

## 4. Studiul teodolitului.

Este instrumentul care permite masurarea directiilor la doua sau mai multe puncte din teren, precum și înclinarea acestor directii. Determinarile se raporteaza la un plan orizontal care trece prin punctul în care se stioneaza cu teodolitul, numit punct de statie.

Clasificarea teodolitelor se face dupa :

- modul de citire a directiilor;
- precizia determinarilor;
- gradele de libertate ale miscarilor cercului orizontal.

Dupa modul de citire a directiilor, se cunosc doua categorii de teodolite:

- clasice, la care cercurile sunt gravate pe metal, citirile facându-se cu ajutorul vernierului, microscopul cu scarita sau microscop cu tambur. Acest ultim tip de aparat nu se mai construiește.
- moderne, la care cercurile sunt gravate pe sticla, iar lecturile se fac centralizat pentru ambele cercuri, într-un singur microscop, fixat pe luneta.
- electronice, la care cercurile sunt digitale, valoarea indicatiei fata de un reper de pe cercul gradat fiind afisata pe un ecran cu cristale lichide.

Clasificarea dupa precizia de determinare a unghiurilor conduce la urmatoarele categorii:

- teodolite de mare precizie, sau astronomice, la care lecturile se fac pâna la zecime de secunda de arc (Theo 002, Wild T4, Kern DKM 3);
- teodolite propriu-zise, la care determinarile se fac pâna la o secunda de arc (Theo 010, Wild T2, Kern DKM2) ;
- teodolitele tahimetrice la care determinarile se fac la minut de arc (Theo 020, Theo 030, Wild T1A, Wild T16, Kern DKM 1) precum și teodolite tahimetrice de santier, la care determinarile se fac la 10 minute de arc.

Clasificarea dupa gradele de libertate ale miscarii cercului orizontal gradat se face în:

- teodolite simple, la care numai cercul alidad se poate misca în jurul axei verticale;
- teodolitele repetitoare, la care atât cercul alidad cât și limbul au posibilitatea misca în jurul axei verticale;
- teodolitele reiteratoare, la care miscarea limbului în jurul axei verticale se face prin intermediul unui surub exterior, numit reiterator,

### 1. Schema generala a teodolitului clasic.

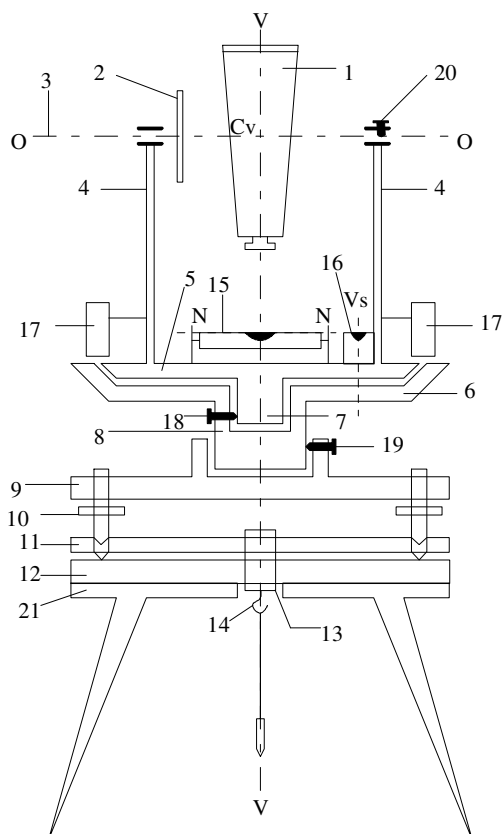


Figura 4.1- Schema generala a teodolitului.

Întregul aparat se compune din infrastructura și suprastructura. Infrastructura este cuprinsa între ambaza teodolitului și limb inclusiv, iar suprastructura este compusa din restul partilor componente, toate putându-se misca în jurul axei verticale V-V).

Partile componente, asa cum sunt prezentate în figura 5.1 sunt:

1 - luneta teodolitului; 2 - cercul vertical; 3 - axa de rotatie a lunetei; 4 - furcile lunetei; 5 - cercul alidad; 6 - cercul gradat orizontal (limbul); 7 - axul teodolitului; 8 - coloana tubulara a axului teodolitului; 9 - ambaza teodolitului; 10 - suruburi de calare; 11 - placa de tensiune a ambazei; 12 - placa ambazei; 13 - surub de prindere (surub pompa); 14 - dispozitiv de prindere a firului cu plumb; 15 - nivela torica a cercului orizontal; 16 - nivela sferica a cercului orizontal; 17 - dispozitiv de citire a cercului orizontal; 18 - surub de blocare a cercului alidad; 19 - surub de blocare a limbului; 20 - surub de blocare a miscarii lunetei; 21 - ambaza trepedului; VV - axa principala a teodolitului (verticala); OO - axa secundara a lunetei; NN - directricea nivelei torice; VsVs - axa nivelei sferice; Cv - centrul de vizare al teodolitului.

La vizarea unui obiect îndepartat, teodolitul are posibilitate de miscare în jurul axei principale de rotatie, V-V și posibilitate de miscare a lunetei și cercului vertical într-un plan vertical în jurul axei orizontale secundare O-O.

### 2. Axele teodolitului.

Din punct de vedere constructiv teodolitul are trei axe și anume:

1. axa V-V, numita și principala, care este axa de rotatie a suprastructurii aparatului. În timpul masuratorilor, aceasta trebuie sa fie verticala;

2. axa O-O, numita și secunda, care este axa în jurul careia se rotește luneta împreună cu cercul vertical;
3. axa r-O (reticul-obiectiv) numita și de vizare, care este linia materializând direcția spre care se efectuează măsuratoarea.

Toate cele trei axe trebuie să se întâlnească în același punct, Cv, numit centrul de vizare al teodolitului.

## 1. Partii componente ale teodolitului.

### 2. Luneta topografică.

Lunetele instrumentelor topografice sunt constituite ca un dispozitiv optic ce servește la vizarea, la distanță, a obiectelor numite și semnale topografice, a căror imagine obținută prin luneta este clară și mărită, imposibil de obținut cu ochiul liber. În afara de aceasta, luneta poate servi și la determinarea distanțelor (măsurare) pe cale optică, procedeu numindu-se determinarea stadimetrică a distanțelor.

După modul de alcatuire, se disting lunete:

- cu focalizare exterioară, la care planul imaginii este fix iar planul reticulului este mobil. Au fost folosite la aparatele vechi, iar acum nu se mai construiesc.
- cu focalizare interioară, la care planul imaginii este mobil iar cel al reticulului este fix.

Luneta cu focalizare exterioară (figura 5.2) se compune din:

1- tub obiectiv; 2 - tub ocular; 3 - obiectiv; 4 - ocular; 5 - reticul; 6 - lentila divergentă de focalizare; 7 - surub de focalizare; 8 - surub cremaliera; 9 - suruburi de rectificarea firelor reticulare; 10 - locul de formare al imaginii în absența lentilei de focalizare;  $O_1$  - centrul optic al obiectivului;  $O_2$  - centrul optic al ocularului; r - centrul reticulului; xx - axa geometrică a lunetei;  $O_1O_2$  - axa optică a lunetei; a - distanța variabilă între lentila de focalizare și obiectivul fix;  $p'$  - distanța variabilă între obiectiv și imagine.

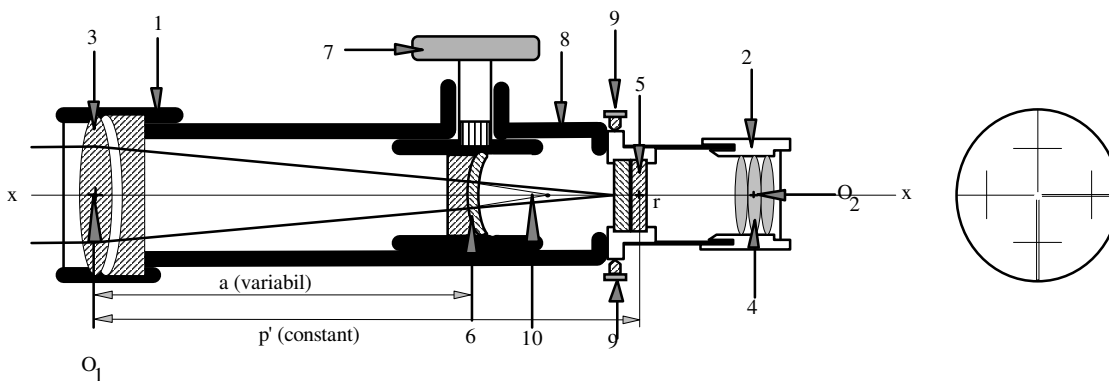


Figura 4.2 - Luneta topografică.

Spre deosebire de luneta cu focalizare exterioară, la cea cu focalizare interioară, planul firelor reticulare este fix, iar claritatea imaginii se realizează prin deplasarea unei lentile numite de focalizare. Lungimea lunetelor este variabilă la cele cu focalizare exterioară și constantă la cele cu focalizare interioară.

Pentru a nu se pierde timp cu căutarea obiectului ce se dorește a se viză, pe luneta se amplasează un dispozitiv, tip cui - catare sau mai nou un colimator, care odată suprapus peste obiectul vizat asigură existența în câmpul vizual al lunetei a obiectului vizat.

Axele lunetei, care trebuie să coincidă între ele, sunt materializate de:

1. axa optică, determinată de centrele optice ale obiectivului și ocularului și nu este materializată;
2. axa geometrică, sau de simetrie, este determinată de centrele celor două sau trei tuburi concentrice și de asemenea nu este materializată;
3. axa de vizare, determinată de centrul r al firelor reticulare și centrul optic al obiectivului, fiind singura axă materializată.

Reticulul lunetei este format dintr-o placă de sticlă pe care sunt gravate foarte fin trasături numite fire reticulare. În cazul în care se constată descentrarea centrului firelor reticulare de la axa geometrică a lunetei, aceasta este prevăzută cu suruburi de rectificarea în plan orizontal, respectiv vertical, care prin acționare permit readucerea centrului pe axa geometrică. La lunetele moderne reticulul este fix și se află în planul focal anterior al ocularului.

Punerea la punct a lunetei se execută în două faze și anume:

a). punerea la punct a imaginii firelor reticulare se realizează prin îndreptarea lunetei spre o suprafață de culoare deschisă, iar prin rotirea ocularului se tinde la obținerea unei imagini clare a firelor. Operațiunea se execută la începutul unei zile de măsurători și rămâne valabilă atât timp cât nu se schimbă operatorul la aparat.

b). punerea la punct a imaginii obiectului vizat urmărește să realizeze o claritate maximă a imaginii prin acționarea surubului de focalizare. Acest lucru se realizează când planul imagine se suprapune cu cel al firelor reticulare. Operațiunea se numește focalizare și se execută la fiecare vizare cu luneta, deoarece depinde de distanța de la obiect la aparat.

Ordinea operațiilor este strict obligatorie în succesiunea în care este prezentată mai sus; inversarea ordinii conduce la alterarea clarității imaginii obiectului vizat când se realizează claritatea firelor.

Punctarea obiectelor vizate este operatiunea prin care se aduce centrul firelor reticulare pe punctul matematic al obiectului vizat. Operatiunea se realizeaza în etape succesive:

4. se suprapune dispozitivul de vizare aproximativa (cui-catare sau colimator) peste imaginea obiectului vizat. În acest moment în câmpul vizual al lunetei apare imaginea neclara a obiectului. Se focuseaza imaginea cu ajutorul surubului de focusare.
5. se deplaseaza luneta în plan vertical pâna ce firul reticular orizontal se suprapune peste punctul vizat, actionând din surubul de fina miscare în plan vertical.
6. se deplaseaza firul reticular vertical pâna ce se ajunge pe punctul vizat, prin actionarea surubului de fina miscare în plan orizontal.

### 1. Nivelele teodolitului.

Sunt dispozitivele care servesc la orizontalizarea sau verticalizarea unor drepte, precum și la masurarea unor unghiuri mici de panta. Se disting urmatoarele tipuri de nivele:

**sferica**, (figura 5.3) formata dintr-o fiola de forma cilindrica, având la partea superioara forma unei calote sferice. Interiorul este umplut cu eter sau alcool, lasându-se un mic spatiu ce formeaza o bula de vapori saturati de lichid. Partea centrala a calotei reprezinta punctul central al nivelei prin care trece axa verticala  $V_s - V_s$  a acesteia. Pe calota fiolei se graveaza cercuri concentrice cu diametrul marit cu 2 mm. Întregul ansamblu se fixeaza într-o montura protectoare din material plastic dur sau metal.

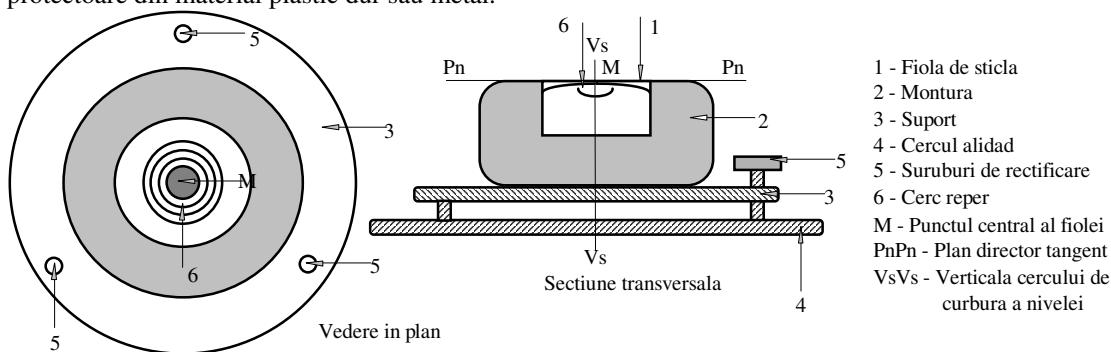


Figura 4.3 - Nivela sferica.

**torica**, (figura 5.4.) formata dintr-o fiola în forma de tor (cilindru curbat dupa un arc de cerc), umpluta cu aceleași lichide ca și nivela sferica. La partea superioara a fiolei se graveaza trasaturi simetrice fata de mijlocul ei, la interval de 2 mm una de cealalta. Atunci când centrul bulei coincide cu centrul fiolei, tangenta la centrul fiolei devine orizontala. Tangenta poarta denumirea de directrice a nivelei.

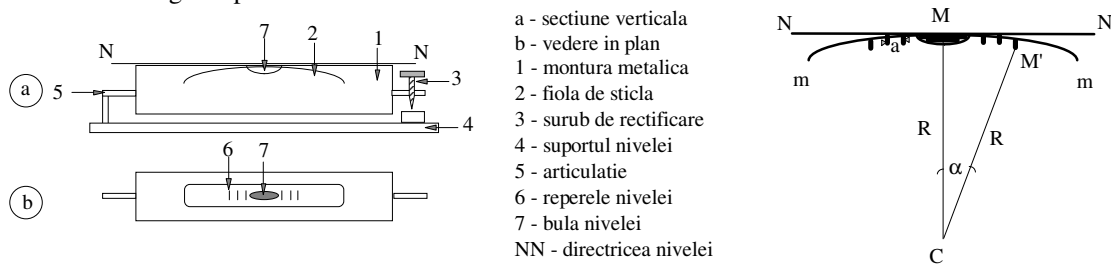


Figura 4.4 - Nivela torica.

Marimea ce caracterizeaza o nivela se numeste sensibilitate și reprezinta unghiul la centru de înclinare a fiolei pentru o deplasare a bulei de 2 mm. Cu cât unghiul este mai mic cu atât sensibilitatea este mai mare și invers. Acest lucru se obtine la nivelele cu raza de curbura cât mai mare.

Un caz particular al acestui tip de nivela este **nivela cu coincidenta**, (figura 5.5), la care semiimaginele capetelor bulei nivelei sunt aduse, printr-un sistem de prisme, într-un ocular sectionat în doua jumatati pe verticala. Când capetele sunt în prelungire, centrul bulei coincide cu centrul nivelei. Procedul prin coincidenta este de pâna la 10 ori mai precis decât cel cu reperate gravate.

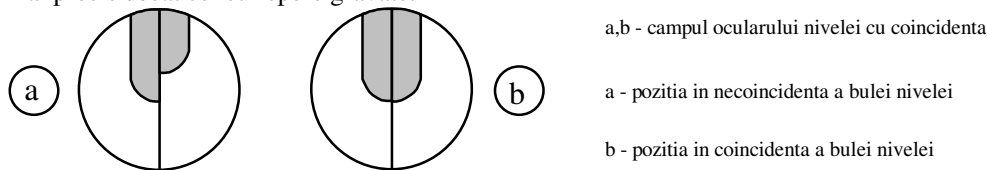


Figura 4.5 - Nivela cu coincidenta.

Daca vom realiza o nivela compusa din doua toruri dispuse cu curbura opusa una fata de cealalta, deci ambele fete vor fi convexe, realizam o nivela butoias, care atasata unui dispozitiv ce-i va permite rotirea convenabila, va putea sa lucreze prin rasucire fie pe o fata fie pe cealalta.

## .2. Metode de masurare a unghiurilor.

Operatiunile necesare masurarii unghiurilor constau din urmatoarea succesiune:

- verificarea și eventual rectificarea teodolitului;
- asezarea în statie a teodolitului;
- vizarea punctului, facuta pentru determinari azimutale la baza semnalului, prin suprapunerea peste acesta sau bisectare a firului reticular vertical, iar pentru determinarea unghiului zenital prin suprapunerea firului reticular orizontal peste semnal, fie la înaltimea (I) a instrumentului, fie la înaltimea (S) a semnalului. Anterior însa este necesara vizarea aproximativa cu ajutorul colimatorului, punerea la punct a imaginii firelor reticulare și apoi a imaginii obiectului vizat (semnal geodezic).
- efectuarea determinarilor propriuzise.

## .3. Masurarea unghiurilor orizontale.

Funcție de numarul punctelor spre care se vor face determinarile, metodele de masurare se refera la masurarea unghiurilor izolate, daca este vorba de unghiul format de doua puncte vizate, sau de unghiuri dispuse în tur de orizont daca este vorba de mai mult de 2 puncte vizate.

metoda diferentei citirilor sau simpla - se foloseste la determinarea unghiului format de directiile catre doua puncte, fara o precizie deosebita. Pentru aceasta (figura 5.6) se procedeaza astfel: se elibereaza miscarea înregistratoare a cercului orizontal gradat, se vizeaza punctul A în pozitia I a lunetei (cerc vertical stânga) și se efectueaza citirea  $c_1$ ; se deblocheaza miscarile generale ale aparatului și se vizeaza punctul B, cu luneta tot în pozitia I; se efectueaza citirea  $c_2$ . Valoarea unghiului format de directiile catre punctele A si B va fi data de diferenta citirilor :

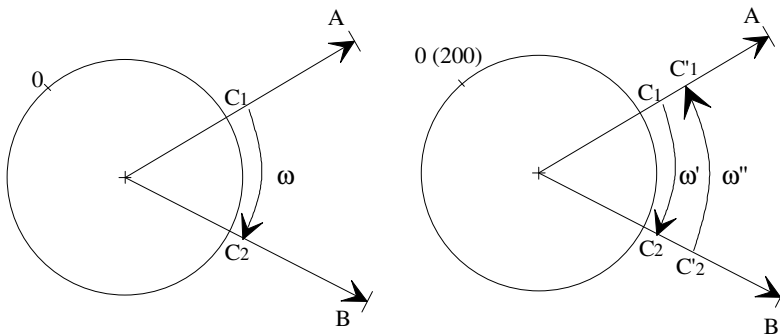


Figura 4.6 - Metoda diferentei citirilor.

$\omega = c_2 - c_1$  [5.1]

Daca operatiunile descrise mai sus se completeaza cu vizarea în pozitia a doua a lunetei, se va obtine o valoare mai precisa a valorii unghiului dintre cele doua directii. Pentru aceasta a doua faza se rotesc aparatul și luneta cu câte  $200^\circ$ , cercul vertical fiind acum în dreapta lunetei (pozitia a II-a), dupa care se vizeaza punctul B și se efectueaza citirea  $c_2'$ ; se vizeaza punctul A, prin rotirea aparatului în sens antiorar și se efectueaza citirea  $c_1'$ . Unghiul masurat în pozitia I va fi:

$$\omega' = c_2 - c_1 \quad [5.2]$$

iar în pozitia a II-a va fi :

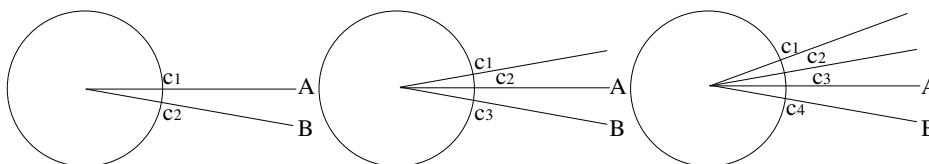
$$\omega'' = c_2' - c_1' \quad [5.3]$$

Daca diferenta celor doua determinari se încadreaza în toleranta admisa, atunci valoarea cea mai probabila a unghiului va fi media aritmetica a celor doua determinari.

$$\omega = \frac{\omega' + \omega''}{2} \quad [5.4]$$

Un caz particular al acestei metode este cel în care pe directia initiala, în pozitia I se aduce valoarea zero a cercului orizontal gradat. În acest caz, citirea initiala devenind 0, rezulta ca citirea facuta pe punctul B este chiar marimea unghiului ce se doreste a se masura, în pozitia I a lunetei. Prin aducerea aparatului în pozitia a II-a a lunetei, valoarea unghiului va fi data de diferenta între  $c_2'$  și  $200^\circ$ . Cu cele doua valori obtinute, daca acestea se înscriu în tolerante, se calculeaza media ca fiind valoarea cea mai probabila a unghiului  $\omega$ .

metoda repetitiei - se foloseste la determinarea cu precizie sporita a unghiurilor izolate, atunci când pentru masuratori este folosit un instrument repetitor ( figura 5.7). Ne propunem sa determinam unghiul sub care se vad din punctul de statie punctele A si B prin trei repetitii. Principial, metoda foloseste de fiecare data drept origine a citirilor,



valoarea directiei determinata în masuratoarea anterioara. Pentru determinarea unghiului între doua directii concurente în punctul de statie, cu

Figura 4.7 - Metoda repetitiei.

instrumentul în poziția I a lunetei se vizează punctul A și se efectuează citirea  $c_1$ ; se vizează punctul B careia i-ar corespunde citirea  $c_2$  care însă nu se efectuează; în schimb după vizarea punctului B se blochează mișcarea înregistratoare, se deblochează mișcarea generală în plan orizontal și se vizează punctul A. Se deblochează mișcarea înregistratoare și se revizează punctul B; citirea corespunzătoare ar fi  $c_3$ , care la fel ca și  $c_2$  nu se efectuează. După această secvență am efectuat două "repetitii" pentru măsurarea unghiului între direcțiile spre punctele A și B. În sfârșit, după vizarea punctului B se blochează mișcarea înregistratoare, se deblochează mișcarea generală în plan orizontal, se vizează A, se deblochează mișcarea înregistratoare și cea generală în plan orizontal și se vizează B. Numai acum se poate face citirea la dispozitivul de citire a cercului orizontal. Valoarea cea mai probabilă a unghiului măsurat prin cele trei repetitii va fi obținută cu relația :

$$\omega = \frac{c_4 - c_1}{3} \quad [5.5]$$

Metoda se aplică în cazul măsurării unghiurilor izolate, în ambele poziții ale lunetei, în situația în care se dispune de un aparat cu o precizie de citire mai mică decât precizia cerută pentru determinarea unghiului.

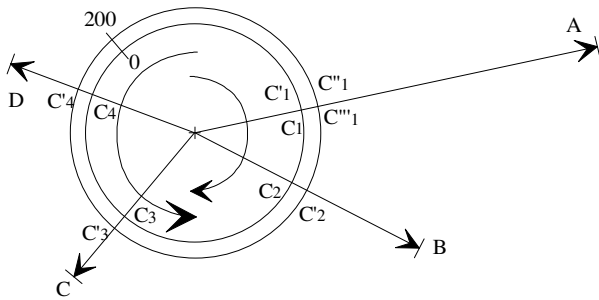


Figura 4.8 - Metoda seriilor.

*metoda seriilor* (sau reiteratiilor) se folosește de fiecare dată când se urmărește determinarea mării unghiurilor dintr-un punct de stație în care converg mai multe vize (figura 5.8). Din totalitatea vizelor, se alege ca direcție de referință (initială) viza cea mai lungă, de la care se vizează toate celelalte puncte, în ordine, în sens orar, încheindu-se turul de orizont tot pe viza initială. Pentru acest tur de orizont, luneta aparatului este în poziția I (cerc vertical stânga). Se aduce aparatul în poziția a doua, se vizează aceeași direcție initială, după care vizarea se desfășoară în sens antiorar până la închiderea pe aceeași viza initială. Valorile măsurate se prelucrează, procedându-se la calculul mediilor între cele două poziții, a neînchiderii

și a corecției totale și unitare și prin aplicarea celei din urmă la obținerea valorilor compensate pentru direcțiile măsurate. Pentru exemplificare se prezintă mai jos (tabelul 5.1) un exemplu de prelucrare.

Prin efectuarea diferenței între direcția initială (considerată valoare justă) către punctul A și direcția finală

Pct st.	Pct.vizat	Pozitia I	Pozitia II	Medii	Corectie	Unghi comp
A	1	10.123	210.13	10.126	0	10.1263
	2	95.568	295.57	95.566	-0.0028	95.5635
	3	153.23	353.23	153.23	-0.0056	153.2194
	4	301.18	101.18	301.18	-0.0084	301.1741
	1	10.135	210.14	10.138	-0.0112	10.1263

Tabelul 4.1-Compensarea seriilor

(considerată viza afectată de erori) tot către punctul A, se obține valoarea corecției totale:

$$c = 10,1263^g - 10,1375^g = -1^c 12^{cc}$$

Această valoare se va repartiza proporțional fiecărei vize, cu o cantitate  $c_u$  adică :

$$c_u = \frac{c}{n} = -28^{cc}$$

Viza initială fiind neafectată de erori nu va primi nici o corecție, viza către punctul B va

primi  $c_u$ , viza către punctul C va primi  $2 \cdot c_u$  și așa mai departe până la viza de închidere care va primi  $4 \cdot c_u$ . Se observă că prin aplicarea corecției corespunzătoare la valoarea măsurată, viza finală devine egală cu viza initială.

Dacă se dorește o creștere a preciziei determinărilor se pot executa mai multe serii, însă cu origini diferite ale direcției inițiale. Intervalul între serii se stabilește cu relația:

$$I = \frac{400^g}{m \cdot n} \quad [5.6]$$

unde  $I$  reprezintă intervalul între serii;  $m$  - numărul dispozitivelor de citire (în general 2);  $n$  - numărul de serii ce se execută.

Dacă observațiile se fac numai într-o singură poziție a lunetei, de obicei în sens orar, metoda se numește a turului de orizont.

#### .4. Măsurarea unghiurilor verticale.

Pentru măsurarea unghiurilor verticale se procedează în felul următor:

- se instalează aparatul în punctul de stație, se centrează și se calează;
- se măsoară înălțimea aparatului (notată cu  $i$ );
- se vizează semnalul din punctul B, fie la înălțimea aparatului fie la înălțimea  $s$  a semnalului, prin aducerea firului reticular orizontal la unul din cele două repere menționate mai sus; se citește unghiul vertical la dispozitivul de citire.

După poziția originii diviziunilor cercului vertical, se pot determina, fie unghiuri zenitale, când originea este îndreptată spre zenit (în sus, pe verticală) fie unghiuri de pantă, dacă originea este pe direcția orizontalei ce trece prin centrul de vizare al aparatului.

Măsurarea unghiurilor de pantă se face cu luneta în ambele poziții, calculându-se media:

pozitia I  $\alpha_1 = c_1$  [5.7]

pozitia a II-a  $\alpha_2 = 200^g - c_2$  [5.8]

de unde rezulta:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{c_1 + (200^g - c_2)}{2} = \frac{c_1 - c_2}{2} + 100^g \quad [5.9]$$

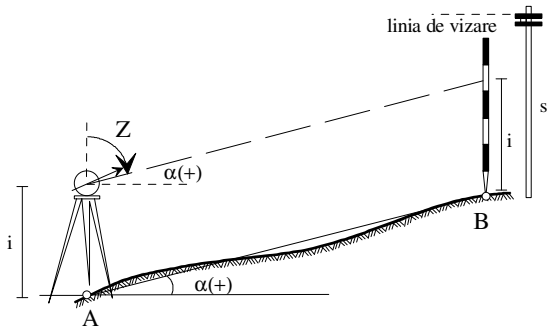


Figura 4.9 - Masurarea unghiurilor verticale.

ca valoarea cea mai probabila a determinarilor.

În cazul masurarii unghiurilor zenitale relatiile de calcul

devin:

pozitia I  $Z_1 = c_1$  [5.10]

pozitia a II-a  $Z_2 = 400^g - c_2$  [5.11]

de unde rezulta:

$$Z = \frac{Z_1 + Z_2}{2} = \frac{c_1 + (400^g - c_2)}{2} = \frac{c_1 - c_2}{2} + 200^g \quad [5.12]$$

Pentru calculul unghiului de panta prin masurarea unghiului zenital se foloseste relatia:

$$\alpha = 100^g - Z \quad [5.13]$$

din care se poate constata ca unghiul de panta este o marime algebrica; acesta este pozitiv pentru toate punctele situate deasupra liniei orizontului și negativ pentru toate punctele situate sub linia orizontului ce trece prin centrul de vizare al unui teodolit instalat într-un punct de statie. Pornind de la relatia [5.13], se poate scrie ca:

$$\alpha_1 = 100^g - Z_1 ; \quad \alpha_2 = Z_2 - 300^g \quad [5.14]$$

iar controlul citirilor se face cu relatia :

$$Z_1 + Z_2 = 400^g \quad [5.15]$$

### .5. Precizia masurarii unghiurilor cu teodolitul.

Daca urmarim succesiunea operatiunilor efectuate într-o statie pentru masurarea unui unghi, indiferent de metoda, vom constata ca la toate metodele a trebuit sa :

1. centram aparatul pe punctul de statie, operatiune care atrage dupa sine comiterea unei erori  $m_c$  = eroare de centrare a aparatului în statie;
2. vizam un semnal instalat în punctul vizat, deci sacomitem eroarea  $m_r$  = eroarea de centrare a semnalului vizat (de reductie)
3. efectuam masuratoarea propriuzisa, citind valorile directiilor la dispozitivele de citire, ocazie cu care am comis eroarea  $m_m$  = eroarea de masurare propriuzisa;
4. am utilizat un instrument care oricât de precis ar fi are totusi erori constructive, sau erori instrumentale  $m_i$ ;
5. efectuam masuratorile în conditii meteo mai mult sau mai putin favorabile, dar în nici un caz ideale, motiv pentru care observatiile sunt influentate de  $m_{CE}$  = eroarea datorita conditiilor exterioare.

Orice directie masurata într-o pozitie a lunetei este influentata de erorile mentionate mai sus cu o cantitate:

$$m_1 = \sqrt{m_c^2 + m_r^2 + m_m^2 + m_i^2 + m_{CE}^2} \quad [5.16]$$

Deoarece unghiul este compus din doua directii, rezulta ca eroarea unui unghi va fi dublul erorii unei directii, și deci:

$$m_\omega = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} \quad [5.17]$$

Pentru unghiurile masurate în ambele pozitii ale lunetei, eroarea unghiului va fi egala cu eroarea directiei .