

Considerații asupra erorilor instrumentale la stațiile totale

Ovidiu IACOBESCU

1. Introducere

Întrucât sunt construite după același principiu (aceleași organe principale, axe și mișcări) cu instrumentele considerate de acum clasice, pentru a fi considerate apte de lucru, instrumentele topografice moderne (teodolite electronice, stații totale) trebuie să îndeplinească aceleași condiții, ce pot fi grupate în: generale, constructive și geometrice. Ne propunem să analizăm îndeplinirea acestor condiții la instrumentele moderne, efectul lor asupra măsurării unghiurilor și să subliniem deosebirile din acest punct de vedere între cele două generații.

2. Condiții generale și constructive

Condițiile generale se referă la starea instrumentului și a trepiedului, controlabilă prin observarea exterioară și prin operații simple ca: funcționarea pârghiilor de mișcare, blocare și mișcare fină, focusarea ocularului și a lentilei de focusare, integritatea nivelelor instrumentului.

Teodolitele electronice și stațiile totale fac, la pornire, autoteste legate de starea sursei de alimentare cu energie, a circuitelor integrate și microprocesorului, realizarea sau nu a unei calări corespunzătoare. Rezultatul acestor autoteste și a inițializării instrumentului sunt comunicate apoi pe display prin mesaje de tip OK sau care anunță eventuale neregularități (de ex. batt-low – bateria de acumulatori descărcată).

Condițiile constructive se referă la mici imperfecțiuni în construcția instrumentului. Teoretic vorbind, toate instrumentele măsoară unghiurile cu un anumit grad de imperfecțiune, pentru că nu există nici un dispozitiv mecanic construit fără erori. La instrumentele optice din generațiile mai vechi, aceste erori puteau constitui o problemă și în trecut operatorii de teren au învățat tehnici bine puse la punct pentru a micșora efectul micilor imperfecțiuni de construcție.

Aceste erori încă există dar, odată cu apariția dispozitivelor electronice și cu perfecționările din optică, au efecte cu mult mai mici comparativ cu instrumentele clasice. Operatorul topograf din prezent este pus mai curând în situația de a memora tehnici de lucru decât modalități de compensare a erorilor constructive, trebuind să înțeleagă mai curând conceptele care stau la baza acestor tehnici și modul în care instrumentele electronice realizează - de cele mai multe ori automat - anularea sau micșorarea efectului lor.

Teodolitele și tahimetrele trebuie să îndeplinească următoarele condiții constructive:

a). axa principală și cea secundară trebuie să fie riguros perpendiculare pe limb respectiv pe eclimetru. Această condiție este practic suficient îndeplinită prin tehnicile de construcție pentru a putea neglija eroarea care se produce, iar pentru măsurătorile exigente direcțiile se pot viza în ambele poziții ale lunetei, caz în care efectul erorii asupra mediei aritmetice se anulează.

b). axa principală și cea secundară să treacă prin centrul cercului respectiv. Neîndeplinirea acestei condiții dă naștere unei erori care este funcție de mărimea excentricității și de porțiunea citită de pe cerc, reprezentarea ei grafică fiind o curbă sinusoidală. La teodolitele optice, efectul acestei erori se anulează la cercul orizontal dacă se măsoară în ambele poziții ale lunetei și se face media. Eroarea rămâne însă pentru cazul lucrului într-o singură poziție. La eclimetru nu se întâmplă același lucru, întrucât acesta se rotește odată cu luneta.

Teodolitele digitale și stațiile totale sunt testate individual și dacă se depistează o excentricitate, se determină variația sinusoidală a erorii, care se înscrie în memoria ROM (Read Only Memory). Corecția se adaugă automat în plus sau minus, funcție de zona de citire, rezultând unghiul corect măsurat. Dacă teodolitele sunt cu cercurile divizate prin linii raster egale și citirea se face prin scanarea diviziunilor cu senzori opuși diametral, întreg conturul este baleiat și valorile măsurate sunt mediate, eliminându-se și eroarea datorată excentricității, dar și cea de divizare inexactă.

c). axa de viză să intersecteze axa principală. Eroarea se depistează măsurând cu precizie aceeași direcție orizontală în ambele poziții. Se demonstrează că media aritmetică a celor două valori nu este afectată de această eroare. Efectul ei rămâne însă atunci când se lucrează într-o singură poziție.

Pentru cazul instrumentelor electronice, modelele mai noi au o metodă prin care se ajustează efectul acestei erori și în cartea tehnică se explică modul de determinare și de stocare a ei. La unele instrumente, corecția stocată afectează numai direcțiile măsurate în poziția I, iar când se trece în poziția a II-a, valoarea măsurată poate fi afectată cu de două ori eroarea produsă.

d). gradațiile de pe cercuri să fie riguros egale. Dacă condiția nu este îndeplinită, se pot obține valori diferite ale aceluiași unghi, măsurat în zone diferite ale cercului. La instrumentele optice de generație mai veche, acest lucru putea deveni o problemă, care se rezolva prin medierea valorilor unghiului citit în mai multe zone de pe limb.

La instrumentele optice de fabricație recentă această sursă de eroare este practic eliminată prin folosirea procedurii de foto-gravare a gradațiilor: se construiește un cerc de diametru foarte mare, care se gradează precis și apoi se fotografiază. Pe cercul de gravat se așează o emulsie pe care este proiectată imaginea fotografică redusă uniform, iar după îndepărtarea emulsiei rămâne o gravare foarte precisă.

3. Condiții geometrice

Funcționarea corectă poate fi afectată de mici dereglări sau uzuri apărute în procesul de exploatare a instrumentului. Ele sunt inerente și este de datoria

operatorilor să le cunoască, să le sesizeze și la nevoie să le elimine. Principalele condiții de îndeplinit sunt:

a). axa principală să fie verticală. Efectul neverticalității axei principale este cuantificat prin unghiul pe care aceasta îl face cu firul cu plumb (figura 1a). Eroarea este produsă de calarea neadecvată sau de dereglarea nivelei torice și ea există atunci când, rotind instrumentul în diferite poziții, nivela torică se dereglează chiar dacă a fost rectificată. Lucrul în ambele poziții ale lunetei nu o elimină, așa încât ea nu poate fi îndepărtată la instrumentele optice; rectificarea poziției axului principal este de competența reprezentanței firmei constructoare.

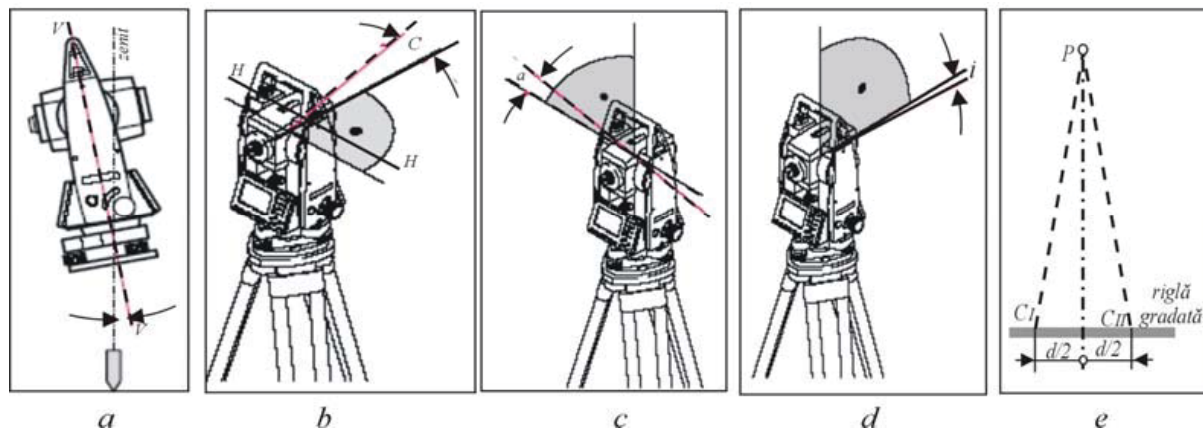


Figura 1. erori instrumentale: a - neverticalitatea axei principale, b - eroarea de colimație orizontală, c - neorizantalitatea axei secundare, d - eroarea de colimație pe verticală, e - eroarea provocată de neorizantalitatea axului secundar

Figure 1. Instrumental errors

Teodolitele electronice și stațiile totale de fabricație recentă au sisteme compensatoare biaxiale electronice, capabile să aducă automat corecții efectului neverticalității axului principal, dacă eroarea este sub un prag anumit. Un asemenea compensator, cuplat cu un microprocesor, sesizează mărimea deviației față de zenit a axei verticale și o descompune după direcția de viză (componenta longitudinală) și după axa secundară (componenta transversală). În figura 2a se arată cuantificate componentele deviației de la verticală, putându-se observa că, deși există o înclinare în direcția axului secundar, pe direcția vizei efectul ei asupra valorii direcției dispăre. Mărimea corecțiilor pentru cercuri este automat determinată de un microprocesor și aplicată valorilor măsurate înainte de a fi afișate sau stocate. La cerere, valoarea componentelor neverticalității poate fi afișată pe display (figura 2c). Dacă înclinarea depășește ca valoare sensibilitatea compensatorului, sunt afișate mesaje specifice și citirile de pe cercuri nu mai sunt disponibile. Determinând aceste valori și corectându-le, instrumentul se poate considera perfect așezat în stație, eliminându-se în acest mod erorile ce decurg de aici.

În figura 2b este prezentat principiul de funcționare al compensatorului electronic biaxial folosit de Leica Geosystems. Acesta are incorporate circuite cu cuplare de sarcină (Charged - Coupled Device), care sunt dispozitive opto –

electronice capabile să convertească lumina în sarcini electrice. Suprafața CCD este divizată în unități mici de imagine (pixeli).

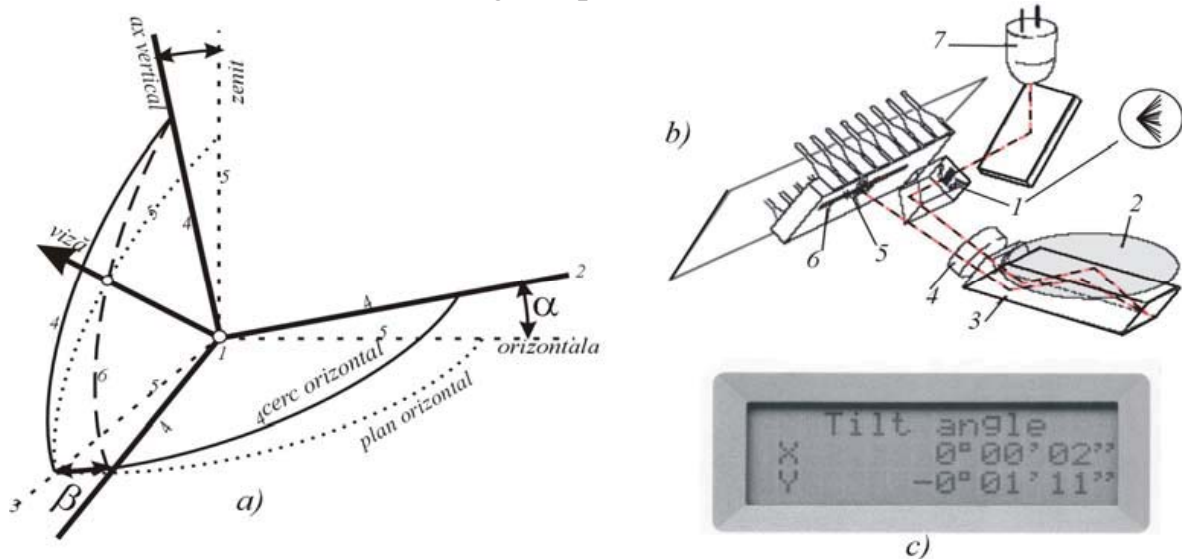


Figura 2. a - Mărimea corecțiilor aduse prin sistemul de compensatoare biaxiale: 1- punctul de intersecție a axelor instrumentului, 2- axa secundară, 3- proiecția orizontală a axei de viză, 4- axele și planele instrumentului, înclinat în direcția axei secundare, 5- poziția corectă (orizontal și vertical) a axelor și planelor de rotație, 6- planul format de axa de viză după ce luneta s-a rotit orizontal pentru o vizare corectă, α - înclinarea axei verticale pe direcția axei secundare, β - eroarea de citire a direcției, egală cu corecția de adus unghiului orizontal (Sokkisha SET); b - principiul de funcționare al unui compensator electronic biaxial Leica (după K. Zeiske); c - afișarea componentelor înclinării axei verticale (Sokkisha): x - componenta longitudinală, y - componenta transversală

Figure 2. a- Components of vertical axis declination; b- Vertical compensator device; c- tilt angle display

Dacă lumina ajunge pe suprafața dispozitivului se generează o sarcină electrică, pixelii fără aport de lumină fiind și fără generare de sarcini electrice. Printr-o tehnică denumită „cuplare de sarcină”, imaginea pixelilor care au generat sau nu sarcină electrică este stocată într-o memorie. De altfel, circuitele CCD sunt părți esențiale la majoritatea instrumentelor de fabricație recentă (o aplicație cunoscută a folosirii lor sunt camerele digitale). Referința orizontală a compensatorului o constituie suprafața (2) unui ulei special. Un reticul (1) aflat pe prismă este iluminat de o sursă (LED) și imaginea lui (5) este trimisă pe suprafața aranjamentului de CCD (6) prin intermediul unei lentile (4) și după ce suferă o dublă reflexie prin prisma (3) pe suprafața lichidului. Forma reticulului permite, prin deformare, sesizarea ambelor componente ale înclinării: cele longitudinale modifică spațiul dintre segmentele cu diferite orientări, iar cele transversale transportă imaginea întregului aranjament de-a lungul setului CCD. Întregul montaj permite realizarea de dimensiuni foarte mici, permițând așezarea lui pe axa verticală, ceea ce face ca și în timpul rotației rapide a alidadei suprafața orizontală a lichidului să nu fie practic afectată.

b). axa de viză să fie perpendiculară pe cea orizontală. Neîndeplinirea acestei erori conduce la eroarea de colimație orizontală („c”), care este egală cu deviația de la unghiul drept dintre linia de viză și axa secundară (figura 1b). Existența erorii este

certă dacă, vizând repetat un punct bine vizibil, cu luneta aproximativ orizontală, valorile din poziția I și a II-a (C_I și C_{II}) sunt sistematic diferite și mai mari ca eroarea standard pentru o direcție. Cauza producerii erorii este descentrarea reticulului și ca urmare intersecția firelor reticulare nu mai aparține axei lunetei. Rectificarea se face folosind C_I și C_{II} , cu care se calculează media aritmetică, neafectată de eroare:

$$C_{med} = \frac{C_I + (C_{II} - 200)}{2} \quad (1)$$

Valoarea mediei se aduce la limb în poziția I cu șurubul de fină mișcare orizontală și se suprapune apoi firul vertical reticular pe semnalul vizat, acționând pe rând șuruburile antagoniste orizontale care fixează reticulul în tubul lunetei. În această situație, intersecția firelor reticulare, care este un punct vizibil al axei de viză, este acum pe axa optică a lunetei; cum axa lunetei este din construcție perpendiculară pe axa secundară a aparatului, rezultă că este îndeplinită condiția cerută. La instrumentele electronice existența și rectificarea se poate face de asemenea automat. Instrumentele care compensează și această eroare se numesc cu „compensare triaxială.”

c) axa secundară să fie orizontală și perpendiculară pe axa principală. Neîndeplinirea condiției provoacă eroarea cu mărimea „a” (figura 1c), reprezentând o deviație de la unghiul drept dintre axa secundară și cea principală. Aceasta înseamnă că, deși instrumentul este corect calat, luneta nu mai execută o rotație în plan vertical, ci într-unul oblic. Depistarea erorii se face prin vizarea unui punct înalt, P, în poziția I și a II-a (figura 1e) și proiectarea vizei pe o riglă gradată orizontală, perpendiculară pe viză. Dacă citirile pe riglă C_I și C_{II} corespunzătoare celor două poziții coincid, axa secundară este orizontală. Dacă sunt diferite, axa secundară este înclinată, și instrumentul trebuie rectificat. Rectificarea ține cont că distanța $d = C_I \div C_{II}$ este efectul dublului neorizantalității axului orizontal, fiind recomandat să se facă la reprezentanța firmei.

Efectul acestor erori asupra măsurii unghiului orizontal crește odată cu diferența de nivel dintre punctele vizate. Prin măsurători în ambele poziții, atât efectul erorii de colimație pe orizontală, cât și acela al înclinării axei secundare se elimină

La teodolitele electronice, ca și la stațiile totale, valoarea „c” și „a” a corecției de adus pot fi determinate și stocate, fiind luate în considerare automat odată cu măsurătoarea. Rezultă practic valori neafectate de aceste erori, chiar când se lucrează într-o singură poziție a lunetei. Modul de determinare a erorilor și stocarea lor sunt specificate în cărțile tehnice.

d) firele reticulare să fie corect aranjate. Când teodolitul este corect calat, firul reticular principal trebuie să fie perfect vertical și implicit cel nivelor să fie perfect orizontal, întrucât sunt din construcție reciproc perpendiculare. Depistarea condiției este suficient să fie făcută pentru unul din fire, cu aparatul bine calat. Cel mai simplu este de verificat firul vertical, întrucât acesta trebuie să se suprapună perfect peste un fir cu plumb privit prin lunetă. Condiția nu este îndeplinită când există o rotire a planului reticul, iar rectificarea se face prin acționarea convenabilă a șuruburilor antagoniste care susțin reticulul în tubul lunetei.

e) la eclimetru să se citească înclinarea corectă a lunetei. Neîndeplinirea acestei condiții produce eroarea de colimație pe verticală, dată de unghiul dintre direcția zenit și zero al cercului vertical. Aceasta face ca, la toate teodolitele moderne la care

eclimetrul oferă unghiul zenital, citirea pentru cazul vizei orizontale (unghiul „i” în figura 1d), să nu fie 100 gon (sau 90^0), ci $100 + „i”$ gon (sau $90^0 + „i”$). Existența erorii este certă atunci când suma unghiurilor zenitale măsurate spre aceeași direcție în poziția I și a II-a nu dă sistematic 400 gon. Dacă tahimetrele sunt din generații mai vechi, ele au o nivelă torică atașată eclimetrului, care trebuie rectificată. La instrumentele de generații mai noi, care au prevăzut compensator, eroarea se datorează descentrării planului reticul. Rectificarea se face în poziția a II-a, introducând la eclimetru valoarea corectă ($400 \text{ gon} - z_I$). Se aduce din nou viza pe punct acționând de șuruburile verticale ale reticulului. Valoarea medie a citirilor în poziția I și a II-a nu este afectată de această eroare.

La teodolitele digitale valoarea erorii se poate determina automat și stoca.

4. Concluzii

După cum se poate remarca din text, o mare parte a erorilor datorate instrumentului sunt depistate automat de senzori, iar mărimea lor este determinată de microprocesoarele conținute de stațiile totale. Astfel, este eliminat automat: efectul excentricității axelor față de cercurile pe care sunt perpendiculare, efectul neintersectării axei de viză cu axa principală, a gradării inegale a cercurilor, neverticalitatea - între anumite limite - a axei principale și neperpendicularitatea între axa orizontală și cea verticală. Dacă la toate acestea se adaugă tehnologiile moderne de execuție, care micșorează mult erorile de construcție a dispozitivelor mecanice componente, se ajunge aproape de situația ideală în care efectul erorilor de instrument se poate neglija.

Bibliografie

Zeiske, K., 1999, A New Generation of Total Stations from Leika Geosystems, sursa: INTERNET
Anonymus, Prospecte: Leika Geosystems, Sokkisha

Abstract

Some Considerations concerning Total Station Instrument Errors

The papers emphasize the differences between classical tachometers and the electronic total stations. It presents some devices which are able to find out some errors and correct their effect.

Key words: instrumental errors, total stations

Dr. ing. Ovidiu Iacobescu,
Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava
Facultatea de Silvicultură,
oiacobescu@yahoo.com