

4. METODE DE TRASARE ÎN PLAN A PUNCTELOR CONSTRUCȚIILOR

Axele și punctele caracteristice ale construcțiilor se trasează pe teren prin diferite metode.

Alegerea metodei de trasare se face în funcție de următorii factori: condițiile de măsurare, gradul de accidentare al terenului, obstacole ce împiedică vizele (măsurarea peste ape, în subteran etc.), natura obiectului de trasat (dimensiune și formă în plan), precizia cerută la trasare, modul de realizare al rețelei de trasare, aparatura avută la dispoziție.

În funcție de condițiile de mai sus, se poate utiliza una din următoarele metode: metoda coordonatelor polare, metoda coordonatelor rectangulare, metoda intersecției unghiulare înainte, metoda intersecției liniare, metoda drumuirii poligonometrice, metoda intersecției înapoi.

4.1. METODA COORDONATELOR POLARE

Metoda se recomandă în situațiile când lucrările se execută în zone în care sunt posibile atât măsurătorile unghiulare cât și cele liniare, iar baza de trasare este alcătuită dintr-o drumuire poligonometrică sau rețea topografică de construcții.

Trasarea pe teren a punctului C se face prin aplicarea, din punctul A al rețelei de trasare, a unghiului orizontal din proiect β (unghi polar), față de latura rețelei (direcție de referință) și a distanței D din proiect (rază vectoare) (figura 4.1).

Valoarea elementelor topografice ce urmează a fi trasate (β , D) se determină în faza de pregătire topografică cu relațiile generale:

$$\operatorname{tg} \theta_{AC} = \frac{\Delta Y_{AC}}{\Delta X_{AC}}; \operatorname{tg} \theta_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}} \quad 4.1$$

$$\beta = \theta_{AC} - \theta_{AB} \quad 4.2$$

$$D = \sqrt{\Delta X_{AC}^2 + \Delta Y_{AC}^2} = \frac{\Delta Y_{AC}}{\sin \theta_{AC}} = \frac{\Delta X_{AC}}{\cos \theta_{AC}} \quad 4.3$$

unde $\Delta X_{AC} = X_C - X_A$

$$\Delta X_{AB} = X_B - X_A; \Delta Y_{AC} = Y_C - Y_A; \Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A$$

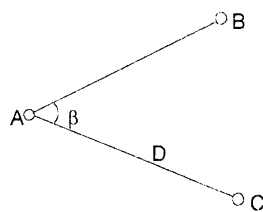


Fig. 4.1 Metoda coordonatelor polare

Coordonatele punctelor A și B sunt cunoscute (puncte ale rețelei de trasare) iar coordonatele punctului C sunt indicate în proiect.

Trasarea punctului C se efectuează astfel:

- se staționează cu teodolitul în punctul A și față de direcția de referință AB se trasează unghiul β (procedeul de trasare, stabilit în faza de proiectare topografo-inginerească, se alege în concordanță cu precizia cerută de trasare).
- pe direcția astfel obținută se va aplica distanța D, la capătul ei materializându-se punctul de trasat.

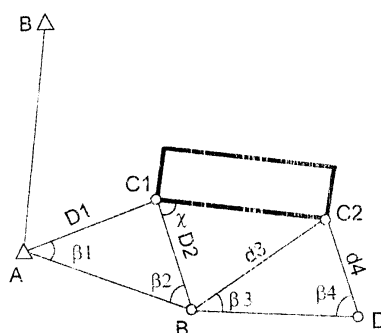


Fig. 4.2 Controlul trasării

Controlul trasării se poate efectua:

- prin trasarea punctului construcției și din alt punct al rețelei de sprijin (de exemplu: trasarea punctului C din punctele rețelei de sprijin A și B - figura 4.2);
- trasarea punctului C prin altă metodă de trasare;
- compararea distanțelor și unghiurilor dintre punctele trasate, obținute prin măsurarea pe teren cu cele indicate în proiect.

Precizia metodei

Dacă nu se ține seama de influența erorii punctelor rețelei de trasare și a erorii de fixare din figură se obține:

$$\Delta c = \sqrt{\Delta l^2 + \Delta t^2} \quad 4.4$$

în care Δc – abaterea poziției punctului C provocată de abaterea de trasare a distanței ΔD și de abaterea de trasare a unghiului polar $\Delta\beta$:

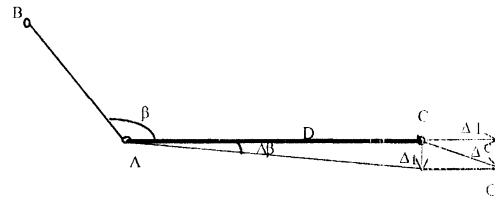


Fig. 4.3 Principiul calculului preciziei

Δl – abaterea longitudinală (poate fi similară cu abaterea de trasare a distanței ΔD);

Δt – abaterea transversală reprezentând echivalentul liniar al abaterii de trasare a unghiului polar $\Delta\beta$.

Ținând seama de cele de mai sus, relația (5.4) poate fi scrisă și sub forma:

$$\Delta c = \sqrt{\Delta D^2 + D^2 \sin^2 \Delta\beta} \quad 4.5$$

Trecând la abaterile standard și ținând seama și de erorile de poziție a punctelor de sprijin și a celor de fixare, vom avea:

$$\sigma_c = \sqrt{2\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \left(\frac{\sigma_\beta}{\rho} D\right)^2 + \sigma_f^2} \quad 4.6$$

în care:

- σ_s – abaterea standard de poziție a punctelor de sprijin;
- σ_D – abaterea standard de trasare a distanței;
- σ_β – abaterea standard de trasare a unghiului orizontal;
- σ_f – abaterea standard de fixare a punctului trasat.

4.2. METODA COORDONATELOR RECTANGULARE

Această metodă se aplică în cazul punctelor construcțiilor situate în apropierea aliniamentului ce unește două puncte ale rețele de sprijin (de trasare). Eficiența metodei este condiționată de poziția punctelor rețelei de trasare pe direcția unei axe de coordonate (de exemplu: în cazul rețelei topografice de construcții, când calculul elementelor este foarte facil).

Metoda constă în materializarea pe teren a punctului C al construcției prin aplicarea unui segment x în lungul aliniamentului ce unește cele 2 puncte de sprijin (A, B) iar din punctul P astfel obținut a unei perpendiculare de lungime y .

Pregătirea topografică constă din determinarea coordonatelor relative x, y .

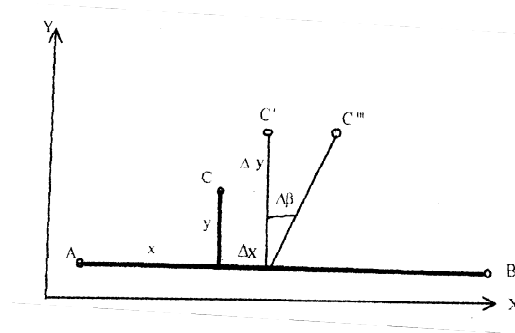


Fig. 4.4 Metoda coordonatelor rectangulare

a. În cazul poziției punctelor de sprijin pe direcția unei axe de coordonate, (figura 4.4)

$$x = x_C - x_A; \quad y = y_C - y_A \quad 4.7$$

b. În cazul unei poziții oarecare a punctelor de sprijin față de axele de coordonate (figura 4.5)

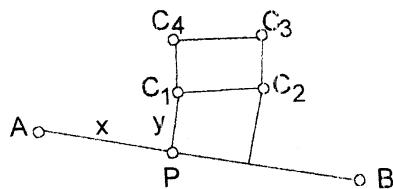


Fig. 4.5 Elementele de trasat la metoda coordonatelor rectangulare

$$\begin{aligned} x &= (x_C - x_A) \cos \theta_{AB} + (y_C - y_A) \sin \theta_{AB}; \\ y &= (y_C - y_A) \cos \theta_{AB} - (x_C - x_A) \sin \theta_{AB} \end{aligned} \quad 4.8$$

În aceste relații:

x_A, y_A, x_B, y_B - coordonatele punctelor de sprijin;

x_C, y_C - coordonatele punctului C;

θ_{AB} - orientarea aliniamentului AB.

Semnul ordonatei este indicat de poziția punctului C față de direcția AB.

Trasarea punctului C prin această metodă presupune următoarele operații:

- se așează teodolitul în stație în punctul A și se vizează abscisa x și se materializează punctul P;
- se instalează teodolitul în punctul P și față de direcția PA se trasează un unghi de 100° ;

- pe direcția astfel obținută se va aplica ordonata y rezultând poziția pe teren a punctului C din proiect.

Observații:

- ca direcție de referință pentru trasarea unghiului drept se va alege latura cea mai lungă (PA sau PB);
- se alege schema de trasare în așa fel încât $|x| > |y|$.

Controlul poziției punctului trasat se face prin:

- măsurarea laturilor construcției rezultate prin trasare și compararea lor cu cele din proiect;
- trasarea punctului C utilizând altă schemă de trasare – mod de control posibil în cazul rețelei topografice de construcții;
- trasarea punctului C prin altă metodă (de exemplu metoda coordonatelor polare).

Precizia metodei

Abaterea standard de trasare a punctului C va fi provocată de:

- abaterile standard σ_x și σ_y de aplicare pe teren a creșterilor de coordonate x și y ;
- abaterea standard σ_β de trasare a unghiului drept;
- abaterea standard σ_e de centrare a teodolitului (doar în punctul A, dacă se consideră că eroarea de centrare la trasarea unghiului b este inclusă în abaterea standard de trasare a acestui unghi);
- abaterea standard de reducere σ_r , doar în punctul P;
- abaterea standard σ_f de fixare pe teren a punctului;
- abaterile standard σ_s ale punctelor de sprijin, putându-se scrie relația:

$$\sigma_c^2 = \sigma_s^2 + \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \left(\frac{\sigma_\beta}{\rho} \right)^2 y^2 + \sigma_e^2 + \sigma_r^2 + \sigma_f^2 \quad 4.9$$

4.3. METODA INTERSECȚIEI UNGHIULARE ÎNAINTE

Metoda intersecției unghiulare înainte aparține procedeelor clasice de poziționare, trasare și ridicare ale topografiei inginerești.

Procedeul este recomandat la trasarea axelor principale din puncte de triangulație (de exemplu a centrelor infrastructurilor podurilor sau a axelor construcțiilor hidrotehnice), și în general în situațiile în care este foarte dificilă măsurarea distanțelor din punctele de sprijin spre punctul de trasat.

Poziția pe teren a punctului C se obține prin aplicarea unghiurilor orizontale α și β (figura 4.6).

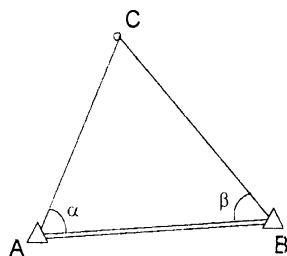


Fig. 4.6 Metoda intersecției unghiulare înainte

Pregătirea topografică a proiectului în vederea trasării presupune calcularea unghiurilor orizontale utilizând coordonatele rectangulare cunoscute ale punctelor de sprijin A și B și cele ale punctului proiectat C. Calculul se face cu relațiile:

$$\operatorname{tg} \theta_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}} \Rightarrow \theta_{AB} \quad 4.10$$

$$\operatorname{tg} \theta_{AC} = \frac{\Delta Y_{AC}}{\Delta X_{AC}} \Rightarrow \theta_{AC}$$

$$\operatorname{tg} \theta_{BC} = \frac{\Delta Y_{BC}}{\Delta X_{BC}} \Rightarrow \theta_{BC}$$

$$\theta_{BA} = \theta_{AB} + 200^g \quad 4.11$$

$$\alpha = \theta_{AB} - \theta_{AC}; \beta = \theta_{BC} - \theta_{BA} \quad 4.12$$

Controlul corectitudinii calculului se poate face determinând unghiul orizontal γ (figura 4.6):

$$\gamma = \theta_{CA} - \theta_{CB}$$

și verificând respectarea condiției $\alpha + \beta + \gamma = 200^g$.

Trasarea se poate face utilizând un singur teodolit sau două teodolite.

În primul caz:

- se instalează teodolitul în stație în punctul A și față de direcția AB se aplică unghiul α ; direcția rezultată se materializează pe teren prin țărșuși (1 și 2) în zona punctului C (figura 4.7);
- se deplasează teodolitul în punctul B și se trasează unghiul β rezultând pe teren punctele 3 și 4 (marcate prin țărșuși);
- poziția pe teren a punctului C se va găsi la intersecția unor fire (sârme) întinse între punctele 1 și 2, respectiv 3 și 4.

Dacă se utilizează două teodolite de aceeași precizie, instalate simultan în punctele A și B, se trasează concomitent unghiurile α și β , poziția punctului C rezultând:

- la intersecția firelor întinse între punctele 1-2 și 3-4;
- sau
- prin dirijarea (de către operatorii celor două teodolite) a unui lucrător până când direcția AC va intersecta direcția BC; această modalitate de trasarea este posibilă la distanțe relativ mici (150 m).

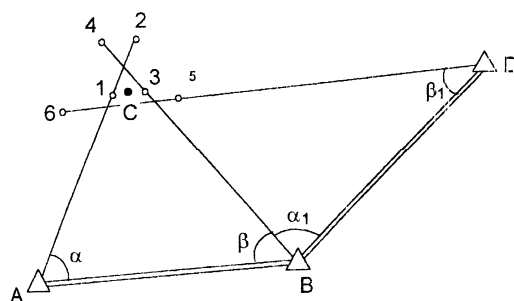


Fig. 4.7 Controlul trasării

Pentru **controlul trasării** se poate proceda astfel:

a. se trasează punctul C prin intersecția unghiulară înainte multiplă (trasarea se efectuează din 3 sau mai multe puncte de sprijin) (figura 4.7), când pe teren se va obține un triunghi (poligon) de eroare. Poziția corectă a punctului C se va găsi în centrul de greutate al acestei figuri geometrice.

b. se măsoară cu precizie unghiurile α_i și β_i trasate și se compară cu cele calculate, diferența dintre ele trebuind să nu depășească abaterea admisă la trasarea unghiurilor.

Precizia trasării

Abaterea standard σ_C a poziției punctului C este provocată, în principal de abaterile standard σ_s ale datelor inițiale, de abaterea standard a intersecției înainte σ și de abaterea standard σ_f de fixare a punctului trasat C, putând fi scrisă relația generală:

$$\sigma_C^2 = \sigma_s^2 + \sigma^2 + \sigma_f^2 \quad 4.13$$

4.4. METODA INTERSECȚIEI LINIARE

Metoda intersecției liniare se recomandă la trasarea punctelor construcțiilor aflate în apropierea punctelor rețelei topografice de sprijin, pe teren plan, fără obstacole. Această metodă se poate utiliza și la trasarea în plan a axelor în halele industriale, precum și la montaj.

Poziția pe teren a unui punct al construcției se obține prin aplicarea, din punctele A și B ale bazei de trasare a distanțelor a și b (figura 4.8).

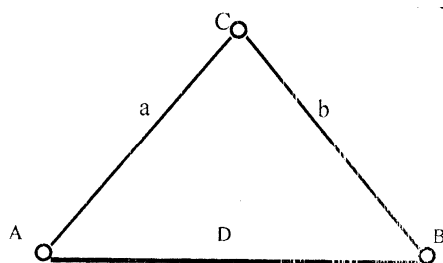


Fig. 4.8 Metoda intersecției liniare

Pregătirea topografică a proiectului în vederea aplicării lui pe teren presupune calcularea, din coordonatele rectangulare ale punctelor A și B ale rețelei de sprijin și din coordonatele punctului proiectat C, a distanțelor orizontale a și b.

$$a = \sqrt{\Delta X_{AC}^2 + \Delta Y_{AC}^2} ; \quad b = \sqrt{\Delta X_{BC}^2 + \Delta Y_{BC}^2} \quad 4.14$$

Trasarea se efectuează cu ajutorul benzilor de oțel (rulete sau fire de invar) în lungime maximă de 20...24 m. Aplicarea distanțelor orizontale a și b se poate face concomitent (cu două instrumente de măsurare a distanțelor de același tip), sau prin trasarea pe teren de arce de cerc de rază a și b, din punctele A și B cu aceeași ruletă. La intersecția acestor arce de cerc se va găsi punctul C.

Controlul trasării se realizează prin măsurarea pe teren a laturii C_1C_2 a construcției trasate (figura 4.9) și compararea ei cu cea din proiect:

$$(l_{pr} - l_{max}) \leq \Delta_{max} \quad 4.15$$

în care Δ_{max} reprezintă abaterea maximă admisă.

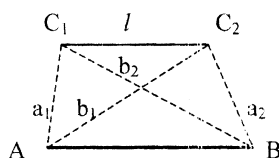


Fig. 4.9 Controlul trasării

Dacă se trasează conturul unei fundații, se compară diagonalele măsurate cu cele din proiect.

4.5. METODA INTERSECȚIEI UNGHIULARE ÎNAPOI

Metoda intersecției unghiulare înapoi se utilizează la trasarea cu precizie a unor puncte situate în zone greu accesibile, precum centrele infrastructurilor podurilor sau punctele fundamentale ale ploturilor barajelor de beton.

Trasarea prin această metodă presupune următoarele etape:

- se trasează provizoriu punctul C, ale cărui coordonate sunt indicate în proiect, prin metoda coordonatelor polare, metoda intersecției liniare sau prin altă metodă, obținându-se pe teren un punct apropiat C’;
- se staționează cu teodolitul în punctul C’ trasat provizoriu și se determină unghiurile orizontale $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ din direcțiile orizontale măsurate spre trei puncte A, B, E, din rețeaua de trasare. Măsurătorile de fac prin metoda seriilor, efectuând 3...4 serii;
- se calculează coordonatele punctului C’, prin retrointersecție;
- se calculează reducățiile (corecțiile) ce trebuie aplicate în punctul C’, pentru a se obține poziția pe teren a punctului C.

Dacă se aplică reducății polare elementele de trasat vor fi (figura 4.10):

$$C'C = \sqrt{\Delta X_{C'C}^2 + \Delta Y_{C'C}^2}; \quad \alpha = \theta_{C'C} - \theta_{C'E} \quad 4.16$$

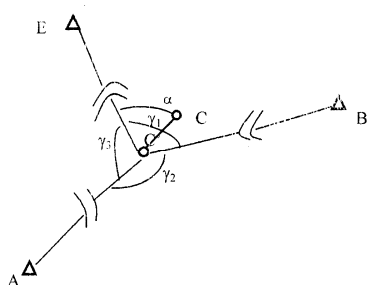
În caz că se optează pentru corecții (reducții) rectangulare, elementele de trasat se vor obține cu relațiile:

$$\delta x = X_C - X_{C'}; \quad \delta y = Y_C - Y_{C'} \quad 4.17$$

în care X_C, Y_C reprezintă coordonatele proiectate ale punctului C, iar $X_{C'}, Y_{C'}$ sunt coordonatele punctului C’ trasat provizoriu.

Aplicarea acestor corecții se face astfel:

- în cazul reducățiilor polare – se staționează cu teodolitul în punctul C’, se trasează, cu luneta în poziția I, unghiul orizontal α , față de direcția C’E, iar pe direcția rezultată se va aplica distanța orizontală C’C.
- în cazul reducățiilor rectangulare – cu teodolitul instalat în punctul C’ se vizează punctul E, având introdusă la cercul orizontal citirea $\theta_{C'E}$, se rotește luneta până când se va obține la cecul orizontal citirea $0^\circ 00' 00''$; această direcție coincide cu axa OX a sistemului rectangular de axe, pe ea



aplicându-se corecția δx ; perpendicular pe această direcție se aplică corecția δy .

Fig. 4.10 Metoda intersecției înapoi

Controlul trasării

Se instalează teodolitul în punctul trasat C, și se măsoară unghiurile orizontale γ_1^{mas} , γ_2^{mas} și γ_3^{mas} , care se compară cu unghiurile orizontale γ_1^{calc} , γ_2^{calc} , γ_3^{calc} , determinate din coordonatele rectangulare ale punctelor A, B, E și C, fiind necesar să fie satisfăcută condiția:

$$(\gamma_i^{mas} - \gamma_i^{calc}) \leq \Delta_\gamma$$

în care Δ_γ este abaterea maximă admisă la măsurarea unghiurilor.

Precizia metodei

Abaterea standard σ_C , de trasare a punctului C se evaluează utilizând relația de principiu:

$$\sigma_C = \pm \sqrt{\sigma^2 + \frac{1}{3}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) + \sigma_f^2} \quad 4.18$$

unde: – σ_C este abaterea standard de trasare a punctului C prin intersecție înapoi, provocată de erorile medii σ de măsurare a unghiurilor γ_1 , γ_2 și γ_3 ;

– σ_1 , σ_2 , σ_3 sunt abaterile standard datorate erorilor de poziție reciprocă a punctelor A, B și E (figura 4.10);

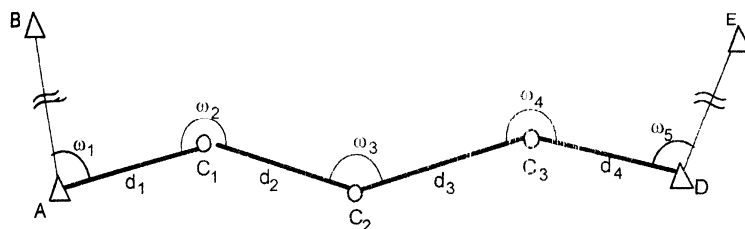
– σ_f este abaterea standard de fixare.

4.6. METODA DRUMUIRII POLIGONOMETRICE

Punctele de trasat C_1 , C_2 , C_3 ... ale construcției ce trebuie realizate se includ într-o drumuire proiectată (drumuire poligonometrică) care se poate sprijini la capete pe punctele rețelei de sprijin A, D (figura 4.11).

Această metodă este recomandată la trasarea axelor drumurilor și căilor ferate, la trasarea axelor galeriilor (de aducțiune a apei, metrou, tuneluri) a canalelor magistrale și a rețelelor tehnico-edilitare.

Pregătirea topografică presupune determinarea distanțelor d_1 , d_2 , d_3 ... și a unghiurilor orizontale ω_1 , ω_2 , ω_3Calculul se face în funcție de coordonatele cunoscute ale punctelor de



sprijin (A, B, D, E) și de coordonatele din proiect ale punctelor $C_1, C_2, C_3 \dots$ utilizând relațiile (5.1), (5.2) și (5.3).

Fig. 4.11 Metoda drumuirii poligonometrice

Trasarea se face prin metoda coordonatelor polare aplicând succesiv pe teren punctul C_1 , (din punctul de sprijin A, față de direcția de referință AB), C_2 (din punctul C_1 trasat anterior, aplicând ω_2 și d_2), șamd. Pentru control, trebuie ca punctul D trasat din C_3 să coincidă cu poziția pe teren a punctului corespunzător din rețeaua de sprijin (iar unghiul ω_5 care se va măsura din punctul D să coincidă cu cel determinat din coordonate).

În cazul trasării axelor galeriilor este posibil ca trasarea să înceapă concomitent din cele două capete ale galeriei, străpungerea acestuia efectuându-se undeva pe traseul drumuirii proiectate.

Precizia metodei

Abaterea standard admisă la trasarea punctelor prin această metodă se obține în funcție de abaterea maximă admisă (1:10):

– în cazul drumuirilor poligonometrice suspendate (în vânt), când punctul cel mai slab este la capătul drumuirii vom avea:

$$\sigma = \pm \left(\frac{\Delta}{2} \dots \frac{\Delta}{3} \right) \quad 4.19$$

– în cazul drumuirilor poligonometrice sprijinite la capete punctul cel mai slab de determinat se găsește la mijlocul drumuirii, abaterea standard de poziție a acestui punct fiind egală cu jumătate din abaterea standard a punctului final:

$$\sigma_s = 0,5\sigma \quad 4.20$$

În acest ultim caz, cel mai des întâlnit în activitatea practică și cel mai de preferat, abaterea standard efectivă σ_s se poate obține:

- în cazul drumuirilor poligonometrice întinse (unghiurile $\omega_i \approx 200^G$), cu relația:

$$\sigma_s^2 = \sum \sigma_d^2 + \left(\frac{\sigma_\omega}{\rho} \cdot [d] \right)^2 \cdot \left(\frac{n+3}{12} \right) \quad 4.21$$

- în cazul drumuirilor poligonometrice încovoiate, cu relația:

$$\sigma_s^2 = \sum \sigma_d^2 + \left(\frac{\sigma_\omega}{\rho} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^{n+1} D_{i,g}^2 \quad 4.22$$

În aceste relații:

σ_d – reprezintă abaterile standard de trasare ale distanțelor d (laturile drumuirii);

σ_ω – reprezintă abaterea standard de trasare ale unghiurilor orizontale;

$D_{i,g}$ – reprezintă distanța de la punctul i până la centrul de greutate al drumuirii încovoiate

$$\left(X_G = \frac{[X]}{n+1}, Y_G = \frac{[Y]}{n+1} \right);$$

n – reprezintă numărul laturilor drumuirii.

4.7. METODA ALINIAMENTULUI

Metoda aliniamentului face parte din categoria metodelor de bază pentru trasarea în plan a punctelor construcțiilor, fiind utilizată la trasarea punctelor pe axele rectilinii ale construcțiilor (poduri, baraje, poduri rulante, tunele) ca și la montajul subansamblelor liniilor tehnologice.

Această metodă poate fi privită ca o variantă a metodei coordonatelor polare (figura 4.1) la care unghiul polar $\beta=0$. Punctul C, de trasat, se va găsi, din această cauză, pe aliniamentul AB, format din punctul de stație al instrumentului A și punctul de orientare B (figura 4.12)

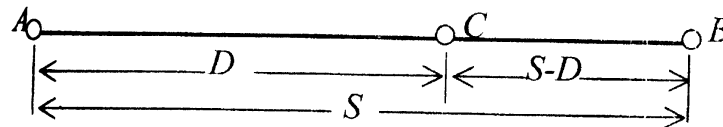


Fig. 4.12 Principiul metodei aliniamentului

Trasarea presupune, ca primă etapă, identificarea sau materializarea pe teren a aliniamentului AB. Se instalează apoi teodolitul în punctul A și se vizează ținta de vizare din punctul B, în aliniamentul optic astfel creat aplicându-se distanța D , corespunzătoare punctului C de trasat.

Precizia metodei

Abaterea standard σ_C de trasare a punctului C este provocată de abaterea standard σ_1 de realizare a aliniamentului AB, de abaterea standard σ_2 de trasare a distanței D și de abaterea standard σ_f de fixare a punctului C, conform relației:

$$\sigma_C = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_f^2} \quad 4.23$$

Abaterea standard de realizare a aliniamentului σ_1 efectivă se poate calcula utilizând expresia:

$$\sigma_1 = \pm \sqrt{2\sigma_s^2 + \sigma_e^2 + \sigma_r^2 + \sigma_v^2 + \sigma_{foc}^2 + \sigma_{CE}^2} \quad 4.24$$

în care:

- σ_s – abaterea standard a punctelor de sprijin;
- σ_e – abaterea standard de centrare;
- σ_r – abaterea standard de reducere;
- σ_v – abaterea standard de vizare;
- σ_{foc} – abaterea standard de focusare;
- σ_{CE} – abaterea standard datorată condițiilor exterioare.

4.8. METODA INTERSECȚIEI REPERATE

Este utilizată la trasarea și retrasarea punctelor caracteristice ale construcțiilor. În principiu, poziția unui punct se obține la intersecția a două aliniamente materializate în afara construcției. Aliniamentele pot fi realizate optic sau mecanic, cu ajutorul unor fire. În funcție de unghiul de intersecție al aliniamentelor se deosebesc două cazuri:

a) Aliniamentele se intersectează în unghi drept

Această variantă a metodei este utilizată la trasarea construcțiilor civile (fundații, ziduri) și industriale (fundații de hale, stâlpi, subansamble de echipamente tehnologice). Aliniamentele se fixează pe împrejurimile de trasare (figura. 4.13b).

Trasarea

Pentru aplicarea pe teren a punctului C, de câte ori este nevoie, cele două aliniamente (1-1' și 2-2') se materializează pe teren, după caz, mecanic, prin intersecție de fire, sau optic, prin utilizarea simultană a două teodolite. La intersecția aliniamentelor se va fixa pe teren punctul C.

b) Aliniamentele se intersectează sub un unghi oarecare.

Acest caz de intersecție reperată este întâlnit în special la trasarea punctelor situate pe axele podurilor.

Trasarea

Pentru trasarea punctului C_1 situat pe axa podului (figura 4.14), se vor utiliza aliniamentele A_1-S_1 și B_1-S_1 , materializate la capete prin pilaștri. Se vizează simultan cu două teodolite instalate în punctele A_1 și B_1 mărcile de vizare fixate pe pilaștri S_1 și S_1' , materializându-se optic cele două aliniamente, la intersecția cărora se va afla punctul C_1 .

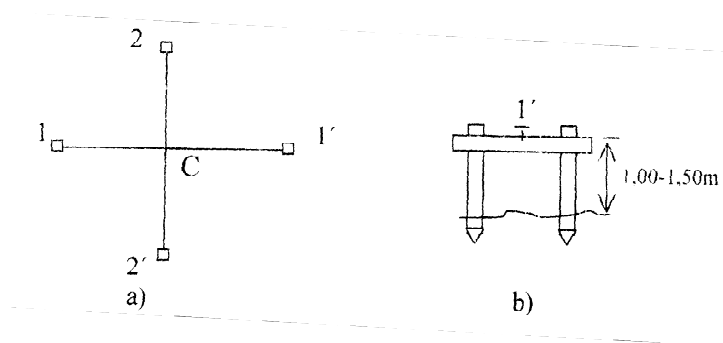


Fig. 4.13 Aliniamentele se intersectează în unghi drept
a – trasarea punctelor b – împrejmuirea de trasare

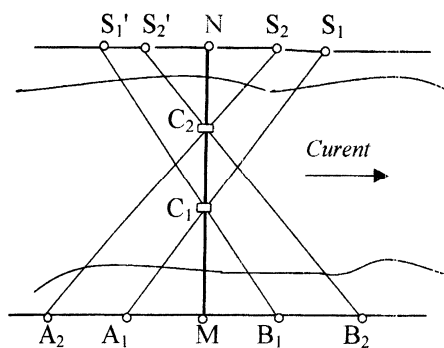


Fig. 4.14 Aliniamentele se intersectează sub un unghi oarecare

În mod asemănător, poziția pe teren a punctului C_2 se va obține la intersecția aliniamentelor A_2S_2 și B_2S_2' (pe pilaștri A_2 și B_2 se vor fixa teodolite iar pe pilaștri S_2 și S_2' , mărci de vizare).

Precizia metodei

Abaterea standard de trasare a punctului C se determină cu relația:

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_f^2} \quad 4.25$$

în care: σ_1 , σ_2 – abaterile standard de construire a celor două aliniamente care se intersectează;

σ_f – abaterea standard de fixare.

Abaterile standard σ_1 și σ_2 ale celor două aliniamente se determină conform relației 4.24.

5. ÎNTOCMIREA PROIECTELOR DE SISTEMATIZARE PE VERTICALĂ

5.1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

A. Sistemizarea verticală constă în repartizarea pe verticală a reliefului unei localități, pentru a asigura transportul, auto și proiectarea rețelelor edilitare, cât și scurgerea apelor.

Înclinările prea mari ale reliefului pe teritoriul urban pot împiedica efectuarea construcțiilor mari, cum și circulația, iar în cazul unui relief plan (înclinări foarte mici) apar greutăți în ceea ce privește scurgerea apelor de ploaie și la proiectarea canalizării în oras.

De aceea, la întocmirea proiectului de sistemizare orizontală trebuie să se rezolve și sistemizarea verticală după următoarele principii de bază:

- rezolvarea de la "general" la "particular", adică rezolvarea în ansamblu a sistemizării verticale a întregului teritoriu urban; apoi, pe baza materialului rezultat, se proiectează sistemizarea de detaliu;

- sistemizarea verticală se efectuează în același timp și în concordanță cu sistemizarea orizontală a teritoriului orașului.

Sistemizarea verticală a unui teritoriu urban trebuie să realizeze următoarele:

a) să asigure circulația (transportul) conform pantelor proiectate longitudinale și transversale admise pentru treceri (magistrale, străzi, drumuri, stradele, trotuare etc.), ținând seama de relieful natural existent;

b) să asigure scurgerea apelor (drenajul) și proiectarea canalizării prin gravitație pe suprafața teritoriului urban;

c) să permită obținerea de volume minime de terasamente (săpături și umpluturi), cum și maximul de economie, în transportul pamântului de săpătură (obținut la săparea gropilor de fundații ale clădirilor și rețelelor subterane) în umpluturile proiectate, sau în depozite. În proiectarea lucrărilor de terasamente pe teritoriul orașului se acceptă, în general, principiul egalității volumelor de săpătură cu cele de umplură.

B. Din punct de vedere topografic, sistematizarea verticală comportă următoarele aspecte:

a) lucrări topografice necesare asigurării cu documentație topografică a proiectării sistematizării verticale; reprezintă, de fapt, ridicarea altimetrică a teritoriului orașului. Pe baza acestei ridicări se obțin cotele și se trasează curbele de nivel pe planurile 1:5000 (sau 1:10000), cu echidistanța de 1 m și 2 m, precum și pe planurile la scările 1:2000, 1:1000 și 1:500, la care echidistanța este cuprinsă între 1m și 0,50 m, mai rar 0,25 m. Planurile la scara 1:5000 (1:10000) sunt necesare sistematizării verticale de ansamblu, iar cele la scările 1:2000, 1:1000 sau 1:500, sunt necesare sistematizării de detaliu.

b) Lucrări necesare întocmirii proiectului de sistematizare verticală:

- calculul cotelor intersecțiilor axelor trecerilor și ale colțurilor cartierelor sau a cvartalelor proiectate;

- trasarea pe planuri a curbelor de nivel proiectate (întocmirea planurilor de sistematizare verticală);

- calculul și întocmirea profilului longitudinal în lungul axei trecerii;

- calculul volumelor de terasamente pe suprafața teritoriului urban sau a noului cartier;

- întocmirea cartogramei terasamentelor;

- întocmirea profilelor longitudinale și transversale pe teritoriul urban, acolo unde este necesar;

- întocmirea de tabele cu coordonatele și cotele liniilor roșii.

c) Lucrări la pregătirea topografică a proiectului de sistematizare pe verticală:

- verificarea proiectului de sistematizare cu realitatea, în vederea aplicării pe teren;

- efectuarea de lucrări de teren și de calcule, privitoare la determinarea cotelor reperilor de nivelment care mai sunt necesari pentru trasare;

- calculul diferențelor de nivel, care trebuie aplicate pe teren, în raport de cotele reperilor de lucru și conform cotelor din proiectul de sistematizare;

- calculul preciziei de aplicare a proiectului.

d) Aplicarea pe teren a proiectului de sistematizare verticală.

5.2 CONȚINUTUL PROIECTULUI DE SISTEMATIZARE PE VERTICALĂ

A. În faza proiectului de ansamblu se deosebesc ca piese ale proiectului:

- schema sistematizării verticale a întregului teritoriu urban;
- 1-3 profile longitudinale pe axele principalelor magistrale ale localității sau a noului cartier;
- calcule estimative de terasamente globale pe tot teritoriul și calcule de terasamente pe zonele construcțiilor speciale (aeroporturi, parcuri industriale).

S-au menționat numai piesele care interesează direct pe geodez. Pieseile proiectului, cum și documentația topografică, se vor definitiva ca denumiri și conținut potrivit caietelor de sarcini întocmite de către beneficiarul lucrării.

Schema de sistematizare de ansamblu se întocmește pe planul topografic la scara 1:5000 sau 1:10000, cu echidistanța curbilor de nivel de 1-2 m.

Teritoriul urban se sistematizează astfel încât pentru apele meteorice (de ploaie, din zapadă etc.) să se asigure o scurgere liberă de pe suprafața cartierelor în străzile orașului, iar apoi, din acestea, în bazinele naturale sau în canale.

Înclinările (pantele) longitudinale trebuie să fie în concordanță cu cerințele transportului și asigurarea scurgerii apelor. În funcție de tipul de îmbrăcăminte al trecerilor, pantele longitudinale ale străzilor se admit în limitele de la 0,005 până la 0,100. Pe schema de sistematizare verticală, se trec cotele proiectate și cele existente ale axelor trecerilor, direcția și valoarea înclinărilor, așa cum se arată în figura 5.1.

Schemele generale de sistematizare verticală după aprobare sunt documente obligatorii pentru toate societățile care efectuează construcții în oraș; schemele generale de sistematizare verticală sunt însoțite de tabele cu coordonatele liniilor roșii, cât și cu cotele proiectate.

B. În faza proiectului de execuție pe baza schemei generale de sistematizare verticală, se întocmește proiectul de sistematizare de detaliu (folosește planurile topografice la scările 1:2000; 1:1000 și 1:500). Pentru a asigura efectuarea construcțiilor de primă urgență în oraș, proiectul poate fi întocmit pe părți corespunzătoare diferitelor bazine (limitate de liniile de creastă) sau între liniile talvegurilor naturale aflate pe străzi și piețe.

Pe planurile topografice ale teritoriilor urbane neconstruite, în afară de curbele de nivel, se vor trece și cotele rețelei de pătrate cu latura de 20 m.

Pe planurile teritoriilor construite se vor trece cotele (deasupra nivelului mării) colțurilor cartierelor și ale tuturor punctelor caracteristice ale reliefului.

Înainte de elaborarea proiectului cu detaliile de sistematizare verticală, se trece pe plan liniile roșii ale străzilor și piețelor, ale zonelor verzi, contururile podurilor, cheiurilor, tunelurilor, căilor

ferate, ale stațiilor de cale ferată, ale liniilor de tranvai și troleibuze, precum și ale altor elemente luate din planul de sistematizare orizontală.

În procesul elaborării detaliilor de sistematizare verticală se va ține seama ca relieful natural să fie cât mai puțin modificat și să se obțină un volum minim de lucrări de terasamente.

În calculul volumului lucrărilor de terasamente se va ține seama și de volumul de pământ ce va fi scos la efectuarea construcțiilor subterane (alimentare cu apă, canalizare etc.).

Pieșele proiectului de detaliu al sistematizării verticale permit să se proiecteze corect fundațiile clădirilor și ale altor construcții, adâncimea de așezare a conductelor, cablurilor și a canalelor, puțurilor, chiar dacă în localitatea respectivă s-a realizat numai parțial sistematizarea trecerilor și a cartierelor.

La alcătuirea proiectului de sistematizare verticală a construcțiilor speciale (stadioane, aeroporturi, tuneluri, teritorii rezervate parcurilor industriale, etc.) va trebui să se țină seama și de condițiile tehnice specifice acestor lucrări. În aceste cazuri, ca date de plecare (inițiale) pentru întocmirea proiectului vor servi cotele liniilor roșii ale trecerilor în limitele teritoriului pe care se vor proiecta aceste construcții.

Pentru a crea condiții optime acestor construcții se poate revizui sistematizarea verticală a câtorva treceri proiectate în această zonă, însă dacă teritoriul se află în incinta orașului, proiectul de sistematizare va trebui legat sau de schema generală aprobată a sistematizării verticale a orașului, sau de proiectul de detaliu al sistematizării verticale.

Pieșele desenate și scrise care intră în compunerea detaliilor de sistematizare verticală și care interesează direct pe geodez sunt următoarele:

a) planul de sistematizare verticală în detaliu; este un extras de pe planul topografic la scara mare (1:2000, 1:1000 și 1:500) al teritoriului urban;

b) scheme de sistematizare verticală în detaliu a trecerilor; se întocmesc de obicei la scări mari 1:200, 1:100, 1:50;

c) profilele longitudinale pe axele tuturor trecerilor, la scara lungimilor corespunzătoare scării planului de sistematizare de detaliu;

d) profile transversale la scări mari, pe direcțiile cerute de proiectant, sau în lungul laturilor pătratelor cartogramei terasamentelor, dacă este necesar;

e) cartograma terasamentelor, cu tabele de calcul al suprafețelor și volumelor de pământ, de pe teritoriul urban;

f) tabele cu cotele proiectate și cu reperii de nivelment urban existenți, inclusiv descrierea lor topografică.

C. Mărimile admisibile ale elementelor de proiectare (valori aproximative) .

- Pantele trecerilor proiectate nu trebuie să depășească:

- 0.04 (4%), pe magistralele principale urbane;

- 0.06 (6%), pe magistralele secundare;
- 0.10 (10%), pe străzile teritoriilor construite;
- 0,03 (3%) în apropierea piețelor și încrucișărilor;
- 0,5 (5%), în apropierea podurilor și viaductelor. Se admite creșterea valorilor de mai sus:
- cu 1% - în condiții grele;
- cu 2% - în condiții grele în apropierea piețelor, încrucișărilor, podurilor;
- cu 2% - în munți;
- cu 3% - în cazul drumurilor de acces.

Panta minimă în lungul axei trecerii, care asigură scurgerea apei pe șanțuri, rigole, se admite egală cu 0.005 (0,5%).

În diferite cazuri, exceptând cele de pe suprafețele mici, se poate admite panta minimă de 0,003 (0,3%).

5.3 PROCEDEE DE ÎNTOCMIRE A PROIECTULUI DE SISTEMATIZARE VERTICALĂ

Se deosebesc două procedee principale: procedeul curbilor de nivel proiectate și procedeul profilelor. Cel mai mult se folosește primul procedeu.

5.3.1. Procedeul curbilor de nivel proiectate

Acest procedeu constă în aceea că pe planul topografic la scara 1:1000 (cel mai bine la scara 1:500) se trec curbe de nivel proiectate, obținute prin modificarea reliefului natural existent, în urma proiectării de săpături și umpluturi. Deoarece la proiectarea reliefului se urmărește să se obțină aceeași pantă în sectorul respectiv, curbele de nivel proiectate între liniile de schimbare a pantelor se trasează prin linii drepte și aflate la distanțe egale între ele.

Echidistanța curbilor de nivel proiectate se alege în funcție de scara planului (pe care se face proiectarea reliefului), cât și de formele reliefului existent pe teren. În cazul unui relief plan, pentru planurile la scara 1:500, echidistanța proiectată (E_{pr}) cel mai des folosită este de 0.10 m.

Determinarea elementelor, pentru trasarea pe plan a curbilor de nivel proiectate pe părțile carosabile și trotuarele trecerilor dintr-un centru populat, se desfășoară astfel (figura 5.2 și figura 5.3).

A. Se proiectează panta i în lungul axei trecerii (panta longitudinală). Alegerea marimii pantei i se face pe baza studiului reliefului existent pe trecerea (magistrală, stradă, stradelă) dată. Pentru aceasta, se calculează valoarea medie a pantei terenului existent pe toată lungimea trecerii, sau între punctele de schimbare pronunțată. Marimea și direcția pantei i vor fi cât mai apropiate de

valoarea medie și de direcția pantei reliefului existent.

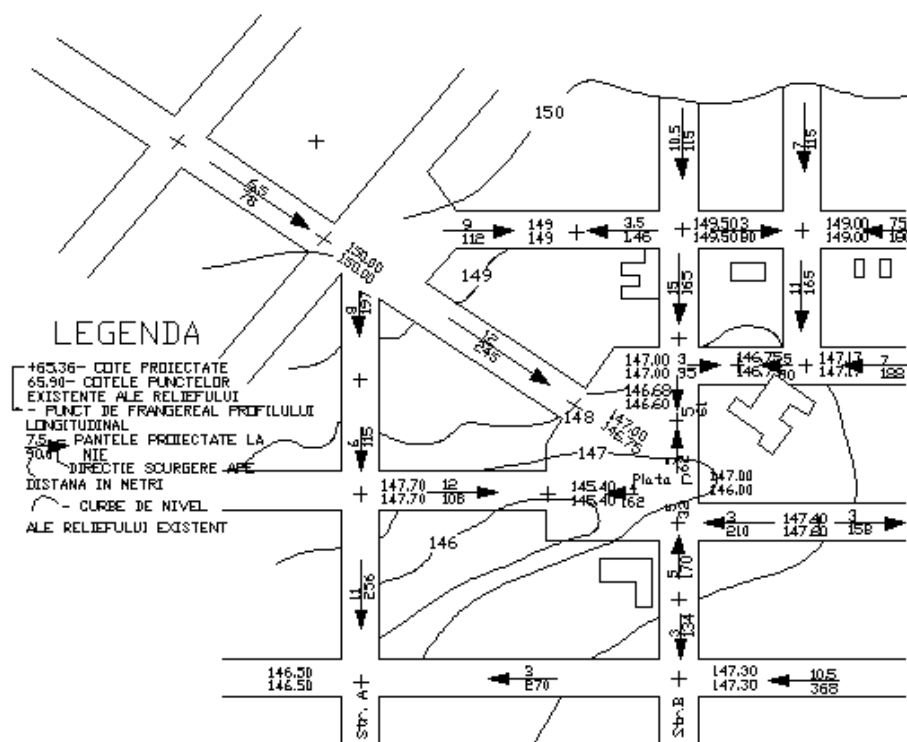


Fig. 5.1 Plan general de sistematizare pe verticală

În figura 5.2, mărimea pantei longitudinale i trebuie asigurată între punctele A și

B, iar panta coboară de la A spre B. Se urmărește, în același timp, ca volumul lucrărilor de terasamente să fie minim, iar volumul săpăturilor să fie aproximativ egal cu volumul umpluturilor.

B. Se determină mărimile cotelor proiectate de pe axa trecerii, care vor servi drept date de plecare pentru restul calculelor. Acestea se aleg (fiind de obicei cotele punctelor de intersecție a trecerilor din piețe sau incrucșări) din schema generală de sistematizare verticală (figura 5.1).

C. Cotele proiectate ale celorlalte puncte aflate în aceeași secțiune transversală se determină prin trasarea pe planul de sistematizare de detaliu (pe care se vor construi curbele de nivel proiectate) a unei perpendiculare pe axa trecerii în punctul a cărui cotă se cunoaște ca la B (practic, acest punct este începutul sau mijlocul trecerii).

Se ține seama de mărimile proiectate ale profilului transversal al trecerii (figura 5.1) când, pornind de la cota H_C a punctului din axa C, se vor determina cotele proiectate de pe linia fațadei F_1 , aflate în aceeași secțiune transversală. Sensul pantelor transversale ale părților carosabile (i_r) și al pantelor transversale, ale trotuarelor (i_T) este ca în figura 5.2. Panta longitudinală a trotuarelor este egală cu panta longitudinală i a axei trecerii. Lățimile trotuarelor și părții carosabile sunt, respectiv, t și b (figura 5.2).

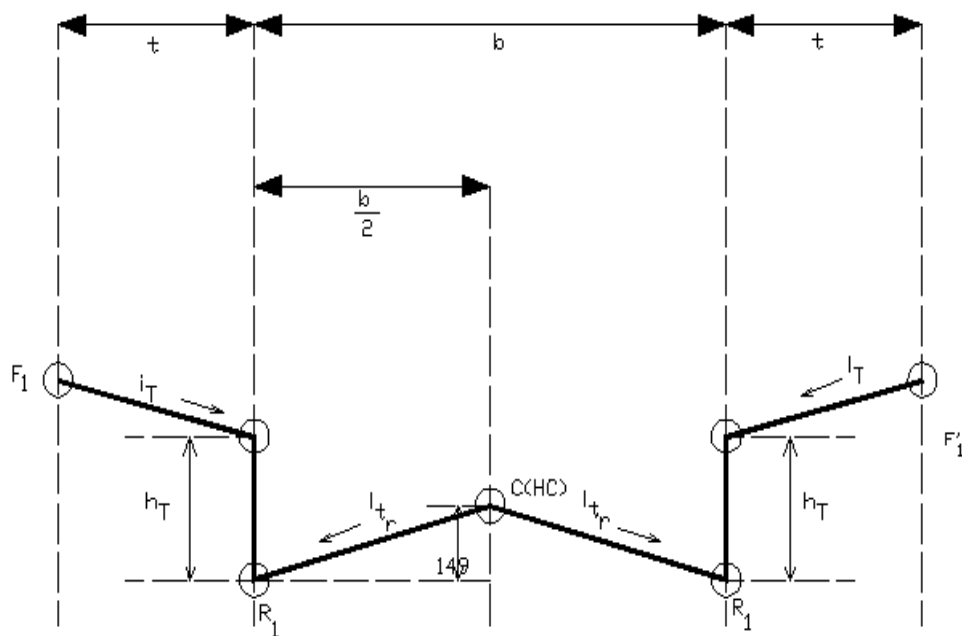


Fig. 5.2 Profilul transversal cu elementele sistematizării verticale

D. Se calculează distanța d de pe plan (figura 5.2), între curbele de nivel vecine care se vor proiecta, cu formula :

$$d = Epr : (i \cdot n), \quad 5.1$$

în care : E este echidistanța dintre curbele de nivel proiectate;

i - panta longitudinală, a axei trecerii;

n - numitorul scării numerice a planului.

De exemplu, dacă panta proiectată pe strada din cartierul locuit este $i = 0,008$, distanța de pe planul la scara 1:500, între curbele de nivel proiectate, având echidistanța $Epr = 0,10$ m, este:

$$d = 0,10 \text{ m} : (0,008 \times 500) = 0,025 \text{ m sau } 25 \text{ mm}.$$

E. Se determină restul elementelor pentru trasarea pe plan a curbilor de nivel proiectate. Curbele de nivel proiectate nu se pot trasa perpendicular pe axa trecerii, deoarece partea carosabilă are înclinarea transversală i_{tr} (figura 5.2).

a) Se determină diferența în înălțime h_r , dintre punctul C din axa (a cărei cotă H_C este cunoscută ca la B) și punctul R1, aflat pe rigola trecerii în aceeași secțiune transversală (figura 5.3), cu formula:

$$h_r = i_{tr} (b/2). \quad 5.2$$

În exemplul ales, dacă $i_{tr} = 0.002$ și $b = 9$ m, atunci $h_r = 0,09$ m.

b) Se calculează distanța a pe plan (figura 5.3), dintre punctul (C) din axă și punctul (R2) din rigolă, ce are aceeași cotă H_C . Punctul R2 din rigola trecerii va fi deplasat înspre partea ridicată a axei trecerii cu distanța a , care se calculează pornind de la relația (5.1) în care se înlocuiește echidistanța E_{pr} cu mărimea h_r , adică:

$$a = h_r : (i \cdot n) \quad 5.3$$

În exemplul dat: $a = 0.09 / (0.008 \times 500) = 0.0225$ m sau 22.5 mm.

Pe plan, punctul R2 se găsește aplicând distanța a de la linia M-M dusă perpendicular pe axa trecerii în punctul C, în sensul de creștere a cotelor pe axa trecerii (figura 5.3).

Procedând analog și în jumătatea cealaltă a părții carosabile, se obține prin simetrie punctul R2'. Cu mărimile d și a s-au determinat pe plan punctele prin care se trasează curbele de nivel proiectate pe partea carosabilă (figura 5.3).

c) Se calculează distanța pe plan (măsurată în sensul de coborâre a pantei longitudinale i pe linia bordurii trotuarului Q-Q și Q'=Q') care determină punctul de pe bordura trotuarului care are aceeași cotă (H_C) cu a punctului C de pe axă. Așadar, distanța l determină pe plan punctul T al curbei de nivel proiectate pe trotuar și care are aceeași cotă H_C . În figura 326 se observă că bordura trotuarului este mai sus decât rigola, cu mărimea h_T ; atunci, pe liniile Q-Q și Q'-Q', curba de nivel de pe trotuar va avea aceeași cotă (H_C) ca și curba de nivel care trece prin punctul R1 al rigolei, dacă se va deplasa cu distanța l , măsurată în sensul de coborâre a pantei longitudinale: i (figura 5.3). Atunci:

$$l = h_T : (i \cdot n) \quad 5.4$$

În exemplul dat, dacă $h_T = 0,15$, mărimea l va fi: $l = 0,15 : (0,008 \times 500) = 0.038$ m sau 38 mm.

d) Se determină distanța c , care se fixează pe linia fațadei al doilea punct al curbei de nivel de pe trotuar și care are aceeași cotă H_C cu punctul C din axă. Mărimea c se măsoară pe linia fațadelor P-P și P'-P', față de perpendiculara M1-M1, dusă prin punctul T aflat pe linia Q-Q (punctul T' pe linia Q'-Q'), când se obțin punctele Z și Z'. Mărimea c se măsoară în sensul de coborâre a pantei longitudinale i (figura 5.3).

Formula de calcul al distanței c se determină pornind de la relația (5.1), în care se înlocuiește echidistanța E_{pr} cu mărimea h_F -diferența de înălțime dintre cotele proiectate ale punctului F (aflat pe linia fațadei P-P) și punctul T (aflat pe linia bordurii trotuarului), ambele puncte găsindu-se pe plan pe aceeași perpendiculară M1-M1, dusă prin punctul T (figura 5.3).

Atunci:

$$H_F = H_C + i_T \cdot t \quad 5.5$$

și

$$h_F = H_F - H_C, \quad 5.6$$

iar

$$c = h_F : (i \cdot n), \quad 5.7$$

în care:

H_F este cota punctului F;

H_C - cota punctului T (ce are deci aceeași cotă ca punctul C din axă), v. aliniatul c).

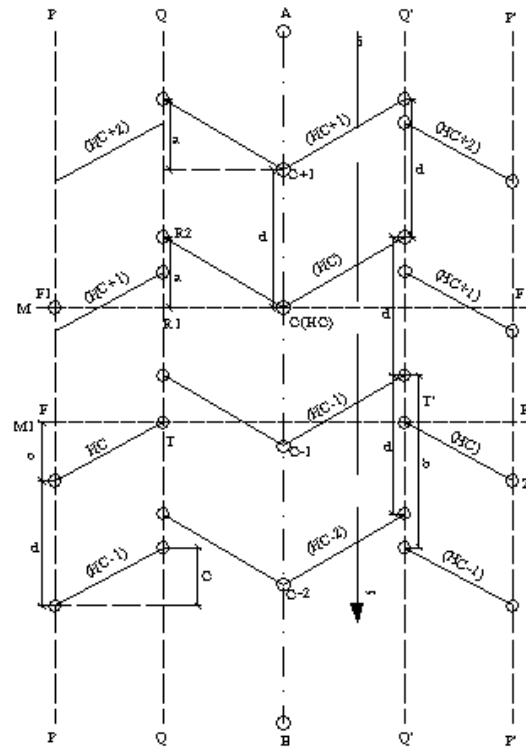


Fig. 5.3 Plan de situație cu elementele sistematizării verticale

În exemplul analizat, dacă $H_C = 120,00$ m, iar lățimea trotuarului $t = 2,5$ m atunci: $H_F = 120,00 + 0,02 \times 2,5 = 120,05$ m; $h_F = 0,05$ m;
 $c = 0,05: (0,008 \times 500) = 0,0125$ m sau 12,5 mm.

e) Se trasează pe plan restul curbilor de nivel proiectate, separat pe partea carosabilă și pe trotuare.

Distanțele dintre curbele de nivel pe axa trecerii vor fi egale cu d , iar curbele de nivel vor fi paralele între ele. Distanțele dintre curbele de nivel aflate pe trotuare vor fi de asemenea egale cu d și, respectiv, paralele între ele.

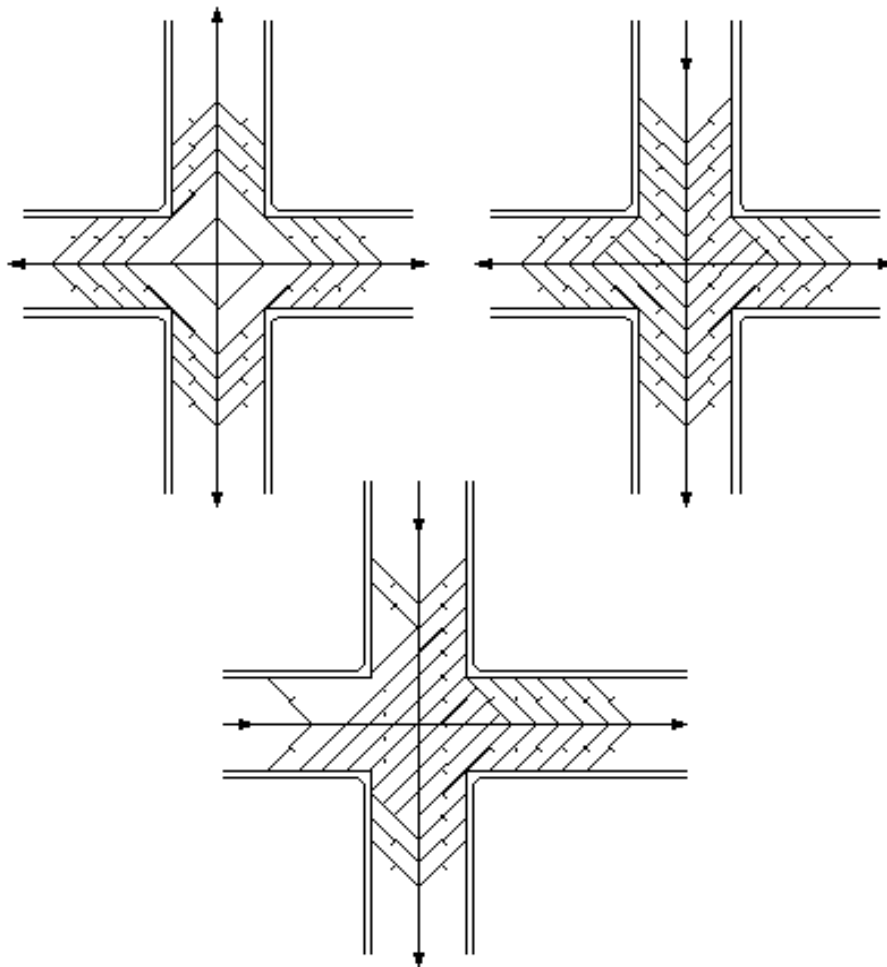


Figura 5.4 Moduri de întocmire a panurilor cu curbe de nivel proiectate

Paralelismul dintre fiecare categorie de curbe de nivel proiectate se va păstra pentru aceleași mărimi ale pantelor longitudinale și transversale.

Decalajul pe plan dintre curbele de nivel de aceeași cotă, aflate pe trotuar și pe partea carosabilă a trecerii, se determină prin distanța l .

F. La încrucișări, în funcție de direcția pantelor de pe trecerile care se intersectează, curbele de nivel proiectate vor avea aspectul din figura 5.5.

La proiectarea încrucișărilor, nu se admit rigole dispuse transversal pe magistrale. Una din străzi va trebui să aibă aceeași pantă ca la încrucișare, astfel ca să asigure scurgerea apei de pe suprafață. În caz contrar, se va proiecta scurgerea apei la încrucișări, ca să aibă loc în subteran în colectoarele de ape meteorice.

Profilul transversal al străzii cartierului locuit se va transforma, în apropiere de magistrală, din profil cu două pante într-un profil cu o singură pantă transversală egală cu panta longitudinală a magistralei.

G. Întocmirea proiectului sistematizării verticale a teritoriului din interiorul cartierului. Drept date inițiale, pentru proiectarea reliefului pe teritoriile din interiorul cartierului, se folosesc cotele proiectate ale sistematizării verticale ale străzilor.

Pantele trecerilor pe teritoriile din interiorul cartierelor, nu trebuie să depășească $0,10$, iar pe ieșirile din cartiere, pantele scad până la $0,01 - 0,03$, în funcție de tipul îmbrăcăminteii trecerii. Sistemul trecerilor din interiorul cartierului, împreună cu trecerile pentru pietoni, trebuie să fie analizat ca o rețea care colectează apele de ploaie de pe cartiere.

Nu se admite scurgerea apelor de pe străzi în interiorul cartierului, iar dacă teritoriul cartierului este așezat mai jos decât rigola străzii, se proiectează umpluturi de pământ care ridică terenul cu $1-2\%$ pe o lățime de $20 - 25$ m, iar mai departe, panta se asigură spre interiorul cartierului.

Apa de suprafață se evacuează sau pe strada vecină, sau în rețeaua subterană.

Panta pe terenurile parcurilor sportive și de odihnă nu trebuie să depășească $0,005$ ($0,5\%$). Terenurile de sport și de distracții se recomandă să fie mai ridicate decât celelalte teritorii din interiorul cartierului cu $0,5$ m, având proiectați în jur pereți și pante prin sădire de plantații.

Pe pante repezi se proiectează terase așezate la diferite niveluri și despartite prin trepte sau prin pante ușoare de plantații. Panta teraselor se admite de circa 0.005, iar în sens transversal, de circa 0.01 – 0.02 spre mijlocul terasei.

Ținând seama de relief, se studiază liniile de creastă și direcțiile principale ale pantelor. Pe baza acestora, se determină, pantele proiectate și se trasează curbele de nivel proiectate. Pentru aceasta, se ține seama de volumul minim al lucrărilor de terasamente, care va fi hotărât de proiectarea cea mai judicioasă a liniilor principale ale scurgerilor. În mijlocul cartierului, nu se admite existența terenului orizontal (împiedică scurgerea apelor de suprafață). Nu se admite ca apa care se scurge de pe suprafața cartierului să curgă spre clădirile existente sau proiectate (deoarece apa va pătrunde în fundații și va provoca tasarea clădirilor). De aceea, cel mai bine va fi când pantele vor fi îndreptate de la aceste clădiri (proiectate sau existente) către exteriorul cartierului.

Planul de sistematizare verticală cu curbe de nivel proiectate, al unei porțiuni din interiorul cartierului unui teritoriu urban, se reprezintă în figura 5.4.

6. METODE TOPO-GEODEZICE ȘI APORTUL ACESTORA LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRIILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR

În cadrul acestui capitol am prezentat principalele metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor.

Dezvoltarea tehnicii măsurătorilor a creat posibilitatea de a observa și pune în evidență modul de comportare a construcțiilor, valoarea deplasărilor acestora, și compararea deplasărilor reale cu deplasările și deformațiile probabile, prevăzute în calcule încă din momentul proiectării acestora.

Observând modificările în timp a construcțiilor, din punct de vedere geometric deplasările și deformațiile acestora se pot clasifica în trei categorii majore și anume:

- ◇ Deplasări și deformații pe verticală;
- ◇ Deplasări și deformații pe orizontală sau în plan;
- ◇ Rotiri sau înclinări ale construcțiilor înalte.

6.1 METODE TOPO-GEODEZICE DE MĂSURARE A DEPLASĂRIILOR ȘI DEFORMAȚIILOR VERTICALE ALE CONSTRUCȚIILOR

O importanță deosebită în analiza comportării construcțiilor, atât în timpul încercărilor pe modele sau la scară naturală, cât și după darea lor în folosință și exploatare o au datele privind deplasările pe verticală ale acestora.

Deoarece măsurătorile topo-geodezice permit doar analiza construcției în funcție de caracterul și mărimea deplasărilor verticale, ele vor trebui corelate cu observarea și studierea regimului apelor subterane, mecanica pământurilor, în scopul descoperirii originii acestor deplasări și indicarea posibilităților de eliminare a lor.

Principiul măsurării deplasărilor și deformațiilor pe verticală constă în determinarea repetată a cotelor punctelor de control, numite și **mărci de tasare**, fixate pe construcția studiată, în raport cu mai mulți **reperi fiși**, amplasați pe terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției. Punctele de control încastrate în construcție, se deplasează împreună cu construcția și deci prin observații efectuate asupra lor, se pot stabili valorile deplasărilor verticale.

Metodele utilizate la determinarea tasărilor construcțiilor se pot grupa după cum urmează:

- ⇒ metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie;
- ⇒ metoda nivelmentului trigonometric de precizie;
- ⇒ metoda nivelmentului hidrostatic.

Mărimea deplasărilor verticale, tasări sau ridicări, se pot determina prin metode numerice semiriguroase, folosind prelucrarea datelor măsurătorilor din teren prin metoda celor mai mici pătrate.

Alegerea se face în funcție de natura și precizia studiului efectuat.

6.1.1 Marcarea punctelor rețelelor de nivelment utilizate la urmărirea deformațiilor construcțiilor

Toate tipurile de reperi folosiți pentru realizarea măsurătorilor topografice specifice urmăririi în timp a construcțiilor se marchează sub forma unor reperi convenționali care respectă normativele în vigoare din țara noastră.

6.1.1.1 Materializarea reperilor de control

Reperii de control se pot marca pe clădiri, pe stânci stabile sau pe pilaștri de beton construiți pe teren.

Dacă se dorește amplasarea acestora pe clădiri se ține cont de faptul că acestea trebuie să fie consolidate, să fie exploatate de cel puțin cinci ani și să nu fie expuse diferitelor influențe interioare sau exterioare (trepidații din cauza exploatării, terenuri inundabile, etc.). Din acest punct de vedere cel mai bine corespund clădirile publice unde reperul de control se încastrează în apropierea colțurilor construcției, având în vedere asigurarea condițiilor de stabilitate a acestora. În literatura de specialitate se consideră că dacă asupra unei construcții nu intervin sarcini continue și crescânde, aceasta se poate considera stabilizată după o perioadă de cinci ani de la darea ei în exploatare.

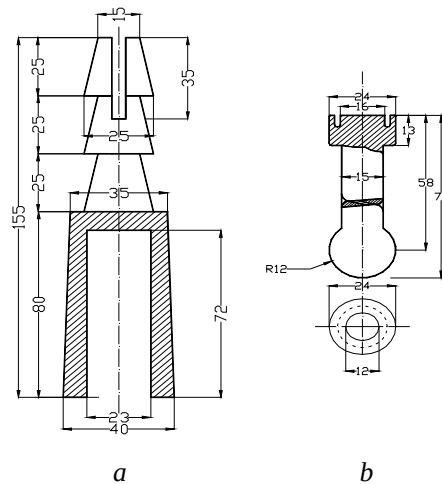


Fig. 6.1 Reperi de control tip I.N.C.E.R.C. montați pe construcții în România
a – Corpul mărcii sau reperului; b – Capac cu bulon sferic al mărcii sau reperului

Ca reper încastrat în construcție se poate folosi reperul de oțel sub formă de tije având un cap semisferic executat din metal dur, inoxidabil și pe care se poate așeza cu ușurință mira sau prisma optică. Aceste tije se fixează cu mortar de ciment în orificiile săpate în zidurile clădirilor. Pentru conservarea stării lor inițiale și pentru evitarea ciobirii sau deteriorării, reperii pot fi protejați prin capace speciale de protecție.

În țara noastră, normativul elaborat de I.N.C.E.R.C. privind determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61-64, recomandă ca reperi de control montați în pereții construcțiilor stabile, modelul de reper prezentat în figura 6.1.

Reperii de control fixați pe sol sunt de două tipuri:

- reperi de suprafață;
- reperi de adâncime.

Reperii de control de suprafață se construiesc sub forma unor borne de beton armat având formă de trunchi de piramidă, cu baza pătrată. Borna de beton armat se sprijină pe o talpă, de asemenea din beton armat cu care se leagă prin intermediul unei armături metalice.

În figurile următoare sunt prezentate câteva tipuri de reper de control de suprafață utilizați la studiul comportării construcțiilor în Germania, Cehia, Ungaria și România.

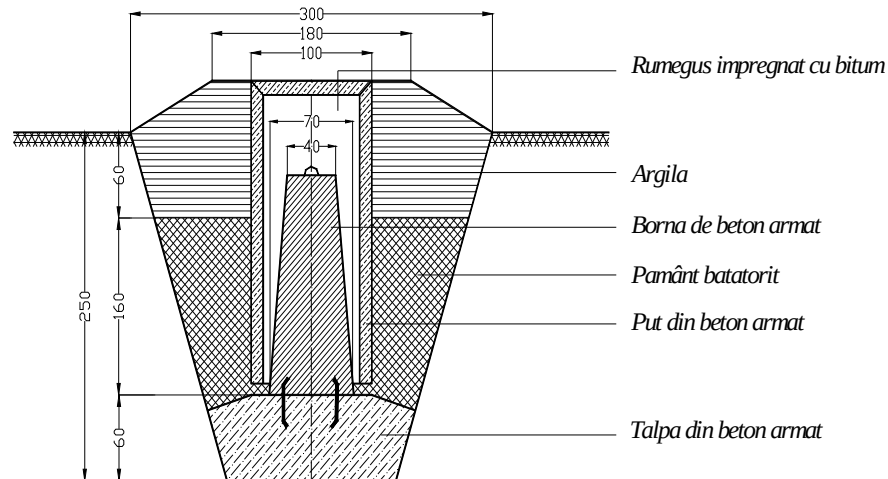


Fig. 6.2.a. Reper de control de suprafață – România

Dacă reperul nu este montat în rocă masivă ci pe pietriș sau pe teren moale, talpa lui trebuie să se afle la o adâncime de cel puțin 2,50 m (adâncime care este variabilă în funcție și de adâncimea de îngheț specifică zonei respective). Borna de beton armat care poartă reperul (pastilă semisferică) pe care se așează ulterior mira sau prisma topografică, se protejează împotriva deplasărilor de teren prin intermediul puțului de beton armat prevăzut la partea superioară cu un capac metalic de protecție.

În cazul în care se dorește a se amplasa un reper de genul celui prezentat în figura 6.3 se vor lua în calcul doi indici importanți: nivelul apei freatice specific zonei respective și adâncimea de îngheț.

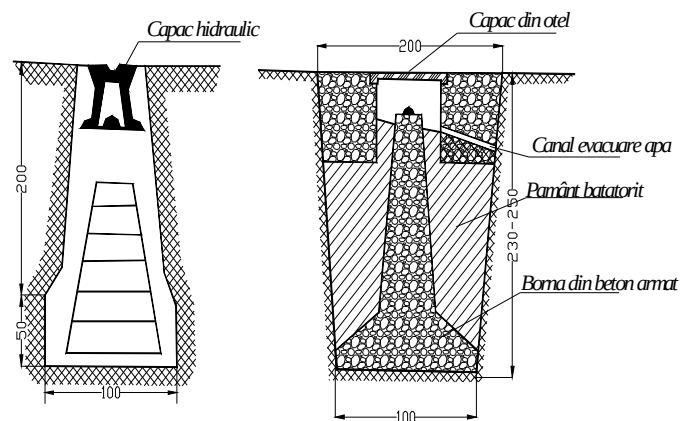


Figura 6.2.b. Reperi de control de suprafață – Cehia, Ungaria

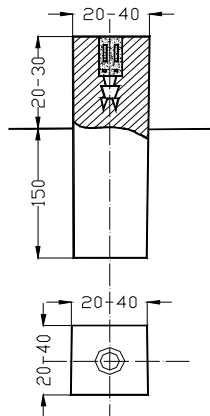


Fig. 6.3 Reper de control de suprafață în România

Aceste borne de beton în care se înglobează reperele de control de suprafață au secțiunea pătrată, cu latura între 20 – 40 cm; capătul de jos al bornei va fi așezat la o adâncime de minimum 1,50 m de la suprafața terenului. Reperii de suprafață se înglobează în poziție verticală.

În cazul pământurilor macroporice sau cu contracții mari, borna de beton va fi plantată la o adâncime de minim 2 m, iar în jurul bornei se va crea o movilă de pământ cu raza de 1-1,5 m pentru scurgerea apelor meteorice.

Drept repere de control se admit și reperele nivelmentului de precizie de stat de ordin superior, repere de câmp și repere de zidărie.

Reperul de câmp se compune din două părți distincte (figura 6.4):

- reperul propriu zis (borna);
- marca, adică piesa care se montează la partea superioară în bornă și care susține mira sau prisma optică;

Acești repere se acoperă cu pământ pentru a fi protejați și numai când se așează mira pe el se degajează de pământ, la finalizarea măsurărilor acesta acoperindu-se din nou pentru conservare.

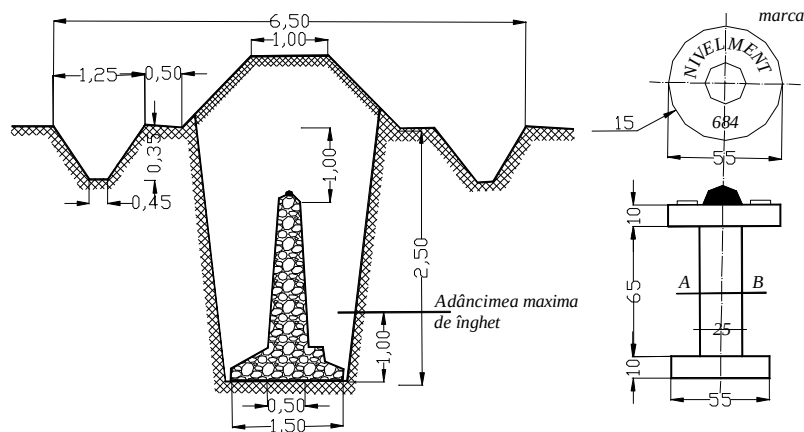


Fig. 6.4 Reperi de câmp în România

Reperul de zidărie se încastrează în zidăria construcțiilor masive, care nu mai prezintă tasări. Aceștia se încastrează cu baza lor în zidărie într-o gaură săpată și umplută cu mortar de ciment de calitate superioară.

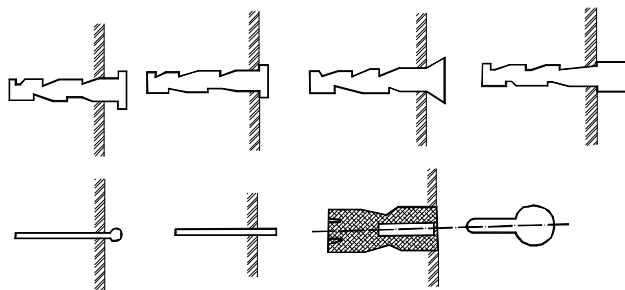


Fig. 6.5 Reperi de nivelment de zidărie în România

În cazul pământurilor moi sau a existenței unor straturi moi în adâncime, sau când adâncimea straturilor de pământ macroporic depășește 2 m, este necesar să se folosească repere de adâncime. Reperii de control de adâncime sunt realizați într-o diversitate de tipuri și care ajung la câteva zeci de metri adâncime. Adaptând tehnologia de executare a acestor tipuri de repere, se pot obține rezultate foarte bune pentru observațiile topografice, datorită deplasărilor sau variațiilor foarte reduse ale acestora. În funcție de locul amplasamentului, stabilitatea terenului de fundare și condițiile geotehnice locale se poate afirma că acești repere, oferă siguranța că nu se vor deplasa în timp și se pot utiliza mulți ani de la data materializării efective pe teren.

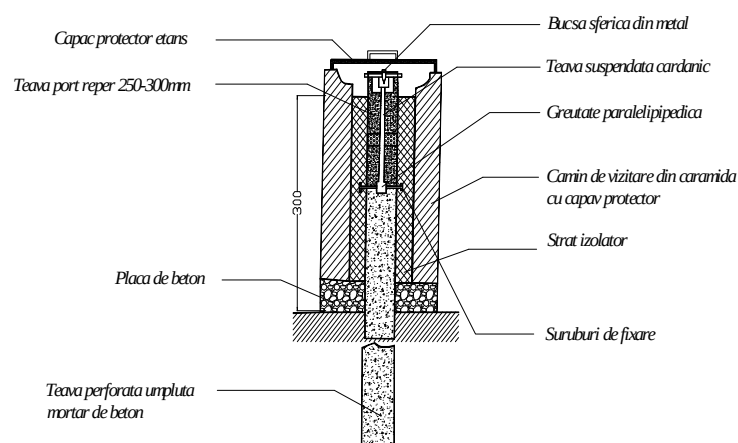


Fig. 6.6 Reper de adâncime tip Muraviev

În România, normativul I.N.C.E.R.C. prevede construirea reperilor de control de adâncime, conform figurii de mai jos:

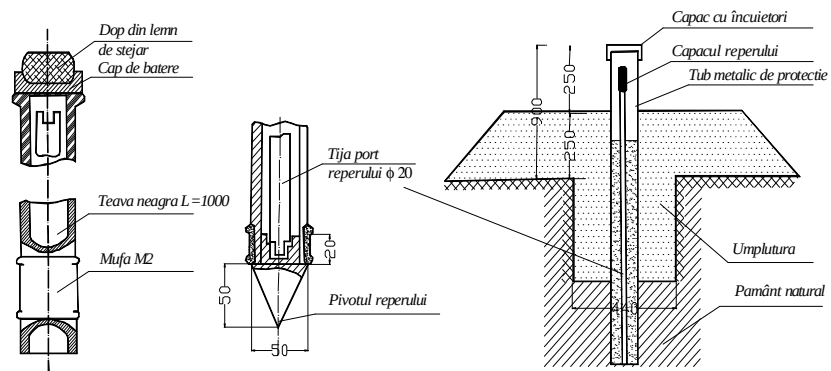


Fig. 6.7 Reperi de adâncime tip I.N.C.E.R.C. – poziția de batere și poziție definitivă

6.1.1.2 Materializarea mărcilor de control sau a punctelor de pe obiectul examinat

Materializarea punctelor de nivelment marcate pe obiectivul supus observațiilor, se realizează prin intermediul **mărcilor de tasare**. Mărcile montate pe construcțiile urmărite pot avea forme diferite, fiind confecționate din bare metalice cu cap rotunjit, sau din corniere cu cap semirotund (figura 6.8).

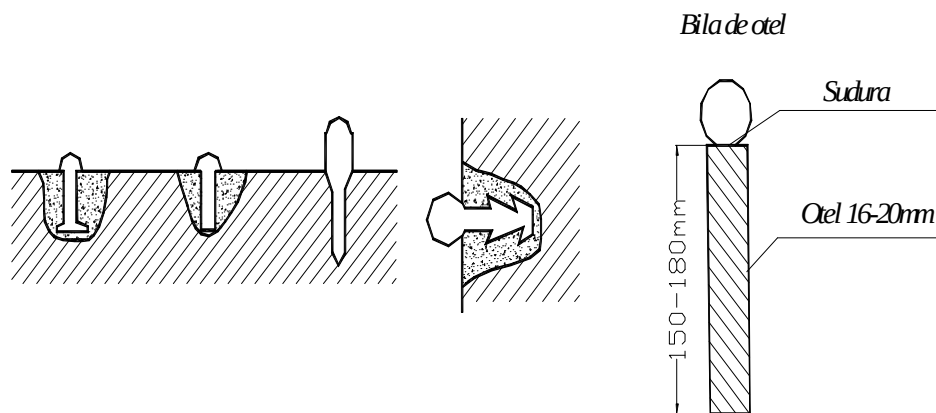


Fig. 6.8 Mărci de nivelment încastrare în construcție

Forma și materialul mărcilor se alege în funcție de condițiile locale, de forma și materialul construcției urmărite. Montarea mărcilor se face astfel încât ele să fie fixe și să permită așezarea verticală sigură a mirelor de nivelment sau a prismelor optice.

Mărcile de tasare se montează pe plăcile de fundație, pe soclul fundației, pe pereții exteriori sau uneori în interiorul construcțiilor. Aceste mărci trebuie protejate împotriva distrugerii și aceasta se face cu o apărătoare adecvată și un capac din oțel sau beton.

Pentru măsurarea deplasărilor verticale (tasărilor) ale straturilor de pământ situate la diferite adâncimi (cazul barajelor de pământ) se folosesc reperi de adâncime (mărci de adâncime). Construcția acestor reperi – mărci trebuie să asigure o legătură bună între ele și stratul de pământ examinat astfel încât toate mișcările verticale ale acestui strat să poată fi transmise fără deformări, mărcii. Una din principalele părți ale, marcii de adâncime, este țeava de protecție care trebuie să izoleze tija reperului de influențele unor eventuale frecări de pământ. În consecință marcă va fi supusă influențelor exercitate doar de mișcările aceluia strat de pământ pe care se sprijină piciorul acesteia.

Această marcă reper a fost concepută și exeperimentată de Lazzarini la transmiterea deplasărilor verticale ale unui strat de pământ situat la circa 1,5 m adâncime.

Forma plată a piciorului permite construirea acestei mărci direct pe teren, în groapa deschisă, care după priza terenului se umple cu pământ. Deplasarea stratului de sub picior poate fi sesizată la nivelul mărcii la partea superioară a acesteia. Neajunsul acestui tip de marcă este acela că odată cu construcția acesteia terenul este deranjat iar unele deplasări ale acesteia pot să apară datorită refacerii echilibrului natural.

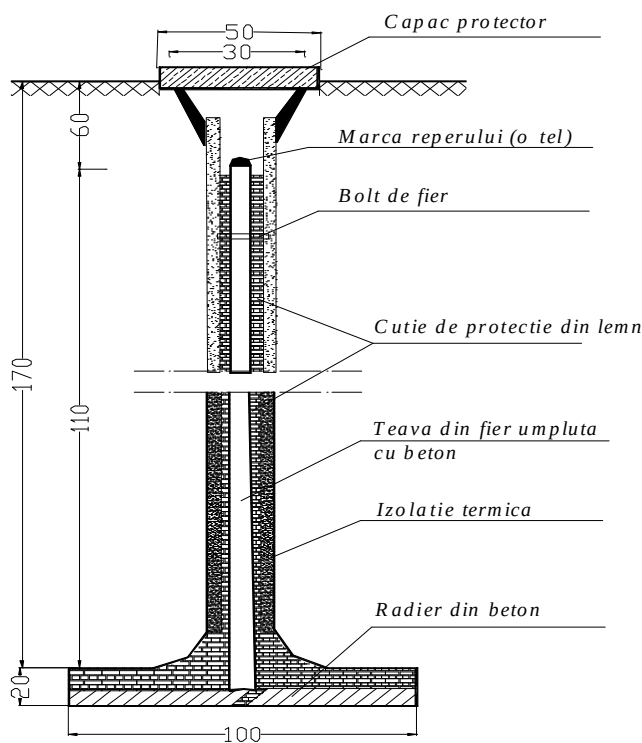


Fig. 6.9 Marcă de adâncime de tip Lazzarini

Mărcile de acest tip sau similare cu acestea, pot fi folosite pentru determinarea tasărilor straturilor de pământ situate la diferite adâncimi, ceea ce se practică la studierea barajelor de pământ.

6.1.2 Utilizarea metodei nivelmentului geometric de înaltă precizie la determinarea deplasărilor verticale a construcțiilor

Este metoda care asigură precizia cea mai mare la măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor, fiind utilizată atât la încercarea experimentală a unor construcții pe modele sau la scară naturală, precum și la urmărirea comportării în timp, și în faza de exploatare. În funcție de tipul, forma și mărimea construcției studiate, se creează configurația rețelei de nivelment geometric.

În componența rețelei regăsim următoarele tipuri de puncte:

- mărci sau puncte de control fixate pe construcția care este supusă studiului, numite în cazul acestei metode și mărci de tasare sau repere mobile;
- reper fixe, numite și repere de referință, amplasate în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției studiate.

Mărcile de tasare (punctele de control) au rolul de a reda cât mai fidel componentele verticale ale deplasărilor unor elemente distincte, sau a construcției care se tasează, pe care acestea sunt fixate. Ele se încastrează în elementele de rezistență ale construcției și trebuie să asigure verticalizarea pe acestea a mirelor de nivelment sau susținerea dispozitivelor de nivelment hidrostatic. Mărcile de tasare determinate prin nivelment geometric de înaltă precizie se pot realiza astfel:

- încastrate vertical;
- încastrate orizontal;
- încastrate orizontal sau vertical monobloc;
- încastrate vertical sau orizontal cu bolț detașabil.

În afară de acestea se mai pot folosi și alte modalități de materializare a punctelor de control (mărci de tasare) cum ar fi: mărci gradate, reprezentate de mire de invar suspendate sau rigle obișnuite cu diviziuni milimetrice, mărci bulon, mărci cui, mărci pastilă.

Repererii ficși au rolul de a realiza un plan de comparație față de care se determină deplasările verticale ale punctelor de control. La amplasarea lor trebuie să se țină seama de condițiile geotehnice și hidrologice ale terenului, de necesitatea asigurării condițiilor optime pentru efectuarea citirilor pe mire, de elementele de organizare a șantierului, de sistematizarea terenului în jurul construcției studiate. Numărul reperelor fixe va fi de minim două, dispuse astfel încât să acopere cât mai uniform zona înconjurătoare a construcției.

Ca regulă generală, reperele fixe se amplasează în afara zonei de influență a construcției observate sub adâncimea de îngheț și până la roca de bază, sau sunt încastrate în construcții vechi

existente, masive și stabile sau în stâncă, în locuri accesibile pentru observații. Amplasamentul acestora trebuie să asigure conservarea lor pe toată perioada studiului.

Procesul de determinare a deplasărilor verticale ale punctelor de control (mărci de tasare) cuprinde următoarele etape:

- etapa măsurătorilor de nivelment la locul experimentării, în laborator sau pe teren, pentru fiecare ciclu de măsurători;
- etapa prelucrării măsurătorilor pentru calculul deplasărilor verticale ale construcției și evaluarea preciziei, care include:
 - testarea stabilității reperilor ficși ai rețelei de referință în raport cu care se efectuează măsurarea deplasărilor verticale ale construcției; dacă se constată că uni din reperii ficși și-au modificat poziția pe verticală, se vor introduce corecțiile corespunzătoare;
 - calculul deplasărilor verticale ale punctelor de control de pe construcția luată în studiu;
 - evaluarea preciziei de determinare a deplasărilor verticale și stabilirea, pentru o probabilitate dată a intervalelor de încredere în care se încadrează;
 - întocmirea documentației tehnice a cercetării.

6.1.2.1 Proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru determinarea tasărilor

6.1.2.1.1 Repartiția spațială a reperilor de control

Proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru cazuri speciale se face prin luarea în considerare a unui număr minim de reperi de control pe baza cărora se vor raporta ulterior toate ciclurile de măsurători efectuate.

Numărul minim al reperilor de control într-o rețea de nivelment geometric pentru urmărirea tasărilor unei construcții, nu poate fi mai mic de 3, acest lucru rezultând din faptul că un număr mai mic de reperi de control, de exemplu 2, nu este suficient pentru a putea calcula și reprezenta care dintre aceștia și-a modificat poziția inițială (în cazul în care apare o diferență între cotele absolute ale acestora).

Reperii de control trebuie să fie situați reciproc în așa fel încât stabilitatea fiecăruia dintre ei să poată fi apreciată cu ajutorul cel puțin a unei drumuri, care duce către un alt reper de control. În consecință, numărul stațiilor din fiecare drumuire trebuie să asigure posibilitatea de a aprecia stabilitatea fiecărui reper de control în limitele adoptate ale influenței erorilor de măsurat, adică trebuie să permită constatarea deplasărilor care în valoare absolută depășesc valorile erorilor de măsurare.

Pentru determinarea deplasărilor reperilor de control se pornește de la relația privind criteriul de stabilitate al unui reper de nivelment (diferențele de nivel să nu depășească valoarea $2\mu\sqrt{n}$):

$$d_{\max} = \pm 2\mu\sqrt{n} \quad 6.1$$

în care: μ - eroarea medie pătratică a unității de pondere, eroare specifică măsurătorilor de precizii diferite;

m - eroarea de măsurare.

Rezultă următoarea condiție:

$$n \leq \left(\frac{m}{2\mu} \right)^2 \quad 6.2$$

Dacă considerăm eroarea medie pătratică a unității de pondere egală $\pm 0,1$ mm și eroarea de măsurare egală cu 0,5 mm, constatăm că depistarea modificării reciproce a poziției a doi reperi de control, de ordinul a 0,5 mm, va fi posibilă numai când $n \leq 6$.

Din această condiție rezultă că rețelele de nivelment geometric alungite, drumuirile pe coronamentele barajelor, drumuirile nivelitice paralele cu axul podurilor care nu au reperi de control la mijloc, trebuie să fie legate la fiecare capăt, cel puțin cu 3 repere de control, amplasate în afara zonei de deformabilitate a terenului.

Pentru stabilirea distanței maxime între reperele de control, cât și a lungimii maxime a drumuirii nivelitice, se consideră această lungime exprimată prin numărul de stații. Trebuie avut în vedere că eroarea medie pătratică de deplasare pe verticală, adaptată în prealabil pentru reperul amplasat cel mai defavorabil să nu fie depășită.

Se consideră o drumuire nivelitică cu un număr total de reperi n . Primul și ultimul reper se consideră ca reperi de control, iar celelalte puncte se consideră a fi reperi mobili.

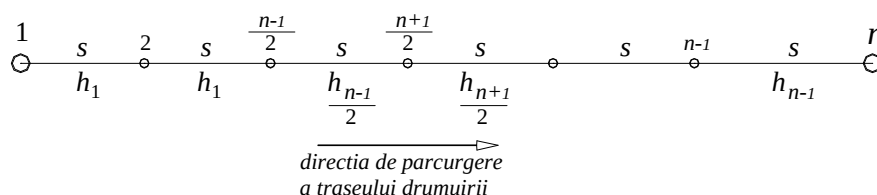


Fig. 6.10 Drumuire de nivelment geometric

Admițând pentru simplificarea calculului n impar, precum și numărul de stații s din figura 6.10 pe diferite porțiuni ale drumuirii, se poate scrie următoarea egalitate:

$$(h_1 + v_1) + (h_2 + v_2) + \dots + \left(\frac{h_{n-3}}{2} + \frac{v_{n-3}}{2} \right) + \left(\frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) + \left(\frac{h_{n+1}}{2} + \frac{v_{n+1}}{2} \right) + \dots + (h_{n-1} + v_{n-1}) = \quad 6.3$$

$$= (h'_1 + v'_1) + (h'_2 + v'_2) + \dots + \left(\frac{h'_{n-3}}{2} + \frac{v'_{n-3}}{2} \right) + \left(\frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) + \left(\frac{h'_{n+1}}{2} + \frac{v'_{n+1}}{2} \right) + \dots + (h'_{n-1} + v'_{n-1})$$

Exemplificarea de calcul are în vedere un model constituit dintr-o porțiune de rețea de nivelment sub forma unei drumuri sprijinite la capete pe doi repere de control, notați cu A, respectiv B, care sunt considerați ficși. Valorile luate în calcul sunt ale diferențelor de nivel măsurate pe teren între punctele drumurii, din două cicluri de măsurători.

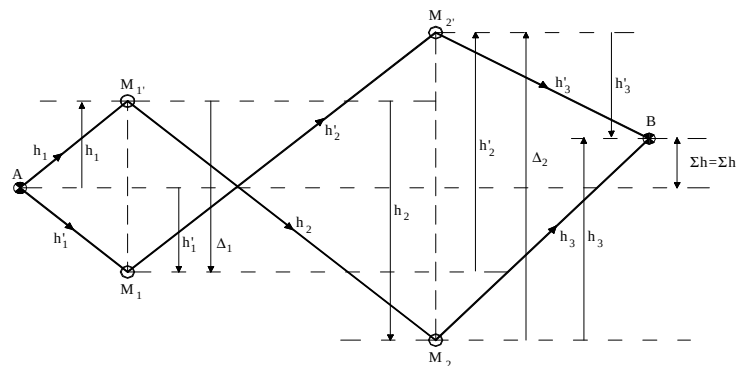


Fig. 6.11 Rețea de nivelment sub formă de drumuire sprijinită la capete

În figură s-au folosit următoarele notații:

- A și B – repere de control ficși;
- M_1 și M_2 – mărcile de tasare de pe construcție în poziția inițială (ciclul I);
- $M_{1'}$ și $M_{2'}$ - mărcile de tasare de pe construcție în poziția actuală (ciclul II);
- h_1, h_2, h_3 – diferențele de nivel deduse din observațiile inițiale (ciclul I);
- h'_1, h'_2, h'_3 - diferențele de nivel deduse din observațiile actuale (ciclul II);
- v_1, v_2, v_3 – corecțiile diferențelor de nivel măsurate inițial;
- v'_1, v'_2, v'_3 – corecțiile diferențelor de nivel măsurate actual;
- Δ_1, Δ_2 – deplasările verticale (tasările) mărcilor 1 și 2 în intervalul dintre cele două cicluri de măsurători.

Se consideră pentru început eliminarea valorilor h_3 și h'_3 și se raportează deplasările mărcilor 1 și 2 numai la un singur reper de control A, se obține:

$$\begin{aligned} h_1 + \Delta_1 &= h'_1 \\ h_1 + h_2 + \Delta_2 &= h'_1 + h'_2 \end{aligned} \quad 6.4$$

Rezultă:

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= h'_1 - h_1 \\ \Delta_2 &= (h'_1 + h'_2) - (h_1 + h_2) = \Delta_1 + (h'_2 - h_2)\end{aligned}\quad 6.5$$

Generalizând relația se poate scrie:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} + h'_i - h_i \quad 6.6$$

Măsurând diferențele de nivel h_3 și h'_3 drumuirea se leagă și de reperul B, creând astfel o condiție geometrică.

Dacă se iau în considerare corecțiile v și v' ce se aplică măsurătorilor conform modelului propus în figură, se poate scrie egalitatea între diferențele de nivel măsurate inițial și actual:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 \quad 6.7$$

Această relație conduce la următoarea ecuație de condiție, cea a corecțiilor:

$$v_1 - v'_1 + v_2 - v'_2 + v_3 - v'_3 + w = 0 \quad 6.8$$

În ecuația de mai sus w care reprezintă termenul liber se exprimă sub forma:

$$w = \sum (h_i - h'_i) \quad 6.9$$

Dacă cele două puncte reper formează o rețea alcătuită din două drumuri de nivelment sprijinite la capete pe aceleași două reperi de control A și B și notând cu $M_1, M_2 \dots M_i$ mărcile de tasare de pe obiectivul examinat, iar cu $h_1, h_2 \dots h_7$ diferențele de nivel măsurate în ciclul I se pot scrie următoarele ecuații caracteristice:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 \quad 6.10$$

$$h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_4 + v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \quad 6.11$$

În ecuațiile de mai sus, se observă că trebuie să avem suma diferențelor de nivel de pe drumuirea AM_1M_2B egală cu suma diferențelor de nivel de pe drumuirea $AM_3M_4M_5B$. Astfel, se pune condiția de închidere a drumuirilor de nivelment conform relațiilor următoare:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \quad 6.12$$

$$h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 = h'_4 + v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \quad 6.13$$

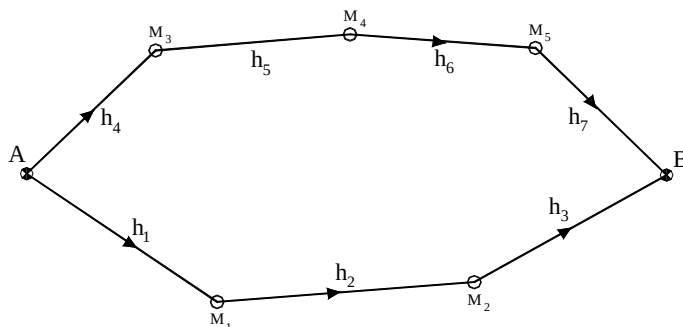


Fig. 6.12 Rețea de nivelment cu două drumuri sprijinite la capete

Se poate observa că ultima ecuație reprezintă o combinație liniară a celorlalte trei ecuații precedente. În consecință, la compensarea rețelei trebuie să se ia în considerare oricare trei din cele patru ecuații scrise mai sus.

Cele două drumuri de nivelment geometric AM_1M_2B și $AM_3M_4M_5B$ generează fiecare câte o ecuație de condiție. Identitatea punctelor de sprijin ale acestor două drumuri are drept consecință scrierea unei ecuații suplimentare de închidere a drumurilor de nivelment.

Pe baza analizării modelului propus în cele două figuri prezentate, ținând cont de tipul rețelei de sprijin, respectiv, drumuire de nivelment geometric, se poate determina și stabili numărul de ecuații de condiție independente.

Astfel, în drumuirea de nivelment din AM_1M_2B , deplasarea mărcii M_1 poate fi determinată pe baza măsurării de două ori a unei singure diferențe de nivel h_1 adică h_1 și h'_1 , iar deplasările mărcilor M_1 și M_2 pe baza măsurătorii de două ori a două diferențe de nivel h_1 și h_2 .

Măsurarea inițială și actuală a diferențelor de nivel h_3 creează și ea o ecuație de condiție.

În aceleași condiții se pune problema și pentru drumuirea $AM_3M_4M_5B$, măsurarea de două ori a diferenței de nivel h_7 generează o ecuație de condiție.

Combinând situațiile de mai sus, rezultă că în drumuirile nivelitice izolate, adică în drumuirile care se sprijină la ambele capete pe reperi de control, numărul ecuațiilor de condiție independente este dat de:

$$N = D - M \quad 6.14$$

în care: D – numărul diferențelor de nivel măsurate de două ori;

M – numărul mărcilor mobile.

Această formulă poate fi verificată în următoarea rețea sub forma unei drumuri de nivelment formată din 3 reperi A , B și C pentru care se pot scrie următoarele ecuații:

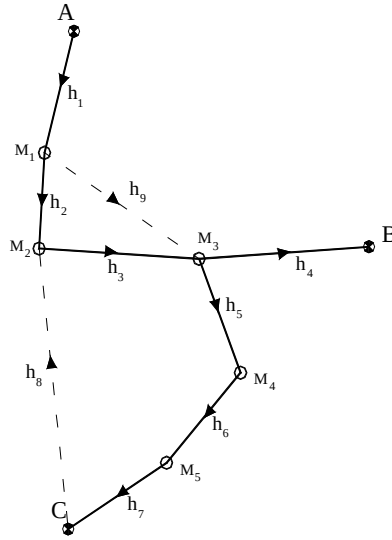


Fig. 6.13 Rețea de nivelment cu 3 repere de sprijin

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \quad 5.15$$

$$-h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7$$

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7$$

Se poate observa că suma primelor două ecuații este egală cu ecuația a treia, prin urmare nu există decât două ecuații independente. Același rezultat se obține dacă se aplică relația de mai sus în cazul în care $D=7$ și $M=5$. Existența liniilor de închidere a drumurilor marcate punctat, adică drumuri nivelitice închise pe punctul de plecare, creează posibilitatea scrierii unei condiții suplimentare și deci numărul ecuațiilor independente în rețea se determină cu relația:

$$N = D - M + I \quad 6.16$$

în care: I reprezintă numărul închiderilor.

Relația de mai sus se poate verifica tot în rețeaua din figura 6.13 completată cu drumurile suplimentare care formează închideri (linii întrerupte).

Astfel, se poate scrie: $D=9$; $M=5$; $I=2$, rezultă $N=6$.

Ecuatiile caracteristice care se scriu pe baza rețelei nivelitice din figura 6.13 sunt:

$$1. h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_8 + v_8 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8$$

$$2. h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_4 + v'_4$$

$$3. h_2 + v_2 + h_3 + v_3 - h_9 - v_9 = 0$$

$$\begin{aligned}
4. & h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 - h'_9 - v'_9 = 0 \\
5. & h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 - h_8 - v_8 = 0 \\
6. & h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 - h'_8 - v'_8 = 0 \\
7. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \quad 6.17 \\
8. & h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\
9. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \\
& = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\
10. & -h_8 - v_8 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = -h'_8 - v'_8 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \\
11. & -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\
12. & h_2 + v_2 + h_8 + v_8 - h_7 - v_7 - h_6 - v_6 - h_5 - v_5 - h_9 - v_9 = 0 \\
13. & h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 - h'_7 - v'_7 - h'_6 - v'_6 - h'_5 - v'_5 - h'_9 - v'_9 = 0
\end{aligned}$$

Din ecuațiile 6.17, primele 6 sunt independente, celelalte provenind din combinațiile primelor 6. Alegând din egalitățile de mai sus, oricare 6 ecuații independente le putem transforma în 6 ecuații de condiție independente ale corecțiilor.

Din primele 6 ecuații independente se obține următorul sistem liniar de ecuații de condiție ale corecțiilor:

$$\begin{aligned}
a_1 v_1 - a'_1 v'_1 + a_2 v_2 - a'_2 v'_2 + a_8 v_8 - a'_8 v'_8 + w_a &= 0 \\
b_1 v_1 - b'_1 v'_1 + b_4 v_4 - b'_4 v'_4 + b_9 v_9 - b'_9 v'_9 + w_b &= 0 \\
c_2 v_2 + c_3 v_3 - c_9 v_9 + w_c &= 0 \quad 6.18 \\
d'_2 v'_2 + d'_3 v'_3 - d'_9 v'_9 + w_d &= 0 \\
e_3 v_3 + e_5 v_5 + e_6 v_6 + e_7 v_7 - e_8 v_8 + w_e &= 0 \\
f'_3 v'_3 + f'_5 v'_5 + f'_6 v'_6 + f'_7 v'_7 - f'_8 v'_8 + w_f &= 0
\end{aligned}$$

Coeficienții corecțiilor v vor avea valoare +1 sau -1, iar termenii liberi w se vor determina ca diferențe după cum urmează:

$$\begin{aligned}
w_a &= (h_1 + h_2 + h_8) - (h'_1 + h'_2 + h'_8) \\
w_b &= (h_1 + h_4 + h_9) - (h'_1 + h'_4 + h'_9) \\
w_c &= (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \quad 19 \\
w_d &= (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \\
w_e &= (h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8) - (h'_3 + h'_5 + h'_6 + h'_7 + h'_8)
\end{aligned}$$

$$w_f = (h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8) - (h'_3 + h'_5 + h'_6 + h'_7 + h'_8)$$

Pe baza coeficienților ecuațiilor de condiție ale corecțiilor se poate scrie sistemul de ecuații normale ale corelatelor, luând în considerare ponderile diferențelor de nivel măsurate:

$$\begin{aligned} \left[\frac{aa}{p} \right] K_1 + \left[\frac{ab}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{af}{p} \right] K_6 + w_a &= 0 \\ \left[\frac{ab}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bb}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{bf}{p} \right] K_6 + w_b &= 0 \\ \left[\frac{ac}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bc}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{cf}{p} \right] K_6 + w_c &= 0 \\ \left[\frac{ad}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bd}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{df}{p} \right] K_6 + w_d &= 0 \\ \left[\frac{ae}{p} \right] K_1 + \left[\frac{be}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{ef}{p} \right] K_6 + w_e &= 0 \\ \left[\frac{af}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bf}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{ff}{p} \right] K_6 + w_f &= 0 \end{aligned} \quad 6.20$$

După determinarea corelatelor K se pot calcula corecțiile pentru diferențele de nivel măsurate inițial și actual cu relațiile următoare:

$$\begin{aligned} v_i &= \frac{a_i}{p_i} K_1 + \frac{b_i}{p_i} K_2 + \dots + \frac{f_i}{p_i} K_6 \\ v'_i &= \frac{a'_i}{p'_i} K_1 + \frac{b'_i}{p'_i} K_2 + \dots + \frac{f'_i}{p'_i} K_6 \end{aligned} \quad 6.21$$

Prin aplicarea acestor corecții la diferențele de nivel măsurate se determină valorile definitive ale acestora. Cunoscând valorile compensate ale diferențelor de nivel dintre ciclul de referință și ciclul actual al măsurătorilor, se calculează apoi deplasările verticale (tasările) ale mărcilor, calcul care se poate realiza pe mai multe căi, luând ca bază pentru control diferite reperi stabili.

$$\begin{aligned} 1. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2) - (h_1 + v_1 + h_2 + v_2) \\ 2. \Delta M_2 &= (-h'_4 - v'_4 - h'_3 - v'_2) - (-h_4 - v_4 - h_3 - v_3) \\ 3. \Delta M_2 &= (-h'_8 - v'_8) - (-h_8 - v_8) \\ 4. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 - h'_3 - v'_3) - (h_1 + v_1 + h_9 + v_9 - h_3 - v_3) \end{aligned} \quad 6.22$$

Mărimile h și h' sunt diferențele de nivel din prima măsurătoare și respectiv a două măsurătoare, iar v și v' sunt corecțiile respective. De la această egalitate se poate trece la o ecuație de condiție în care coeficienții necunoscutelor a pot fi ± 1 .

$$\text{Unica soluție este: } \left[\frac{aa}{p} \right] K + w = 0, \text{ în care } p = p' = \frac{1}{s}, \left[\frac{aa}{p} \right] = 2s(n-1) \text{ și } w = [h] - [h']$$

6.23

Astfel, soluția se va scrie:

$$2s(n-1)k + w = 0$$

6.24

$$k = -\frac{w}{2s(n-1)}$$

6.25

Corecțiile diferențelor de nivel din prima și a doua măsurătoare vor fi reciproc egale în ce privește valoarea absolută și va fi de forma:

$$v_i = \frac{a_i}{p_i} k = \frac{1}{\frac{1}{s}} \left(-\frac{w}{2s(n-1)} \right) = -\frac{w}{2(n-1)}$$

6.26

$$v'_i = \frac{a'_i}{p'_i} k = \frac{-1}{\frac{1}{s}} \left(-\frac{w}{2s(n-1)} \right) = +\frac{w}{2(n-1)}$$

6.27

Eroarea medie pătratică a unității de pondere se exprimă prin:

$$\mu = \sqrt{\frac{[p v v] + [p' v' v']}{1}} = \pm \frac{w}{\sqrt{2s(n-1)}}$$

6.28

În continuare eroarea medie pătratică a deplasării reperului din mijlocul drumuirii după compensarea diferențelor de nivel respective adică va fi:

$$F_1 = \frac{\Delta_{n+1}}{2} = (h'_1 + v'_1) - (h_1 + v_1) + \dots + \left(\frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) - \left(\frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right)$$

6.29

Relația 6.29 reprezintă o sumă de deplasări a unei funcții și deci eroarea medie pătratică a deplasării reperului din mijloc:

$$\Delta_i = F_i(h'_i + v'_i, h_i + v_i)$$

6.30

Eroarea funcției F_1 se determină astfel:

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_i} = f_i = -1 \text{ și } \frac{\partial F_1}{\partial h'_i} = f'_i = +1$$

6.31

Cu aceste mărimi se poate exprima eroarea funcției F_1 cu relația:

$$m_{F_1} = \pm \mu \cdot \sqrt{\left[\frac{ff}{p} \cdot 1 \right]}$$

6.32

în care indicativul 1 reprezintă numărul succesiv al ultimei corecții.

În mod similar se poate calcula eroarea medie pătratică a deplasării reperului care precede pe cel din mijloc, adică pentru reperul $\frac{n-1}{2}$:

$$F_2 = \frac{\Delta_{n-1}}{2} = (h'_1 + v'_1) - (h_1 + v_1) + \dots + \left(\frac{h'_{n-3}}{2} + \frac{v'_{n-3}}{2} \right) - \left(\frac{h_{n-3}}{2} + \frac{v_{n-3}}{2} \right) \quad 6.33$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_i} = \varphi_i = -1 \text{ și } \frac{\partial F_2}{\partial h'_i} = \varphi'_i = +1 \quad 6.34$$

Cu aceste mărimi se poate exprima eroarea funcției F_2 cu relația:

$$m_{F_2} = \pm \mu \cdot \sqrt{\frac{s(n-3) \cdot (n+1)}{2(n-1)}} \quad 6.35$$

Se poate constata că se obține o mărime identică, calculând deplasarea reperului $\frac{n-1}{2}$ pornind de la închiderea drumuirii nivelitice, în sens invers, adică:

$$F_2 = (h_{n-1} + v_{n-1}) - (h'_{n-1} + v'_{n-1}) + \dots + \left(\frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) - \left(\frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) \quad 5.36$$

Dacă se efectuează pe un obiect concret calculele pentru aflarea valorilor μ, m_{F_1}, m_{F_2} , se constată pe baza presupunerii că eroarea medie pătratică cea mai mare o va avea punctul din mijlocul drumuirii și că erorile în deplasările reperilor vecini diferă foarte puțin între ele. Deoarece eroarea μ depinde într-o drumuire separată de mărimea w a termenului liber, în formula lui m_{F_1} , μ este eroarea medie mijlocie a observației.

Rezultă astfel:

$$\mu_{mm} = \sqrt{\frac{s(n-1)}{2}} \leq M_{\Delta mm} \quad 6.37$$

în care M_{Δ} reprezintă eroarea medie pătratică cea mai mare, admisibilă a deplasării reperului, iar $s(n-1)$ înseamnă numărul stațiilor instrumentului în drumuire.

Se obține următoarea relație:

$$s(n-1) \leq 2 \frac{M_{\Delta}^2}{\mu^2} \quad 6.38$$

În ceea ce privește lungimea drumuirii de nivelment, diferența de nivel între capetele acesteia este o sumă algebrică a diferențelor de nivel de pe niveleuri:

$$H = h_1 + h_2 + \dots + h_n \quad 6.39$$

Diferențele de nivel parțiale sunt însoțite de erori m_h ; în cazul în care lungimile porteelelor sunt egale, atunci și valorile erorilor vor fi egale. Fiind vorba de o funcție de mărimi măsurate direct, se aplică relația de calcul în funcție de derivatele parțiale:

$$\frac{\partial f}{\partial h_i} = 1 \text{ și } \left(\frac{\partial f}{\partial h_i} \right)^2 = 1 \quad 6.40$$

adică, se poate scrie egalitatea:

$$\begin{aligned} m_H^2 &= m_{h_1}^2 \cdot 1 + m_{h_2}^2 \cdot 1 + \dots + m_{h_n}^2 \cdot 1 \\ m_H^2 &= m_h^2 \cdot n \\ m_H &= m_h \cdot \sqrt{n} \end{aligned} \quad 6.41$$

în care: m_h reprezintă eroarea unitară pe nivelu, iar n este numărul niveleurilor.

Astfel, la proiectarea drumuirilor de nivelment geometric, pentru urmărirea comportării în timp a construcțiilor, lungimea niveleurilor este preferabil a nu depăși 60 m, iar numărul de niveleuri maxime admisibil să fie 18, fapt ceea ce conduce la limitarea lungimii drumuirilor nivelitice de precizie la maxim 1000 m.

6.1.2.1.2 Stabilirea poziției mărcilor pe obiectivul supus observațiilor periodice

Locurile de amplasare a mărcilor de tasare se aleg în conformitate cu dispozițiile acelor instituții pentru care obiectivul examinat constituie obiectul cercetărilor tehnico-științifice. În general, mărcile se fixează pe diferite blocuri ale construcției separate de rosturile de dilatare pe postamentele destinate așezării mașinilor, pe stâlpii construcțiilor, pe soclurile coșurilor industriale, pe plăcile de fundație, pe coronamentele barajelor, pe vetrele galeriilor de control ale barajelor, pe platformele halelor industriale, pe culeele și pilele podurilor.

Numărul mărcilor de tasare trebuie să asigure sesizarea caracterului deplasărilor și deformațiilor construcției studiate. În mod orientativ trebuie arătat că pentru observarea deplasărilor blocurilor construcțiilor trebuie să se fixeze cel puțin două mărci, fiecare la distanța de circa 1 m de rostul de dilatație sau patru mărci pentru blocurile mai late. Același număr de mărci de tasare se fixează pe suprafețele superioare ale pilelor podurilor de cale ferată sau rutiere. Pe zidurile cu lungimi mari se fixează mărci de tasare în așa fel ca distanța între acestea să fie cuprinse între 20 și 40 m.

6.1.2.1.3 Amplasarea reperilor și a mărcilor de nivelment pentru diferite tipuri de construcții

În cazul unui baraj de greutate modul de amplasare a mărcilor și a reperilor poate fi reprezentat schematic în figura 6.14:

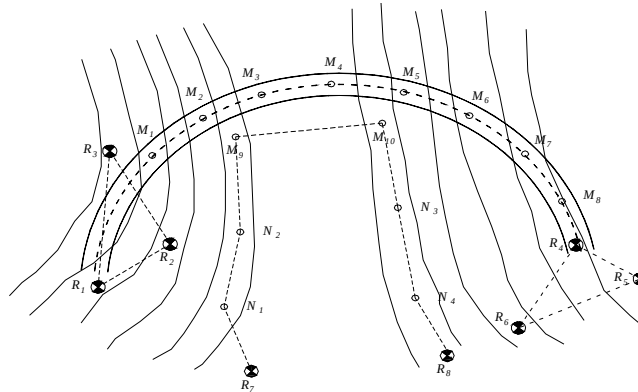


Fig. 6.14 Dispunerea drumurilor de nivelment geometric la un baraj arcuit

În figura 6.15 este prezentat un exemplu de poziționare a reperilor de control și a mărcilor de tasare, în vederea executării măsurărilor tasărilor infrastructurii de pod.

Reperii de sprijin de nivelment se amplasează în afara zonelor cu potențial ridicat de deformabilitate. Reperii de sprijin (control) se amplasează în număr de minim 3-4 pe fiecare mal al cursului de apă, astfel încât stabilitatea lor să poată fi controlată reciproc.

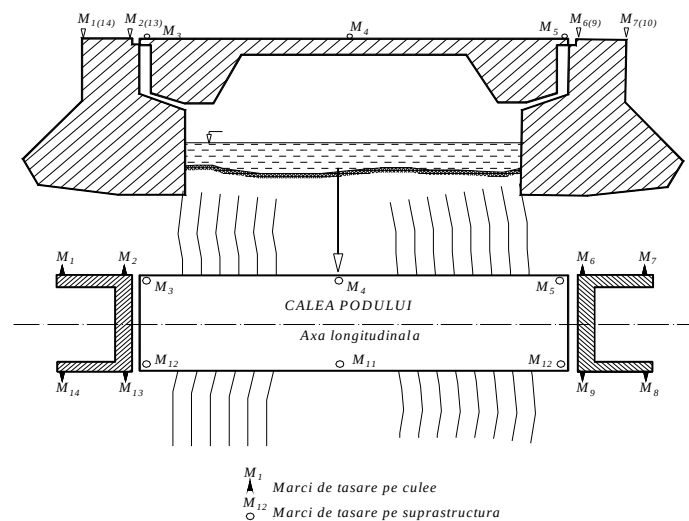


Fig. 6.15 Modul de repartitie a mărcilor de tasare pe culei și pe suprastructura podului

După cum se poate observa în figurile următoare, distanța de la reper la mărcile de tasare este egală (fapt stabilit pentru a evita erorile de focusare a lunetei instrumentului).

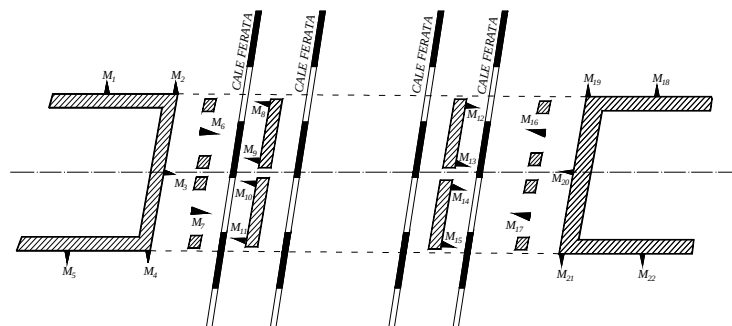


Fig. 6.16 Modul de amplasare a mărcilor de tasare pe suportii unui pasaj superior

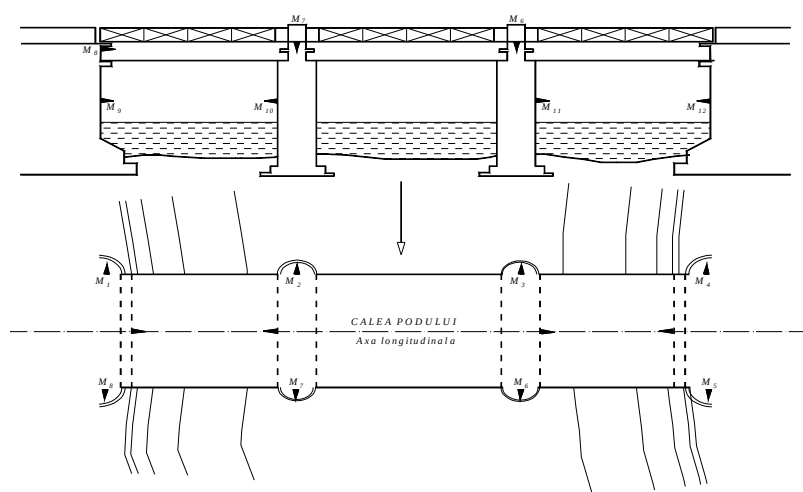


Fig. 6.17 Modul de amplasare a mărcilor de tasare la diferite nivele ale suportilor

Atunci când constrângerile de proiectare impun asigurarea egalității lungimii vizelor, se pot așeza “broaște” (borne confecționate din metal sau plastic cu coeficient de deformabilitate redus) stabile de nivelment în puncte intermediare notate cu litera *b*. În acest fel, “broasca” de nivelment se leagă de drumuirea principală de nivelment printr-o drumuire nivelitică scurtă față de reperul cel mai apropiat.

În figurile de mai jos se propune un model de repartitie spațială a patru reperi de sprijin de plecare notați cu R_1 , R_2 , R_3 și R_4 a șase mărci de tasare M_1 , M_2 , ... M_6 și a sistemului de drumuiri cu opt stații stabile, din care se fac observațiile pentru tasarea infrastructurii unui pod cu o singură deschidere.

În figurile 6.18.a și 6.18.b se prezintă modelul de rețea de nivelment cu patru reperi de plecare R_1 , R_2 , R_3 și R_4 , cu 14 mărci de tasare M_1 , M_2 , ... M_{14} pentru măsurarea tasărilor unui pod cu două deschideri. Legătura reperilor de plecare de pe ambele maluri ale cursului de apă, se realizează prin trei poligoane de nivelment amplasate ținând seama de egalitatea distanțelor aparat la miră sau reflector.

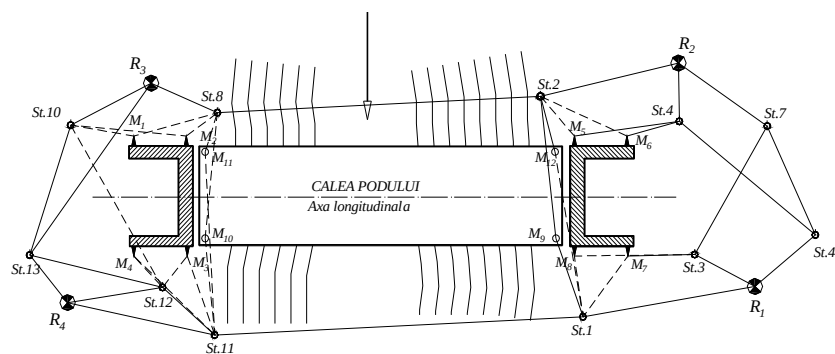


Fig. 6.18. a Schema drumuirilor de nivelment – pod cu o singură deschidere

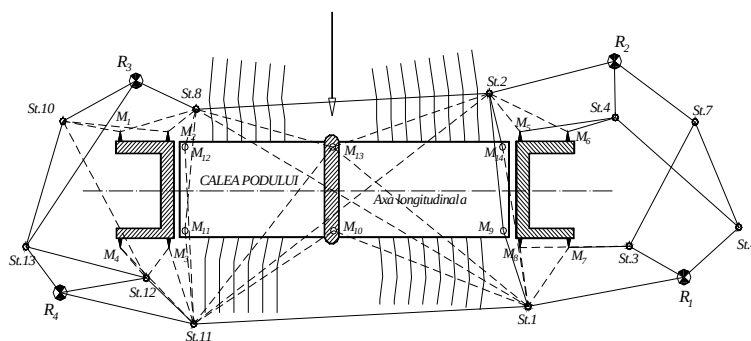


Fig. 6.18 b Rețeaua drumuirilor de nivelment pentru un pod cu două deschideri

6.1.2.2 Erorile întâlnite în cazul măsurării deplasărilor prin nivelment geometric

A. Neorizantalitatea liniei de vizare a lunetei instrumentului

Eroarea datorită neorizantalizării liniei de vizare a instrumentului topografic (nivelă topografică sau după caz, teodolit clasic sau electronic), are în aparență un caracter întâmplător, dar în cazul măsurărilor ea poate avea și un caracter sistematic.

Eroarea se poate elimina prin rectificarea aparatului sau prin staționarea cu nivela topografică la mijlocul niveleului unui traseu de nivelment geometric.

Orice metodă de rectificare a nivelei se realizează însă cu o eroare reziduală dată prin relația următoare:

$$m_{\tau} = \pm 0,09 \cdot \sqrt{\tau^{cc}} \quad 6.42$$

La o sensibilitate a a nivelei $\tau = \pm 10^{cc}$ eroarea de rectificare va fi egală cu $\pm 0,3^{cc}$.

Această eroare produce la rândul său o eroare în determinarea diferenței de nivel care se determină cu relația:

$$m_{\Delta h} = \pm \frac{d \cdot m_{\tau}}{\rho^{cc}} \quad 6.43$$

Astfel, la o eroare de rectificare a axei de vizare $m_{\tau} = \pm 0,3^{cc}$ rezultă o valoare de $\pm 0,015mm/10m$. Influența acestei erori reziduale de rectificare asupra diferenței de nivel măsurate poate fi redusă prin scurtarea vizei și prin staționarea la mijlocul niveleului.

B. Neaplicarea corecției de sfericitate, refracție și temperatură

La măsurarea tasărilor construcțiilor supuse observării, apar cazuri când nu putem menține aceeași distanță pentru viza înainte și înapoi. Dacă, în această situație nu se aplică corecția de sfericitate și refracție, diferențele de nivel măsurate vor fi eronate cu o anumită cantitate.

În acest sens, la o diferență de lungime de vizare egală cu 1 m, între viza înainte și înapoi, diferența indusă de corecția de sfericitate și refracție va fi de $\pm 0,003mm/10 m$.

Mărimea erorii provocate de refracție crește cu pătratul lungimii de vizare și proporțional cu diferența de nivel. La vizările deasupra terenului la altitudini mai mici de 50 cm, crește foarte repede gradientul de temperatură și prin aceasta și eroarea provocată de refracție. Refracția maximă apare în timpul răsăritului și apusului de soare. Pentru a evita erorile de refracție, este recomandat ca nivelmentul să nu se execute pe timp foarte cald și nu cu o oră înainte de răsăritul soarelui nici cu o oră înainte de apusul soarelui. Refracția depinde și de suprafața terenului, ea fiind mai mare dacă terenul este acoperit cu asfalt, beton, piatră și este mai mică dacă este acoperit cu iarbă. De asemenea, mărimea refracției este influențată de suprafața apei care prezintă variații de temperatură față de aer.

Diminuarea acestei erori de măsurare și posibila eliminare a acesteia se poate realiza prin egalizarea distanțelor citite înainte și înapoi.

Pe lângă erorile datorate sfericității și refracției, instrumentele și mirele de nivelment sunt supuse în timpul măsurării tasărilor unor variații importante de temperatură care provoacă deformări ale părților constructive ale acestora.

În această direcție trebuie menționate variațiile de temperatură din apropierea instalațiilor mecanice din interiorul și exteriorul construcției observate, umiditatea aerului, curenții de aer reci și calzi. De asemenea, la măsurarea tasărilor construcțiilor apar trepidații de la mașini sau utilaje, de multe ori existând posibilitatea de a executa măsurători în locuri cu praf sau fum.

La măsurătorile executate în scopuri obișnuite de nivelement, pe teren se întâlnesc de obicei temperaturi care variază lent și care dau astfel posibilitatea instrumentului să se aclimatizeze. Acest lucru nu este posibil în lucrările cu caracter special, deci și în cazul urmăririi comportării construcțiilor, deoarece în această situație sunt cazuri de variații mari de temperatură, când aparatul este încălzit neuniform.

În vecinătatea instalațiilor mecanice, erorile pot fi și mai mari. Variația de temperatură produce și erori în citirea pe miră, care se pot calcula cu relația:

$$m_t = \pm l \cdot k_t \cdot m_{\Delta t} \quad 6.44$$

în care: k_t – coeficientul liniar de dilatație termică a mirei;

$m_{\Delta t}$ – diferența de temperatură la vizarea înainte și înapoi;

l – un sector pe miră.

Pentru a evita asemenea erori se recomandă ca în special acolo unde variațiile de temperatură sunt foarte mari să se folosească instrumente de nivelment automate cu influențe minore datorate temperaturii, instrumente fără nivelă torică.

C. Neverticalitatea mirei și excentricitatea benzii de invar față de axa reperului

Erorile proprii ale mirelor de nivelment pot fi reduse rectificând mirele și proiectând astfel drumuirea încât prin metoda de măsurare a diferențelor de nivel să se elimine efectul acestor cauze. Neverticalitatea mirei produce erori destul de mari în determinarea diferențelor de nivel.

În cazul înclinării mirei cu un unghi ε , banda de invar a acesteia nu se găsește peste punctul cel mai înalt conform figurii 6.19, astfel că în loc de valoarea l_0 se va citi valoarea l , mai mare.

Acestei citiri este necesar a i se aplica o corecție:

$$l + \Delta l = l'_0 \quad 6.45$$

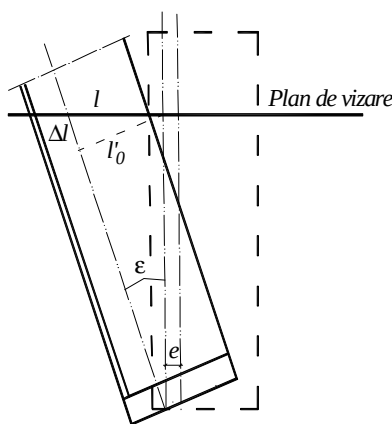


Fig. 6.19 Determinarea corecției de excentricitate a benzii de invar

De unde rezultă în continuare:

$$\begin{aligned} \Delta l &= l'_0 - l \\ \Delta l &= l_0 - l \\ \Delta l &= l \cos \varepsilon - l \\ \Delta l &= -l(1 - \cos \varepsilon) \\ \Delta l &= -2l \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} \end{aligned} \quad 6.46$$

Aceasta este corecția care trebuie adăugată citirii l de pe miră.

Valoarea erorii de neverticalitate crește și mai mult atunci când mira este așezată excentric față de reper. În acest caz este valabilă următoarea ecuație:

$$\Delta l = -\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{2} \pm \frac{e_1 \cdot \varepsilon}{\rho}\right) \quad 6.47$$

Primul termen din paranteză nu depinde de punctul pe care așezăm mira, influența lui este unilaterală și proporțională cu înălțimea axei de vizare.

Al doilea termen din paranteză depinde de valorile e_1 și ε , dar depinde și de înălțimea de vizare și are în general un caracter întâmplător. Valoarea acestui termen este mai mare ca a primului și poate să aibă un efect unilateral dacă nivela sferică de pe miră este așezată prea sus, astfel încât operatorul de la miră nu vede perpendicular bula nivelei și produce o eroare de centrare în reper (figura 6.20).

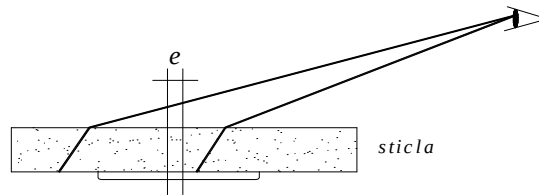


Fig. 6.20 Excentricitate datorată neperpendicularității razei vizuale

În timpul verticalizării mirei cu ajutorul nivelei sferice se poate induce o eroare de $2 - 10^{\text{cc}}$. Mirele Zeiss sunt înzestrate la nivelul tălpii cu un inel care permite centrarea benzii de invar cu exactitate pe axa reperului. Cu toate aceste măsuri (mirele de invar având două scale pe care se realizează citirea), citirile nu pot fi totuși considerate în axa mirei. Eroarea provocată de această abatere poate să ajungă la valori de $\pm 0,05\text{mm}$.

La o lungime a porteeleor mai mare de 50 m, precizia nivelmentului este mai mare, iar vizările mai scurte, mai puțin precise decât nivelmentul cu miră cu două scale.

6.1.3 Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

Metoda nivelmentului trigonometric de precizie se folosește la măsurarea deplasărilor verticale (tasări sau ridicări) ale punctelor de control de pe construcțiile studiate și în special a punctelor îndepărtate și greu accesibile ale construcțiilor înalte.

Pe baza experimentărilor în condiții de laborator și de teren, s-a demonstrat că nivelmentul trigonometric de precizie cu vize scurte, cu lungimi de până la 100 m, permite obținerea unei precizii comparabile cu cea a nivelmentului geometric.

Astfel, în condiții de laborator s-a demonstrat obținerea diferenței de nivel cu o eroare medie pătratică $m_{\Delta h} = \pm 0,1mm$. Pe baza măsurătorilor de teren pentru distanța de 80 m, diferența de nivel s-a determinat cu o eroare de $m_{\Delta h} = \pm 0,2mm$.

Principiul metodei nivelmentului trigonometric de precizie constă în determinarea cotelor punctelor de control după care, deplasările verticale se obțin din diferențele cotelor din ciclul actual și al corespondentelor din ciclul inițial.

Măsurarea unghiurilor orizontale și verticale (zenitale) trebuie făcută cu teodolite cu precizie de citire unghiulară de $\pm 1^{\circ}, \pm 0,5^{\circ}$. Măsurarea unghiurilor zenitale trebuie efectuată în perioada de stabilitate a refracției atmosferice, datorită faptului că în momentele de maxim al refracției atmosferice (miezul zilei), calitatea imaginii este scăzută survenind astfel și erorile de focusare a imaginii lunetei instrumentului.

Pentru distanțele mici, de până la 100 m, corecția totală datorită efectului de curbură a pământului și de refracție atmosferică este foarte mică. În cazul determinării deplasărilor verticale ale construcțiilor, prin nivelment trigonometric de precizie, influența curburii pământului și a refracției atmosferice se poate elimina aproape în întregime, prin modul de lucru, respectiv prin diferența măsurătorilor între două cicluri de observații.

La măsurarea deplasărilor verticale, mărimea unghiului zenital al fiecărei direcții este determinată cu câte trei măsurători complete, în ambele poziții ale lunetei, astfel: fie la toate cele trei fire zenitale (firul reticular orizontal și cele două fire stadimetrice), fie de trei ori la firul unic zenital (firul reticular orizontal), în funcție de forma reticulului instrumentului folosit.

Media aritmetică a valorilor rezultate din cele n măsurători reprezintă valoarea probabilă a unghiului zenital măsurat:

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^n [S_i + (400^g - D_i)]}{2n} \quad 6.48$$

Eroarea medie pătratică a unui unghi zenital măsurat este:

$$m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad 6.49$$

Eroarea medie pătratică a unghiului zenital mediu va fi:

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = \pm \frac{m_{Z_i}}{\sqrt{n}} \quad 6.50$$

Datorită faptului că, în cazul distanțelor scurte, precizia de determinare a cotelor punctelor prin metoda nivelmentului trigonometric este ridicată, această metodă poate fi folosită cu rezultate bune în cazul unor studii pe modele, în special când măsurarea deplasărilor orizontale și verticale se face concomitent. Determinarea deplasărilor verticale din diferența cotelor punctelor obținute în ciclul

actual și ciclul inițial presupune un volum de calcul important. Determinarea deplasărilor verticale ale construcției se face în funcție directă de diferențele unghiurilor zenitale, măsurate în punctele de capăt ale unei baze fixe, când orizontul instrumentului se modifică în fiecare ciclu de observații.

Se consideră o bază fixă, față de punctele de capăt ale acestora A și B odată cu măsurarea elementelor necesare determinării deplasărilor orizontale se efectuează și măsurarea elementelor necesare determinării deplasărilor verticale ale punctului de control, marca de tasare, de pe construcția supusă observării (figura 6.21).

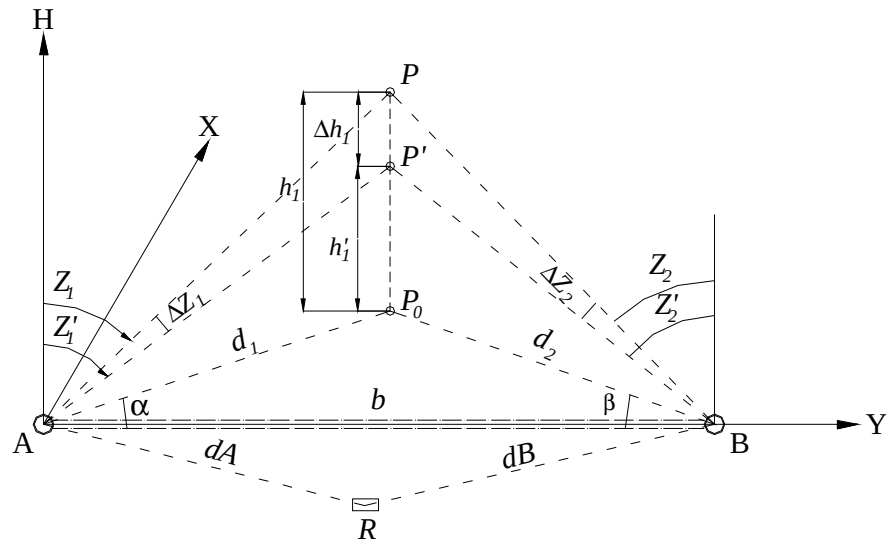


Fig. 6.21 Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

În ciclul inițial, cota punctului P determinată din punctul A al bazei este dată de relația:

$$H_1 = H_A + h_1; \quad 6.51$$

în care:

H_A - orizontul instrumentului în punctul de stație A ;

h_1 - diferența de nivel dintre orizontul instrumentului din stația A și punctul de control P ;

Orizontul instrumentului din punctul de stație A , determinat de la reperul R de cotă cunoscută este dată de relația:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \text{ctg} Z_A \quad 6.52$$

Reperul de cotă cunoscută se va stabili cât mai aproape de punctele de stație A și B , iar citirea pe mira S_A va fi aceeași în toate ciclurile de observații, aleasă astfel încât unghiul zenital să fie aproximativ drept, iar orizontul locului se va determina cu formula:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \frac{(100^g - Z_A)^{cc}}{\rho^{cc}} \quad 6.53$$

Diferența de nivel dintre orizontul instrumentului din punctul de stație A și punctul de control P este dată de relația:

$$h_1 = d_1 \operatorname{ctg} Z_1 \quad 6.54$$

În intervalul de timp dintre ciclul inițial și ciclul actual de observații, punctul de control s-a deplasat pe verticală, odată cu construcția, din poziția P în poziția P' . Cota punctului P' corespunzătoare ciclului actual are forma:

$$H_1' = H_A' + h_1'; \quad 6.55$$

Deplasarea verticală a punctului de control, între cele două cicluri de observații, din stația A , este:

$$\Delta H_1 = H_1' - H_1 = (H_A' - H_A) + (h_1' - h_1) = \Delta H_A + \Delta h_1 \quad 6.56$$

În mod asemănător, deplasarea verticală a punctului de control, determinată din stația B , are forma:

$$\Delta H_2 = H_2' - H_2 = (H_B' - H_B) + (h_2' - h_2) = \Delta H_B + \Delta h_2 \quad 6.57$$

În relațiile de mai sus se modifică doar mărimile unghiurilor zenitale.

Diferențele dintre valorile orizonturilor instrumentului din cele două cicluri de măsurători, necesare la calculul deplasării verticale a punctului de control vor fi:

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= H_A' - H_A = d_A (\operatorname{ctg} Z_A - \operatorname{ctg} Z_A') \\ \Delta H_B &= H_B' - H_B = d_B (\operatorname{ctg} Z_B - \operatorname{ctg} Z_B') \end{aligned} \quad 6.58$$

Notând: $Z_A' = Z_A + \Delta Z_A$ și $Z_B' = Z_B + \Delta Z_B$, prin liniarizare se obțin, pentru relațiile de mai sus următoarele expresii:

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} \\ \Delta H_B &= \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} \end{aligned} \quad 6.59$$

Deplasările verticale ale punctului de control, determinate din cele două puncte de stație vor fi:

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= \Delta H_A + \Delta h_1 = \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} - \frac{b \sin \beta}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_1} \Delta Z_1^{cc} \\ \Delta H_2 &= \Delta H_B + \Delta h_2 = \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} - \frac{b \sin \alpha}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_2} \Delta Z_2^{cc} \end{aligned} \quad 6.60$$

Ca valoare definitivă a deplasării verticale a punctului de control se va lua media aritmetică,

$$\Delta H_I = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} \quad 6.61$$

sau media ponderată a celor două valori:

$$\Delta H_I = \frac{p_1 \Delta H_1 + p_2 \Delta H_2}{p_1 + p_2} \quad 6.62$$

în care:

p_1 și p_2 reprezintă ponderile deplasărilor verticale ale punctului de control, determinate din stațiile A și B, mărimi exprimate în funcție de erorile medii pătratice ale deplasărilor verticale prin relațiile:

$$p_1 = \frac{1}{m_{\Delta H_1}^2} \text{ și } p_2 = \frac{1}{m_{\Delta H_2}^2} \quad 6.63$$

Metoda prezentată oferă posibilitatea determinării deplasării verticale a punctelor de contro, de pe construcția studiată, în funcție de diferențele unghiurilor zenitale măsurate în două cicluri de observații, pentru cazul general al variației orizontului instrumentului în punctele de stație, reprezentând o metodă eficientă în cazul folosirii nivelmentului trigonometric de precizie.

Eficiența metodei este cu atât mai mare cu cât numărul punctelor de control, ca și numărul ciclurilor de observații este mai mare, proprietate remarcabilă în practica încercării construcțiilor ca și în cea a urmăririi comportării acestora în timp.

Pentru asigurarea unei anumite precizii a măsurătorilor liniare și unghiulare a valorilor observate este necesară stabilirea unor relații matematice pe baza cărora să se poată efectua o evaluare cât mai completă a preciziei de determinare a deplasărilor verticale ale construcției.

Plecând de la relațiile diferențelor de nivel între două cicluri de măsurători realizate, erorile medii pătratice ale deplasărilor verticale vor fi exprimate prin relațiile:

$$m_{\Delta H_A}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial d_A} \right]^2 \cdot m_{d_A}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial Z_A} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial(\Delta Z_A)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_A}}{\rho} \right)^2 \quad 6.64$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial d_B} \right]^2 \cdot m_{d_B}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial Z_B} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial(\Delta Z_B)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_B}}{\rho} \right)^2 \quad 6.65$$

Calculându-se derivatele parțiale și introducându-le în relațiile 6.64 și 6.65, se obține pentru erorile medii pătratice ale diferențelor orizontului instrumentului, formulele:

$$m_{\Delta H_A}^2 = \Delta H_A^2 \left(\frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + 4\Delta H_A^2 \text{ctg}^2 Z_A \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_A}{\Delta Z_A} \right)^2 m_{\Delta Z_A}^2 \quad 6.66$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \Delta H_B^2 \left(\frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + 4\Delta H_B^2 \text{ctg}^2 Z_B \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_B}{\Delta Z_B} \right)^2 m_{\Delta Z_B}^2 \quad 6.67$$

Eroarea medie pătratică a valorii medii a deplasării verticale a punctului de control în funcție de erorile medii pătratice ale diferențelor orizontului instrumentului, va fi exprimată de relația:

$$m_{\Delta H_1}^2 = \left(\frac{\Delta H_A}{2} \right)^2 \left(\frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_B}{2} \right)^2 \left(\frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + (\Delta H_A \text{ctg} Z_A)^2 \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 +$$

$$(\Delta H_B \text{ctg} Z_B)^2 \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \frac{\Delta H_A^2}{2\Delta Z_A} m_{\Delta Z_A}^2 + \frac{\Delta H_B^2}{2\Delta Z_B} m_{\Delta Z_B}^2 \quad 6.68$$

Admițând că $\Delta H_A \approx \Delta H_B \approx \Delta H$ și $d_A \approx d_B \approx d$, $Z_A \approx Z_B$ și erorile medii pătratice ale elementelor măsurate sunt $m_{d_A} \approx m_{d_B} \approx m_d$, $m_{Z_A} \approx m_{Z_B}$, $m_{\Delta Z_A} \approx m_{\Delta Z_B}$, va rezulta pentru eroarea medie pătratică a valorii medii a deplasării verticale, în funcție de erorile medii pătratice ale diferențelor dintre orizonturile instrumentului din cele două cicluri de observații relația:

$$m_{\Delta H_1} = \left[\left(\Delta H \frac{m_d}{d} \right)^2 + \left(\sqrt{2} \Delta H \operatorname{ctg} Z_A \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{\sqrt{2} \Delta Z_A} m_{\Delta Z_A} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad 6.69$$

Erorile medii pătratice ale deplasărilor verticale, mai precis ale diferențelor de nivel determinate din cele două puncte de stație, se exprimă cu relațiile 6.70:

$$m_{\Delta h_1}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial b} \right]^2 m_b^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial \alpha} \right]^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial \beta} \right]^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial Z_1} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_1}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial(\Delta Z_1)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_1}}{\rho} \right)^2$$

$$m_{\Delta h_2}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial b} \right]^2 m_b^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial \alpha} \right]^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial \beta} \right]^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial Z_2} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_2}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial(\Delta Z_2)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_2}}{\rho} \right)^2$$

Se vor calcula mărimile derivatelor parțiale și se vor introduce în relațiile de mai sus, obținându-se:

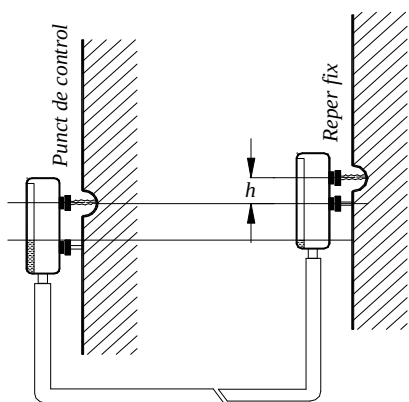
$$m_{\Delta h_1}^2 = \Delta h_1^2 \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_1^2 \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \left(\frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \Delta h_1^2 [\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 +$$

$$+ 4 \Delta h_1^2 \operatorname{ctg}^2 Z_1 \left(\frac{m_{Z_1}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h_1}{\Delta Z_1} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_1}^2, \quad 6.71$$

$$m_{\Delta h_2}^2 = \Delta h_2^2 \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_2^2 [\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \Delta h_2^2 \operatorname{ctg}^2(\alpha + \beta) \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2$$

$$+ 4 \Delta h_2^2 \operatorname{ctg}^2 Z_2 \left(\frac{m_{Z_2}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h_2}{\Delta Z_2} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_2}^2, \quad 6.72$$

Pe baza relațiilor de mai sus, se deduce că eroarea medie pătratică a valorii medii a deplasării verticale a unei construcții, determinată în funcție de diferențele dintre diferențele de nivel dintre punctele de stație și punctul de control, este cu atât mai mică cu cât mărimea unghiului zenital se apropie de 100° , iar dreptele de determinare se intersectează sub un unghi cât mai apropiat de 200° .



6.1.3 Utilizarea nivelmentului hidrostatic în determinarea deplasărilor construcțiilor masive

În anumite situații, măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor studiate se poate efectua prin

metoda nivelmentului hidrostatic. Metoda se aplică cu rezultate foarte bune în condiții speciale, în condiții grele de lucru (locuri greu accesibile în interiorul clădirilor, la înălțimi mari) unde metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie este dificil sau uneori imposibil de aplicat.

De asemenea, prin metoda nivelmentului hidrostatic se asigură un control permanent și continuu a stabilității construcțiilor, permițându-se o automatizare a înregistrării datelor măsurate.

Fig. 6.22 Principiul nivelmentului hidrostatic

Față de metoda nivelmentului geometric, metoda nivelmentului execuție sau exploatare, întâmpină foarte multe greutăți. De multe ori nu există posibilitatea instalării aparatului fără dispozitive speciale, nu se poate realiza ținerea mirei în punctele de control de pe construcția observată, nu se poate opri procesul de producție pentru efectuarea măsurătorilor. Toate aceste inconveniente se elimină prin folosirea nivelmentului hidrostatic care se execută mult mai rapid decât nivelmentul geometric de precizie. Aparatura folosită este de construcție simplă, este ieftină și se poate păstra și depozita foarte ușor.

Metoda nivelmentului hidrostatic este fundamentată de principiul vaselor comunicante. În punctele de control de pe construcția studiată sunt fixate tuburi gradate, care sunt unite între ele printr-un furtun. Diferența citirilor pe tuburile gradate, corespunzător nivelului apei din tuburi, reprezintă diferența de nivel dintre cele două puncte. În sistemul hidrostatic prezintă numeroase avantaje, principalele dintre acestea fiind precizia de realizare a lucrărilor și măsurarea nivelitică în același timp a mai multor puncte. Determinarea diferenței de nivel prin nivelment hidrostatic, permite eliminarea unui întreg șir de erori ale aparatului, proprii nivelmentului geometric. La acestea trebuie adăugat faptul că, realizarea nivelmentului geometric de înaltă precizie, pentru cazul studierii unor construcții aflate în hidrostatic se mai include și un rezervor suplimentar care joacă rol de compensator.

Deplasările verticale ale diferitelor părți ale construcției se vor produce împreună cu diferitele dispozitive de prindere a tuburilor gradate. În timpul măsurătorilor, aparatura poate fi montată fix pe clădire sau poate fi mobilă, adică poate fi deplasată în diferite puncte.

În primul caz, deoarece un tub este instalat într-un reper fix, deplasările verticale ale construcției se determină din diferența citirilor efectuate pe tubul situat în punctul de control, corespunzător diferitelor cicluri de observații.

În cel de-al doilea caz, determinarea deplasărilor verticale se face ca în cazul nivelmentului geometric.

Diferența de nivel dintre tuburile gradate și legate între ele printr-un furtun, amplasate în punctele A și B se calculează cu relațiile:

$$h = (d_2 - c_2) - (d_1 - c_1) = (d_2 - d_1) - (c_2 - c_1) \quad 6.73$$

în care d_1 și d_2 – reprezintă înălțimile tuburilor gradate;

c_1 și c_2 – distanțele de la capetele tuburilor până la nivelul lichidului, exprimate de citirile pe scalele celor două tuburi.

O relație asemănătoare se poate scrie, dacă se schimbă poziția tuburilor:

$$h = (d_2 - d_1) - (c'_1 - c'_2) \quad 6.74$$

în care: c'_1 și c'_2 – noile citiri pe scalele tuburilor.

Rezolvând concomitent cele două relații, se obține pentru mărimea constantei, $k = (d_2 - d_1)$, determinată de diferența înălțimilor tuburilor, numită și constanta instrumentului, expresia,

$$K = 0,5[(c_2 - c_1) + (c'_2 - c'_1)] \quad 6.75$$

iar pentru diferența de nivel dintre punctele A și B, relația:

$$h = 0,5[(c_1 - c_2) + (c'_2 - c'_1)] \quad 6.76$$

Când unul dintre puncte este un reper fix (x), de exemplu punctul B, în raport cu care se măsoară deplasările verticale ale unui punct de control (y), de exemplu A, se vor obține mărimile deplasărilor verticale absolute, făcându-se diferențele:

$$\Delta H_y = h_{xy}^{r(a)} - h_{xy}^0 \quad 6.77$$

$$x = 1, 2, \dots, k; y = 1, 2, \dots, p$$

în care $h_{xy}^{r(a)}$ - diferența de nivel măsurată în ciclul de referință (actual);

h_{xy}^0 - diferența de nivel măsurată în ciclul inițial.

Când ambele puncte sunt puncte de control, atunci se vor obține deplasările verticale relative ale unui punct față de celălalt punct, procedându-se în același mod ca în cazul deplasărilor absolute.

Dacă sistemul hidrostatic cuprinde atât tuburi în repere fixe cât și tuburi fixate în puncte de control, atunci determinarea deplasărilor verticale ale punctelor de control se face ca în cazul drumirii de nivelment geometric sprijinită la capete pe repere de cote cunoscute.

Pentru automatizarea procesului de măsurare a deplasărilor verticale ale construcțiilor, în fiecare tub de măsurare este necesar să se fixeze două contacte. Contactul superior se fixează mai sus decât nivelul inițial al lichidului, la mărimea presupusă a deplasării, iar cel inferior se introduce în lichid. Prin atingerea deplasării limită la unul din tuburi, are loc lichidarea contactului, deoarece lichidul atinge contactul superior. Într-un asemenea sistem, se poate conecta un semnal electric sau toate circuitele pot fi legate la un tablou de comandă.

Precizia nivelmentului hidrostatic depinde de însăși construcția sistemului, de proprietățile lichidului, de metoda de măsurare și de influența factorilor de mediu. Principalele surse de erori care influențează măsurătorile sunt:

- schimbarea cotei inițiale a nivelului lichidului din sistem ca urmare a tasărilor tuburilor de măsurare;
- schimbările de temperatură și efectuarea citirilor pe tuburi.

Pentru măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor se folosesc două feluri de sisteme hidrostatice:

- sistem hidrostatic deschis – la care nivelul superior al lichidului vine în contact direct cu aerul;
- sistem hidrostatic închis – la care lichidul este izolat de atmosferă.

Dezavantajul sistemelor hidrostatice deschise este legat de evaporarea lichidului. Acestea nu permit folosirea unor lichide ușor volatile, ca de exemplu antigel, care este util a se folosi în condiții cu temperaturi negative. Pentru asigurarea unei funcționări îndelungate și precise, părțile componente ale sistemului hidrostatic trebuie să întrunească anumite condiții, acestea rezultând ca urmare a unor perfecționări continue.

Furtunurile ce leagă sistemul hidrostatic se realizează din diferite materiale: metal, cauciuc, material plastic. Furtunurile sistemelor hidrostatice au lungimi cuprinse între 10...30 m. La lungimi mari, principalul volum de lichid se află în aceste conducte, iar schimbarea volumului conductei de polietilenă reprezintă aproximativ 5% la schimbarea temperaturii de la +5° la +30°C. În acest fel, dacă volumul de apă din rezervorul sistemului reprezintă mai puțin de 5% decât volumul total al lichidului în sistem, atunci la schimbarea temperaturii apa se poate scurge total din rezervor și măsurarea nu mai este posibilă, introducându-se astfel un sistem de compensare.

În sistemele hidraulice închise, deoarece lichidul este ferit de influența atmosferei, filtrele sunt excluse, iar posibilitatea pătrunderii prafului și uleiului în hidrosistem este eliminată. În acest caz, este posibilă folosirea lichidelor ușor volatile. Dar, fiind ermetic închise, la schimbări de temperatură se produc schimbări ale presiunii în hidrosistem și dacă conductele de legătură sunt din polietilenă subțire sau din cauciuc, atunci întinderea lor poate duce la creșterea volumului lichidului, pierderea lichidului, scăderea nivelului lichidului din tuburile gradate, dând naștere astfel la erori mari de măsurare. Din această cauză, la realizarea hidrosistemelor închise, furtunurile de legătură trebuie făcute din material rezistent sau cu secțiune mică, cele mai indicate fiind cele din material metalic. Micșorarea volumului furtunurilor se poate realiza prin introducerea în sistem a sifoanelor închise în volumul de aer, prin care se compensează schimbarea presiunii ca urmare a schimbării mari a volumului.

Metoda nivelmentului hidrostatic permite determinarea deplasărilor verticale cu o precizie ridicată, cuprinsă între $\pm 0,01 \dots \pm 0,005$ mm și se recomandă a se folosi la urmărirea comportării în timp a unor construcții masive (genul barajelor), la care operația de observare se face permanent, pe întreaga durată a existenței în exploatare a construcției.

6.2 METODE TOPO-GEODEZICE FOLOSITE

LA DETERMINAREA DEPLASĂRILOR ORIZONTALE

Prin prelucrarea măsurătorilor liniare și unghiulare, se va putea obține fie direct mărimea vectorului deplasării orizontale, fie mai întâi mărimea componentelor pe axele de coordonate, apoi în funcție de acestea, mărimea vectorului deplasării.

Atât mărimea cât și direcția și sensul vectorului deplasării orizontale se poate determina prin metode grafice, metode numerice (trigonometrice, analitice) și metode riguroase folosind metoda celor mai mici pătrate, în funcție de natura și precizia cercetării.

6.2.1 Metoda microtriangulației și utilizarea acesteia la determinări ale deplasărilor

Se folosește la determinarea vectorului deplasării orizontale ale punctelor de control, fixate pe construcția studiată, în raport cu un sistem de referință constituit din puncte fixate în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției, acestea formând rețeaua punctelor de triangulație.

Metoda microtriangulației este folosită la urmărirea comportării în timp a construcțiilor masive (baraje, ecluze, viaducte, poduri), ca și a terenurilor din jurul acestora.

Construcția rețelei de microtriangulație se realizează cu precizie foarte mare.

Determinarea vectorului deplasării orizontale a construcției necesită efectuarea măsurătorilor repetate (ciclice) ale rețelei de microtriangulație, cu aceeași precizie cu care a fost construită inițial. Calculele de compensare trebuie executate riguros, prin metoda celor mai mici pătrate, cu scopul de a se obține valorile cele mai probabile ale coordonatelor punctelor rețelei, avându-se posibilitatea aprecierii preciziei rezultatelor compensării și deci și a preciziei de determinare a vectorului deplasării orizontale a punctelor de control de pe construcția studiată.

În componența rețelei se regăsesc următoarele categorii de puncte:

⇒ Puncte de control, numite și mărci de tasare ce sunt fixate pe construcția ce urmează a fi observată. Aceste puncte au rolul de a evidenția cu exactitate mărimea și direcția deplasărilor. Semnalizarea lor se face cu mărci speciale de diferite forme, confecționate din bronz cromat spre a rezista la coroziune. Cercetările au arătat că cele mai bune sunt semnalele sub formă de disc, diametrul cercului reprezentând 1:20 din distanța medie de la punctul fix până la punctul de determinat.

⇒ Puncte de stație, din care se fac observații repetate spre punctele de control de pe construcție. Aceste puncte sunt marcate prin pilaștri de beton armat, cu fundație adâncă, având la partea superioară piese speciale de centrare și prindere a teodolitului. Amplasarea lor se face în apropierea construcției, la maximum 300...500 m, numărul lor fiind de cel puțin două. La partea superioară a pilastrului se fixează o placă de oțel în mijlocul căreia se află dispus un reper cu filet ce înlocuiește șurubul pompă, pentru o mai bună centrare a teodolitului și a semnalelor de vizare pe punctele de stație.

⇒ Punctele de referință de la care se determină eventualele schimbări în poziția punctelor de stație sunt amplasate în terenuri stabile și la distanțe de 200...300 m de construcția observată, spre a se elimina orice influență a acesteia asupra lor.

⇒ Punctele de orientare sunt amplasate la distanțe mai mari , în terenuri care prezintă un grad ridicat al stabilității, indicat în studiile geotehnice.

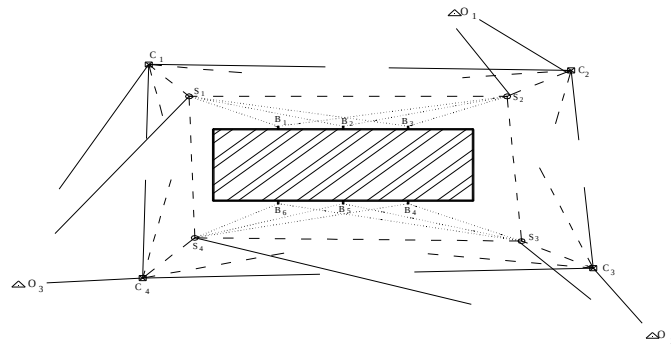


Fig. 6.23 Rețea completă de urmărire

Rețeaua de microtriangulație se poate prezenta după cum urmează:

- rețea completă, care cuprinde toate cele patru categorii de puncte și cu vize reciproce între punctele de stație și punctele de referință (figura 6.23);
- rețea incompletă, când nu sunt asigurate vizele reciproce între punctele de stație și punctele de referință;
- rețea simplă, compusă din puncte de stație și puncte de referință.

La realizarea rețelei de microtriangulație se urmărește obținerea unei bune conformații a figurilor geometrice componente, în vederea obținerii unei precizii antecalculat care să satisfacă pe deplin cerințele impuse. Se alege un sistem rectangular de axe care să coincidă cu axele principale ale construcției observate. De exemplu în cazul urmăririi unui baraj sau a unei lucrări de artă (pod, viaduct), deformațiile rezultate pe axa Y paralelă cu axa obiectivului, sunt mai mici decât cele pe verticală, adică după axa Z.

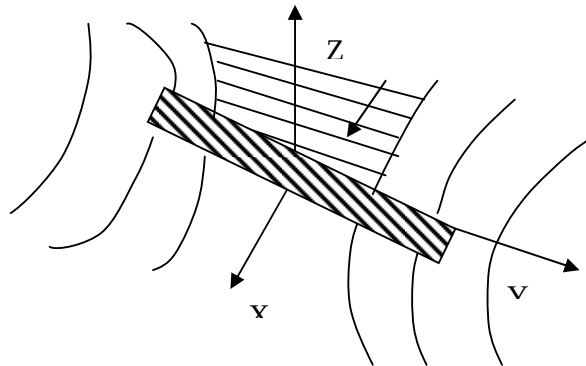


Fig. 6.24 Alegerea sistemului de referință pentru urmărirea unui baraj

Observațiile în punctele rețelei de triangulație se execută cu precizie corespunzătoare rețelei de ordinul I, II, uneori chiar III, prin metoda seriilor complete (reiterațiilor) sau metoda Schreiber. În timpul măsurătorilor se iau toate măsurile pentru a se elimina complet influența erorilor sistematice și pentru a reduce la minimum erorile aleatoare.

Eroarea de neînchidere în turul de orizont nu trebuie să depășească valoarea de $12''$. În caz contrar măsurătorile în acea stație se vor repeta.

La calculul deplasărilor orizontale ale construcției, unghiurile, orientările și coordonatele punctelor din ciclul inițial de măsurători devin, după compensare, elemente de referință. Față de acestea se raportează toate elementele obținute în ciclurile următoare de observații.

Schimbările în poziția punctelor de control, de pe construcția studiată, se determină prin metoda intersecției, pe cale trigonometrică, analitică sau prin metoda celor mai mici pătrate.

În fiecare ciclu de observații se verifică stabilitatea în poziția punctelor de stație, în cazul deplasării unora din ele, procedându-se la introducerea corecțiilor corespunzătoare.

Procesul determinării vectorului deplasării orizontale a punctelor de control de pe construcția studiată, cuprinde următoarele etape:

- etapa măsurătorilor unghiulare și liniare în locul experimentării, în laborator sau pe teren, în fiecare ciclu de observații și care cuprinde:
 - măsurarea direcțiilor orizontale din toate punctele de stație și a distanțelor;
 - compensarea direcțiilor orizontale măsurate în fiecare punct de stație, prin metoda riguroasă a măsurătorilor indirecte sau, în cazul unor experimentări mai puțin precise, prin metodă empirică;
 - evaluarea preciziei măsurătorilor unghiulare și liniare;
 - verificarea stabilității punctelor de stație și calculul modificărilor în direcțiile punctelor observate.
- etapa prelucrării măsurătorilor, pentru calculul vectorului deplasării construcției și evaluarea preciziei, care cuprinde:
 - testarea stabilității punctelor fixe în raport cu care se efectuează măsurarea vectorului deplasării; dacă se constată că unele puncte fixe și-au modificat poziția se calculează mărimea deplasărilor punctelor fixe, ca și direcțiile deplasărilor și se introduc corecțiile corespunzătoare;
 - calculul vectorului deplasării orizontale, pentru punctele de control de pe construcția studiată;
 - evaluarea preciziei de determinare a vectorului deplasării și stabilirea, pentru o probabilitate dată, a intervalelor și domeniilor de încredere în care se află;

➤ întocmirea documentației tehnice.

O condiție pentru determinarea cu precizie a deplasărilor absolute ale construcțiilor o reprezintă stabilitatea punctelor de observație. Punctele de observație, respectiv stațiile teodolitelor, își pot schimba poziția datorită unui complex de cauze, cum ar fi: alunecări de teren, tasarea pilaștrilor, lovirea sau/și distrugerea parțială a acestora.

Determinarea precisă a deplasării stațiilor de observație este foarte necesară deoarece o determinare greșită a deplasărilor poate să schimbe forma deformațiilor construcției. Deplasările construcțiilor sunt în general foarte mici, situate în foarte multe cazuri la limita posibilităților de observație. Determinarea acestor cantități mici trebuie să se facă foarte precis și din această cauză trebuie eliminate erorile provenite din deplasarea stațiilor și măsurătoare.

Determinarea deplasărilor punctelor geodezice de observație ale construcțiilor se realizează prin intermediul următoarelor metode:

- o metoda microtriangulației – prin folosirea de ansamblu a punctelor rețelei, în cazul rețelelor complete și de suprafață ;
- o metoda retrointersecției – folosind punctele de microtriangulație în mod izolat, în cazul rețelelor incomplete.

6.2.1.1 Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de stație în rețelele “incomplete”

După proiecția pe planul de situație a amplasamentului construcției, a punctelor de stație, de control și de orientare, se procedează la executarea observațiilor unghiulare și liniare. Compensând aceste observații prin metoda celor mai mici pătrate, se calculează în final coordonatele punctelor fixe în sistemul de proiecție local al amplasamentului.

La intervale de timp stabilite, se repetă măsurătorile în rețea obținându-se aceleași rezultate sau alte valori unghiulare și liniare datorită eventualelor deplasări ale punctelor de stație. Această problemă se va trata luând în considerație variația direcțiilor și admitând stabilitatea punctelor de control.

Se consideră o porțiune dintr-o rețea de microtriangulație, conform figurii 6.25 în care se fac notațiile:

S, S_1, S_2, S_3 – pozițiile inițiale ale punctelor rețelei;

S', S'_1, S'_2, S'_3 – pozițiile actuale (poziții deplasate ale punctelor rețelei);

K_1, K_2, K_3 – direcțiile observate la măsurătoarea inițială din stația de observație S ;

K'_1, K'_2, K'_3 – direcțiile observate la măsurătoarea actuală din stația S' .

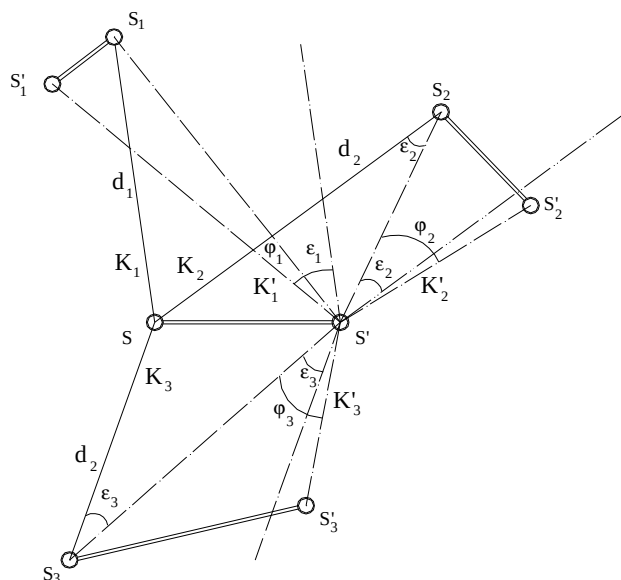


Fig. 6.25 Deplasarea punctelor de stație prin observarea direcțiilor

Deplasările diferitelor puncte ale rețelei, apărute între măsurătoarea inițială și cea actuală provoacă o variație a direcțiilor și deci a unghiurilor orizontale definite de acestea. Diferențele între unghiuri, depind de mărimea deplasărilor punctelor din rețea și de erorile obținute la măsurarea inițială și cea actuală. Pe baza acestor diferențe se vor putea determina componentele cele mai probabile ale deplasărilor punctelor de referință. Pe baza notațiilor făcute se pot scrie următoarele condiții de egalitate, pentru stația de observație S:

$$(K_2 + v_2) - (K_1 + v_1) = (K'_2 + v'_2 + \varphi_2 + \varepsilon_2) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \quad 6.78$$

$$(K_3 + v_3) - (K_1 + v_1) = (K'_3 + v'_3 + \varphi_3 + \varepsilon_3) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \quad 6.79$$

în care: v – corecțiile pentru direcțiile măsurate inițial din stația de observație S;

v' – corecțiile pentru direcțiile măsurate actual din stația de observație deplasată S'.

În ecuațiile 6.78 și 6.79 se poate observa o componentă comună, așa numită necunoscută de orientare a stației de observație S:

$$dz_s = (K_1 + v_1) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \quad 6.80$$

$$dz_s = (K_2 + v_2) - (K'_2 + v'_2 + \varphi_2 + \varepsilon_2) \quad 6.81$$

Ținând cont de notațiile de mai sus, se scriu ecuațiile 6.78 și 6.79 se pot scrie astfel:

$$\begin{aligned} v_1 - v'_1 - dz_s - \varphi_1 - \varepsilon_1 + (K_1 - K'_1) &= 0 \\ v_2 - v'_2 - dz_s - \varphi_2 - \varepsilon_2 + (K_2 - K'_2) &= 0 \\ v_3 - v'_3 - dz_s - \varphi_3 - \varepsilon_3 + (K_3 - K'_3) &= 0 \end{aligned} \quad 6.82$$

Corecțiile φ_i sunt cauzate de deplasările punctelor de vizare S_i , iar corecțiile ε_i sunt cauzate de deplasarea punctului de stație S . Aceste variații ale orientării unei direcții φ, ε provocate de variația coordonatelor capetelor sale sunt evidențiate prin relații de tipul:

$$\begin{aligned}\varphi_{SS_1} &= \frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta x_{S_1} - \frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta y_{S_1} \\ \varepsilon_{SS_1} &= -\frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1} + \frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta y_S\end{aligned}\quad 6.83$$

în care. θ_{SS_1} – orientarea direcției SS_1

d_1 – lungimea laturii definită de punctele S și S_1 – calculată din coordonatele obținute inițial.

Raporturile $-\frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1}$ și $\frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1}$ reprezintă coeficienții de direcție dintre S și S' notați cu a_{SS_1} și b_{SS_1} . Introducând aceste mărimi în ecuațiile corecțiilor se obține pentru direcția considerată SS_1 și pentru celelalte, observate de două ori, următoarele ecuații de condiție:

$$\begin{aligned}v_1 - v'_1 - dz_S - a_{SS_1} \Delta x_S - b_{SS_1} \Delta y_S + a_{SS_1} \Delta x_{S_1} + b_{SS_1} \Delta y_{S_1} + l_1 &= 0 \\ v_2 - v'_2 - dz_S - a_{SS_2} \Delta x_S - b_{SS_2} \Delta y_S + a_{SS_2} \Delta x_{S_2} + b_{SS_2} \Delta y_{S_2} + l_2 &= 0 \\ v_3 - v'_3 - dz_S - a_{SS_3} \Delta x_S - b_{SS_3} \Delta y_S + a_{SS_3} \Delta x_{S_3} + b_{SS_3} \Delta y_{S_3} + l_3 &= 0\end{aligned}\quad 6.84$$

în care: $l_i = (K_i - K'_i)$ - termenul liber.

Pe baza acestor relații se pot scrie sisteme de ecuații pentru fiecare punct de stație din rețeaua de microtriangulație din care direcțiile au fost observate de două ori: odată din poziția inițială și a doua oară din poziția deplasată a punctului de stație.

În ceea ce privește termenii liberi ai ecuațiilor de condiții se pot face următoarele precizări:

- ⇒ admitând stabilitatea punctelor de control, iar punctele de stație ca puncte noi, algoritmul se situează în cazul măsurătorilor indirecte când o rețea de triangulație este constituită din puncte noi și puncte vechi;
- ⇒ aplicându-se în acest caz metoda variației coordonatelor se pot calcula termenii liberi ca diferențe între unghiul de orientare corespunzător direcției respective și unghiul mediu de orientare al stației;
- ⇒ cunoscând orientările direcțiilor, calculate la compensarea triangulației prin observații condiționate, când s-au obținut coordonatele punctelor și având direcțiile măsurate în ciclul actual se poate determina valoarea unghiului s de orientare provizorie pentru fiecare direcție.

Calculând termenii liberi trebuie avut în vedere faptul că mărimea acestora depinde de valoarea direcției actuale, în funcție de diferența dintre valoarea inițială și valoarea actuală. Pentru ca

valoarea termenilor liberi să fie cât mai mică, este recomandabil ca direcțiile actuale să fie măsurate cu aceeași origine ca la măsurarea inițială, în acest fel diferențele între direcțiile actuale și cele inițiale reprezintă erorile de măsurare efective.

Prin orice metodă se calculează termenii liberi, mărimea acestora nu influențează valorile deplasărilor Δx și Δy care se determină, ci vor fi evidențiați când se vor scrie ecuațiile de reducere în care va apare un alt termen liber transformat sub forma:

$$L_i = \left(l_i - \frac{l_i}{n} \right) \quad 6.85$$

Prin rezolvarea ecuațiilor corecțiilor v și v' , se pot determina necunoscutele Δx și Δy pentru fiecare punct de stație. Ecuațiile corecțiilor se pot scrie într-o formă generală de tipul:

$$v_i - v'_i + a_i x + b_i y + c_i z + d_i u + l_i = 0 \quad 6.86$$

Considerând o stație din care se măsoară 5 direcții se poate scrie un sistem de cinci ecuații de condiție cu patru necunoscute:

$$\begin{aligned} v_1 - v'_1 + a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 u + l_1 &= 0 \\ v_2 - v'_2 + a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 u + l_2 &= 0 \\ v_3 - v'_3 + a_3 x + b_3 y + c_3 z + d_3 u + l_3 &= 0 \\ v_4 - v'_4 + a_4 x + b_4 y + c_4 z + d_4 u + l_4 &= 0 \\ v_5 - v'_5 + a_5 x + b_5 y + c_5 z + d_5 u + l_5 &= 0 \end{aligned} \quad 6.87$$

În fiecare ecuație sunt patru necunoscute (direcția variază la ambele capete) și în plus apar și corecțiile v , caz în care rezolvarea sistemului presupune compensarea prin metoda măsurătorilor condiționate.

Pentru rezolvarea sistemului prin procedeul corelatelor, cazul măsurătorilor de precizii diferite, se pornește de la condiția ca suma pătratelor corecțiilor să fie minimă.

$$[pv] + [p'v'v'] = (p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + \dots + p_n v_n^2) + (p'_1 v'^2_1 + p'_2 v'^2_2 + \dots + p'_n v'^2_n) = \text{minim} \quad 6.88$$

Prin înmulțirea ecuațiilor sistemului de corecții cu valorile corelatelor aferente necunoscutelor se va obține o funcție specială Gauss-Lagrange Φ care conține ponderile măsurătorilor inițiale și actuale, având următoarea formă:

$$\begin{aligned} \Phi = & (p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + p_3 v_3^2 + p_4 v_4^2 + p_5 v_5^2) + (p'_1 v'^2_1 + p'_2 v'^2_2 + p'_3 v'^2_3 + p'_4 v'^2_4 + p'_5 v'^2_5) - \\ & - 2K_1(v_1 - v'_1 + a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 u + l_1) - 2K_2(v_2 - v'_2 + a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 u + l_2) - \\ & - 2K_3(v_3 - v'_3 + a_3 x + b_3 y + c_3 z + d_3 u + l_3) - 2K_4(v_4 - v'_4 + a_4 x + b_4 y + c_4 z + d_4 u + l_4) - \\ & - 2K_5(v_5 - v'_5 + a_5 x + b_5 y + c_5 z + d_5 u + l_5) \end{aligned} \quad 6.89$$

Ținând cont de principiul celor mai mici pătrate, expresiei de mai sus i se va pune condiția de minim, astfel încât se vor scrie derivatele parțiale de ordinul I ale funcției Φ în raport cu toate corecțiile și necunoscutele, derivate care vor fi egalate cu zero condiția ca o funcție de n variabile să admită extreme.

Derivatele parțiale ale funcției Φ în raport cu corecțiile v sunt:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi}{\partial v_1} &= 2p_1 v_1 - 2K_1 = 0 & v_1 &= \frac{K_1}{p_1} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_2} &= 2p_2 v_2 - 2K_2 = 0 & v_2 &= \frac{K_2}{p_2} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_3} &= 2p_3 v_3 - 2K_3 = 0 & v_3 &= \frac{K_3}{p_3} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_4} &= 2p_4 v_4 - 2K_4 = 0 & v_4 &= \frac{K_4}{p_4} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_5} &= 2p_5 v_5 - 2K_5 = 0 & v_5 &= \frac{K_5}{p_5} \\ &\text{, de unde rezultă}\end{aligned}\quad 6.90$$

Derivatele parțiale ale funcției Φ în raport cu corecțiile v' sunt prezentate în relațiile 6.91.

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi}{\partial v'_1} &= 2p'_1 v'_1 + 2K_1 = 0 & v'_1 &= -\frac{K_1}{p'_1} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_2} &= 2p'_2 v'_2 + 2K_2 = 0 & v'_2 &= -\frac{K_2}{p'_2} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_3} &= 2p'_3 v'_3 + 2K_3 = 0 & v'_3 &= -\frac{K_3}{p'_3} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_4} &= 2p'_4 v'_4 + 2K_4 = 0 & v'_4 &= -\frac{K_4}{p'_4} \\ &\text{, de unde rezultă} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_5} &= 2p'_5 v'_5 + 2K_5 = 0 & v'_5 &= -\frac{K_5}{p'_5} \\ &\text{, de unde rezultă}\end{aligned}\quad 6.91$$

Rezultă:

$$\begin{aligned}v_1 - v'_1 &= \frac{K_1}{p_1} + \frac{K_1}{p'_1} = K_1 \left(\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} \right) = \frac{K_1}{pl_1} \\ v_2 - v'_2 &= \frac{K_2}{p_2} + \frac{K_2}{p'_2} = K_2 \left(\frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \right) = \frac{K_2}{pl_2}\end{aligned}$$

$$v_3 - v'_3 = \frac{K_3}{p_3} + \frac{K_3}{p'_3} = K_3 \left(\frac{1}{p_3} + \frac{1}{p'_3} \right) = \frac{K_3}{pl_3} \quad 6.92$$

$$v_4 - v'_4 = \frac{K_4}{p_4} + \frac{K_4}{p'_4} = K_4 \left(\frac{1}{p_4} + \frac{1}{p'_4} \right) = \frac{K_4}{pl_4}$$

$$v_5 - v'_5 = \frac{K_5}{p_5} + \frac{K_5}{p'_5} = K_5 \left(\frac{1}{p_5} + \frac{1}{p'_5} \right) = \frac{K_5}{pl_5}$$

Ponderile din sistem se vor calcula ca raport între eroarea medie pătratică a unității de pondere și eroarea medie pătratică a unei direcții măsurate, conform relației 6.93:

$$p_i = \frac{\mu_0^2}{\mu_i^2}, p'_i = \frac{\mu_0^2}{\mu_i'^2} \quad 6.93$$

în care: μ_0 - eroarea medie pătratică a unității de pondere = $\pm 1^{cc}$;

μ_i - eroarea medie pătratică a unei direcții măsurate în ciclul inițial;

μ'_i - eroarea medie pătratică a unei direcții măsurate în ciclul actual;

Înlocuind ponderile cu expresiile de mai sus se pot exprima corecțiile v și v' :

$$v_i = \frac{K_i}{p_i} = K_i \frac{\mu_i^2}{\mu_0^2}, v'_i = -\frac{K_i}{p'_i} = -K_i \frac{\mu_i'^2}{\mu_0^2} \quad 6.94$$

Mărimile corelatelor K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 introduse drept coeficienți nedeterminați în problema variațională, apar în ecuațiile următoare ca noi necunoscute și formează sistemul corelatelor:

$$\begin{aligned} \frac{K_1}{pl_1} + a_1x + b_1y + c_1z + d_1u + l_1 &= 0 \Rightarrow K_1 = -pl_1(a_1x + b_1y + c_1z + d_1u + l_1) \\ \frac{K_2}{pl_2} + a_2x + b_2y + c_2z + d_2u + l_2 &= 0 \Rightarrow K_2 = -pl_2(a_2x + b_2y + c_2z + d_2u + l_2) \\ \frac{K_3}{pl_3} + a_3x + b_3y + c_3z + d_3u + l_3 &= 0 \Rightarrow K_3 = -pl_3(a_3x + b_3y + c_3z + d_3u + l_3) \quad 6.95 \\ \frac{K_4}{pl_4} + a_4x + b_4y + c_4z + d_4u + l_4 &= 0 \Rightarrow K_4 = -pl_4(a_4x + b_4y + c_4z + d_4u + l_4) \\ \frac{K_5}{pl_5} + a_5x + b_5y + c_5z + d_5u + l_5 &= 0 \Rightarrow K_5 = -pl_5(a_5x + b_5y + c_5z + d_5u + l_5) \end{aligned}$$

Derivatele parțiale ale funcției Φ în raport cu necunoscutele x, y, z, u sunt:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \Phi}{\partial x} &= -2a_1 K_1 - 2a_2 K_2 - 2a_3 K_3 - 2a_4 K_4 - 2a_5 K_5 = 0 \\
\frac{\partial \Phi}{\partial y} &= -2b_1 K_1 - 2b_2 K_2 - 2b_3 K_3 - 2b_4 K_4 - 2b_5 K_5 = 0 \\
\frac{\partial \Phi}{\partial z} &= -2c_1 K_1 - 2c_2 K_2 - 2c_3 K_3 - 2c_4 K_4 - 2c_5 K_5 = 0 \\
\frac{\partial \Phi}{\partial x} &= -2d_1 K_1 - 2d_2 K_2 - 2d_3 K_3 - 2d_4 K_4 - 2d_5 K_5 = 0
\end{aligned} \tag{6.96}$$

Se substituie corelatele K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 între cele două sisteme, valorile necunoscutele se vor scrie sub forma sumelor Gauss cu ponderile aferente alături de valoarea termenului liber și se obține sistemul ecuațiilor normale cu necunoscutele x, y, z, u :

$$\begin{aligned}
[p_1 aa] \cdot x + [p_1 ab] \cdot y + [p_1 ac] \cdot z + [p_1 ad] \cdot u + [p_1 al] &= 0 \\
[p_1 ab] \cdot x + [p_1 bb] \cdot y + [p_1 bc] \cdot z + [p_1 bd] \cdot u + [p_1 bl] &= 0 \\
[p_1 ac] \cdot x + [p_1 bc] \cdot y + [p_1 cc] \cdot z + [p_1 cd] \cdot u + [p_1 cl] &= 0 \\
[p_1 ad] \cdot x + [p_1 bd] \cdot y + [p_1 cd] \cdot z + [p_1 dd] \cdot u + [p_1 dl] &= 0
\end{aligned} \tag{6.97}$$

Sistemul normal se rezolvă prin metoda lui Gauss-Doolittle, obținându-se valorile necunoscutele cu ajutorul cărora se poate exprima mărimea deplasării punctului de stație între ciclul inițial și ciclul actual.

Pentru evaluarea preciziei determinărilor se va calcula eroarea medie pătratică a unității de pondere pe baza compensării efectuate. Eroarea medie pătratică a unității de pondere după compensare trebuie să aibă o valoare considerată ca cea mai apropiată de eroarea medie pătratică introdusă în compensare cu o abatere de $\pm 1^{cc}$.

Eroarea medie pătratică a unității de pondere calculată după compensare este:

$$\mu_0^{comp} = \pm \sqrt{\frac{[p'v'v'] + [p'v'v']}{r - n}} \cdot \left(1 \pm \frac{0,7071}{\sqrt{r - n}} \right) \tag{6.98}$$

în care: r – numărul elementelor observate de două ori – numărul ecuațiilor de condiție;

n – numărul necunoscutele determinate;

p și p' – mărimile ponderilor observațiilor introduse după compensare.

Erorile individuale ale necunoscutele se calculează prin intermediul coeficienților de pondere Q_{ii} și eroarea medie pătratică a unității de pondere după compensare astfel:

$$m_i = \pm \mu_0^{comp} \sqrt{Q_{ii}} \tag{6.99}$$

Problema deplasării punctelor de stație se poate rezolva și pe baza observării unghiurilor orizontale. În acest sens deplasarea punctului de stație din poziția inițială S în poziția actuală S' va fi evidențiată prin valorile unghiurilor orizontale inițiale și actuale asupra cărora se aplică corecțiile aferente ciclurilor de măsurători.

Se consideră un punct de stație S definit în poziția inițială și poziția S', deplasată, în ciclul următor de măsurători (figura 6.26).

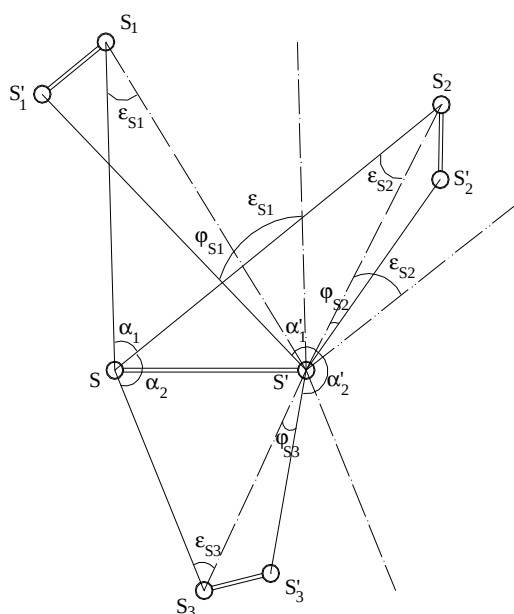


Fig. 6.26 Determinarea deplasărilor punctelor de stație prin observarea unghiurilor

Corespunzător figurii 6.26 se pot scrie următoarele notații:

α_1, α_2 - unghiurile măsurate inițial (ciclul de referință);

α'_1, α'_2 - unghiurile măsurate actual (ciclul actual);

$\varphi_{S_1}, \varphi_{S_2}, \varphi_{S_3}$ - corecțiile pentru laturile unghiurilor actuale datorită deplasărilor punctelor S_1, S_2, S_3 ;

$\varepsilon_{S_1}, \varepsilon_{S_2}, \varepsilon_{S_3}$ corecțiile pentru laturile unghiurilor actuale datorită deplasării punctului S;

$v_{\alpha_1}, v_{\alpha_2}$ - corecțiile pentru măsurarea ale unghiurilor inițiale;

$v_{\alpha'_1}, v_{\alpha'_2}$ - corecțiile pentru măsurare ale unghiurilor actuale;

Între unghiurile și corecțiile definite se pot scrie următoarele relații:

$$\alpha_1 + v_{\alpha_1} = \alpha'_1 + v'_{\alpha'_1} + (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) - (\varphi_{S_1} + \varepsilon_{S_1})$$

$$\alpha_2 + v_{\alpha_2} = \alpha'_2 + v'_{\alpha'_2} + (\varphi_{S_3} + \varepsilon_{S_3}) - (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2})$$

Cantitățile din paranteze reprezintă corecțiile ce trebuie adăugate la laturile unghiurilor actuale pentru a le aduce la paralelism cu laturile unghiurilor inițiale. Aceste cantități se pot scrie astfel:

$$\begin{aligned}(\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) - (\varphi_{S_1} + \varepsilon_{S_1}) &= -d\alpha_1 \text{ - eroarea unghiului } \alpha_1 \\ (\varphi_{S_3} + \varepsilon_{S_3}) - (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) &= -d\alpha_2 \text{ - eroarea unghiului } \alpha_2\end{aligned}\quad 6.101$$

Considerând unghiurile ca diferența direcțiilor vecine, iar corecțiile de măsurare ale unghiurilor ca diferențe de corecții pentru laturi se vor scrie ecuațiile coeficienților aferente deplasărilor Δx și Δy conform următorului algoritm:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= K_2 - K_1 \Rightarrow v_{\alpha_1} = v_2 - v_1 \\ \alpha'_1 &= K'_2 - K'_1 \Rightarrow v_{\alpha'_1} = v'_2 - v'_1 \\ \alpha_2 &= K_3 - K_2 \Rightarrow v_{\alpha_2} = v_3 - v_2 \\ \alpha'_2 &= K'_3 - K'_2 \Rightarrow v_{\alpha'_2} = v'_3 - v'_2\end{aligned}\quad 6.102$$

Ecuațiile vor fi:

$$\begin{aligned}& [(-a_{SS_2}\Delta x_{S_2} - b_{SS_2}\Delta y_{S_2}) + (a_{SS_2}\Delta x_S + b_{SS_2}\Delta y_S)] - \\ & - [(-a_{SS_1}\Delta x_{S_1} - b_{SS_1}\Delta y_{S_1}) + (a_{SS_1}\Delta x_S + b_{SS_1}\Delta y_S)] = -d\alpha_1 \\ & [(-a_{SS_3}\Delta x_{S_3} - b_{SS_3}\Delta y_{S_3}) + (a_{SS_3}\Delta x_S + b_{SS_3}\Delta y_S)] - \\ & - [(-a_{SS_2}\Delta x_{S_2} - b_{SS_2}\Delta y_{S_2}) + (a_{SS_2}\Delta x_S + b_{SS_2}\Delta y_S)] = -d\alpha_2\end{aligned}\quad 6.103$$

Aceste relații se completează cu valorile corecțiilor, cu satisfacerea condiției ca suma tuturor coeficienților deplasărilor Δx și Δy alături de corecțiile v și v' să fie zero, rezultând ecuația 6.104:

$$\begin{aligned}v_{\alpha_1} - v'_{\alpha_1} - a_{SS_1}\Delta x_{S_1} - b_{SS_1}\Delta y_{S_1} + a_{SS_2}\Delta x_{S_2} + b_{SS_2}\Delta y_{S_2} - (a_{SS_2} - a_{SS_1})\Delta x_S - (b_{SS_2} - b_{SS_1})\Delta y_S + \lambda_1 &= 0 \\ v_{\alpha_2} - v'_{\alpha_2} - a_{SS_2}\Delta x_{S_2} - b_{SS_2}\Delta y_{S_2} + a_{SS_3}\Delta x_{S_3} + b_{SS_3}\Delta y_{S_3} - (a_{SS_3} - a_{SS_2})\Delta x_S - (b_{SS_3} - b_{SS_2})\Delta y_S + \lambda_2 &= 0, \text{ în care:} \\ \lambda_i &= \alpha_i - \alpha'_i\end{aligned}$$

a_i, b_i - coeficienți de direcție;

$\Delta x, \Delta y$ - deplasările punctelor de stație.

Notând corecția de măsurare a diferenței de nivel între ciclul inițial și cel actual cu $v_{\lambda_i} = -(v_{\alpha_i} - v'_{\alpha_i})$ se obține relația 6.105:

$$\begin{aligned}v_{\lambda_1} &= -a_{SS_1}\Delta x_{S_1} - b_{SS_1}\Delta y_{S_1} + a_{SS_2}\Delta x_{S_2} + b_{SS_2}\Delta y_{S_2} - (a_{SS_2} - a_{SS_1})\Delta x_S - (b_{SS_2} - b_{SS_1})\Delta y_S + \lambda_1 \\ v_{\lambda_2} &= -a_{SS_2}\Delta x_{S_2} - b_{SS_2}\Delta y_{S_2} + a_{SS_3}\Delta x_{S_3} + b_{SS_3}\Delta y_{S_3} - (a_{SS_3} - a_{SS_2})\Delta x_S - (b_{SS_3} - b_{SS_2})\Delta y_S + \lambda_2\end{aligned}$$

Prin rezolvarea sistemului utilizând schema Gauss-Doolittle extinsă vor rezulta valorile deplasărilor Δx și Δy , iar evaluarea preciziei determinărilor efectuate va ține cont de coeficienții de pondere calculați în coloanele schemei Gauss-Doolittle.

6.2.1.2 Modul de determinare a deplasărilor orizontale ale punctelor de stație în rețelele incomplete

Aplicarea metodei retrointersecției pentru obținerea deplasărilor punctelor de stație, se face în cazul rețelelor incomplete luând în considerație variația direcțiilor și admitând stabilitatea punctelor de control. Deplasarea stației de observație S în poziția S' în perioada dintre două cicluri de măsurători va atrage după sine modificarea direcțiilor unghiulare, respectiv a unghiurilor orizontale definite de direcțiile măsurate.

Pentru a determina deplasarea stației de observație, se admite direcția axei x în mod arbitrar, dar de preferință de-a lungul primei vize de la măsurătoarea inițială. Pe baza relației de calcul pentru o direcție oarecare observată inițial din stația S și actual din stația S' și care merge spre unul din punctele de control stabilite se poate scrie următoarea ecuație:

$$v_i - v'_i - dz_s - a_i \Delta x_s - b_i \Delta y_s + l_i = 0 \quad 6.106$$

Aceste ecuații, egal cu numărul direcțiilor de control observate de două ori din stația de observație respectivă, folosesc la întocmirea ecuațiilor normale. Având în vedere că există trei necunoscute $(dz_s, \Delta x_s, \Delta y_s)$, numărul ecuațiilor normale va fi egal cu trei:

$$\begin{aligned} [p_l] dz_s + [p_l \cdot a] \Delta x_s + [p_l b] \Delta y_s - [p_l \cdot l] &= 0 \\ [p_l \cdot a] dz_s + [p_l \cdot aa] \Delta x_s + [p_l ab] \Delta y_s - [p_l \cdot al] &= 0 \\ [p_l \cdot b] dz_s + [p_l \cdot ab] \Delta x_s + [p_l bb] \Delta y_s - [p_l \cdot bl] &= 0 \end{aligned} \quad 6.107$$

Exprimând necunoscuta de orientare a stației dz_s în funcție de componentele deplasării, din prima ecuație a sistemului de mai sus se obține:

$$dz_s = -\frac{1}{[p_l]} \{ [p_l \cdot a] \Delta x_s + [p_l b] \Delta y_s - [p_l \cdot l] \} \quad 6.108$$

Substituind această valoare în celelalte două ecuații ale sistemului avem:

$$\begin{aligned} [p_l a] \left(-\frac{[p_l a]}{[p_l]} \Delta x_s - \frac{[p_l b]}{[p_l]} \Delta y_s + \frac{[p_l l]}{[p_l]} \right) + [p_l aa] \Delta x_s + [p_l ab] \Delta y_s - [p_l al] &= 0 \\ [p_l b] \left(-\frac{[p_l a]}{[p_l]} \Delta x_s - \frac{[p_l b]}{[p_l]} \Delta y_s + \frac{[p_l l]}{[p_l]} \right) + [p_l ab] \Delta x_s + [p_l bb] \Delta y_s - [p_l bl] &= 0 \end{aligned} \quad 6.109$$

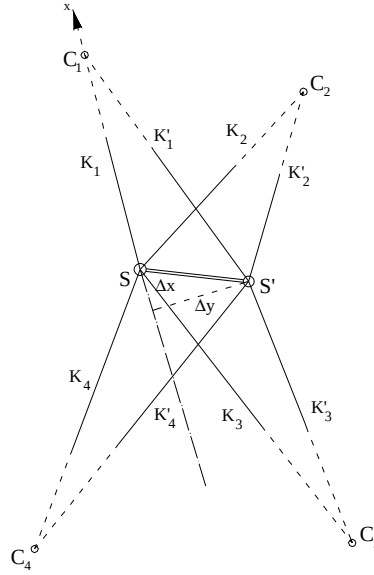


Fig. 6.27 Determinarea deplasărilor punctelor de stație prin metoda retrointersecției

sau:

$$\begin{aligned} \left([p_1 a a] - \frac{[p_1 a]^2}{[p_1]} \right) \Delta x_s + \left([p_1 a b] - \frac{[p_1 a] \cdot [p_1 b]}{[p_1]} \right) \Delta y_s - \left([p_1 a l] - \frac{[p_1 a] \cdot [p_1 l]}{[p_1]} \right) &= 0 \\ \left([p_1 a b] - \frac{[p_1 a] \cdot [p_1 b]}{[p_1]} \right) \Delta x_s + \left([p_1 b b] - \frac{[p_1 b]^2}{[p_1]} \right) \Delta y_s - \left([p_1 b l] - \frac{[p_1 b] \cdot [p_1 l]}{[p_1]} \right) &= 0 \end{aligned} \quad 6.110$$

Notând,

$$\begin{aligned} A_i &= a_i - \frac{[p_1 a]}{[p_1]} \\ B_i &= b_i - \frac{[p_1 b]}{[p_1]} \\ \delta_i &= l_i - \frac{[p_1 l]}{[p_1]} \end{aligned} \quad 6.111$$

rezultă:

$$\begin{aligned} [p_1 A A] \Delta x_s + [p_1 A B] \Delta y_s + [p_1 A \delta] &= 0 \\ [p_1 A B] \Delta x_s + [p_1 B B] \Delta y_s + [p_1 A \delta] &= 0 \end{aligned} \quad 6.112$$

Cele două ecuații de mai sus vor fi folosite pentru determinarea componentelor de deplasare a stației S în poziția actuală S'.

Din punct de vedere al evaluării preciziei se calculează erorile medii pătratice ale deplasărilor cu relațiile:

$$m_{\Delta x} = \pm \mu_0^{comp} \cdot \sqrt{Q_{xx}}$$

$$m_{\Delta y} = \pm \mu_0^{comp} \cdot \sqrt{Q_{yy}} \quad 6.113$$

În practică, oricare din direcțiile inițiale ale stației S va fi caracterizată prin eroarea medie pătratică calculată înainte de compensare, iar oricare din direcțiile actuale prin eroarea medie după procesul de compensare.

Astfel, în procesul unei anumite comparări a rezultatelor între măsurătoarea inițială și cea actuală, vom avea:

$$p_l = \frac{\mu_0^2}{m_l^2} = const. \quad 6.114$$

$$\text{și: } dz_s = -\frac{1}{r}([a]\Delta x_s + [b]\Delta y_s - [l]), \quad 6.115$$

în care:

r reprezintă numărul direcțiilor observate de două ori din stația S.

Pentru că variația direcțiilor măsurate induce mărimea deplasărilor orizontale ale punctelor de observație, măsurarea direcțiilor trebuie să se facă cu cel puțin trei serii, pentru asigurarea unei precizii ridicate a determinărilor și ulterior o valoare cât mai mică a erorii medii pătratice. În timpul măsurării direcțiilor se vor lua măsuri privind protejarea instrumentului de acțiunea razelor solare, care pot induce erori de măsurare mai mari decât valoarea deplasării însăși. Prin compararea celor trei tururi de orizont realizate se va decide, în funcție de valorile neînchiderilor dacă, suplimentar este necesară executarea unei noi serii cu o origine diferită.

6.3 METODA ALINIAMENTELOR ȘI UTILITATEA ACESTEIA ÎN STUDIUL DEPLASĂRILOR ORIZONTALE

La determinarea deplasărilor orizontale ale construcțiilor care în plan au configurație liniară dreaptă (baraje de greutate, poduri, viaducte, căi ferate) se aplică pe scară largă metoda aliniamentelor.

Metoda aliniamentelor presupune determinarea poziției planimetrice a unui șir de puncte de control dispuse pe un aliniament, a căror abateri de la linia ce unește punctele de capăt să nu fie mai mici de 3...4 cm.

În acest scop în afara punctelor materializate pe construcția ce urmează a fi observată, se fixează punctele de bază ale aliniamentului în locuri stabile și în afara zonei de influență a construcției. În planul vertical al aliniamentului, în punctele caracteristice ale construcției, se fixează punctele de control. În aceste puncte se amplasează semnale sau mărci de vizare prin observarea cărora se determină valorile abaterilor față de aliniamente.

Metoda aliniamentului este simplă, precisă și necesită un volum redus de lucrări de teren și de birou, aceasta permițând repetarea ei la intervale scurte de timp. Deplasarea orizontală a unui punct de control, între două cicluri de observații va rezulta din diferența abaterilor punctului față de aliniament, măsurate în ciclul final și în ciclul inițial (deplasări totale) sau între ciclul actual și ciclul inițial (deplasări parțiale).

Metodele optice de observare a aliniamentului sunt cele mai complete pentru lucrările de cercetare. Ele folosesc teodolite sau aliniemetre, la care partea principală este luneta cu putere de mărire de 40...50 X, și semnale sau mărci de vizare, fixe sau mobile.

Când condițiile terenului nu permit amplasarea punctelor de bază ale aliniamentului în terenuri nedeformabile, acestea se pot amplasa și în terenuri deformabile, pe construcție sau în interiorul construcției. În aceste cazuri, metoda aliniamentului se combină cu metoda microtriangulației, iar la determinarea abaterilor fiecărui punct de control față de aliniament și implicit a deplasărilor, se va ține seama și de deplasarea punctelor de bază ale aliniamentului.

Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de control, de fapt a abaterilor față de aliniament, se face prin observarea unui singur aliniament pe toată lungimea lui, prin măsurarea unghiurilor paralactice, prin observarea aliniamentelor paralele suplimentare sau prin observarea aliniamentelor intersectate.

Indiferent de situație, determinarea abaterilor punctelor de control, de pe construcția studiată, față de aliniament se poate executa prin metoda mărcii mobile, metoda măsurării unghiurilor paralactice sau prin metoda măsurării unghiurilor apropiate de 200^g.

6.3.1 Metoda observării unui aliniament pe toată lungimea lui

Se aplică în cazurile în care distanța dintre punctele de capăt ale aliniamentului este relativ mică (300...500 m), asigurându-se condiții bune de vizare atât între punctele de capăt cât și între acestea și punctele de control materializate pe construcție. Determinarea abaterilor punctelor de control, se poate face prin metoda mărcilor mobile, metoda măsurării unghiurilor paralactice, metoda măsurării unghiurilor apropiate de 200^g, metoda măsurării pe rigle gradate.

Punctele de capăt ale aliniamentului, A și B (figura 6.28), reprezintă și puncte de stație din care se execută măsurătorile. Ele sunt materializate prin pilaștri de beton armat ca și în cazul metodei microtriangulației.

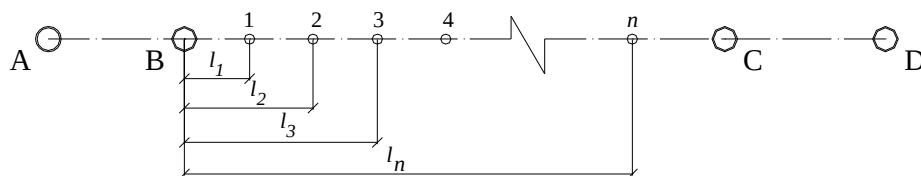


Fig. 6.28 Principiul metodei aliniamentului

Semnalizarea capetelor aliniamentului se face cu semnale fixe, fie cu semnale cu marcă mobilă în funcție de metoda de lucru.

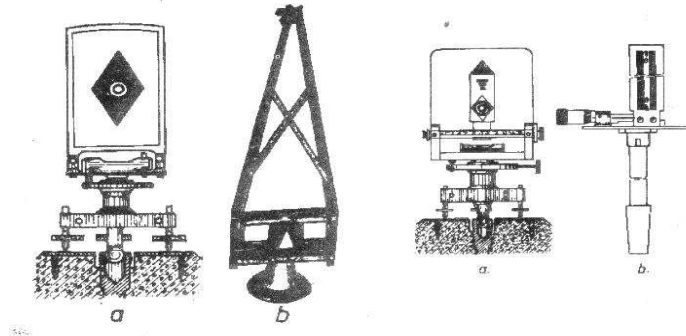


Fig. 6.29 Tipuri de semnale pentru semnalizarea aliniamentelor

În punctele de control c_i se așează semnale cu marcă mobilă care sunt dotate cu șurub micrometric ce permite aducerea mărcii mobile pe direcția aliniamentului.

La începutul fiecărui ciclu de măsurători, operatorul îndreaptă axa de vizare a lunetei de-a lungul aliniamentului B-C (figura 6.28). Măsurătorile realizate în cele două poziții ale lunetei formează o serie de observații. Într-un ciclu de măsurători se efectuează cel puțin trei serii în care teodolitul a fost plasat atât în stația B cât și în stația C. La fiecare serie se calculează media valorilor măsurate în cele două poziții.

Abaterea a_1 a unei mărci de vizare, obținută din măsurătorile din stația B și abaterea a_2 a aceleiași mărci obținută din măsurătorile executate din stația C sunt:

$$\begin{aligned} a_1 &= m_0 - m_m \\ a_2 &= m_m - m_0 \end{aligned} \quad 6.116$$

în care:

m_0 este poziția de zero a mărcii de vizare mobilă adică citirea medie pe riglă pentru poziția de coincidență dintre axa țintei de vizare și axa de rotație a mărcii.

Determinarea lui m_0 se face cu teodolitul înainte de măsurătoare așezând marca la circa 10 m de teodolit.

Efectuând n serii în stația B și n serii în stația C și făcând următoarele notații $[a_1] = a'_1 + a''_1 + \dots + a^n_1$ și $[a_2] = a'_2 + a''_2 + \dots + a^n_2$, rezultă abaterea medie din n serii pentru aceeași marcă:

$$a_{statiaB} = \frac{[a_1]}{n} \quad \text{și} \quad a_{statiaC} = \frac{[a_2]}{n} \quad 6.117$$

Abaterea totală a mărcii 1, de exemplu, într-un ciclu de măsurători se obține astfel:

$$a_{tot.1} = a_{statiB} + \frac{b \cdot l_1}{L}$$

sau

$$a_{tot.1} = a_{statiC} + \frac{b \cdot (L - l_1)}{L} \quad 6.118$$

în care: $b = (a_{statiB} - a_{statiC})$

l_1 – distanța orizontală C-1

L – lungimea totală a aliniamentului B-C

În calculul abaterilor totale diferența b se repartizează proporțional cu distanțele de la punctul de stație B respectiv C până la punctul observat de pe construcție.

Deplasarea orizontală δ a unei mărci fixată pe un punct al construcției se obține cu ajutorul abaterilor a față de aliniament, și se măsoară în două cicluri de observații, astfel:

$$\delta = a_{tot(i)} - a_{tot(0)} \quad 6.119$$

în care: $a_{tot(i)}$ - abaterea unei mărci într-un ciclu oarecare i ;

$a_{tot(0)}$ - abaterea aceleiași mărci de tasare în ciclul inițial sau de referință.

La fiecare ciclu de observații se verifică poziția punctelor de sprijin B și C față de aliniamentul A-D, toate punctele trebuind să fie coliniare. În acest scop instrumentul se instalează în punctul A, marca cu discul fix în punctul D, iar marca cu discul mobil, succesiv în punctele B și C. Concordanța între citirile pe scara mărcii mobile (în limitele erorilor de măsurare) va constitui o dovadă a stabilității punctelor B și C față de aliniamentul A-D.

Precizia rezultatelor măsurătorilor, a deplasărilor orizontale, efectuate prin acest procedeu se face cu ajutorul următoarelor relații de evaluare.

1. Eroarea medie pătratică de determinare a abaterii fiecărei mărci față de aliniament într-o serie:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{r-1}} \quad 6.120$$

în care: vv – abaterea mediei aritmetice;

r – numărul de citiri într-o serie.

2. Eroarea medie pătratică a mediei abaterilor din n serii:

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad 6.121$$

3. Eroarea medie pătratică a mediei abaterilor obținute din stația B și stația C:

$$M_{tot} = \pm \frac{M_{statiB} \cdot M_{statiC}}{\sqrt{M_{statiB}^2 + M_{statiC}^2}} \quad 6.122$$

4. Eroarea medie pătratică de determinare a deplasării δ de la aliniamentul comun, obținută ca diferență a abaterilor în două cicluri de măsurători:

$$\mu_{\delta} = \pm \sqrt{M_{tot(1)}^2 + M_{tot(2)}^2} \quad 6.123$$

În concluzie, asupra preciziei observațiilor efectuate prin metoda aliniamentului, influențează în mod special eroarea de vizare și condițiile exterioare de genul refracției atmosferice.

6.3.2 Metoda observării unghiurilor paralactice

Particularizarea metodei aliniamentelor prin procedeul măsurării unghiurilor paralactice, constă, ca și în cazul vizării aliniamentului pe întreaga sa lungime, în stabilitatea unui aliniament cât mai apropiat de linia care unește punctele construcției observate.

Punctele de sprijin ale aliniamentului considerat A și B servesc ca și puncte de stație pentru teodolit. În punctele observate, coliniare aliniamentului, se încastrează buche metalice în care se vor instala în timpul măsurătorilor mărci de vizare stabile sau reperi simpli metalici, care urmează a fi vizați pentru măsurarea unghiurilor orizontale.

Măsurarea unghiurilor orizontale corespunzător abaterilor a_i ale punctelor observate (1,2, ..., n) se execută cu un teodolit de precizie ridicată, așezat în stație în punctul A cu care se măsoară față de aliniamentul A-B unghiurile φ_i și în mod analog, din stația B se măsoară față de același aliniament unghiurile ψ_i , măsurătorile de unghiuri executându-se în ambele poziții ale lunetei teodolitului (figura 6.30).

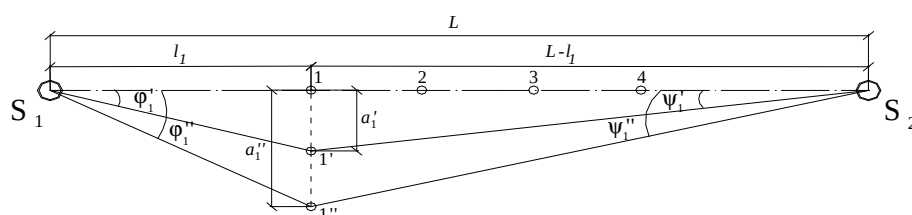


Fig. 6.30 Metoda aliniamentului – măsurarea unghiurilor paralactice

La fiecare serie se calculează media valorilor măsurate φ_i , respectiv ψ_i pentru fiecare reper observat.

Mărimea abaterii a_1' corespunzătoare deplasării unui punct al construcției din poziția 1 în poziția 1' în ipoteza coliniarității punctelor A – 1 – B va fi dată de relația:

$$a_1' = l_1 \frac{\varphi_{1mediu}^{(cc)}}{\rho^{cc}} = (L - l_1) \frac{\psi_{1mediu}^{(cc)}}{\rho^{cc}} \quad 6.124$$

Cele două valori ale abaterii obținute cu ajutorul unghiurilor φ_i și ψ_i servesc la determinarea abaterii punctului observat care se acceptă ca o medie aritmetică a acestora.

În cazul când poziția inițială a punctului observat nu este coliniară cu punctele A și B care caracterizează aliniamentul de lucru, se face o determinare a acestei poziții inițiale, în mod analog cu o poziție deviată, calculându-se abaterea inițială a_i față de aliniament.

Deplasarea punctului față de poziția sa inițială δ se va obține în acest caz ca o diferență între cele două abateri dintre ciclul actual și ciclul de referință sau ciclul inițial.

$$\begin{aligned}\delta &= a_i - a_1^0 \\ \delta_1 &= a_1' - a_1^0\end{aligned}\tag{6.125}$$

în care: a_1' - deplasarea punctului observat din poziția 1 în poziția 1';

a_1^0 - abaterea punctului 1 față de aliniamentul A-B.

Procedeu aliniamentului prin măsurarea unghiurilor orizontale de abatere a poziției deplasate ale punctelor, permite o determinare simplă a mărimilor deplasărilor dar necesită o precizie ridicată la măsurarea unghiurilor de abatere φ_i și ψ_i , valorile unghiulare fiind înregistrate cu precizia de $0,5'' - 1''$.

Aprecierea preciziei măsurătorilor se face corespunzător conceptelor teoretice prin calculul parametrilor specifici:

1. Eroarea medie pătratică a valorii medii a unghiului φ_i sau ψ_i din n serii:

$$m_{(\varphi,\psi)} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}\tag{6.126}$$

în care:

vv – eroarea reziduală rezultată din diferența dintre valoarea unghiului φ_i sau ψ_i dintr-o serie față de media unghiului obținută din n serii;

2. Eroarea medie pătratică de determinare a abaterilor mărcilor de pe construcție:

$$m_a = \frac{m_{(\varphi,\psi)}^{cc} \cdot l}{\rho^{cc}}\tag{6.127}$$

3. Eroarea medie pătratică de determinare a deplasării δ față de aliniament, aflată ca diferența dintre abaterile a_1 și a_2 din două cicluri de măsurători:

$$\mu_\delta = \pm \sqrt{m_{a_1}^2 + m_{a_2}^2}\tag{6.128}$$

Acest procedeu are față de cel de vizare în lungul aliniamentului următoarele avantaje:-
dispare necesitatea folosirii mărcii mobile și ca urmare nu mai este necesar utilizarea unui operator;-
apare posibilitatea efectuării observațiilor asupra unor construcții care au contururi diferite de forma rectilinie, cum ar fi barajele arcuite, viaducte arcuite.

