

Jitka MUČKOVÁ\*

## VLIV REDUKCÍ Z TÍŽNICOVÝCH ODCHYLEK NA PŘESNOST ZÁKLADNÍ ORIENTAČNÍ ÚSEČKY PŘI PŘIPOJOVACÍM A USMĚRŇOVACÍM MĚŘENÍ GYROTEODOLITEM V DOLE

EFFECT OF REDUCTIONS OF GRAVIMETRIC DEVIATIONS ON ACCURACY OF BASIC ORIENTATION LINE SEGMENT DURING UNDERGROUND CONNECTING AND ORIENTATION MEASURING BY MEANS OF GYROSCOPIC THEODOLITE

### Abstrakt

Článek se zabývá rozбором vlivu tížnicových odchylek na přesnost usměrňovacího měření gyroteodolitem v dole. Na základě naměřených hodnot na výchozí základně pro gyroteodolitová měření v OKR jsou v tabulkách uvedeny hodnoty složek tížnicových odchylek a následně proveden rozbor jejich vlivu na přesnost určení směrníku polygonové strany v podzemí.

### Abstract

By the article analysis effect of vertical deviations on accuracy of orientation underground measurements by means of gyroscopic theodolite is discussed. Based on measurement values of reference base line for gyrotheodolite measurement in Ostrava-Karviná coalfield (hereafter OKR) the values of componets of vertical deviations are mentioned in tables. Subsequently an analysis of their effect on accuracy of determination of the bearing of underground polygon line is presented.

**Key words:** vertical deviation, gyrotheodolite, astronomical azimuth, geodetic azimuth, bearing, polygon line, accuracy of bearing, elevation angle.

### Úvod

Jedním z důležitých úkolů důlního měřiče je přenesení souřadného systému S-JTSK do podzemních prostor. To se uskutečňuje připojovacím a usměrňovacím měřením. Na přesnosti tohoto měření závisí následně přesnost měření v podzemí a vyhotovení důlně měřické dokumentace. Je proto logické, že každému připojovacímu a usměrňovacímu měření, ať je prováděno jakýmkoliv způsobem, je nutno věnovat velkou pozornost [1, 2].

Vyhláška č. 435/1992 Českého báňského úřadu taxativně stanovuje způsoby, kterými je možno toto měření provádět. Jednou z těchto metod je připojovací a usměrňovací měření alespoň jednou olovníci (přenesení pravouhlých souřadnic JTSK bodu do podzemí) a gyroteodolitem (určení výchozího směrníku základní orientační úsečky v podzemí).

---

\* Ing., Ph.D., HGF VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba

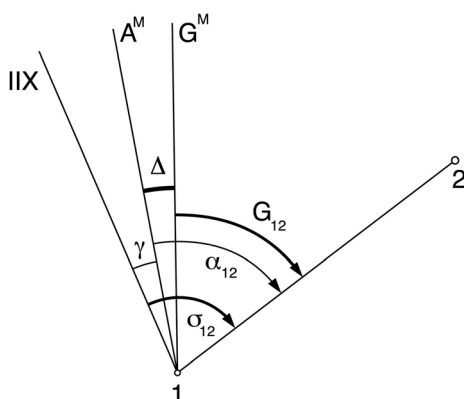
## Určení směrníku základní orientační úsečky v dole

V důlně měřické praxi se pro usměrňovací měření v dole mohou používat gyroteodolity, které stanoví směrník základní orientační úsečky v dole s přesností  $\pm 10''$  [6]. Při určování směrníku polygonové strany důlní sítě příjímou metodou je nutno znát konstantu gyrokompasu, což je malý úhel, o který se liší rovnovážná osa setrvačníku, vytyčená záměrnou rovinou gyroteodolitu, od směru astronomického poledníku [3]. Astronomický azimut  $\alpha'$  strany  $P_1P_2$  v bodě  $P_1$  je podle obr. 1 [3]:

$$\alpha'_{12} = G_{12} \pm \Delta, \quad (1)$$

kde:

- $G_{12}$  je gyroskopický směr,
- $\Delta$  je konstanta gyrokompasu,
- $\gamma$  je poledníková sbíhavost (úhel v určitém bodě, který svírá příslušný poledník procházející tímto bodem – místní poledník se základním poledníkem – zpravidla osou  $X$ ) [4].



Obr. 1: Určení astronomického azimutu strany  $P_{12}$

Směrník  $\sigma_{12}$  základní orientační úsečky v dole v soustavě S-JTSK vypočteme z astronomického azimutu určeného gyrokompasem podle vztahu (viz obr. 1) :

$$\sigma_{12} = \alpha'_{12} + \gamma = G_{12} + \gamma + \Delta \quad (2)$$

Směrník základní orientační úsečky  $\sigma_{12}$  v dole se určí také ze vztahu (viz obr. 2) [5]:

$$\sigma_{12} = \alpha' - \eta t g \varphi + (\eta \cos \alpha - \xi \sin \alpha) t g \beta + \gamma + \delta \quad (3)$$

kde:

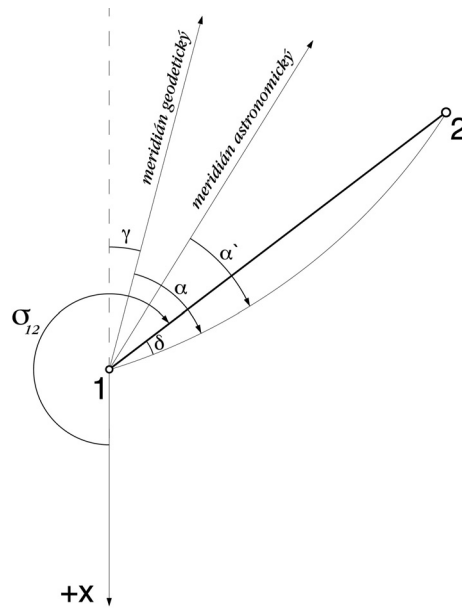
- $\alpha'$  je astronomický azimut určený gyrokompasem,
- $\alpha$  je geodetický azimut,
- $\varphi$  zeměpisná šířka měřeného bodu,
- $\beta$  výškový úhel,
- $\eta$  příčná složka tížnicové odchylky,
- $\xi$  meridiánová složka tížnicové odchylky,
- $\gamma$  poledníková sbíhavost,
- $\delta$  změna směru na příjímou spojnicí v příslušném souřadnicovém systému, která u měření v podzemí odpadá z důvodu krátkých záměr.

Jak vyplývá ze vztahu (3), astronomický azimut  $\alpha'$  základní orientační úsečky je nutno opravit o relativní astronomicko-geodetickou tížnicovou odchylku.

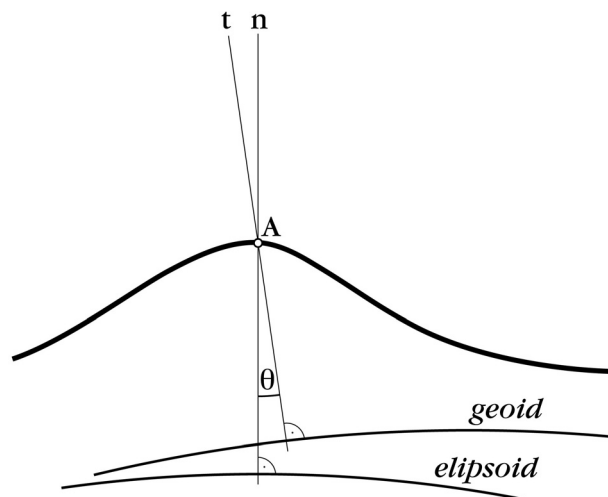
Relativní tížnicová odchylka je úhel  $\theta$ , který svírá tížnice  $t$  ke geoidu, do kterého se urovňuje při měření osa měřícího přístroje, a normála  $n$  k elipsoidu, ke kterému se provádí výpočty (obr. 3). V důsledku nerovnoměrného rozložení hustoty hmot pod zemským povrchem a netotožnosti referenčního elipsoidu s geoidem není normála  $n$  k elipsoidu v obecném bodě na zemském povrchu totožná s tížnicí  $t$  v tomto bodě. Tížnicová odchylka je relativní proto, že její velikost se mění s místem měření [5].

Celková tížnicová odchylka  $\theta$  se skládá z meridiánové složky  $\xi$  a příčné složky  $\eta$  tížnicové odchylky (v rovině kolmé k rovině meridiánu).

$$\Theta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2} . \quad (4)$$



Obr. 2: Výpočet směrníku základní orientační úsečky  $P_{12}$



Obr. 3: Relativní tížnicová odchylka

Opravu z tížnicové odchylky z rovnice (3) lze tedy rozdělit na dvě složky [5]:

- $\eta \operatorname{tg} \varphi$  - první korekční člen je na určitém bodě závislý jen na příčné složce tížnicové odchylky a na zeměpisné šířce bodu,
- $(\eta \cos \alpha - \xi \sin \alpha) \operatorname{tg} \beta$  - druhý korekční člen má pro jednotlivé záměry různou hodnotu, která je závislá nejen na velikosti tížnicové odchylky, ale také na azimutu a výškovém úhlu záměry.

Při určování astronomického azimutu metodami geodetické astronomie v trigonometrické síti I. řádu odpadá druhá složka korekce, protože výškový úhel  $\beta$  mezi trigonometrickými body I.řádu je roven nule a geodetické azimuty jsou dány z Laplaceovy rovnice [5]:

$$\alpha_{1,2} = \alpha'_{1,2} - \eta \operatorname{tg} \varphi . \quad (5)$$

V praxi v důlním měřičtví se provádí gyroteodolitové měření na krátkých polygonových stranách, které v některých případech mají úklon  $\beta = 45^\circ$  i více. Tato měření se provádějí převážně pro potřeby prorážkových pořadů a ražby čelbou a protičelbou mezi patry o různé nadmořské výšce a proto je požadována velká přesnost

směrníků. Z těchto důvodů se musí v podzemí brát v úvahu obě složky tížnicových odchylek. Je nutno si uvědomit, že geodetické směrníky, které se určí v důlních podmínkách gyroteodolity, se stanoví s přesností  $\pm 10''$  a vyšší. Tížnicové odchylky nepřesahují hodnotu  $30''$  [6]. Relací mezi pořadnicemi tížnicových odchylek můžeme konstatovat, že platí [6]:

$$\zeta_{max} = 30'' , \text{ pak platí také } \eta_{min} = 0 ,$$

a naopak jestliže

$$\zeta_{min} = 0 , \text{ pak platí také } \eta_{max} = 30'' .$$

### Naměřené hodnoty na výchozí základně pro gyroteodolitová měření v OKR a jejich vyhodnocení

Na výchozí základně pro gyroteodolitová měření v OKR byly zaměřeny hodnoty, které slouží k posouzení, zda astronomický azimut naměřený gyroteodolitem je nutno opravovat o tížnicové odchylky při určování výchozího směru základní orientační úsečky v podzemí.

Pro zeměpisnou šířku  $\varphi = 50^{\circ}50'$ , ve které byla výchozí základna pro gyroteodolitová měření v OKR, je hodnota  $tg\varphi = 1,17$  a pak korekční faktor  $\eta \cdot tg\varphi$  dosahuje hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 1 [6].

Tabulka 1 : Složka  $-\eta \cdot tg\varphi$  tížnicové odchylky

$\eta ['']$	$tg\varphi$	$-\eta \cdot tg\varphi ['']$
5	1,17	-5,8
10		-11,7
15		-17,6
20		-23,4
25		-29,3
30		-35,1

V případě, že druhá složka korekce je rovna 0, vychází z tabulky 1, že korekce z příčné složky odchylky u gyroteodolitových měření bereme v úvahu pro hodnotu  $m_G = \pm 15''$  (přesnost gyroteodolitu).

Co se týče druhé složky korekce, dosahuje její část  $\eta \cdot \cos\alpha - \zeta \cdot \sin\alpha$  hodnot uvedených v tabulce 2.

Tabulka 2: Hodnoty výrazu  $\eta \cdot \cos\alpha - \zeta \cdot \sin\alpha$

$\alpha$ [°]	$\cos\alpha$	$\eta \cdot \cos\alpha ['']$							$\sin\alpha$	$\zeta \cdot \sin\alpha ['']$							$\eta = \zeta = 15''$ C
		$\eta$	5''	10''	15''	20''	25''	30''		$\zeta$	30''	25''	20''	15''	10''	5''	
0	1		5	10	15	20	25	30	0		0	0	0	0	0	0	15''
45	0,707		3,5	7,1	10,6	14,4	17,7	21,2	0,707		21,2	17,7	14,1	10,6	7,1	3,5	0
90	0		0	0	0	0	0	0	1		30	25	20	15	10	5	-15''
134	-0,707		-3,5	-7,1	-10,6	-14,1	-17,7	-21,2	0,707		21,2	17,7	14,1	10,6	7,1	3,5	-21,2''
180	-1		-5	-10	-15	-20	-25	-30	0		0	0	0	0	0	0	-15''
225	-0,707		-3,5	-7,1	-10,6	-14,1	-17,7	-21,2	-0,707		-21,2	-17,7	-14,1	-10,6	-7,1	-3,5	0
270	0		0	0	0	0	0	0	-1		-30	-25	-20	-15	-10	-5	15''
315	0,707		3,5	7,1	10,6	14,4	17,7	21,2	-0,707		-21,2	-17,7	-14,1	-10,6	-7,1	-3,5	21,2''

Poznámka: C v tabulce je výraz  $\eta \cos\alpha - \zeta \sin\alpha$ .

Podle tabulky 2 dosahuje faktor korekce  $(\eta \cdot \cos\alpha - \zeta \cdot \sin\alpha) \cdot tg\beta$  pro hodnoty  $\beta = 10^{\circ}, 20^{\circ}, \dots, 80^{\circ}$  velikosti uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3: Hodnoty faktoru korekce  $(\eta \cdot \cos\alpha - \zeta \cdot \sin\alpha) \cdot tg\beta$

A [°]	$(\eta \cdot \cos\alpha - \zeta \cdot \sin\alpha) \cdot tg\beta ['']$								
	$\beta$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0		2,6	5,5	8,7	12,6	17,9	26,0	41,2	85,1
45		0	0	0	0	0	0	0	0
90		-2,6	-5,5	-8,7	-12,6	-17,9	-26,0	-41,2	-85,1
135		-3,7	-7,7	-12,2	-17,8	-25,3	-36,7	-58,2	-120,2
180		-2,6	-5,5	-8,7	-12,6	-17,9	-26,0	-41,2	-85,1
225		0	0	0	0	0	0	0	0
270		2,6	5,5	8,7	12,6	17,9	26,0	41,2	85,1
315		3,7	7,7	12,2	17,8	25,3	36,7	58,2	120,2

## Závěr

Z vyhodnocení tabulek lze říci:

- Při přímém určování geodetických směrniců polygonových stran gyrotheodolitem je nutno brát v úvahu opravu z tížnicových odchylek. Druhý faktor korekce nesmí být opomíjen z důvodu, že tato oprava není závislá na azimutu  $\alpha$ , ale na velikosti výškového úhlu a může dosáhnout větší hodnoty než je střední chyba vlastního usměrňovacího měření gyrotheodolitem.
- Při stanovení korekcí z tížnicových odchylek pro souřadnicový systém S-JTSK se berou v úvahu složky tížnicových odchylek zpracované interpolací mezi Laplaceovými body.
- Z důvodu zvýšení přesnosti určovaných geodetických směrniců polygonových stran, se doporučuje při určování tížnicových odchylek brát ohled i na jejich opravy z reliéfu topografického povrchu terénu, z vlivu plochy a izostatické kompenzace [5,7]
- Při nepřímé metodě stanovení směrníku polygonové strany se nemusíme zabývat konstantou gyrotheodolitu.

## Literatura

- [1] Neset, K.: Důlní měřictví I., *Praha, SNTL, 1966, 440 s.*
- [2] Neset, K.: Důlní měřictví II., *Praha, SNTL, 1967, 462 s.*
- [3] Kovanič, L., Matouš, J., Mučka, A.: Důlní měřictví, *Praha, SNTL, 1990, 433 s.*
- [4] Kubečka, E.: Geodézie a důlní měřictví. *VŠB Ostrava, 1992, 363 s.*
- [5] Vykutíl, J.: Vyšší geodézie. *Praha, Kartografie Praha, 1982, 544 s.*
- [6] Mučka, A.: Nové způsoby důlně měřického vedení dlouhých důlních děl a usměrňovací měření gyrotheodolity, *doktorská disertační práce, Ostrava, 1991.*
- [7] Sedlák, V.: Zvislicové odchýlky v horskom a vysokohorskom prostredí, *monografie, TU Košice, 2002, 77 s.*

## Summary

The methods of the connecting and orientated measurements are governed by the Regulation 435 /1992 of Czech Mine Office. One of these methods is measurement with a single plumb and a gyrotheodolite. The plumb is used for the transferring of coordinates and the gyrotheodolite is applied for the determination of the initial underground orientation.

A conventional method of the determination of orientation of the basic underground orientation survey line by means of gyrotheodolite is defined in formula (1). For determination of bearing by gyrotheodolite it is necessary to know the constant of gyrorheodolite and the corresponding meridian convergence.

It is equally possible to perform calculating of basic orientation based on astronomical azimuth which can be measured by the gyrotheodolite. The calculation is explained by means of the formula (2) and also by the illustration (1).

The relative astronomical - geodetic vertical deviation is defined by the angle formed by plumb line  $t$  and the normal line  $n$  which is normal to geoid (see illustration 3). The vertical deviation is relative, because the density of the rock substance below terrestrial surface is not uniform, it is varying.

The general vertical deviation consists of the meridian component of the gravimetric deviation  $\xi$  and of transverse component of gravimetric deviation  $\eta$  (formula 4).

The correction of the gravimetric deviation according to formula 3 can be divided into the following two components or correction members:

- $\eta tg \varphi$  - the first correction member depending only on transverse component of gravimetric deviation and on latitude of measuring point;
- $(\eta \cos \alpha - \xi \sin \alpha) tg \beta$  - the second correction member. It has got a different value for at individual backside view. The value depends on size of gravimetric deviation, on azimuth and on angle of elevation of the backside.

When determining the astronomical azimuth by geodetic methods in trigonometric networks of the first order, the second correction member will be eliminated, because the angle of elevation between two neighboring points of network is null.

During underground surveying the gyrotheodolite measurement is realized on short lines which inclination of  $45^\circ$  and more and thus both components of vertical deviation have to be taken into account.

The problem, whether it is necessary to correct due to vertical deviation the astronomical azimuth measured by gyrotheodolite underground, was verified on a special base line for gyrotheodolite measurement in OKR. The measured values and their evaluation are mentioned by tables N<sup>o</sup>1, N<sup>o</sup>2, N<sup>o</sup>3.

Based on evaluation of the measured values it can be concluded:

- In underground mines when a geodetic bearing of the traverse measured by the gyrotheodolite is determined it would be necessary to take into account a correction by gravimetric deviation .
- The gravimetric deviations which is applied for correction are determined by interpolation between two neighbouring Laplace points.

Recenzenti: Prof. Vladimír Sedlák, M.Sc., Ph.D., Fakulta BERG, Technická univerzita Košice,  
Prof. Ing. Zdeněk Nevošád, DrSc., Ústav geodézie, Stavební fakulta, VUT Brno.