

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra pozemkových úprav

Studijní program: M4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Testování totální stanice Leica TC(R) 400

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.

Autor:

Eva Žižková

2009

Na této straně bude zadání diplomové práce

Čestné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně na základě vlastních měření a s použitím uvedené odborné literatury.

V Českých Budějovicích dne 27. 4. 2009

.....
Eva Žižková

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Pavlu Hánkovi, CSc. za vedení diplomové práce a cenné rady.

Dále bych chtěla poděkovat Ing. Martinu Pavlovi za připomínky a pomoc při měření, fakultě za zapůjčení totální stanice Leica TC(R) 407 a další měřicí techniky. Rovněž bych chtěla poděkovat Ing. Romanu Miškovi a Ing. Petru Jursíkovi za pomoc při měření. A samozřejmě své rodině za morální i materiální podporu při mém studiu.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je otestovat přesnost totální stanice Leica TC(R) 407 v.č. 660021 pomocí stanovených postupů. Ověřovány jsou údaje dosažené měřickými a výpočetními postupy, dle uvedených norem a odborné literatury, a výsledky jsou porovnány s údaji uvedenými výrobcem. Testována byla přesnost dálkoměru i úhloměrné části přístroje. Teoretická část je zaměřena na základní metody měření a určování délek, princip elektronického měření směrů a teorii chyb. Praktická část je zaměřena na ověření přesnosti měřeného vodorovného směru, zenitového úhlu a ověření přesnosti dálkoměrné části přístroje. Určeny byly směrodatné odchylky měřených délek a směrů.

Klíčová slova:

Testování přesnosti totální stanice, Leica TC(R) 407, směrodatné odchylky

Abstract

The objective of this thesis is to check the preciseness of the total station Leica TC(R) 407 ser. No.660021 by using the defined methods. The data collected through measurements and by the computation procedures according to the relevant standards and the proceedings described by the professional literature were compared with the data stated by the manufacturer. The accuracy of the telemeter and the goniometric part of the device was tested. The theoretical part of this thesis is focused on the basic measurement methods and distance determination, principle of the electronic direction measuring and the error theory. The practical part of the thesis is focused on checking the accuracy of the measured horizontal direction and the zenith angle, as well as checking the preciseness of the telemetric part of the device. As a result the standard deviations of the measured distances and directions have been determined.

Key words:

Testing preciseness of the total station, Leica TC(R) 407, standard deviations

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. TOTÁLNÍ STANICE	8
2.1. <u>VYSVĚTLENÍ POJMU A CHARAKTERISTIKA PŘÍSTROJE</u>	8
2.2. <u>HLAVNÍ KOMPONENTY TOTÁLNÍCH STANIC</u>	9
2.3. <u>TOTÁLNÍ STANICE LEICA TCR 407</u>	10
2.4. <u>OVĚŘENÍ CENTROVAČE PŘÍSTROJE</u>	12
3. MĚŘENÍ DÉLEK	14
3.1. <u>ZÁKLADNÍ METODY MĚŘENÍ DÉLEK A URČOVÁNÍ DÉLEK</u>	14
3.2. <u>MĚŘENÍ DÉLEK ELEKTRONICKÝMI DÁLKOMĚRY</u>	15
3.2.1. Světelné dálkoměry	17
3.2.2. Optické systémy	18
3.3. <u>SPECIFIKACE PŘESNOSTI ELEKTRONICKÝCH DÁLKOMĚŘŮ</u>	19
3.4. <u>ZDROJE CHYB PŘI MĚŘENÍ DÉLEK</u>	20
4. MĚŘENÍ SMĚRŮ A ÚHLŮ	22
4.1. <u>METODY MĚŘENÍ SMĚRŮ A ÚHLŮ</u>	22
4.2. <u>MĚŘENÍ VODOROVNÝCH SMĚRŮ</u>	23
4.2.1. Měření vodorovných směrů ve skupinách	23
4.2.2. Chyby při měření vodorovných směrů.....	24
4.3. <u>MĚŘENÍ SVISLÝCH ÚHLŮ</u>	26
4.3.1. Měření zenitových úhlů v obou polohách dalekohledu	27
4.3.2. Nevyhnutelné chyby při měření svislých úhlů.....	28
5. ZÁKLADY TEORIE CHYB	29
5.1. <u>ÚVODNÍ POZNÁMKY</u>	29
5.2. <u>MĚŘICKÉ CHYBY</u>	29
5.2.1. Omyly a hrubé chyby	29
5.2.2. Systematické chyby.....	30
5.2.3. Náhodné chyby.....	30
5.3. <u>ZÁKONY O ROZDĚLENÍ CHYB</u>	30
5.4. <u>KRITÉRIA PRO ZJIŠTĚNÍ SYSTEMATICKÝCH CHYB</u>	32

6. CÍL A METODIKA PRÁCE	33
7. MĚŘICKÉ POSTUPY OVĚŘOVÁNÍ PŘÍSTROJE	34
7.1. <u>OVĚŘOVÁNÍ PŘESNOSTI DÁLKOMĚRNÉ ČÁSTI PŘÍSTROJE VE HVĚZDĚ</u>	35
7.1.1. Ověření dle ČSN ISO 8322-8	35
7.1.2. Testování shody přesnosti naměřených hodnot	37
7.1.3. Testování na přítomnost systematických chyb	38
7.2. <u>URČENÍ SOUČTOVÉ KONSTANTY HRANOLŮ</u>	40
7.2.1. Měřické práce	40
7.2.2. Výpočetní práce	41
7.3. <u>OVĚŘENÍ PŘESNOSTI ÚHLOMĚRNÉ ČÁSTI PŘÍSTROJE</u>	43
7.3.1. Přesnost měřeného vodorovného směru	43
7.3.2. Střední indexová chyba měřeného svislého úhlu	49
8. ZÁVĚR.....	52
POUŽITÁ LITERATURA.....	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	55

1. ÚVOD

Geodézie stejně jako ostatní vědní disciplíny prochází postupným vývojem, a tak zároveň se zvyšováním nároků na preciznost, kvalitu a usnadnění provádění geodetických prací dochází ke zlepšování parametrů měřících přístrojů. Od prostého určování rozměrů pomocí rozličných částí těla, přes jednoduché úhlooměry a dálkoměry, sextanty, teodolity a jiné vybavení, dospěla technika s vývojem poznání až k současným zařízením schopným měřit zároveň vzdálenosti i úhly.

Totální stanice typu TCR 407 jsou moderní geodetické přístroje, používané pro základní aplikace geodetické praxe, umožňující registraci měřených dat, přenesení těchto dat do počítače a tím usnadňují jejich následné zpracování. Vyrábějí se podle norem ISO řady 9000, které zajišťují jejich kvalitu. Přesto se vlastnosti a přesnost přístroje uváděné výrobcem mohou vlivem různých činitelů po určité době používání měnit, a proto je třeba provádět pravidelné kontroly parametrů, např. podle ČSN ISO 17123.

Cílem diplomové práce je ověřit přesnost nové totální stanice Leica TC(R) 407 v.č. 660021 z majetku Katedry pozemkových úprav Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, každodenně využívané při výuce studentů. Ověřovány jsou údaje dosažené měřickými a výpočetními postupy a získané výsledky jsou následně porovnány s údaji udanými výrobcem. Testována byla přesnost dálkoměru i úhloměrné části přístroje. Přesnost byla určena na srovnávací základně Hvězda (dálkoměr) a na střeše Stavební fakulty (úhloměrná část) v Praze a testování bylo dokončeno finálním prověřením preciznosti obou částí přístroje v Mariánské u Jáchymova pomocí různých odrazných hranolů. Hodnoty byly naměřeny v období od 4. do 11. září 2007 za různých podmínek. Práce je hlouběji zaměřena na ověření přesnosti měřeného vodorovného směru, vzdálenosti a svislých úhlů. Teoretická část pojednání je zaměřena na základní metody měření a určování délek, princip elektronického měření směrů a teorii chyb.

2. TOTÁLNÍ STANICE

2.1 Vysvětlení pojmu a charakteristika přístroje

Vžitým pojmem totální stanice je označována kombinace elektronického teodolitu a elektronického dálkoměru se vzájemným přenosem dat a možností připojení společného záznamníku. Dnes obvykle tvoří konstrukčně kompaktní jednotku s vestavěnými akumulátory. Řídící panely jsou umístěny na alhidádě pod oběma konci dalekohledu. Přístroje se obsluhují tlačítky ovládacího panelu. Maticové víceřádkové displeje zobrazují alfanumerickými údaji vodorovné směry a svislé úhly, šikmou a vodorovnou vzdálenost a relativní převýšení stanoviska a cíle a provozní informace. Běžným vybavením je funkce tracking, při níž se měří šikmá vzdálenost každých 2 – 5 sekund i na pohybující se cíl. Přístroje jsou vybaveny zvukovým nebo světelným signálem pro snadnější vyhledávání odrazného hranolu a akustickým nebo dvoubarevným světelným signálem pro průběžné zařazování neseného hranolu do vytyčovaného směru.

Totální stanice jsou příčinou značného rozšíření polární metody ve všech oblastech geodetických prací. Výraznou výhodou je možnost „on-line“ navazujícího zpracování dat počítačem s využitím předností grafických procedur. Jsou též základem dalších 3D systémů prostorových měření opět s možností úplné automatizace průběhu včetně vyhledávání a zacílení bodu, osazeného odrazným hranolem. [6]

Dvouosý kompenzátor umožňuje automatické zavádění oprav směrů a zenitových úhlů, jako např. kolimační a indexové chyby. Délky je možné opravit o hodnoty korekcí např. do nulového horizontu a z kartografického zkreslení. Zabudovaný software umožňuje dokonalé využití přístroje s možností do programu buď zasahovat, nebo vytvářet vlastní. Běžnou rutinou je přímý výpočet 3D souřadnic měřených bodů ve státních referenčních systémech, resp. Jejich zpětný převod na vytyčovací prvky.

Většina vyráběných přístrojů má koaxiální dalekohled (optická osa dalekohledu a dálkoměru jsou totožné). Nejnovější přístroje dovolují ovládat přístroj přímo od hranolu. [2]

2.2 Hlavní komponenty totálních stanic

Totální stanice se skládají z několika komponentů: elektronický teodolit, elektrooptický dálkoměr, displej, laserový nebo optický centrovač, datová a programová paměť, klíny pro sledování strmých cílů atd. Přestože se komponenty jednotlivých přístrojů mohou lišit podle typu a výrobce, základní součásti zůstávají u všech přístrojů stejné.

- Alhidáda – vrchní část, která se při měření otáčí. Je to v první řadě čep, zapadající do pouzdra válce a umožňující otáčení přístroje kolem jeho osy. Této ose se říká osa alhidády nebo také svislá osa. S čepem je pevně spojena dalekohledová vidlice ukončená pouzdry, do nichž je uložena osa dalekohledu, který tvoří jednu z nejpodstatnějších součástí přístroje.
- Ustanovky - ovládají otáčivý pohyb kolem obou os. Jedna ustanovka (*horizontální*) ovládá otáčení kolem osy alhidády, druhá ustanovka (*vertikální*) kolem točné osy dalekohledu. [2]
- Kompenzátor - je konstrukční prvek, který se vlivem tíže staví do takové polohy, že kompenzuje při čtení výškového kruhu odklonění osy alhidády od svislice. Zatímco jednoosý kompenzátor je schopen reagovat na odklonění svislé osy pouze v jednom směru (záměrné přímce), dvouosý kompenzátor (např. kapalinový) může reagovat ve všech směrech.
- Trojnožka – má ve spodní části pérovací destičku, do které se zašroubuje upínací šroub stativu a tím se teodolit připevní ke stativu. Dále jsou na trojnožce 3 stavěcí šrouby k urovnání teodolitu, tj. k přivedení vertikální osy V do svislé polohy (horizontaci). V horní části trojnožky je lůžko pro vlastní přístroj, který

je možno po uvolnění svěrného šroubu z trojnožky vyjmout a místo něj do trojnožky vložit různé terče.

- Dalekohled – může být buď čočkový nebo čočkozrcadlový.
- Libely – každý současný teodolit je vybaven trubicovou libelou, podle níž se teodolit přesně urovná stavěcími šrouby. Většina teodolitů je doplněna hrubou krabicovou libelou pro hrubé urovnání. [8]

2.3 Totální stanice Leica TCR 407



Obr. 2.1: Totální stanice Leica TCR 407 a její popis

Tento přístroj je vysoce kvalitní totální stanice dodávaná firmou Leica Geosystems AG se sídlem v Heerbruggu ve Švýcarsku na český trh prostřednictvím firmy Gefos Praha.

Vnitřní charakteristiky přístroje

Elektrooptický dálkoměr totální stanice pracuje na principu fázového měření délek a umožňuje měření délek až do 3 500 m na hranol a do 250 m na odraznou fólii. U přístrojů TCR je možné používat různá nastavení dálkoměru pro měření s viditelným (RL) a neviditelným (IR) paprskem. V závislosti na zvoleném režimu měření je možno použít několik typů hranolů. Výrobce udává přesnost standardního měření délek 2 mm + 2 ppm (doba měření 2,4 s) a délkového permanentního měření (tracking) je 5 mm + 2 ppm (doba jednoho měření délky je menší než 0,15 s).

Přístroj umožňuje kontinuální měření úhlů a standardní odchylka přesnosti je 2 mgon (7") pro vertikální i horizontální směr. Vnitřní paměť je 576 kB.

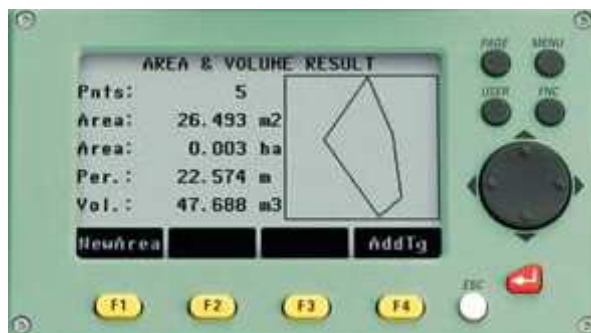
Vnější charakteristiky přístroje

Zvětšení dalekohledu totální stanice Leica TCR 407 je $\Gamma = 30x$. Zaostrování dalekohledu je v rozsahu 1,7 metru až na nekonečno.

Pro hrubé urovnání je přístroj vybaven krabicovou libelou v trojnožce o citlivosti 6' / 2 mm a elektronickou libelou na displeji. Po jejím urovnání začne fungovat dvouosý kapalinový kompenzátor, který v případě velkého naklonění přístroje upozorní na porušení horizontace.

K centraci přístroje slouží laserová olovnice (centrovač) vestavěná v přístroji, jejíž odchylka od svislice je 1,5 mm při výšce přístroje 1,5 m. Intenzita laserové stopy je nastavitelná. Její spolehlivost a přesnost byla též testována v kapitole 2.4.

Totální stanice odolává v provozním režimu teplotám -20 až +50 °C. Displej je vyhřívaný, podsvícený a přehledný, multifunkční klávesy napomáhají snazšímu ovládání.



Obr. 2.2: Displej totální stanice Leica TCR 407

Kapitola byla vypracována z informací vyhledaných na webových stránkách firmy Leica Geosystems AG [14], [9] a zejména z [10].

2.4 Ověření centrovače přístroje

Laserový centrovač (laserová olovnice) je umístěn „na pevno“ ve spodní pohyblivé části přístroje, tudíž nelze provést běžný postup pro kontrolu správné funkčnosti centrovače, a proto byl použit následující postup.

Postup ověření centrovače:

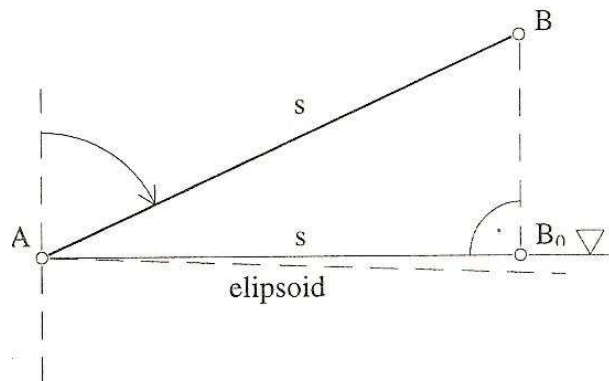
1. Na hlavu hrubě zhorizontovaného velkého těžkého stativu firmy Leica se pomocí upínacího šroubu připevnil teodolit Zeiss Theo 010 A. Poloha nohou a hlavy stativu se fixovala (zajistila) přítužnými páčkami.
2. Pomocí krabicové libely se stativ hrubě zhorizontoval a následně pomocí stavěcích šroubů trojnožky se přístroj přesně dohorizontoval.
3. Pod optický centrovač teodolitu se na zem vodorovně připevnil papír, na který se zaznamenaly polohy optické centrační značky ve dvou směrech vzájemně kolmých (tj. polohy I, II, III, IV).
4. Teodolit Zeiss Theo 010A byl poté na univerzálním středovém šroubu stativu, jehož poloha je neměnná, nahrazen totální stanicí Leica TCR 407.

5. Po horizontaci přístroje Leica by měl po zapnutí centrovače laserový paprsek procházet pomyslným středem kružnice, kterou vytvořily zaznamenané polohy optického centrovače teodolitu Zeiss Theo 010 A.
6. Po překontrolování byl střed laserové stopy centračního paprsku 1 mm mimo pomyslný střed kružnice a centrovač tedy splňuje podmínku danou výrobcem i vyhláškou [11]. Bylo tedy možné pomocí něho při měření centrovat.

3. MĚŘENÍ DÉLEK

3.1 Základní metody měření délek a určování délek

Délka je definována úsečkou mezi dvěma koncovými body A a B (obr. 3.1).



Obr. 3.1: Grafické znázornění definice délky

Obecně jde o délku šikmou. V geodetické praxi se měří buď přímo šikmá délka s' nebo její průmět s ve vodorovné rovině (v tečné rovině k hladinové ploše v jednom z koncových bodů). Podle druhu měřených veličin se dělí metody měření délek na přímé a nepřímé. Přímé se měří délky jen s měřidly (pásmem, invarovým drátem apod.) K přímým metodám se také často řadí ty, u nichž se přímo čte výsledná šikmá nebo vodorovná délka, např. měření délek optickými dálkoměry (diagramovými, dvojobrazovými, paralaktické určování délek) a elektronickými dálkoměry. Za nepřímé určování délek je považováno trigonometrické odvození z jiných hodnot.

Nejstarším způsobem je **měření délek měřidly**. Měřidla se postupně kladou za sebou ve vertikálním profilu délky a součtem všech kladů převedených do stejné úsečky se získá její velikost. Jde o zdlouhavý, namáhavý a málo produktivní způsob měření. Proto se dnes používá jen k měření krátkých nebo jednotlivých délek.

Elektronické dálkoměry jsou nejrozšířenějšími dálkoměrnými přístroji. Dělí se na *světelné* (elektrooptické) a *rádiové*. V praxi se dnes téměř výhradně měří délky světelnými dálkoměry. Mají vysokou přesnost a dosahují vysoké produktivity měřických prací. Ve spojení s elektronickým teodolitem, mikropočítačem a připojením dalších zařízení vytvářejí univerzální měřické soupravy (stanice) vhodné pro většinu geodetických prací. Takové přístroje zajišťují mimo jiné automatické zpracování výsledků, jejich převod do výpočetní plochy, všechny potřebné výpočty na stanovisku a zároveň ukládají výsledná data do paměti.

Trigonometrické určování délek vychází z jejich odvození pomocí geometrických obrazců, zpravidla trojúhelníků, čtyřúhelníků a polygonových pořadů, v nichž jsou měřeny jiné veličiny (úhly, délky a souřadnice). Používá se především v těch případech, kdy jeden nebo oba koncové body jsou nepřístupné nebo mezi nimi není volná přímá záměra. Měřické práce však bývají časově náročnější.

Paralaktické a optické metody určování délek jsou v podstatě zvláštní skupinou trigonometrických způsobů určování délek, kdy se délky počítají zpravidla ze štíhlých trojúhelníků. Výsledné délky s , s' se odvozují ze známé základny b a ze známého dálkoměrného úhlu δ . Trojúhelníky jsou pravoúhlé a rovnoramenné nebo obecné. [1]

3.2 Měření délek elektronickými dálkoměry

V současné době lze všechny běžné i špičkové geodetické přístroje označit za elektronické, protože jejich princip činnosti a metody měření jsou založeny nebo úzce spojeny s elektronikou. Elektronickými dálkoměry, které se začaly prakticky vyvíjet od třicátých let, se měří délky pomocí vhodných druhů elektromagnetických vln. Vývoj přístrojů probíhal dvojí cestou, podle toho, které pásmo elektromagnetických vln bylo použito k měření délek. Rozlišují se tak světelné (elektrooptické) a rádiové dálkoměry. Oba druhy přístrojů nebyly původně konstruovány pro geodetické práce. Světelné dálkoměry začali fyzikové konstruovat především k přesnějšímu určení rychlosti světla. Podobně rádiové systémy byly určeny k radiolokaci a navigaci letadel a lodí.

Myšlenka měření délek světelnými vlnami vznikla na konci 19. století. Konkrétní upozornění na možnost konstrukce dálkoměrů se objevily po první světové válce. Přispěly k tomu jak stále přesnější hodnoty určení rychlosti šíření světla, tak návrhy na využití Kerrovy buňky k modulaci světelných dálkoměrů. Po druhé světové válce začal být vyráběn ve Švédsku firmou AGA první světelný dálkoměr, nazvaný podle jeho hlavního konstruktéra Bergstrandův geodimetr. Dosahoval poměrně velké přesnosti měření délek, charakterizované chybou několika centimetrů na vzdálenost přes 10 km.

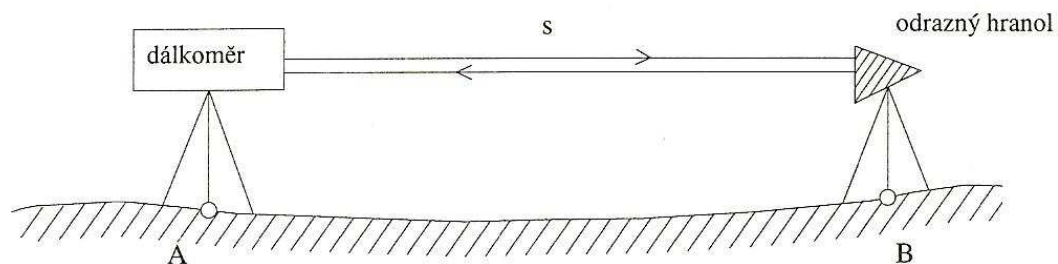
Rádiové dálkoměry vznikaly zejména v souvislosti s vývojem radiolokátorů. Ideové návrhy na samostatné rádiové dálkoměry byly zveřejněny ve 30. letech. Rychleji však postupovala konstrukce radiolokátorů, jejichž součástí byly i přístroje k rádiovému měření délek. Bylo to způsobeno potřebami 2. světové války. Po jejím skončení se začaly radiolokátory zkoušet i pro určení délek dlouhých až několik kilometrů.

V posledních dvou desetiletích se běžné geodetické práce orientovaly výhradně na světelné dálkoměry, s dosahem několika kilometrů, které mají vysokou přesnost a spolehlivost určení délek. Pozemní rádiové dálkoměry se již nepoužívají vzhledem k jejich poněkud nižší přesnosti a nutnosti obsluhy na obou koncových bodech. Pokud je třeba určit délky mezi body, jejichž vzájemná záměra není volná, nebo délky přes jeden nebo několik málo kilometrů, používá se vesměs nepřímé metody výpočtu délky nebo určení ze souřadnic koncových bodů určených metodou GPS.

Princip činnosti elektronického dálkoměru je založen na měření času, za který projde elektromagnetický signál určenou délkou s tam a nazpátek. Šikmá délka se vypočte pomocí jednoduchého vztahu:

$$s = \frac{v \cdot \tau}{2} + k_a, \quad (3.1)$$

kde v je rychlost šíření vln podél její dráhy, τ je čas průběhu a k_a adiční konstanta přístroje. [1]



Obr. 3.2: Schéma měření délky elektronickým dálkoměrem

3.2.1 Světelné dálkoměry

Světelné (elektrooptické) dálkoměry jsou v geodézii rozhodující skupinou přístrojů k měření délek v rozsahu od několika metrů do několika kilometrů. Vyznačují se vysokým stupněm přesnosti, rychlosti a automatizace měření. Bývají také vybaveny mikro počítači a programy ke zpracování výsledků měření, k jejich převodu do výpočetní plochy a k základním geodetickým výpočtům. Výsledné délky a z nich vypočtené veličiny mohou být podle potřeby ukládány do paměti.

V geodetické praxi se v současné době používají zpravidla světelné dálkoměry malého dosahu do vzdálenosti několika kilometrů. Samostatné dálkoměry se vyrábějí zejména k měření délek do několika desítek až set metrů, anebo k velmi přesnému měření délek pro speciální práce v inženýrské geodézii a k zaměřování geodetických srovnávacích základen. Pro běžné geodetické práce jsou dálkoměry malého rozsahu téměř vždy součástí elektronických tachymetrů, měřických souprav a integrovaných měřických systémů, umožňujících vykonávat v terénu většinu měřických a výpočetních prací. Dříve používané dálkoměry středního a velkého rozsahu, jimiž bylo možno měřit délky až do 80km, byly v posledních patnácti letech nahrazeny nepřímým měřením délek z přesných družicových měření polohy bodů. V ČR se používá řady typů světelných dálkoměrů vyráběných různými firmami, např. Leica (Wild, Kern), Topcon, Trimble (Zeiss, Geodimeter), Sokkia, Nikon atd.

V praxi se používají buď světelné dálkoměry s přímým měřením časového intervalu t , pracující v impulsovém provozu, anebo dálkoměry s nepřímým určením časového intervalu pomocí měřených fázových rozdílů modulačních signálů.

Velké možnosti pro rozvoj světelných dálkoměrů znamenaly některé druhy kvantových generátorů světla, tzv. **lasery** (light amplification by stimulated emission of radiation). Světlo emitované lasery má některé výhodné vlastnosti pro měření délek. Předně se vyznačuje vysokou monochromaticností (vysokou stabilitu frekvence koherentního světla). Jas laserů může značně převyšovat i jas Slunce na povrchu Země. Světlo se také vyznačuje vysokou intenzitou záření. Lasery se dělí podle druhu látky, z které je vytvořeno aktivní prostředí, do čtyř skupin a to na plynové, v pevné fázi, polovodičové a kapalinové.

Některé typy světelných dálkoměrů

Vzhledem k univerzálnosti geodetických přístrojů jsou světelné dálkoměry zpravidla součástí elektronických tachymetrů nebo měřických soustav. Přesto se ještě používají i samostatné dálkoměry. Podle jejich konstrukce a účelu je možno je rozdělit do tří skupin: na nasazovací dálkoměry na teodolit, na samostatné dálkoměry s vysokou přesností a na ruční dálkoměry. [1]

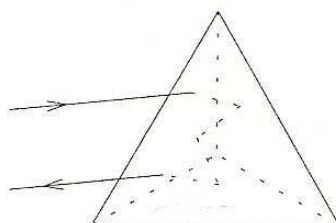
3.2.2 Optické systémy

Optické systémy světelných dálkoměrů je možno rozdělit na tři hlavní části: vysílací optický systém, přijímací optický systém a odrazné zařízení.

Vysílací systém se v podstatě skládá ze zdroje světla, kondenzoru a objektivu. Kondenzor soustřeďuje světlo vycházející ze zdroje do modulátoru. Objektiv vytváří téměř rovnoběžný paprskový svazek, který je nasměrován na odrazné zařízení. Některé světelné dálkoměry používaly speciálního čočkozrcadlového objektivu. Sférické zrcadlo umožňuje lépe soustředit světelné paprsky do rovnoběžného svazku. K zaměření dálkoměrů na odrazné zařízení slouží pomocné dalekohledy nebo jiné zaměřovací zařízení.

Odrazná zařízení, která plní u světelných dálkoměrů funkci pasivní odrazné stanice, se dělí na zrcadla, čočkozrcadlové systémy, hranoly a odrazné fólie.

Příkladem odrazného hranolu je pravidelný trojboký skleněný jehlan, jehož podstavec leží přibližně v kolmé rovině ke směru dopadajícího světla a jehož stěny tvoří zrcadlové plochy (obr. 3.3).



Obr. 3.3: Odrazný hranol

Dopadající světlo prochází podstavou hranolu, třikrát se odráží od jeho stěn a vrací se v rovnoběžném směru zpět k přijímacímu systému dálkoměru. Přesnost nasměrování hranolů může být velmi malá, kolem 20°. Při odrazu hranolem dochází přibližně ke ztrátě 30% světla. Hranoly se mohou spojovat v hranolové soustavy. Jejich počet závisí na měřené délce a druhu dálkoměru. [1]

3.3 Specifikace přesnosti elektronických dálkoměrů

Přesnost elektronického dálkoměru a připojeného hranolu je často specifikována výrobcem jako součet konstantní složky a a složky b závislé na vzdálenosti ve tvaru

$$\hat{s} = \pm (a + b \text{ ppm})$$

kde \hat{s} je střední kvadratická chyba, ppm je parts per milion ($1 \text{ ppm} = 10^{-6} \cdot d$).

Konstanta a zahrnuje:

- tzv. nulovou chybu způsobenou tím, že se neztotožňují mechanický a elektronický střed přístroje;

- cyklickou chybu, systematickou chybu objevující se jako periodická funkce jednotkové délky, obecně způsobená elektronickými nebo optickými poruchami přijímací stanice.

Podstatné je ověřit před prvním použitím zvoleného přístroje a periodicky i potom, že přístroj funguje podle specifikace výrobce. [5]

V ČSN EN ISO 9001/2000 *Systémy managementu jakosti – Požadavky* je stanoveno, že v případě, kdy je nezbytné zajistit platné výsledky, musí být měřicí zařízení kalibrováno, ověřováno, nebo justováno. V ČSN EN ISO 10012/2003 *Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení* jsou stanoveny požadavky na dodavatele výrobků a služeb a dále na organizace, v nichž se měření používá, které mají zajistit, aby měření bylo prováděno s potřebnou přesností. [7]

V resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního garantuje metrologii délek Státní metrologické středisko ve Výzkumném ústavu geodetickém, topografickém a kartografickém (VÚGTK) v Praze ve Zdíbech. Toto pracoviště slouží pro všechna národohospodářská odvětví v oboru geodézie a za úplatu ověřuje všechny druhy geodetických měřidel. [1]

3.4 Zdroje chyb při měření délek

Přesnost během používání elektronických dálkoměrů je ovlivněna ještě jinými faktory, než které jsou vlastní těmto přístrojům, tj. nulová, měřítková a cyklická chyba.

Některými z těchto faktorů jsou:

- chyby z centrace (Pro omezení vlivu chyby v centraci byla vyvinuta *trojpodstavcová souprava*, která umožňuje záměnu přístroje (teodolitu, dálkoměru) a cílové značky (terč, odrazný hranol) v třínožce. Trojpodstavcová souprava nevyloučí chybu z centrace (absolutně), ale pouze umožní zajistit svislou osu přístrojů a záměrných zařízení na stejném místě při jejich vzájemné výměně.)
- nesprávné zacílení

- nedostatečné napětí
- nevhodná síla signálu (toto může být způsobeno buďto příliš nízkou intenzitou signálu, např. orosením nebo mlhou, nebo příliš vysokou intenzitou signálu způsobenou nesprávnou funkcí automatické redukce přijímaného signálu)
- zanedbání pokynů uvedených výrobcem
- chyby v meteorologických údajích
- nesprávné nastavení meteorologického spínače
- změny v modulační frekvenci jednotkové délky
- jiné nepředvídané faktory na místě.

Mnoho chyb se může redukovat následným opravným zaměřením nebo postupy pro údržbu. Jiné chyby jsou způsobeny stárnutím určitých prvků v přístroji. Proto je velmi důležité přístroj často kontrolovat. [5]

4. MĚŘENÍ SMĚRŮ A ÚHLŮ

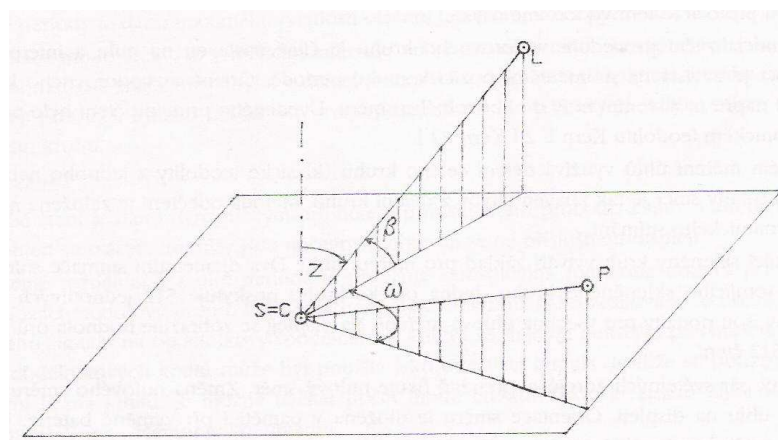
4.1 Metody měření směrů a úhlů

Univerzální přístroje snímají úhlové údaje kruhů metodou inkrementální, indukční, dynamickou nebo kódovými kruhy. V případě inkrementální metody je nutné po zapnutí přístroje protočit dalekohled kolem vodorovné osy v první poloze, případně i otočit alhidádou kolem vertikální osy, aby došlo k sejmutí nulového indexu kruhu.

Přesnost měřeného směru se pohybuje v rozsahu od 0,1 mgon do 5 mgon. Měřiči je umožněna volba úhlových jednotek: *šedesátinné* (360°), *setinné* (400 grad, gon), výjimečně *nonagezimální* ($360,0 \text{ deg}$), *dílčové* (6400 nebo 6000 mil), svislé úhly mohou být vyjádřeny sklonem (%). Horizontální úhly lze měřit pravo nebo levotočivě, případně zvolit přesnost zobrazení, tzv. hrubý a jemný mód měření. [1]

Prostorovou polohu směru, vycházejícího z počátku soustavy (stanoviska) S na jiný bod (cíl) L v prostoru, je možno stanovit dvěma úhly – vodorovným ω a svislým β .

Vodorovný úhel ω je dán úhlem průsečnic vodorovné roviny, jdoucí stanoviskem S a dvou svislých rovin, z nichž jedna prochází stanoviskem a levým bodem L, druhá stanoviskem a pravým bodem P (obr. 4.1). Při měření ve skupinách je vodorovný úhel rozdílem směrů pravého a levého ramene.



Obr. 4.1: Schéma vodorovného a svislého úhlu

Průsečnice svislé roviny procházející stanoviskem a cílem s rovinou vodorovnou se nazývá *vodorovný směr* na cíl. Úhel svislých rovin od základního směru se nazývá *směrník*. Směrníky vztažené k určitým směřům se označují názvy, např.: orientovaný směr, astronomický azimut, magnetický azimut atd.

Svislý úhel β vyjadřuje odchylku směru SL od jeho průmětu do vodorovné roviny (tzv. výškový úhel β) nebo dnes nejčastěji od svislice (zenitu) jdoucí stanoviskem S ($90^\circ - \beta$), tzv. *zenitový úhel z* (obr. 4.1).

Velikost jednotlivých úhlů, vodorovných i svislých, lze stanovit vhodně zvolenými měřickými metodami pomocí různých pomůcek a přístrojů. [2]

4.2 Měření vodorovných směrů

4.2.1 Měření vodorovných směrů ve skupinách

Tato metoda je základní teodolitovou metodou při určování bodů polohového pole a většiny úhlových měření, je-li třeba určit na jednom stanovisku větší počet úhlů se společným vrcholem. Princip této metody spočívá v zaměření osnovy vodorovných směrů v obou polohách dalekohledu. Vzhledem k často vysokým nárokům na přesnost používáme většinou vteřinovou totální stanicí a chceme-li docílit dobrých výsledků, je třeba s ním zacházet jemně – s citem, a co nejpřesněji cílit. Měří se ve dvou nebo více skupinách, z kterých se vypočte aritmetický průměr.

Postup je takový, že se dalekohledem v 1. poloze zacílí na zvolený výchozí bod, nastaví se Hz přibližně na nulu a čtení se zapíše. Pak postupně zaměříme na všechny dané směry, čtení vždy zapíšeme. Nyní proložíme dalekohled do druhé a opět postupně zamíříme na všechny body, ale v opačném pořadí. V zápisu se to projeví tím, že druhou polohu budeme zapisovat postupně zdola nahoru. Tím bylo ukončeno měření v 1. skupině.[8]

Podle odchylek průměrů jednotlivých skupin od výsledného průměru všech skupin se posuzuje kvalita provedeného měření. [2]

4.2.2 Chyby při měření vodorovných úhlů

Chyby, které se při měření vodorovných úhlů vyskytují, můžeme rozdělit do tří hlavních skupin, a to:

- chyby z konstrukční nedokonalosti přístroje
- chyby z nepřesného postavení přístroje a signálu
- chyby z nedokonalosti vlastních měřických výkonů.

Chyby z konstrukční nedokonalosti přístroje

Jsou to zbytkové chyby osové po rektifikaci a chyby způsobené nepatrnými konstrukčními nedokonalostmi při výrobě jednotlivých součástí. Jde o tyto chyby:

a) chyby hlavních os

- chyba kolimační (záměrná přímka není kolmá na klopnou osu dalekohledu)
- chyba úklonná (klopná osa dalekohledu není-li kolmá na svislou osu alhidády)

Tyto chyby je možno vyloučit proložením dalekohledu, tj. měřením ve 2 polohách. Pokud ale měříme jen v jedné poloze dalekohledu, pak si musíme být vědomi, že vliv těchto chyb se zvětšuje se vzrůstajícím výškovým úhlem.

b) chyby z nesvislé točné osy přístroje (alhidády)

Totální stanice tyto chyby řeší kompenzátorem.

Chyby z nesprávného postavení přístrojů a signálů

K těmto chybám patří:

- chyba z nesprávné horizontace přístroje
- chyba z nesprávného dostředění přístroje
- chyba z nesprávného dostředění signálů
- chyba z nepevného postavení přístroje. [3]

Chyby z nedokonalosti vlastních měřických výkonů

a) chyba v cílení

Chyba v cílení vzniká nepřesným nastavením ryskového kříže na svislou osu cílové značky. Tato chyba má charakter náhodné chyby a závisí na mnoha okolnostech, které lze rozdělit zhruba do čtyř skupin:

- *na vlastnostech dalekohledu*, tj.

- na výkonnosti dalekohledu (zvětšení, světelnost, zřetelnost dalekohledu)
- na úpravě ryskového kříže, jehož svislá ryska může být jednoduchá, dvojitá nebo kombinací obojího, rysky mohou být u středu přerušené nebo protažené přes střed apod.
- na stabilitě záměře osy při přeastřování,

- *na vlastnostech cíle*

- rozdílný tvar, velikost a barva cílové značky, celkové osvětlení, ale i směr osvětlení, přičemž zvlášť nebezpečné je osvětlení boční. Proto se snažíme cílit v první poloze po směru a ve druhé poloze proti směru chodu ručiček (u zenitových úhlů cílením zdola a po druhé shora).

- *na stavu ovzduší*

Zejména na jeho průhlednosti (mlha) a teplotě, s teplotou souvisí:

- *vibrace*, tj. chvění přehřátého vzduchu nízko nad terénem, což se projevuje chvěním cílové značky,
- *refrakce*, při které je světelný paprsek procházející nestejně teplými vzduchovými vrstvami (tedy vrstvami o různé hustotě s rozdílným indexem lomu) vychýlen z přímého směru. Při měření vodorovných směrů má velmi nepříznivý vliv, tzv. boční refrakce, která se uplatňuje zejména u dlouhých záměr probíhajících kolem zahřátých objektů,

- *na schopnostech měřiče*

- zejména na jeho zrakové schopnosti, cviku, zkušenosti a svědomitosti při provádění jednotlivých měřických úkonů.

b) chyba v odečtení na limbu

U klasických teodolitů vzniká chyba v odečtení buď nesprávným odhadem části nejmenšího dílku stupnice podle polohy odečítacího indexu, nebo při koincidenčním způsobu odečítání, nepřesným nastavením obrazů rysek do koincidence optickým mikrometrem.

U elektronických teodolitů je chyba v odečtení uvedena na prospektu a měřič ji prakticky nemá možnost ovlivnit. [2]

4.3 Měření svislých úhlů

Svislé (vertikální) úhly se měří ve svislé rovině záměrně, procházející vrcholem měřeného úhlu a odečítají se na vertikálním kruhu, jehož rovina je rovnoběžná se svislou osou záměrnou. Základním směrem pro měření vertikálních úhlů je směr vodorovný nebo svislý (od zenitu) – podle toho se měřené úhly označují buď jako **úhly výškové nebo zenitové**. Bývá zvykem označovat zenitové úhly písmenem z a výškové úhly řeckým písmenem β . Zenitový úhel se v některé starší literatuře označuje též jako zenitová vzdálenost, což má původ v astronomii, kde se vzdálenosti označují v úhlové míře. Naopak podle nové symboliky mu přísluší značení ξ .

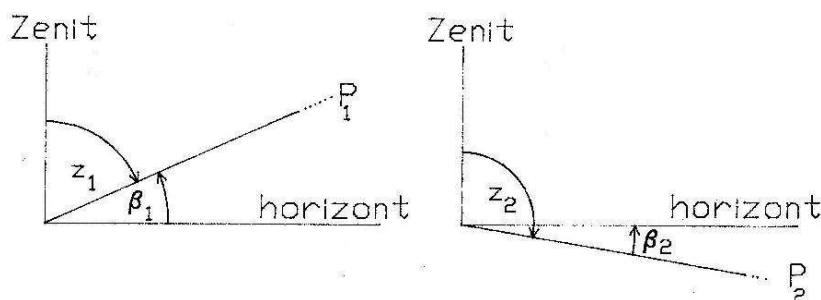
Výškový úhel β je úhel, který svírá záměrná přímka s vodorovnou rovinou, proloženou vrcholem úhlu, tj. vodorovnou točnou osou dalekohledu (rovinou zdánlivého horizontu přístroje) a je *kladný*, je-li měřen nad horizont, nebo *záporný*, je-li měřen pod horizont. V tomto druhém případě bývá úhel nazýván také *hloubkovým*. Výškové úhly mohou nabývat hodnot v intervalu od 0 do ± 100 gon ($\pm 90^\circ$).

Zenitový úhel z je úhel, který svírá záměrná přímka se svislicí, tj. s osou alhidády urovnaného přístroje, která směřuje k zenitu. Je vždycky kladný, počítá se od 0 do 200 gon (180°) a pro vodorovnou záměru je $z = 100$ gon (90°) [2].

Vzájemný vztah zenitového úhlu z a výškového úhlu β je dán rovnicí (4.1), kde obecně platí, že součet zenitového a výškového úhlu je pro záměru na stejný bod vždy roven 100 gon (90°):

$$z + \beta = 100 \text{ gon}, \quad (4.1)$$

proto $z_1 + \beta_1 = 100 \text{ gon}$ a $z_2 + (-\beta) = z_2 - \beta_2 = 100 \text{ gon}$.



Obr. 4.2: Vzájemný vztah zenitového a výškového úhlu

4.3.1 Měření zenitových úhlů v obou polohách dalekohledu

Zenitové úhly se měří vždy ve dvou polohách dalekohledu (výjimkou jsou jen některé méně přesné práce s požadavkem rychlého měření, např. v tachymetrii tj. při současném určení polohy a výšky podrobných bodů).

Zatímco při měření vodorovných směrů se měří nejprve všechny směry v první poloze a po jejím skončení směry ve druhé poloze, při měření zenitových úhlů následuje *druhá poloha bezprostředně po poloze první*. Tímto způsobem se snažíme eliminovat vliv krátkodobých změn *refrakce*.

Nejvhodnější dobou pro měření svislých úhlů je doba od 10 do 15 hodin, kdy různě teplé vzduchové vrstvy jsou již dostatečně promíseny a mění jen málo svoji teplotu a hustotu. Na tuto okolnost je třeba dbát tím více, čím delší jsou vzdálenosti na měřené body.

Tento způsob měření je zdlohavější než měření úhlů v jedné poloze, ale zato přesnější, protože určité systematické chyby se touto metodou vylučují.

Hodnota zenitového úhlu a indexové chyby se určí z průměrných hodnot čtení v první a druhé poloze dalekohledu. [2]

4.3.2 Nevyhnutelné chyby při měření svislých úhlů

Stejně jako při měření vodorovných úhlů, tak i zde je třeba vycházet ze skutečnosti, že ani přístroj (teodolit) ani měřič a jeho smysly nejsou absolutně dokonalé. Proto také i při měření svislých úhlů vznikají nevyhnutelné chyby nahodilé i systematické. Příčinu jejich vzniku a jejich vliv na výsledný vertikální úhel je třeba znát a umět je odstranit, nebo alespoň omezit do té míry, aby předpokládaná přesnost nebyla dotčena.

Chyby, které ovlivňují výsledky při měření svislých úhlů, je možno stejně jako u vodorovných rozdělit na tři hlavní skupiny:

Chyby přístrojové

- chyba kolimační
- chyba úklonná
- chyba indexová
- excentricita točné osy dalekohledu H
- excentricita přímky záměrné.

Chyby z nepřesného postavení přístroje

- chyba z nesprávně horizontace
- chyba z nesprávného dostředění přístroje.

Chyby při měřickém výkonu

Chyby, které vznikají při vlastním měřickém výkonu, jsou převážně nahodilé, na sobě nezávislé; nejsou proto tak nebezpečné jako chyby systematické.

Patří sem chyba:

- v zacílení, tj. nastavení vodorovného vlákna kříže na střed cílové značky
- z urovnání indexové libely nebo citlivosti kompenzátoru
- v odečtení příslušné hodnoty na svislém kruhu. [3]

5. ZÁKLADY TEORIE CHYB

5.1 Úvodní poznámky

Měříme-li několikrát tutéž veličinu za prakticky stejných podmínek, nedostaneme zpravidla shodné výsledky. Jednotlivé naměřené hodnoty se poněkud liší, protože jsou ovlivněny měřickými chybami. Příčinou měřických chyb je nedokonalost použitých přístrojů, pomůcek, lidských smyslů a měnící se vnější vlivy.

5.2 Měřické chyby

Měřením určité veličiny zjistíme její *měřenou hodnotu*. *Skutečnou hodnotu* veličiny měřením nezjistíme. Měřená a skutečná hodnota veličiny se liší o chybu měření. Měřické chyby se rozlišují podle původu i vlastností.

5.2.1 Omyly a hrubé chyby

Omyly mají původ v nesprávné práci měřiče. Jsou způsobeny jeho nepozorností, nebo nesprávným zacházením s přístrojem. Abychom omyl objevili, měříme každou veličinu nejméně dvakrát nezávisle. Omyly z řady měření musíme vyloučit a dále se jimi nebudeme zabývat.

Někdy se stane, že měření nápadně vybočuje z řady vlivem nepříznivých podmínek (silný vítr, vibrace obrazu cíle v dalekohledu), malé zkušenosti měřiče (měření za klidu před bouřkou apod.). Některá z těchto příčin zavíní *hrubou chybu*, která je někdy velmi podobná omylu. Měření s hrubou chybou je též třeba vyloučit z řady měření a dál ho neuvažovat. Hrubou chybu zjistíme podobně jako omyl opakovaným měřením, popřípadě měřením kontrolních hodnot.

5.2.2 Systematické chyby

Tyto chyby vznikají z jednostranně působících příčin. Za stejných okolností mají stejná znaménka a soustavně znehodnocují výsledky v určitém směru. Příkladem systematické chyby je měření délky měřidlem, jehož nominální délka je 1, ale skutečná délka je o c centimetrů kratší (delší). Říkáme, že výsledky měření jsou zatíženy *systematickými chybami*. Systematické chyby se snažíme vyloučit z výsledků měření seřízením přístrojů a pomůcek před měřením, úpravou měřického postupu, nebo po měření zavedením vhodných korekcí.

5.2.3 Náhodné chyby

Každé měření, zbavené systematických chyb (omyly a hrubé chyby již neuvažujeme), je zatíženo chybami, jejichž velikost a znaménko závisí jen na náhodě. V jednotlivých případech se tyto chyby neřídí žádnými zákonitostmi. Říká se jim proto *chyby náhodné*. Jsou vzájemně nezávislé, vyskytují se při každém měření a nelze je nijak eliminovat. Příčinou jejich vzniku je hlavně nedokonalost lidských smyslů a změny vnějších podmínek při měření. Mezi náhodné chyby patří např. chyba v zacílení, chyba ve čtení údaje stupnice (v odhadu údaje stupnice), chyba v přiřazení nuly měřítka při měření délek apod. [6]

Matematicky, statisticky, se dají zpracovávat takové soubory měření, kde se vyskytují jen *náhodné chyby*. Tyto chyby jsou zpravidla velmi malé a mohou nabývat se stejnou pravděpodobností znaménko plus i minus.

5.3 Zákony o rozdělení chyb

Pro velké soubory náhodných veličin (náhodných chyb) byly formulovány zákony o jejich rozdělení. Z hlediska statistiky rozeznáváme tzv. **základní soubor** (často se říká pouze jen soubor) a tzv. **výběrový soubor** (často jen výběr). Základní soubor je takový, ve kterém je velký počet prvků (náhodných chyb) ε_i . Zákony o rozdělení chyb exaktně platí vlastně teprve, když počet n prvků ε_i se blíží nekonečnu (n

$\rightarrow \infty$). *Výběr* je takový soubor, ve kterém je menší, konečný počet n prvků ε_i . Často však můžeme úspěšně aplikovat zákony o chybách, i jiné statistické poučky, i když jde jen o výběr.

Máme-li omezený, konečný počet n pozorování nějaké veličiny, a dokážeme-li určit (vypočítat) střední hodnotu (průměr) pozorované veličiny, můžeme také určit odchylky ε_i jednotlivých pozorování od střední hodnoty. Potom můžeme vypočítat **střední kvadratickou chybu m** :

$$m = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i \varepsilon_i}{n}}, \quad (5.1)$$

která se v novější terminologii nazývá **standardní odchylka** výběru a značí se σ . Hodnota m^2 se též nazývá variace výběru. Máme-li velký počet n pozorování, blížící se nekonečnu, potom z obdobného vzorce jako je (5.1) můžeme vypočítat hodnotu σ^2

$$\sigma^2 = \frac{\sum \varepsilon_i \varepsilon_i}{n} \quad (5.2)$$

která se nazývá variace souboru.

Skutečná chyba ε_i nějakého jednoho pozorování x_i , je definovaná jako odchylka od skutečné hodnoty X měřeného parametru:

$$\varepsilon_i = x_i - X \quad (5.3)$$

Při pozorování přímých je výpočet nejpravděpodobnější hodnoty \bar{x} velmi jednoduchý

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5.4)$$

Tato nejpravděpodobnější hodnota \bar{x} se nazývá **průměr výběru**, je-li počet všech pozorování n malý, konečný. [4]

5.4 Kritéria pro zjištění systematických chyb

Jak už bylo řečeno, předpokládáme ve výsledcích měření pouze chyby náhodné, zbavené systematických složek. Systematické chyby se však zpravidla nepodaří z výsledků měření dokonale odstranit. Často jsou ale takového charakteru, že je lze zjistit jen velmi důkladnými rozbory. Zde uvedeme nejjednodušší kritérium, a to vyhledání systematických chyb součtem znamének.

Podle Gaussova zákona je pravděpodobnost výskytu kladné a záporné náhodné chyby ε_i téže velikosti stejná. Ve velkém souboru ($n \rightarrow \infty$) bude proto polovina náhodných chyb kladných a polovina záporných. Jestliže jejich znaménka označíme $z = \pm 1$, bude součet znamének roven nule:

$$S = z_1 + z_2 + \dots + z_n = 0, \quad (5.5)$$

což samozřejmě platí pouze pro sudé n .

V geodézii je počet měření n vždy poměrně malé číslo a součet znamének je $S \neq 0$. Tato odchylka od nuly se počítá jako střední hodnota náhodné veličiny podle vztahu:

$$m_o = \sqrt{n} \quad (5.6)$$

Pokud absolutní hodnota součtu znamének S je menší než \sqrt{n} , považují se chyby za *náhodné*. V opačném případě, jestliže $|S| > \sqrt{n}$, soudíme, že vedle náhodných chyb ovlivnily měření i chyby *systematické*. Pokud mají chyby ε_i normální rozdělení, mají normální rozdělení i nejpravděpodobnější chyby (opravy) v_i . Uvedené kritérium platí při dostatečně velkém n i pro opravy v_i . V malých souborech jsou ale opravy v_i ovlivněny podmínkou aritmetického průměru a ta ovlivní i jejich znaménka. V malých souborech proto toto kritérium pro opravy v selhává.

Kritérium součtu znamének nepřihlíží k velikosti chyb, a proto bývá málo průkazné. Tudíž je dobré kombinovat ho s jinými kritérii např. vyhledání systematických chyb odhadem velikosti. [6]

6. CÍL A METODIKA PRÁCE

Cílem této diplomové práce je otestovat totální stanici Leica TCR 407 z vlastnictví Katedry pozemkových úprav pomocí stanovených postupů a výsledky porovnat s údaji uváděnými výrobcem.

V průběhu zpracování je nezbytné postupovat v dílčích, na sebe navazujících krocích a plnit tak zásady pro vypracování, kterými jsou:

- určení přesnosti dálkoměru na srovnávací základně Hvězda v Praze
- ověření úhломěrné části přístroje na střeše Stavební fakulty v Praze
- dokončení testování finálním prověřením preciznosti obou částí přístroje (úhломěrné a dálkoměrné) v Mariánské u Jáchymova
- výpočetní práce
- porovnání výsledků s údaji výrobce.

Prvním krokem bylo ověření laserového centrovače totální stanice. Centrovač splňuje podmínky dané vyhláškou, a tudíž bylo možné pomocí něho při měření centrovat. Následně se testovala přesnost dálkoměru na srovnávací základně Hvězda. Jednalo se o měření délek, kdy se jednotlivé vzdálenosti změřili 3x. Přístrojem naměřené hodnoty se pak porovnávaly s hodnotami skutečnými. Na základě těchto výsledků se určila přesnost dálkoměrné části přístroje.

Na střeše Stavební fakulty v Praze se přístroj našrouboval na betonový pilíř s nucenou centrací. Změřily se směry na zvolené cíle přibližně v kilometrové vzdálenosti.

V Mariánské u Jáchymova jsem dokončila potřebná měření směrů, zenitových úhlů a délek pro určení konstant hranolu.

V další etapě jsem na základě naměřených hodnot (z výše uvedených měření) provedla potřebné výpočty.

Po absolvování všech předchozích kroků bylo možné vypočtené hodnoty porovnat s údaji uvedenými výrobcem.

7. MĚŘICKÉ POSTUPY OVĚŘOVÁNÍ PŘÍSTROJE

Obora Hvězda



Obr. 7.1: Letecký snímek obory Hvězda se srovnávací základnou

Celostátní srovnávací základna v historické oboře Hvězda v Praze byla vybudována především pro komparaci invarových drátů a přesných optických a paralaktických dálkoměrů. Od sedmdesátých let, kdy byly zakoupeny přesné laserové dálkoměry, kterými je možno přímo měřit délky astronomicko-geodetické sítě s relativní přesností 1:1 000 000, pozbyly invarové dráty svého významu k měření geodetických základen v trigonometrických sítích a tím také pozbyla svého původního významu základna ve Hvězdě. Proto v letech 1977/78 byla geodetická základna přebudována k testování elektronických dálkoměrů. Nevýhodou může být značně velká návštěvnost parku, v němž je základna stabilizována. [1]

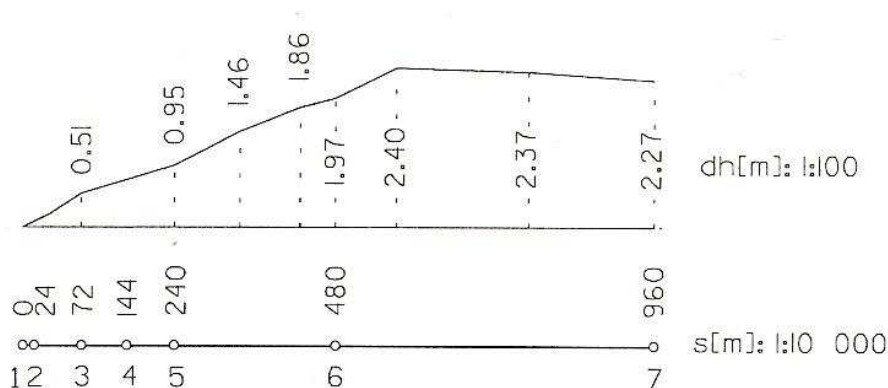
Srovnávací základna se sestává ze 7 bodů, které jsou stabilizovány mosaznou značkou s jemným vývrtem. Kvůli ochraně před zničením jsou všechny značky zapuštěny do země na rozhraní parkové cesty a travnatého pásu proti Letohrádku. Celková délka základny je 960,8735 m.

7.1 Ověření přesnosti dálkoměrné části přístroje ve Hvězdě

7.1.1 Ověření dle ČSN ISO 8322-8

Existuje nová platná norma ČSN ISO 17123, ale přístroj byl na začátku výroby ověřován podle normy původní ČSN ISO 8322-8 [5], proto byla použita právě tato norma. Před samotným měřením se musely očistit a sundat ochranné kryty mosazných značek. Nad každým bodem základny se rozestavěly stativy s trojnožkami. Centrace a horizontce se provedla klasickým způsobem totální stanicí Leica TCR 407, u které byla provedena zkouška laserového centrovače (viz kap. 2.4).

Vzhledem k členitému terénu se výšky hlav stativů nastavily tak, aby bylo možné změřit vzdálenosti mezi body bez vzájemného krytí.



Obr. 7.2: Profil srovnávací základny ve Hvězdě

Tab. 7.1: Vodorovné délky na základně Hvězda

Bod	2	3	4	5	6	7
1	24,0810	72,0533	144,1877	240,2145	480,4145	960,8735
2		47,9723	120,1063	216,1335	456,3335	936,7924
3			72,1343	168,1611	408,3612	816,6859
4				96,0267	336,2269	816,6859
5					240,2000	720,6590
6						480,4590

Pro určení přesnosti měření délek podle [5] se přístroj upevnil do trojnožky na bodě č. 1 a postupně byly změřeny vzdálenosti na ostatní body základny. Každý úsek byl změřen 3x (při měření každé vzdálenosti se 3x znovu cílilo) a do výpočtů vstupoval pouze aritmetický průměr. Následně se přístroj dostředil na bodě č. 7 a opět se změřily vzdálenosti na ostatní body základny v opačném směru než z bodu č. 1. Celý postup měření se poté ještě jednou opakoval. Po ukončení testování se jednotlivé body opět přikryly ochrannými kryty.

Při měřických pracích byl použit hranol firmy CCE s.r.o., v. č. 5180432.

Postup výpočtu:

Výpočet byl proveden dle [5], nejprve s naměřenými hodnotami a následně s hodnotami vzdáleností určenými z naměřených hodnot. Pro názornost uvádím pouze stručný postup.

1. Jednotlivé vzdálenosti byly změřeny 3x. Ve výpočtech byl použit aritmetický průměr těchto délek.
2. Byla sestavena tabulka, ve které byly uspořádány hodnoty délek určené dálkoměrem a hodnoty skutečných délek základny, které byly získány od VÚGTK ve Zdibech.
3. Byly vypočítány rozdíly (chyby ε_i) mezi průměrem ze tří měření (\bar{x}_i) a délkami skutečnými (d_i):

$$\varepsilon_{li} = \bar{x}_i - d_i . \quad (7.1)$$

Střední kvadratická chyba (směrodatná odchylka) byla vypočtena jako:

$$\hat{s} = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}} \quad \text{kde } n \text{ je počet měřených úseků } (n = 12). \quad (7.2)$$

Tab. 7.2: Příklad výpočtu střední kvadratické chyby

První výpočet s naměřenými hodnotami

Vzdálenost	Přijato jako skutečná hodnota d (m)	Průměr \bar{x} (m)	Chyba ε_1 ($\bar{x} - d$) (mm)	Chyba ε po opravě (mm)	ε^2 (mm ²)
1-2	24,0810	24,0807	-0,3	+2,4	5,8
1-3	72,0533	72,0547	+1,4	+4,1	16,8
1-4	144,1877	144,1870	-0,7	+2,0	4,0
1-5	240,2145	240,2143	-0,2	+2,5	6,3
1-6	480,4145	480,4132	-1,3	+1,4	2,0
1-7	960,8735	960,8685	-5,0	-2,3	5,3
7-1	960,8735	960,8690	-4,5	-1,8	3,2
7-2	936,7924	936,7885	-3,9	-1,2	1,4
7-3	888,8202	888,8145	-5,7	-3,0	9,0
7-4	816,6859	816,6817	-4,2	-1,5	2,3
7-5	720,6590	720,6545	-4,5	-1,8	3,2
7-6	480,4590	480,4560	-3,0	-0,3	0,1

$\Sigma = -31,9$

$\Sigma = 59,4$

$\hat{s} = 2,2\text{mm}$

7.1.2 Testování shody přesnosti naměřených hodnot

Testy shody dvou souborů (F-test)

- testovány byly dva soubory měření z obory Hvězda

Postup výpočtu:

1. Jsou dány dva soubory s n_1 a n_2 pozorováními, charakterizované směrodatnými odchylkami σ_1 a σ_2 se stupni volnosti $n_1' = (n_1 - 1)$ a $n_2' = (n_2 - 1)$. Soubory jsou řazeny a indexovány tak, aby platilo

$$\sigma_1^2 > \sigma_2^2. \quad (7.3)$$

- Položme nulovou hypotézu shody přesnosti dvou souborů.

- Vypočteme tzv. testovací kritérium:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad F = \frac{2,9^2}{2,7^2} = 1,15 \quad (7.4)$$

vztah platí i pro výběrové směrodatné odchylky s .

2. Na zvolené hladině významnosti $\alpha\%$ nalezneme pro $n_1' = n_2'$ nebo pro $n_1' \neq n_2'$ kritickou hodnotu F_α (z tabulek).

3. Testujeme

$$F < F_\alpha \qquad 1,15 < 1,49 \qquad (7.5)$$

Protože je splněna nerovnost (7.5), nelze nulovou hypotézu zamítnout – oba soubory jsou výběry (částmi) téhož základního souboru stejné přesnosti.

7.1.3 Testování na přítomnost systematických chyb

a) vyhledání systematických chyb součtem znamének

Ve velkém souboru n by proto měla být polovina náhodných chyb kladných a polovina záporných. Jestliže jejich znaménka označíme $z = \pm 1$, bude pro sudé n součet S znamének roven nule

$$S = z_1 + z_2 + \dots + z_n = 0. \qquad (5.5)$$

V geodézii je počet měření n vždy poměrně malé číslo. Pokud absolutní hodnota součtu znamének $|S|$ je menší než \sqrt{n} , považují se chyby za náhodné. V opačném případě, jestliže

$$|S| > \sqrt{n}, \qquad (7.7)$$

soudíme, že vedle náhodných chyb ovlivnily měření i chyby systematické.

Výpočet:

$$S = -11 + 1 = -10$$

$$\sqrt{n} = 3,5$$

→ potvrzena přítomnost systematické chyby

b) vyhledání systematických chyb odhadem velikosti

V tomto případě známe v souboru o n pozorováních, charakterizovaném směrodatnou odchylkou σ , chyby ε_i . Předpokládáme s pravděpodobností 95%, že v souboru působí systematická chyba velikosti c , pokud je splněna nerovnost

$$c = \left| \frac{[\varepsilon_i]}{n} \right| \gg \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (7.8)$$

Symbol $[\]$ je znakem součtu, stejně jako Σ .

Výpočet:

$$c = \left| \frac{[\varepsilon_i]}{n} \right| \gg \frac{2\sigma}{\sqrt{n}} = \left| \frac{[-31,9]}{12} \right| \gg \frac{2}{\sqrt{12}}$$

$$c = 2,7 > 0,6$$

→ opět potvrzena přítomnost systematické chyby

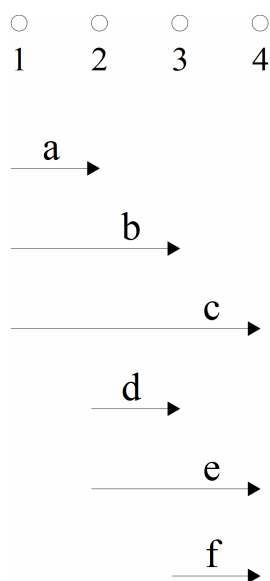
ZÁVĚR:

Výsledná střední kvadratická chyba (směrodatná odchylka) měřené délky na 1 km u totální stanice Leica TCR 407 je 2,2 mm. Dalším testováním bylo zjištěno, že obě směrodatné odchylky, určené z měření nejprve s naměřenými hodnotami a následně s hodnotami vzdáleností určenými z naměřených hodnot, pocházejí ze stejného souboru přesnosti. Dále byla prokázána přítomnost systematické chyby v naměřených hodnotách ze srovnávací základny Hvězda: Může to být způsobeno nepřesností v centraci, protože některé mosazné značky byly poškrábané, nebo mohlo za 4 hodiny měření dojít k jemným neidentitám postavení přístroje. Chyba z urovnání téměř vyloučena, vše bylo urovnané pomocí totální stanice. Velikost odchylek odpovídá přístroji.

7.2 Určení součtové konstanty hranolů

7.2.1 Měřické práce

Při měření byl použit odrazný hranol Leica GPR1 (nemá výrobní číslo) a dva všesměrné hranoly Leica první s v. č. 0004897 a druhý s v. č. 0005585. Samotné měřické práce probíhaly v Mariánské u Jáchymova na dvou základnách. První tvořily 4 stativy přibližně 10 m od sebe a urovnané do přímky pomocí přístroje (krátká základna). Druhou základnu tvořily 4 stativy přibližně 70 m od sebe, rovněž urovnané do přímky (střední základna). Jednotlivé stativy byly, stejně jako na srovnávací základně Hvězda, zhorizontovány a zcentrovány přístrojem. Délky byly měřeny oboustranně a ve všech kombinacích. Každá vzdálenost byla změřena 3x a do výpočtu vstupoval aritmetický průměr.



Obr. 7.3: Jednotlivé úseky krátké (střední) základny

7.2.2 Výpočetní práce

Výpočetní práce byly pro obě základny stejné. Pro výpočet konstanty byla použita soustava tří rovnic, sestavená tak, aby celkový úsek c byl určen jednotlivými dílčími úseky (viz obr. 7.3) a každý bod (1, 2, 3, 4) byl zahrnut dvakrát.

$$c + 1\delta = a + 1\delta + d + 1\delta + f + 1\delta$$

$$c + 1\delta = b + 1\delta + f + 1\delta$$

$$c + 1\delta = a + 1\delta + e + 1\delta \quad \text{kde } \delta \text{ je určovaná konstanta.}$$

Pokud chceme δ z rovnic vyjádřit, musíme ho nejdříve na pravé straně rovnice vytknout:

$$c + 1\delta = (a + d + f) + 3\delta$$

$$c + 1\delta = (b + f) + 2\delta$$

$$c + 1\delta = (a + e) + 2\delta$$

V dalším kroku převedeme pravou stranu první rovnice vlevo. K první rovnici přičteme rovnici druhou a třetí od první odečteme.

$$c + 1\delta - (a + d + f) - 3\delta + (b + f) + 2\delta - (a + e) - 2\delta = 0$$

A rovnici upravíme:

$$c - (a + d + f) + (b + f) - (a + e) - 2\delta = 0 + u \quad \text{kde } u \text{ je uzávěr.} \quad (7.9)$$

Výsledná součtová konstanta pak je:

$$\delta_u = \frac{u}{2} \quad (7.10)$$

Tab. 7.3: Tabulka měřených hodnot (průměr ze tří měření) pro krátkou základnu

Vzdálenost	Cílený hranol Leica	Všesměrný hranol v. č. 0004897	Všesměrný hranol v. č. 0005585
1-2	10,009	9,9865	9,9865
2-1	10,009	9,9865	9,986
1-3	19,999	19,9765	19,9765
3-1	19,999	19,976	19,976
1-4	30,002	29,9795	29,980
4-1	30,002	29,981	29,9795
2-3	9,990	9,9675	9,967
3-2	9,990	9,967	9,9675
2-4	19,993	19,971	19,971
4-2	19,993	19,970	19,9705
3-4	10,003	9,981	9,9805
4-3	10,003	9,980	9,980

Tab. 7.4: Tabulka měřených hodnot (průměr ze tří měření) pro střední základnu

Vzdálenost	Cílený hranol Leica	Všesměrný hranol v. č. 0004897	Všesměrný hranol v. č. 0005585
1-2	70,296	70,273	70,2735
2-1	70,296	70,2735	70,274
1-3	140,110	140,0865	140,086
3-1	140,1105	140,087	140,087
1-4	210,1525	210,129	210,130
4-1	210,153	210,1295	210,1295
2-3	69,814	69,792	69,7915
3-2	69,814	69,791	69,791
2-4	139,857	139,8345	139,8335
4-2	139,857	139,8345	139,8345
3-4	70,043	70,020	70,0195
4-3	70,043	70,0195	70,0205

Tab. 7.5: Výsledné součtové konstanty pro krátkou základnu

Hranol	Odrazný hranol Leica GPR1	Všesměrný hranol v. č. 0004897	Všesměrný hranol v. č. 0005585
Součtová konstanta	0 mm	23 mm	23 mm

Tab. 7.6: Výsledné součtové konstanty pro střední základnu

Hranol	Odrazný hranol Leica GPR1	Všesměrný hranol v. č. 0004897	Všesměrný hranol v. č. 0005585
Součtová konstanta	0 mm	22 mm	22 mm

ZÁVĚR:

Z vypočtených výsledků je vidět, že součtová konstanta pro odrazný hranol Leica je 0 mm a součtová konstanta dalších dvou všesměrných hranolů se blíží hodnotě udávané výrobcem + 34,4 mm. Tuto hodnotu lze zadat v menu přístroje, takže při měření je zaváděna do výsledku automaticky. Můžeme říci, že všesměrný hranol je sice užitečný, protože ho není třeba cílit, ale méně přesný pro samotné cílení a opakované cílení.

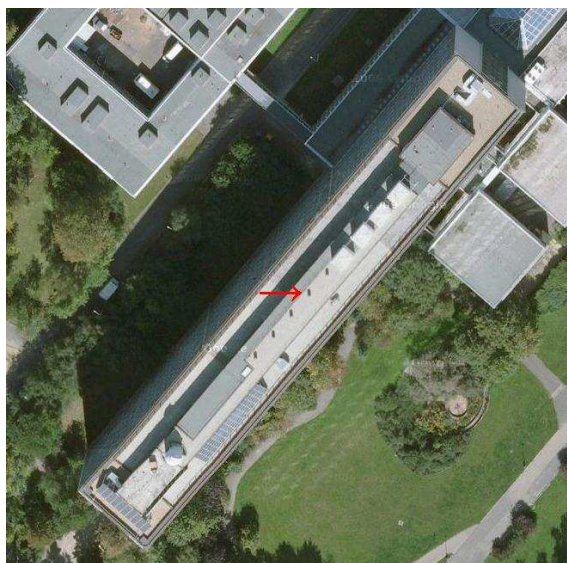
7.3 Ověření přesnosti úhломěrné části přístroje

7.3.1 Přesnost měřeného vodorovného směru

Vodorovné směry byly určovány na tři různé vzdálenosti: dlouhé (cíle vzdálené cca 1 km) v Praze na střeše Stavební fakulty ČVUT, střední (cíle vzdálené cca 500 m) a

krátké (cíle vzdálené cca 100m) v Mariánské u Jáchymova. Pro každou vzdálenost se měřilo ve třech sériích po čtyřech skupinách bez uzávěru.

Na střeše Stavební fakulty se měřilo pomocí betonového pilíře s nucenou centrací, do kterého je v horní části zabetonován šroub pro upevnění trojnožky přístroje. Jelikož je šroub použitelný pro více druhů přístrojů, mohla by se na přesnosti měřeného vodorovného směru projevit chyba v dotažení přístroje k pilíři. Po urovnání totální stanice elektronickou libelou bylo zvoleno 5 cílů, na které se určovaly vodorovné směry. Vybrány byly tyto cíle: sv. Matěj, Žižkovský vysílač, sv. Vít, Petřínská rozhledna a sv. Norbert. V první poloze se měřilo v pořadí sv. Matěj → Žižkovský vysílač → sv. Vít → Petřínská rozhledna → sv. Norbert a ve druhé poloze v pořadí sv. Norbert → Petřínská rozhledna → Žižkovský vysílač → sv. Matěj. Naměřené hodnoty se zapisovaly do zápisníku.



Obr. 7.4: Střeška stavební fakulty s pilířem s nucenou centrací

V Mariánské u Jáchymova pro určování vodorovných směrů na středně dlouhé vzdálenosti se na louce dočasně stabilizoval bod, dřevěný kolík. Opět se zvolilo 5 cílů: hromosvod na vodojemu, elektrický stožár, televizní anténa, hromosvod na chatě a stožár pod kopcem. Postup měření byl stejný jako v Praze rovněž i počet skupin a sérií.

Vzhledem k deštivému a větrnému počasí byl přístroj po celou dobu měření chráněn slunečníkem.



Obr. 7.5: Vyznačené místo dočasně stabilizovaného bodu

Při měření vodorovných směrů na krátkou vzdálenost se jako dočasný bod použila nivelační podložka a měřilo se na tyto cíle: hromosvod, terč, hromosvod 2, terč u plotu a terč u elektrického vedení. Měřický postup byl opět stejný.

Postup výpočtu:

1. Vodorovné směry se měřily na 5 cílů ve 4 skupinách bez uzávěru v první a druhé poloze dalekohledu. Pro každou skupinu se nejprve vypočítaly průměry minut a vteřin z první a druhé polohy. Tyto průměry se redukovaly o hodnotu průměru na první bod.
2. Dále byl určen aritmetický průměr redukováných směrů. Takto bylo získáno vždy 5 směrů pro jednotlivé skupiny. Hodnota prvního směru každé skupiny byla 0 gon.
3. Pro každý bod ve skupině byla vypočítána hodnota o jako rozdíl průměrného směru stanoviště a směrů jednotlivých skupin pro daný bod. Poté byla aritmetickým průměrem určena hodnota \bar{o} pro každou skupinu.
4. Hodnoty oprav v byly vypočteny jako rozdíl:

$$v = \bar{o} - o \quad (7.11)$$

5. Vypočetla se střední chyb jednoho směru jakékoli skupiny pro jednotlivé série:

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{(s-1) \cdot (n-1)}} \text{ ,kde } [vv] \text{ je součet čtverců oprav, } s \text{ počet skupin a } n \text{ počet cílů}$$

Dále se určil kvadratický průměr středních chyb ze všech sérií pro měřený vodorovný směr na danou vzdálenost. Výsledkem tedy byly 3 střední chyby pro jednotlivé vzdálenosti. Protože výrobce uvádí přesnost měřeného směru bez ohledu na vzdálenost, byl vypočten ještě kvadratický průměr bez rozlišení vzdálenosti.

Pro názornost uvádím příklad postupu výpočtu střední chyby (směrodatné odchylky) pro měřený vodorovný směr na krátkou vzdálenost v první sérii měření:

Tab. 7.7: Příklad výpočtu oprav pro krátkou vzdálenost

BOD:	v^I	vv^I	v^{II}	vv^{II}	v^{III}	vv^{III}	v^{IV}	vv^{IV}
HROMOSVOD	-10	100	-5	25	+18	324	-5	25
TERČÍK	+7	49	-2	4	-15	225	+10	100
HROMOSVOD 2	-3	9	+12	144	-5	25	-5	25
TERČ U PLOTU	-3	9	-10	100	+7	49	+5	25
TERČ U EL. SKŘÍŇĚ	+7	49	+3	9	-5	25	-7	49
[]	-2	216	-2	282	0	648	-2	224

$\sum v$ jednotlivých skupin by se měla rovnat nule, v tabulce tomu tak není a je to způsobeno vlivem zaokrouhlení. Hodnoty uvedené v tabulce jsou ve vteřinách (^{cc}).

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{(s-1) \cdot (n-1)}} \quad (7.12)$$

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{611+310+587+177}{3 \cdot 4}} = \pm \sqrt{\frac{1685}{12}}$$

$$m_o = \pm 12^{cc}$$

Střední chyby (směrodatné odchytky) měřeného vodorovného směru na jednotlivé vzdálenosti:

a) pro krátkou vzdálenost (cíle cca 100 m)

$$m_o = \sqrt{\frac{m_{o1}^2 + m_{o2}^2 + m_{o3}^2}{2}} = \sqrt{\frac{12^2 + 11^2 + 11^2}{3}} = \underline{\underline{11^{\text{cc}}}} \quad (7.13)$$

b) pro středí vzdálenost (cíle cca 500 m)

$$m_o = \sqrt{\frac{m_{o1}^2 + m_{o2}^2 + m_{o3}^2}{2}} = \sqrt{\frac{11^2 + 15^2 + 12^2}{3}} = \underline{\underline{13^{\text{cc}}}}$$

c) pro dlouhou vzdálenost (cíle cca 1 km)

$$m_o = \sqrt{\frac{m_{o1}^2 + m_{o2}^2 + m_{o3}^2}{2}} = \sqrt{\frac{24^2 + 17^2 + 15^2}{3}} = \underline{\underline{19^{\text{cc}}}}$$

Výsledná střední chyba (směrodatná odchytky) měřeného vodorovného průměru bez rozdílu vzdálenosti:

Vypočte se jako kvadratický průměr jednotlivých středních chyb

$$\sigma = \sqrt{\frac{13^2 + 11^2 + 19^2}{3}} = \underline{\underline{15^{\text{cc}}}}$$

$$\sigma = 15^{\text{cc}} \approx 5''$$

Testy shody dvou souborů (F-test)

Vzhledem k tomu, že výsledné střední chyby pro měřené vodorovné směry na dlouhé vzdálenosti jsou v jednotlivých sériích poměrně rozdílné, byl proveden test na shodu přesnosti dvou souborů (nejmenší a největší střední chyby).

Postup výpočtu:

1. Jsou dány dva soubory s n_1 a n_2 pozorováními, charakterizované směrodatnými odchylkami σ_1 a σ_2 se stupni volnosti $n_1' = (n_1 - 1)$ a $n_2' = (n_2 - 1)$. Soubory jsou řazeny a indexovány tak, aby platilo

$$\sigma_1^2 > \sigma_2^2. \quad 24^2 > 15^2 \quad (7.3)$$

- Položme nulovou hypotézu shody přesnosti dvou souborů.

- Vypočteme tzv. testovací kritérium:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad F = \frac{24^2}{15^2} = 2,56 \quad (7.4)$$

vztah platí i pro výběrové směrodatné odchylky s .

2. Na zvolené hladině významnosti $\alpha\%$ (5%) nalezneme pro $n_1' = n_2'$ kritickou hodnotu F_α (z tabulek). Pro $n_1' = n_2' = 4$ je $F_\alpha = 6,39$

3. Testujeme

$$F < F_\alpha \quad 2,56 < 6,39 \quad (7.5)$$

Pokud je splněna nerovnost (7.5), nelze nulovou hypotézu zamítnout – oba soubory jsou výběry (částmi) téhož základního souboru stejné přesnosti. To platí i pro náš případ

ZÁVĚR:

Při testování shody přesnosti dvou souborů bylo prokázáno, že obě střední chyby (směrodatné odchylky) pocházejí ze stejného souboru přesnosti. Dále můžeme při porovnání výsledně střední chyby měřeného vodorovného směru (5'') a údajem uvedeným výrobcem (7'') říci, že přístroj splňuje přesnost udávanou výrobcem.

7.3.2 Střední indexová chyba měřeného svislého úhlu

Pro měření svislých úhlů se opět měřilo na tři různé vzdálenosti, stejně jako při měření vodorovných směrů: na dlouhé (cíle vzdálené cca 1 km), střední (cíle cca 500 m) a krátké (cíle cca 100 m). Pro měření se opět použil dočasně stabilizovaný bod na louce v Mariánské (pro střední a dlouhé vzdálenosti) a nivelační podložka pro měření na krátké vzdálenosti, stejná jako pro měření vodorovných směrů na krátké vzdálenosti. Rovněž bylo zvoleno 5 cílů v různých výškách.

Přístroj byl po celou dobu měření chráněn slunečníkem. Při cílení na bod se najíždělo nitkových křížem shora a měřilo se ve 3 sériích po 4 skupinách v obou polohách dalekohledu bezprostředně za sebou, aby se předešlo vlivu refrakce. Určené hodnoty se zapisovaly do zápisníku.

Postup výpočtu:

1. Každé měření svislých úhlů probíhalo na 5 cílů ve 4 skupinách v první a druhé poloze dalekohledu.
2. Pokud se čtení v první poloze (z_1) a v druhé poloze (z_2) rovná $4R$ ($4R = 400$ gon nebo 360° podle použité úhlové míry), pak přístroj nemá indexovou chybu. V případě, že čtení z_1 a z_2 jsou zatížena indexovou chybou i , pak

$$z_1 + z_2 = 4R + 2i \quad (7.17)$$

z toho

$$i = \frac{z_1 + z_2 - 4R}{2} \quad (7.18)$$

a správný zenitový úhel

$$z = z_1 - i \quad (7.19)$$

3. Určily se indexové chyby pro jednotlivá stanoviště ve skupinách a všech sériích pro každou vzdálenost.

Tab. 7.8: Příklad indexových chyb pro jednotlivá stanoviška ve skupinách (na krátkou vzdálenost)

BOD:	1. série			
	I. sk	II. sk	III. sk	IV. sk
HROMOSVOD U VODOJEMU	75	48	58	38
ELEKTRICKÝ STOŽÁR	38	50	45	43
TELEVIZNÍ ANTÉNA	45	48	38	60
HROMOSVOD NA CHATĚ	50	28	30	0
STOŽÁR POD KOPCEM	53	40	58	53

Všechny hodnoty v tabulce jsou ve vteřinách (^{cc})

4. Poté se aritmetickým průměrem určila indexová chyba pro jednotlivá stanoviška v rámci všech tří sérií. Z nich se pak aritmetickým průměrem určila indexová chyba pro jednotlivé vzdálenosti.

Průměr indexových chyb:

a) pro krátkou vzdálenost

$$\frac{\sum \bar{x}}{n} = \frac{245}{5} = 49^{\text{cc}} \quad (7.20)$$

kde \bar{x} je průměr indexové chyby stanoviška ze všech sérií a n je počet stanovisek.

b) pro střední vzdálenost

$$\frac{\sum \bar{x}}{n} = \frac{248}{5} = 50^{\text{cc}}$$

c) pro dlouhou vzdálenost

$$\frac{\sum \bar{x}}{n} = \frac{308}{5} = 62^{\text{cc}}$$

5. Protože indexová chyba by měla být konstantní bez ohledu na vzdálenost, na jakou jsou určovány svislé úhly, mohl se na konec udělat střední kvadratický průměr indexové chyby, ve kterém není zohledněna vzdálenost.

$$\sqrt{\frac{62^2 + 50^2 + 49^2}{3}} = \underline{\underline{54^{\text{cc}}}} \quad (7.21)$$

ZÁVĚR:

Přestože by indexová chyba měla být konstantní bez ohledu na vzdálenost, na jakou byl měřen svislý úhel, je z vypočtených hodnot patrné, že tomu tak není a že velikost indexové chyby roste se vzdáleností. Důvodem pravděpodobně bude odlišná přesnost cílení na různé vzdálenosti. V rámci skupin jednotlivých vzdáleností se od sebe jednotlivé indexové chyby (průměr pro jednotlivá stanoviška ze všech sérií měření) příliš neliší.

8. ZÁVĚR

Totální stanice typu TCR 407 jsou moderní geodetické přístroje, používané pro základní aplikace geodetické praxe, umožňující registraci měřených dat, přenesení těchto dat do počítače a tím usnadňují jejich následné zpracování. Vyrábějí se podle norem ISO řady 9000, které zajišťují jejich kvalitu. Přesto se vlastnosti a přesnost přístroje uváděné výrobcem mohou vlivem různých činitelů po určité době používání měnit, a proto je třeba provádět pravidelné servisní prohlídky a kontroly parametrů, např. podle ČSN ISO 17123.

Při ověřování přesnosti dálkoměrné části přístroje bylo z naměřených údajů a výsledků početně zpracovaných dle [5] zjištěno, že výsledná střední kvadratická chyba (směrodatná odchylka) měřené délky na 1 km u totální stanice Leica TCR 407 je 2,2 mm. Dalším testováním bylo zjištěno, že obě směrodatné odchylky, určené nejprve s naměřenými hodnotami a následně s údaji vzdáleností určenými z naměřených hodnot, pocházejí ze stejného souboru přesnosti. Dále byla prokázána přítomnost systematické chyby v naměřených hodnotách ze srovnávací základny Hvězda: Může to být způsobeno nepřesností v centraci, protože některé mosazné značky byly poškrábané, nebo mohlo za 4 hodiny měření dojít k jemným neidentitám postavení přístroje. Chyba z urovnání téměř vyloučena, vše bylo urovnané pomocí totální stanice. Velikost odchylek odpovídá přístroji. Při zpracovávání naměřených údajů jsem se zamyslela také nad cyklickou chybou, ale soubor dat je příliš malý na to, aby byla chyba zjistitelná.

Z vypočtených výsledků při určování součtové konstanty různých hranolů je vidět, že součtová konstanta pro odrazný hranol Leica je 0 mm a součtová konstanta dalších dvou všesměrných hranolů se blíží hodnotě udávané výrobcem + 34,4 mm. Tuto hodnotu lze zadat v menu přístroje, takže při měření je zaváděna do výsledku automaticky. Můžeme říci, že všesměrný hranol je sice užitečný, protože ho není třeba cílit, ale méně přesný pro opakované cílení.

Ze zjištěných hodnot, při ověřování přesnosti měřeného vodorovného směru, je patrné, že výrobcem udávaná přesnost ($7''$) odpovídá výsledné střední chybě měřeného vodorovného směru ($5''$) a tudíž přístroj splňuje uvedenou přesnost. Dále bylo při testování shody přesnosti dvou souborů (vzhledem k tomu, že výsledné střední chyby pro měřené vodorovné směry na dlouhé vzdálenosti jsou v jednotlivých sériích poměrně rozdílné) prokázáno, že obě střední chyby (směrodatné odchylky) pocházejí ze stejného souboru přesnosti.

Dále byla zjišťována střední indexová chyba měřeného svislého úhlu. Přestože by indexová chyba měla být konstantní bez ohledu na vzdálenost, na jakou byl měřen svislý úhel, je z vypočtených hodnot patrné, že tomu tak není a že velikost indexové chyby roste se vzdáleností. Důvodem pravděpodobně bude odlišná přesnost cílení na různé vzdálenosti. V rámci skupin jednotlivých vzdáleností se od sebe jednotlivé indexové chyby (průměr pro jednotlivá stanoviště ze všech sérií měření) příliš neliší.

Tato práce prokázala, že přístroj Leica TCR 407 v.č. 660021 odpovídá schválenému typu a proto může být s přihlédnutím k ČSN EN ISO 9001 a metrologickému zákonu č. 505/ 1990 Sb. používán ve výuce na Katedře pozemkových úprav Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Veškeré zápisníky, výpočty a podklady jsou uloženy u vedoucího diplomové práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NEVOSÁD, Zdeněk, SOUKUP, František, VITÁSEK, Josef. *Geodézie II*. Brno : Nakladatelství VUTIUM, 1999. 107 s. ISBN 80-214-1475-8.
- [2] RATIBORSKÝ, Jan. *Geodézie 10*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2000. 234 s. ISBN 80-01-02198-X.
- [3] STREIBL, Jiří, PUKLOVÁ, Jitka. *Geodézie - Přístroje, výpočty a rýsování*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1989. 208 s.
- [4] MARŠÍKOVÁ, Magdalena, MARŠÍK, Zbyněk. *Speciální a vyšší geodézie*. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2005. 82 s. ISBN 80-7040-768-9.
- [5] ČSN ISO 8322-8. Geometrická přesnost ve výstavbě. Určování přesnosti měřících přístrojů. 1994.
- [6] ŠVEC, Mojmír, HÁNEK, Pavel. *Stavební geodézie 10*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2006. 175 s. ISBN 80-01-03403-08.
- [7] HÁNEK, Pavel, HÁNEK, Pavel, MARŠÍKOVÁ, Magdalena. *Geodézie pro obor Pozemkové úpravy a převody nemovitostí*. České Budějovice : Jihočeská univerzita, 2007. 88 s. ISBN 978-80-7040-971-8.
- [8] ŠVEC, Mojmír, et al. *Stavební geodézie 10 : Praktická výuka*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 215 s.
- [9] Leica TPS400/TPS 410 Series [Firemní literatura.] Uživatelská příručka.
- [10] Leica TPS400 Series [Firemní brožura]. Praha: Gefos, 2009.
- [11] ČSN ISO 17123-5. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments. 2005
- [12] <http://www.google.com/maps>
- [13] <http://www.nivela.net/Oferta-Estacion-Total-Leica-TCR-407>
- [14] <http://www.gefos.cz/cz/index1.php>
- [15] <http://www.mapy.cz>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 7.1.1 č.1	Ověření přesnosti dálkoměrné části přístroje – dle ČSN ISO 8322-8 (použité vzdálenosti z naměřených hodnot)
PŘÍLOHA 7.1.1 č.2	Ověření přesnosti dálkoměrné části přístroje – dle ČSN ISO 8322-8 (použité vzdálenosti určené z vypočtených hodnot)
PŘÍLOHA 7.2.2	Určení součtové konstanty hranolů
PŘÍLOHA 7.3.1	Ověření úhломěrné části přístroje – přesnost měřeného vodorovného směru
PŘÍLOHA 7.3.2	Ověření úhломěrné části přístroje – střední indexová chyba měřeného svislého úhlu