

CAPITOLUL 1

Certitudinea exploatării normale, fără pericole, poate fi obținută printr-un control experimental asupra modului de comportare sub încărcări a construcției respective și printr-o sistematică urmărire în timp a deplasărilor și deformațiilor acesteia, sau ale elementelor componente ale construcției. Modificarea ulterioară a condițiilor de echilibru poate antrena distrugerea parțială sau totală a construcției, poate provoca pagube materiale foarte mari și chiar pierderi de vieți omenești. Certitudinea unei exploatare fără pericol se obține prin două procedee care se completează reciproc. Aceste procedee sunt:

- procedeul cercetării experimentale realizate pe modele în laborator sau pe tronsoane experimentale ale construcției executate pe teren;
- procedeul măsurărilor și observațiilor executate periodic în teren asupra comportării funcționale și a stabilității construcției în timp.

Pe baza cercetărilor experimentale se poate obține atât analiza raportului între solicitările realizate experimental asupra modelului construcției din laborator sau tronsonului de probă din teren și deformațiile rezultate, cât și obținerea datelor necesare în vederea calculului de rezistență și stabilitate a construcțiilor.

Prin măsurătorile și observațiile executate periodic pe construcțiile din natură, atât în faza de execuție cât și în faza de exploatare, se certifică corectitudinea sistemului constructiv și a ipotezelor de calcul avute în vedere la proiectare, se justifică încercările și studiile de laborator prin care s-a putut preciza materialul și forma cea mai economică a construcției.

De asemenea aceste măsurători permit totodată stabilirea coeficientului real de siguranță privind rezistența și stabilitatea construcției.

Pe baza rezultatelor obținute de-a lungul vremii în exploatarea construcțiilor, în cadrul unor studii și cercetări de laborator și de teren, precum și pe baza unor informații obținute în urma distrugerii unor construcții, se pot sintetiza o serie de cauze mai frecvente ale deplasărilor și deformațiilor ce pot fi structurate în cauze generale și cauze particulare.

Cauzele generale sunt legate de specificul condițiilor geotehnice și hidrogeologice precum și de proprietățile fizico-mecanice ale pământurilor din care este alcătuit terenul de fundare.

Cauzele particulare se pot datora insuficienței volumului de date geotehnice și hidrogeologice, precum și unor factori perturbatori accidentali (seisme, antrenare hidrodinamică, teren dificil de fundare, etc.)

Cu toate că multe din cauzele particulare au un caracter de impreviziune și o probabilitate mai mică de a se manifesta, este necesar să fie luate în considerare la proiectarea construcțiilor importante, urmărindu-se un grad maxim de siguranță în exploatare.

Verificările prin calcul a mărimii eforturilor unitare în secțiunile caracteristice ale construcțiilor, confruntate cu rezultatele unor încercări pe modele sau pe tronsoane de probă vor fi urmate de observații la aparatele de măsură instalate atât în corpul construcției cât și în exteriorul ei. Prin compararea rezultatelor acestor măsurători executate pe construcțiile din natură cu rezultatele obținute prin încercarea modelelor și cu datele obținute prin calculele privind capacitatea portantă a construcțiilor se va putea obține un “diagnostic” asupra stării construcției și eventual o prognoză a comportării sale în viitor. Aceasta va permite luarea unor eventuale măsuri de consolidare sau de folosire în continuare a respectivelor construcții.

1.1 Definiții, clasificări și tipuri de deformații

Prin *deplasare* se înțelege schimbarea poziției unui punct al construcției supuse solicitărilor, iar prin *deformație*, schimbarea distanței relative dintre punctele construcției respective.

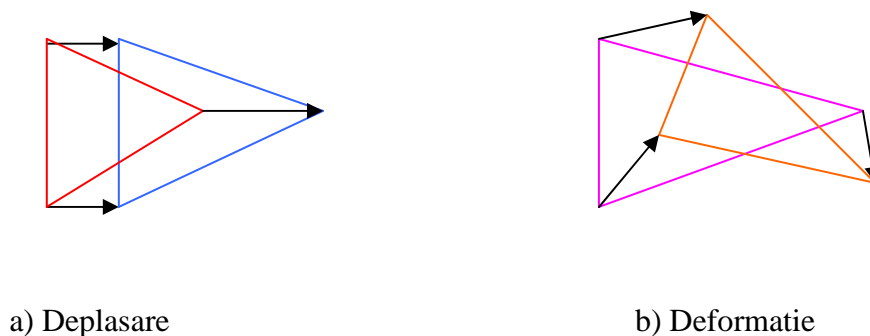


Figura 1.2 Deplasare și deformație

Deplasările pe verticală ale fundațiilor și implicit ale construcțiilor datorate deformării terenului de fundare poartă denumirea de tasări.

Măsurarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor poate avea un caracter relativ sau un caracter absolut. Caracterul *relativ* al măsurărilor corespunde situației când se măsoară apropierea sau depărtarea a două sau mai multe puncte ale construcției supuse observațiilor.

Caracterul *absolut* al măsurărilor corespunde situației când deplasările punctelor construcției se măsoară în raport cu o serie de repere fixe, amplasate în afara zonei de

influență a deformațiilor construcției și terenului de fundare, alcătuind așa numitul sistem general de referință.

O construcție supusă unui regim de solicitare determinat de condițiile sale funcționale poate suferi deplasări și deformații liniare, unghiulare și specifice.

Din categoria deplasărilor și deformațiilor liniare fac parte:

- tasările, sau deplasările pe verticală în jos ale fundațiilor construcțiilor datorate deformării terenului de fundare;

- bombările, sau ridicările care reprezintă deplasări pe verticală în sus ale fundațiilor construcțiilor;

- săgețile unor elemente de construcții (grinzi, stâlpi, plăci) supuse unor încărcări verticale sau orizontale care provoacă încovoierea acestora;

- înclinările, datorate tasărilor inegale fără afectarea integrității construcțiilor și a elementelor geometrice componente ale acestora, putându-se exprima prin valoarea liniară sau unghiulară;

- crăpăturile și fisurile, care reprezintă rupturi în plane sau în părți separate ale construcției, ca urmare a tasărilor neuniforme și apariției tensiunilor suplimentare;

- deplasările pe orizontală, ale unor elemente ale construcției sau ale construcției în ansamblu, datorate cel mai adesea unor forțe orizontale (împingerea pământului, împingerea apei, etc.), sau modificării echilibrului terenului de fundare a construcției.

Deplasările și deformațiile unghiulare constau în rotiri ale fundațiilor construcțiilor (radiere, blocuri de fundație etc.), datorită acțiunii solicitărilor și modificării echilibrului terenului de fundare. Aceste rotiri pot avea loc în plan vertical (înclinări ale construcției), sau în plan orizontal (răsuciri ale construcției).

Deformațiile specifice se referă la alungirile sau scurtările unui element al construcției (element din beton armat, armăturile dintr-un element din beton armat, bare metalice etc.) sub efectul tensionării sau comprimării elementului respectiv.

1.2 Precizia necesară de măsurare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor

Precizia de măsurare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor se stabilește în primul rând în funcție de acele probleme care trebuie rezolvate pe baza analizei valorilor măsurate ale deplasării sau deformației respective, avându-se în vedere atât scopurile practice cât și cele științifice ale cercetării întreprinse. De asemenea depinde și de destinația și structura construcției însăși.

Necesitatea respectării acestor condiții duce de obicei la cerința ca *erorile măsurătorilor* să fie de cel puțin *zece ori mai mici decât deformațiile* care pot conduce la distrugerea integrității construcției.

În practică se obișnuiește a se determina, de exemplu poziția orizontală a mărcilor de observație de pe construcțiile executate pe teren stâncos, în funcție de punctele de referință cu o eroare medie patratică care să nu depășească $\pm 1 \dots 1,5$ mm. Pentru construcțiile executate pe teren puțin compresibil determinarea deplasărilor se face cu o eroare medie patratică de maximum $\pm 2 \dots 3$ mm. La construcțiile executate pe terenuri cu compresibilitate mare și la barajele de pământ determinarea deplasărilor se face cu o eroare medie patratică de maximum $\pm 5 \dots 7$ mm. Precizia prevăzută în documentele normative de măsurare a deplasărilor orizontale și verticale ale construcțiilor portuare, maritime și fluviale nu trebuie să depășească ± 5 mm.

În cazul tasărilor precizia de măsurare a acestora se stabilește independent pentru fiecare caz în parte în funcție de sensibilitatea construcției, de caracteristicile și natura pământurilor din care este alcătuit terenul de fundare, de condițiile concrete în care se vor efectua măsurătorile și funcție de viteza de evoluție a deformației. Astfel, în cazul unei evoluții rapide a deformației este necesar un grad mai înalt de precizie, pentru a putea stabili relativ repede și în mod sigur mărimea procesului de deformare.

În cazul unor observații efectuate la intervale mari, cerințele față de precizia de măsurare pot fi puțin mai reduse, deoarece mărimea deformației (deplasării) într-un interval de timp relativ mare este mai ușor sesizabilă. Atunci când se fac măsurători asupra tasărilor unor construcții izolate și mari, care transmit fundațiilor presiuni importante, sau atunci când se fac măsurători pentru stabilirea vitezelor de tasare, este necesar ca aceste măsurători să se realizeze cu maximum de precizie posibilă. În cazul când precizia necesară se stabilește în funcție de neuniformitatea tasărilor, trebuie determinate valorile limită ale acestora.

1.3 Metode de măsurare a deformațiilor și deplasărilor construcțiilor

Dezvoltarea tehnicii măsurătorilor a creat posibilitatea de a se observa și pune în evidență modul de comportare al construcțiilor studiate. Există multe sisteme de clasificare a metodelor de cercetare și observație. Astfel, au fost făcute clasificări în funcție de felul deformațiilor, felul aparatelor și locul unde sunt amplasate aparatele în timpul cercetării.

În funcție de modul de amplasare al instrumentelor în timpul cercetării, există două categorii de metode pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor:

- metode fizice
- metode geometrice

În cazul metodelor fizice aparatele de măsurare sunt instalate în corpul construcției, deplasându-se cu construcția în ansamblul ei ca atare pot fi măsurate eventuale deplasări și deformații relative. Măsurători de acest gen pot fi făcute utilizând procedee mecanice, fizice, electrice sau electronice. În acest caz se poate spune că este definit un model relativ, deoarece nu există puncte de sprijin exterioare, având doar determinări de mișcări relative între punctele deplasate pe același obiect. În funcție de parametri ce urmează a fi determinați, în această grupă intră:

- măsurarea deplasărilor liniare și a deformațiilor (tasările, săgețile, deplasările horizontale) cu ajutorul amplificatorului de săgeți, comparatorului cu tijă, comparatorului cu fir (de transmitere a deplasărilor la distanță);
- măsurarea deplasărilor unghiulare (rotirilor) cu ajutorul clinometrului cu pârghie, clinometrului cu nivelă, clinometrului cu pendul;
- măsurarea deplasărilor relative din lunecare folosindu-se șublerul sau comparatorul cu tijă;
- măsurarea deformațiilor specifice cu ajutorul tensometrelor și traductoarelor tensometrice electrice, mecanice, optico-mecanice, pneumatice, fotoelastice sau electroacustice (cu coardă vibrantă);
- măsurarea deplasărilor, vitezelor, accelerațiilor și deformațiilor dinamice cu ajutorul vibrometrului, vibrografului, accelerografului seismic, accelerometrului electrodinamic, piezoelectric sau rezistiv, traductorului de tip seismometric, înregistratorului magnetoelectric, oscilografului catodic;
- măsurarea deformațiilor rosturilor de dilatație cu ajutorul teledilatometrului, micrometrului de rost.

Metodele fizice sunt folosite pe scară largă la studiul construcțiilor în faza de concepție și proiectare, precum și la urmărirea comportării în timp a construcțiilor.

La folosirea metodelor geometrice aparatele de măsurare sunt instalate în afara construcției, măsurătorile raportându-se la o rețea de puncte fixe situate în afara zonei de influență a factorilor ce acționează asupra construcției și a terenului pe care aceasta este amplasată. Prin acest procedeu se determină valori absolute ale deplasărilor orizontale sau verticale. Din această categorie de determinări a deplasărilor și deformațiilor fac parte metodele topo-geodezice.

Obiectul în sine este prezentat printr-o serie de puncte obiect între care, dacă este posibil, se fac măsurători. În afara domeniului de urmărit, acolo unde fenomenul de deformare nu este prezent, există un număr de puncte de sprijin, care din punct de vedere constructiv și tehnico-geologic pot fi considerate ca stabile. În acest caz se spune că s-a definit un model absolut, dacă mișcările construcției sunt determinate față de puncte de sprijin exterioare. Un model absolut se bazează pe o rețea organizată în două nivele, în timp ce modelul relativ este constituit într-un singur nivel.

În funcție de caracterul deformațiilor, metodele topo-geodezice se clasifică astfel:

A. Metode pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor orizontale:

- metoda trigonometrică-microtriangulația
- metoda aliniamentului
- metoda drumuirii de precizie

B. Metode pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor verticale:

- metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie
- metoda nivelmentului trigonometric de înaltă precizie
- metoda nivelmentului hidrostatic

C. Metode pentru determinarea înclinării construcțiilor înalte:

- metoda proiectării verticale
- metoda măsurării unghiurilor orizontale, din două sau mai multe puncte de bază
- metoda coordonatelor
- metoda măsurării unghiurilor orizontale și verticale dintr-un singur punct de bază
- metoda măsurării distanțelor zenitale mici din două puncte dispuse la baza construcției
- metoda măsurării tasării fundației

Folosirea acestor metode se poate face separat sau combinat, în funcție de natura parametrilor ce se cer a fi puși în evidență pentru construcția studiată. Studiul construcțiilor cu ajutorul metodelor topo-geodezice, se realizează prin efectuarea de măsurări ciclice, unghiulare și liniare, din puncte din afara construcției asupra punctelor fixate pe construcție.

Metodele topo-geodezice, prin precizia ridicată a măsurătorilor efectuate ca și prin modalitățile de preluare a datelor și de estimare a rezultatelor, reprezintă un sistem de bază în amplul proces de studiere a comportării construcțiilor.

1.4 Stadiul actual al problemelor de urmărire a deformațiilor construcțiilor prin metode topo-geodezice

1.4.1 Problematika urmăririi deformațiilor

Prin măsurarea deformațiilor se înțelege totalitatea măsurătorilor efectuate pentru stabilirea unei deformații elastice sau permanente a unor obiecte, sub influența forțelor interne și externe. Astfel de deformații, precum și necesitatea sesizării lor, apar în cele mai variate domenii. Folosirea metodelor de măsurare topo-geodezice are importanță deosebită pentru:

- a) determinarea deformațiilor la clădiri cum ar fi: tasările; oscilațiile turnurilor sub influența vînturilor; încovoierea podurilor sub sarcina mijloacelor de transport; deformarea barajelor sub presiunea schimbătoare a apei; etc.
- b) determinarea deplasărilor unor părți ale suprafeței pământului, datorită construcțiilor subterane sau a exploatării subsolului, ca: alunecări de versanți; tasări datorită nivelului variabil al pânzei freatice; scufundări lente în zonele de exploatare minieră; mișcările scoarței terestre sub influența forțelor tectonice;etc.

Aceste câteva exemple indică importanța care revine, mai ales în domeniile tehnicii construcțiilor și a științelor geologice, a măsurătorilor de deformații.

În viitor se apreciază că importanța lor va crește și mai mult deoarece:

-construcțiile ce se vor efectua, la un nivel tehnic superior , vor solicita într-o măsură sporită o supraveghere permanentă;

-volumul exploatărilor forestiere este uneori haotic în țara noastră și defrișarea masivă a versanților crează posibilitatea antrenării rocilor și a pământurilor din zona exploatată, formându-se, din păcate, alunecări de teren;

- schimbările climatice influențează natura și nivelul atât al apelor de suprafață cât și al celor subterane, acestea având un rol important în dinamica fenomenelor de instabilitate a pământurilor din care este alcătuit terenul de fundare.

Determinarea și sesizarea la timp a apariției deformațiilor are importanță deosebită în ceea ce privește siguranța unei construcții, în timp ce o interpretare eronată a rezultatelor observațiilor poate duce la situații destul de grave.

Există multe metode și aparate care servesc la determinarea deformațiilor, dintre acestea procedeele topo-geodezice prezintă o importanță deosebită caracterizându-se prin:

- a) obiectivul de cercetat este reprezentat prin intermediul unui număr de puncte discrete a căror deplasări reciproce sau față de puncte de reper, din afara zonei de influență a forțelor deformative, se măsoară și se interpretează rezultând defomațiile obiectivului;
- b) într-o perioadă T_I se determină poziția reciprocă a punctelor de referință și a punctelor de pe obiectul examinat prin intermediul unei măsurători inițiale, care se repetă la momentul T_k . Diferența dintre rezultatele ambelor măsurători servește la stabilirea deplasărilor punctelor care au apărut în intervalul T_I-T_k ;
- c) elementele observate la măsurătoarea primară și la cea repetată (unghiuri, distanțe, diferențe de nivel) definesc poziția tridimensională a tuturor punctelor (de pe obiectul examinat și din rețeaua de urmărire) și servesc la determinarea modificărilor apărute în intervalul T_I-T_K . În anumite cazuri determinările se pot efectua fie bidimensional sau unidimensional;
- d) prin intermediul unor măsurători suplimentare este posibil să se efectueze verificări a determinărilor, precum și evaluarea preciziei lor.

În această lucrare îmi propun să fac o analiză a cauzelor care produc eventualele deplasări și deformații ale terenului și ale construcțiilor, efectele pe care acestea le pot avea și deasemenea se ocupă de prelucrarea și analiza măsurătorilor topo-geodezice de deformații în vederea stabilirii mărimii reale a deplasării și a sensului acesteia. Prelucrarea și analiza măsurătorilor de deformații are la bază dezvoltarea unor modele specifice elaborate în funcție de obiectivul de urmărit, valoarea și sensul vectorului deformației.

1.4.1.1 Principiul stabilirii unui model al deformațiilor

Înainte de începerea studiului de urmărire a comportării în timp, pentru o construcție masivă în mod conștient se formează idei despre mișcările posibile ale obiectului de cercetat. Este indicat să se folosească, în acest sens, experiența dobândită în problematica urmăririi în timp la obiective similare, respectiv modele împrumutate de la alte discipline.

Pentru dezvoltarea unui model al deformației trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- viteza mișcării – intervalul dintre două etape de observații va fi determinat de modul în care se produce mișcarea (rapid sau lent); deasemenea, se va stabili în ce interval de timp trebuie efectuate măsurătorile;

- forma mișcării – dacă mișcarea ce va conduce la apariția deformațiilor este uniformă sau periodică; se produc numai la deplasări sau este posibil să se producă rupturi;

- ordinul de mărime – cunoașterea valorii la care mișcările trebuie determinate precis prin intermediul măsurătorilor; cât de mare este estimată a fi mișcarea maximală;

- parametri de influență – dacă mișcările obiectului sau rezultatele măsurătorilor sunt influențate de parametrii exteriori; cum se obțin informații suficiente asupra acestor parametri; ce fel de date negeodezice trebuie determinate concomitent cu măsurătorile;

- măsurători topo-geodezice – au ca rezultat determinarea coordonatelor punctelor obiect, funcție de timp;

- măsurători negeodezice – se referă la temperatură, înălțimea apei, natura solicitării sau alte elemente de fizică a construcțiilor;

- alte informații - se referă la aspecte de ordin geologic și geotehnic, la experiența dobândită la studierea unor obiecte similare etc.

De viteza și forma mișcării depinde fixarea etapelor de observații. Ordinul de mărime presupus determină alegerea instrumentelor de măsurat. Trebuie să se știe că pe durata unei măsurători nu apar deformații semnificative.

Nu trebuie neglijate, la formarea modelului, cauzele mișcării, parametri ce pot influența mișcarea; de exemplu, la un baraj trebuie să se știe cel puțin prin presupuneri cum influențează temperatura și înălțimea apei din spatele acestuia apariția deformațiilor, pentru a putea cuprinde stările extreme ale fenomenului studiat.

În general este valabil că pentru planificarea, prelucrarea și interpretarea măsurătorilor de deformații se folosesc modele ipotetice despre comportarea posibilă la care să se fructifice toate informațiile disponibile pentru construirea modelului.

La începutul studiului, un asemenea model poate fi destul de simplist conceput, el putând fi verificat după fiecare măsurătoare și dacă este cazul corectat și dezvoltat. Dacă se notează cu D modelul deformației, M o etapă de măsurători, atunci o asemenea influențare reciprocă poate fi exprimată simbolic prin succesiunea:

$$D \rightarrow M \rightarrow D \rightarrow M \rightarrow D \rightarrow M \rightarrow \dots$$

Este evident că numai luarea în considerare a modelelor de deformare permite o folosire optimă a metodelor de măsurare topo-geodezice. Scopul unui model al deformațiilor este de a recunoaște cauzele ce produc deformațiile și de a estima efectele corespunzătoare asupra mișcărilor obiectului aflat sub supraveghere. Această problemă este deosebit de complexă, pentru a cărei rezolvare inginerul geodez este chemat să colaboreze strâns cu specialiști din alte domenii. Fiecare obiectiv cercetat are însă caracteristici proprii, ceea ce îngreunează prezentarea unui procedeu absolut general.

Cauzele apariției deformațiilor pot fi cuprinse în două grupe:

- a) deformații ce pot apărea ca urmare a acțiunii factorilor de natură permanentă sau temporară: natura terenului, structura statică a construcției, uzura obișnuită sau reacția la schimbarea unor factori meteorologici;
- b) deformații ce pot însă să apară și datorită unor greșeli în execuție, a folosirii unor materiale de construcții necorespunzătoare sau datorită unor influențe externe cum ar fi: cutremure, vibrații, inundații, lucrări subterane.

La constituirea unui model pot fi luate în considerare numai cele mai importante cauze normale. La compararea rezultatelor a două etape de măsurători componentele d_i ale vectorului diferență \underline{d} , determinate după relațiile (1.2) pot fi date formal ca funcții ale parametrilor de influență și anume:

$$\underline{d}_i = f(X_i, Y_i, Z_i, t_i, T_i, p_i, \dots) \quad 1.2$$

în care $-X_i, Y_i, Z_i$ sunt coordonatele punctului;

- t_i reprezintă timpul;
- T_i temperatura;
- p_i presiunea.

Relația funcțională de forma (1.2) trebuie să se determine pentru fiecare obiect aflat sub supraveghere. Modele generale pot fi determinate numai când se ia în considerare o singură mărime de influență. Ca exemplu este prezentat modelul de deformare al unui baraj când se ia în considerare numai presiunea apei (prin umplerea lacului), (figura 1.3). Dacă există mai multe modele particulare se pot determina prin procedeele descrise în capitolul 4 parametri esențiali ai deformațiilor. Condițiile unei interpretări fizice sunt mai relevante dacă pot fi măsurate sau înregistrate în mod continuu mișcările unor puncte particulare, precum și valori ale mărimilor a căror efect este presupus. La procedeele dezvoltate în scopul acesta cu modele dinamice de deformare, se încearcă prin utilizarea procedeeului "filtru de regresie", găsirea cauzelor de deformare cu efecte determinate asupra mișcării studiate.

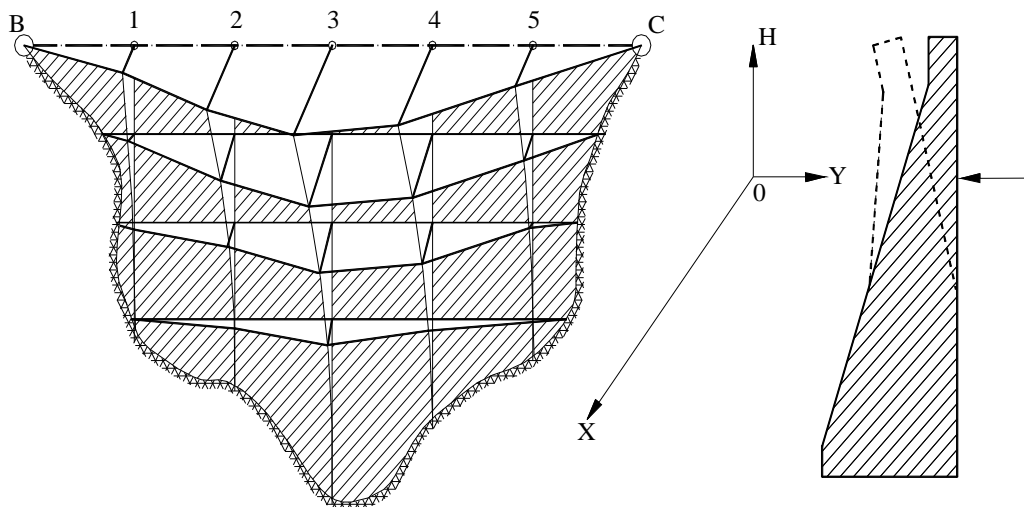


Figura 1.3 Modelul deplasării unui baraj de greutate când se ia în considerare presiunea exercitată de apa din lac

1.4.1.2 Metode de interpretare a deformațiilor

Solicitările și influențele repetate la care sunt supuse construcțiile, atât în timpul execuției cât și în timpul exploatarii au ca efect deplasări și deformații ale acestora, deplasări care se pot caracteriza sub schema logica prezentată în figura 1.4.

Determinarea deplasărilor și deformațiilor poate avea caracter relativ, când sistemul de referință este alcătuit de puncte sau elemente ale construcției, sau poate avea un caracter absolut când acestea se efectuează în raport cu o rețea de puncte fixe amplasate în afara zonei de influență a construcției și care formează sistemul general de referință. Cele mai frecvent întâlnite deplasări și deformații întâlnite sunt: liniare, unghiulare și specifice.

Pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor se utilizează în general metode și aparatură specializată. Metodele topo-geodezice folosite pentru urmărirea în timp a comportării construcțiilor au multe elemente comune cu procedeele cercetărilor experimentale pe modele, obiectivele fiind aceleași, deosebindu-se prin perioada mai îndelungată de timp folosită pentru efectuarea observațiilor.

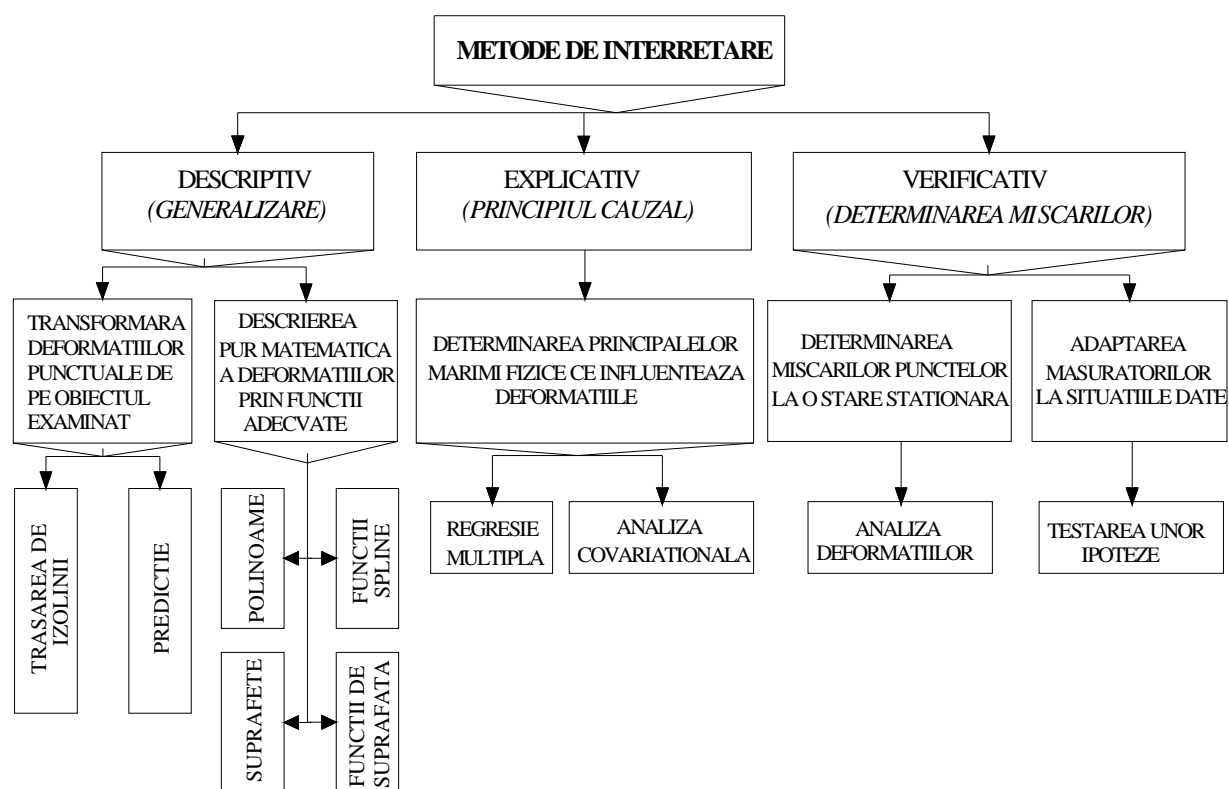


Figura 1.4 Metode de interpretare a deformațiilor

1.4.2 Metode topo-geodezice folosite la determinarea deformațiilor construcțiilor masive

Procedeele de măsurare pentru determinarea deformațiilor sunt foarte variate. Există în acest sens metode topo-geodezice standard de măsurare pentru distanțe, unghiuri, diferențe de nivel, acestea fiind de regulă legate de o rețea topo-geodezică, precum și metode specifice fotogrametriei. În funcție de gradul de automatizare aceste metode topo-geodezice permit diferite posibilități de realizare. Informațiile devin mai relevante și complete dacă sunt folosite instalații fixe cu înregistrare automată, care sunt utilizate frecvent în țările Europei de Vest pentru urmărirea dinamicii diferitelor obiective. Schematic acest lucru poate fi prezentat în figura 1.5

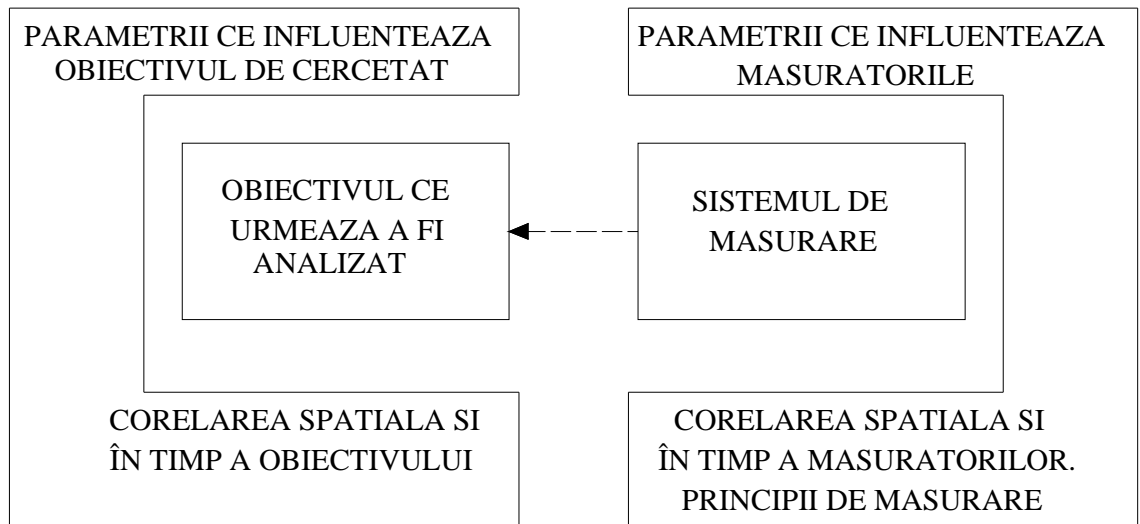


Figura 1.5. Corelația dintre comportarea obiectivului de cercetat și procedeele de măsurare

Cel mai frecvent, metodele topo-geodezice de urmărire a comportării în timp a construcțiilor, se utilizează pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor provocate de sarcini statice și numai în mod accidental pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor produse de sarcini dinamice. Următorii factori principali sunt edificatori pentru stabilirea metodelor utilizate la determinarea deformațiilor:

- precizia cu care se vor face determinările și valoarea deformațiilor;
- timpul necesar pentru efectuarea măsurătorilor;
- importanța și mărimea construcției supusă observației;
- relieful și structura geologică a terenului.

La urmărirea comportării în timp a construcțiilor prin metode topo-geodezice trebuie avute în vedere următoarele principii:

- rețelele topo-geodezice de urmărire realizate să asigure continuitatea observațiilor pe o perioadă lungă de timp;
- tema elaborată inițial poate să sufere modificări în timp în sensul scurtării perioadei dintre măsurători sau extinderea ori restrângerea rețelei în situațiile critice respectiv când comportarea construcției este normală
- sistemul de urmărire să permită adaptarea continuă a aparaturii și a metodelor de măsurare noi.

Capitolul 2. UTILIZAREA MODELELOR LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR

Dezvoltarea tehnicii măsurătorilor a creat posibilitatea de a se observa și pune în evidență modul de comportare a construcțiilor studiate. Există multe sisteme de clasificare a metodelor de cercetare și observația construcțiilor și a terenului. Astfel, au fost făcute clasificări în funcție de felul deformațiilor, felul aparatelor și locul unde sunt amplasate aparatele în timpul cercetării.

În funcție de modul de amplasare a instrumentelor în timpul cercetării există două posibilități de determinare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor:

- **metode fizice:** cu aparate de măsurare instalate în corpul construcției; în acest caz aparatele se deplasează împreună cu construcția în ansamblul ei și deci pot fi măsurate eventuale deplasări și deformații relative. Măsurători de acest gen pot fi făcute utilizând metode mecanice, metode fizice, electrice sau electronice. În acest caz se consideră că avem definit un model relativ, deoarece nu există puncte de sprijin exterioare, având doar determinări de mișcări relative între punctele deplasate pe același obiect. În funcție de parametri ce urmează a fi determinați, în aceasta grupă intră următoarele tipuri de măsurători a deplasărilor:
 - măsurarea deplasărilor liniare și a deformațiilor (tasările, săgețile, deplasările orizontale) cu ajutorul amplificatorului de săgeți, comparatorului cu tijă, comparatorului cu fir (de transmitere a deplasărilor la distanță);
 - măsurarea deplasărilor unghiulare (rotirilor) cu ajutorul clinometrului cu pârghie, clinometrului cu nivelă, clinometrului cu pendul;
 - măsurarea deplasărilor relative din lunecare folosindu-se șublerul sau comparatorul cu tijă;
 - măsurarea deformațiilor specifice cu ajutorul tensometrelor și traductoarelor tensometrice electrice, mecanice, optico-mecanice, pneumatice, fotoelastice sau electroacustice (cu coarda vibrantă);
 - măsurarea deplasărilor, vitezelor, accelerațiilor și deformațiilor dinamice cu ajutorul vibrometrului, vibrografului, accelerografului seismic, accelerometrului electrodinamic, piezoelectric sau rezistiv, traductorului de tip seismometric, înregistratorului magnetoelectric, oscilografului catodic;

- măsurarea deformațiilor rosturilor de dilatație cu ajutorul teledilatometrului, micrometrului de rost.

Meodele fizice sunt folosite pe scară largă la studiul construcțiilor în faza de concepție și proiectare, precum și la urmărirea comportării în timp a construcțiilor.

- **metode geometrice:** în cazul în care pentru determinarea deplasărilor se folosesc aparate de măsurare instalate în afara construcției sau a zonei de influență a acesteia, măsurătorile vor fi raportate la o rețea de puncte fixe situate în afara zonei de influență a factorilor ce acționează asupra construcției și a terenului pe care acesta este amplasat.

Prin acest procedeu se vor determina valori absolute ale deplasărilor orizontale sau verticale. Din această categorie de determinări a deplasărilor și deformațiilor fac parte metodele topogeodezice.

Obiectul în sine este prezentat printr-o serie de puncte obiect între care, dacă este posibil se fac măsurători. În afara domeniului de urmărit, acolo unde fenomenul de deformare nu este prezent există un număr de puncte de sprijin, care din punct de vedere al tehnicii constructive și al geologiei pot fi considerate ca stabile. În acest caz se poate spune că s-a definit un model absolut, dacă mișcările construcției sunt determinate față de puncte de sprijin exterioare.

Un model absolut se bazează pe o rețea organizată în două nivele, în timp ce modelul relativ este constituit într-un singur nivel.

În funcție de caracterul deformațiilor, metodele topo-geodezice se clasifică astfel:

D. metode pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor orizontale:

- metoda trigonometrică-microtriangulația;
- metoda aliniamentului;
- metoda drumuirii de precizie.

E. metode pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor verticale:

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

F. metode pentru determinarea înclinării construcțiilor înalte:

- metoda proiectării verticale;
- metoda măsurării unghiurilor orizontale, din două sau mai multe puncte de sprijin;
- metoda coordonatelor;

- metoda măsurării unghiurilor orizontale și verticale dintr-un singur punct de bază;
- metoda măsurării distanțelor zenitale mici din două puncte dispuse la baza construcției;
- metoda măsurării tasării fundației.

Folosirea acestor metode se poate face separat sau combinat, în funcție de natura parametrilor ce se cer a fi puși în evidență pentru construcția studiată. Studiul construcțiilor cu ajutorul metodelor topo-geodezice, se realizează prin efectuarea de măsurători ciclice, unghiulare și liniare, din puncte din afara construcției asupra punctelor fixate pe construcție. Metodele geodezice, prin precizia ridicată a măsurătorilor efectuate ca și prin modalitățile de preluare a datelor și de estimare a rezultatelor, reprezintă un sistem de bază în amplul proces de studiere a construcțiilor.

2.1. Modele clasice pentru stabilirea deformațiilor

2.1.1. Relatia cauza-efect

Pentru determinarea unor mișcări la construcții sau unor zone terestre se folosesc cu predilecție rețele topo-geodezice locale sau regionale create special și care sunt măsurate cu cele mai moderne instrumente, în mod repetat. Aceste procedee constituie una din cele mai precise și sigure metode de urmărire, impunându-se față de metodele negeodezice, metodele fotogrammetrice sau față de cele satelitare.

În determinarea deformațiilor totdeauna vom găsi o cauză care prin intermediul unei funcții de transmisie va conduce la efect (figura 2.1):

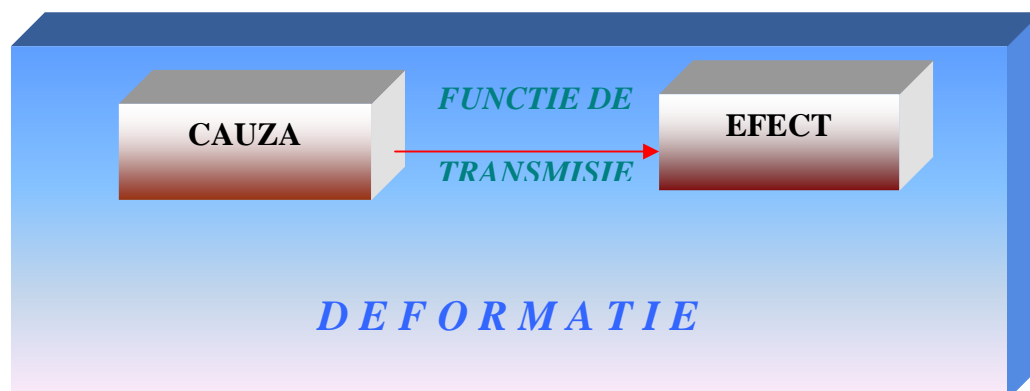


Figura 2.1 Relatia cauza-efect

După domeniul de utilizare și după cauzele fizice ce provoacă fenomene de deformare, așa cum s-a arătat pe larg în capitolul 3, pot fi enunțate următoarele cazuri provocatoare de deformații și deplasări ale construcțiilor și a terenului:

- **mișcări condiționate tectonic:** sunt provocate de fenomene geodinamice ca mișcări crustale verticale și orizontale. Cercetarea acestor cauze din zona faliilor constituie dovezi la teoria plăcilor tectonice.
- **fenomene de alunecare:** au ca scop cunoașterea desfășurării în timp a alunecărilor de teren și eventual forțele care iau naștere în masivul de pământ susceptibil la alunecare. Efectul acestei cunoașteri este prognozarea comportării viitoare.
- **în domeniul construcțiilor:** determinarea tasărilor efective și a deformărilor conduce la compararea și corectarea parametrilor fizici ai construcției sau pe cei geodinamici pentru evitarea unor avarii sau chiar catastrofe. O influență deosebită o au condițiile meteorologice (în special pentru construcțiile înalte) și variațiile de temperatură (pentru construcțiile metalice).
- **cauze endogene:** în cazul unui baraj, fenomenele ploioase din anumite perioade ale anului, conduc la creșterea nivelului apei, având ca efect deformări elastice ale barajului fenomene care trebuie luate în considerare la studiul deformațiilor.
- **cauze proprii fiecărui obiect:** la poduri pot apărea tasări inegale sub greutatea proprie a construcției, acestea conducând la apariția deformațiilor.
- **acțiunea omului:** în activitățile de extracții de gaze, petrol, carbune se impun determinarea mișcărilor reale ale suprafeței terestre pentru a evita avarii sau pentru a corecta modelele de prognozare și dirijare a extracției.
- Funcția de transmisie se exprimă prin relații matematice, ține de statistica matematică, nu putem fi siguri niciodată ce se întâmplă, doar cu o anumită probabilitate găsim o 'relație', un mod determinist ce conduce către un efect.
- Efectul este întodeauna deformația, definită ca o modificare spațială..
-

2.1.2 Aspecte generale privind alegerea unui model de deformație

2.1.2.1 Crearea unei rețele de urmărire

În funcție de problemele urmărite, se pot crea rețele de urmărire regionale cu întindere de până la 100 Km și cu distanțe între puncte apreciabil de mari, sau rețele de urmărire locală a căror laturi pot fi de la 100 m până la 2-3 km. În general principiile proiectării unei rețele geodezice corespund și pentru o rețea de urmărire.

Caracteristicile care trebuie respectate suplimentar sunt:

- rezultatele depind de perioada de observații;
- uneori precizia unui punct este mai importantă decât caracteristicile punctului în sine;
- în unele cazuri trebuie să se facă distincție între punctele de sprijin și punctele obiect (figura 2.2);

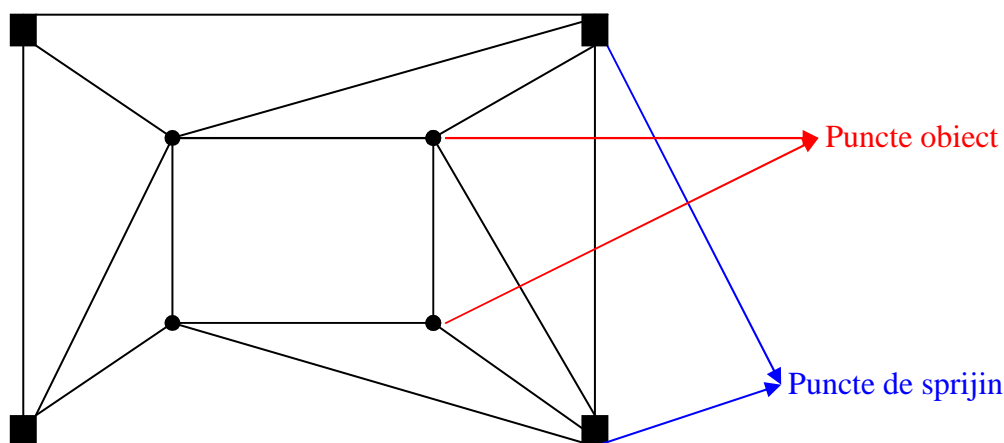


Figura 2.2 Puncte de sprijin si puncte obiect

- rețelele sunt cu întindere limitată și sunt dependente de existența unor zone cu puncte stabile. Aceste rețele geometrice locale constituie obiectul domeniului ingineresc al măsurătorilor. Pentru determinarea mișcărilor se fac cel puțin două cicluri de măsurători. În aceeași rețea, de regulă, se fac mai multe cicluri de măsurători, intervalele de timp dintre etapele de măsurare se stabilesc după anumite principii.

2.1.2.2 Cunoștințe apriorice asupra unui model de deformatie

- Rolul rețelelor geodezice de urmărire este de a observa și determina dacă au apărut sau nu mișcări s-au deplasări a construcției studiate. De regulă există o informație inițială asupra mișcărilor care ne interesează sau a mișcărilor critice pentru un anumit obiect.
- Precizia și integritatea cunoștințelor apriorice asupra comportării construcției sunt diferențiate, dar parametrii de bază pentru un model de deformatie ce trebuie să avuți în vedere sunt:
 - reprezentativitatea punctelor;
 - delimitarea domeniului de deformatie;
 - evoluția în timp a deplasărilor;
 - direcțiile de deplasare interesate;
 - ordinul de mărime al deplasărilor.

După fiecare ciclu de măsurători rezultă un astfel de model de deformatie, care trebuie verificat sau modificat. În mod consecvent cunoștințele apriorice și fiecare modificare a modelului de deformatie influențează atât configurația rețelei cât și programul de observație, ia naștere astfel un efect interactiv între măsurători și modelul de deformatie.

2.1.2.3 Discretizare in domeniul geometric

- Numărul și dispunerea punctelor ce alcătuiesc rețeaua de urmărire nu este dat de anumite reguli. Ele trebuie stabilite funcție de specificul domeniului de urmărire. Astfel, trebuie avute în vedere două probleme și anume:
 - alegerea punctelor reprezentative:

La discretizarea unui obiect prin puncte trebuie avute în vedere astfel încât determinarea mișcării acestor puncte nu constituie punctul final al unei probleme de urmărire ci se dorește să se tragă concluzii cu privire la modificarea formei întregului obiect studiat. Pentru a rezolva aceasta problema cunoscută sub denumirea de generalizare, este necesar să se alege puncte reprezentative pentru întregul obiect supus observației. Determinarea deformării unui obiect nu poate fi realizată direct utilizând metode geodezice, ci doar prin intermediul unor puncte reprezentative care servesc la determinarea unui câmp vectorial de deformatie și la generalizare.

□ ***delimitarea domeniului influențat de deformații.***

Pentru majoritatea construcțiilor masive mișcările nu sunt limitate doar la construcțiile în sine, ci ele se extind într-o întreagă zonă în jurul construcției. În stabilirea domeniului de deformație trebuie avut în vedere totdeauna o zonă de influență a mișcărilor situată în preajma obiectelor studiate. La fiecare ciclu de observație se va face analiza stabilității punctelor de referință

2.1.2.3 Discretizarea în domeniul timp

La fel de important ca și alegerea punctelor este stabilirea momentelor “ideale” de observație. Pentru o variabilă unidimensională pot fi observate deformațiile care redau fidel mișcarea. Se poate considera ca este imposibil să se stabilească un model universal pentru alegerea momentului de măsurare al modelului pentru urmărirea deformațiilor. Pentru stabilirea momentului măsurătorilor trebuie studiate mișcările anuale care pot fi cauzate de nivelul apei, variația temperaturii sau de mișcări diurne posibile generate de temperatura. **Alegerea la întâmplare a momentelor de măsurare conduce după câteva etape de măsurători la un model eronat iar practica a dovedit ca măsurătorile trebuie astfel stabilite în teren încât să fie cuprinse stările maximale și minimale ale construcției.**

2.1.2.4 Caracteristici ale modelelor clasice de deformare

Determinarea deplasărilor și abaterilor unui obiect constituie cerințe primordiale în analiza deformațiilor, în raport cu timpul și spațiul. Dezvoltarea actuală și crearea și construirea unor edificii la limita dintre real și imaginar, a impus necesitatea monitorizării schimbărilor survenite și în acest sens devine esențială analiza comportării obiectelor cum sunt podurile, digurile, turnurile, barajele, construcțiile cu un regim de înălțime ridicat, etc, nu numai din punct de vedere fenomenologic, dar și ca rezultat al procesării și includerii cauzelor acestor procese în modelele de analiză.

Mărimea perioadei unui fenomen de deformație poate fi reprezentată ca o funcție de timp (figura 2.3).

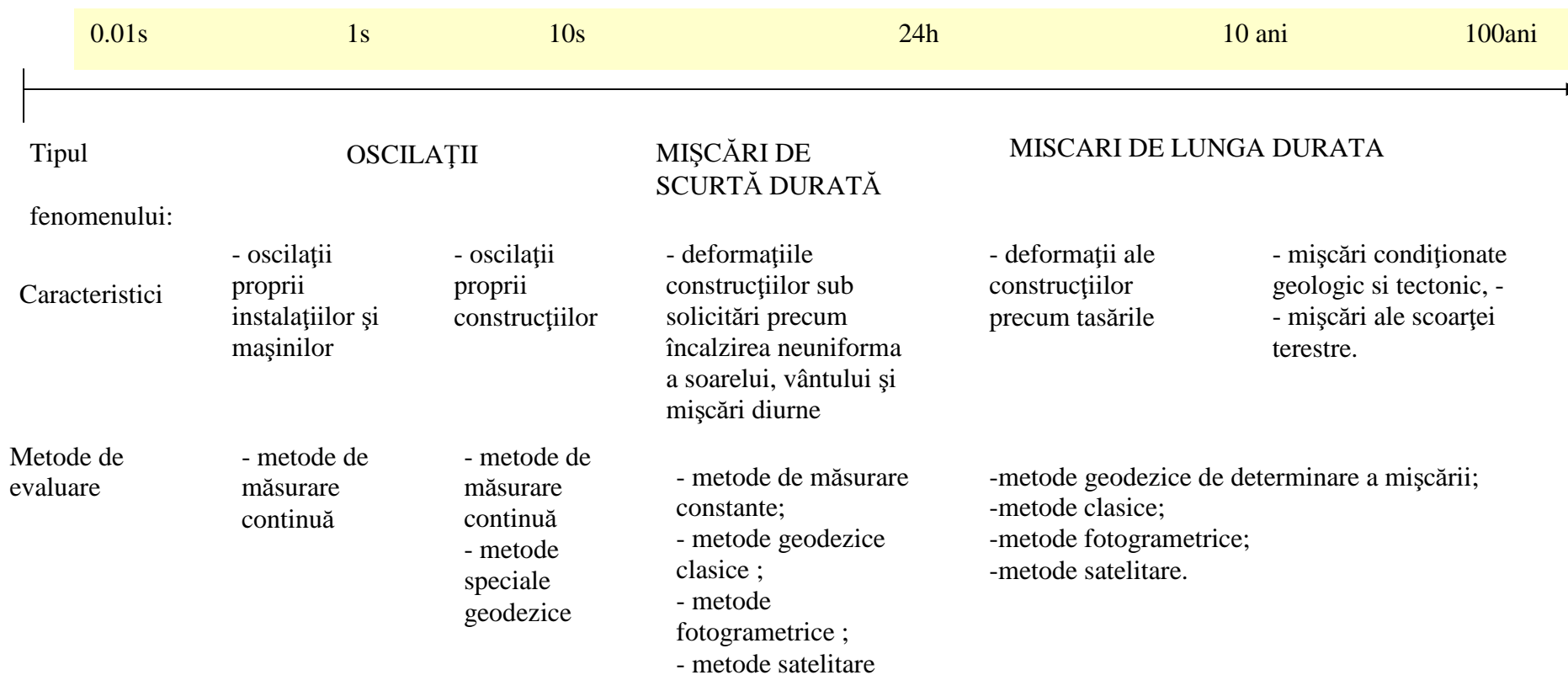


Figura 2.3 Reprezentarea deformației ca o funcție de timp

Un obiect poate fi considerat ca un **sistem cinematic**, atunci când determinarea diferențelor se face în funcție de timp, **ca un sistem dinamic**, în cazul în care pentru determinarea deformațiilor se au în vedere și cauzele generatoare, sau ca un **sistem static**, atunci când se dorește determinarea stării obiectului de cercetat la diferite etape de măsurare fără a se ține seama de efectele generatoare.

Scopul principal al Teoriei Sistemelor este de a stabili funcții descriptive matematice pentru analiza acestor sisteme și identificarea lor (figura 2.4)

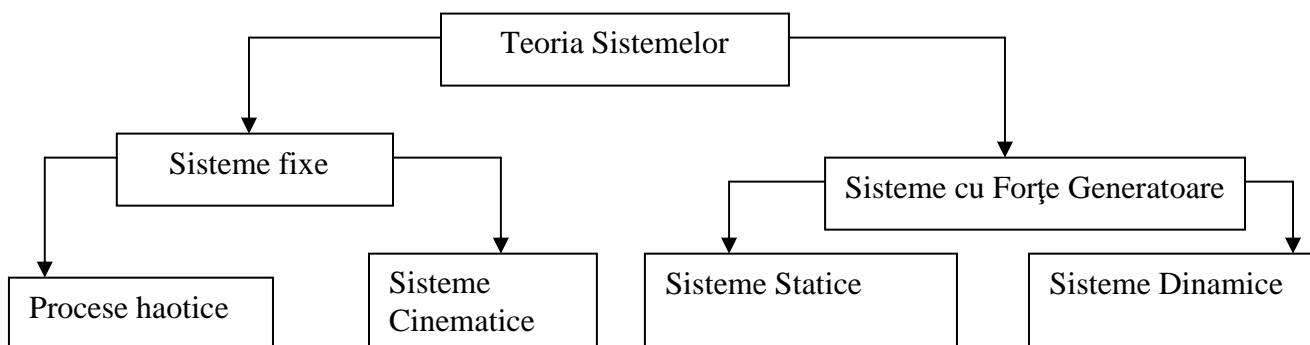


Figura 2.4 Clasificarea sistemelor

Totodată, este esențial să se facă distincție în cazul modelelor de deformare între modelele pur descriptive și cele care includ relația cauză efect (figura 2.5).

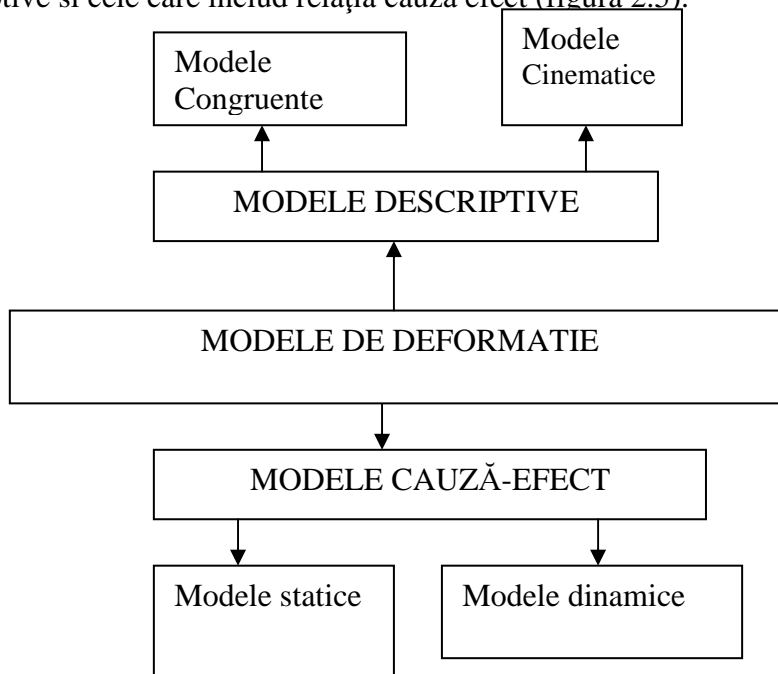


Figura 2.5 Modele de deformare

Dacă sunt cunoscute legăturile fizice ale sistemului, se poate determina un model de parametru, definit prin ecuații diferențiale. În cazul în care legăturile fizice sunt necunoscute și nu există nici o cale de modelare a structurii sistemului, atunci modelul este definit prin funcții de pondere de regresie și analiza deformațiilor.

În foarte multe cazuri nu se poate stabili o legătură funcțională univocă între cauzele fizice și efectul geometric al deformației, astfel încât procesul de mișcare este descris în timp uneori și prin poziția punctelor. Descrierea observațiilor prin parametri cinematici ajută la deosebirea a două posibilități fundamentale :

- 1. modelarea mișcării ca o funcție de timp la care sunt acceptați parametri de mișcare individuali, care pot diferi puternic, chiar în punctele învecinate ;**
- 2. modelarea mișcării ca o funcție de timp și loc, la care are loc suplimentar față de modelul precedent o o generalizare locală.**

Având în vedere ca variabila timp prezintă o pondere radicală în modelarea cinematică, durata dintre etapele de măsurători trebuie alese astfel încât pe de o parte să existe limite distincte între ele, iar pe de alta parte să obținem o descriere cât mai fidelă a mișcării punctelor de pe obiectul studiat.

Dacă mișcarea în timp a punctelor urmărește o curbă sau este aproape liniară, atunci poziția punctului la un moment oarecare t_k poate fi descris de relația de mai jos :

$$x_k = x_{t_0} + \int_{t_0}^{t_k} \alpha_j dt \quad 2.1$$

unde : - x_k reprezintă poziția la un moment t_k ;

- dt intervalul de timp dintre perioadele observației;

- α_j viteza de deplasare.

În cazul în care este necesară descrierea legăturii cauză-efect, modelul dinamic poate fi caracterizat fie prin funcții statistice și parametri, fie prin ecuații diferențiale, metoda elementului finit sau funcții spline.

Datorită dezvoltării domeniului măsurătorilor terestre și tehnologiei automate, și programelor performante de PC, la fel de mult ca și în modelarea matematică, monitorizarea geotehnică este una din metodele fundamentale în domeniul construcțiilor.

Condițiile pentru realizarea măsurătorilor cu metode de monitorizare au în vedere următoarele aspecte :

- să se stabilească în avans toleranțele, limitele admise ale comportării în timp a acestora precum și a dispersiei ;
- măsurătorile asupra obiectelor trebuie să fixeze distinctiv acțiunile efective din timp pentru a elimina eventualele probleme existente ;
- să se planifice din timp metodele folosite pentru monitorizarea comportării obiectului.

2.1.3 Modele statice pentru studiul deformațiilor construcțiilor

La folosirea acestor modele nu sunt luate în considerare cauzele ce au provocat deformațiile, ci interesează doar starea obiectului cercetat la diferite epoci de măsurare.

Toate modelele statice pornesc de la următoarele premize :

- nu au avut loc deformații ;
- configurația rețelelor este aceeași în toate etapele de măsurare.

Pornind de la aceasta ipoteză se definește din punct de vedere statistic ipoteza H_0 :

$$H_0 : \{E(x_1)\} \equiv \{E(x_2)\} \equiv \{E(x_3)\} \equiv \dots \equiv \{E(x_n)\} \quad 2.2$$

unde : $E(x_i)$ reprezintă valoarea de așteptare a parametrilor din etapa i .

În cadrul unui astfel de model se testează dacă ipoteza H_0 este adevărată. Dacă se găsește $\{E(x_1)\} \equiv \{E(x_2)\}$ înseamnă că între cele două etape de măsurători nu au apărut deformații.

Derivate din modelele statice, *modelele cvasistatice* introduc noțiuni de puncte de sprijin și puncte obiect, iar ipoteza nulă se formează doar pentru punctele obiect.

Analiza deformațiilor pentru două etape de măsurători

Inițial aceste modele permiteau doar compararea a două etape de măsurători între ele. În prezent ele permit prelucrarea și analiza deformațiilor ce decurg din mai multe etape de măsurători.

Testul global de congruență

În principiu se compară coordonatele punctelor rețelei determinate la etape diferite și se cercetează dacă acestea formează sau nu figuri congruente. Diferența dintre parametri determinați pentru punctele rețelei trebuie să se încadreze într-o limită de siguranță. Limita de siguranță se calculează funcție de abaterea standard empirică. Dacă nu se încadrează în aceste limite de siguranță, testul statistic nu indică altceva decât că în rețea au aparut deformații. În fiecare etapă sunt măsurători efectuate prin intermediul cărora stabilim un model funcțional de forma :

$$\bar{l}_i + \bar{v}_i = \bar{A}_i + \hat{X}_i, \quad 2.3$$

unde

l_i – vectorul măsurătorilor;

v_i – vectorul corecțiilor măsurătorilor;

A – matricea de configurație;

\hat{X}_i – vector al parametrilor ce se obțin prin estimare.

Modelul stochastic corespunzător acestui model are forma :

$$\sum l_i = \sigma_0^2 Q_l, \quad \text{unde } P = Q_l$$

iar 2.4

σ_0 – reprezintă abaterea standard;

Q_l – matricea cofactorilor.

Acest model este supus condiției de minim :

$$v^T P v \Rightarrow \min \quad 2.5$$

Prelucrarea împreună a măsurătorilor din cele două etape :

$$\begin{bmatrix} \bar{l}_1 \\ \dots \\ \bar{l}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \dots \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \dots \\ \hat{X}_2 \end{bmatrix} \quad 2.6$$

$$\sum l = \sigma_0^2 Q_l = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{l_1} & 0 \\ 0 & Q_{l_2} \end{bmatrix} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} P_1^{-1} & 0 \\ 0 & P_2^{-1} \end{bmatrix} \quad 4.7$$

Zero pe diagonală are semnificația că între etapele de măsurători analizate nu admitem corelații.

Condițiile pentru ca testul de congruență să localizeze în rețea deformații sunt :

- pentru ambele etape de observații trebuie introduse aceleași coordonate provizorii putând astfel să se facă referire la aceleași mărimi, adică la același datum ;
- în ambele etape trebuie să avem același efect pentru datele de referință (același datum) ;

de regula modelul de prelucrare utilizat este cel al rețelelor libere. Pentru a localiza rețeaua în ambele etape trebuie să avem același efect pentru datele de referință într-un sistem de axe avem nevoie de :

- în cazul rețelelor neconstrânse trebuie cunoscute coordonatele a doua puncte ;
- în cazul rețelelor constrânse trebuie cunoscute coordonatele a cel puțin trei puncte.

De regulă pentru studiul deformațiilor se folosesc rețele libere.

- configurația rețelelor în ambele etape trebuie să fie aceeași ;
- abaterea standard teoretică σ_0^2 să fie aceeași pentru ambele etape de măsurători.

2.1.3 Modele cinematice în studierea deformațiilor construcțiilor

În unele situații precum alunecările de teren sau mișcări ale scoarței terestre, unde toate punctele suferă deplasări mai mari sau mai mici, cunoașterea sau cuprinderea stării de mișcare este un scop geodezic. În anumite cazuri nu se poate formula o legătură funcțională univocă între cauzele fizice și efectul geometric al deformației, astfel încât procesul de mișcare este descris în timp și uneori în funcție de poziția punctelor. Dacă în modelarea clasică apare relevantă discretizarea în domeniul geometric, în viziunea cinematică apare relevantă discretizarea în domeniul timp. Descrierea observațiilor prin parametri cinematici, face să deosebim două posibilități fundamentale:

1. modelarea mișcării ca o **funcție de timp** la care sunt acceptați parametri de mișcare individuali, care pot diferi puternic, chiar pentru punctele învecinate;

2. modelarea mișcării ca o **funcție de timp si loc** la care are există suplimentar față de modelul precedent, o generalizare locală.

Întrucât factorul timp are o semnificație considerabilă în modelarea cinematică, durata dintre etapele de măsurători trebuie aleasă judicios astfel ca pe de o parte să existe limite distincte între ele, iar pe de altă parte să obținem o descriere cât mai fidelă a mișcării punctelor.

Ca restricții ale modelării cinematice pot fi numite:

- a. numărul limitat al etapelor de măsurători;
- b. tendința de parametrizare redusă ca număr al coeficienților.

Numărul limitat în timp al măsurătorilor geodezice poate descrie destul de greu anumite mișcări complicate (figura 2.6 a și b).

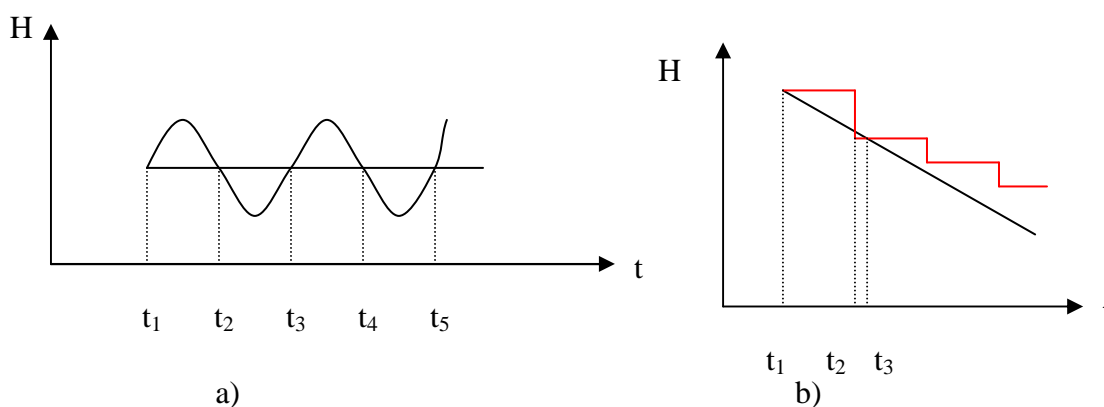


Fig.2.6 Descrierea mișcărilor în funcție de timp

Înregistrările continue pot reda cu fidelitate acest tip de mișcări. O descriere a acestor mișcări prin măsurători geodezice efectuate în momente discrete și distincte este o generalizare care poate fi mai aproape sau mai departe de adevăr funcție de mărimea deformației și de densitatea etapelor de măsurători.

Analiza fenomenelor în modelele cinematice are loc descriptiv, ea cercetează numai apariția și derularea mișcării, nu și cauzele generatoare. Mijlocul matematic utilizat este în general o regresie la care poate fi acceptată și colocația care permite în modelele cinematice combinarea calculelor de compensare, filtrare și predicție, cu scopul de a separa majore, față de mișcările perturbatoare locale.

- a. *modele pentru determinarea zonală a parametrilor cinematici;*
- b. *modele cinematice cu vectori de stare proprii pentru fiecare punct.*

2.2. Modele moderne pentru stabilirea deformațiilor

2.2.1 Utilizarea modelelor dinamice la studiul și urmărirea deformațiilor

Aceste modele se ocupă cu stabilirea deformațiilor **ținând seama de cauzele generatoare**. Modelele dinamice descriu prin relații matematice legătură dintre cauză și efect. Aceste modele se clasifică în modele stochastice și modele deterministe. O exemplificare elocventă a acestor modele este dată în următoarea diagramă (figura 2.7):

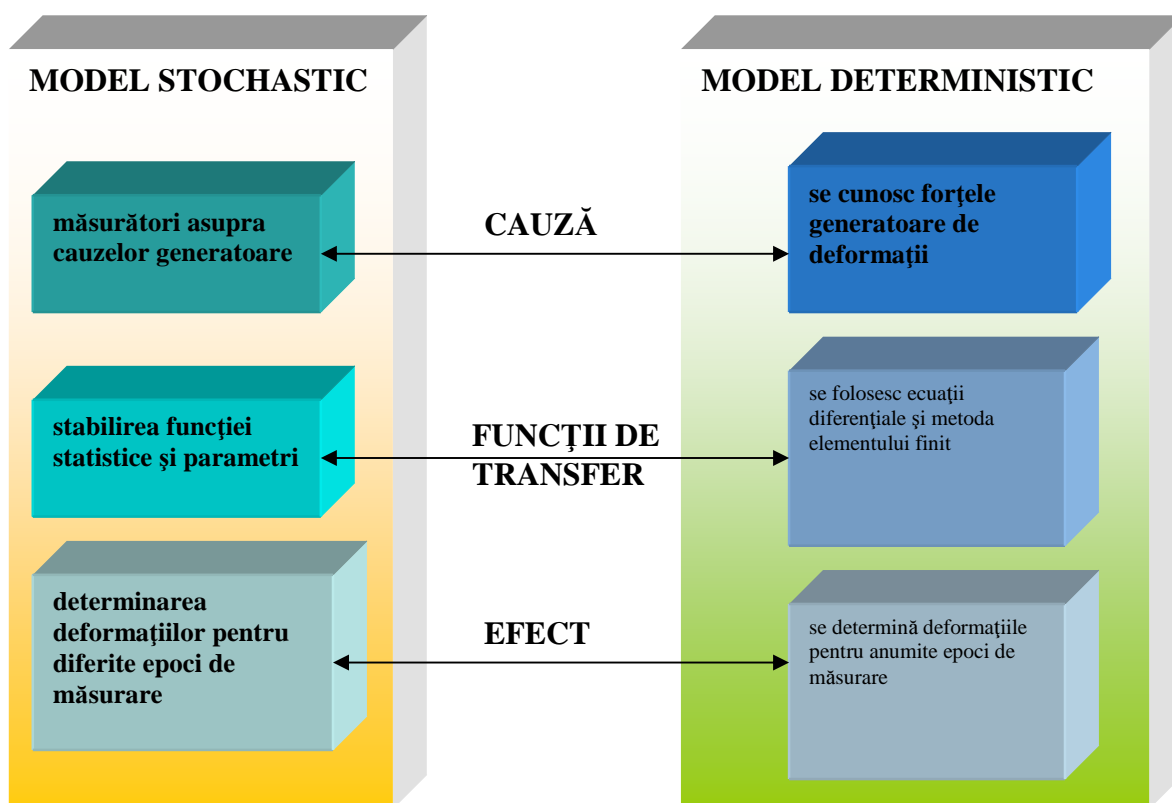


Figura 2.7 Modelul dinamic

2.3. Concluzii

În cazul urmării deformațiilor atât a construcțiilor cât și a terenului de fundare, utilizarea modelelor pentru crearea unei rețele de urmărire, stabilirea domeniului de măsurare respectiv calculul mărimii și sensului vectorului deformației este impieduc necesară.

La stabilirea modelului care poate să răspundă la modul cel mai obiectiv și relevant atât în cazul măsurătorilor cât și prelucrearea acestora cunoștințele apriorice asupra obiectului ce trebuie determinat, stau la baza creării și alegerii unui anumit model de urmărire și

influențează atât configurația rețelei cât și programul de observație, ia naștere astfel un efect interactiv între măsurători și modelul de deformație.

Un alt element important de luat în considerare este modul în care se face discretizarea domeniului geometric, numărul “ideal” de puncte de pe obiectul examinat care poate să redea la modul cel mai fidel mișcarea sau transformarea pe care o suferă o construcție. Aceste puncte trebuie să fie reprezentative și totodată să fie raportate la o rețea de puncte aflate în afara zonei de influență a construcției. Modelul geometric al acestor puncte poate să fie punctul de plecare pentru reprezentările geometrice 3D unde specialistul în măsurători geodezice poate să furnizeze inginerului constructor imaginea de ansamblu și modul în care construcția împreună cu terenul de fundare ating valorile tasărilor probabile, sau sunt comparate cu valorile maxime ale acestora.

La fel de important ca și alegerea punctelor este stabilirea momentelor “ideale” de observație. Pentru o variabilă unidimensională pot fi observate deformațiile care redau fidel mișcarea. Se poate considera ca este imposibil să se stabilească un model universal pentru alegerea momentului de măsurare al modelului pentru urmărirea deformațiilor. Pentru stabilirea momentului măsurătorilor trebuie studiate mișcările anuale care pot fi cauzate de nivelul apei, variația temperaturii sau de mișcări diurne posibile generate de temperatura. Alegerea la întâmplare a momentelor de măsurare conduce după câteva etape de măsurători la un model eronat iar practica a dovedit ca măsurătorile trebuie astfel stabilite în teren încât să fie cuprinse stările maxime și minime ale construcției.

Întrucât factorul timp are o semnificație considerabilă în modelarea cinematică, durata dintre etapele de măsurători trebuie aleasă judicios astfel ca pe de o parte să existe limite distincte între ele, iar pe de altă parte să obținem o descriere cât mai fidelă a mișcării punctelor

În foarte multe cazuri nu se poate stabili o legătură funcțională univocă între **cauzele fizice** și **efectul geometric al deformației**, astfel încât procesul de mișcare este descris în timp uneori și prin poziția punctelor. Descrierea observațiilor prin parametrii cinematici ajută la deosebirea a două posibilități fundamentale și anume : modelarea mișcării ca o funcție de timp la care sunt acceptați parametri de mișcare individuali, care pot diferi puternic, chiar în punctele învecinate ; modelarea mișcării ca o funcție de timp și loc, la care are loc suplimentar față de modelul precedent o generalizare locală, ceea ce înseamnă că deplasarea unui punct de pe construcție la o anumită dată este interpretată prin prisma deplasării aceluiaș punct determinată la o măsurătoare anterioară.

Capitolul 5. METODELE TOPO-GEODEZICE SI APORTUL ACESTORA LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR

În cadrul acestui capitol autorul își propune a prezenta principalele metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor studiate.

Dezvoltarea tehnicii măsurătorilor a creat posibilitatea de a observa și pune în evidență modul de comportare a construcțiilor studiate, 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

5.1. Metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor 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 mărimile 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 cercetată, în raport cu mai multe **repere fixe**, amplasate pe terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției. Punctele de control încastrate pe 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.

Mărimile 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 cercetării efectuate.

5.1.1 Marcarea punctelor rețelelor de nivelment utilizate la urmărirea deformațiilor construcțiilor

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

5.1.1.1 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). Din acest punct de vedere cel mai bine corespund clădirile publice și reperul se așează în apropierea colțurilor, unde stabilitatea acestora este normală. În literatura de specialitate se consideră că dacă asupra unei construcții nu intervin sarcini continue și crescânde aceasta se poate considera după o perioadă de cinci ani de la darea ei în exploatare stabilizată.

Ca reper încadrat în construcție se poate folosi reperul de oțel sub forma de tije având un cap emisferic 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, reperul din figura următoare:

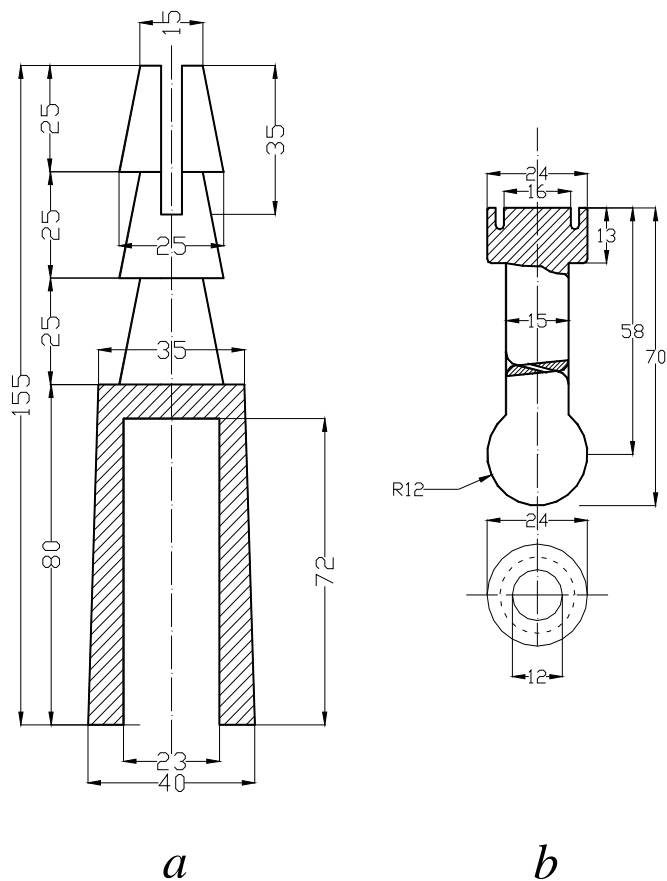


Figura 5.1 Reperi de control INCERC montați pe construcții în România

a – Corpul mărcii sau reperului; b – Capac cu bulon sferic al mărcii sau reperului

Reperii de control fixați pe pământ 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 forma de trunchi de piramide, cu baza cu secțiune 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.

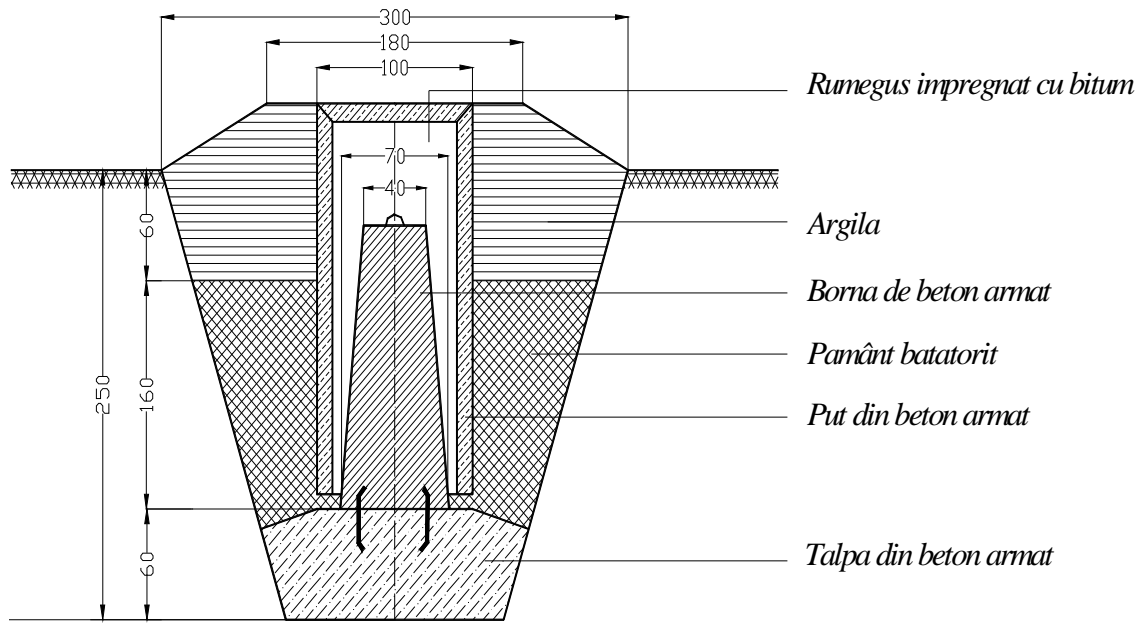


Figura 5.2.a. Reperi de control de suprafață – Romania

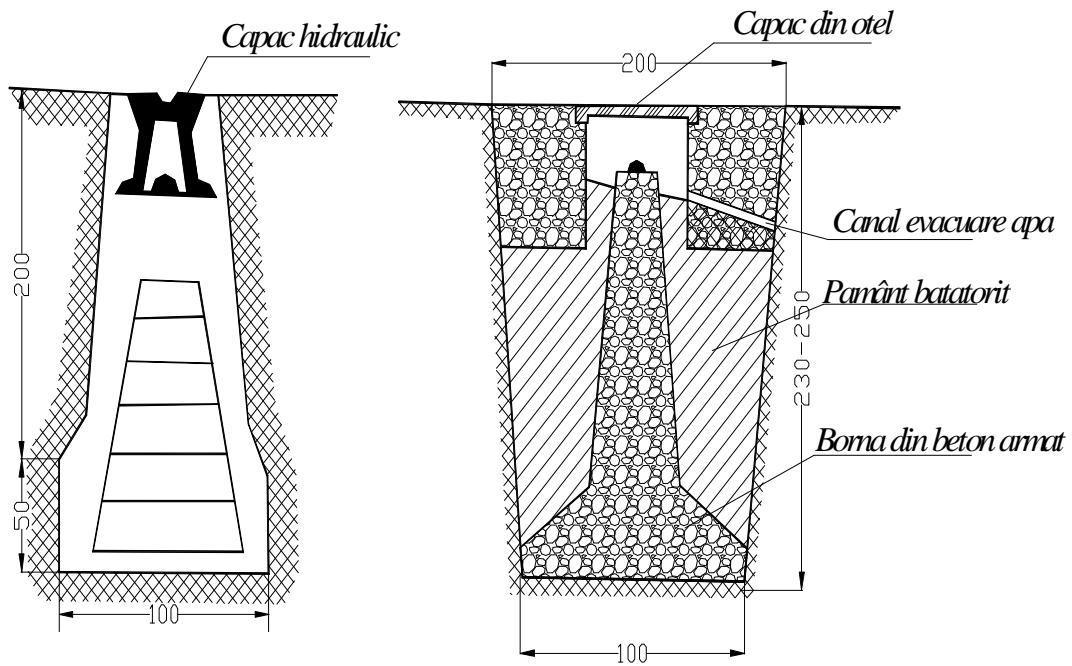


Figura 5.2.b Reperi de control de suprafață – Cehia, Ungaria

Dacă reperul nu este montat în rocă masivă ci pe pietriș sau pe un 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 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.

La determinarea adâncimii la care se va monta un astfel de reper vor fi luate în calcul doi indici importanți: nivelul apei freatice specific zonei respective și adâncimea de îngheț.

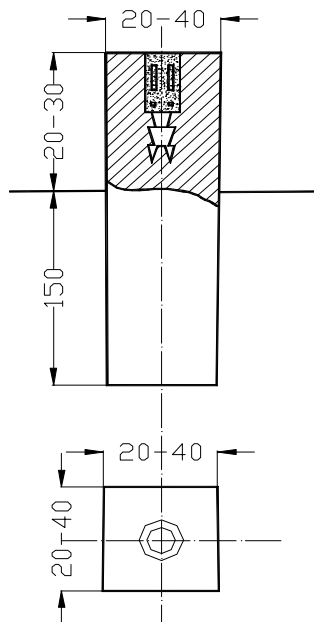


Figura 5.3 Reperi de control de suprafață în România

Aceste borne de beton în care se înglobează reperatele 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 reperate de control se admit și reperatele nivelmentului de precizie de stat de ordin superior, reperi de câmp și reperi de zidărie.

Reperul de câmp se compune din două părți distincte:

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

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

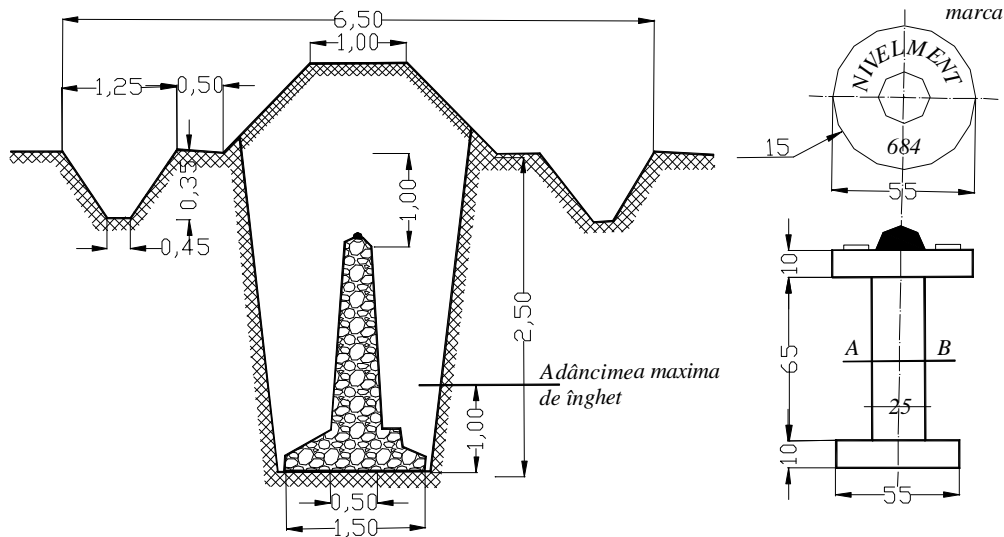


Figura 5.4 Reperi de câmp în România

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

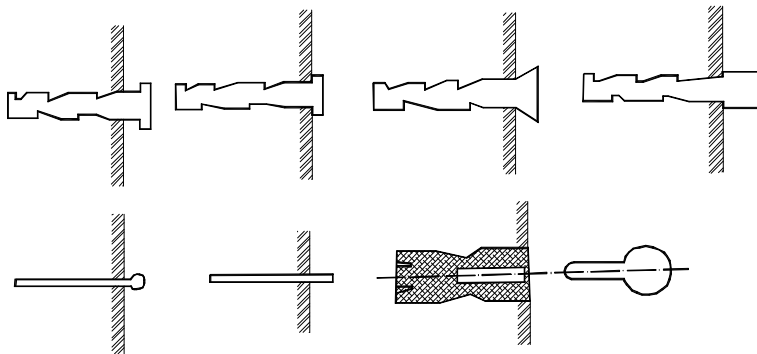


Figura 5.5 Reperi de nivelment de zidărie în România

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

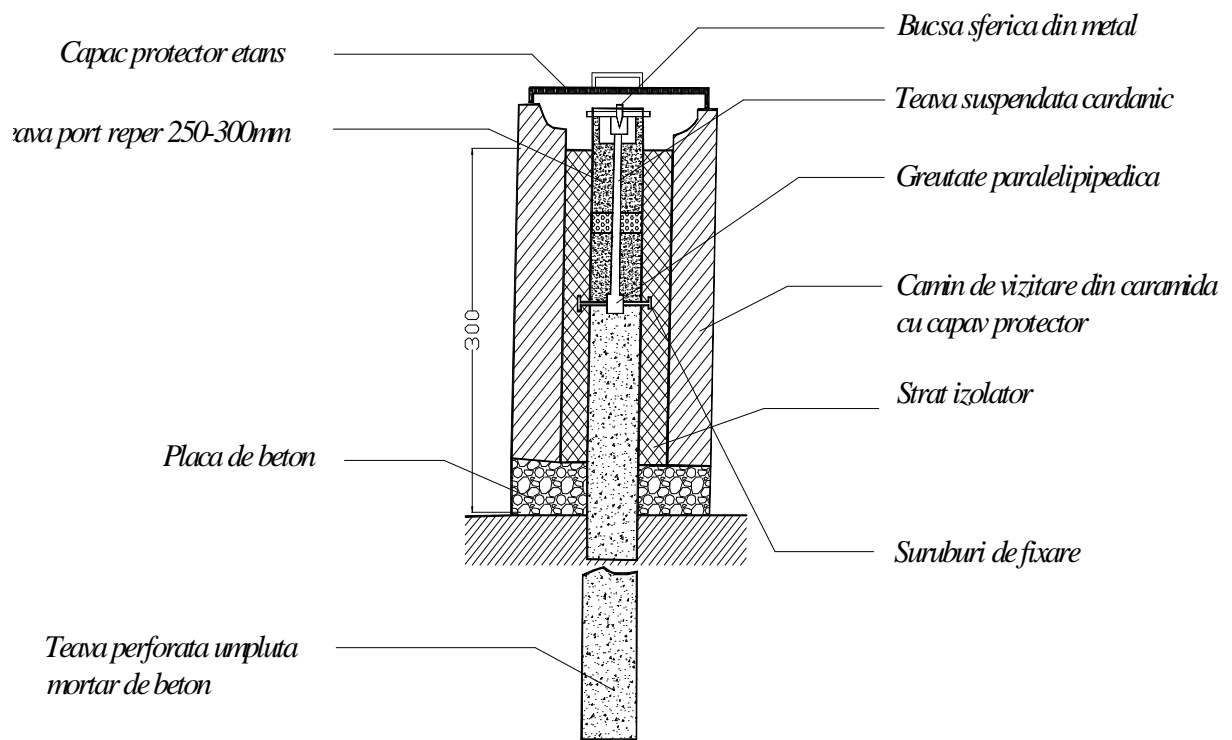


Figura 5.6 Reper de adâncime tip M.S. Muraviev

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

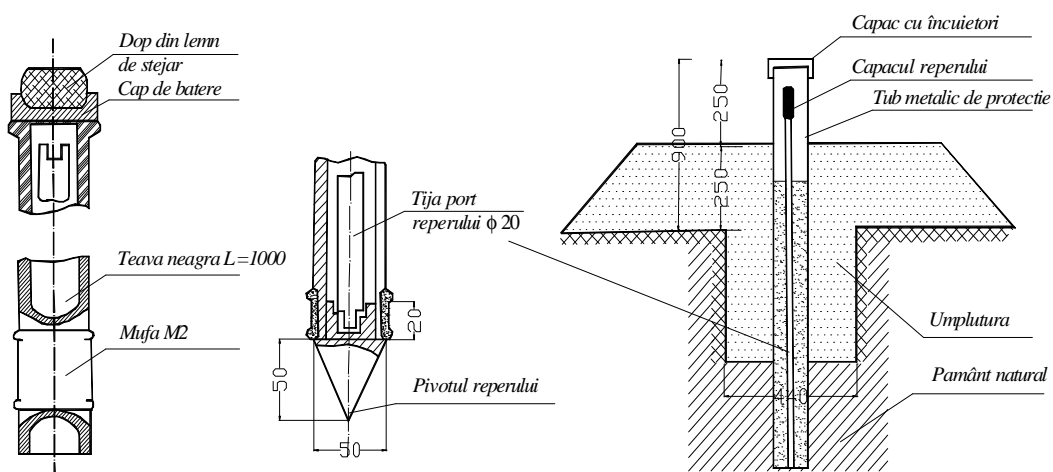


Figura 5.7 Reper de adâncime INCERC – poziția de batere și poziție definitivă

În contextul în care partea economică are o dimensiune importată în economia de piață din țara noastră autorul propune eficientizarea creării reperilor de control, atât prin simplificarea modului de construcție a acestora cât și prin ușurința modului de punere în operă sau materializare pe teren.

Astfel, o precizie remarcabilă oferă reperii de control prezentați în figura 5.8 și aceasta din cauza faptului ca la partea inferioară a acestora este prevăzut un mod de ancorare în roca stabilizată care nu permite deplasarea pe verticală a reperului.

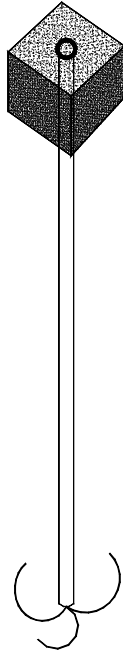


Figura 5.8 Reper de nivelment de adâncime

Constructiv acest reper are trei părți principale ușor adaptabile pentru orice tip de teren și practic la orice tip de adâncime, și anume:

- la partea superioară este un cub sau paralelipiped de beton sau piatră care are o gaură prin care este introdus tubul se protecție;
- tubul se protecție care poate avea o înălțime variabilă funcție de adâncimea la care se dorește să se ajungă cu partea inferioară a acestuia;
- ancora sau partea de ancorare care are rolul de a se fixa în terenul de fundare și a face legătura cu partea superioară a acestuia unde poate fi amplasată o semisferă.

5.1.1.2 Materializarea mărcilor de control, sau punctelor de pe obiectul examinat

Materializarea punctele de nivelment marcate pe obiectivul supus observațiilor, se realizează prin intermediu 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.

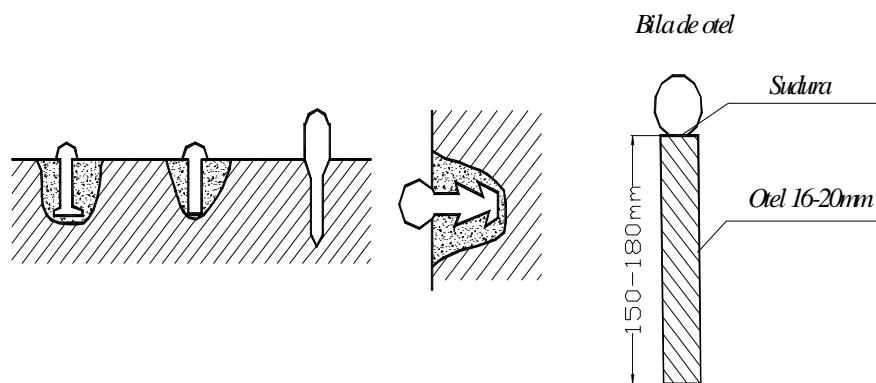


Figura 5.9 Mărci de nivelment pentru încastrare în construcție

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 reperului. Una din principalele părți ale reperului, marca de adâncime, este țeava de protecție care trebuie să izoleze tija reperului de influențele unor eventuale frecări de pământ. În consecință reperul marcă va fi supus influențelor exercitate de mișcările numai aceluia strat de pământ pe care se sprijină piciorul reperului.

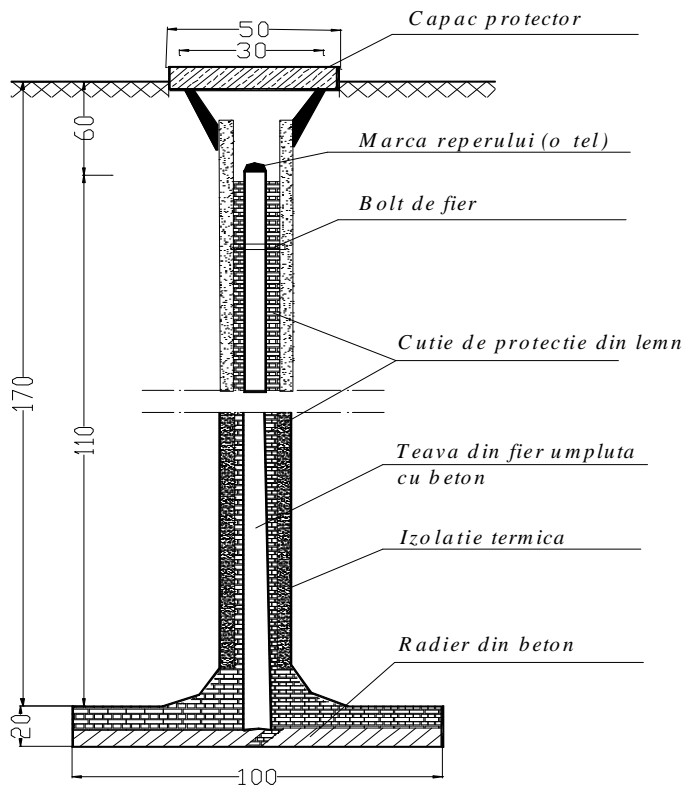


Figura 5.10 Marcă reper de adâncime T. Lazzarini

Această marcă reper a fost 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. Tasarea stratului de sub picior poate fi sesizată la nivelul mărcii 2. 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.

Mărcile repere de acest tip sau de alte tipuri apropiate pot fi folosite pentru determinarea tasărilor straturilor de pământ, situate la diferite adâncimi, ceea ce se practică la cercetările barajelor de pământ.

Un alt timp de marcă – reper de adâncime este reprezentat în figura următoare și este propusă de Tarnovski și reprezintă o perfecționare a tipului precedent, pentru al folosii ca un reper prelungit. Aceasta se obține prin înșurubarea pe tija lui a unei bare metalice suplimentare terminate cu o marcă reper.

Înălțimea elementului prelungitor poate fi determinată cu ajutorul unui instrument de nivelment de precizie. Această marcă – reper este prelungită treptat și servește la transmiterea tasărilor stratului de pământ situat sub talpa reperului, la diferite etape de încărcare a construcției.

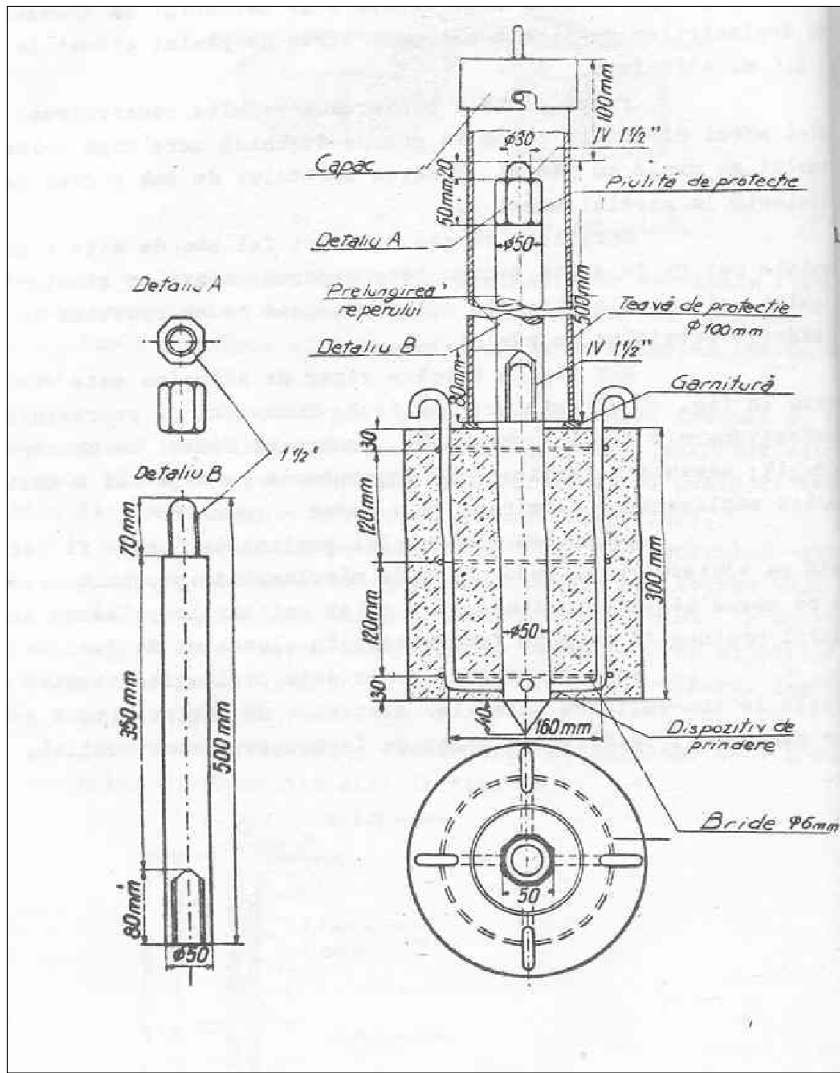


Figura 5.11 Marcă – reper de adâncime (pentru barajele de pământ)

5.1.2 Utilizarea metodei nivelmentului geometric de înaltă precizie

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 cercetării, 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 separate, sau a construcției care se tasează, pe care ele sunt fixate. Ele se încastrează în elementele de rezistență ale construcției și trebuie să asigure verticalizarea pe acestea a mirelor de nivelment sau montarea 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.

Reperele fixe 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.

Reperele fixe se pot clasifica în repere de suprafață și repere de adâncime.

Reperele fixe de adâncime și în mai mică măsură cele de suprafață au rolul de a asigura stabilitatea planului orizontal de referință, față de care se determină deplasările verticale ale punctelor de control, încastrate pe construcția luată în studiu.

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

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, în fiecare ciclu de măsurare;
- etapa prelucrării măsurătorilor pentru calculul deplasărilor verticale ale construcției și evaluarea preciziei include:
 - testarea stabilității reperelor fixe ale rețelei de referință, în raport cu care se efectuează măsurătoarea deplasărilor verticale ale construcției; dacă se constată că unele din reperele fixe 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 află;
 - întocmirea documentației tehnice a cercetării.

5.1.2.1 Proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru determinarea tasărilor

5.1.2.1.1 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 repere de control, de exemplu 2, nu este suficient pentru a putea calcula și reprezenta care dintre acestea și-a modificat poziția inițială (în cazul în care apare o diferență între cotele absolute ale acestora).

Reperele de control trebuie să fie situate reciproc în așa fel, ca stabilitatea fiecăruia dintre ele să poată fi apreciată cu ajutorul, cel puțin a unei drumuiri, 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.

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

$$d_{\max} = \pm 2\mu\sqrt{n} \quad 5.1$$

în care: μ - eroarea medie pătratică a unității de pondere;

m - eroarea de măsurare.

Rezultă următoarea expresie:

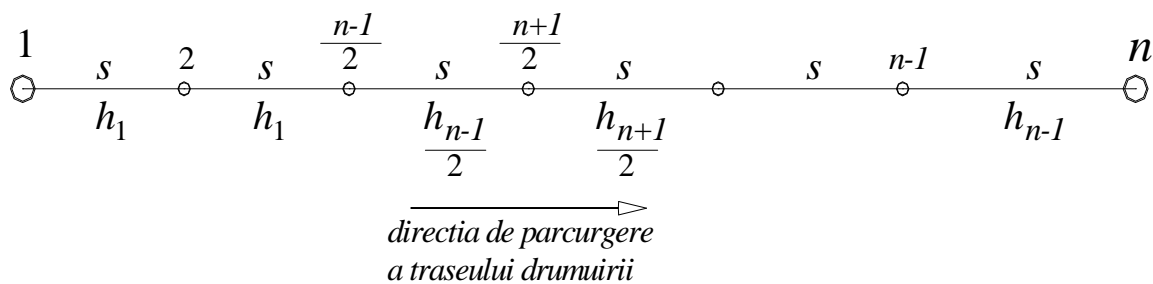
$$n \leq \left(\frac{m}{2\mu} \right)^2 \quad 5.2$$

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 două repere 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 coronamentelor barajelor, drumuirile nivelitice paralele cu axul podurilor care nu au repere 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 lungimea maximă 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 repere n . Primul și ultimul reper le considerăm ca repere de control, iar celelalte puncte se consideră a fi repere mobile.



F

Figura 5.12 Drumuirea de nivelment geometric

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

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

5.3

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

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

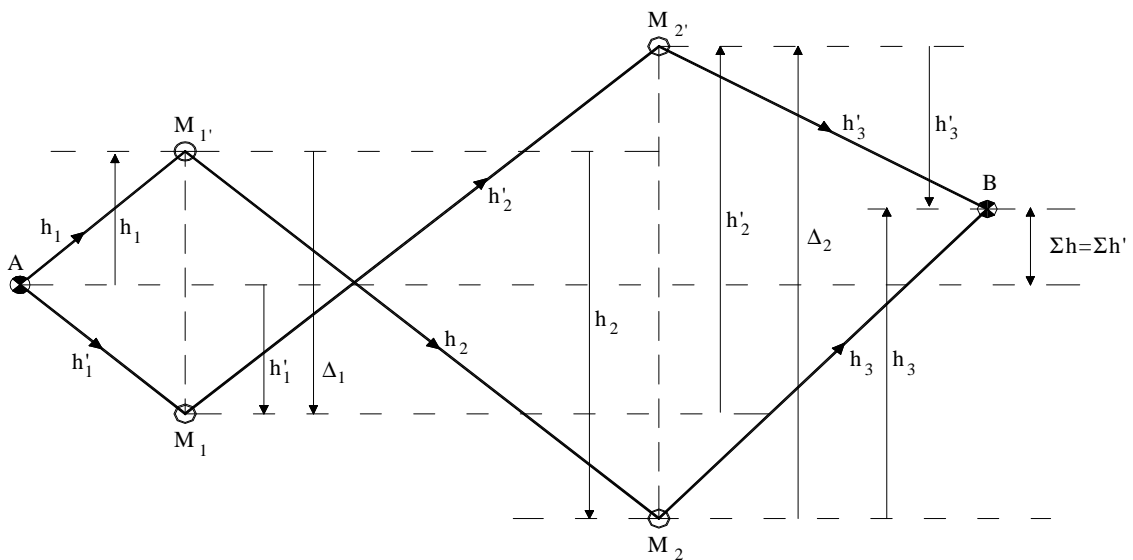


Figura 5.13 Rețea nivelment sub formă de drumuire sprijinită la capete

În figură sau folosit următoarele notații:

- A și B – reperi de control ficși;
- M₁ și M₂ – 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);
- h₁, h₂, h₃ – diferențele de nivel deduse din observațiile inițiale (ciclul I);
- h'₁, h'₂, h'₃ - diferențele de nivel deduse din observațiile actuale (ciclul II);
- v₁, v₂, v₃ – corecțiile diferențelor de nivel măsurate inițial;
- v'₁, v'₂, v'₃ – corecțiile diferențelor de nivel măsurate actual;
- Δ₁, Δ₂ – deplasările verticale (tasările) mărcilor 1 și 2 în intervalul dintre cele două cicluri de măsurători.

Considerăm pentru început eliminarea valorilor h_3 și h'_3 și raportăm deplasările mărcilor 1 și 2 numai la un singur reper de contro A, se obține:

$$\begin{aligned} h_1 + \Delta_1 &= h'_1 \\ h_1 + h_2 + \Delta_2 &= h'_1 + h'_2 \end{aligned} \quad 5.4$$

Rezultă:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= h'_1 - h_1 \\ \Delta_2 &= (h'_1 + h'_2) - (h_1 + h_2) = \Delta_1 + (h'_2 - h_2) \end{aligned} \quad 5.5$$

Exprimând relația în general se poate scrie:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} + h'_i - h_i \quad 5.6$$

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:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 \quad 5.7$$

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

$$v_1 - v'_1 + v_2 - v'_2 + v_3 - v'_3 + w = 0 \quad 5.8$$

În ecuația de mai sus w se exprimă sub forma: $w = \sum (h_i - h'_i)$ 5.9

Dacă cele două puncte de reper formează o rețea alcătuită din două drumuri de nivelment sprijinite la capete pe aceleași două repere de control A și B și notând cu $M_1, M_2 \dots M_3$ 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:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 \quad 5.10$$

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

5.11

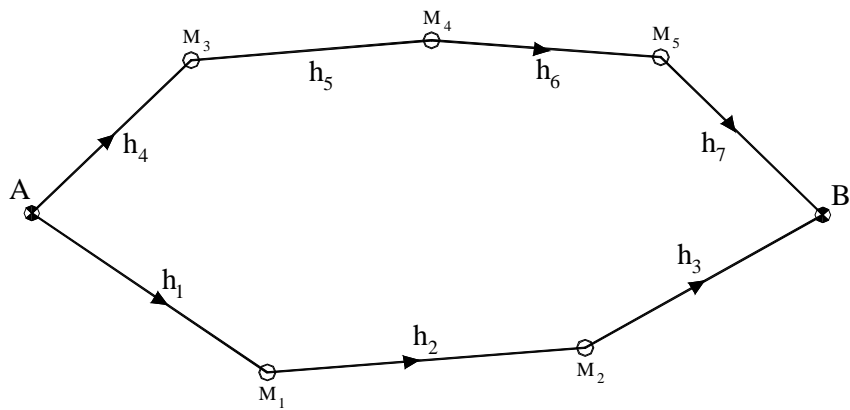


Figura 5.14 Rețea de nivelment cu două drumuri sprijinite la capete

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:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \quad 5.12$$

$$h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 = h'_4 + v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \quad 5.13$$

Se poate observa că ultima ecuație reprezintă o combinație liniară 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 drumuirilor de nivelment.

Pe baza analizării modelului propus în cele două figuri prezentate, ținând cont de tipul rețelei de sprijin, respectiv, drumuri 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 măsurătorilor de două ori a două diferențe de nivel h_1 și h_2 .

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

Combinând afirmațiile de mai sus, rezultă că în drumuirile nivelitice izolate, adică în drumuirile care se sprijină la ambele capete pe repere de control, numărul ecuațiilor de condiție independente se scrie:

$$N = D - M \quad 5.14$$

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 drumuiri de nivelment formată din 3 repere A , B și C pentru care se pot scrie următoarele ecuații:

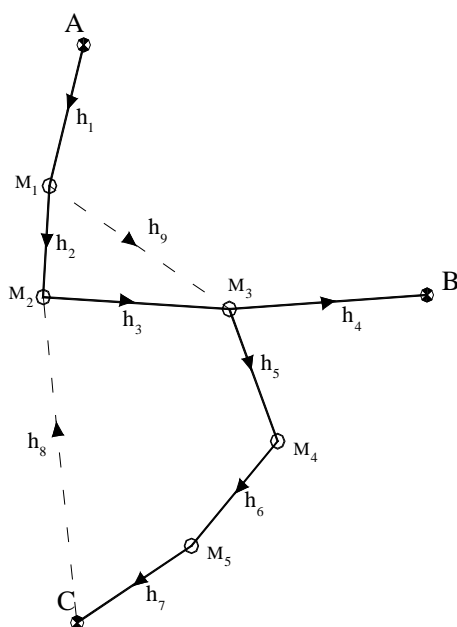


Figura 5.15 Rețea de nivelment cu 3 repere de sprijin

$$\begin{aligned} h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \\ -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \end{aligned} \quad 5.15$$

$$\begin{aligned} h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + \\ + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \end{aligned}$$

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 care $D=7$ și $M=5$. Existența liniilor de închidere a drumuirilor marcate punctat, adică drumuiri nivelitice închise pe punctul de plecare, creează posibilitatea scrierii unei condiții suplimentare și deci numărul ecuațiilor independente în rețea se determină cu relația:

$$N = D - M + I \quad 5.16$$

în care: I reprezintă numărul închiderilor.

Relația de mai sus se poate verifica tot în rețeaua din figura de mai sus 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 2.6 sunt:

$$\begin{aligned}
 1. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_8 + v_8 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 \\
 2. & h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_4 + v'_4 \\
 3. & h_2 + v_2 + h_3 + v_3 - h_9 - v_9 = 0 \\
 4. & h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 - h'_9 - v'_9 = 0 \\
 5. & h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 - h_8 - v_8 = 0 \\
 6. & h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 - h'_8 - v'_8 = 0 \\
 7. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \quad 5.17 \\
 8. & h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\
 9. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \\
 & = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\
 10. & -h_8 - v_8 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = -h'_8 - v'_8 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \\
 11. & -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\
 12. & h_2 + v_2 + h_8 + v_8 - h_7 - v_7 - h_6 - v_6 - h_5 - v_5 - h_9 - v_9 = 0 \\
 13. & h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 - h'_7 - v'_7 - h'_6 - v'_6 - h'_5 - v'_5 - h'_9 - v'_9 = 0
 \end{aligned}$$

Din ecuațiile 2.45, 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:

$$\begin{aligned}
 a_1 v_1 - a'_1 v'_1 + a_2 v_2 - a'_2 v'_2 + a_8 v_8 - a'_8 v'_8 + w_a &= 0 \\
 b_1 v_1 - b'_1 v'_1 + b_4 v_4 - b'_4 v'_4 + b_9 v_9 - b'_9 v'_9 + w_b &= 0 \\
 c_2 v_2 + c_3 v_3 - c_9 v_9 + w_c &= 0 \quad 5.18 \\
 d'_2 v'_2 + d'_3 v'_3 - d'_9 v'_9 + w_d &= 0 \\
 e_3 v_3 + e_5 v_5 + e_6 v_6 + e_7 v_7 - e_8 v_8 + w_e &= 0
 \end{aligned}$$

$$f'_3 v'_3 + f'_5 v'_5 + f'_6 v'_6 + f'_7 v'_7 - f'_8 v'_8 + w_f = 0$$

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

$$w_a = (h_1 + h_2 + h_8) - (h'_1 + h'_2 + h'_8)$$

$$w_b = (h_1 + h_4 + h_9) - (h'_1 + h'_4 + h'_9)$$

$$w_c = (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9)$$

5.19

$$w_d = (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9)$$

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

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

Coeficienții ecuațiilor de condiție ale corecțiilor

Tabel 5.1

	v_1	v'_1	v_2	v'_2	v_3	v'_3	v_4	v'_4	v_5	v'_5	v_6	v'_6	v_7	v'_7	v_8	v'_8	v_9	v'_9	w
a_i	+1	-1	+1	-1											+1	-1			w_1
b_i	+1	-1					+1	-1									+1	-1	w_2
c_i			+1		+1													-1	w_3
d_i				+1		+1												-1	w_4
e_i					+1				+1		+1		+1		-1				w_5
f_i						+1				+1		+1		+1		-1			w_6

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.

$$\left[\frac{aa}{p} \right] K_1 + \left[\frac{ab}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{af}{p} \right] K_6 + w_a = 0$$

$$\left[\frac{ab}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bb}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{bf}{p} \right] K_6 + w_b = 0$$

$$\left[\frac{ac}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bc}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{cf}{p} \right] K_6 + w_c = 0$$

$$\left[\frac{ad}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bd}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{df}{p} \right] K_6 + w_d = 0$$

5.20

$$\left[\frac{ae}{p} \right] K_1 + \left[\frac{be}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{ef}{p} \right] K_6 + w_e = 0$$

$$\left[\frac{af}{p} \right] K_1 + \left[\frac{bf}{p} \right] K_2 + \dots + \left[\frac{ff}{p} \right] K_6 + w_f = 0$$

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

$$v_i = \frac{a_i}{p_i} K_1 + \frac{b_i}{p_i} K_2 + \dots + \frac{f_i}{p_i} K_6$$

$$v'_i = \frac{a'_i}{p'_i} K_1 + \frac{b'_i}{p'_i} K_2 + \dots + \frac{f'_i}{p'_i} K_6 \quad 5.12$$

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) mărcilor, calcul care se poate realiza pe mai multe căi, luând ca bază pentru control diferite repere stabile.

$$1. \Delta M_2 = (h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2) - (h_1 + v_1 + h_2 + v_2)$$

$$2. \Delta M_2 = (-h'_4 - v'_4 - h'_3 - v'_3) - (-h_4 - v_4 - h_3 - v_3) \quad 5.22$$

$$3. \Delta M_2 = (-h'_8 - v'_8) - (-h_8 - v_8)$$

$$4. \Delta M_2 = (h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 - h'_3 - v'_3) - (h_1 + v_1 + h_9 + v_9 - h_3 - v_3)$$

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 poate fi ± 1 .

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

$$w = [h] - [h'] \quad 5.23$$

Astfel soluția normală se va scrie:

$$2s(n-1)k + w = 0 \quad 5.24$$

$$k = -\frac{w}{2s(n-1)} \quad 5.25$$

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

$$v_i = \frac{a_i}{p_i} k = \frac{1}{s} \left(-\frac{w}{2s(n-1)} \right) = -\frac{w}{2(n-1)} \quad 5.26$$

$$v'_i = \frac{a'_i}{p'_i} k = \frac{-1}{\frac{1}{s}} \left(-\frac{w}{2s(n-1)} \right) = +\frac{w}{2(n-1)} \quad 5.27$$

Eroarea medie pătratică a unității de pondere va fi:

$$(\mu) = \sqrt{\frac{[p'vv] + [p'v'v']}{1}} = \pm \frac{w}{\sqrt{2s(n-1)}} \quad 5.28$$

În continuare eroarea medie pătratică a deplasării reperului din mijlocul drumuirii după compensarea diferențelor de nivel respective adică, reperul $\frac{n+1}{2}$, această deplasare pe verticală, ca sumă a diferențelor între valori compensate, este:

$$F_1 = \frac{\Delta_{n+1}}{2} = (h'_1 + v'_1) - (h_1 + v_1) + \dots + \left(\frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) - \left(\frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) \quad 5.29$$

Relația 5.29 reprezintă o sumă de deplasări a unei funcții și deci eroarea medie pătratică a deplasării reperului din mijloc:

$$\Delta_i = F_i(h'_i + v'_i, h_i + v_i) \quad 5.30$$

Eroarea funcției F_1 se determină astfel:

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_i} = f_i = -1 \quad \text{și} \quad \frac{\partial F_1}{\partial h'_i} = f'_i = +1 \quad 5.31$$

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

$$m_{F_1} = \pm \mu \cdot \sqrt{\left[\frac{ff}{p} \cdot 1 \right]} \quad 5.32$$

în care 1 reprezintă numărul succesiv al ultimei corecții.

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

$$F_2 = \frac{\Delta_{n-1}}{2} = (h'_1 + v'_1) - (h_1 + v_1) + \dots + \left(\frac{h'_{n-3}}{2} + \frac{v'_{n-3}}{2} \right) - \left(\frac{h_{n-3}}{2} + \frac{v_{n-3}}{2} \right) \quad 5.33$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_i} = \varphi_i = -1 \quad \text{și} \quad \frac{\partial F_2}{\partial h'_i} = \varphi'_i = +1 \quad 5.34$$

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

$$m_{F_2} = \pm \mu \cdot \sqrt{\frac{s(n-3) \cdot (n+1)}{2(n-1)}} \quad 5.35$$

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 reperelor vecine 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:

$$\mu_{mm} = \sqrt{\frac{s(n-1)}{2}} \leq M_{\Delta mm} \quad 5.37$$

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:

$$s(n-1) \leq 2 \frac{M_{\Delta}^2}{\mu^2} \quad 5.38$$

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

$$H = h_1 + h_2 + \dots + h_n \quad 5.39$$

Diferențele de nivel parțiale sunt însoțite de erori m_h , în cazul în care lungimile porteele fiind 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:

$$\frac{\partial f}{\partial h_i} = 1 \text{ și } \left(\frac{\partial f}{\partial h_i} \right)^2 = 1 \quad 5.40$$

adică se poate scrie egalitatea:

$$m_H^2 = m_{h_1}^2 \cdot 1 + m_{h_2}^2 \cdot 1 + \dots + m_{h_n}^2 \cdot 1$$

$$m_H^2 = m_h^2 \cdot n \quad 5.41$$

$$m_H = m_h \cdot \sqrt{n}$$

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

Din studiul efectuat se poate trage următoarea concluzie: astfel, se recomandă ca numărul de niveleuri executate într-o drumuire de nivelment geometric de precizie să fie cât mai mic, datorită faptului că prin crearea unui număr suplimentar de niveleuri se mărește în final lungimea totală a drumuirii și prin aceasta creșterea lui m_h .

Astfel, la proiectarea drumurilor 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 drumurilor nivelitice de precizie la maxim 1000 m.

5.1.2.1.2. 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 observația 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 de sus 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.

În paragraful anterior s-au prezentat câteva tipuri de mărci și reperi care se folosesc la drumurile de nivelment geometric.

5.1.2.1.3. 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 de mai jos:

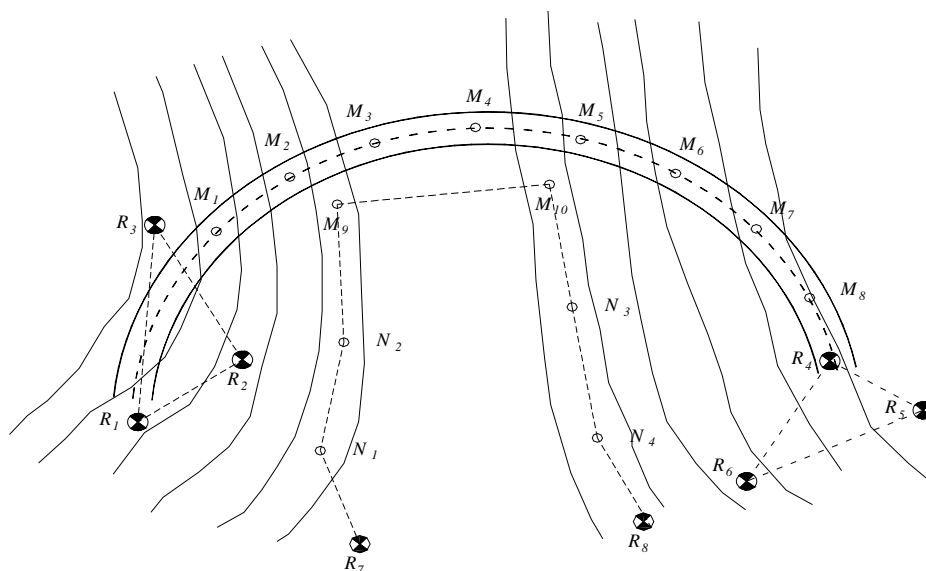


Figura 5.16 Dispunerea drumurilor de nivelment geometric la un baraj arcuit

În figurile următoare se prezintă amplasamentul reperelor de control și a mărcilor de tasare, amplasați 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.

În figurile de mai jos se propune un model de repartție 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 drumuri cu opt stații stabile, din care se fac observațiile pentru tasarea infrastructurilor unui pod cu o singură deschidere.

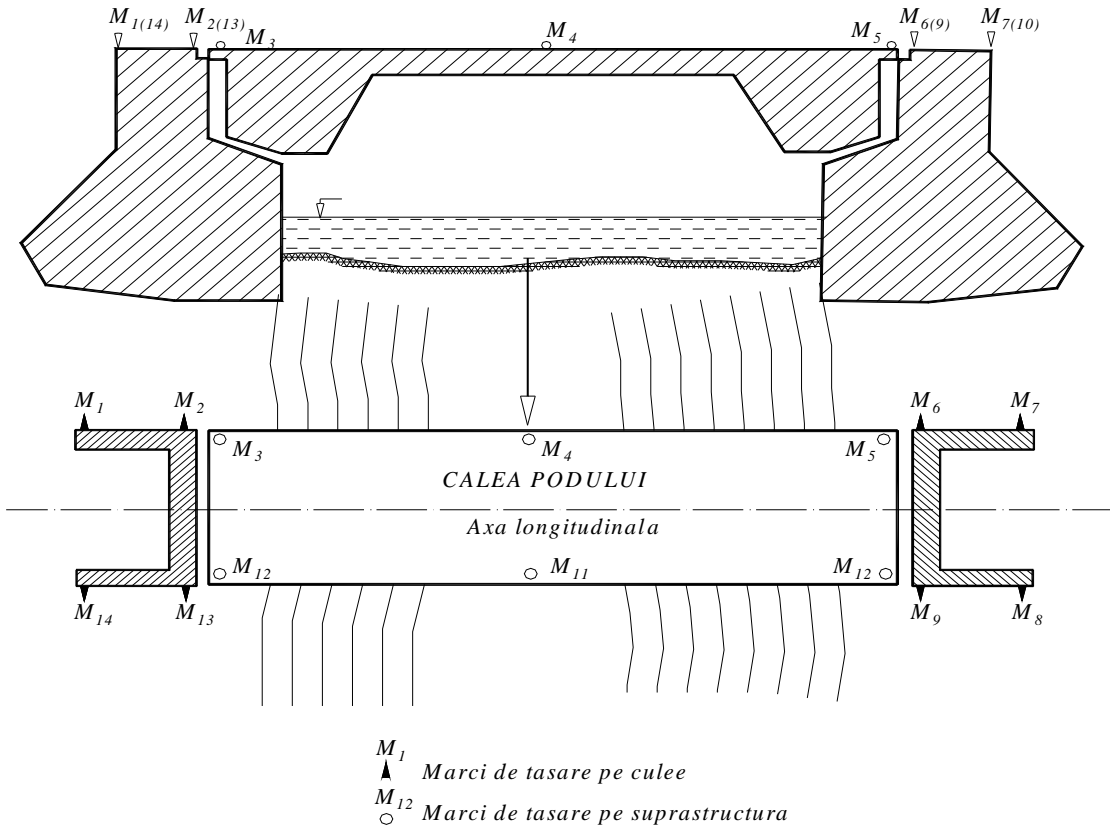


Figura 5.17 Repartiția mărcilor de tasare pe culei și pe suprastructura podului

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 focalizare a lunetei instrumentului).

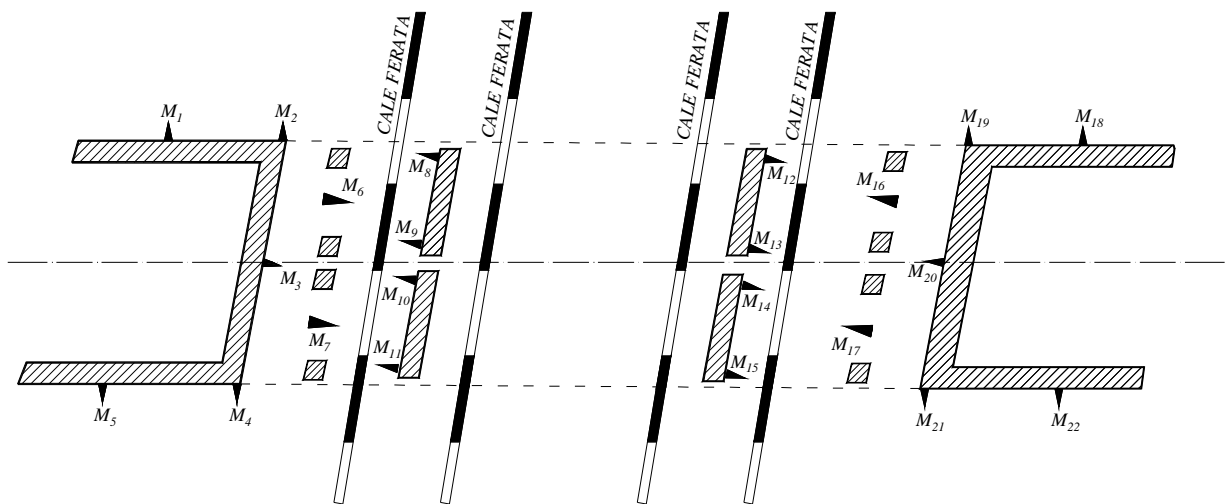


Figura 5.18 Amplasarea mărcilor de tasare pe suportii unui pasaj superior

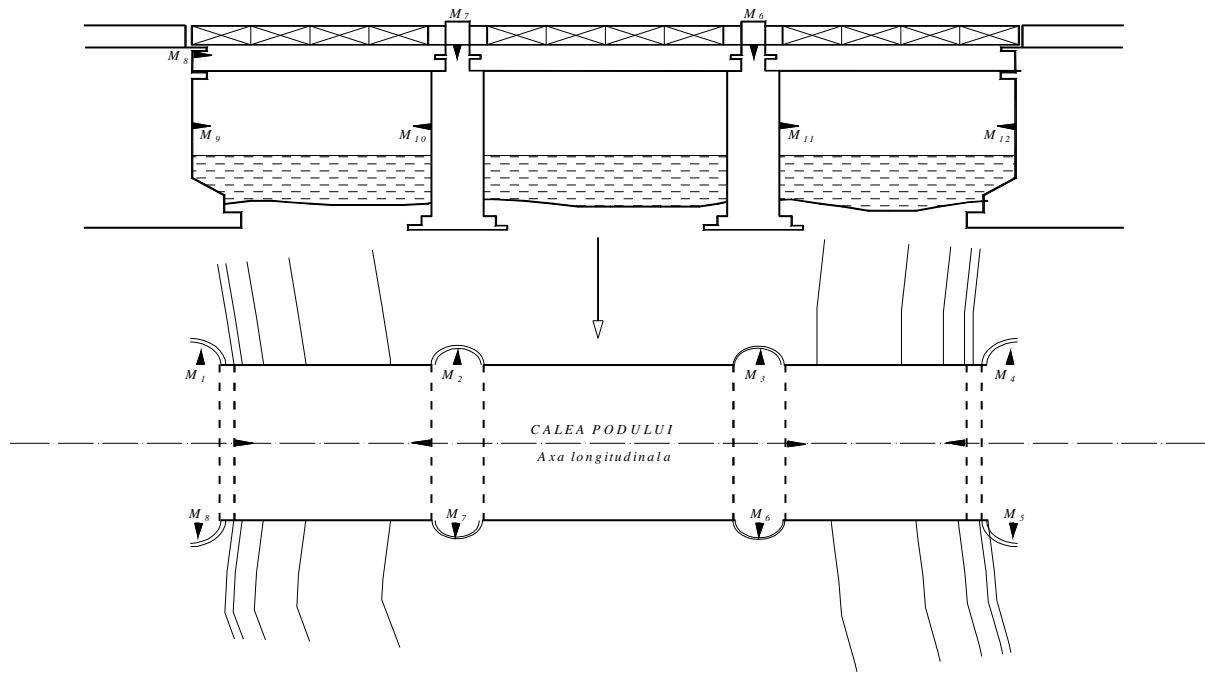


Figura 5.19 Amplasarea mărcilor de tasare la diferite nivele ale suporturilor

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 figura 5.20.a se descrie un exemplu 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 de la nivelul topografic la miră sau reflector.

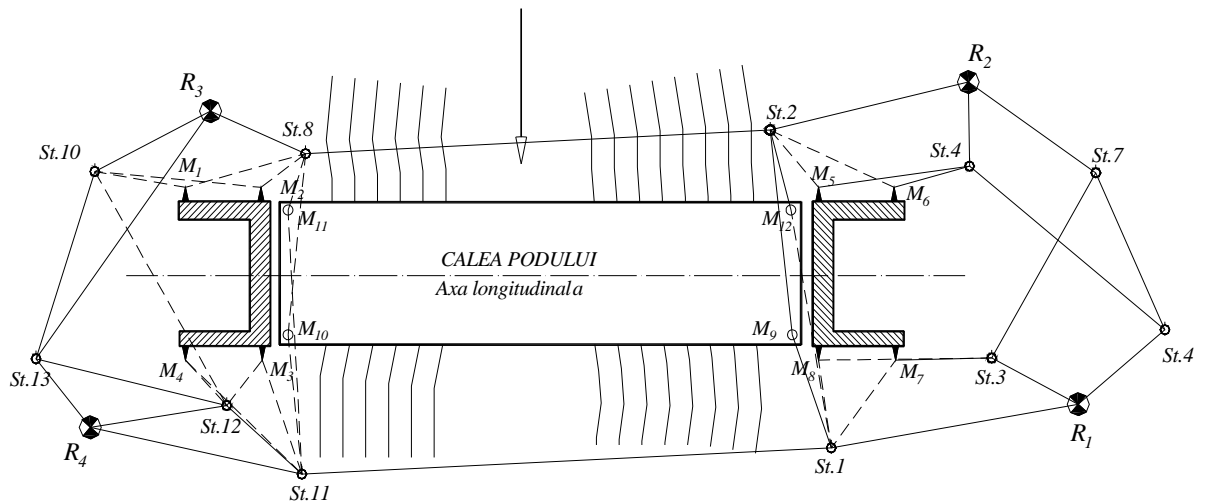


Figura 5.20a Schema drumurilor de nivelment – pod cu singură deschidere

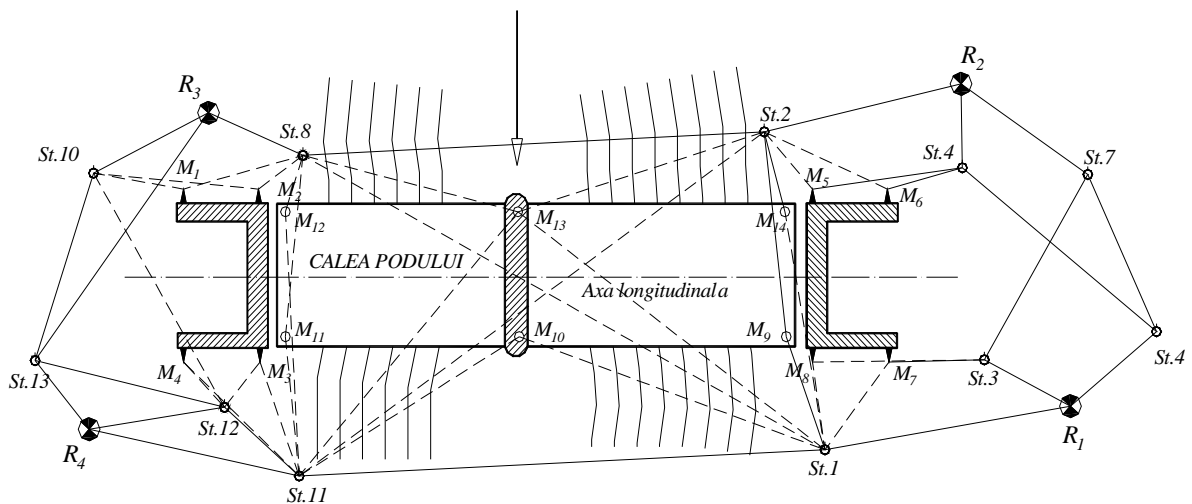


Figura 5.20 b Rețeaua drumurilor de nivelment pentru pod cu două deschideri

5.1.2.2 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 măsurătorilor ea poate avea și un caracter sistematic.

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

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

$$m_{\tau} = \pm 0,09 \cdot \sqrt{\tau^{cc}} \quad 5.42$$

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:

$$m_{\Delta h} = \pm \frac{d \cdot m_{\tau}}{\rho^{cc}} \quad 5.43$$

Astfel, la o eroare de rectificare a axei de vizare $m_{\tau} = \pm 0,3^{cc}$ rezultă o valoare de $\pm 0,015 \text{ mm} / 10 \text{ m}$. 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 la corecția de sfericitate și refracție va fi de $\pm 0,003 \text{ mm} / 10 \text{ m}$.

Mărimea erorii provocate de refracția 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 deformații 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 urmării comportării construcțiilor, deoarece în acest caz sunt cazuri de variații mari de temperatură, când aparatul este încălzit numai pe o parte.

Aceste variații de temperatură produc modificarea paralelismului între axele MN și LL ceea ce face să apară erori de măsurare a diferențelor de nivel. Astfel, acțiunea directă a radiațiilor solare asupra nivelei torice a instrumentului poate modifica poziția axei de vizare cu până la 40^{cc} , respectiv $\pm 5\text{mm} / 25\text{m}$.

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:

$$m_t = \pm l \cdot k_t \cdot m_{\Delta t} \quad 5.44$$

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 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 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 mirei nu se găsește peste punctul cel mai înalt conform figurii următoare, astfel în loc de valoarea l_0 se va citi valoarea l , mai mare.

Acestei citiri este necesar să se aplica o corecție:

$$l + \Delta l = l'_0 \quad 5.45$$

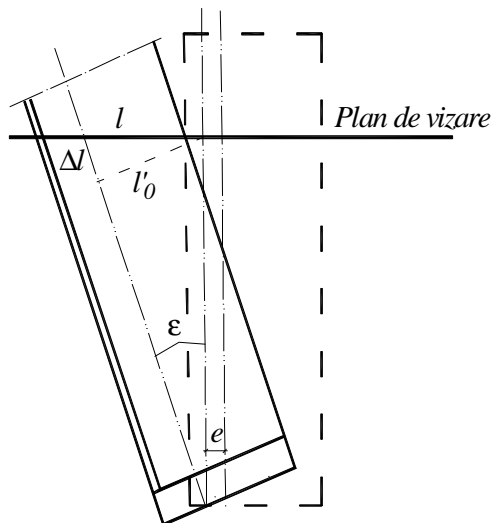


Figura 5.21 Determinarea corecției de excentricitate a benzii de invar

De unde rezultă în continuare:

$$\Delta l = l'_0 - l$$

$$\Delta l = l_0 - l$$

$$\Delta l = l \cos \varepsilon - l$$

5.46

$$\Delta l = -l(1 - \cos \varepsilon)$$

$$\Delta l = -2l \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}$$

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:

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

5.47

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 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.

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 refracția atmosferică 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:

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^n [S_i + (400^s - D_i)]}{2n} \quad 5.48$$

Eroarea medie pătratică a unui unghi zenital măsurat este:

$$m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad 5.49$$

Eroarea medie pătratică a unghiului zenital mediu va fi:

$$m_Z = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = \pm \frac{m_{Z_i}}{\sqrt{n}} \quad 5.50$$

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, 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 acesteia 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.

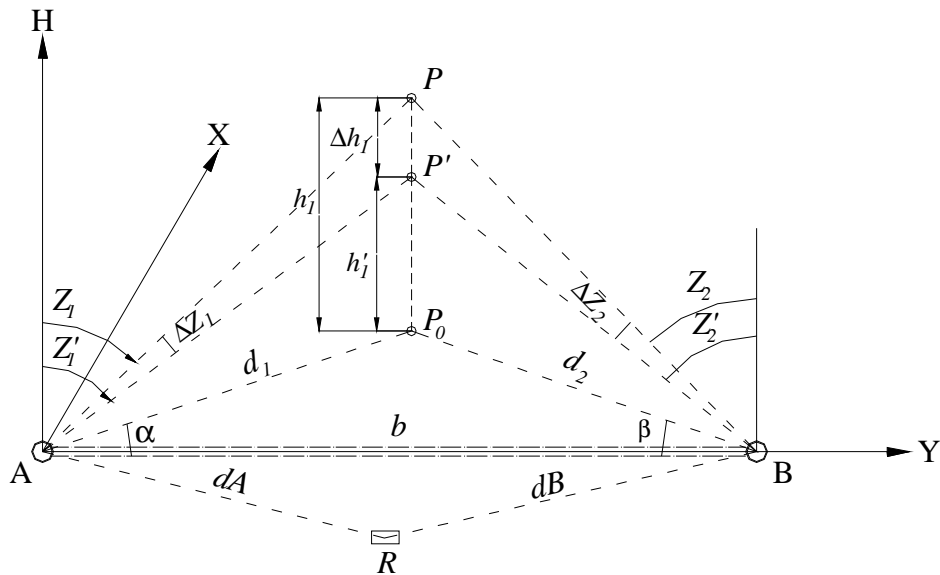


Figura 5.23 Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

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

$$H_I = H_A + h_I; \quad 5.51$$

în care:

H_A - orizontul instrumentului în punctul de stație A;

h_I - 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:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \operatorname{ctg} Z_A \quad 5.52$$

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:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \frac{(100^g - Z_A)^{cc}}{\rho^{cc}} \quad 5.53$$

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

$$h_I = d_1 \operatorname{ctg} Z_1 \quad 5.54$$

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:

$$H_I' = H_A' + h_I'; \quad 5.55$$

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

$$\Delta H_1 = H_1' - H_1 = (H_A' - H_A) + (h_1' - h_1) = \Delta H_A + \Delta h_1 \quad 5.56$$

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

$$\Delta H_2 = H_2' - H_2 = (H_B' - H_B) + (h_2' - h_2) = \Delta H_B + \Delta h_2 \quad 5.57$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= H_A' - H_A = d_A (\operatorname{ctg} Z_A - \operatorname{ctg} Z_A') \\ \Delta H_B &= H_B' - H_B = d_B (\operatorname{ctg} Z_B - \operatorname{ctg} Z_B') \end{aligned} \quad 5.58$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} \\ \Delta H_B &= \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} \end{aligned} \quad 5.59$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= \Delta H_A + \Delta h_1 = \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} - \frac{b \sin \beta}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_1} \Delta Z_1^{cc} \\ \Delta H_2 &= \Delta H_B + \Delta h_2 = \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} - \frac{b \sin \alpha}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_2} \Delta Z_2^{cc} \end{aligned} \quad 5.60$$

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

$$\Delta H_I = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} \quad 5.61$$

sau media ponderată a celor două valori:

$$\Delta H_I = \frac{p_1 \Delta H_1 + p_2 \Delta H_2}{p_1 + p_2} \quad 5.62$$

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 de relațiile:

$$p_1 = \frac{1}{m_{\Delta H_1}^2} \quad \text{și} \quad p_2 = \frac{1}{m_{\Delta H_2}^2} \quad 5.63$$

Metoda prezentată oferă posibilitatea determinării deplasării verticale a punctelor de control, 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 a urmării comportării lor în timp.

EVALUAREA PRECIZIEI DE DETERMINARE A DEPLASĂRILOR VERTICALE ALE CONSTRUCȚIILOR OBSERVATE

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:

$$m_{\Delta H_A}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial d_A} \right]^2 \cdot m_{d_A}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial Z_A} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial(\Delta Z_A)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_A}}{\rho} \right)^2 \quad 5.64$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial d_B} \right]^2 \cdot m_{d_B}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial Z_B} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial(\Delta Z_B)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_B}}{\rho} \right)^2 \quad 5.65$$

Calculându-se derivatele parțiale și introducându-le în relațiile 5.44 și 5.45, se obține pentru erorile medii pătratice ale diferențelor orizontului instrumentului, formulele:

$$m_{\Delta H_A}^2 = \Delta H_A^2 \left(\frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + 4\Delta H_A^2 \text{ctg}^2 Z_A \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_A}{\Delta Z_A} \right)^2 m_{\Delta Z_A}^2 \quad 5.66$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \Delta H_B^2 \left(\frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + 4\Delta H_B^2 \text{ctg}^2 Z_B \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_B}{\Delta Z_B} \right)^2 m_{\Delta Z_B}^2 \quad 5.67$$

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

$$m_{\Delta H_i}^2 = \left(\frac{\Delta H_A}{2} \right)^2 \left(\frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_B}{2} \right)^2 \left(\frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + (\Delta H_A \text{ctg} Z_A)^2 \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + (\Delta H_B \text{ctg} Z_B)^2 \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \frac{\Delta H_A^2}{2\Delta Z_A} m_{\Delta Z_A}^2 + \frac{\Delta H_B^2}{2\Delta Z_B} m_{\Delta Z_B}^2 \quad 5.68$$

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:

$$m_{\Delta H_i} = \left[\left(\Delta H \frac{m_d}{d} \right)^2 + \left(\sqrt{2} \Delta H \operatorname{ctg} Z_A \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{\sqrt{2} \Delta Z_A} m_{\Delta Z_A} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad 5.69$$

Erorile medii pătratice ale deplasărilor verticale, mai precis ale diferențelor de nivel determinate din cele două puncte de stație, se exprimă cu relațiile 5.50:

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

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

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

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

$$+ 4 \Delta h_1^2 \operatorname{ctg}^2 Z_1 \left(\frac{m_{Z_1}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h_1}{\Delta Z_1} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_1}^2, \quad 5.71$$

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

$$+ 4 \Delta h_2^2 \operatorname{ctg}^2 Z_2 \left(\frac{m_{Z_2}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h_2}{\Delta Z_2} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_2}^2, \quad 5.72$$

Pe baza relațiilor de mai sus, se deduce că eroarea medie pătratică a valorii medii pătratice 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° .

5.1.3. 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 precizie înaltă 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.

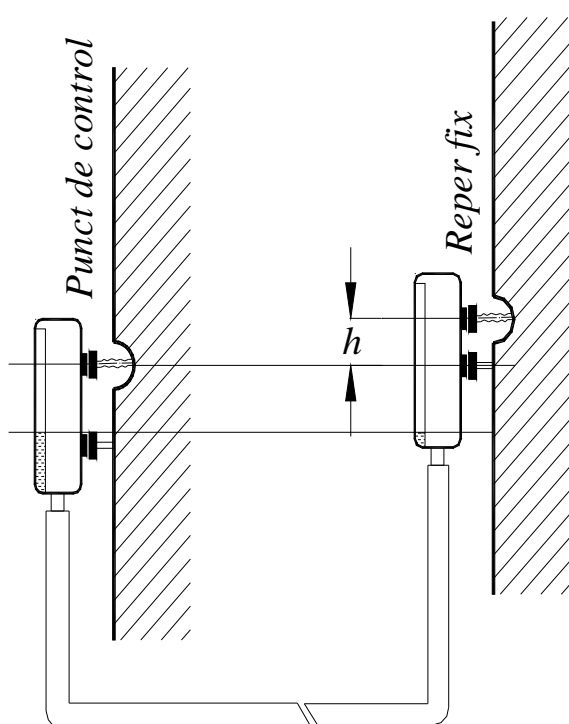


Figura 5.24 Principiul nivelmentului hidrostatic

Față de metoda nivelmentului geometric, metoda nivelmentului 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 precizie înaltă, pentru cazul studierii unor construcții aflate în 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, prezintă diferența de nivel dintre cele două puncte. În sistemul 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:

$$h = (d_2 - c_2) - (d_1 - c_1) = (d_2 - d_1) - (c_2 - c_1) \quad 5.73$$

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:

$$h = (d_2 - d_1) - (c'_1 - c'_2) \quad 5.74$$

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,

$$K = 0,5[(c_2 - c_1) + (c'_2 - c'_1)] \quad 5.75$$

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

$$h = 0,5[(c_1 - c_2) + (c'_2 - c'_1)] \quad 5.76$$

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:

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

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

5.77

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 asupra măsurătorilor 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 precizii, 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, în sistem 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.