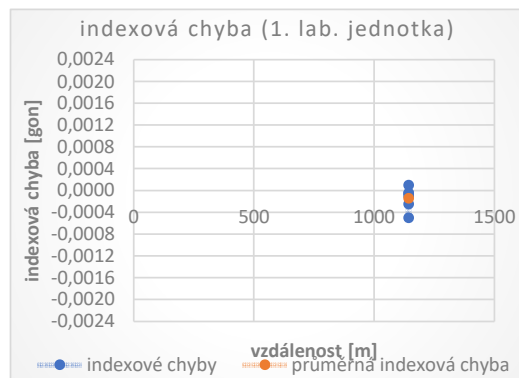




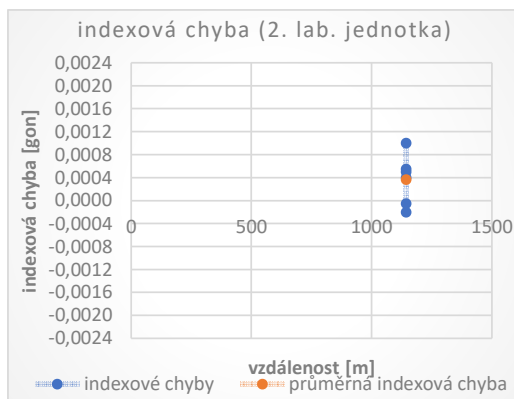
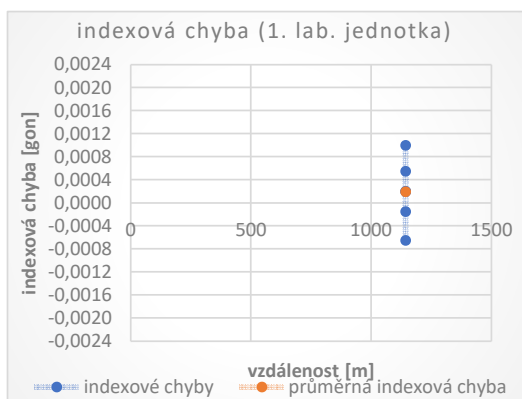
1. skupina (1. měřič) spojnice 102.0-105.2							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
95,6217	304,3793	95,6207	-0,0005	95,6232	304,3798	95,6202	-0,0015
95,6205	304,3793	95,6207	0,0001	95,6224	304,3793	95,6207	-0,0008
95,6219	304,3770	95,6230	0,0005	95,6239	304,3793	95,6207	-0,0016
95,6218	304,3808	95,6192	-0,0013	95,6241	304,3806	95,6194	-0,0024
95,6233	304,3782	95,6218	-0,0007	95,6208	304,3785	95,6215	0,0004
95,6208	304,3800	95,6200	-0,0004	95,6213	304,3785	95,6215	0,0001
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			95,6213	průměr			95,6216
median			95,6213	median			95,6214
směrodatná odch. měření			0,0012	směrodatná odch. měření			0,0015
směrodatná odch. průměru			0,00034	směrodatná odch. průměru			0,00043
výsledný zanitový úhel (průměr)						95,6215	



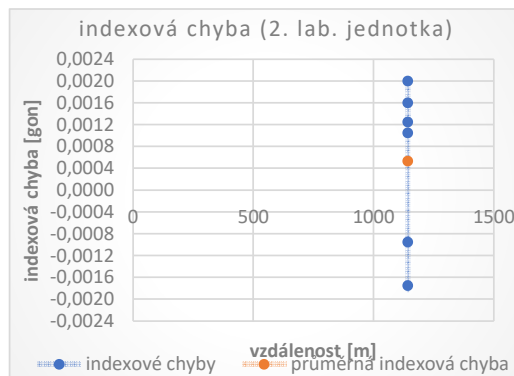
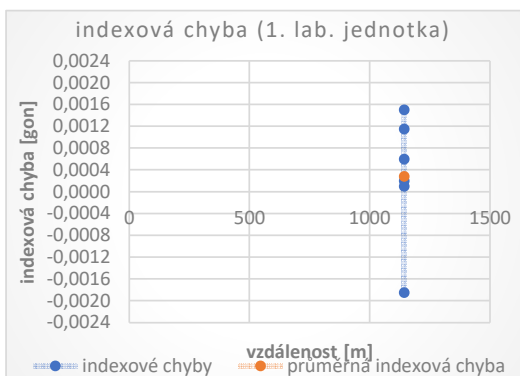
2. skupina (1. měřič) spojnice 102.0-105.2							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
95,6184	304,3821	95,6179	-0,0002	95,6180	304,3817	95,6183	0,0001
95,6189	304,3821	95,6179	-0,0005	95,6191	304,3820	95,6180	-0,0006
95,6182	304,3819	95,6181	0,0000	95,6182	304,3813	95,6187	0,0002
95,6186	304,3815	95,6185	-0,0001	95,6189	304,3817	95,6183	-0,0003
95,6186	304,3816	95,6184	-0,0001	95,6183	304,3813	95,6187	0,0002
95,6183	304,3815	95,6185	0,0001	95,6183	304,3817	95,6183	0,0000
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			95,6184	průměr			95,6184
median			95,6184	median			95,6183
směrodatná odch. měření			0,00030	směrodatná odch. měření			0,00035
směrodatná odch. průměru			0,00009	směrodatná odch. průměru			0,00010
výsledný zanitový úhel (průměr)						95,6184	



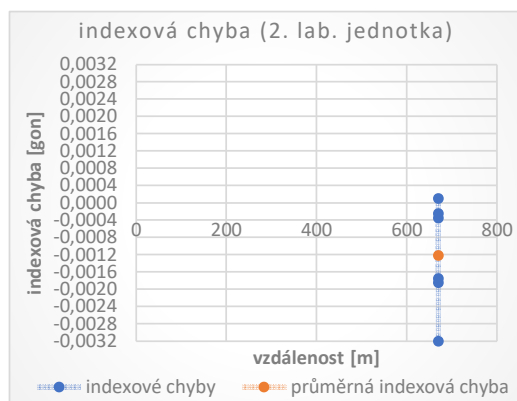
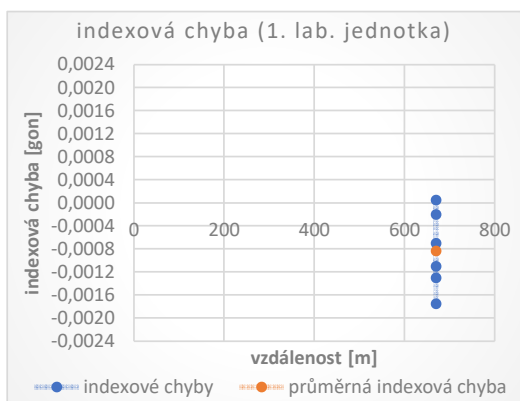
1. skupina (2. měřič) spojnice 105.2 - 102.0							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
104,3910	295,6093	104,3907	-0,0002	104,3894	295,6110	104,3890	-0,0002
104,3893	295,6103	104,3897	0,0002	104,3883	295,6097	104,3903	0,0010
104,3893	295,6103	104,3897	0,0002	104,3896	295,6105	104,3895	-0,0001
104,3896	295,6084	104,3916	0,0010	104,3885	295,6105	104,3895	0,0005
104,3897	295,6116	104,3884	-0,0007	104,3896	295,6093	104,3907	0,0005
104,3892	295,6097	104,3903	0,0006	104,3895	295,6097	104,3903	0,0004
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			104,3899	průměr			104,3895
median			104,3897	median			104,3895
směrodatná odch. měření			0,00088	směrodatná odch. měření			0,00070
směrodatná odch. průměru			0,00025	směrodatná odch. průměru			0,00020
výsledný zanitový úhel (průměr)							104,3897



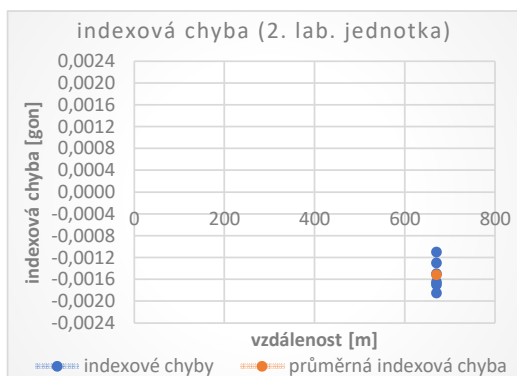
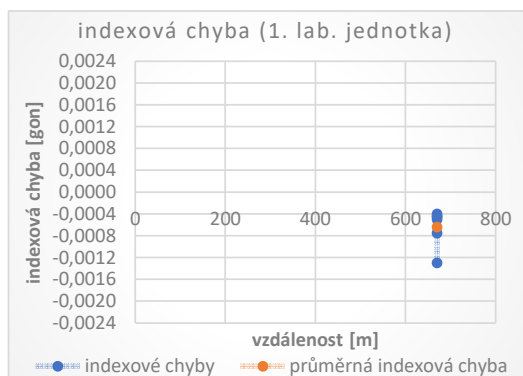
2. skupina (2. měřič) spojnice 105.2 - 102.0							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
104,3922	295,6074	104,3926	0,0002	104,3920	295,6048	104,3952	0,0016
104,3923	295,6075	104,3925	0,0001	104,3919	295,6056	104,3944	0,0013
104,3900	295,6077	104,3923	0,0011	104,3919	295,6041	104,3959	0,0020
104,3930	295,6058	104,3942	0,0006	104,3937	295,6042	104,3958	0,0011
104,3935	295,6102	104,3898	-0,0019	104,3957	295,6078	104,3922	-0,0018
104,3912	295,6058	104,3942	0,0015	104,3956	295,6063	104,3937	-0,0009
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			104,3923	průměr			104,3940
median			104,3924	median			104,3941
směrodatná odch. měření			0,0014	směrodatná odch. měření			0,0017
směrodatná odch. průměru			0,00041	směrodatná odch. průměru			0,00048
výsledný zanitový úhel (průměr)							104,3932



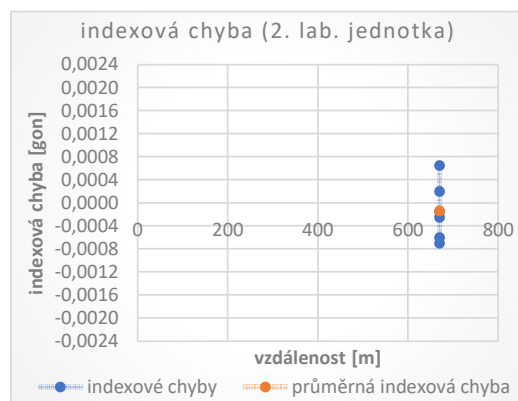
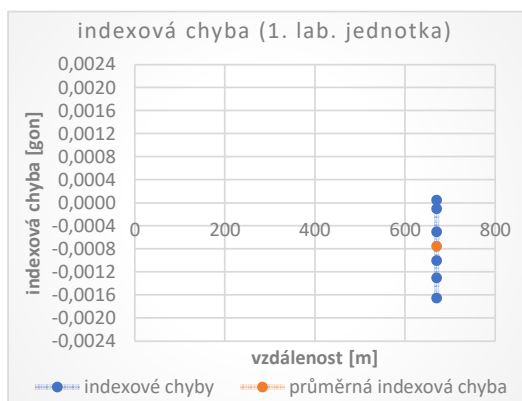
1. skupina (1. měřič) spojnice 102.0 - 104.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
93,2940	306,7086	93,2914	-0,0013	93,2937	306,7127	93,2873	-0,0032
93,2932	306,7082	93,2918	-0,0007	93,2938	306,7060	93,2940	0,0001
93,2922	306,7077	93,2923	0,0001	93,2910	306,7095	93,2905	-0,0002
93,2939	306,7065	93,2935	-0,0002	93,2928	306,7107	93,2893	-0,0017
93,2926	306,7096	93,2904	-0,0011	93,2918	306,7089	93,2911	-0,0004
93,2916	306,7119	93,2881	-0,0018	93,2943	306,7094	93,2906	-0,0019
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			93,2921	průměr			93,2917
median			93,2923	median			93,2915
směrodatná odch. měření			0,0017	směrodatná odch. měření			0,0021
směrodatná odch. průměru			0,00048	směrodatná odch. průměru			0,00062
výsledný zanitový úhel (průměr)						93,2919	



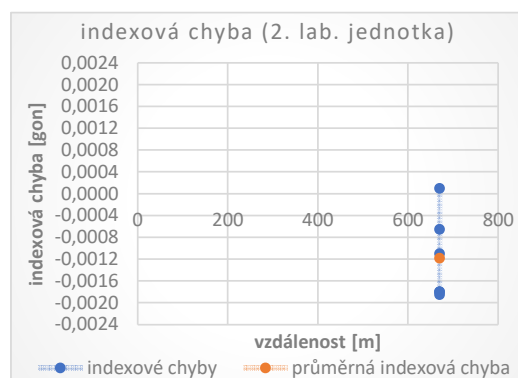
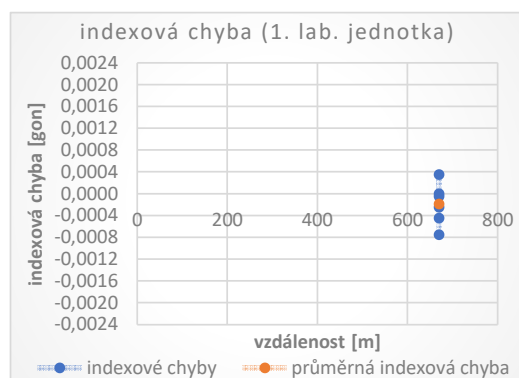
2. skupina (1. měřič) spojnice 102.0 - 104.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
93,2916	306,7099	93,2901	-0,0008	93,2922	306,7108	93,2892	-0,0015
93,2916	306,7093	93,2907	-0,0004	93,2923	306,7110	93,2890	-0,0017
93,2910	306,7099	93,2901	-0,0005	93,2932	306,7102	93,2898	-0,0017
93,2915	306,7095	93,2905	-0,0005	93,2918	306,7104	93,2896	-0,0011
93,2920	306,7106	93,2894	-0,0013	93,2935	306,7102	93,2898	-0,0018
93,2914	306,7094	93,2906	-0,0004	93,2934	306,7092	93,2908	-0,0013
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			93,2909	průměr			93,2912
median			93,2909	median			93,2913
směrodatná odch. měření			0,00078	směrodatná odch. měření			0,0017
směrodatná odch. průměru			0,00022	směrodatná odch. průměru			0,00049
výsledný zanitový úhel (průměr)						93,2910	



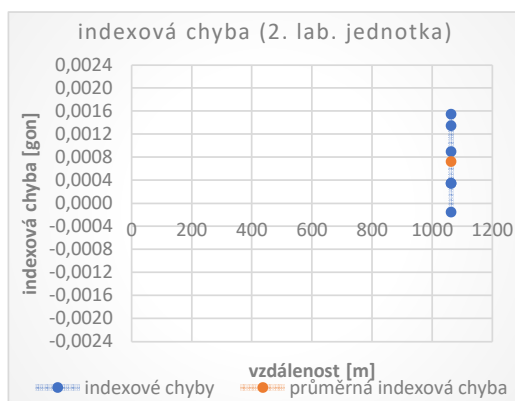
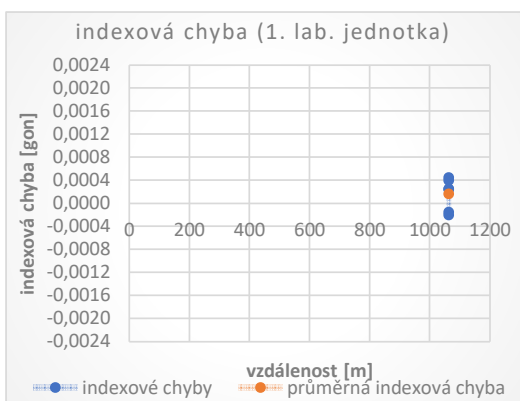
1. skupina (2. měřič) spojnice 104.1 - 102.0							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
106,7140	293,2870	106,7130	-0,0005	106,7135	293,2870	106,7130	-0,0002
106,7155	293,2865	106,7135	-0,0010	106,7130	293,2866	106,7134	0,0002
106,7142	293,2857	106,7143	0,0000	106,7132	293,2855	106,7145	0,0006
106,7150	293,2852	106,7148	-0,0001	106,7138	293,2865	106,7135	-0,0001
106,7150	293,2883	106,7117	-0,0016	106,7140	293,2874	106,7126	-0,0007
106,7158	293,2868	106,7132	-0,0013	106,7145	293,2867	106,7133	-0,0006
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			106,7142	průměr			106,7135
median			106,7143	median			106,7135
směrodatná odch. měření			0,0012	směrodatná odch. měření			0,00059
směrodatná odch. průměru			0,00034	směrodatná odch. průměru			0,00017
výsledný zanitový úhel (průměr)							106,7138



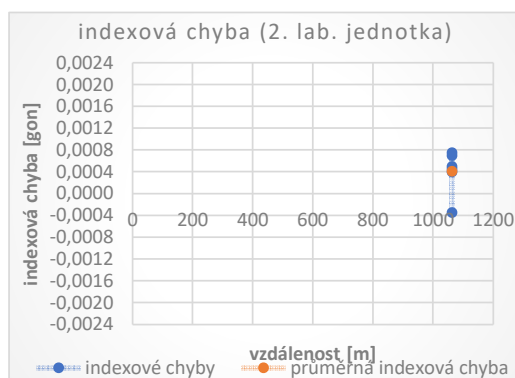
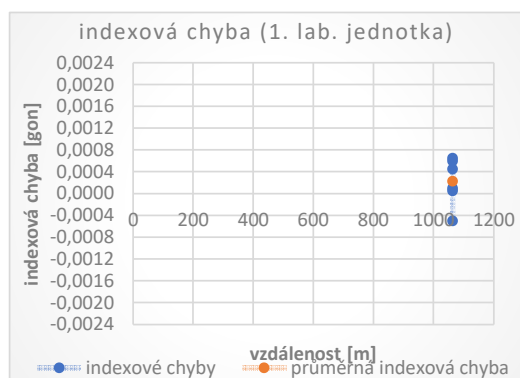
2. skupina (2. měřič) spojnice 104.1 - 102.0							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
106,7167	293,2838	106,7162	-0,0002	106,7167	293,2870	106,7130	-0,0018
106,7165	293,2836	106,7164	0,0000	106,7167	293,2869	106,7131	-0,0018
106,7154	293,2839	106,7161	0,0003	106,7172	293,2864	106,7136	-0,0018
106,7157	293,2843	106,7157	0,0000	106,7153	293,2845	106,7155	0,0001
106,7159	293,2850	106,7150	-0,0005	106,7157	293,2856	106,7144	-0,0006
106,7158	293,2857	106,7143	-0,0008	106,7165	293,2857	106,7143	-0,0011
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			106,7158	průměr			106,7152
median			106,7159	median			106,7154
směrodatná odch. měření			0,00067	směrodatná odch. měření			0,0015
směrodatná odch. průměru			0,00019	směrodatná odch. průměru			0,00042
výsledný zanitový úhel (průměr)							106,7155



1. skupina (1. měřič) spojnice 102.0 - 106.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
97,2888	302,7107	97,2893	0,0003	97,2871	302,7132	97,2868	-0,0001
97,2886	302,7105	97,2895	0,0004	97,2868	302,7125	97,2875	0,0004
97,2889	302,7103	97,2897	0,0004	97,2868	302,7105	97,2895	0,0013
97,2887	302,7108	97,2892	0,0002	97,2857	302,7136	97,2864	0,0004
97,2890	302,7114	97,2886	-0,0002	97,2864	302,7118	97,2882	0,0009
97,2887	302,7116	97,2884	-0,0001	97,2875	302,7094	97,2906	0,0015
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			97,2890	průměr			97,2874
median			97,2889	median			97,2870
směrodatná odch. měření			0,00040	směrodatná odch. měření			0,0014
směrodatná odch. průměru			0,00012	směrodatná odch. průměru			0,00040
výsledný zanitový úhel (průměr)							97,2882

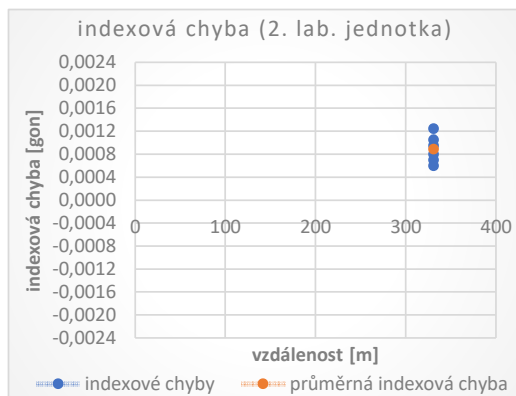
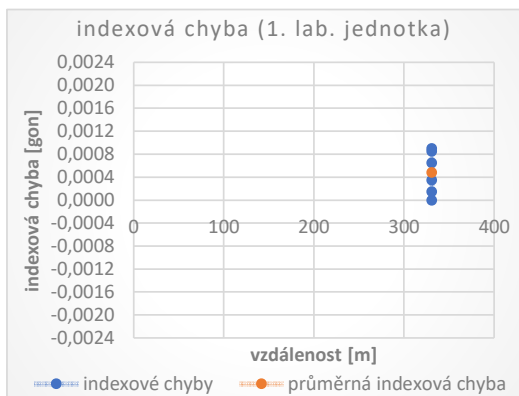


2. skupina (1. měřič) spojnice 102.0 - 106.1							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
97,3003	302,6996	97,3004	0,0001	97,2983	302,7007	97,2993	0,0005
97,3000	302,6991	97,3009	0,0005	97,2998	302,6987	97,3013	0,0008
97,2999	302,6989	97,3011	0,0006	97,3003	302,7004	97,2996	-0,0003
97,3002	302,7008	97,2992	-0,0005	97,2998	302,6994	97,3006	0,0004
97,2999	302,6999	97,3001	0,0001	97,3000	302,6991	97,3009	0,0005
97,2996	302,6991	97,3009	0,0007	97,2995	302,6991	97,3009	0,0007
výsledky 1. lab. j.				výsledky 2. lab. j.			
průměr			97,3002	průměr			97,3000
median			97,3002	median			97,2999
směrodatná odch. měření			0,00056	směrodatná odch. měření			0,00083
směrodatná odch. průměru			0,00016	směrodatná odch. průměru			0,00024
výsledný zanitový úhel (průměr)							97,3001

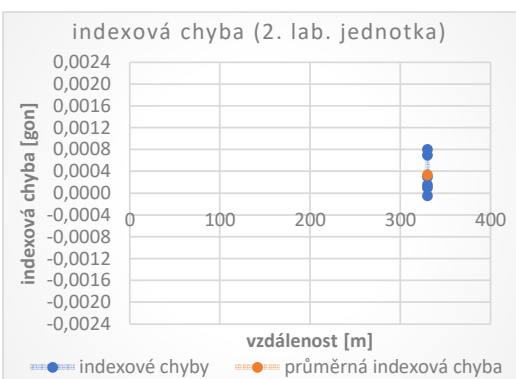
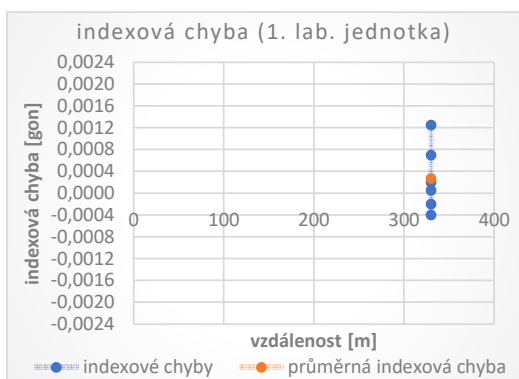


1. skupina (2. měřič) spojnice 106.1 - 102.0							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
102,7191	297,2791	102,7209	0,0009	102,7197	297,2784	102,7216	0,0010
102,7193	297,2790	102,7210	0,0008	102,7201	297,2783	102,7217	0,0008
102,7194	297,2799	102,7201	0,0004	102,7196	297,2783	102,7217	0,0010
102,7197	297,2800	102,7200	0,0002	102,7194	297,2781	102,7219	0,0013
102,7202	297,2798	102,7202	0,0000	102,7197	297,2789	102,7211	0,0007
102,7205	297,2782	102,7218	0,0006	102,7194	297,2794	102,7206	0,0006

výsledky 1. lab. j.		výsledky 2. lab. j.	
průměr	102,7202	průměr	102,7205
median	102,7202	median	102,7204
směrodatná odch. měření	0,00078	směrodatná odch. měření	0,0010
směrodatná odch. průměru	0,00023	směrodatná odch. průměru	0,00029
výsledný zánitový úhel (průměr)		102,7204	



2. skupina (2. měřič) spojnice 106.1 - 102.0							
1. lab. Jednotka				2. lab. jednotka			
o1	o2	400-o2	i	o1	o2	400-o2	i
102,7097	297,2878	102,7122	0,0012	102,7089	297,2895	102,7105	0,0008
102,7097	297,2911	102,7089	-0,0004	102,7091	297,2910	102,7090	-0,0001
102,7091	297,2905	102,7095	0,0002	102,7080	297,2914	102,7086	0,0003
102,7097	297,2907	102,7093	-0,0002	102,7088	297,2910	102,7090	0,0001
102,7087	297,2912	102,7088	0,0001	102,7084	297,2913	102,7087	0,0002
102,7075	297,2911	102,7089	0,0007	102,7080	297,2906	102,7094	0,0007
výsledky 1. lab. j.		výsledky 2. lab. j.					
průměr	102,7093	průměr	102,7089				
median	102,7092	median	102,7089				
směrodatná odch. měření	0,0011	směrodatná odch. měření	0,00067				
směrodatná odch. průměru	0,00032	směrodatná odch. průměru	0,00019				
výsledný zánitový úhel (průměr)		102,7091					



## Příloha 5 - Výpočetní skript vyrovnání výškové sítě v programu MATLAB

V BP jsou přiloženy pouze pro ukázkou výpočetní skripty pro 1. a 4. model pro 1. měřickou skupinu

### 1. model

```
clc; clear all; format longg;
%% vstupni- data

% mereny zenitovy uhel
zen = ([106.2511 93.7523 102.0047 98.0030 99.1004 100.9078 95.6215...
        104.3897 93.2919 106.7138 97.2882 102.7204]*pi/200)';
% vzdalenost- na excentr
ex = [1.240 1.333 1.461 1.492 1.471 1.586...
      1.344 1.364 1.382 2.167 1.944 1.157]';
% vzdalenost mezi body (excentr-excentr)
del = [330.656 751.215 632.249 1143.040 670.619 1063.012]';

% priblizne vysky
X0 = [106 873.4859% 873.423 pouziva se vyska nivelovana
      105 905.922
      104 897.070
      102 827.313];

schema = [105 106
          104 106
          104 105
          102 105
          102 104
          102 106]; % odkud kam bylo mereno ve zpracovanem mereni
%%

for i = 1:2:length(zen)
    h_ij((i+1)/2) = del((i+1)/2)*sin((zen(i+1)-zen(i))/2)+ex(i)-ex(i+1);
end
h_ij = [schema h_ij]';

%% vypocet matice L
L = h_ij(:,3);
% cyklus automatiky rozpozna, kterou vysku odecist a pricist
for i = 1:length(h_ij)
    for j = 1:length(X0)
        if schema(i,1) == X0(j,1)
            L(i) = L(i) + X0(j,2);
        end
        if schema(i,2) == X0(j,1)
            L(i) = L(i) - X0(j,2);
        end
    end
end
end
%% matice A
A = [ 1 0 0
      0 1 0
      -1 1 0
      -1 0 1
      0 -1 1
      0 0 1
      ]; %105 104 102
%% matice D
D = zeros(6,12);
%
D(1,1) = der_h_ij(del(1), zen(1), zen(2));
D(1,2) = der_h_ji(del(1), zen(1), zen(2));
```

```

%
D(2,3) = der_h_ij(del(2), zen(3), zen(4));
D(2,4) = der_h_ji(del(2), zen(3), zen(4));
%
D(3,5) = der_h_ij(del(3), zen(5), zen(6));
D(3,6) = der_h_ji(del(3), zen(5), zen(6));
%
D(4,7) = der_h_ij(del(4), zen(7), zen(8));
D(4,8) = der_h_ji(del(4), zen(7), zen(8));
%
D(5,9) = der_h_ij(del(5), zen(9), zen(10));
D(5,10) = der_h_ji(del(5), zen(9), zen(10));
%
D(6,11) = der_h_ij(del(6), zen(11), zen(12));
D(6,12) = der_h_ji(del(6), zen(11), zen(12));
%%
P = eye(12);

Q1 = D*inv(P)*D';
N = A'*inv(Q1)*A; % opraveno
%v = -D'*inv(D*D')*(P-A*inv(N)*A'*inv(D*D'))*L;

X = -inv(N)*A'*inv(D*D')*L;
vyr_v = X0(2:4,2) + X
k = -inv(D*D')*(A*X+L);
%opravy
v = D'*k;
vgon = v*(200/pi);
%kontrola
kontrola = A'*k;

%apostriorni sm. odchylka
n = 9;
sig0gon = sqrt((v'*v)/n)*200/pi; % v gonech
sig0 = sqrt((v'*v)/n);

% kovariancni matice
KK = inv(N)*A'*inv(Q1)*D;
S = eye(12) - inv(P)*D'*inv(Q1)*(D-A*KK);
QL = sqrt(diag(sig0^2*S*inv(P)*S'))*200/pi
Qh = sqrt(diag(sig0^2*A*inv(N)*A'))
Qx = sqrt(diag(sig0^2*inv(N)))

%% druhy vypocet oprav
zen2 = zen + v;
for i = 1:2:length(zen)
    h_ij2((i+1)/2) = del((i+1)/2)*sin((zen2(i+1)-zen2(i))/2)+ex(i)-ex(i+1);
end
h_ij2 = [schema h_ij2'];
% cyklus automatiky rozpozna, kterou vysku odecist a pricist
L2 = h_ij2(:,3)
X02 = [873.4859; vyr_v];
X02 = [X0(:,1) X02];
for i = 1:length(h_ij2)
    for j = 1:length(X02)
        if schema(i,1) == X02(j,1)
            L2(i) = L2(i) + X02(j,2);
        end
        if schema(i,2) == X02(j,1)
            L2(i) = L2(i) - X02(j,2);
        end
    end
end
end
end

```



#### **4. model**

```
clc, clear all, format longg

% Vyrovnani vyskove site mereni zprostredkujicich
% Merena data
% z, na, prevyseni, s. delka

data = [105 106 -32.5020 330.138
        104 106 -23.6519 750.156
        104 105  8.8520 632.227
        102 105 78.6276 1143.333
        102 104 69.7637 670.132
        102 106 46.1048 1063.975];

% Priblizne vysky
X0 = [106 873.4859% 873.423 pouziva se vyska nivelovana
      105 905.922
      104 897.070
      102 827.313];
% X0 = [106 873.4859% 873.423 pouziva se vyska nivelovana
%       105 905.98887
%       104 897.136957
%       102 827.3726];

% Matice L
l_m = data(:,3);
% prevyseni z pribliznych hodnot
l_x0 = [X0(1,2) - X0(2,2)
        X0(1,2) - X0(3,2);
        X0(2,2) - X0(3,2);
        X0(2,2) - X0(4,2);
        X0(3,2) - X0(4,2);
        X0(1,2) - X0(4,2)];

l_red = (l_m - l_x0)*1000; % matice redukovanych mereni
% matice A
A = [ 1 0 0
      0 1 0
      -1 1 0
      -1 0 1
      0 -1 1
      0 0 1]; %105 104 102
% Matice P
P = diag([1./(data(:,4)*0.001).^2]);
%P = eye(6);

% RESENI NORMALNICH ROVNIC
x = inv(A'*P*A)*A'*P*l_red; % prirustky neznamych
Vysky_vyrovnane = X0(2:4,2) + x % vyrovnane nezname
v = A*x - l_red % opravy mereni I
l_vyrovnane = l_m + v % vyrovnana mereni

vII = l_vyrovnane - l_m; % opravy mereni II
rozdil_v = v - vII;
```

```
s0 = sqrt((v'*P*v)/3)
```

```
% Matice vahovych koeficientu neznamych
```

```
disp('Smerodatne odchylky neznamych')
```

```
Qx = 0.0044^2*inv(A'*P*A);
```

```
sx = sqrt(diag(Qx))
```

```
% Matice vahovych koeficientu mereni
```

```
disp('Smerodatne odchylky mereni')
```

```
Qh = A*Qx*A';
```

```
sh = sqrt(diag(Qh))
```