

4. PRESNÉ MERANIE UHLOV

Podstata všetkých geodetických prác v triangulácii je v presnom meraní uhlov a dĺžok. Na budovanie, resp. doplnenie trigonometrickej siete sa dnes už používajú elektronické diaľkomery a globálne systémy na určovanie polohy (GPS).

Vysoká presnosť merania uhlov sa tiež žiada všade tam, kde sa merajú malé zmeny v polohe geodetických bodov, budovaných pre špeciálne účely: presné voľné geodetické siete, meranie posunov stavieb, presné vytyčovací siete, a pod.

4.1 Teodolity na presné meranie uhlov

Súčasný teodolity majú rôznu konštrukciu a rôzne princípy merania uhlov. Preto aj ich delenie môže byť rôzne. Podľa funkčného princípu k meraným prvkom rozdeľujeme teodolity na optické, elektronické a gyroteodolity. Z hľadiska výkonnosti môže byť kritériom najmenšia hodnota dielika čítacej pomôcky. Podľa toho ich delíme na:

- 1) veľmi presné teodolity (sekundové),
- 2) presné teodolity (dvojsekundové),
- 3) teodolity strednej presnosti (desaťsekundové),
- 4) teodolity nižšej presnosti - technické (minútové).

Konštrukcie teodolitov na veľmi presné merania boli v minulosti masívnejšie ako teodolity na bežné merania. Väčšia hmotnosť teodolitu mala prístroj zaistiť stabilitu pri meraní vo vetre. Súčasný konštrukcie teodolitov sú ľahšie, menších rozmerov a majú vyššiu konštrukčnú dokonalosť. Osi teodolitu sú veľmi presne opracované, ďalekohľady majú veľkú svetelnosť a silné zväčšenie, libely sú citlivejšie a vybavené stupnicami. Citlivosť libiel je okolo $15''/2 \text{ mm}$. Najdôležitejšie súčasti teodolitu, vodorovné a zvislé kruhy, sú rozdelené s chybou menšou ako $1,5''$ a čítanie je na $0,3''$ až $0,6''$. Najvýraznejší pokrok v konštrukcii geodetických prístrojov nastal vďaka nástupu mikroelektroniky. Vznikli elektronické teodolity, kde sa vodorovné smery a sklony zamerajú elektronicky. Súčasný trend je výrazne poznačený snahou o vývoj univerzálnych meracích systémov (UMS), t. j. elektronických teodolitov (ET), ktoré súčasne merajú uhly, dĺžky, prevýšenie s možnosťou automatickej registrácie a výstupom meraných údajov na počítač. Prístroje umožňujú tiež voľiť účelový režim merania podľa zvoleného výstupu výsledkov merania.

4.1.1 Optické teodolity

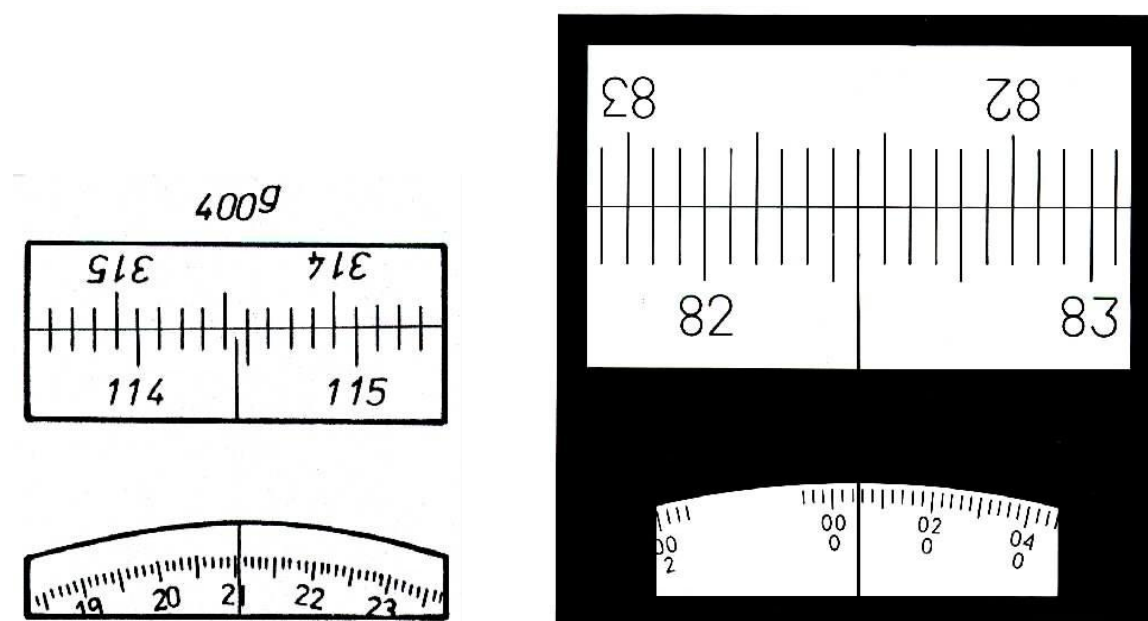


4.1. Teodolit Wild T3

Z mnohých typov presných teodolitov Chassellon, DKM 3, Wild T3, Askania sa budeme venovať, u nás najznámejšiemu, švajčiarskemu teodolitu Wild T3, vyrábanému v Heerbruggu firmou Wild - Leica.

Teodolit Wild T3 (obr. 4.1) je univerzálny teodolit. Možno ním vykonávať meranie v základnej trigonometrickej sieti i v sieťach nižších radov. Priemer vodorovného kruhu je 140 mm, s jemným delením po $5''$. Má čítací mikroskop s mikrometrom a koincenciou. Najmenší dielik stupnice je $1''$, resp. $0,2''$. Spôsob čítania je naznačený na obr. 4.2. Zväčšenie ďalekohľadu je 24, 30 a 40 násobné podľa použitého okuláru. Citlivosť alidádovej libely je $22''/\text{mm}$. Stupnice a nitkový kríž sa môžu osvetliť.

Hmotnosť teodolitu v kovovej schránke je 16 kg. Prednosťou teodolitu Wild T3 je rýchle meranie. Wild T3 sa používal pri meraní v základnej astronomickej - geodetickej sieti v Československu a stále sa používa na určovanie vodorovných posunov trigonometrickou metódou v prípade vysokých nárokov na presnosť polohového merania ($m_p = 1-3 \text{ mm}$). Niektoré teodolity (Wild T3, Askania) sú vybavené zariadením na astronomické merania.



Čítanie na kruhu:	$114^{\circ} 45'$	$82^{\circ} 24'$
Čítanie na optickom mikrometre:	$2' 10,3''$	$0' 00,5''$
Výsledné čítanie:	$114^{\circ} 47' 10,3''$	$82^{\circ} 24' 00,5''$

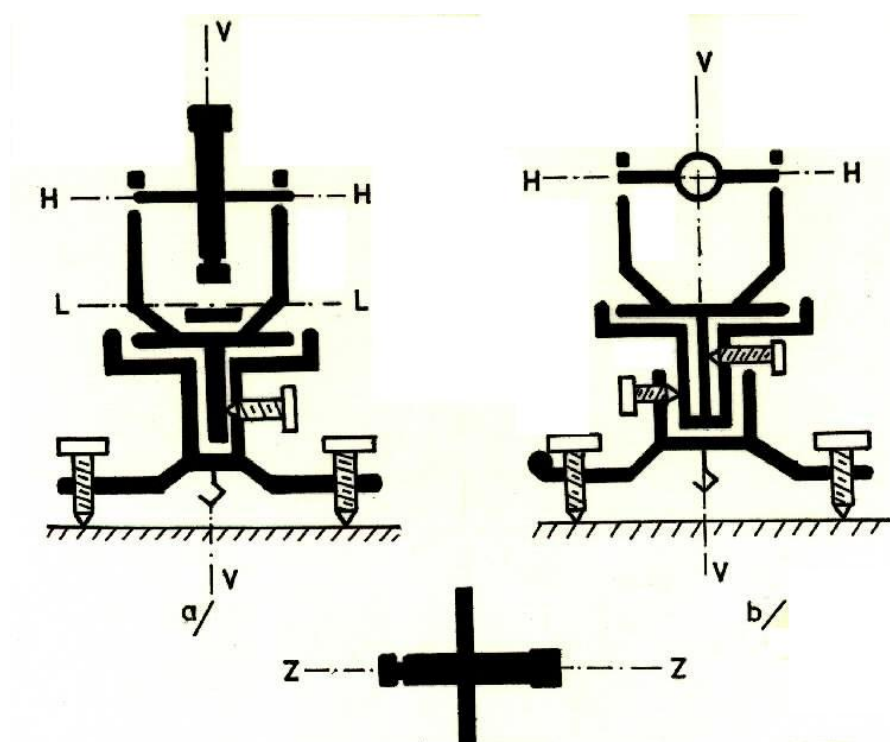
Obr. 4.2. Čítanie na teodolite Wild T3

Prístrojové chyby optického teodolitu

Každé meranie vychádza z predpokladu určitej pevnej východiskovej (základnej) polohy - pevného počiatku, na ktorý sa vzťahujú merané hodnoty. Všetky stupnice geodetického prístroja, ktorými získavame vstupné číselné informácie o predmete merania majú svoju orientáciu spojenú s určitou geometrickou polohou meracieho prístroja a vlastnou geometriou prístroja. Hovoríme o tzv. geometrických podmienkach meracieho zariadenia, ktoré sa vzťahujú na základnú horizontálnu rovinu kolmú na smer zvislice stanoviska. Odmerané hodnoty teda závisia aj od toho, ako presne a spoľahlivo vieme realizovať naše merania vzhľadom na túto základnú rovinu.

Geometrické podmienky ovplyvňuje predovšetkým:

- stabilita základnej (východiskovej) polohy,
- minimálna vôľa pohyblivých častí prístroja,
- čo najpresnejšie opracovanie funkčných plôch a dodržanie geometrického tvaru funkčných súčastí,
- ľahký, ale presný chod pohyblivých častí prístroja,
- výkonné zameriavacie (zacieľovacie) zariadenie - ďalekohľad,
- presne delené kruhy a stupnice s výkonným čítacím zariadením,
- presné a spoľahlivé libely,
- kvalitné urovnávacie zariadenia bez mŕtvych chodov,
- presná centrácia prístroja nad bodom,
- trvalé dodržiavanie vzájomnej geometrickej polohy funkčných častí v samotnom prístroji.



Obr. 4.3. Osové podmienky teodolitu

Systematické chyby pri meraní uhlov

1. Osové chyby teodolitu

Osové chyby z nesplnenia podmienok $V \perp H$, $H \perp Z$ a predovšetkým $V \perp L$, ktorá sa nedá z merania vylúčiť (vertikálna os je najdôležitejšou osou teodolitu, preto musíme zavádzať opravy z nesplnenia osovej podmienky $V \perp L$),

a) *Chyba z nezávislej polohy vertikálnej osi teodolitu* je spôsobená tým, že zvislá os teodolitu nie je totožná s tiažnicou. Je potrebné ju určiť pre každú zámeru a zaviesť početnú korekciu. K tomu sa číta ľavý a pravý okraj bubliny alidádovej libely. Ak počítame dieliky od stredu na obe strany a označíme ľavé čítanie l , pravé p , je oprava daná vzťahom

$$\Delta_s = f \frac{1}{2} (l - p) \cot gz, \quad (4.1)$$

kde f je citlivosť alidádovej libely (v sekundách na jeden dielik),

z je zenitový uhol meraného smeru.

b) *Kolimačná chyba* vzniká tým, že zámerná os ďalekohľadu nie je kolmá na horizontálnu os prístroja. Vylučuje sa meraním v dvoch polohách ďalekohľadu, tým sa vylúči chyba z excentrického ďalekohľadu vo vzťahu k vertikálnej osi.

c) *Chyba zo sklonu otočnej osi ďalekohľadu* sa prejaví (ak označíme sklon písmenom i a výškový uhol zámeru b) hodnotou $\Delta_i = i \tan b$. Vylučuje sa meraním v dvoch polohách ďalekohľadu.

2. *Chyba z excentrickej alidády* sa vylučuje čítaním na dvoch protiľahlých miestach deleného kruhu.

3. *Chyby v delení kruhu a stupnice optického mikrometra* sa podstatne zmenšia, ak budeme meranie toho istého smeru niekoľkokrát opakovať a rozložíme počiatkové čítanie rovnomerne po kruhu a po stupnici optického mikrometra.

4. *Chyba z otáčania observačného piliera* sa pri lineárnom otáčaní eliminuje úpravou meračského postupu. Rovnomerné otáčanie observačného piliera však môžeme predpokladať len kratšiu dobu, preto sa v triangulácii I. radu nemerajú uhly v skupinách, ale každý uhol samostatne.

5. *Chyba spôsobená postrkom limbu a strhávaním teodolitu*. Počiatkové čítanie na delenom kruhu sa zvyčajne mení po pretočení ďalekohľadu. Napätie vzniknuté postrkom limbu je potrebné uvoľňovať rovnomerne, a preto sa pohyb otočnej skrutky musí robiť vždy v rovnakom smere (doprava), potom je jeho účinok pre obidva smery približne rovnaký. Chybu zo strhávania teodolitu sa dá podstatne znížiť meraním v tzv. laboratórnej jednotke.

6. *Rúnová chyba*. Rúnová chyba spôsobuje, že interval medzi dvoma susednými ryskami deleného kruhu, nie je mikroskopom presne zväčšený tak, aby zodpovedal rozsahu stupnice optického mikrometra. Rúnovú chybu zistíme opakovanou koincenciou napr. 10x koincidujeme v blízkosti čítania údajov 0 a 100 na mikrometri napr.

$$\bar{l}_1 = 0,4 \quad \bar{l}_2 = 99,4$$

Oprava pre čítaný údaj l (napr. $l = 42$) bude $l' = \bar{l}_2 - \bar{l}_1 = 99,4 - 0,4 = 99,0$

$$l = \frac{100}{l'} l = \frac{100}{99} 42 = k \cdot 42.$$

7. *Chyby libiel*,

8. *Chyba z centrácie teodolitu a cieľa*.

Náhodné chyby pri meraní uhlov

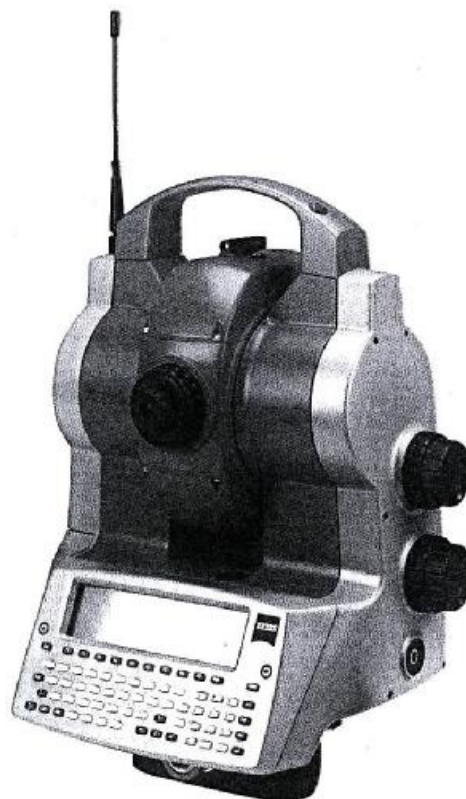
Patrí sem chyba v zacielení na bod (chyba v pointácii) a chyba v koincencii. Chyba v zacielení sa zväčšuje pri zlej viditeľnosti, pri vibrácii zámerného lúča a nevhodných atmosférických podmienkach, pri nárazoch teodolitu alebo piliera, napr. pôsobením vetra.

K zníženiu náhodných chýb sa na trigonometrických bodoch I. rádu stavali silnejšie veže a merali sa zásadne na svetelný signál (reflektor). Cielenie sa viackrát opakovalo. Meralo sa neskoro večer a v noci.

Účinok náhodných chýb však nie je rozhodujúci na presnosť meraného uhla, lebo počet pointácií a čítaní je pri opakovanom meraní dosť vysoký. O presnosti rozhodujú predovšetkým systematické vplyvy.

4.1.2 Elektronické teodolity

Elektronický teodolit je vybavený elektronikou na meranie uhlov a dĺžok (obr. 4.4).



Obr. 4.4. Elektronický teodolit Elta S 10 SPECTRA PRECISION

ET sú v produkčnom programe všetkých firiem, ktoré vyrábajú geodetické prístroje. Navzájom sa líšia stupňom automatizácie meracieho procesu, presnosťou meraných veličín, komfortom obsluhy a konštrukčným usporiadaním meracích jednotiek.

Podľa konštrukcie ET rozdelíme na:

- ET s nasadzovacím diaľkomerom,
- ET so zabudovaným diaľkomerom,
- motorizované ET.

Podľa pomôcky na horizontáciu teodolitu máme ET s rúrkovou alidádovou libelou, alebo s elektronickou libelou (s dvojsovým kompenzátorom vertikálnej osi).

ET sú vybavené špecializovanými programami na meranie a vytyčovanie. Spoločným znakom elektronických teodolitov je digitálny výstup odmeraných údajov na displeji prístroja a ich registrácia. Prakticky u všetkých ET nájdeme možnosť:

- voľby jednotiek merania,
- merania zenitových uhlov alebo výškových uhlov,
- merania šikmých alebo vodorovných dĺžok,
- úpravy meranej dĺžky o súčtovú konštantu odrazového systému,
- voľby nárastu číslovania meraných bodov,
- zavedenia excentricity meraného bodu (pri meraní dĺžky na neprístupné miesto merania),
- numerické a alfanumerické zadávanie údajov,
- prehliadania a opravy registrovaných údajov,
- osvetlenie zámerného kríža a displeja, atď.

Na každom novom stanovisku merania sa štandardne zadáva:

- číslo stanoviska a orientačného bodu,
- výška prístroja a výška cieľa,
- tlak a teplota ovzdušia,
- východiskové uhlové čítanie.

ET sú vybavené optickým dostreďovačom (s laserovou stopou vertikálnej osi prístroja, napr. *TPS 300*) a možnosťou merania so závislou centráciou. Majú štandardné (základné) meracie programy a nadstavby, ktorými sa ET, v prípade potreby, vybavuje dodatočne. Užívateľ ET podľa vlastných zvyklostí merania si môže upravovať postupnosť daných a odmeraných údajov až do finálnej formy, t.j., že sa budú registrovať čísla a súradnice odmeraných bodov.

Napr. medzi základné programy merania v rôznej forme konfigurácie výstupu patrí:

- meranie uhlov a dĺžok,
- meranie polárnych súradníc,
- meranie uhlov v skupinách,
- určenie výšky stanoviska prístroja,
- určenie priestorových súradníc stanoviska merania pretínaním,
- určenie súradníc prechodného stanoviska,
- postupné určovanie vzdialenosti a uhlov medzi meranými bodmi,
- polárne vytyčovanie, ortogonálne vytyčovanie, kartézke vytýčenie viazané na súradnicový systém a iné.

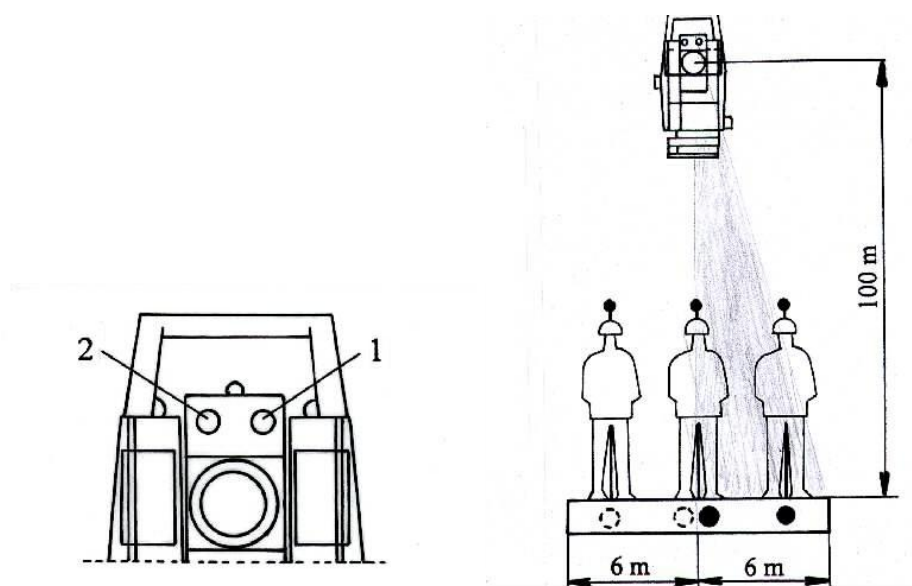
Niektoré ET sú vybavené aplikačnými programami, ktorých výsledkom spracovania odmeraných údajov môže byť:

- výpočet plôch,
- výpočet súradníc bodov polygónu,
- určovanie výšok neprístupných bodov,
- meranie vzdialenosti na neprístupný bod a iné.

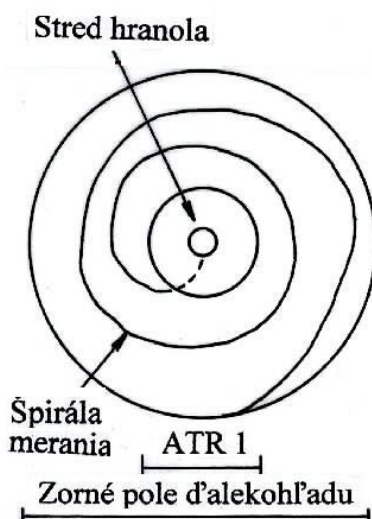
Pri vytyčovaní napr. ET *TPS* Systém 1000 graficky znázorňuje polohu stanoviska merania, polohu odrazového zariadenia (hranola) a polohu vyžadovaného miesta vytýčenia. Zároveň sa počíta podľa zvolenej metódy vytyčovania napr. zmena uhla, dĺžky a prevýšenia medzi odmeraným a vytyčovaným bodom (Da , Ds , DH), resp. priečna odchýlka, pozdĺžna odchýlka a prevýšenie (p , q , DH). Tieto údaje sa dajú zobrazíť na displeji odrazového zariadenia v mieste vytyčovaného bodu (Elta *S 10* a *S 20*).

ET Elta *S 10* a *S 20* sú vybavené žltozeleným svetelným rozhraním na vytýčenie smeru. Pomocník so zrkadlom s 10 cm presnosťou nájde podľa žltozeleného rozhrania vyžadovaný vytyčovaný smer. Za rovnakým účelom ET *TPS* sú vybavené v ďalekohľade prístroja žlto-červenou blikajúcou diódou EGL navádzajúceho svetla. Svetelné body sú viditeľné až do vzdialenosti 150 m (obr. 4.5)

Motorizované ET sú v ďalekohľade vybavené zariadením na automatické rozpoznávanie cieľa (Automatic Target Recognition – ATR). Tieto prístroje umožňujú automatické meranie uhlov a vzdialeností.



Obr. 4.5. Navádzacia dióda EGL Leica



Obr. 4.6. Automatické rozpoznanie cieľa

Prístroj sa predbežne nasmeruje priezorom na hranol odrazového zariadenia. V režime merania sa ET natočí automaticky pomocou motorov na stred hranola. Zabudované ATR vysiela laserový lúč. Odrazený lúč je prijatý vstavanou kamerou (CCD). Vypočíta sa poloha prijatého svetelného bodu s ohľadom na stred CCD. Horizontálne a vertikálne posuny sa prepočítajú na korekcie horizontálnych a vertikálnych uhlov a na riadenie motorov, ktoré otáčajú prístroj tak, aby zámerný kríž bol zacielený presne na stred hranola. Citlivá oblasť ATR je umiestnená do stredu zorného poľa ďalekohľadu, z ktorého predstavuje tretinu. ATR rozpoznáva stred hranola v rámci tejto citlivej oblasti. Pri hľadaní a rozpoznaní stredu hranola je zorné pole ďalekohľadu špirálovite prehľadávané tak, že citlivá oblasť ATR sa posúva do stredu hranola (obr. 4.6). Celkový čas na prehľadanie a rozpoznanie stredu hranola je asi 1 sekunda.

4.1.3 Skúška osových podmienok elektronických teodolitov

Osové podmienky ET s trubicovou alidádovou libelou kontrolujeme a rektifikujeme ako optické teodolity.

U ET s elektronickou libelou kontrolujeme osové chyby (podmienky) :

1. $V \perp L$ (l , t) pozdĺžnu chybu (l v smere kolimačnej osi) a priečnu chybu (t v smere horizontálnej osi) dvojsového kompenzátora,
2. (i) indexovú chybu vertikálneho kruhu,
3. $Z \perp H$ (c) kolimačnú chybu,
4. $H \perp V$ (a) chybu otočnej osi ďalekohľadu,
5. (ATR) kolimačnú chybu automatického rozpoznávania cieľa.

Napr. u ET TPS Systém 1000 Leica je nasledovný postup preskúšavania a rektifikácie osových chýb. Zvolíme režim **Kalibrácia** a postupne v poradí 1 až 5 kontrolujeme osové podmienky ET:

1. $V \perp L$ (l , t) predstavuje určenie indexovej chyby dvojsového kompenzátora. Po precíznom urovaní elektronickej libely v ľubovoľnom postavení alidády prístroja, štartujeme test podmienky (l , t). Po internom teste pozície kompenzátora prístrojom, na displeji je výzva na pootočenie prístroja o 200° . Akustickým signálom sa oznamuje dosťatočnosť splnenia podmienky otočenia prístroja o 200° . Po teste kompenzátora v 2. pozícii prístroja na displeji sa zobrazujú v uhlovej miere predchádzajúce a zistené indexové chyby kompenzátora v pozdĺžnom a priečnom smere. Po akceptovaní zistených indexových chýb budú odmerané vodorovné a výškové uhly automaticky opravované o chyby z nesplnenia osovej podmienky $V \perp L$. Určenie pozdĺžnej a priečnej osi kompenzátora vo vzťahu k zvislici zodpovedá stredu bubliny elektronickej libely.

Motorizované ET vykonávajú určenie podmienky (l , t) automaticky po spustení prvého merania.

2. (i) Pri kontrole indexovej chyby meriame v dvoch polohách ďalekohľadu vzdialený, jemne zobrazený bod. Senzor sklonu indikuje odchýlku vertikálnej osi prístroja od zvislice o ktorú sa automaticky opravuje čítanie výškového uhla (obr. 4.7). Na displeji sa zobrazuje predchádzajúca a určená hodnota indexovej chyby. Zároveň vystupuje výzva, či určená hodnota indexovej chyby bude akceptovaná.

3-4. (c , a) Kolimačnú chybu a chybu otočnej osi ET môžeme prekontrolovať v jednom meracom postupe meraním v dvoch polohách ďalekohľadu. Pri osovej podmienke $H \perp V$ je podmienka, aby bol meraný bod $\pm 30^\circ$ nad alebo pod horizontom prístroja.

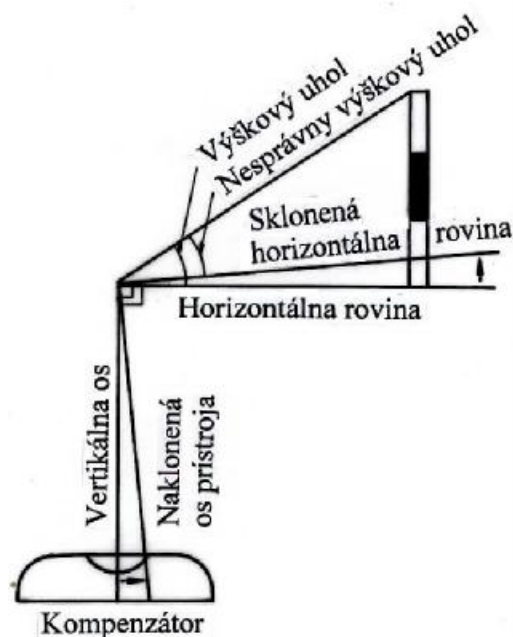
Motorizované prístroje sa po odmeraní v 1. polohe automaticky premiestňujú do 2. polohy. Merač musí iba prekontrolovať presné zacielenie.

5. (ATR) Kalibračná chyba ATR je odchýlkou medzi kolimačnou osou a stredom CCD kamery od priamky idúcej do stredu hranola (obr. 4.8). Meranie sa vykoná v dvoch polohách ďalekohľadu. Proces kontroly podľa voľby môže súčasne zohľadniť aj určenie indexovej chyby a kolimačnej chyby. Motorizované prístroje sa automaticky premiestnia do 2. polohy.

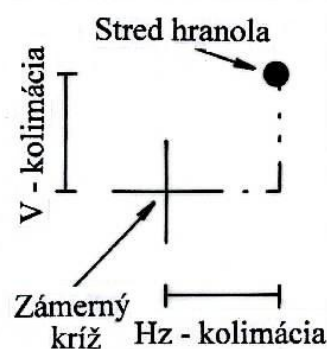
4.2 Metódy merania vodorovných uhlov

Podľa účelu a presnosti prác sa používali a dodnes používajú najmä tieto metódy merania vodorovných uhlov:

- a) meranie smerov v skupine,
- b) meranie uhlov násobením (repetičné meranie),
- c) meranie v laboratórnej uhlovej jednotke,
- d) meranie uhlov vo všetkých kombináciach,
- e) meranie uhlov v sektoroch,
- f) metóda smerníková,
- g) metóda vrcholová.



Obr. 4.7. Indexová chyba

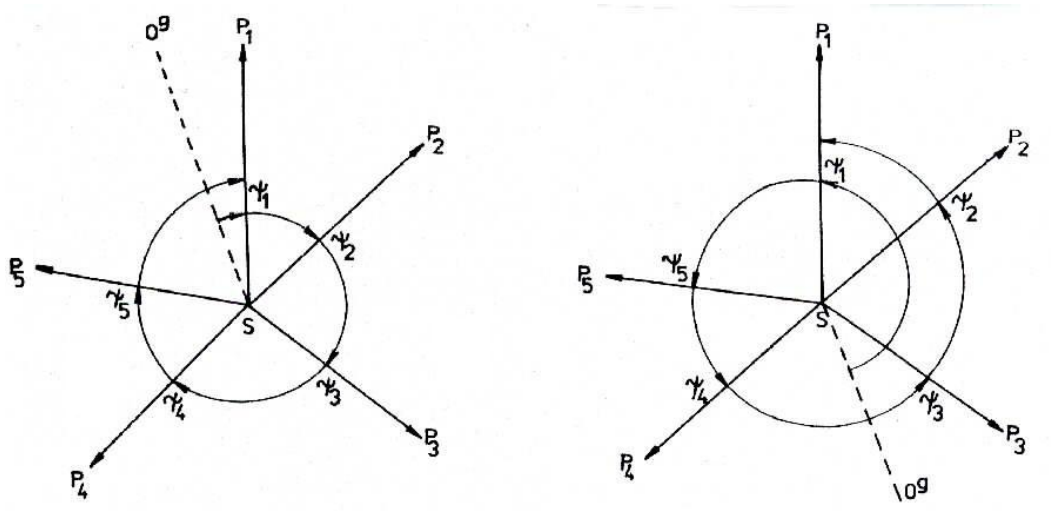


Obr. 4.7. Kolimačná chyba automatického rozpoznávania cieľa

Najširšie uplatnenie má metóda merania v skupinách. Repetičná metóda sa používa len výnimočne. Ostatné metódy sa používali predovšetkým v triangulačných meraniach a pri presných meraniach uhlov.

3.2.1 Metóda merania smerov v skupinách

Máme odmerať osnovu smerov y_1 (obr. 4.9). Teodolit centrujeme a horizontujeme, za východiskový smer y_0 volíme zámeru na zreteľný, nie veľmi vzdialený ale jasne viditeľný bod. Najlepšie, ak je umiestnený na horizonte s priamym osvetlením. Ďalekohľadom postupne cieľime na body v poradí P_1, P_2, \dots, P_n , nakoniec znovu „uzatvoríme“ meranie zámerou na východiskový bod P_1 . Touto zámerou sa kontroluje spoľahlivosť a stabilita postavenia teodolitu, čím sa zaistujeme proti hrubej chybe v meraní. Tak dostaneme 1. rad. Meranie v prvom rade je v prvej polohe ďalekohľadu v pravotočivom smere a v druhom rade v druhej polohe v ľavotočivom smere. Spolu tvoria meranie v jednej skupine.



Obr. 4.9. Meranie smerov v skupine

Ak sa v niektorom rade objaví nesúhlas medzi prvým a posledným čítaním viac ako 2,5 násobok hodnoty

$$r = m_0 \sqrt{n} , \quad (4.2)$$

kde m_0 je stredná chyba meraného smeru v jednej skupine a n je počet smerov v skupine, má sa meranie opakovať.

Účinok periodickej chyby v delení horizontálneho kruhu a optického mikrometra (rúnová chyba) sa dá znížiť meraním vo viacerých skupinách. Počiatočné nastavenie v ďalších skupinách zmeníme o hodnotu (predpokladáme teodolit s koincidenčným spôsobom čítania)

$$y = \frac{200^s}{s} + \frac{a}{s} , \quad (4.3)$$

kde s je počet skupín, a je rozsah stupnice mikrometra.

Strednú chybu vyrovnaného smeru meraného v s skupinách vypočítame zo vzťahu

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{s}} , \quad (4.4)$$

kde m_0 je jednotková stredná chyba meraného smeru v jednej skupine

$$m_0 = \sqrt{\frac{[vv]}{(n-1)(s-1)}} , \quad (4.5)$$

v sú opravy, n je počet smerov (opakovaný východiskový smer započítavame do počtu smerov) a s je počet skupín.

Opravy v vypočítame zo vzťahu

$$v_{ij} = v'_{ij} + z_j \quad (4.6)$$

kde $v'_{ij} = \bar{y}_i - y_{ij}$ je predbežná oprava, \bar{y}_i je vyrovnaná hodnota (aritmetický priemer z j - skupín), y_{ij} hodnota i - tého smeru v j - tej skupine a z_j je tzv. „orientačná oprava“ v j - tej skupine

$$z_j = -\frac{\sum y_{ij}}{n} . \quad (4.7)$$

Orientačnú opravu počítame pre každú skupinu zvlášť, pretože musí byť splnená podmienka

$$\sum_{i=1}^n v_{ij} = 0 \text{ pre každú skupinu (nestačí splniť len podmienku } \sum_{j=1}^s v_{ij} = 0).$$

4.2.2 Laboratórna uhlová jednotka

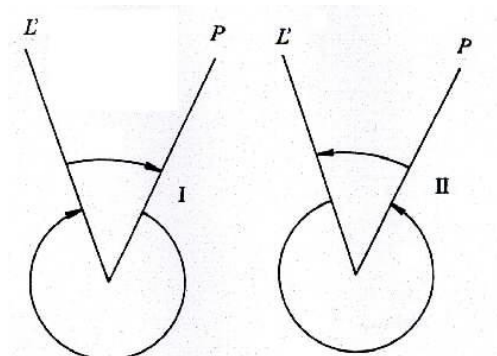
V roku 1936 zaviedol Ing. Jozef Křovák do našej triangulačnej praxe „laboratórnu jednotku“. Je to usporiadané meranie uhlov, pri ktorom je eliminovaný alebo významne znížený vplyv všetkých chýb sústavy teodolit a pilier, meranie trvá krátku dobu, takže sa dá predpokladať rovnaká refrakcia po celú dobu merania. Označenie „laboratórna“ má vyjadriť, že pri krátkej dobe merania majú spojnice teodolit – cieľ laboratórnu povahu.

Pracovná schéma merania v laboratórnej uhlovej jednotke podľa obr. 4.10 je uvedená v tab. 4.1. Laboratórna jednotka má 4 skupiny (meranie v 8-ich radách).

Postup merania v laboratórnej uhlovej jednotke

Tabuľka. 4.1.

Skupina	Rad	Smer	Poloha d'alekohľadu	Smer otáčania	Vychodisko vé čítanie
1	I	L P	I	→	α_0
	II	P L			
2	III	P L	II	←	α_0+100
	IV	L P			



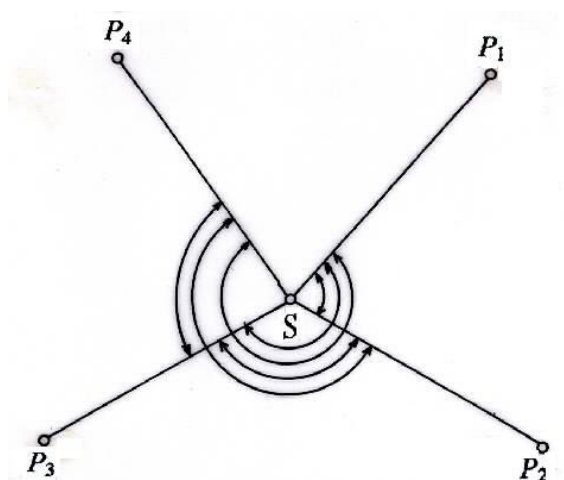
Obr. 4.10. Meranie v laboratórnej uhlovej jednotke

4.2.3 Meranie uhlov vo všetkých kombináciách (Schreiberova metóda)

Ak je na stanovisku merania s smerov, môžeme vytvoriť n uhlov tak, že každý smer kombinujeme s ostatnými smermi. Počet kombinácií vypočítame zo vzťahu

$$N = \binom{s}{2} = \frac{s(s-1)}{2}. \quad (4.8)$$

Podľa obr. 4.11 pre $s = 4$ je $N = \frac{4 \cdot 3}{2} = 6$.



Obr. 4.11. Meranie uhlov vo všetkých kombináciách

Každý uhol sa meria v n laboratórnych jednotkách. Okrem toho každý z uhlov sa dá odvodiť z $(s - 2)$ priamo odmeraných uhlov.

4.2.4 Meranie uhlov v sektoroch

Vrcholové uhly w_1, w_2, w_3, \dots na stanovisku S sa rozdelia vhodne vybranými hlavnými smermi A, B, C, \dots na sektory.

Vždy dva susedné hlavné smery vytvárajú sektorové uhly s_1, s_2, s_3 . Horizont stanoviska S vyplňujú sektorové uhly s a vrcholové uhly w (obr. 4.12).

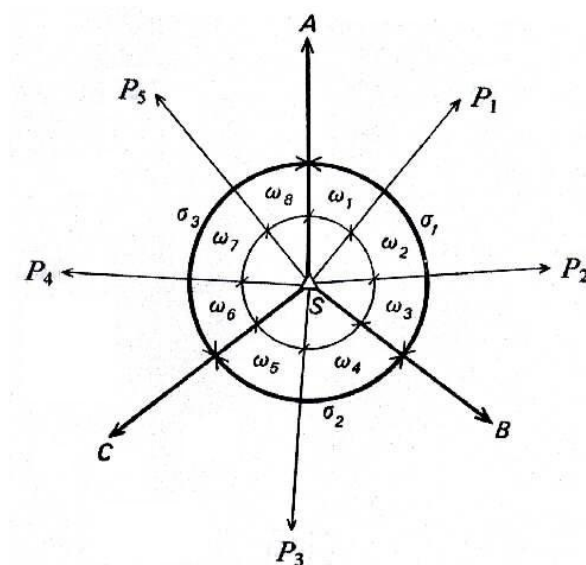
Jednotlivé sektorové uhly obsahujú vrcholové uhly.

$$s_1 = + w_1 + w_2 + w_3,$$

$$s_2 = + w_4 + w_5,$$

$$s_3 = + w_6 + w_7 + w_8.$$

(4.9)



Obr. 4.12. Meranie uhlov v sektoroch

Vrcholové uhly sa merajú v n laboratórnych jednotkách.

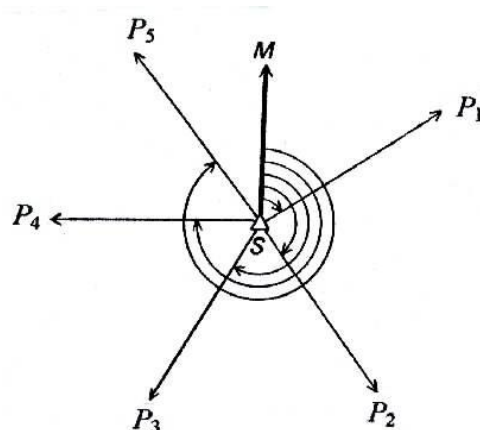
Vyrovnanie uhlov na stanovisku:

- Sektorové uhly sa vypočítajú ako všeobecný aritmetický priemer z priamo odmeraných hodnôt a z hodnôt získaných súčtom príslušných vrcholových uhlov.
- Sektorové uhly sa vyrovnávajú na 400° (odchýlka sa rovnomerne rozdelí na jednotlivé uhly).
- Vrcholové uhly sa vyrovnávajú vo vnútri príslušných sektorov (odchýlka sa rozdelí rovnomerne na jednotlivé uhly).

Výhodou sektorovej metódy je možnosť prispôbiť meranie atmosferickým podmienkam.

4.2.5 Metóda smerníková

Každý smer osnovy na stanovisku S vytvára uhol (kombináciu) s pomocným (základným) smerom M (obr. 4.13). Základný smer je určený zvláštnym signálom, ktorý sa zriaďuje na vhodnom mieste vo vzdialenosti niekoľkých kilometrov od stanoviska (aby sa pri meraní uhlov nemuselo meniť zaostrenie ďalekohľadu).

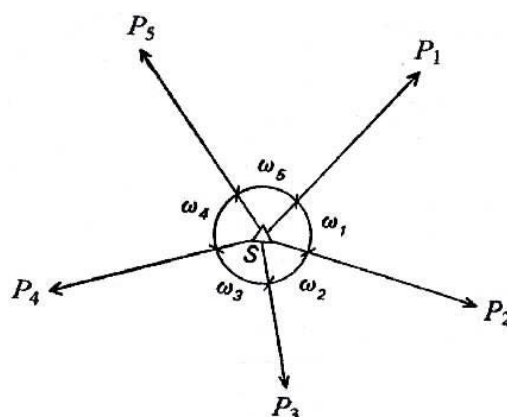


Obr. 4.13. Meranie uhlov smerníkovou metódou

Uhly ($M.1$), ($M.2$), ($M.3$),...sa merajú v dvojiciach, napr. pre uhol ($M.1$) je to poradie merania M , 1; 1, M . Uhly je možné merať tiež v skupinách alebo v laboratórnych jednotkách.

4.2.6 Metóda vrcholová

Touto metódou sa meria samostatne každý z vrcholových uhlov w , ktorý vyplnía horizont (obr. 4.14). Jednotlivé uhly sa merajú v laboratórnych jednotkách. Výhodou vrcholovej metódy je vzájomná nezávislosť merania každého z uhlov na stanovisku.



Obr. 4.14. Meranie uhlov vrcholovou metódou

Poznámky a rady na presné meranie uhlov:

- povinnosťou merača je prekontrolovať osovú podmienku teodolitu,
- teodolit je potrebné chrániť slnečníkom pred priamym osvetlením Slnkom,
- pred meraním sa otočí alidádou jedenkrát dookola, v rovnakom zmysle ako nasledujú zámery,
- pri meraní sa musí otáčať stále v rovnakom zmysle, ak vynecháme zámeru nevraciam sa, ale pootočíme teodolitom v rovnakom smere, v akom postupuje meranie smerov,
- meranie a zaobchádzanie s teodolitom sa musí vykonávať citlivo, plynule a rovnomerne a bez zbytočných prerušení,
- pri otáčaní teodolitu nikdy netlačíme na ďalekohľad, ale vždy tlačíme na nosnú vidlicu teodolitu,
- pred meraním je potrebné zaostriť zámerý kríž (najlepšie proti oblohe) a zaostriť čítací mikroskop,
- pointácia na cieľ, ako i koincidencie mikrometra vykonávame vždy z tej istej strany.

4.3 Meranie uhlov v základnej trigonometrickej sieti

Priemerná dĺžka strán v základnej trigonometrickej sieti (trigonometrickej sieti I. rádu) je 30 – 40 km. Chyba v smere veľkosti 1'' tu znamená posun o 15 – 20 cm. Preto uhly v základnej sieti bolo potrebné merať s najväčšou dosiahnuteľnou presnosťou.

Strednú chybu meraného uhla (alebo smeru) počítame podľa známeho Ferrerovho vzorca

$$m_w = \sqrt{\frac{\sum U^2}{3t}} \quad \text{alebo} \quad m_s = \sqrt{\frac{\sum U^2}{6t}}, \quad (4.10)$$

kde U ... uzávery trojuholníkov,

t ... počet trojuholníkov v sieti.

Základná trigonometrická sieť ČSR, neskoršie nazývaná *astronomicko-geodetická sieť* (AGS), mala tieto stredné chyby:

pre uhol $m_w = 0,38''$, pre smer $m_s = 0,27''$.

4.4 Horizontálna refrakcia

Prostredie, ktorým prechádzajú svetelné lúče pri meraní uhlov, je nehomogénne. Vo vzduchu, ktorý má malú tepelnú vodivosť, sa teplo šíri od ohriateho zemského povrchu. Nad vodnými plochami alebo nad lesmi sa vytvárajú nepravidelné kužele chladnejšieho vzduchu, nad suchou nezatrávnenou zemou, nad dozrievajúcim obilím, nad skalami je vzduch teplejší. Izotermické plochy sú preto závislé na tvare terénu a jeho poraste. Hustota vzduchu potom závisí v prvom rade na teplote (chladnejší vzduch je hustejší), ďalej na tlaku, obsahu vodných pár a iných plynov. Prechodom do hustejšieho prostredia sa svetelný lúč láme ku kolmici.

Pri meraní prechádza svetelný lúč v rôznych výškach nad terénom prostredím rôznej hustoty, láme sa a do ďalekohľadu vstupuje z iného smeru ako keby prostredie bolo homogénne. Odchýlka lúčov v smere vertikálnom je dosť veľká a prejavuje sa pri meraní vertikálnych uhlov. Podstatne menšia, avšak nie zanedbateľná je odchýlka lúčov v smere horizontálnom, prejavuje sa ako *horizontálna refrakcia* (tiež priečna, bočná alebo laterálna).

Na výpočet opráv z refrakcie je odvodených viac vzťahov. Problém refrakcie doposiaľ nie je uspokojivo vyriešený a je limitujúcim činiteľom zvyšovania presnosti geodetických meraní.

Refrakčná chyba má S má zložku systematickú c a zložku premenlivú g

$$S = c + g. \quad (4.11)$$

Systematická zložka c v podstate závisí na profile terénu pod zámerou, na jeho vlastnostiach (vodné plochy, lesy a pod.) a na klimatických pomeroch v danom území. Má preto rôznu hodnotu pre jednotlivé smery na rovnakom stanovisku a je tiež rôzna na rôznych bodoch. Nie je možné ju vylúčiť ani dlhodobým meraním za rôznych atmosférických podmienok.

Premenlivá zložka g sa okrem iného mení s dennou dobou a so zmenami atmosférických podmienok. Pri jednom meraní uhla (pri krátkej dobe merania) pôsobí ako chyba systematická. Pri meraní na druhý deň v inej dobe a za iných atmosférických podmienok môže mať inú hodnotu i znamienko a tým môže nadobudnúť charakter náhodnej chyby. Pri dostatočnom vystriedaní podmienok bude jej stredná hodnota $E(g) = 0$ a stredná hodnota refrakčnej chyby $E(S) = c$.

Stredná chyba m meraného smeru (alebo uhla) sa skladá z meračskej chyby m a z refrakčnej chyby S :

$$m^2 = m^2 + S^2. \quad (4.12)$$

Refrakčná chyba sa preto prejavuje v uzáveroch trojuholníkov a má (rozhodujúci) nepriaznivý vplyv na presnosť sietí.