

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV GEODETICKÝ, TOPOGRAFICKÝ A KARTOGRAFICKÝ, v.v.i.**

**Číslo a název projektu:** TB01CUZK005 - Výzkumné činnosti spojené se zajištěním aktuální metrologické návaznosti pro etalony využívané při realizaci zeměměřických činností ve veřejném zájmu, spočívající zejména ve zpřesňování parametrů státních etalonů velkých délek, tíhového zrychlení, referenčního etalonu polohy včetně nových metod laser scanningu

## **Ověřená technologie**

### **Zaměření parametrů státního etalonu délky 25 až 1450 m ECM 110-13/08-04 s využitím Leica AT-401**

Projekt TB01CUZK005 „Výzkumné činnosti spojené se zajištěním aktuální metrologické návaznosti pro etalony využívané při realizaci zeměměřických činností ve veřejném zájmu, spočívající zejména ve zpřesňování parametrů státních etalonů velkých délek, tíhového zrychlení, referenčního etalonu polohy včetně nových metod laser scanningu“ je řešen s finanční podporou TA ČR.

Obsah:

|   |          |
|---|----------|
| <b>1. PŘEDMĚT TECHNOLOGIE.....</b>  | <b>3</b> |
| <b>2. LABORATORNÍ PRÁCE .....</b>   | <b>3</b> |
| 2.1 KALIBRACE CMM .....   | 3        |
| 2.1.1. Měření atmosférických podmínek a zavedení příslušných korekcí.....   | 4        |
| 2.2 URČENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ.....  | 4        |
| <b>3. MĚŘENÍ NA DÉLKOVÉ ZÁKLADNĚ STÁTNÍHO ETALONU ECM 110-13/08-04.....</b> | <b>6</b> |
| 3.1 POSTUP MĚŘENÍ: .....  | 6        |
| 3.2 VOLBA ČASU MĚŘENÍ BĚHEM DNE.....  | 7        |
| <b>4. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ .....</b>   | <b>7</b> |

## 1. Předmět technologie

Technologie je určena pro definování postupu určování délkových parametrů státního etalonu dálek 25 až 1450 m s využitím souřadnicového měřicího stroje Leica Absolute Tracker AT-401 (CMM). Technologie popisuje venkovní i laboratorní práce (kap. 2). Laboratorní práce je nutné provést před vlastním měřením na délkové základně státního etalonu ECM 110-13/08-04 (SE).

## 2. Laboratorní práce

Pod pojmem laboratorní práce je chápán soubor činností, které je nutné provést v prostorách metrologické laboratoře VÚGTK, resp. v sídle VÚGTK.

### 2.1 Kalibrace CMM

Kalibrace CMM pro parametr délky je prováděna vůči laserinterferometru HP 5519A. Během prováděné kalibrace je CMM a jeho odrazný hranol umístěn do osy měření laserinterferometru, resp. osy měření laserinterferometru a osy vypočtených vodorovných délek měřených CMM jsou rovnoběžné. Při měření jsou odrazné hranoly pro interferometr a CMM umístěny na pohyblivém vozíku délkové základny. Délky jsou měřeny v kroku 2 metry.

Kalibrace vodorovných úhlů se provádí při excentrickém (pevném) postavení CMM vůči interferometru a jeho délkové základně. Pro kalibraci vodorovných úhlů se ze zprostředkujících měřených veličin vypočte hodnota kalibrovaného úhlu s následným vyhodnocením a určením charakteristik přesnosti. Zprostředkované veličiny jsou strany obecného trojúhelníka, přičemž dvě strany každého trojúhelníka jsou měřeny CMM a třetí strana interferometrem. Kalibrace je prováděna na deseti metrech délky určené interferometrem s krokem jeden metr, tj. pro každé takové postavení je změřen údaj na interferometru a také údaje na CMM. Během kalibrace je odrazný hranol CMM umístěn v ose laserinterferometru, ale zároveň tak, aby bylo možné měřit pomocí CMM.

Kalibrace zenitového úhlu se provádí s využitím speciálního přípravku vyrobeného pro tento účel. Přípravek je 2 m dlouhý a je vybaven 5 pozicemi pro umístění odrazného hranolu CMM, přičemž umístění hranolu na tuto pozici je jednoznačné. Mezi jednotlivými pozicemi jsou před zahájením kalibrace zenitového úhlu pomocí interferometru určeny délky.

Během kalibrace je CMM umístěn na vzdálenost 10 m od svisle upevněného přípravku. Výpočet charakteristiky přesnosti zenitových úhlů je obdobný jako v případě vodorovných úhlů. Pro tento trojúhelník platí, že dvě strany jsou měřeny pomocí CMM a jedna strana každého z trojúhelníků je předem změřena interferometrem.

Během všech těchto prací jsou zaváděny opravy z atmosférických podmínek. Blíže ke sběru informací o atmosférických podmínkách a zavádění příslušných korekcí je uvedeno v kap. 2.1.1.

### 2.1.1. Měření atmosférických podmínek a zavedení příslušných korekcí

Měření atmosférických podmínek je prováděno v reálném čase pomocí meteostanice CMM, měřené parametry jsou teplota, vlhkost, tlak. Korekce z atmosférických podmínek jsou při měření zaváděny automaticky v reálném čase. Údaje nekalibrované meteostanice CMM jsou během měření porovnávány s údaji kalibrovaných měřidel pro uvedené veličiny.

Meteostanici CMM je možné nahradit kalibrovanými měřidly komunikujícími s aplikacemi GeoTracker a TrackerLab (funkce pro připojení nejsou v současnosti v aplikacích dostupné). Takto získané atmosférické podmínky by byly předávány CMM automaticky před provedením měření. CMM by v průběhu měření zaváděl korekce z těchto (kalibrací ověřených) hodnot.

### 2.2 Určení nejistoty měření

| Zdroj nejistoty<br>$X_i$   | Velikost standardní nejistoty<br>$u(x_i)$ | Jednotka   | Pravdě-<br>podobnostní<br>rozdělení | Citlivostní<br>koeficient<br>$c_i$ | Příspěvek k<br>aditivní<br>části<br>nejistoty<br>$u_i(y)$<br>( $\mu\text{m}$ ) | Příspěvek k<br>multiplikativní<br>části nejistoty<br>$u_i(y)$<br>( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) |
|--|---|--|-------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| aditivní část<br>nejistoty etalonu -<br>laserinterferometru  | 0,01                                      | $\mu\text{m}$  | normální                            | 1,0                                | 0,01   |   |
| aditivní část<br>nejistoty CMM<br>(z Tab. 1 Zprávy)<br>Tento zdroj bude<br>dále sledován                                     | 27  | $\mu\text{m}$  | normální                            | 1,0                                | 27   |   |
| multiplikativní část<br>nejistoty etalonu -<br>laserinterferometru   | 0,2                                       | $\mu\text{m}/\text{m}$                               | normální                            | 1,0                                |  | 0,2   |
| multiplikativní část<br>nejistoty CMM<br>(z KL 34 514 r. 2011)<br>(z KL 34 738 r. 2012)<br>Tento zdroj bude<br>dále sledován | 6<br>8                                    | $\mu\text{m}/28\text{m}$<br>$\mu\text{m}/27\text{m}$ | normální                            | 1,0<br>1,0                         |  | 0,214<br>0,296  |
| vliv<br>nejistoty<br>měřidla<br>teploty  | 0,05                                      | $^{\circ}\text{C}$                                   | normální                            | 0,924                              |  | 0,0462  |

| Zdroj nejistoty<br>$X_i$  | Velikost<br>standardní<br>nejistoty<br>$u(x_i)$ | Jednotka               | Pravdě-<br>podobnostní<br>rozdělení | Citlivostní<br>koeficient<br>$c_i$ | Příspěvek k<br>aditivní<br>části<br>nejistoty<br>$u_i(y)$<br>( $\mu\text{m}$ ) | Příspěvek k<br>multiplikativní<br>části nejistoty<br>$u_i(y)$<br>( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) |
|---|---|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| vzduchu   |   |                        |                                     |                                    |  |   |
| variací teploty<br>vzduchu v dráze<br>měřicího paprsku<br>vzduchu                                       | 0,5   | ° C                    | normální                            | 0,924                              |  | 0,462   |
| vliv nejistoty<br>měřidla<br>atmosférického<br>tlaku<br>(použit aneroid viz<br>KL 8014-KL-L0001-<br>12) | 0,5   | hPa                    | normální                            | 0,271                              |  | 0,135   |
| vliv nejistoty měření<br>atmosférického<br>tlaku v terénu   | 0,5   | hPa                    | normální                            | 0,271                              |  | 0,135   |
| vliv nejistoty určení<br>vlhkosti vzduchu na<br>měřenou délku   | 5,5   | %                      | rovnoměrné                          | 0,015                              |  | 0,1   |
| Vlivy centrace a<br>horizontace CMM a<br>RRR hranolu na<br>měřenou délku                                | 50  | $\mu\text{m}$          | normální                            | 1,4                                | 70   |   |
| Nejistota ve<br>vodorovné délce<br>vlivem nejistoty v<br>převýšení                                      | 0,0471  | $\mu\text{m}/\text{m}$ | logarotmicko<br>normální            | 1                                  |  | 0,0471  |
| Nejistota ve<br>vodorovné délce<br>vlivem nejistoty<br>v zařazení do přímky                             | $8,45 \cdot 10^{-3}$                            | $\mu\text{m}$          | logarotmicko<br>normální            | 1                                  | $8,45 \cdot 10^{-3}$   |   |

| Zdroj nejistoty   | Velikost standardní nejistoty | Jednotka | Pravděpodobnostní rozdělení | Citlivostní koeficient | Příspěvek k aditivní části nejistoty | Příspěvek k multiplikativní části nejistoty |
|-------------------|-------------------------------|----------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------|---|
| $X_i$             | $u(x_i)$                      |          |                             | $c_i$                  | $u_i(y)$<br>( $\mu\text{m}$ )        | $u_i(y)$<br>( $\mu\text{m}/\text{m}$ )      |
| Celková nejistota |                               |          |                             |                        | 75,0                                 | 0,6260                                      |

Tab. 1 Standardní nejistota

Standardní nejistota  $u = Q(75,0; 0,63 \cdot L_{[m]}) \mu\text{m}$ .

Rozšířená nejistota  $U = Q(150; 1,26 \cdot L_{[m]}) \mu\text{m}$ .

### 3. Měření na délkové základně státního etalonu ECM 110-13/08-04

Pro délky mezi body menšími než 160 m je prováděno měření vždy na nejbližší dva okolní body základny. Pro délky mezi body přesahující 160 m je zřizováno dočasné „stanovisko“, na kterém je umístěn přístroj a jsou měřeny délky na sousední pilíře. Během měření jsou zaváděny korekce z atmosférických podmínek dle bodu 2.1.1 a všechna měření, včetně registrace dat, jsou prováděna v aplikaci GeoTracker (Naprogramované ve VÚGTK, v.v.i. Ing. P. Hánkem, Ph.D.)

Během měření se registrují tyto údaje:

- údaje nutné pro vyhodnocení resp. zaznamenání podmínek během měření – označení „stanoviska“ a cíle, šikmá délka, zenitový úhel, vodorovný směr, teplota, tlak, vlhkost, směrodatná odchylka zaměření šikmé délky, směrodatná odchylka zaměření zenitového úhlu, směrodatná odchylka vodorovného směru,
- doplňkové údaje – čas a datum měření.

#### 3.1 Postup měření:

- Měření se provádí výhradně v nočních resp. večerních hodinách. Odůvodnění viz kap. 0
- Přístroj se nechá na prvním „stanovisku“ zapnutý a zacílený na odrazný hranol temperovat minimálně 2 hodiny.
- Po temperaci je možné zahájit měření. Měření se provádí 10 – krát při 2 sekundovém měření jedné série parametrů, interval mezi měřeními je 0 sekund. Údaje se registrují v gonech, milimetrech, stupních celsia, procentech vlhkosti a tlak v hektopascalech.
- Měří se délky uvedené v Tab. 2
- Přístroj se během přesunů mezi jednotlivými „stanoviskami“ nevypíná!

•

| Rozpis měřených délek  |        |
|--|--------|
| stanovisko   | Cíle   |
| 2  | 1, 3   |
| 3  | 2, 4   |
| 5  | 4, 6   |
| 7  | 6, 8   |
| fix 9  | 8, 9   |
| Fix 10   | 9, 10  |
| Fix 11   | 10, 11 |
| Fix 12   | 11, 12 |
| Body 1 - 12 jsou pilíře délkové základny, body fix 9 – fix 12 jsou dočasná stanoviska. |        |

Tab. 2 Rozpis měřených délek

### 3.2 Volba času měření během dne

Z důvodu minimalizace vnějších vlivů na kvalitu měření se měření provádí v nočních resp. večerních hodinách, kdy jsou již ustálené atmosférické podmínky. Tyto podmínky mají zásadní vliv na prostředí (vzduch), kterým prochází paprsek během měření.

Při tom platí:

změny klimatických podmínek během měření jsou nepříznivé a v případě rychlejší dynamiky vývoje teploty, vlhkosti resp. tlaku, je přístrojem nahlášena chyba senzoru a není možné měření provést,

v nočních hodinách nedochází k ovlivnění prostředí vlivem slunečního záření a zároveň v letních měsících může dojít k teplotní kompenzaci prostředí, tj. jeho homogenizaci a v důsledku toho se dá předpokládat nejlepší index lomu v průběhu celé dráhy laserového paprsku (v zimních měsících lze měření posunout do večerních hodin),

přímé sluneční záření znesnadňuje, resp. znemožňuje provést měření, odstranění problému je shodné jako v předchozím bodě.

## 4. Zpracování měření

Zpracování měření se provádí s využitím výpočetní šablony vytvořené pro MS Excel nebo v obdobné aplikaci. Výsledkem zpracování jsou délky jednotlivých měřených délek a z nich následně složených délkových kombinací, které je možné na délkové základně státního etalonu realizovat. Celkem se tedy jedná o 64 délek. Pro každou délku (přímo měřenou nebo dopočtenou) jsou určeny charakteristiky přesnosti, ze kterých je následně určena celková charakteristika přesnosti určení státního etalonu.

Na základě bodu 2.2 a v rámci zpracování měřených dat a určených charakteristik přesnosti (nejistot měření) se vypočte nejistota jako kvadratický průměr kombinované standardní nejistoty, respektive rozšířená kombinovaná standardní nejistota měření.

**Zpracovali:** Ing. Pavel Hánek, Ph.D., Ing. J. Lechner, CSc. a Ing. Michal Volkmann