

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII  
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII**

**Ing. Ioan Sorin HERBAN**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**CONTRIBUȚII LA APLICAREA METODELOR  
TOPOGRAFICE LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA  
DEPLASĂRILOR CONSTRUCȚIILOR  
ȘI ALE TERENULUI**

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT  
Prof.Dr.Ing. VIRGIL HAIDA**

<b>UNIV. "POLITEHNICA"</b>	
<b>TIMIȘOARA</b>	
<b>BIBLIOTECA CENTRALĂ</b>	
Nr. volum	<u>649.157</u>
Dulap	<u>369</u> Lit. <u>F</u>

**TIMIȘOARA  
2006**



# CUPRINS

<b>Capitolul 1. INTRODUCERE</b>	
1.1 Considerații generale	5
1.2 Definiții, clasificări și tipuri de deformații	7
1.3 Precizia necesară de măsurare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor	9
1.4 Metode de măsurare a deformațiilor și deplasărilor construcțiilor	10
1.5 Stadiul actual al problemelor de urmărire a deformațiilor construcțiilor prin metode topo-geodezice	12
1.5.1 Problematika urmăririi deformațiilor	12
1.5.1.1 Principiul stabilirii unui model al deformațiilor	13
1.5.1.2 Metode de interpretare a deformațiilor	16
1.5.2 Metode topo-geodezice folosite la determinarea deformațiilor construcțiilor	17
<b>Capitolul 2. DEPLASĂRI ȘI DEFORMAȚII ALE CONSTRUCȚIILOR DATORATE DEFORMĂRII TERENULUI DE FUNDARE</b>	
2.1 Compresibilitatea pământurilor	19
2.1.1 Generalități	19
2.1.2 Consolidarea pământurilor	20
2.1.3 Studiul compresibilității pământurilor în condiții de laborator	25
2.1.4 Studiul compresibilității în condiții de teren	29
2.2 Deformațiile terenului de fundare	32
2.2.1 Considerații generale privind calculul terenului de fundare	32
2.2.2 Fazele deformării și cedării terenului de fundare	37
2.2.3 Tipuri de tasări și deformații ale construcțiilor	41
2.3 Metode de calcul a tasărilor probabile	43
2.3.2 Calculul tasărilor cu ajutorul distribuției tensiunilor verticale în terenul de fundare	46
2.4 Concluzii privind urmărirea evoluției în timp a tasărilor construcțiilor	51
<b>Capitolul 3. IMPACTUL ALUNECĂRIILOR DE TEREN ASUPRA STABILITĂȚII ȘI REZISTENȚEI CONSTRUCȚIILOR</b>	
3.1 Elementele și fazele unei alunecări de teren	57
3.1.1 Definirea și descrierea elementelor unei alunecări de teren	57
3.1.2 Fazele unei alunecări de teren	60
3.2 Criterii de clasificare a alunecărilor de teren	63
3.2.1 Forma și adâncimea suprafeței de alunecare	63
3.2.2 Sensul de deplasare a frontului de desprindere	65
3.2.3 Viteza de deplasare a masei alunecate	67
3.2.4 Natura rocii afectată de alunecare	67
3.2.5 Orientarea suprafeței de alunecare față de stratificația rocilor	68
3.2.6 Starea fizică a rocilor din masa alunecată	69
3.2.7 Gradul de stabilizare a alunecării de teren	69
3.3 Cauzele principale ale producerii alunecărilor de teren	70
3.3.1 Considerații generale asupra coeficientului de siguranță și stabilitate	70
3.3.1 Modificarea pantei versanților și a stării interioare de eforturi	73
3.3.2.1 Eroziunea bazei versanților și a taluzurilor	75
3.3.2.2 Săpăturile executate la baza versanților sau pe versanți	76
3.3.2.3 Încărcarea versanților	77
3.3.3 Modificarea umidității rocilor din corpul versanților și taluzurilor	77

3.3.3.1 Precipitațiile atmosferice	78
3.3.3.2 Ridicarea nivelului apei subterane.	79
3.3.3.3 Efectul alterării rocilor.	80
3.3.4 Acțiunea mecanică a apei din versanți și taluzuri	82
3.3.4.1 Presiunea apei din pori și fisuri	83
3.3.4.2 Acțiunea înghețului	85
3.3.5 Acțiunea hidrodinamică a apei	86
3.3.5.1 Presiunea de filtrare a apei subterane	88
3.3.6 Modificarea unor proprietăți fizico-mecanice ale rocilor din corpul versanților și taluzurilor	89
3.3.7 Rolul solicitărilor dinamice în producerea alunecărilor de teren	90
3.3.7.1 Tixotropia rocilor	90
3.3.8.2 Șocuri seismice	92
3.3.7.3 Vibrațiile locale produse de explozii, trafic rutier sau feroviar, fundații de mașini	95
3.4 Cartarea și monitorizarea alunecărilor de teren	97
3.4.1 Cartarea inginero-geologică a alunecărilor de teren	97
3.4.2 Tehnici și metode de monitorizare a alunecărilor de teren	100
3.4.2.1 Aspecte generale privind urmărirea dinamicii fenomenelor de instabilitate a versanților și taluzurilor	100
3.4.2.2 Utilizarea măsurătorilor topo-geodezice la studiul și monitorizarea alunecărilor de teren	101
3.4.2.3 Observații staționare inginero-geologice	102
3.4.2.4 Urmărirea dinamicii alunecărilor de teren pe baza măsurătorilor de adâncime	104
3.5 Asigurarea protecției construcțiilor prin hărțile de risc la alunecare	109
3.5.1 Considerații generale	109
3.5.2 Metodologia elaborării hărților de risc la alunecare	110
3.5.2.1 Criterii de elaborare a hărților de risc	115
3.6 Concluzii	117
<b>Capitolul 4. UTILIZAREA MODELELOR LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR</b>	
4.1 Modele clasice pentru stabilirea deformațiilor	121
4.1.1 Relația cauză-efect	121
4.1.2 Aspecte generale privind alegerea unui model de deformație	123
4.1.2.1 Crearea unei rețele de urmărire	123
4.1.2.2 Cunoștințe apriorice asupra unui model de deformație	124
4.1.2.3 Discretizare în domeniul geometric	124
4.1.2.3 Discretizarea în domeniul timp	125
4.1.2.4 Caracteristici ale modelelor clasice de deformație	125
4.1.3 Modele statice pentru studiul deformațiilor construcțiilor	129
4.1.3 Modele cinematice în studierea deformațiilor construcțiilor	133
4.2 Modele moderne pentru stabilirea deformațiilor	137
4.2.1 Utilizarea modelelor dinamice la studiul și urmărirea deformațiilor	137
4.3 Concluzii	137

<b>Capitolul 5. METODELE TOPO-GEODEZICE SI APORTUL ACESTORA LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR</b>	
5.1 Metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor	139
5.1.1 Marcarea punctelor rețelelor de nivelment utilizate la urmărirea deformațiilor construcțiilor	140
5.1.1.1 Materializarea reperilor de control	140
5.1.1.2 Materializarea mărcilor de control sau a punctelor de pe obiectul examinat	147
5.1.2 Utilizarea metodei nivelmentului geometric de înaltă precizie la determinarea deplasărilor verticale a construcțiilor	149
5.1.2.1 Proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru determinarea tasărilor	151
5.1.2.1.1 Repartiția spațială a reperilor de control	151
5.1.2.1.2 Stabilirea poziției mărcilor pe obiectivul supus observațiilor periodice	161
5.1.2.1.3 Amplasarea reperilor și a mărcilor de nivelment pentru diferite tipuri de construcții	162
5.1.2.2 Erorile întâlnite în cazul măsurării deplasărilor prin nivelment geometric	165
5.1.3 Metoda nivelmentului trigonometric de precizie	169
5.1.4 Utilizarea nivelmentului hidrostatic în determinarea deplasărilor construcțiilor masive	175
5.2. Metode topo-geodezice folosite la determinarea deplasărilor orizontale	179
5.2.1 Metoda microtriangulației și utilizarea acesteia la determinări ale deplasărilor	179
5.2.1.1 Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de stație în rețelele “incomplete”	184
5.2.1.2 Modul de determinare a deplasărilor orizontale ale punctelor de stație în rețelele incomplete	194
5.3. Metoda aliniamentelor și utilitatea acesteia în studiul deplasărilor orizontale	197
5.3.1 Metoda observării unui aliniament pe toată lungimea lui	198
5.3.2 Metoda observării unghiurilor paralactice	201
5.3.3 Metoda observării aliniamentelor paralele suplimentare	203
5.3.4 Metoda observării aliniamentelor intersectate	205
5.4 Metoda poligonometrică	206
5.5 Metoda microtrilaterației	211
5.5.1 Determinarea deplasărilor orizontale utilizând rețelele liniare	212
5.5.2 Determinarea deplasărilor orizontale utilizând poligonul cu săgeți	213
5.6 Concluzii	214
<b>Capitolul 6. STUDII DE CAZ</b>	215
<b>Capitolul 7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PERSONALE</b>	241
<b>BIBLIOGRAFIE</b>	244
<b>ANEXE</b>	249

## 1.1 Considerații generale

Încă din antichitate se cunoaște dorința omului de a concepe și construi obiective mărețe, dincolo de orice imaginație, unele dintre acestea construite cu scopul de a atinge cerul și de a ajunge chiar dincolo de el (Turnul Babel 3500 Î.C.) figura 1.1.



Figura 1.1. Turnul Babel

Dacă ne referim la zilele noastre, se poate spune că arhitecții împreună cu inginerii constructori “depășesc” limitele epocii în care trăim și privitorul are impresia că unele dintre edificiile care se construiesc astăzi aparțin unui viitor îndepărtat.

În lucrarea de față autorul își propune crearea unor modele pentru urmărirea comportării în timp a construcțiilor, pentru a determina deplasările și deformațiile pe care acestea le suferă, precum și a înțelege cauzele și fenomenele care sunt responsabile de deplasările acestora.

Asupra construcțiilor acționează trei categorii de încărcări și anume:

- încărcări provenite din greutatea proprie a elementelor componente;
- încărcări utile impuse de destinația funcțională a construcției;
- încărcări speciale datorate unor factori meteorologici și tectonici (vânt, temperatură, seisme, etc.).

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.

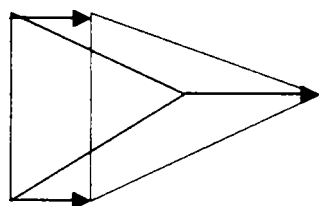
Cauzele particulare se pot datora insuficienței volumului de date geotehnice și hidrogeologice, precum și unor factori perturbatori accidentali (seisme, antrenare hidrodinamică, teren dificil de fundare, etc.)

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.

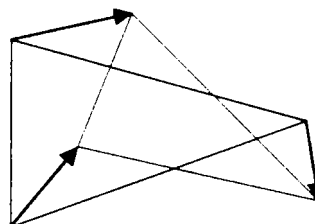
Verificările prin calcul a mărimii eforturilor unitare în secțiunile caracteristice ale construcțiilor, confruntate cu rezultatele unor încercări pe modele sau pe tronsoane de probă vor fi urmate de observații la aparatele de măsură instalate atât în corpul construcției cât și în exteriorul ei. Prin 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.

## 1.2 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.



a) Deplasare



b) Deformație

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 măsurătorilor 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.

### 1.3 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  $\pm 5$  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.

## 1.4 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 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 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.

## **1.5 Stadiul actual al problemelor de urmărire a deformațiilor construcțiilor prin metode topo-geodezice**

### **1.5.1 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 freatică; 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 deformativă, 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.**

#### **1.5.1.1 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:

$$D \rightarrow M \rightarrow D \rightarrow M \rightarrow D \rightarrow M \rightarrow \dots \quad 1.1$$

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  $\underline{d}_i$  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 procedurii "filtru de regresie", găsirea cauzelor de deformare cu efecte determinate asupra mișcării studiate.



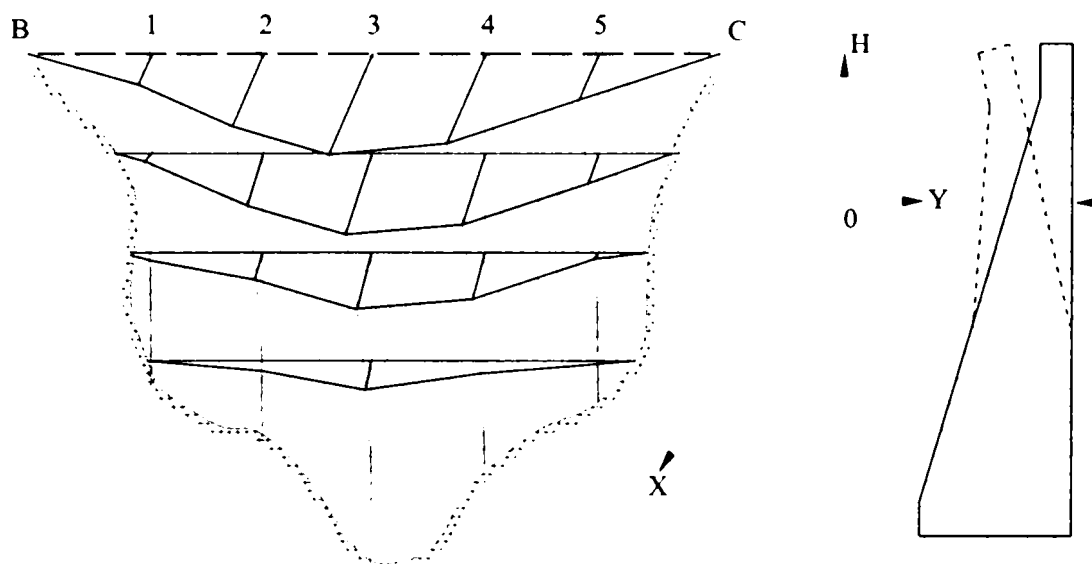


Figura 1.3 Modelul deplasării unui baraj de greutate când se ia în considerare presiunea exercitată de apa din lac

### 1.5.1.2 Metode de interpretare a deformațiilor

Solicitările și influențele repetate la care sunt supuse construcțiile, atât în timpul execuției cât și în timpul exploatării 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.

## METODE DE INTERPRETARE

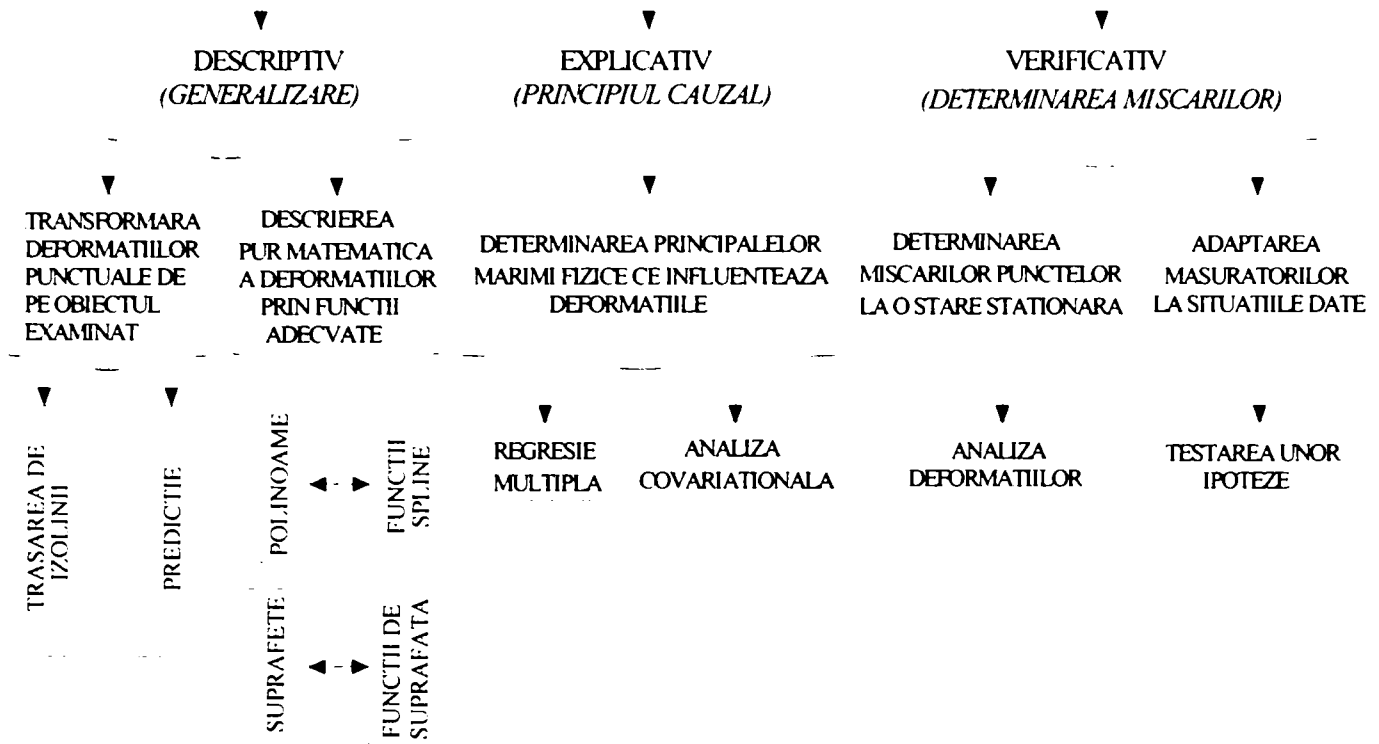


Figura 1.4 Metode de interpretare a deformațiilor

### 1.5.2 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

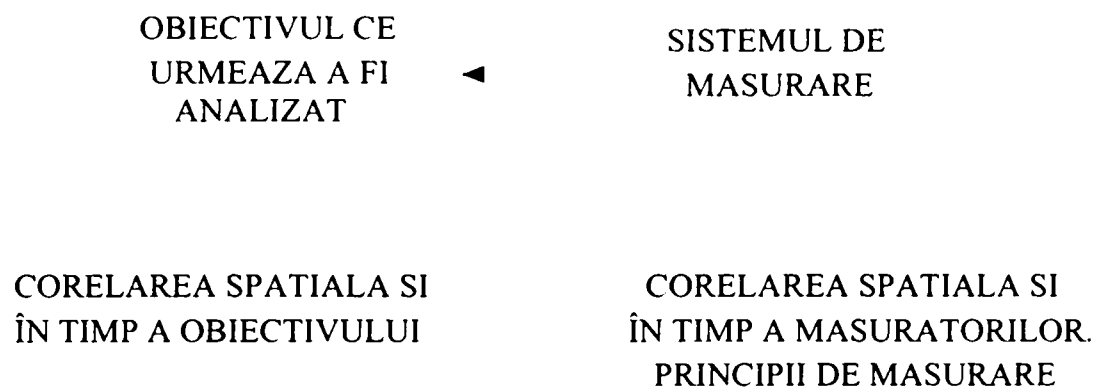


Figura 1.5. Corelația dintre comportarea obiectivului de cercetat  
și procedeele de măsurare

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. DEPLASĂRI ȘI DEFORMAȚII ALE CONSTRUCȚIILOR DATORATE DEFORMĂRII TERENULUI DE FUNDARE**

Sub acțiunea încărcărilor transmise de fundațiile construcțiilor, pământurile din care este alcătuit terenul de fundare se deformează. Mărimea deformațiilor este în funcție de intensitatea și durata încărcării, de mărimea și forma suprafeței prin care se transmite, precum și de natura terenului de fundare. Dacă mărimea încărcării atinge o valoare critică, se poate ajunge la epuizarea capacității portante a terenului de fundare, acesta pierzându-și stabilitatea prin formarea unor suprafețe de rupere în interiorul său. Pentru evaluarea cantitativă atât a deformațiilor cât și a capacității portante, în afara caracteristicilor fizice, este necesar să se cunoască și caracteristicile mecanice ale pământurilor care alcătuiesc terenul de fundare. Astfel, la calculul deformațiilor terenului de fundare se folosesc caracteristici de compresibilitate, iar determinarea capacității portante a acestuia necesită cunoașterea caracteristicilor rezistenței la forfecare.

### **2.1 Compresibilitatea pământurilor**

#### **2.1.1 Generalități**

Compresibilitatea reprezintă proprietatea pământurilor de a se deforma sub acțiunea unor încărcări de compresiune, proces în urma căruia acestea devin mai îndesate, mai compacte.

Fenomenele care au loc în interiorul unui masiv de pământ, pe durata procesului de deformare generat de acțiunea unor încărcări de compresiune, constau în:

- reducerea porozității pământului ca urmare a deplasării particulelor solide și reșezării lor într-o stare mai îndesată, mai compactă;
- eliminarea apei libere și a aerului din porii pământului, permițând deplasarea și rearanjarea particulelor solide într-o nouă poziție, mai stabilă cu interspații între ele mai reduse;
- comprimarea elastică a particulelor solide și chiar strivirea locală a unora dintre ele în zona punctelor de contact;
- deformarea, respectiv reducerea grosimii învelișurilor de apă absorbită în zona punctelor de contact a particulelor solide argiloase;

- comprimarea și dizolvarea parțială a aerului și gazelor din porii închiși ai pământurilor argiloase.

După cum se poate observa, fenomenele care definesc compresibilitatea pământurilor vizează cele trei faze componente ale acestora (faza solidă, faza lichidă și faza gazoasă). Însă sub aspect cantitativ efectul lor este mult diferențiat. Astfel, reducerea porozității prin apropierea și rearanjarea particulelor solide are un rol hotărâtor în procesul de deformare a pământului.

În cazul când porii pământului sunt plini cu apă, apropierea particulelor solide între ele, respectiv reducerea porozității, este posibilă numai pe măsură ce apa liberă este eliminată din pori, știind faptul că practic apa este incompresibilă.

Viteza de eliminare a apei libere din pori deci, în consecință durata procesului de deformare a pământului pe seama reducerii porozității, este dependentă de permeabilitatea pământului respectiv.

Comprimarea elastică a particulelor solide în zona punctelor de contact este neînsemnată față de mărimea totală a deformațiilor având totodată și un caracter reversibil. Deși eventualele striviri locale care pot interveni atunci când tensiunile din punctele de contact sunt mari au caracter ireversibil, contribuția lor la valoarea totală a deformațiilor este adesea neglijabilă.

La pământurile argiloase fin dispersate, ca urmare a eforturilor unitare din punctele de contact și a particulelor solide învelite cu apă legată fizic, se poate produce reducerea grosimii acestor învelișuri, o parte din apa slab legată trecând în apă liberă. Fenomenul însă, este de lungă durată și parțial ireversibil, efectul său putând fi luat în considerare în unele situații particulare de studiu a deformabilității în timp a pământurilor argiloase.

### **2.1.2 Consolidarea pământurilor**

Prin procesul de rearanjare a particulelor componente, respectiv de reducere a porozității sub acțiunea încărcărilor, se obține o așezare mai densă a granulelor și o mărire a numărului punctelor (suprafețelor) de contact, ceea ce conduce în final la sporirea rezistenței pământurilor. Din acest motiv, procesul de deformare în timp a pământurilor sub acțiunea unei încărcări constante poartă denumirea de *consolidare*.

Durata procesului de consolidare a pământurilor este condiționată de viteza de eliminare a apei libere din pori, care la rândul său depinde direct de permeabilitate, deci, se poate considera că fenomenul de consolidare este un fenomen caracteristic pentru pământurile argiloase care se caracterizează prin permeabilitate foarte scăzută.

La nisipuri, chiar dacă sunt saturate, nu se poate vorbi de un proces de consolidare în timp, deoarece, având permeabilitate mare, eliminarea apei se realizează practic odată cu aplicarea încărcării, dând posibilitatea particulelor solide să ocupe imediat poziții corespunzătoare unei stări mai compacte, mai îndesate. De aceea, în cazul unor terenuri de fundare alcătuite din nisipuri, se poate considera că procesul de deformare a acestora sub acțiunea încărcărilor transmise de fundații încetează odată cu terminarea creșterii încărcării adică cu terminarea execuției construcțiilor (figura 2.1.a).

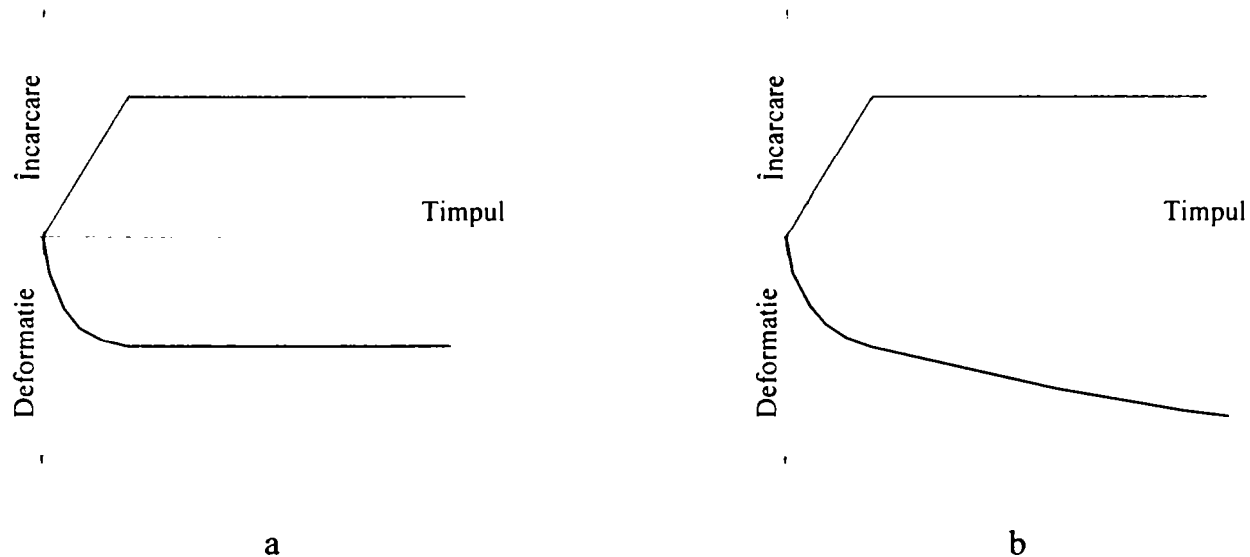


Figura 2.1. Curbele de variație a deformațiilor

La argile, mai ales în cazul celor saturate, datorită permeabilității reduse eliminarea apei din pori are loc cu viteză scăzută, ceea ce face ca procesul de deformare a pământului să continue și după încetarea sau stabilizarea încărcării (figura 2.1.b). Acest lucru se explică prin faptul că pe durata procesului de deformare (de consolidare) a unui strat de pământ argilos, încărcarea exterioară provenită de la fundația unei construcții este preluată de scheletul mineral solid cât și de apa liberă din pori. Pe măsura trecerii timpului partea de încărcare (presiune), preluată de scheletul mineral solid crește, iar cea preluată de apa liberă din pori scade datorită eliminării acesteia.

În consecință, procesul de consolidare al unui pământ argilos saturat, sub acțiunea unei presiuni  $p$ , constă în transferul acestei presiuni de la apa liberă din pori la scheletul mineral solid. Presiunea preluată de către scheletul mineral solid, poartă denumirea de presiune efectivă ( $p'$ ) sau tensiune efectivă ( $\sigma'$ ), iar presiunea preluată de apa liberă reprezintă presiunea neutrală ( $p_w$ ) sau presiunea apei din pori ( $u$ ).

Evoluția în timp a raportului dintre presiunea efectivă  $p'$  și presiunea neutrală  $p_w$  pe durata procesului de consolidare a unui pământ argilos, poate fi urmărită în figura 2.2.

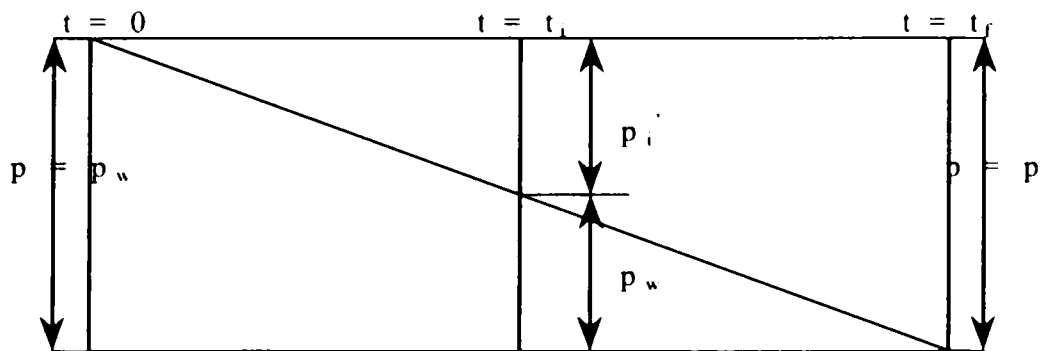


Figura 2.2. Evoluția în timp a presiunii efective și neutrale

Din definiția fenomenului de consolidare și din explicația acestuia cu ajutorul modelului mecanic prezentat, rezultă că sub acțiunea fiecărei presiuni aplicate se realizează o stare de consolidare. Dacă un strat de pământ argilos, consolidat la o anumită presiune, este supus ulterior la o presiune sporită, acesta se va consolida în continuare, corespunzător sporului de presiune aplicat.

Procesul de consolidare a unei argile saturate poate fi împărțit în două etape distincte: consolidare primară și consolidarea secundară.

La consolidarea primară, pe măsura eliminării apei libere din porii pământului, are loc reducerea porozității prin procesul de alunecare a particulelor unele față de altele spre o poziție mai compactă. Consolidarea primară se consideră practic terminată odată cu încheierea transferării presiunii de la apa liberă din pori la scheletul solid al argilei. Consolidarea secundară constă în continuarea procesului de deformare a argilei pe seama reducerii grosimii învelișului de apă absorbită din jurul particulelor solide.

Durata în care tasarea unei construcții atinge valoarea finală, adică se stabilizează, este dependentă de natura pământului din care este alcătuit terenul de fundare.

Tasarea construcțiilor fundate pe pământuri nisipoase evoluează relativ rapid, practic desfășurându-se aproape în totalitate în perioada de execuție a construcției; numai o mică parte a tasării se mai produce în perioada inițială de exploatare.

În cazul pământurilor argiloase, deformarea acestora, respectiv consolidarea lor sub acțiunea încărcărilor transmise de construcții se produce mult mai lent, tasarea construcției continuând să evolueze și după terminarea acesteia.

Cantitativ și calitativ procesul de consolidare (tasare) a unui strat de pământ compresibil este influențat de următorii factori:

- presiunea  $p$  aplicată la suprafața stratului;
- indicele porilor  $e$ ;

- coeficientul de compresibilitate  $a_v$ , respectiv coeficientul de compresibilitate volumică  $m_v$ , care se poate exprima în funcție de  $a_v$  și  $e$  prin următoarea relație de legătură:

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e} \quad 2.1$$

- coeficientul de permeabilitate  $k$ ;
- grosimea stratului compresibil  $H$ .

Prin raportarea tasării  $s_t$  corespunzătoare unui anumit timp  $t$  de la aplicarea încărcării, la tasarea finală  $s$  obținută după încheierea consolidării pământului respectiv, se obține gradul de consolidare  $U$ :

$$U\% = 100 \frac{s_t}{s}, \quad 2.2$$

unde tasarea finală  $s$  se poate calcula cu relația:

$$s = \frac{a_v p H}{1 + e} = m_v p H \quad 2.3$$

Pentru urmărirea dinamicii procesului de tasare în practică interesează următoarele două probleme:

- determinarea mărimii tasării  $s_t$  după un timp oarecare  $t$  de la aplicarea încărcării;
- determinarea timpului  $t$  în care gradul de consolidare  $U$  atinge o anumită valoare dată.

Consolidării monodimensionale (unidimensionale) în direcție verticală, îi corespunde următoarea ecuație diferențială:

$$c_v \frac{\delta^2 \sigma_z^|}{\sigma z^2} = \frac{\delta \sigma_z^|}{\delta t} \quad 2.4$$

în care:

$\sigma_z^|$  - reprezintă efortul unitar vertical efectiv într-un punct al stratului compresibil;

$c_v$  - este coeficientul de consolidare exprimat prin următoarea relație:

$$c_v = \frac{k(1 + e)}{\gamma_w m_v} = \frac{k}{\gamma_w m_v}, \quad 2.5$$

unde  $\gamma_w$  reprezintă greutatea volumică a apei

Condițiile de contur ale ecuației (2.2) depind de :

- posibilitățile de drenare a apei pe fața superioară și inferioară a stratului compresibil; dacă drenarea apei se poate face înspre cele două suprafețe, atunci în calcul grosimea stratului se ia egală cu  $H/2$ ;
- modul de repartizare pe adâncime a eforturilor unitare verticale.



După integrarea ecuației diferențiale (2.4) și efectuarea unor transformări se ajunge la următoarea expresie pentru gradul de consolidare:

$$U = \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N} - \frac{8}{9\pi^2} e^{-9N}\right), \quad 2.6$$

în care  $N$  se calculează cu relația:

$$N = \frac{\pi^2 c_v}{4H^2} t = \frac{\pi^2}{4} T_v \quad 2.7$$

Mărimea  $T_v = \frac{c_v}{H^2} t$  poartă denumirea de factor de timp al consolidării.

În figura 2.3 sunt redate cazurile de repartizare a eforturilor unitare verticale pe adâncimea stratului compresibil care se consideră în calcule ingineresti.

Cazul “0” se referă la repartizarea uniformă în adâncime a eforturilor unitare  $p$ , cazul “1” corespunde repartizării triunghiulare a eforturilor unitare din greutate proprie, iar cazul “2” asimilează distribuția reală pe adâncimea eforturilor unitare verticale, generate de o încărcare uniform distribuită la suprafața stratului deformabil, cu o reprezentare triunghiulară. Cazurile “0-1” și “0-2” corespund repartizării trapezoidale a eforturilor și provin din combinarea celor menționate anterior.

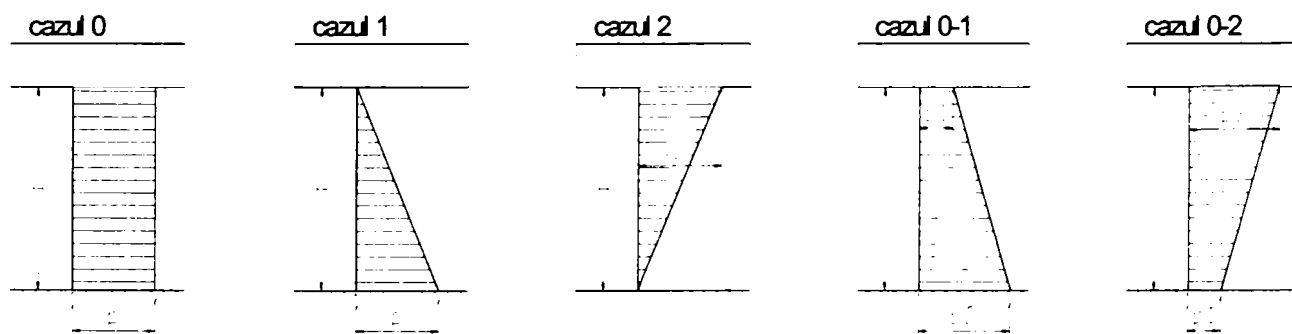


Figura 2.3 Scheme de repartizare pe adâncime a eforturilor unitare verticale

În tabelul 2.1 sunt date valorile  $U$  și  $N$ , cu ajutorul cărora se pot determina, prin aplicarea relațiilor de calcul prezentate, atât cât tasarea  $s_t=f(t)$  cât și timpul  $t$  la care consolidarea (tasarea) stratului atinge un anumit grad dat.

Pentru cazurile de distribuție trapezoidală 0-1 și 0-2, valorile  $N$  sunt date de expresiile:

$$N_{0-1} = N_0 + (N_1 - N_0)I \quad 2.8$$

$$N_{0-2} = N_2 + (N_0 - N_2)I^I \quad 2.9$$

în care coeficienții  $I$  și  $I^I$  sunt dați în tabelul 2.2 în funcție de raportul  $\lambda = p_1/p_2$  ( $p_1$  și  $p_2$  fiind valorile presiunilor de la suprafața și respectiv a stratului deformabil).

$U = \frac{s_t}{s}$	Valoarea N			$U = \frac{s_t}{s}$	Valoarea N		
	Cazul 0	Cazul 1	Cazul 2		Cazul 0	Cazul 1	Cazul 2
0.05	0.005	0.006	0.002	0.55	0.59	0.84	0.32
0.10	0.02	0.12	0.005	0.60	0.71	0.95	0.42
0.15	0.04	0.18	0.01	0.65	0.84	1.10	0.54
0.20	0.08	0.25	0.02	0.70	1.00	1.24	0.69
0.25	0.12	0.31	0.04	0.75	1.18	1.42	0.88
0.30	0.17	0.39	0.06	0.80	1.40	1.64	1.08
0.35	0.24	0.47	0.09	0.85	1.69	1.93	1.36
0.40	0.31	0.55	0.13	0.90	2.09	2.35	1.77
0.45	0.39	0.63	0.18	0.95	2.80	3.17	2.54
0.50	0.49	0.73	0.24	1.00	$\infty$	$\infty$	$\infty$

Valorile coeficienților I și I'

Tabelul 2.2

Cazul	$\lambda$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Cazul 0-1	$I$	1.00	0.84	0.69	0.56	0.46	0.36	0.27	0.19	0.12	0.06	0.06
	$I'$	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	6.00	7.00
Cazul 0-2	$I'$	1.00	0.83	0.71	0.62	0.55	0.50	0.45	0.42	0.39	0.34	0.32
	$\lambda$	8.00	9.00	10.0	12.0	15.0	20.0	-	-	-	-	-
	$I'$	0.27	0.25	0.23	0.20	0.17	0.13	-	-	-	-	-

Între timpii de consolidare  $t_1$  și  $t_2$  corespunzători grosimii  $H_1$  și  $H_2$  pentru două straturi din același pământ, există următoarea relație de legătură:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{H_1^2}{H_2^2} \tag{2.10}$$

Relația (2.10) poate fi folosită pentru trecerea de la timpul de consolidare a unei probe, supuse încercării edometrice în laborator, la cel corespunzător consolidării stratului din natură.

### 2.1.3 Studiul compresibilității pământurilor în condiții de laborator

Cunoașterea capacității de deformare a pământurilor și a caracteristicilor sale de compresibilitate, reprezintă una din problemele importante ale geotehnicii. Pe baza caracteristicilor de compresibilitate se pot evalua și prevedea deformațiile pe care terenul de fundare le suferă sub acțiunea încărcărilor transmise de fundațiile construcțiilor.



Figura 2.4 Edometrul

În condiții de laborator, pentru studiul compresibilității pământurilor și determinarea cantitativă a unor indici de compresibilitate se utilizează un aparat numit edometru. (figura 2.4).

Pe baza rezultatelor încercării de compresibilitate în edometru se pot trasa două diagrame caracteristice pentru pământul analizat: curba de compresiune-tasare și curba de compresiune-porozitate.

Curba de compresiune-tasare constă în reprezentarea grafică a dependenței dintre tasarea specifică și presiunea exercitată asupra unei probe de pământ supusă încercării de compresibilitate în edometru.

Tasarea specifică, corespunzătoare unei trepte de încărcare  $p_i$  este definită prin raportul dintre deformația verticală ( $\Delta h_i$ ) stabilizată sub acțiunea încărcării  $p_i$  și înălțimea inițială a probei  $h_0$ , exprimându-se în procente:

$$\varepsilon_i \% = 100 \frac{\Delta h_i}{h_0} \quad 2.11$$

Considerând pe curba de compresiune-tasare un interval determinat de presiunile  $p_1$  și  $p_2$  cărora le corespund tasările specifice  $\varepsilon_1$  și  $\varepsilon_2$  se poate defini modulul de deformație edometric  $M$  cu relația:

$$M = \operatorname{tg} \alpha = \frac{p_2 - p_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon} \quad 2.12$$



Figura 2.5. Curba de compresiune tasare:

a. reprezentare normală;

b. reprezentare semilogaritmică

La trasarea curbei de compresiune-tasare se poate folosi și scara logaritmică pentru reprezentarea pe abscisă a valorilor presiunii (figura 2.5.b) în acest caz concavitățile curbei este inversată.

Din curba de compresiune-tasare se poate determina și tasarea specifică, pentru orice valoare a presiunii, însă tot pentru a compara pământurile în funcție de compresibilitate se folosește tasarea specifică corespunzătoare presiunii de  $200 \text{ kPa}$  ( $\varepsilon_{p=2}$ ). În funcție de această valoare pământurile se pot grupa astfel:

- pământuri puțin compresibile:  $\varepsilon_{p=2} < 2\%$
- pământuri compresibile:  $\varepsilon_{p=2} = 2 - 6\%$
- pământuri foarte compresibile:  $\varepsilon_{p=2} > 6\%$

Curba de compresiune porozitate constă în reprezentarea grafică a dependenței dintre indicele porilor și presiunea aplicată asupra probei încercate în edometru (figura 2.6).

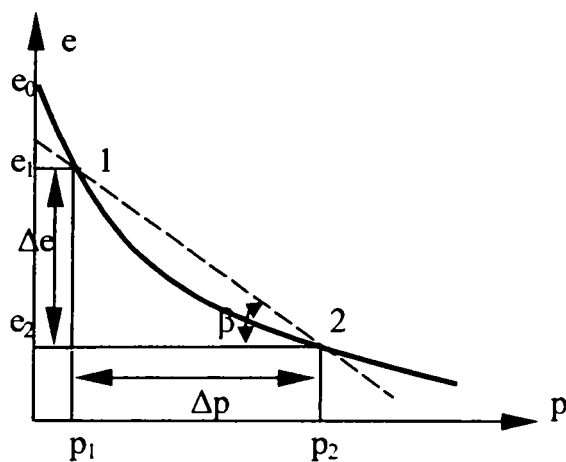


Figura 2.6 Curba de compresiune porozitate

Pentru exprimarea indicelui porilor  $e_i$ , corespunzător unei trepte de încărcare  $p_i$ , în funcție de tasarea stabilizată ( $\Delta h_i$ ), se stabilește relația de legătură dintre variația specifică de volum (sau de înălțime a probei) și variația indicelui porilor. Având în vedere că deformația laterală a probei este împiedicată, rezultă că:

$$\frac{\Delta V_i}{V_0} = \frac{V_0 - V_i}{V_0} \quad 2.13$$

unde:  $V_0$  – volumul total inițial al probei;

$A$  – aria secțiunii transversale a probei;

$h_0$  – înălțimea inițială a probei;

$\Delta V_i$  - variația de volum a probei corespunzătoare treptei de încărcare  $p_i$ .

Variația specifică de volum poate fi exprimată și sub forma:

$$\frac{\Delta V_i}{V_0} = \frac{V_0 - V_i}{V_0} \quad 2.14$$

unde:  $V_i$  volumul total al probei la sfârșitul acțiunii treptei de încărcare  $p_i$

Notând cu  $e_0$  indicele porilor inițial și cu  $e_i$  indicele porilor corespunzător tasării stabilizate sub treapta de încărcare  $p_i$ , volumele  $V_0$  și  $V_i$  se pot scrie astfel:

$$V_0 = V_s(1 + e_0) \text{ și}$$

$$V_i = V_s(1 + e_i)$$

Prin înlocuire în relația 2.13 se obține:

$$\frac{\Delta V_i}{V_0} = \frac{e_0 - e_i}{1 + e_0} = \frac{\Delta e_i}{1 + e_0} \quad 2.15$$

Din relațiile de mai sus rezultă:

$$e_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} = \frac{e_0 - e_i}{1 + e_0} \text{ sau } e_i = e_0 - \frac{\Delta h_i}{h_0}(1 + e_0) \quad 2.16$$

adică, pentru a putea trasa curba de compresiune porozitate, atunci când se cunosc tasările ( $\Delta h_i$ ), trebuie să se cunoască indicele porilor inițial  $e_0$ .

Din curba de compresiune porozitate se determină:

- coeficientul de compresibilitate  $a_v$  definit ca raport între variația indicelui porilor  $\Delta e$  și variația corespunzătoare a presiunii  $\Delta p$  (figura 2.6).

$$a_v = \operatorname{tg} \beta = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} = \frac{\Delta e}{\Delta p} \quad 2.17$$

- coeficientul de compresibilitate volumică  $m_v$ , care se calculează cu relația:

$$m_v = a_v \frac{1}{1 + e_0} \quad 2.18$$

Între modulul de deformație edometric  $M$  și coeficientul de compresibilitate  $a_v$ , există următoarea relație de legătură directă:

$$M = a_v (1 + e_1) \text{ sau } a_v = \frac{1}{M} (1 + e_1) \quad 2.19$$

în care  $e_1$  are semnificația precizată anterior.

În funcție de valorile modulului de deformație edometric  $M_{2-3}$  și ale coeficientului de compresibilitate  $a_v$ , determinate pentru intervalul de presiune de 200 și 300 kPa, pământurile se clasifică conform tabelului 2.3 de mai jos:

Clasificarea pământurilor după compresibilitate

Tabelul 2.3

Compresibilitatea pământului	$M_{2-3}$ kPa	$a_v$ 1/kPa
Practic incompresibil	> 50 000	< 0,00003
Cu compresibilitate redusă	20 000 – 50 000	0,00003 – 0,0001
Cu compresibilitate medie	10 000 – 20 000	0,0001 – 0,0002
Cu compresibilitate mare	5 000 – 10 000	0,0002 – 0,0005
Cu compresibilitate foarte mare	< 5 000	> 0,0004

#### 2.1.4 Studiul compresibilității în condiții de teren

După cum s-a văzut, în condiții de laborator se pot determina unele caracteristici de compresibilitate ( $M$ ,  $a_v$ ,  $m_v$ ) ale pământurilor prin încercări edometrice. Faptul că la încercările efectuate în edometru deformarea laterală a probei de pământ este complet împiedecată, aceasta nu realizează întocmai condițiile de deformare a straturilor de pământ din natură. De asemenea rezultatele obținute sunt influențate și de o oarecare deranjare a structurii probelor, intervenită atât la prelevarea din stratul natural cât și la pregătirea lor pentru încercare. De aceea, în prezent se consideră că deformabilitatea (compresibilitatea) pământului este mai bine caracterizată de modulul de deformație liniară  $E$ , care se determină în condiții de teren prin încercări cu placa, efectuate în sondaje deschise sau în foraje.

Încercarea propriu-zisă constă în încărcarea în trepte a plăcii și măsurarea tasărilor pământului de sub placă. Pentru fiecare treaptă de încărcare  $p_l$  se măsoară deplasarea pe verticală a plăcii, adică tasarea pământului de sub placa  $s_l$ , la diferite intervale de timp  $t$ , până la stabilizarea acesteia. Cu datele obținute se reprezintă grafic diagramele  $p_l-s_l$ ,  $p_l-t_l$  și  $s_l-t_l$ .

Pe baza diagramei de variație a tasării stabilizate  $s_l$  în funcție de presiunea netă  $p_l$ , aplicată prin intermediul plăcii asupra pământului, se determină presiunea limită  $p_l$ , până la care se poate considera că există o dependență aproximativ liniară între tasare și presiune.

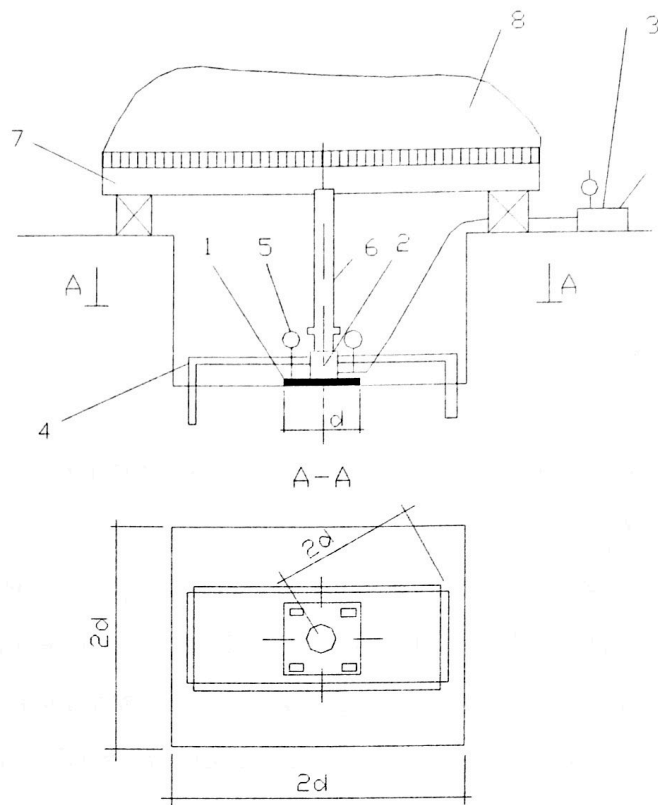


Figura. 2.7 Schema încărcării cu placa

- 1- placă de încărcare; 2- presă hidraulică; 3- pompă; 4- cadru de referință;  
5- microcomparator; 6- prelungitor; 7- platformă de testare; 8-lest

În general sunt posibile două situații:

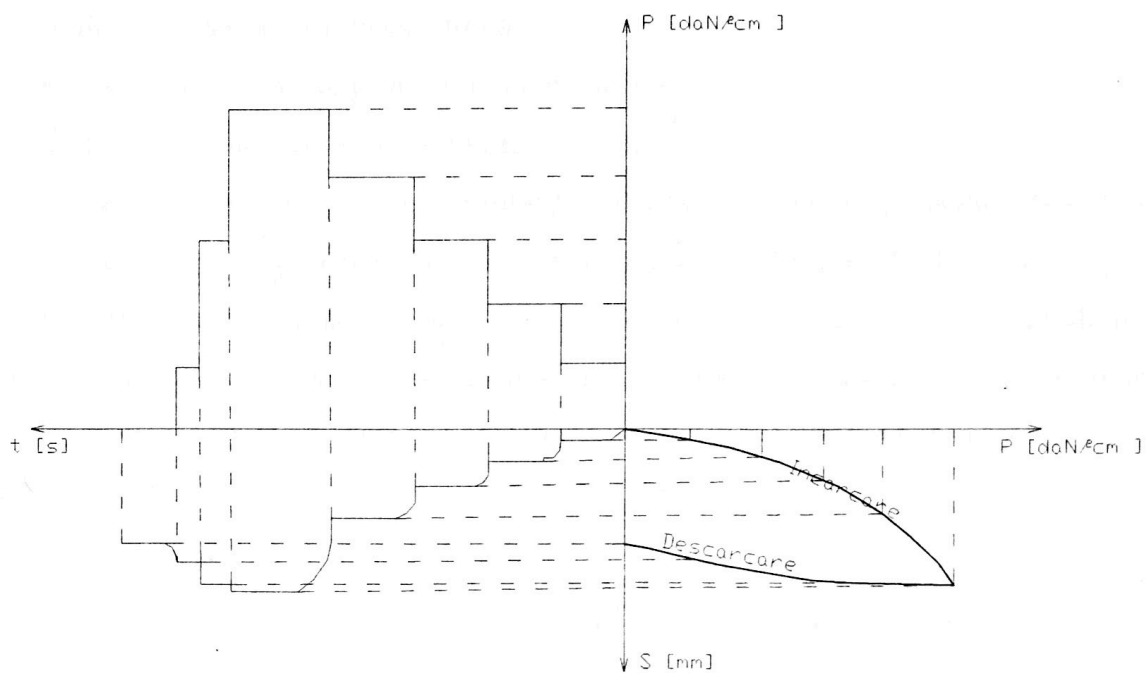


Figura 2.8 Reprezentarea grafică a rezultatelor

Figura 2.9 Determinarea directă a presiunii  $p_l$

Figura 2.10 Determinarea prin calcul a presiunii  $p_l$

-pe diagrama  $p_l-s_l$  se distinge clar o porțiune aproximativ rectilinie (figura 2.9) care este limitată superior de valoarea presiunii limită de proporționalitate  $p_l$ ;

-diagrama  $p_l-s_l$  are pronunțat caracter curbiliniu chiar de la primele trepte de încărcare (figura 2.10); în acest caz, drept presiune limită de proporționalitate se ia presiunea  $p_l$  corespunzătoare treptei de încărcare pentru care este îndeplinită condiția:

$$(s_{i+1} - s_i) \geq 1,5(s_i - s_{i-1}) \quad 2.20$$

Modulul de deformație liniară  $E$  al stratului de pământ supus încercării cu placa se determină cu următoarea relație:

$$E = \frac{\omega \cdot p_l \cdot d}{s_l} \cdot (1 - \nu^2), \quad [\text{kPa}] \quad 2.21$$

unde  $\omega$  - coeficient adimensional dependent de forma plăcii de încercare (0,79 pentru placa circulară și 0,88 pentru placa pătrată);

$p_l$ - presiunea limită de proporționalitate, în kpa;

$d$ - diametrul sau latura plăcii, în m;

$s_l$  – tasarea corespunzătoare presiunii  $p_l$ , extrasă din diagrama presiune – tasare, în m;

$\nu$ - coeficient de deformare laterală al pământului (coeficientul lui Poisson).

În cazul când nu se dispune de posibilități pentru determinarea modulului de deformație liniară  $E$  prin încercări experimentale de teren, valoarea sa se poate aproxima pe baza măririi modulului de deformație edometric  $M$ , prin intermediul unui coeficient de corecție  $M_0$ :

$$E = M_0 \cdot M \quad 2.23$$

Valoarea coeficientului  $M_0$  este funcție de natura pământului și se determină experimental.



## 2.2 Deformațiile terenului de fundare

### 2.2.1 Considerații generale privind calculul terenului de fundare

Încărcările transmise terenului de fundare prin intermediul fundațiilor generează o stare de tensiune, care se suprapune peste cea existentă din greutatea proprie, provocând deformarea acestuia. Calculul terenului de fundare se efectuează în scopul limitării încărcării pe care construcția o transmite terenului, astfel încât să se asigure condițiile de rezistență, stabilitate și exploatare normală a construcției respective.

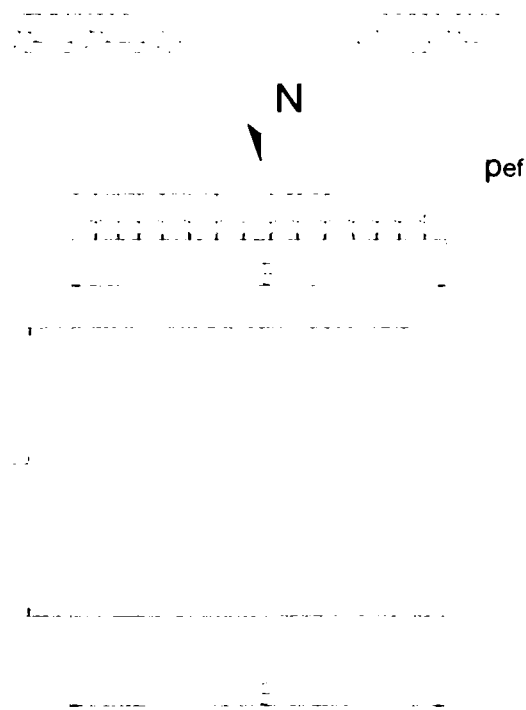


Figura 2.11 Fundație încărcată centric

Dacă se consideră fundația din figura alăturată încărcată cu forța concentrată  $N$ , care este normală și centrică, presiunea pe terenul de fundare la nivelul tălpii, denumită presiune de contact sau presiune efectivă pe teren, are valoarea:

$$p_{ef} = \frac{N}{S} = \frac{N}{BL} < p_{tr} \quad 2.24$$

Dimensiunile în plan ale tălpilor fundației  $B$  și  $L$ , trebuie alese astfel încât presiunea efectivă pe teren să nu depășească o anumită valoare, acceptată (admisă) ca maximă pe terenul de fundare notată în relația 2.24 cu  $p_{tr}$ . În caz contrar terenul de fundare poate ajunge în una din următoarele două stări limită:

- Starea limită de deformații (SLD) care corespunde cazului când deformarea terenului de fundare conduce la tasări ale construcției incompatibile pentru structura de rezistență a acesteia (ca rezistența stabilitate sau exploatare);
- Starea limită de capacitate portantă (SLCP), este corespunzătoare cazului când presiunea efectivă provoacă formarea și extinderea în terenul de fundare a unor zone de rupere (adică zone în care tensiunile tangențiale depășesc rezistența la forfecare a pământului) ajungându-se la pierderea stabilității acestuia și implicit a construcției.

Ansamblul de verificări care trebuie efectuate la dimensionarea unei fundații, pentru a evita ajungerea terenului în una din cele două stări limită, reprezintă calculul terenului de fundare, care în funcție de natura terenului, tipul și importanța construcției poate fi efectuat în trei moduri:

- la starea limită de deformații (SLD);
- la starea limită de capacitate portantă (SLCP);
- pe bază de presiuni convenționale de calcul.

În calculul terenului de fundare la starea limită de deformații trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- în cazul când verificarea se face la starea limită ultimă (SLU):

$$\Delta s \leq \overline{\Delta s} \quad 2.25.a$$

- în cazul când verificarea se face la starea limită de exploatare normală (SLEN)

$$\Delta t \leq \overline{\Delta t} \quad 2.25.b$$

în care:

$\Delta s$  – deplasări sau deformații posibile ale construcției datorate tasării terenului de fundare, calculate cu încărcări din gruparea fundamentală pentru SLU;

$\Delta t$  – idem, pentru încărcări din gruparea fundamentală pentru SLEN;

$\overline{\Delta s}$  – deplasări sau deformații de referință, admise pentru structură, stabilite de proiectantul structurii;

$\overline{\Delta t}$  – deplasări sau deformații admise din punct de vedere tehnologic, stabilite de proiectantul tehnologic.

În lipsa unor valori stabilite de către proiectantul structurii pentru deplasările sau deformațiile admise ( $\overline{\Delta s}$ ), în mod orientativ se pot folosi valorile din tabelul 2.4.

La calculul tasărilor probabile se admite ipoteza comportării terenului de fundare ca un mediu liniar deformabil, în consecință la efectuarea calculului terenului de fundare la starea limită de deformație trebuie îndeplinite condițiile:

- pentru fundațiile încărcate centric:

$$P_{ef} \leq P_{pl} \quad 2.26.a$$

- pentru fundațiile încărcate excentric după o direcție:

$$P_{ef} \leq P_{pl} \text{ și } P_{ef \max} \leq 1,2 P_{pl} \quad 2.26.b$$

- pentru fundațiile încărcate excentric după două direcții:

$$P_{ef} \leq P_{pl} \text{ și } P_{ef \max} \leq 1,4 P_{pl} \quad 2.26.c$$

în care:

$p_{ef}$  – presiunea efectivă medie pe teren la nivelul tălpii fundației, provenită din încărcări de calcul din gruparea fundamentală;

$p_{ef \max}$  – presiunea efectivă maximă pe teren la nivelul tălpii fundației, provenită din încărcări de calcul din gruparea fundamentală, în cazul încărcării excentrice a fundației (după una sau două direcții);

$p_{pl}$  – presiunea de plasticizare, corespunzătoare unei extinderi limitate a zonelor plastice în terenul de fundare;

Calculul terenului de fundare la starea limită de capacitate portantă se efectuează în cazul existenței unor condiții speciale privind tipul construcției și natura încărcărilor care acționează asupra acesteia, amplasamentul și natura terenului de fundare aferent.

Calculul terenului de fundare pe baza presiunilor convenționale se efectuează de regulă la proiectarea preliminară a infrastructurii construcțiilor iar pentru construcții de importanță mai redusă și teren de fundare bun poate fi utilizat și la proiectarea definitivă.

Tipul construcției		Deplasări sau deformații orientative admise ale fundațiilor			
		Deformații		Deplasări (tasări)	
		Tipul deformației	Valoare admisă	Tipul deplasării	Valoare admisă [cm]
1.	Construcții civile și industriale cu structura de rezistență în cadre: a) Cadre din beton armat fără umplură de zidărie sau panouri	tasare relativă	0,002	tasare absolută maximă, $S_{max}$	8
	b) Cadre metalice fără umplură de zidărie sau panouri	tasare relativă	0,004	tasare absolută maximă, $S_{max}$	12
	c) Cadre din beton armat cu umplură din zidărie	tasare relativă	0,001	tasare absolută maximă, $S_{max}$	8
	d) Cadre metalice cu umplură din zidărie sau panouri	tasare relativă	0,002	tasare absolută maximă, $S_{max}$	12
2.	Construcții în structura cărora nu apar eforturi suplimentare datorită tasărilor neuniforme	tasare relativă	0,006	tasare absolută maximă, $S_{max}$	15
3.	Construcții multietajate cu ziduri portante din: a) panouri mari	încovoiere relativă, f	0,0007	tasare medie $S_m$	10
	b) zidărie din blocuri sau cărămidă, fără armare	încovoiere relativă, f	0,001	tasare medie $S_m$	10
	c) zidărie din blocuri sau cărămidă armată sau cu centuri armate	încovoiere relativă, f	0,0012	tasare medie $S_m$	15
	d) independent de materialul zidurilor	înclinare transversală $tg \Theta_{tr}$	0,005	-	-

Tabelul 2.4.

Tipul construcției		Deplasări sau deformații orientative admisibile ale fundațiilor			
		Deformații		Deplasări (tasări)	
		Tipul deformației	Valoare admisă	Tipul deplasării	Valoare admisă [cm]
4.	Construcții înalte, rigide: a) Silozuri din beton armat: - turnul elevatoarelor și grupurile de celule sunt turnate monolit și reazemă pe același radier continuu	înclinare longitudinală sau transversală $tg \Theta$	0,003	tasare medie, $S_m$	40
	- turnul elevatoarelor și grupurile de celule sunt din beton armat prefabricat și reazemă pe același radier continuu	înclinare longitudinală sau transversală $tg \Theta$	0,003	tasare medie, $S_m$	30
	- turnul elevatoarelor rezemat pe un radier independent	înclinare transversală $tg \Theta_r$	0,003	tasare medie, $S_m$	25
		înclinare longitudinală $tg \Theta_l$	0,004	tasare medie, $S_m$	25
	- grupurile de celule turnate monolit rezemate pe un radier independent	înclinare longitudinală	0,004	tasare medie, $S_m$	40
	- grupurile de celule din beton armat prefabricat rezemate pe un radier independent	înclinare longitudinală sau transversală $tg \Theta$	0,004	tasare medie, $S_m$	30
	b) Coșuri de fum cu înălțimea H: $H < 100$ m	înclinare, $tg \Theta$	0,005	tasare medie $S_m$	40
	$100 < H < 200$ m	înclinare, $tg \Theta$	$\frac{1}{2H^*}$	tasare medie, $S_m$	30
	$200 < H < 300$ m	înclinare, $tg \Theta$	$\frac{1}{2H^*}$	tasare medie, $S_m$	20
	$H > 300$ m	înclinare, $tg \Theta$	$\frac{1}{2H^*}$	tasare medie, $S_m$	10
c) Alte construcții înalte, rigide cu înălțime până la 100 m	înclinare, $tg \Theta$	0,004	tasare medie, $S_m$	20	

\*) H în metri

### 2.2.2 Fazele deformării și cedării terenului de fundare

Sporind treptat valoarea încărcării  $N$ , aplicate asupra unei fundații și măsurând deformația (tasarea) terenului de fundare, corespunzătoare fiecărei trepte de încărcare se poate trasa diagrama de variație a tasării  $s$ , în funcție de presiunea efectivă pe teren  $p_{ef}$  (figura 2.12)

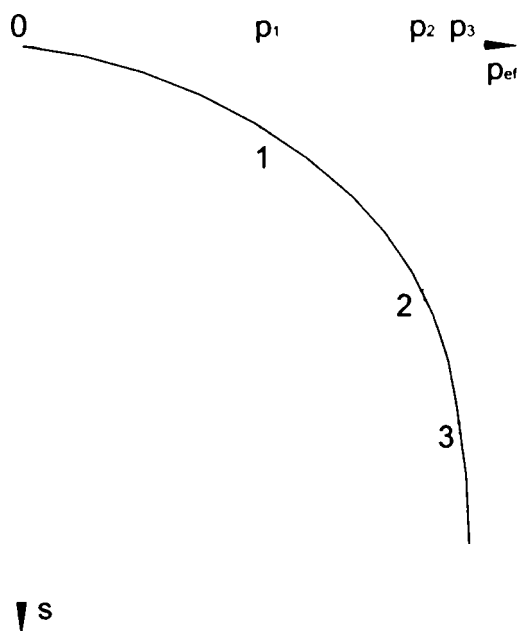


Figura 2.12 Diagrama de încărcare-tasare

Pe curba obținută în figura 2.12 în cazul cel mai general se pot distinge trei sectoare diferite care corespund unor faze caracteristice ale procesului de deformare a terenului de fundare sub acțiunea încărcării dată de fundație.

Pe sectorul 0-1 se poate considera că relația de dependență dintre deformație și presiune este liniară (cvasi-liniară), diagrama de pe această porțiune putând fi asimilată cu o dreaptă. Considerând două volume elementare de pământ, situate pe verticalele care delimitează talpa fundației (figura 2.13.a), acestea își reduc înălțimea prin micșorarea porozității datorită presiunii transmise de fundație. Tasările măsurate pentru  $p_{ef} < p_1$  se datorează preponderent îndesării pământului sub fundație (variațiilor de volum), de aceea această fază de deformare a terenului de fundare poartă denumirea de **fază de îndesare**. Comportarea terenului de fundare în această fază de deformare este dependentă în mod hotărâtor de caracteristicile sale de deformabilitate.

Pe sectorul 1-2, unde presiunea de încărcare este mai mare decât o anumită valoare  $p_1$ , relația dintre deformație și presiune este neliniară. În acest stadiu de încărcare, deformația terenului de fundare nu se produce numai prin fenomenul de îndesare ci și prin fenomene de alunecare, adică alături de variații de volum apar și variații de formă care sunt semnificative. Analizarea aceluiași volume elementare (figura.2.13.b) evidențiază că din deformația

(tasarea) totală  $s$ , o parte este dată de îndesarea pământului, iar altă parte de deformațiile de alunecare produse de tensiunile tangențiale din terenul de fundare. Pe măsura creșterii presiunii efective, respectiv a apropierii ei de o anumită valoare  $p_2$ , sporește și valoarea tensiunilor tangențiale. Se ajunge astfel, la depășirea rezistenței la forfecare a pământului, la început în puncte izolate și apoi pe cuprinsul unor zone ale terenului de fundare, denumite **zone plastice** (figura 2.14).

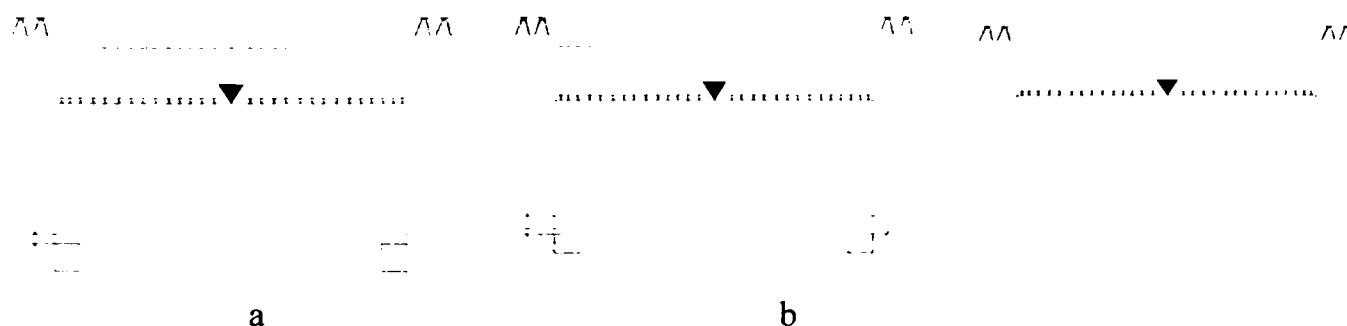


Figura 2.13 Fazele deformării pământului:  
a-faza îndesării, b-faza alunecărilor

Figura 2.14 Dezvoltarea zonelor plastice

Faza deformării terenului de fundare corespunzătoare sectorului 1-2 (figura 2.12), poartă denumirea de **faza alunecărilor** sau **faza dezvoltării zonelor plastice**, în care comportarea terenului de fundare este determinată nu numai de caracteristicile sale de deformabilitate ci și de cele de rezistență la forfecare. Presiunea corespunzătoare acestei faze, care poate fi denumită **presiune de plasticizare** ( $p_{pl}$ ), are semnificația de **presiune acceptabilă** (admisibilă) pentru terenul de fundare, la care extinderea zonelor plastice în teren este limitată. Mărimea cantitativă a acestei presiuni de plasticizare  $p_{pl}$ , depinde de condițiile care se pun pentru limitarea extinderii zonelor plastice în interiorul terenului de fundare, putându-se determina cu ajutorul unor metode teoretice de calcul.

Dacă presiunea efectivă  $p_{ef}$ , devine mai mare decât  $p_2$ , creșterea deformațiilor este mult accentuată (sectorul 2-3-figura.2.12), datorită extinderii zonelor plastice și formării unor suprafețe de alunecare.

La o anumită valoare a presiunii efective pe teren ( $p_{ef}=p_3=p_{cr}$ ) terenul de fundare ajunge la starea limită de capacitate portantă, producându-se ruperea și refularea pământului de sub fundație de-a lungul suprafețelor de alunecare formate (figura 2.15).

Această fază de deformare a terenului de fundare este denumită **faza de rupere** sau **faza de cedare**.

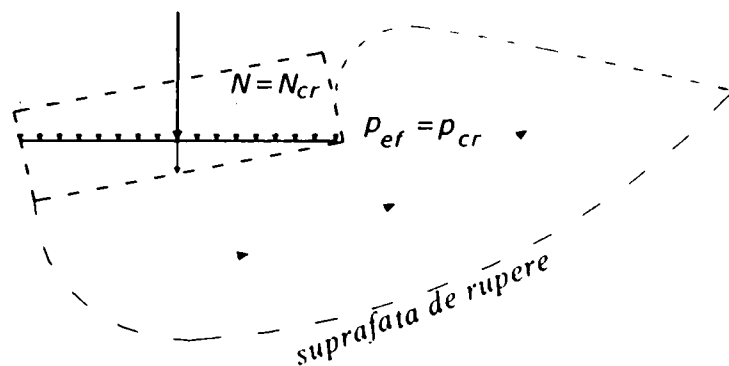


Fig. 2.15 Cedarea terenului de fundare

La construcții cu fundații directe, presiunea corespunzătoare acestei faze reprezintă **presiunea critică**  $p_{cr}$  a terenului de fundare, la care se produce pierderea stabilității acestuia și implicit a construcției.

Modul în care, la creșterea progresivă a presiunii efective pe teren, evoluează fazele menționate și se produce cedarea, depinde în mod substanțial de natura terenului de fundare precum și de alți factori, cum sunt: natura încărcării și viteza de aplicare a acesteia, adâncimea de fundare etc.

Astfel, cedarea generală este caracteristică, în general, terenurilor de fundare alcătuite din roci cu compresibilitate redusă (nisipuri și pietrișuri îndesate, argile compacte, roci semistâncoase și stâncoase). În acest caz, în faza de cedare sub fundație se profilează o pană de pământ, care rămâne în stadiu elastic și se deplasează solidar cu fundația, exercitând împingeri asupra zonelor adiacente (figura 2.16.a). Ca urmare a acestei acțiuni de împingere se formează o suprafață de rupere continuă, care unește muchia tălpii fundației cu suprafața terenului, cedarea terenului de fundare și a fundației producându-se relativ brusc.

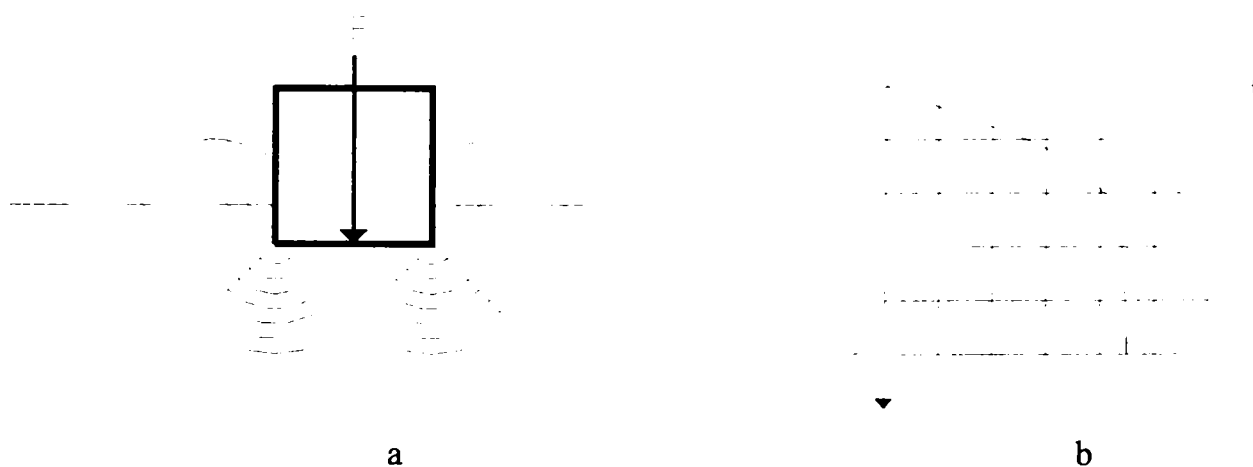


Fig.2.16 Cedare generală



Diagrama încărcare-tasare (figura 2.16.b), caracteristică acestui mod de cedare, evidențiază clar atingerea încărcării critice  $p_{cr}$ , iar trecerea de la porțiunea cvasiliniară a diagramei la zona corespunzătoare lui  $p_{cr}$  este relativ bruscă.

La fundații așezate pe terenuri foarte compresibile (nisipuri cu îndesare slabă, pământuri argiloase și prăfoase cu consistență redusă), cedarea se produce prin poansonare (figura 2.17.a). Datorită comprimării pronunțate a terenului pe măsura creșterii încărcării, fundația pătrunde în teren asemănător unui piston, fără a antrena însă pământul din jur și fără a se forma o suprafață de alunecare distinctă.

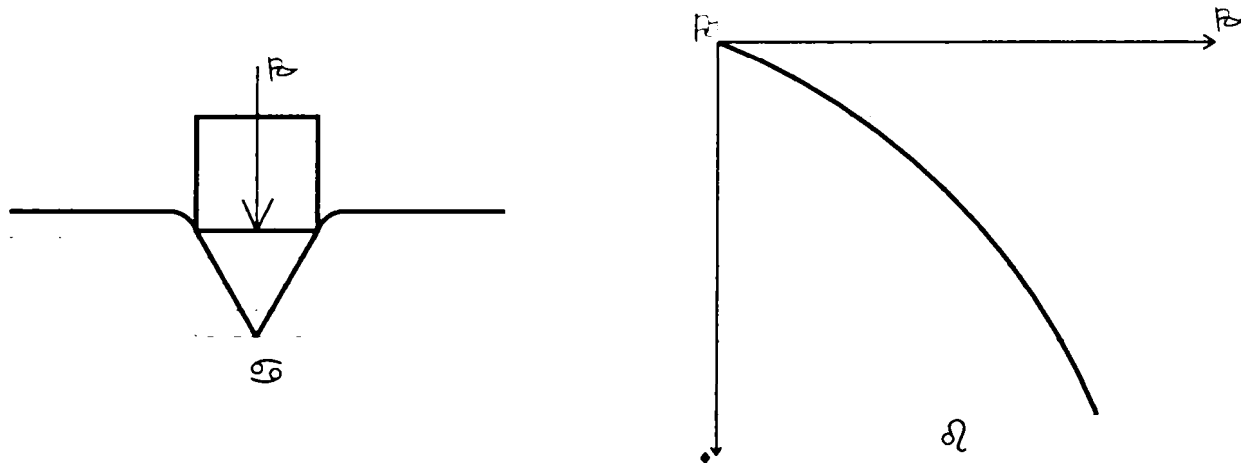


Figura 2.17 Cedare prin poansonare

Pe diagrama de încărcare-tasare (figura 2.17.b) porțiunea cvasi-liniară lipsește, iar încărcarea critică nu este evidențiată, ajungându-se la o viteză constantă de pătrundere a fundației în teren.

În cazul terenurilor de fundare alcătuite din pământuri cu compresibilitate medie, are loc, de regulă, o cedare locală care reprezintă o situație intermediară între celelalte două moduri de cedare (figura 2.18.a). Suprafețele de alunecare se profilează clar numai în zona apropiată tălpii fundației. Deși există tendințe de refulare înspre lateral a terenului, datorită comprimării importante pe verticala acestuia, suprafețele de alunecare se închid în masa sa, fără a continua spre suprafață.

După cum rezultă din diagrama de încărcare-tasare, corespunzătoare acestui mod de cedare (figura 2.18.b), ca și în cazul cedării prin poansonare, încărcarea critică nu se poate evidenția, cedarea este progresivă, și se manifestă prin atingerea unei viteze constante de pătrundere a fundației în teren.

Atât în cazul cedării prin poansonare cât și al cedării locale, presiunea critică  $p_{cr}$  se poate defini numai cu ajutorul unui criteriu de deformare.

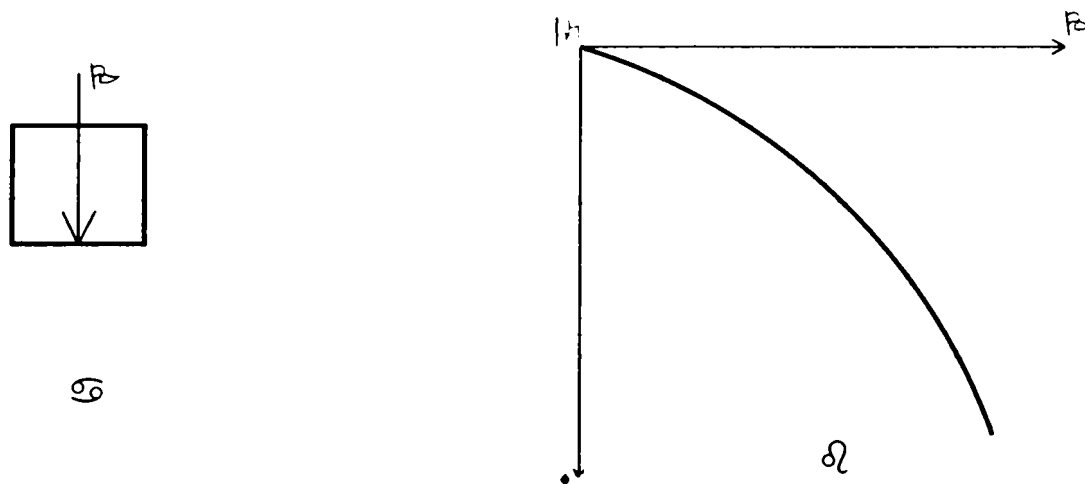


Figura 2.18 Cedare locală

### 2.2.3 Tipuri de tasări și deformații ale construcțiilor

Deformarea terenului de fundare ca urmare a stării de tensiune generată de încărcarea dată de construcție, se concretizează în deplasări ale suprafeței de rezemare a fundației, față de poziția pe care aceasta o avea înainte de execuția construcției.

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

Se deosebesc următoarele tipuri de deformații:

- Tasarea absolută  $s$ , care reprezintă deplasarea pe verticală a unui punct al fundației, sau a întregii fundații izolate sau continue (figura 2.19.a.);
- Tasarea medie a construcției  $s_m$ , calculată ca medie a tasărilor absolute a cel puțin trei fundații izolate ale construcției respective; se pune condiția ca abaterea față de tasarea medie, a tasării fiecăruia din fundațiile considerate, să nu depășească 50 % din valoarea medie, adică  $|s - s_m| < 0.5 s_m$ ;
- Tasarea relativă  $s_{rel}$ , reprezintă diferența dintre tasările absolute a două fundații învecinate (figura 2.19.b.) raportată la distanța dintre ele:  $s_{rel} = (s_2 - s_1)/l$ ;
- Înclinarea fundației  $tg \theta$ , se exprimă prin diferența tasărilor absolute, maximă și minimă, a două puncte extreme ale tălpii fundației (figura 2.19.c.) raportată la lungimea, lățimea sau diametrul acesteia:  $tg \theta = (s_{max} - s_{min})/l$
- Încovoierea relativă  $f$ , reprezintă raportul dintre săgeata și lungimea părții de construcție care se încovoie; acest lucru este caracteristic fundațiilor flexibile de lungime mare, cum sunt grinzile de fundație (figura 2.19.d.), la care încovoierea relativă se poate exprima astfel:

$$f = \frac{s_3 - \frac{s_1 + s_2}{2}}{l} = \frac{2s_3 - s_1 - s_2}{l}$$

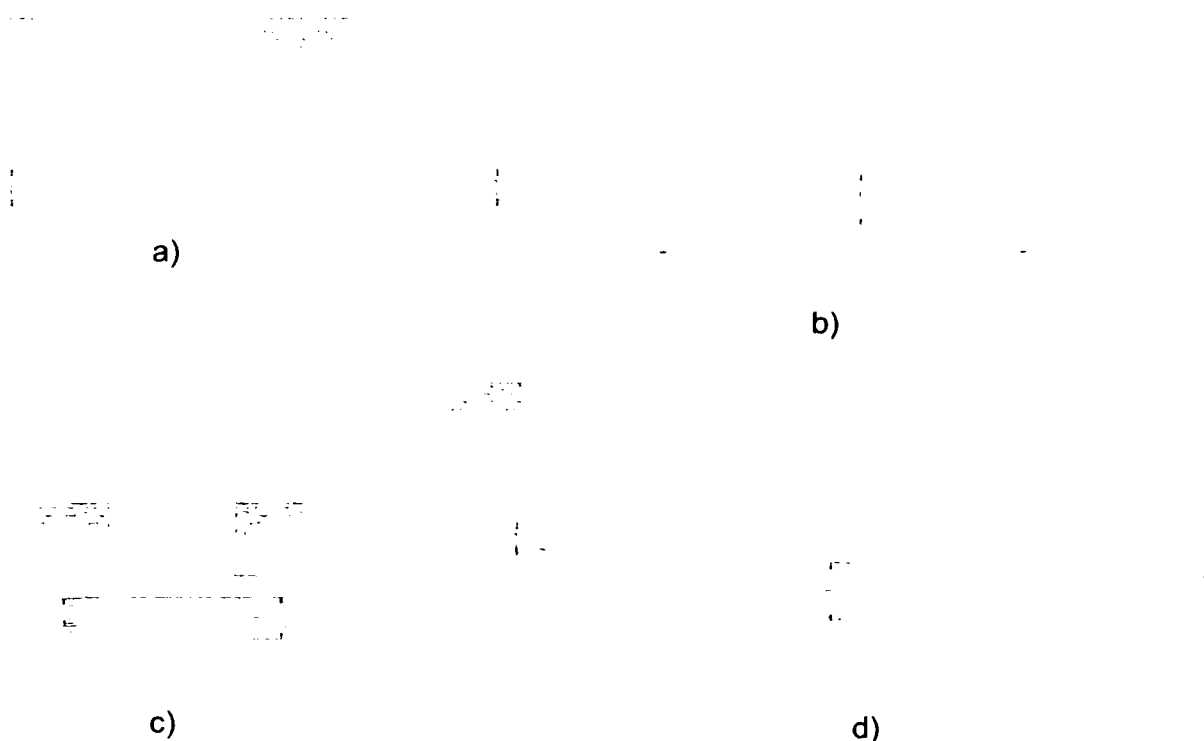


Figura 2.19 Tipuri de deformații: a-tasare absolută, b-tasare relativă  
c-înclinarea fundației, d-încovoiere relativă

Deformarea uniformă a terenului de fundare nu este periculoasă pentru stabilitatea și rezistența construcțiilor, dar poate influența în mod defavorabil asupra condițiilor de exploatare a acestora.

Deformarea neuniformă a terenului de fundare conduce la tasarea inegală a diferitelor părți ale construcției, care poate afecta negativ atât rezistența construcției (prin introducerea de eforturi suplimentare în elementele suprastructurii) cât și stabilitatea acesteia. Tasarea unei construcții, determinate prin calcul în faza de proiectare, constituie tasarea probabilă (posibilă), iar cea măsurată în timpul execuției sau funcționării construcției, reprezintă tasarea reală.

## 2.3 Metode de calcul a tasărilor probabile

Pentru calculul deformațiilor terenului de fundare se folosesc, în general două grupe de metode:

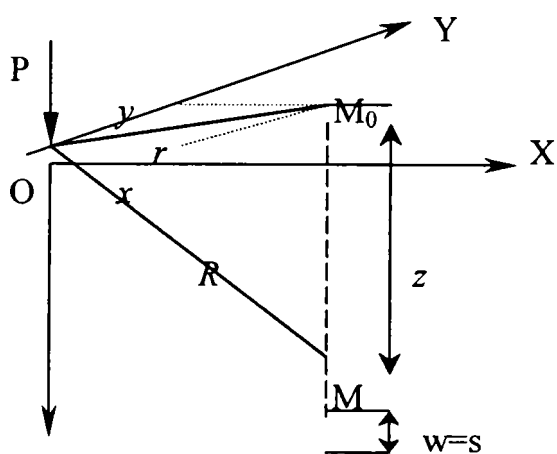
Prima grupă de metode se bazează pe formulele stabilite pentru deplasarea verticală a unui punct din semispațiu sub acțiunea sarcinilor locale. În felul acesta, prin aplicarea formulelor de deformații, tasările se stabilesc în mod direct.

Cea de-a doua grupă de metode pentru calculul tasărilor pleacă de la cunoașterea eforturilor unitare în teren sub acțiunea solicitărilor din construcție. Distribuția eforturilor unitare din teren se poate stabili cu ajutorul teoriei lui Boussinesq, prin aplicarea unor ipoteze simplificatoare, bazate pe încercări și experiențe pe construcții existente.

### 2.3.1 Calculul tasărilor cu ajutorul formulelor de deformație a semispațiului elastic ( Teoria lui Boussinesq)

Boussinesq a stabilit că în semispațiul considerat elastic, omogen și izotrop deplasarea unui punct situat la adâncimea  $z$  și distanța  $R$  de punctul de aplicație a forței concentrate  $P$  este:

$$w = s = \frac{p(1+\nu)}{2\pi E} \left[ \frac{z^2}{R^3} + \frac{2(1-\nu)}{R} \right] \quad 2.27$$



în care:

$z$  – adâncimea punctului  $M$  față de suprafața semispațiului  $xOy$ ;

$R$  – distanța de la punctul de aplicație a forței  $P$  la punctul  $M$ ;

$E$  – modulul de deformație liniară a terenului de fundare;

$\nu$  - coeficientul lui Poisson.

Figura 2.20. Deformația dintr-un punct al semispațiului dată de o sarcină concentrată

Deplasarea unui punct situat pe planul ce limitează semispațiul, pentru  $z = 0$  și  $R = r$  este:

$$w_0 = s_0 = \frac{p(1-\nu^2)}{\pi ER} = \frac{P}{\pi Cr}$$

2.28

Unde  $C = \frac{E}{1-\nu^2}$  poartă denumirea de constanta de elasticitate a terenului.

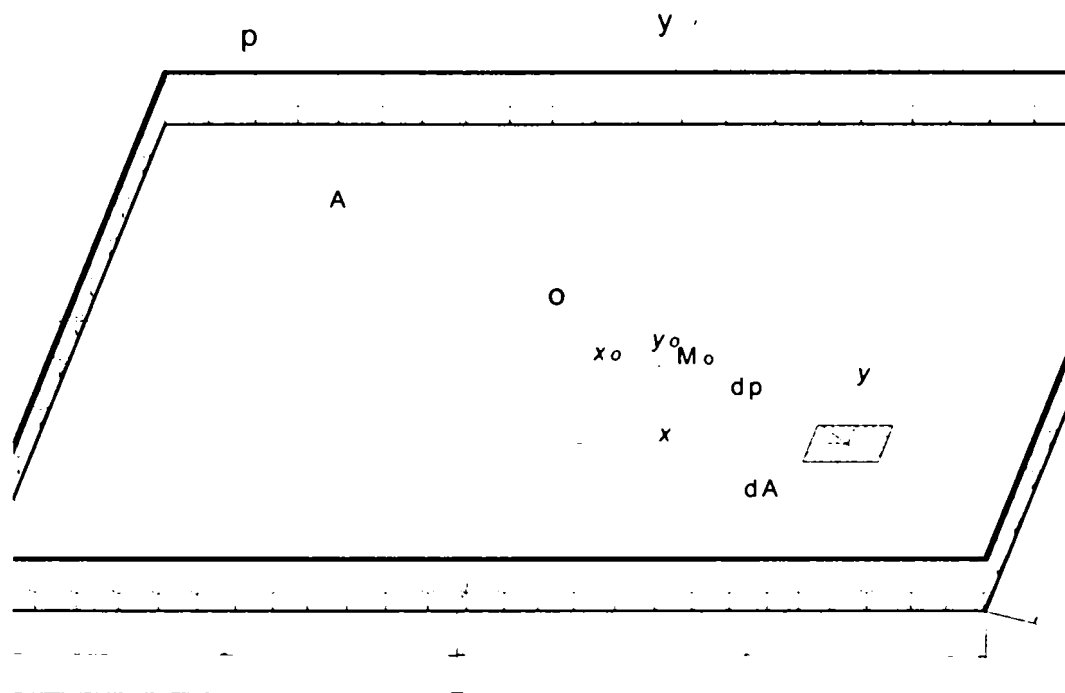


Figura 2.21 Cazul unei sarcini uniform distribuite

Tasarea totală provocată de sarcina uniform distribuită pe întreaga suprafață A se obține integrând relația 2.29:

$$w_0 = s_0 = \frac{p}{\pi C} \iint \frac{dxdy}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}} \quad 2.29$$

Rezolvând integrarea se obține:

$$s_0 = \frac{p\sqrt{A}}{\pi C} \left[ \sqrt{\alpha} \ln \frac{\sqrt{\alpha + \frac{1}{\alpha}} + \sqrt{\frac{1}{\alpha}}}{\sqrt{\alpha + \frac{1}{\alpha}} - \sqrt{\frac{1}{\alpha}}} + \sqrt{\frac{1}{\alpha}} \ln \frac{\sqrt{\alpha + \frac{1}{\alpha}} + \sqrt{\alpha}}{\sqrt{\alpha + \frac{1}{\alpha}} - \sqrt{\alpha}} \right], \quad 2.30$$

unde  $\alpha = l_1/b_1 = L/B$  și

$$A = LB = 2l_1 2b_1 = 4\alpha b_1^2$$

Se observă că din relația 2.30 expresia din paranteză este o funcție a raportului  $\alpha = L/B$ , iar dacă se notează această funcție  $\varphi(\alpha)$ ,

$$s_0 = \frac{p\sqrt{A}}{\pi C} \varphi(\alpha) = \frac{p2b_1\sqrt{A}}{\pi C} \varphi(\alpha) = \frac{pB\sqrt{\alpha}}{\pi C} (1-\nu^2) \varphi(\alpha) \quad 2.31$$

Făcând notația  $\varpi = \frac{1}{\pi} \sqrt{\alpha} \varphi(\alpha)$ , rezultă următoarea relație de calcul a tasării:

$$s_0 = \frac{pB\varpi}{E} (1-\nu^2) \quad 3.32$$

în care coeficientul  $\varpi$  este funcție atât de forma tălpii fundației cât și de raportul dimensiunilor acesteia.

Valoarea coeficientului  $\varpi$  diferă în funcție de poziția punctului în care se calculează tasarea:  $\varpi_0$  pentru centrul suprafeței dreptunghiulare și  $\varpi_c$ , pentru colțurile acesteia.

În cazul unei fundații de formă circulară cu diametrul  $D=2r$ , relația de calcul a tasării în centrul cercului este:

$$s_0 = \frac{2pr}{E} (1-\nu^2) = \frac{pD}{E} (1-\nu^2), \quad 2.33$$

iar pentru punctele aflate la periferia cercului:

$$s_0 = \frac{4pr}{E} (1-\nu^2) = \frac{2pD}{E} (1-\nu^2) = \frac{pD\varpi_r}{E} (1-\nu^2) \quad 2.34$$

Având în vedere că tasarea sub diferite puncte ale suprafeței încărcate este variabilă, fiind funcție de coordonatele punctului respectiv, este necesară introducerea noțiunii de tasare medie, care se definește prin relația:

$$s_m = \frac{\int s dA}{\int dA} \quad 2.35$$

Prin rezolvarea integralei se obțin formulele de calcul ale tasării medii  $s_m$ , care sunt identice cu relațiile (2.34) și (2.35), diferențiindu-se doar prin valoarea coeficientului  $\varpi$  care devine  $\varpi_m$ .

Formulele de calcul a deformațiilor prezentate mai sus corespund unei fundații flexibile care poate urmări deformațiile terenului, deoarece nu opune nici o rezistență la tasările diferențiale ale diferitelor puncte de pe suprafața de contact.

În cazul unei fundații rigide, din cauză că aceasta nu suportă deformații, repartitia presiunii pe talpă se modifică astfel încât tasările să devină egale în toate punctele, pentru

încărcarea centrică, respectiv variabile liniar pentru încărcarea excentrică. Calculul tasărilor la o fundație rigidă se poate efectua cu formulele corespunzătoare fundațiilor flexibile, schimbându-se valoarea coeficientului  $\omega$  în  $\omega_{\text{const}}$ .

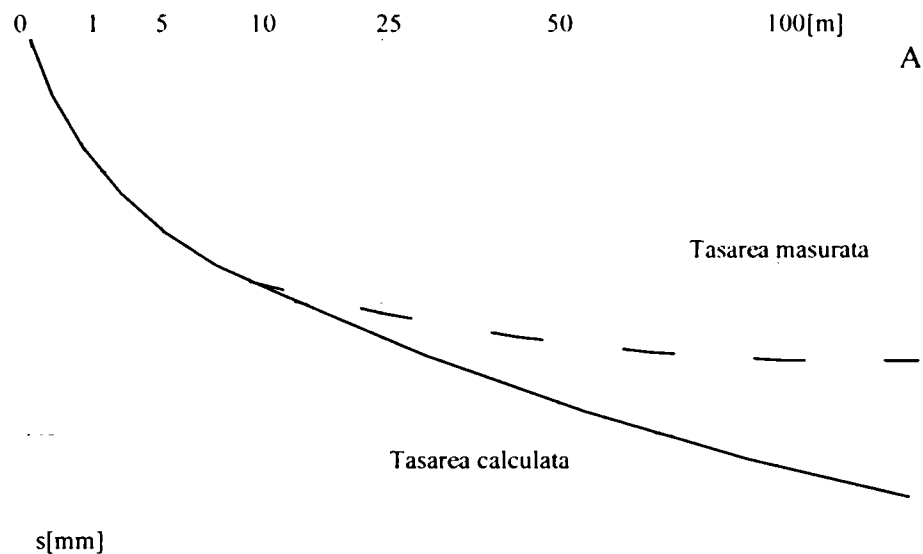


Figura 2.22 Variația tasării funcție de  $\sqrt{A}$

În figura 2.22, se prezintă graficul de variație a tasării medii calculate, comparativ cu graficul tasării reale măsurate. Practica a dovedit că se obține o bună corelare între tasările calculate și cele măsurate în cazul fundațiilor de formă pătrată și circulară cu latura sau diametrul până la 3 m, pentru fundațiile dreptunghiulare cu  $\alpha=L/B \leq 3$  și  $L \cdot B \leq 12 \text{ m}^2$  și pentru fundațiile continue cu  $B \leq 1 \text{ m}$ , în cazul când stratul compresibil este omogen și are grosimea 6...8 m, iar presiunea transmisă de fundație este până la 300 kPa.

### 2.3.2 Calculul tasărilor cu ajutorul distribuției tensiunilor verticale în terenul de fundare

Calculul tasărilor probabile cu unele relații bazate pe ipotezele teoriei elasticității conduce la rezultate bune atunci când terenul de fundare este omogen, având aceleași caracteristici de deformabilitate în toată zona influențată de încărcarea construcției.

În mod frecvent, terenul de fundare este alcătuit din mai multe straturi de pământ de grosime finită și caracteristici fizico-mecanice diferite. În astfel de cazuri, pornind de la cunoașterea distribuției și a variației pe adâncime a tensiunilor verticale, atât din greutatea proprie a terenului cât și din încărcările aduse de construcție, se pot aplica la calculul tasărilor probabile alte metode mai convenabile.

### a. Metoda însumării pe straturi elementare

Este o metodă de calcul foarte răspândită în practică deoarece permite luarea în considerare a variabilității modulului de deformare cu adâncimea și ține seama de dimensiunile și forma în plan a tălpii fundației prin coeficientul de influență cu care se determină variația tensiunilor verticale în adâncime.

La calculul tasării se utilizează presiunea netă, care reprezintă sporul de presiune adusă de construcție la nivelul tălpii fundației peste presiunea geologică adică:

$$p_{net} = p - \gamma \cdot D_f, \quad 2.36$$

în care:  $p$  este presiunea efectivă transmisă terenului la nivelul tălpii fundației;

$\gamma$  reprezintă greutatea volumică medie a pământului aflat deasupra tălpii fundației;

$D_f$  este adâncimea de fundare.

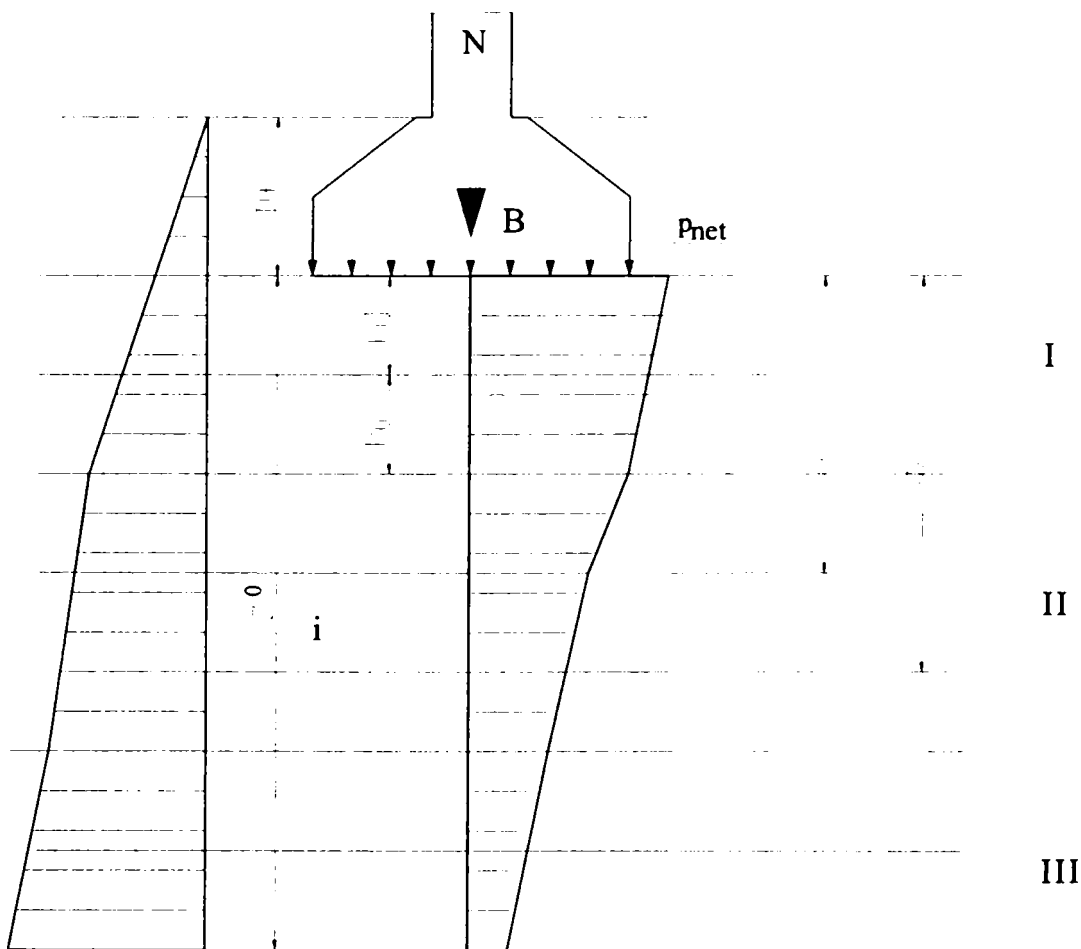


Figura 2.23. Calculul tasării prin metoda însumării pe straturi elementare



Straturile compresibile din zona activă se împart în straturi elementare de grosime  $h_i \leq 0,4 B$ , astfel ca limitele litologice ale straturilor diferite de pământ să constituie în mod obligatoriu și limite între straturile elementare.

Adâncimea zonei active  $z^0$ , adică adâncimea până la care se calculează tasarea terenului de fundare, se determină prin compararea succesivă a tensiunilor verticale de la baza straturilor elementare respectiv  $\sigma_{zi}$  generate de presiunea netă  $\sigma_{gzi}$  corespunzătoare presiunii geologice; limita inferioară a zonei active se consideră la nivelul la care este îndeplinită condiția:

$$\sigma_{z^0} \leq 0.2\sigma_{gz^0} \quad 2.37$$

În situația în care limita inferioară a zonei active, stabilită prin condiția de mai sus, rezultă în cuprinsul unui strat având modulul de deformație mult mai redus decât al straturilor superioare având  $E \leq 5000$  kPa adâncimea  $z^0$  se majorează prin includerea acestui strat sau până la îndeplinirea condiției:

$$\sigma_{z^0} \leq 0.1\sigma_{gz^0} \quad 2.38$$

Tasarea unui strat elementar  $i$ , considerat liniar deformabil pentru care este valabilă legea lui Hooke, se calculează cu relația:

$$s_i = \frac{\sigma_{zi}^{med} \cdot h_i}{M_i} \quad 2.39$$

în care:  $\sigma_{zi}^{med}$  reprezintă tensiunea verticală medie:

$$\sigma_{zi}^{med} = \frac{\sigma_{zi}^{sup} + \sigma_{zi}^{inf}}{2} \quad 2.40$$

iar  $E_i$  este modulul de deformație liniară al pământului în stratul  $i$ , determinat în funcție de modulul de deformație edometric care la rândul său se stabilește cu ajutorul curbei de compresiune-tasare, conform relației de definiție al modulului de deformație edometric.

$$M_i = \frac{(\sigma_{gzi}^{med} + \sigma_{zi}^{med}) - \sigma_{gzi}^{med}}{\mathcal{E}_{(\sigma_{gzi}^{med} + \sigma_{zi}^{med})} - \mathcal{E}_{\sigma_{gzi}^{med}}} \quad 2.41$$

Tasarea totală se obține prin însumarea tasărilor straturilor elementare din cuprinsul zonei active:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}^{med} \cdot h_i}{M_i} \quad 2.42$$

În conformitate cu STAS 3300/2-85 "Calculul terenului de fundare în cazul fundării directe" tasarea absolută probabilă se calculează prin metoda însumării pe straturi elementare folosind relația:

$$s = 100\beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}^{med} \cdot h_i}{E_i} \quad 2.43$$

în care:  $\beta$  - coeficientul de corecție egal cu 0,8;

$\sigma_{zi}^{med}$  - tensiunea verticală în stratul elementar  $i$  în kPa;

$h_i$  - grosimea stratului elementar  $i$  în metri;

$E_i$  - modulul de deformație liniară a stratului elementar  $i$ , în kPa, determinat prin încercare cu placa sau pe baza modulului de deformație edometric stabilit prin încercări de laborator;

$n$  – numărul de straturi elementare cuprinse în limita zonei active.

#### b. Metoda stratului liniar deformabil de grosime finită

În cazul în care în limita zonei active apare un strat practic incompresibil (având  $E > 100.000$  kPa) sau atunci când fundația are lățimea  $B > 10$  m, iar straturile de teren din zona activă se caracterizează prin valori  $E > 10.000$  kPa, STAS 3300/ 2-85 indică calculul tasării absolute probabile prin metoda stratului liniar deformabil de grosime finită, această metodă de calcul fiind cunoscută și sub denumirea de metoda lui K. E. Egorov.

Relația de calcul a tasării unui strat liniar deformabil de grosime  $z$ , sub acțiunea presiunii nete pe teren de la nivelul tălpii unei fundații de lățime  $B$ , este:

$$s = m \cdot p_{net} \cdot B \frac{K}{E} (1 - \nu^2) \quad 2.44$$

în care:  $m$  - coeficient de corecție a cărui valoare este dată funcție de grosimea stratului deformabil  $z^0$ ;

$K$  - coeficient adimensional a cărui valoare este dată funcție de raportul  $z/B$  și raportul laturilor tălpii fundației  $n = L/B$ , unde  $z$  reprezintă distanța de la talpa fundației până la limita inferioară a stratului tasabil;

$E$  - modulul de deformație liniară a terenului;

$\nu$  - coeficientul de deformație laterală a terenului (coeficientul lui Poisson).

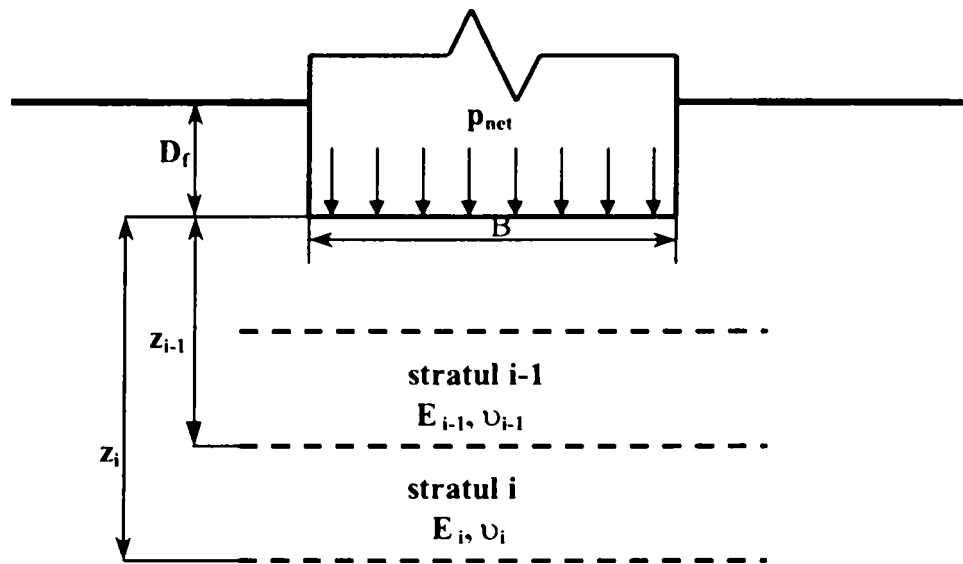


Figura 2.24 Schema pentru calculul tasărilor prin metoda Egorov

În cazul când terenul de fundare este alcătuit din mai multe straturi diferite (figura 2.24) tasarea unui strat oarecare  $i$  se obține ca diferența dintre tasarea acestui strat și tasarea stratului precedent  $i - 1$ , considerate, în conformitate cu relația (2.37), că ar începe de la nivelul tălpii fundației; astfel, stratul  $i$  se consideră de grosime  $z_i$ , iar stratul  $i-1$  de grosime  $z_{i-1}$ .

Prin aplicarea repetată a procedurii expus, pentru fiecare strat și apoi prin însumarea tasărilor tuturor straturilor, prezente în stratificația terenului de fundare pe adâncimea zonei active se obține tasarea probabilă totală cu relația:

$$s = 100 \cdot m \cdot p_{net} \cdot B \sum_{i=1}^n \frac{K_i - K_{i-1}}{E_i} (1 - \nu_i^2) \text{ [cm]}, \quad 2.45$$

în care presiunea netă  $p_{net}$  și modulul de deformație liniară  $E_i$  se introduc în kPa, lățimea  $B$  a tălpii fundației în metri, iar coeficienții  $K_i$  și  $K_{i-1}$  se determină pentru limita litologică superioară și inferioară a stratului  $i$  în funcție de rapoartele  $z_i/B$  și  $L/B$ .

## 2.4 Concluzii privind urmărirea evoluției în timp a tasărilor construcțiilor

Încărcările transmise de construcții terenului de fundare prin intermediul fundațiilor generează o stare de tensiune, care se suprapune peste cea existentă din greutatea proprie, provocând deformarea acestuia. Calculul terenului de fundare, respectiv proiectarea geotehnică se efectuează în scopul limitării încărcării pe care construcția o transmite terenului, astfel încât să se asigure condițiile de rezistență, stabilitate și exploatare normală a construcției respective.

Tasăriile construcțiilor datorate deformării terenului de fundare pot avea un caracter uniform sau neuniform.

Deformarea uniformă a terenului de fundare și implicit tasarea uniformă nu sunt periculoase pentru stabilitatea și rezistența construcțiilor, dar pot influența în mod defavorabil asupra condițiilor de exploatare a acestora.

Deformarea neuniformă a terenului de fundare conduce la tasarea inegală a diferitelor părți ale construcției, care poate afecta negativ atât rezistența construcției (prin introducerea de eforturi suplimentare în elementele suprastructurii) cât și stabilitatea acesteia.

Din analiza fenomenelor care definesc compresibilitatea pământurilor a rezultat că procesul de deformare (consolidare) a acestora sub acțiunea încărcărilor se produce în cea mai mare parte pe seama reducerii volumului golurilor dintre particulele componente. În cazul când aceste goluri sunt umplute cu apă, reducerea volumului lor este condiționată ca timp de viteza de eliminare a apei, care la rândul său depinde de permeabilitatea pământului respectiv.

Astfel, în cazul pământurilor nisipoase chiar dacă sunt saturate, nu se poate vorbi de un proces de consolidare în timp, deoarece, având permeabilitate mare, eliminarea apei se realizează practic odată cu aplicarea încărcării, dând posibilitatea particulelor solide să ocupe imediat poziții corespunzătoare unei stări mai compacte, mai îndesate. De aceea în cazul unor terenuri de fundare alcătuite din nisipuri, se poate considera că procesul de deformare a acestora sub acțiunea încărcărilor transmise de fundații încetează odată cu terminarea creșterii încărcării adică cu terminarea execuției construcției. Tasarea construcțiilor fundate pe pământuri nisipoase evoluează relativ rapid, practic se desfășoară aproape în totalitate în perioada de execuție a construcției; și numai o mică parte a tasării se mai produce în perioada inițială de exploatare.

La terenuri de fundare alcătuite din pământuri argiloase, mai ales în cazul celor saturate, datorită permeabilității reduse eliminarea apei din pori are loc cu viteză scăzută, ceea ce face ca procesul de deformare a pământului și de tasare a construcției să continue și după încetarea sau stabilizarea încărcării.

Rezultă în consecință că problema urmării evoluției în timp a tasărilor se impune în primul rând la construcții fondate pe terenuri argiloase.

În afară de natura terenului de fundare, necesitatea urmării evoluției în timp a tasărilor poate fi impusă și de tipul, dimensiunile și destinația construcției, precum și de natura și modul de aplicare a încărcărilor (viteza de încărcare, sarcini dinamice, etc.).

În principiu necesitatea măsurării și urmării evoluției în timp a tasărilor se impune în mod obligatoriu în următoarele situații:

- la construcții pentru care calculul terenului de fundare s-a efectuat la starea limită de deformații;
- când în raport cu natura construcției (construcții înalte, baraje, etc.) și a terenului de fundare (pământuri compresibile, pământuri sensibile la umezire, roci stâncoase puternic alterate sau susceptibile la dizolvare, umpluturi relativ slab consolidate, etc.), studiul geotehnic indică necesitatea urmării și măsurării în timp a tasărilor;
- când în apropierea construcției pot să acționeze sarcini importante date de supraîncărcări (terasamente, materiale depozitate, alte construcții) sau surse de trepidații (vibrații) cu caracter permanent;
- dacă în timpul execuției sau exploatării, în elementele construcției apar crăpături, fisuri, sau deplasări care pot fi cauzate de deformarea terenului de fundare.

Urmărirea comportării terenului de fundare sub acțiunea fundațiilor directe se realizează, în principal, prin urmărirea evoluției în timp a tasărilor construcțiilor respective.

Urmărirea tasărilor trebuie prevăzută în mod obligatoriu :

- la construcții pentru care s-a efectuat calculul la starea limită de deformație a terenului de fundare ;
- la construcții fondate pe pământuri, în apropierea cărora se pot produce supraîncărcări importante ale terenului de fundare (execuția unor construcții înalte sau lucrări de terasamente, depozitari de materiale, etc.).

De asemenea se efectuează urmărirea tasărilor dacă în timpul execuției sau exploatării construcției apar în elementele acesteia crăpături, fisuri sau deplasări ce pot fi atribuite terenului de fundare.

Urmărirea evoluției în timp a tasărilor construcțiilor se realizează cu metode topometrice, conform metodologiei indicate în STAS 2745-69, sau prin alte metode care să asigure o precizie de măsurare similară.

În cazuri speciale se pot prevedea măsurări referitoare la:

- deplasările orizontale ale fundațiilor,

- variația deformațiilor în adâncimea terenului de fundare.
- variația în timp a presiunii apei în porii pământului,
- presiunile de contact pe talpa fundațiilor etc.

Cu datele astfel obținute se verifică îndeplinirea condițiilor de siguranță și de exploatare normală a construcției. Aceste observații permit verificarea metodelor utilizate în calculul terenului de fundare precum și stabilirea unor valori ale caracteristicilor pământurilor (modulul de deformație liniară  $E$ , coeficientul de consolidare primară  $c_v$  și altele), utile la proiectarea unor lucrări asemănătoare în condiții de teren similare.

Durata în care tasarea unei construcții atinge valoarea finală, adică se stabilizează, este dependentă de natura terenului de fundare.

Tasarea construcțiilor fundate pe pământuri nisipoase evoluează relativ rapid, practic desfășurându-se aproape în totalitate în perioada de execuție a construcției; numai o mică parte a tasării se mai produce în perioada inițială de exploatare.

În cazul pământurilor argiloase, deformarea acestora, respectiv consolidarea lor sub acțiunea încărcărilor transmise de construcție, se produce mult mai lent, tasarea construcției continuând și după terminarea acesteia.

Evoluția reală în timp a tasării unei construcții se obține prin urmărirea și măsurarea tasărilor acesteia, atât în perioada execuției cât și a exploatării construcției respective prin metode topografice specifice, conform metodologiei indicate în STAS 2745-69, sau prin alte metode care să asigure o precizie de măsurare cel puțin similară.

Prin măsurarea și determinarea evoluției reale în timp a tasărilor se urmărește:

- verificarea comportării în timp a construcției în raport cu ipotezele adoptate la proiectare;
- stabilirea influenței construcțiilor noi asupra celor existente;
- sesizarea anomaliilor din punct de vedere a terenului de fundare în scopul luării unor măsuri de remediere menite să asigure stabilitatea și buna funcționare a construcției dacă este cazul;
- obținerea unor date experimentale utilizabile la perfecționarea metodelor de calcul a deformațiilor terenului de fundare.

La întocmirea și desfășurarea programului de măsurare și urmărire a evoluției în timp a tasărilor unei construcții, precum și a alegerii tehnicilor și metodelor de realizare a acestuia, trebuie avute în vedere condițiile de fundare ale construcției respective, natura și destinația acesteia, precum și mărimea și natura încărcărilor pe care le transmite terenului de fundare.

### Capitolul 3. IMPACTUL ALUNECĂRILOR DE TEREN ASUPRA STABILITĂȚII ȘI REZISTENȚEI CONSTRUCȚIILOR

Începutul mileniului al III-lea găsește omenirea în fața unui număr considerabil de probleme nerezolvate. Una din cele mai grave, prin efectele imediate și pe termen lung se leagă de mediul înconjurător. Omenirea este tot mai conștientă de semnificația profundă pe care hazardele naturale o au pentru dezvoltarea sa. În clasificarea hazardelor naturale, alunecările de teren sunt considerate “hazarde geomorfice”, fiind fenomene care au ca mediu principal de desfășurare suprafața terestră.

Comparativ cu alte fenomene naturale, generatoare de dezastre, cum sunt cutremurele sau inundațiile, alunecările de teren pot fi mai bine prognozate deoarece declanșarea lor este precedată de o creștere a stării de eforturi în masa de pământ potențial alunecătoare, evoluția stării de eforturi putând fi evaluată și ținută sub observație cu un grad de precizie satisfăcător.

Cu toate acestea alunecările de teren continuă să fie încadrate în categoria “catastrofelor naturale” și aceasta din cauză că de multe ori produc însemnate pagube naturale și din nefericire uneori chiar pierderi de vieți omenești.

Exemplificările de mai jos confirmă pe deplin sublinierea făcută anterior.

Alunecarea unuia din versanții lacului de acumulare a barajului Vajont din Italia, ce a avut loc, în octombrie 1963, repezintă una dintre marile catastrofe din istoria construcțiilor, care în afara pagubelor materiale produse s-a soldat și cu moartea a circa 2000 de oameni.

În Chile, alunecările de teren din anul 1962 au cauzat moartea a peste 4000 de persoane, iar în anul 1965, ca urmare a alunecărilor au cedat 14 iazuri de decantare cauzând moartea a 200 de oameni.

Alunecarea din Savoie-Franța, produsă în 1970, a condus la prăbușirea hotelului Roc-des-Fiz, cauzând moartea a 71 de oameni, din care 50 de copii.

La noi în țară, cedarea prin alunecare a iazului de decantare de la Certej-Săcărâmb, județul Hunedoara în octombrie 1971, a reprezentat una dintre cele mai mari catastrofe din industria minieră, soldată cu 50 de victime umane. De asemenea, alunecările care au urmat inundațiilor din anul 1970 s-au extins pe o suprafață totală de peste 20.000 ha, afectând mari suprafețe agricole, distrugând construcții, căi de comunicații, etc.

Sunt cunoscute o serie de alunecări de teren care au afectat în decursul timpului obiective economice și sociale importante în orașele Iași, Suceava, Zalău, Orșova, ș.a.m.d.. În ultimul timp zonele subcarpatice a unor județe (Gorj, Vâlcea, Buzău, etc.) au produs

numeroase alunecări de teren, care au afectat și chiar distrus gospodării din mediul rural, precum și artere de circulație rutieră și feroviară (figura 3.1.)

Importanța care se acordă pe plan internațional cercetării alunecărilor de teren, se reflectă în numeroasele manifestări științifice (congrese, conferințe, simpozioane, ș.a.) precum și în organizarea unor forme de colaborare menite să direcționeze cercetările în acest domeniu.

Sub egida UNESCO s-a constituit Uniunea Internațională a Științelor Geologice în cadrul căreia funcționează Grupul pentru Studiul Alunecărilor de Teren (Internațional Union of Geological Sciences-Working Group on Landslides – IUGS – WG/L)

Perioada anilor 1990-2000 a fost decretată Decada Internațională de Diminuare a Dezastrelor Naturale, în cadrul căreia a luat ființă comitetul UNESCO pentru Studiul Alunecărilor de Teren. Obiectivul de bază al acestui comitet îl reprezintă elaborarea strategiei și metodologiilor de inventariere, prognoză, analiză, precum și remediere a alunecărilor de teren.

La mijlocul Decadei Internaționale pentru Reducerea Dezastrelor Naturale se poate constata o preocupare crescândă pentru cercetarea și prevenirea producerii alunecărilor de teren în fiecare țară precum și perfecționarea sistemului organizatoric și informațional în domeniul alunecărilor, pe plan mondial.

În cadrul cercetărilor, cele mai valoroase date cu privire la parametri fizico-mecanici ai rocilor afectate de instabilitate, condițiilor hidrogeologice și climatice în care se desfășoară fenomenul, mecanismul producerii alunecărilor ș.a., se obțin în urma cercetărilor efectuate pe alunecări deja produse. Datele care se obțin, însă, sunt prea puțin folositoare pentru cercetarea altor zone predispuse la alunecare.

Cercetările geologice inginerești trebuie să fie orientate cu predilecție în direcția prevenirii alunecărilor, activități în cadrul cărora este necesară o cooperare deplină a specialiștilor în domeniul geologiei inginerești, geotehnicii și al tehnicii de efectuare a măsurătorilor terestre. Sunt numeroase exemple când, aparent, alunecările de teren se produc pe neașteptate, surprinzând obiective economice și grupuri sociale total nepregătite pentru a fi protejate în fața acestor fenomene.

Această activitate trebuie să se desfășoare la nivelul întregii țări, începând cu zonele construite care sunt amenințate în cel mai înalt grad de producerea alunecărilor de teren.

Pentru orientarea activității de prevenire și reducere a efectelor alunecărilor de teren asupra mediului înconjurător, în general și asupra obiectivelor economico-sociale, în special, Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului, a aprobat prin Ordinul Nr.18/N din 19.02.1997 “Ghidul privind identificarea și monitorizarea alunecărilor de teren și stabilirea



soluțiilor cadru de intervenție asupra terenului pentru prevenirea și reducerea efectelor acestora, în vederea satisfacerii cerințelor de siguranță în exploatare a construcțiilor, refacere și protecție a mediului” – Indicativ GT 006-97.

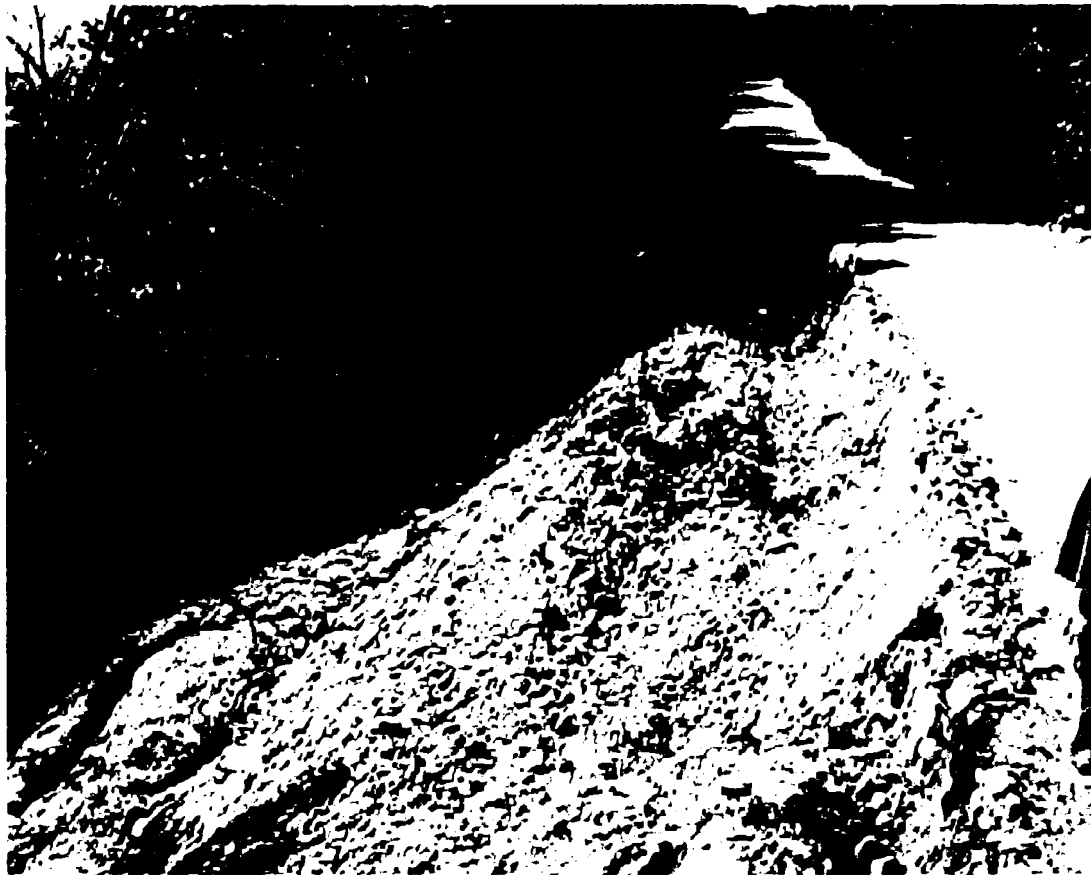
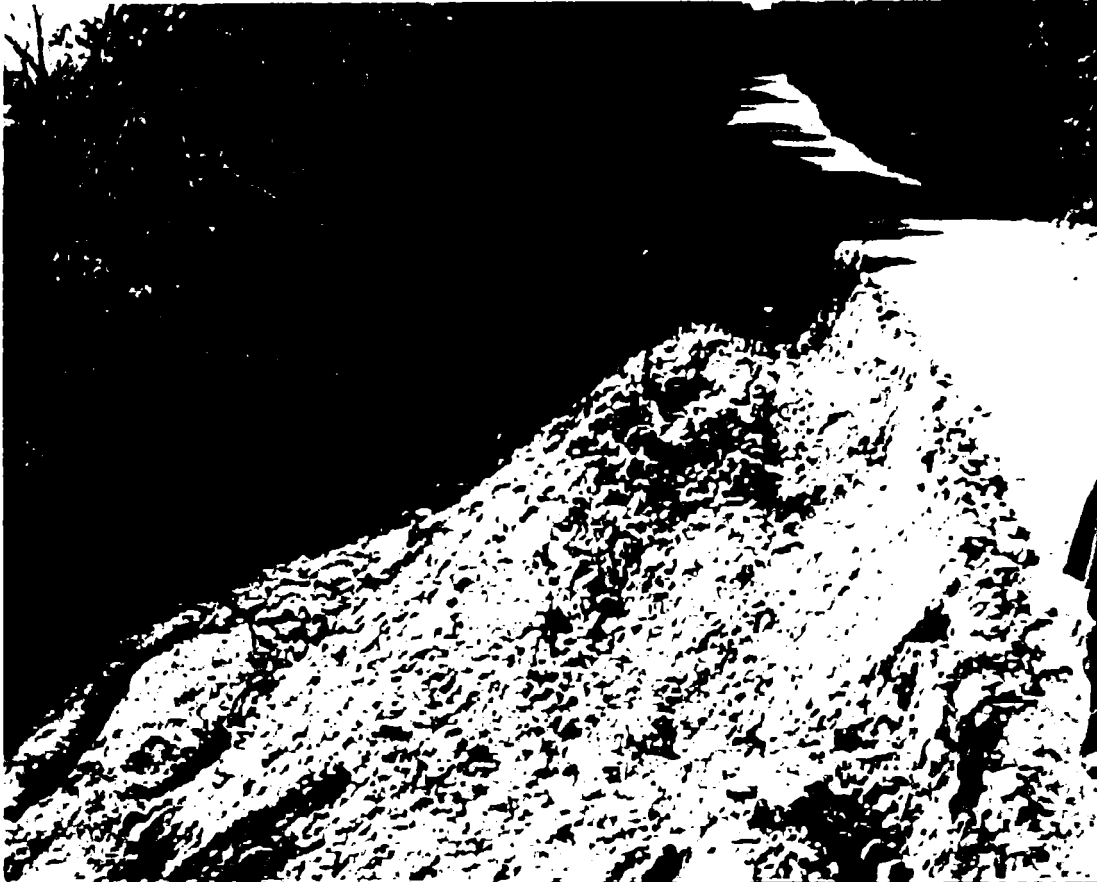


Figura 3.1 Efectele unor alunecări de teren asupra drumurilor

## 3.1 Elementele și fazele unei alunecări de teren

### 3.1.1 Definiția și descrierea elementelor unei alunecări de teren

Alunecările de teren sunt fenomene geodinamice de restabilire a echilibrului natural al versanților, prin deplasarea lentă, uneori rapidă, a unei părți din versant, ca rezultat al unor procese fizico-mecanice de durată.

Noțiunea de alunecare de teren este legată de o serie de procese fizico-mecanice, care se desfășoară pe un ciclu de stări de echilibru al versantului. Astfel, procesele fizico-mecanice pregătitoare, cu cea mai mare durată, ce se desfășoară sub acțiunea cauzelor alunecărilor de teren, pleacă de la starea de echilibru a versantului; în continuare are loc procesul propriu-zis al alunecării de teren, ce corespunde stării de pierdere a echilibrului natural, urmată de restabilirea acestuia, de cele mai multe ori cu caracter temporar, realizată prin noua formă de relief apărută pe versant.

Elementele care definesc o alunecare de teren se stabilesc prin cercetări geologice și măsurători topografice efectuate pe teren. Principalele elemente pot fi urmărite în figura 3.2

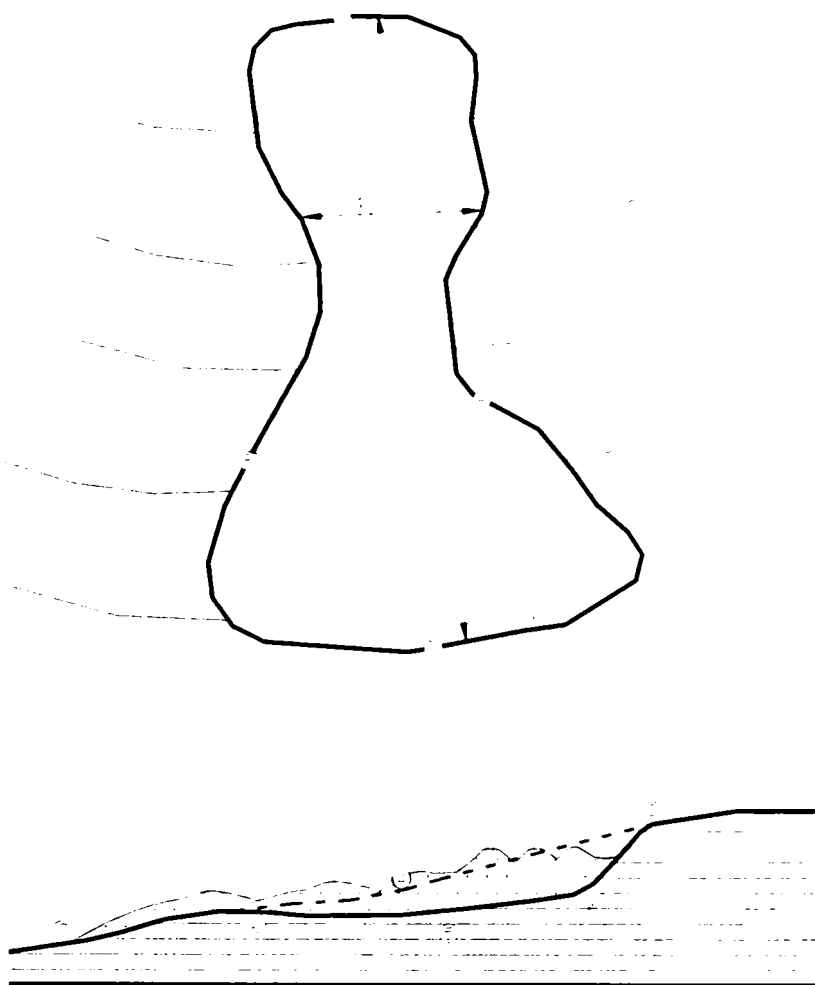


Figura 3.2. Principalele elemente ale unei alunecări de teren  
a- vedere în plan; b- profil geologic longitudinal

Principalele elemente de definiere a unei alunecări de teren sunt prezentate schematic în figura 3.2 și constau în:

- **suprafața de alunecare (1)**, care este elementul de-a lungul căruia se produce procesul propriu-zis de alunecare; forma suprafeței de alunecare este foarte diferită, în funcție de structura geologică a versantului, tectonica acestuia, natura litologică, stratificație, fisurație și alte elemente de discontinuitate structurală prezente în versanți. În majoritatea cazurilor suprafața de alunecare este bine conturată, dar există situații în care se poate vorbi chiar de o zonă a suprafeței de alunecare cu o anumită grosime, fără posibilitatea de a contura clar o suprafață de-a lungul căreia să se producă deplasarea;
- **fruntea alunecării (2)**, care reprezintă conturul zonei alunecate pe linia de formare a feței de desprindere ;
- **fața de desprindere (3)**, care este o parte a suprafeței de alunecare ce rămâne la suprafață, după efectuarea procesului de alunecare. În raport cu panta suprafeței de alunecare, fața de desprindere are o înclinare mai mare, uneori fiind chiar verticală, de unde și denumirea folosită uneori, de “treaptă de desprindere”. Fața de desprindere este, pe teren, primul element cunoscut al suprafeței de alunecare;
- **masa alunecătoare (4)**, care se deplasează în aval, odată cu începerea procesului de alunecare și este separată **de roca în loc (5)** prin suprafața de alunecare;
- **piciorul alunecării (6)**, care reprezintă intersecția din aval, dintre suprafața de alunecare și suprafața morfologică inițială, neafectată de alunecare;
- **baza alunecării (7)**, care este partea terminală din aval a masei alunecătoare, care poate sau nu să se suprapună cu piciorul alunecării;
- **marginile alunecării (8)**, care unesc fruntea și baza alunecării; în funcție de orientarea hărții (figura 3.2. a), deosebim “marginea estică”, respectiv “marginea vestică” a alunecării; pentru alte situații putem avea marginea nordică respectiv sudică;
- **lungimea alunecării (l)** este dată de distanța măsurată între fruntea și baza alunecării, de regulă pe linia de cea mai mare pantă; în cazul în care alunecarea urmează cursul unei văi, lungimea alunecării se măsoară în lungul cursului de apă;
- **lățimea alunecării (b)**, cuprinsă între cele două margini, este perpendiculară pe lungime și se estimează ca o valoare medie având în vedere ansamblul zonei alunecate.

Alunecările de teren ce rămân suspendate pe versanți sunt susceptibile de reactivări, care încep de regulă prin pierderea locală a echilibrului bazei alunecării.

Cel mai important element al unei alunecări de teren este suprafața de alunecare care se află la o anumită adâncime și are o formă geometrică.

Cele mai multe alunecări de teren au suprafața de alunecare la câțiva metri sau, uneori, la câțiva zeci de metri adâncime. Acestea sunt și adâncimile practice pentru care activitatea inginerescă preconizează soluții tehnice de stabilizare a alunecărilor. La unele alunecări de teren se pot întâlni mai multe suprafețe de alunecare, situate succesiv la diferite adâncimi. Cercetarea geologică de teren trebuie în acest caz să identifice cea mai adâncă suprafață de alunecare, cea de la contactul cu roca în loc. Dacă acest obiectiv nu se realizează, măsurile tehnice de stabilizare a alunecării nu pot fi eficiente.

Forma geometrică a suprafeței de alunecare este determinată de condițiile geologice, între care stratificația, șistuoșitatea, fisurația, faliile și contactele dintre diferite formațiuni geologice joacă un rol de prim ordin. Luând în considerare aceste elemente de discontinuitate existente în versant sau taluz, suprafața de alunecare are în multe cazuri formă plană. Dacă o alunecare se formează într-un masiv omogen, lipsit de stratificație, sau stratificat dar cu grosimi mari de strate, suprafața de alunecare este curbilinie, cilindrică-circulară, având concavitatea orientată spre masa alunecătoare.

Dimensiunile în plan ale unei alunecări sunt definite prin lățimea și prin lungimea totală a alunecării și de către adâncimea alunecării.

Lățimea alunecării este distanța dintre fețele laterale stânga și dreapta.

Lungimea totală este zona cuprinsă între fruntea alunecării și baza alunecării, măsurată după linia de cea mai mare pantă.

Ca ordin de mărime, lungimea unei alunecări de teren este de câteva zeci sau sute de metri, uneori chiar câțiva km, iar lățimea se măsoară de regulă în zeci de metri, sau sute de metri la fenomenele de amploare.

Adâncimea alunecării este distanța dintre suprafața de alunecare și suprafața terenului natural. În funcție de aceste elemente se definește următorul raport care permite identificarea tipului de alunecare:

$$\frac{D}{L} = \frac{\text{adancime a alunecarii}}{\text{lungimea totala a alunecarii}} \quad 3.1$$

### 3.1.2 Fazele unei alunecări de teren

Modelul conceptual de formare și evoluție a unei alunecări de teren este redat în graficul din figura 3.3.

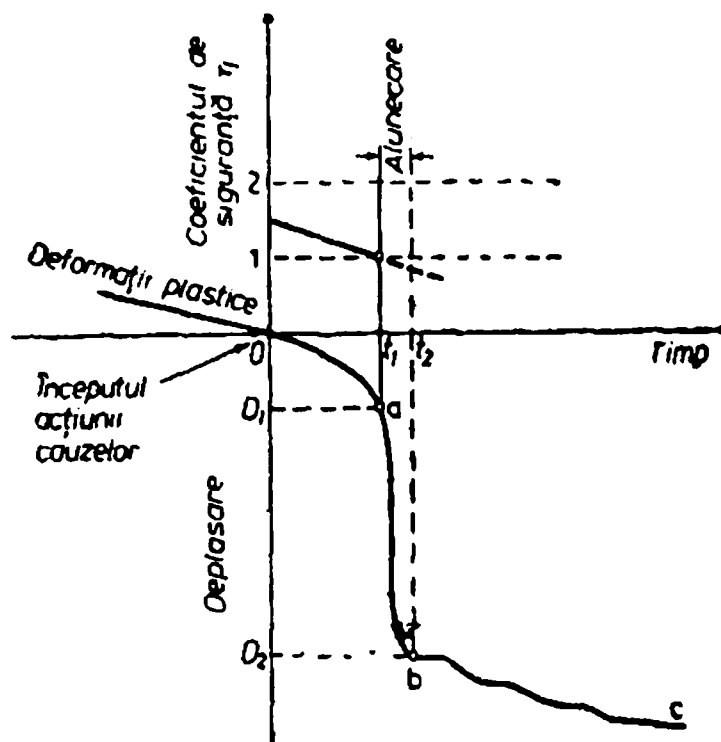


Figura 3.3. Fazele unei alunecări de teren

O alunecare de teren începe de fapt odată cu acțiunea primei cauze, plecând de la timpul zero care se consideră la începutul acțiunii cauzelor, proces care poate dura mai mulți ani sau mai multe zeci de ani. Privite în acest mod, alunecările de teren sunt procese geodinamice lente și foarte lente care, având o determinare fizico-mecanică, se extind pe o perioadă mare de timp. O alunecare de teren are, în principiu trei faze:

- faza lentă a alunecării;
- faza alunecării propriu-zise;
- faza de stabilizare pe cale naturală.

Faza lentă a alunecării este reprezentată de porțiunea Oa a curbei de variație a deplasării în timp. În această fază, în masiv au loc deformații plastice care duc treptat la cedări locale. Aceste deformații au drept rezultat reducerea progresivă a coeficientului de siguranță privind stabilitatea versantului sau taluzului până la valoarea critică  $\eta=1$ . În faza lentă de alunecare deplasarea este în general mică (distanța  $OD_1$  din figura 3.3), iar durata acțiunii cauzelor este cea mai mare în comparație cu celelalte faze ale alunecării ( $Ot_1$ , figura 3.3)

Faza alunecării propriu-zise are o durată mult mai mică în comparație cu cea precedentă ( $t_1 - t_2$ ), iar deplasarea este foarte mare ( $D_2 - D_1$ )

Faza de stabilizare pe cale naturală a unei alunecări de teren are o durată în general mică, mai mică decât cea din faza lentă, dar mai mare decât faza alunecării propriu-zise. Distanța de deplasare a masei alunecătoare este, de regulă, mai mică decât în faza precedentă.

Un element necesar a fi studiat pentru cunoașterea procesului de alunecare este viteza de alunecare din faza lentă, care este foarte diferită de cea din faza alunecării propriu-zise. Toate alunecările de teren, cu excepția celor provocate de cutremurele de pământ sau de explozii, sunt precedate de o serie de deformații ale terenului, care apar ca rezultat al unor deplasări locale. Viteza în faza lentă de alunecare este cel mai potrivit criteriu de apreciere a evoluției viitoare a procesului de alunecare.

Viteza de alunecare este în funcție de cauzele care produc alunecarea și de intensitatea lor. În faza lentă de alunecare, viteza crește progresiv în timp.

În faza alunecării propriu-zise viteza de alunecare variază în limite mult mai largi. Încercând o clasificare a vitezei alunecărilor de teren, Highway Research Board din Statele Unite admite că  $v > 0,3$  m/s pentru cele mai rapide alunecări și  $v < 1,5$  m/an pentru alunecările foarte lente.

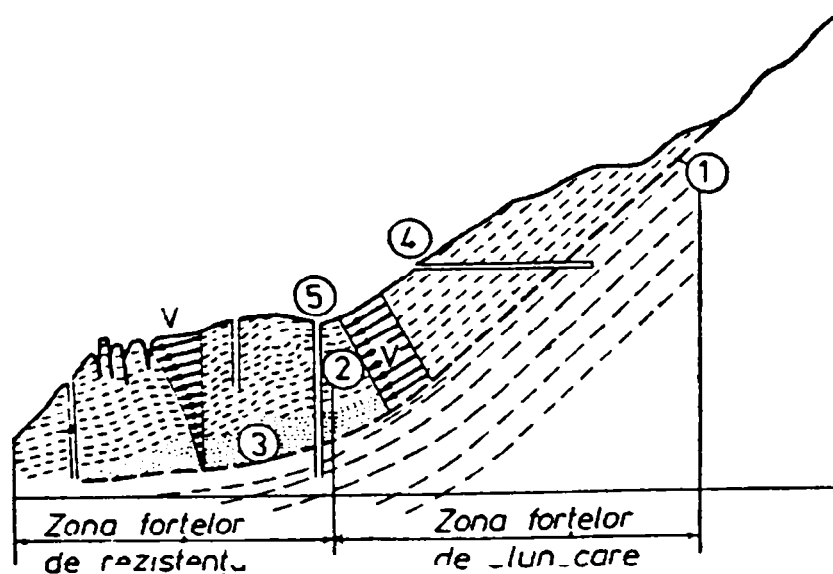


Figura 3.4 Secțiune prin Alunecarea Vajont-Italia (după Muller L)

1-suprafața de alunecare; 2- zona de comprimare; 3- zona de cedare progresivă;

4- galerie; 5- foraj; v- viteza de alunecare.

La alunecările obișnuite după K. Terzaghi vitezele sunt mai mici de 0,3 m/oră. Alunecările în rocile stâncoase pot avea viteze foarte mari. O altă categorie de roci la care s-au observat viteze mari de alunecare sunt argilele sensitive de tipul quick clay din Scutul Scandinaviei și Canada. Astfel, la alunecarea Surte din Suedia s-a înregistrat o viteză de

alunecare de 1 m/s (Caquot A., Kerisel J., 1968). Studiind sistematic 67 alunecări, Muller L. (1964) a apreciat că vitezele de alunecare variază între 0,8 și 20 m/s.

Se poate conchide, deci, că viteza de alunecare poate varia, ca ordin de mărime, de la mm/an la m/s.

În faza alunecării propriu-zise viteza de alunecare este relativ uniformă în partea superioară a versantului și se reduce cu adâncimea spre baza acestuia. Astfel, la alunecarea Vajont, unde suprafața de alunecare are o pantă de 40—45°, viteza de alunecare este relativ uniformă pe toată grosimea masei alunecătoare, până la suprafața de alunecare. La baza versantului însă, în zona forțelor de rezistență, unde suprafața de alunecare are unghiuri de înclinare foarte mici, viteza de alunecare are valori mari la suprafața masei alunecătoare și valori foarte mici în zona suprafeței de alunecare.

Comprimarea bazei masei alunecătoare reduce sau chiar anulează efectul de deplasare în porțiunea inferioară a alunecării. Această problemă are importanța ei în înțelegerea alunecărilor de teren. Comprimarea bazei masei alunecătoare a fost observată și la unele alunecări din țara noastră, de exemplu alunecările de pe versantul estic al orașului Suceava, unde la partea superioară a versantului s-au înregistrat deplasări pe verticală de 3—4 m în zona feței de desprindere, însoțite de importante mișcări orizontale, care s-au atenuat spre baza versantului prin efectul de comprimare a masei alunecătoare.

Studiind o alunecare în argile paleogene din Cehoslovacia cu ocazia execuției unui baraj de pământ, V. Mencl et al. (1965) au constatat o zonare foarte clară în lungul alunecării, efortul de întindere fiind evident în partea superioară a alunecării, iar efortul de comprimare în partea inferioară.

Privind o alunecare de teren într-o secțiune transversală pe lățime se constată că viteza de alunecare este neuniformă, având valori maxime în partea centrală a secțiunii și minime pe margini, în zona de contact cu roca în loc. De exemplu, la o alunecare de teren care avea o viteză medie de 30 cm/an, în centrul alunecării s-a măsurat viteza de 100 cm/an (Fukuoka M., Taniguchi T., 1961).

Viteza de alunecare, mai ales în faza sa lentă, este în funcție și de modul de declanșare a procesului de alunecare. Marea majoritate a alunecărilor de teren încep ca un proces de alunecare progresivă, cu formarea unor suprafețe de alunecare locale. În aceste condiții viteza de alunecare are un caracter discontinuu. Sunt și alunecări, în argile sensitive de exemplu, în care deformația terenului se produce în același timp pe întreaga suprafață de alunecare (Bjerrum L., 1955); în astfel de cazuri, viteza, în faza lentă de alunecare, are o evoluție continuă.

Cercetarea alunecărilor de teren din țara noastră, în ultimul deceniu, a adus elemente noi în cunoașterea evoluției vitezei de alunecare în faza alunecării propriu-zise (Radu V., 1970). Astfel, la alunecările din zona minieră Horăști situată pe versantul stâng al Pârâului Brabeți din apropierea orașului Motru, alunecări ce s-au format în argile levantine și în depozite deluviale argiloase cuaternare, s-a constatat, pe baza observațiilor de teren, că viteza de alunecare are o variație diurnă, cu intensificări în timpul zilei până la atingerea unui maxim, după care, în cursul nopții, urmează o perioadă de liniște relativă. Măsurătorile vitezei au fost făcute la contactul dintre masa alunecătoare și roca în loc. Versantul afectat de alunecări are pante de 25-35°, iar argilele levantine, cad pe acest versant, spre vale, cu 10-15°.

### 3.2 Criterii de clasificare a alunecărilor de teren

Cele mai multe criterii de clasificare țin seama de elementele geometrice ale alunecărilor dar și de alți parametri.

#### 3.2.1 Forma și adâncimea suprafeței de alunecare

După acest criteriu alunecările de teren se clasifică în alunecări circular-cilindrice, alunecări de translație (pe suprafețe plane), alunecări pe suprafețe de formă oarecare (figura 3.5)

*Alunecările circular-cilindrice* sunt caracteristice versanților cu structura omogenă din punct de vedere litologic și geotehnic.

*Alunecările de translație* se produc pe suprafețele plane ale unor straturi cu rezistența la forfecare redusă (exemplu un strat de argilă care se poate înmuia după o perioadă de precipitații sau datorită pierderilor prin infiltrații de apă din rețelele de apă sau canalizare).

*Alunecările care se produc pe o suprafață oarecare* sunt cele mai frecvente și, de regulă, deplasarea are loc pe suprafețele care delimitează deluviile de roca de bază.

În această categorie sunt cuprinse și **alunecările mixte**, care în partea superioară, de exemplu, sunt de formă circular-cilindrică și se continuă spre aval pe suprafețe plane.

Din aceste alunecări iau naștere și **alunecările retrograde**, cu formare de grabene.



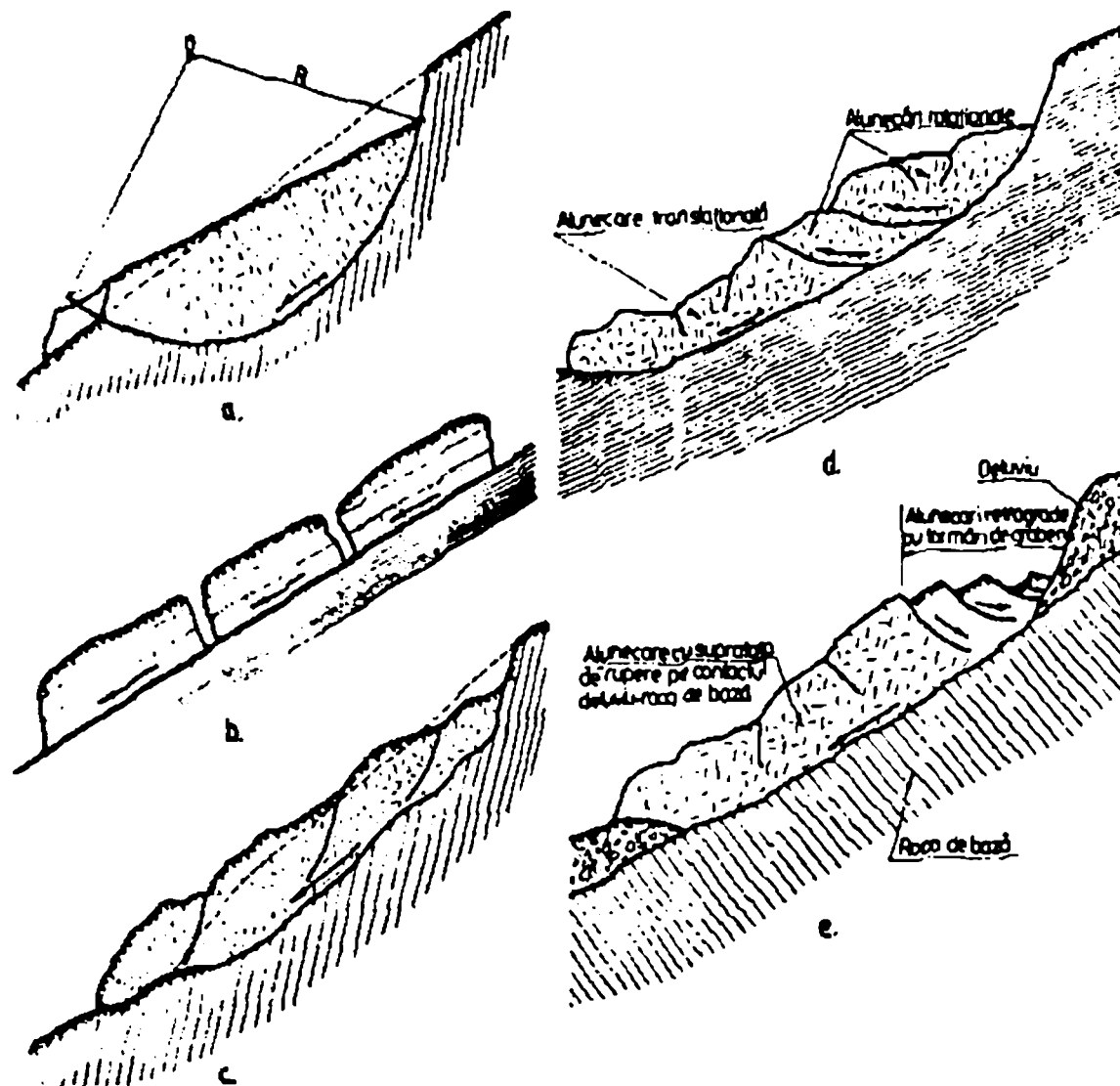


Figura 3.5. Clasificarea alunecărilor de teren după forma suprafețelor de rupere a-cilindrice, b-de translație, c-după o suprafață de rupere oarecare, d-mixte, e-retrograde

Clasificarea alunecărilor după adâncimea maximă la care se situează suprafața de rupere este convențională și separă alunecările de teren conform tabelului 3.1

Tabelul 3.1

Tipul de alunecare	Adâncimea suprafeței de alunecare
Superficială	< 1 m
De adâncime mică	1 ÷ 5 m
Adâncă	5 ÷ 20 m
Foarte adâncă	> 20 m

### 3.2.2 Sensul de deplasare a frontului de desprindere

Desprinderea masei de roci care alunecă poate începe de la bază sau din zona mediană a versantului și să se extindă către partea superioară a acestuia, prin desprinderea în continuare, felie cu felie, a noi volume de rocă. Este posibil însă ca alunecarea să înceapă de la partea superioară a versantului iar masa de rocă care alunecă să supraîncarce versantul în zona imediat inferioară și să producă dezechilibrul acestuia, suprafața zonei afectată de alunecare putându-se extinde până la baza versantului.

În funcție de sensul de deplasare a frontului de desprindere, alunecările se clasifică în alunecări de tip deplasiv și alunecări de tip detrusiv.

**Alunecările de tip deplasiv.** Când frontul de desprindere al masei de roci care alunecă se deplasează către partea superioară a versantului alunecarea este de tip deplasiv (figura 3.6 a). Principalele cauze care favorizează acest tip de alunecare sunt eroziunile sau excavațiile executate la baza versanților.

Prin eroziunea laterală a unui râu, de exemplu, baza versantului este erodată creându-se un taluz cu o pantă mult mai mare decât panta generală a versantului. În aceste condiții la baza versantului, pe o zonă relativ restrânsă, se creează condiții de reșezare a taluzului rezultat din eroziune, la o pantă de echilibru.

Fenomenul de alunecare începe cu desprinderea unui prism de rocă cu suprafața de rupere 1 (figura 3.6. a) care se deplasează către baza versantului. Prin această desprindere și deplasare a primului prism de rocă suprafața de taluz instabil se mută din poziția 0 în poziția 1 și fenomenul se repetă prin desprinderea unui nou volum de rocă după suprafața de rupere 2 ș.a.m.d. până când versantul ajunge la o pantă de echilibru stabil.

Caracteristic acestui tip de alunecare este faptul că frontul de desprindere se deplasează de la partea inferioară a versantului către partea superioară, alunecarea făcându-se felie cu felie, roca antrenată în procesul de alunecare este supusă la eforturi de întindere iar sensurile de deplasare ale frontului de desprindere și masei alunecate sunt opuse.

**Alunecările de tip detrusiv** se datorează în special supraîncărcării versanților și de regulă încep din zona supraîncărcată și se extind către baza versantului. Schema de desfășurare a unei alunecări de tip detrusiv este arătată în figura 3.6 b.

Dacă sarcina de supraîncărcare depășește o anumită valoare care să conducă la apariția unei forțe de tăiere în masivul de rocă mai mare decât rezistența la forfecare a rocilor din versant, se declanșează o alunecare după o suprafață de rupere 1. Masa de roci care alunecă se deplasează către baza versantului supraîncărcând zona inferioară adiacentă creându-se condiții de instabilitate asemănătoare cu cele care au produs prima suprafață de rupere. În acest fel

apare o succesiune de suprafețe de rupere până când, prin reșezarea rocilor ca urmare a alunecării, versantul intră într-o stare de echilibru stabil, alunecarea putându-se opri undeva pe versant sau să ajungă până la baza acestuia.

Alunecările de tip detrusiv se caracterizează prin aceea că fronturile de desprindere se succed începând de la partea superioară către baza versantului, direcția de deplasare a frontului de desprindere este în același sens cu deplasarea masei care alunecă iar rocile antrenate în procesul de alunecare sunt supuse eforturilor de compresiune.

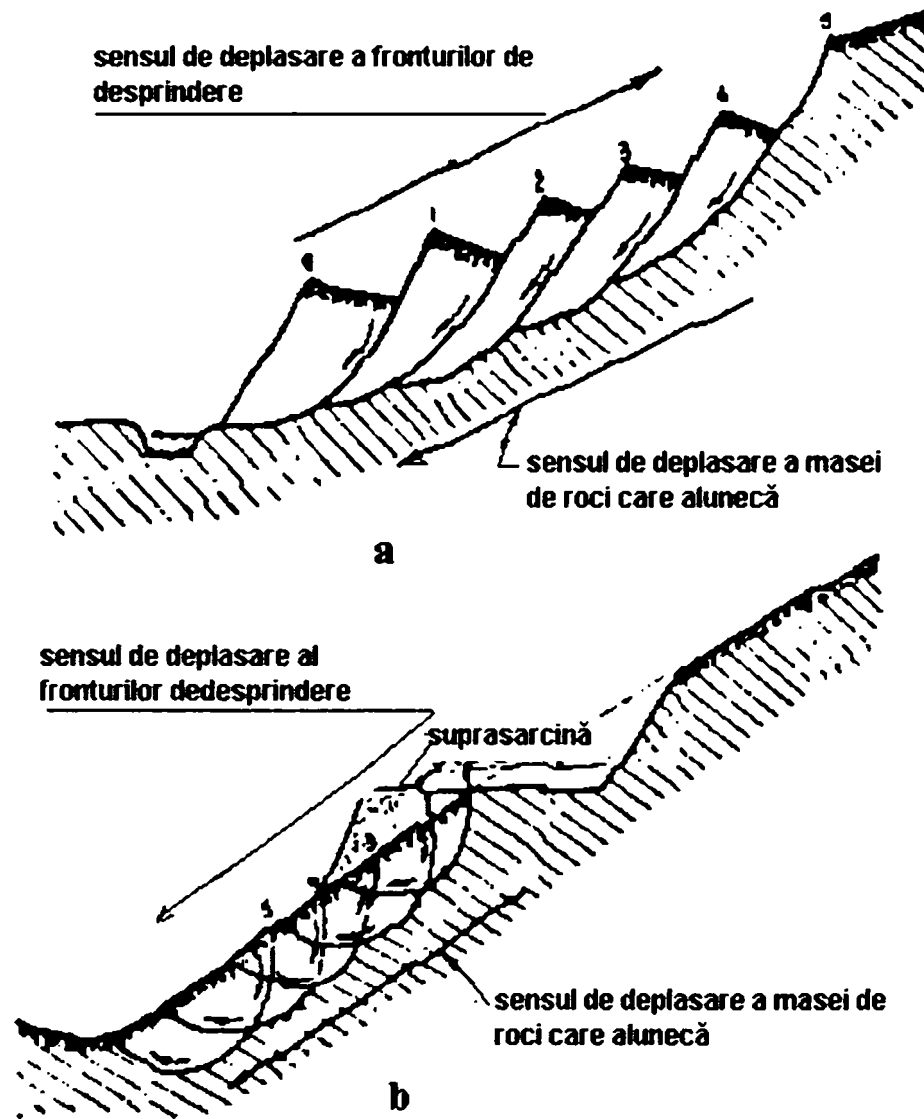


Figura 3.6. Clasificarea alunecărilor de teren după sensul de extindere a acestora  
a- alunecări deplasive, b- alunecări detrusive.

### 3.2.3 Viteza de deplasare a masei alunecate

Una dintre multele clasificări ale deplasărilor maselor de roci la suprafața terenului în funcție de viteza de mișcare este cea propusă de către C.F.S.Sharpe și F.B.Eckel conform tabelului 3.2.

Tabelul 3.2

Caracterizarea deplasării	Viteza de deplasare	Tipul de deplasare
Extrem de rapidă	$>3\text{m/s}$	Prăbușiri de roci
Foarte rapidă	$3\text{m/s} \div 0,3\text{m/min}$	Alunecare propriu-zisă
Rapidă	$0,3\text{m/min} \div 1,5\text{m/zi}$	
Moderată	$1,5\text{m/zi} \div 1,5\text{m/lună}$	
Lentă	$1,5\text{m/lună} \div 1,5\text{m/an}$	
Foarte lentă	$1,5\text{m/an} \div 0,06\text{m/an}$	
Extrem de lentă	$< \text{de } 0,06\text{m/an}$	Creeping (curgerea lentă a deluviului)

### 3.2.4 Natura rocii afectată de alunecare

După natura rocilor din versantul sau taluzul afectat alunecările de teren se clasifică astfel:

- alunecări care afectează numai deluviile (fig. 3.7.a);
- alunecări pe contactul dintre deluviu și roca de bază (fig. 3.7.b);
- alunecări care afectează în principal roca de bază (fig. 3.7.c).

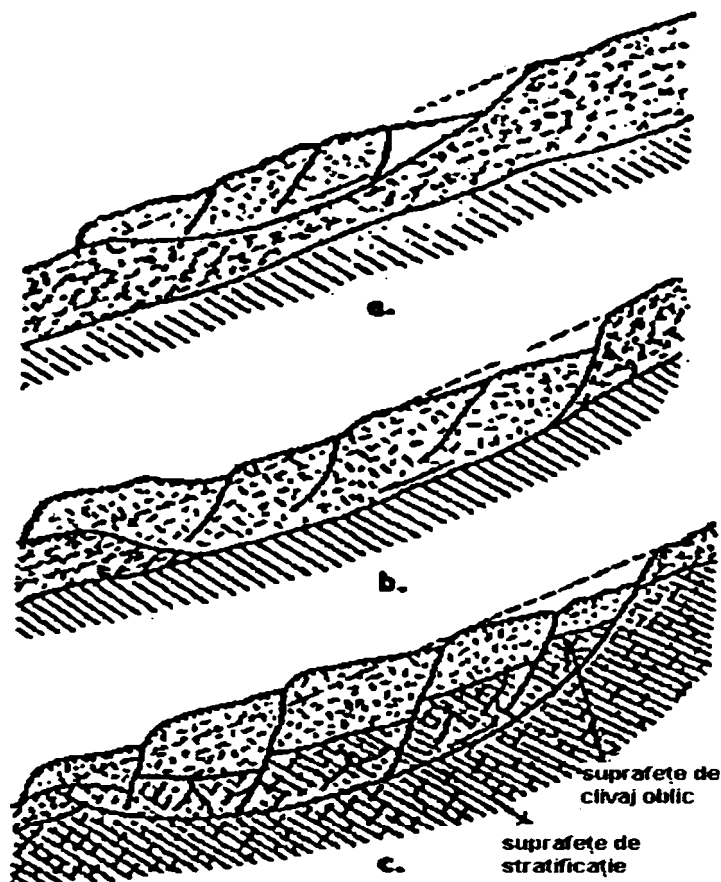


Figura 3.7. Clasificarea alunecărilor după natura rocilor

### 3.2.5 Orientarea suprafeței de alunecare față de stratificația rocilor

În funcție de orientarea suprafeței de alunecare față de stratificația rocilor se deosebesc următoarele tipuri de alunecări:

- alunecări consecvente (fig. 3.8.a), când înclinarea suprafeței de alunecare este în același sens cu cea a suprafețelor de stratificație ale rocilor;
- alunecări insecvente sau obsecvente (fig. 3.8.b), când înclinarea suprafeței de alunecare este orientată în sens invers față de stratificație;
- alunecări asecente (fig. 3.8.c), când nu se poate stabili un raport clar între orientarea înclinării suprafeței de alunecare și stratificația rocilor.

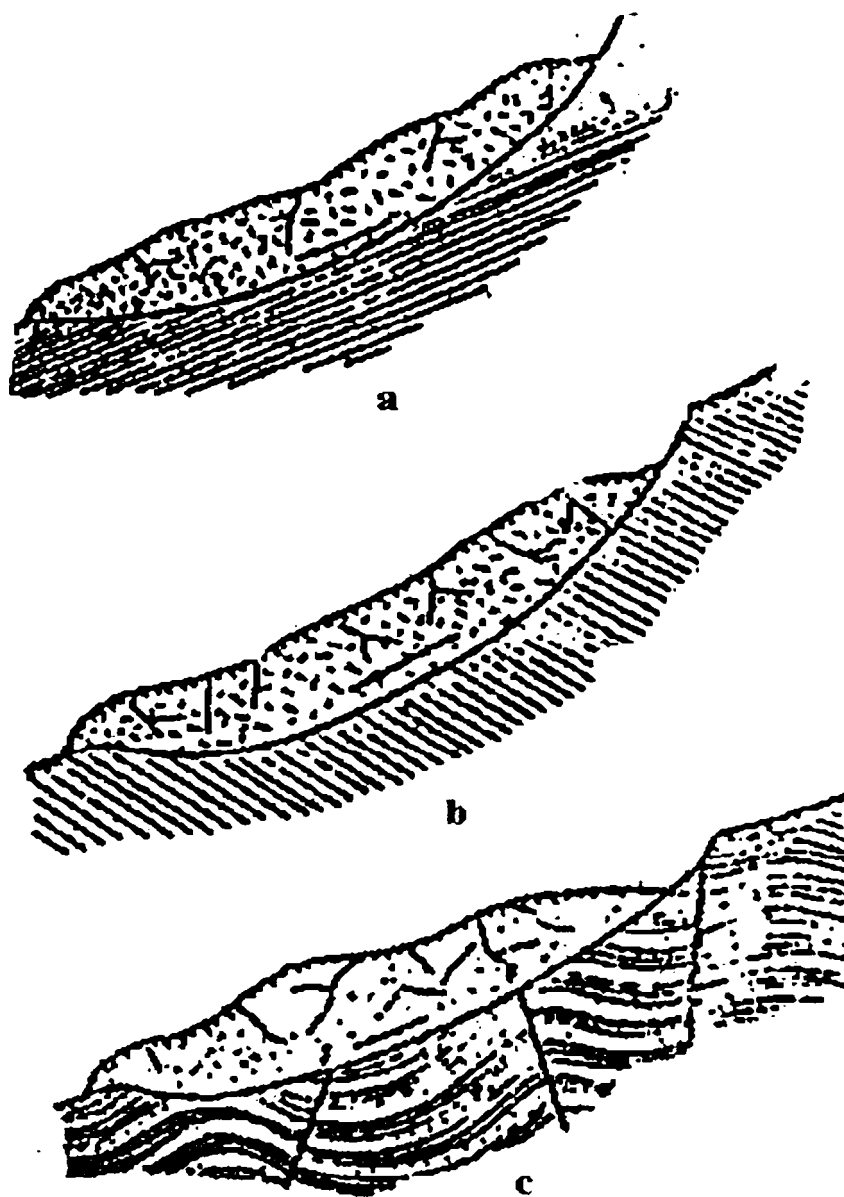


Figura 3.8. Clasificarea alunecărilor de teren după înclinarea suprafeței de alunecare față de stratificația rocilor

a- consecvente; b- insecvente; c- asecente.

### 3.2.6 Starea fizică a rocilor din masa alunecată

Masele de roci în mișcare își păstrează structura inițială când deplasarea se face în bloc. Uneori, anumite tipuri de roci în mișcare își pot modifica substanțial structura inițială și să treacă în stare curgătoare.

În funcție de starea fizică a rocilor în mișcare, alunecările se pot clasifica în două mari categorii:

- alunecări de roci cu structura nederanjată;
- curgeri de argile tixotropice și mase de nisip lichefiat.

Rocile argiloase, cu granulozitate foarte fină, pot să-și păstreze structura nederanjată precum și rezistența la forfecare dacă acestea nu prezintă proprietăți tixotropice.

În cazul în care argilele, cum sunt cele bentonitice, cu conținut ridicat în minerale de tipul montmorillonitului prezintă proprietăți tixotropice, la solicitări dinamice legăturile dintre particulele disperse se rup și argila se transformă într-un gel cu rezistență la forfecare aproape nulă, ceea ce face ca deplasarea masei lichefiate să se producă sub forma unui torent de noroi.

Dacă masa de roci lichefiată a fost pusă în mișcare, refacerea structurii inițiale și redobândirea rezistenței la forfecare nu se pot produce decât atunci când masa respectivă intră în stare de repaus.

În cazul rocilor nisipoase submersate, la solicitările dinamice din timpul cutremurelor sau în cazurile în care se pot crea gradienti mari de curgere, nisipul poate să-și piardă complet rezistența la forfecare, să treacă în stare de lichefiere și să producă refulări care să dea naștere la torenți de nisip.

### 3.2.7 Gradul de stabilizare a alunecării de teren

După gradul de stabilizare, alunecările se clasifică conform tabelului 3.3

Tabelul 3.3

Tipuri de alunecări	Caracterizare
Active	Procesul de alunecare se află în desfășurare
Temporar stabilizate	Alunecările au ajuns într-un stadiu stabil dar este posibil ca acestea să fie reactivate sub acțiunea unuia sau mai multor factori favorizatori care pot acționa în viitor
Stabilizate	Alunecările au ajuns într-un stadiu de echilibru stabil și indiferent de natura și intensitatea factorilor favorizatori care pot apare nu mai există pericolul reactivării lor

### 3.3 Cauzele principale ale producerii alunecărilor de teren

#### 3.3.1 Considerații generale asupra coeficientului de siguranță și stabilitate sau factorul de stabilitate

Alunecările de teren reprezintă fenomene fizico-geologice sub forma deplasării unor mase de roci pe pantele versanților datorită unor cauze naturale sau provocate de activitatea umană.

Starea de echilibru a unui versant depinde de raportul dintre forțele care acționează în favoarea stabilității și forțele care acționează în sensul producerii alunecării.

Gradul de stabilitate a unui versant se exprimă printr-un coeficient de siguranță  $\eta$  sau factor de stabilitate  $F_s$ , care reprezintă raportul dintre momentul forțelor rezistente și momentul forțelor active (figura 3.9)

$$F_s = \frac{\text{Momentul forțelor rezistente}}{3.2 \cdot \text{Momentul forțelor active}}$$

În cazul unui taluz sau versant în echilibru, acțiunea factorilor care tind să provoace pierderea stabilității prin alunecare este compensată de rezistența pământului, fără ca aceasta să fie integral mobilizată. Declanșarea alunecării corespunde situației de limită a echilibrului, când tensiunea tangențială generată de factorii de instabilitate devine egală cu rezistența la forfecare integral mobilizată a pământului din corpul taluzului sau versantului.

În consecință, prin coeficientul de siguranță se exprimă cantitativ gradul de stabilitate al taluzului sau versantului, respectiv se evidențiază cât de mare este rezerva de rezistență de care dispune sau cât este de mare pericolul de pierdere a stabilității.

Coeficientul de siguranță  $\eta_s$  privind stabilitatea unui taluz sau versant poate fi definit în diverse moduri, după cum se face referire la factorii care produc instabilitatea, la caracteristicile de rezistență ale pământului sau și la unele și la altele.

Astfel, în raport cu rezistența la forfecare a materialului din versant sau taluz, coeficientul de siguranță se definește prin relația:

$$\eta_s = \left[ \frac{\tau_{f \text{ real}}}{\tau_{f \text{ nec}}} \right]_{\min} \quad 3.3$$

în care:

$\eta_{f \text{ real}}$  - valoarea medie a rezistenței la forfecare disponibilă (reală);

$\eta_{f \text{ nec}}$  - valoarea medie a rezistenței la forfecare necesară (mobilizată) pentru starea de

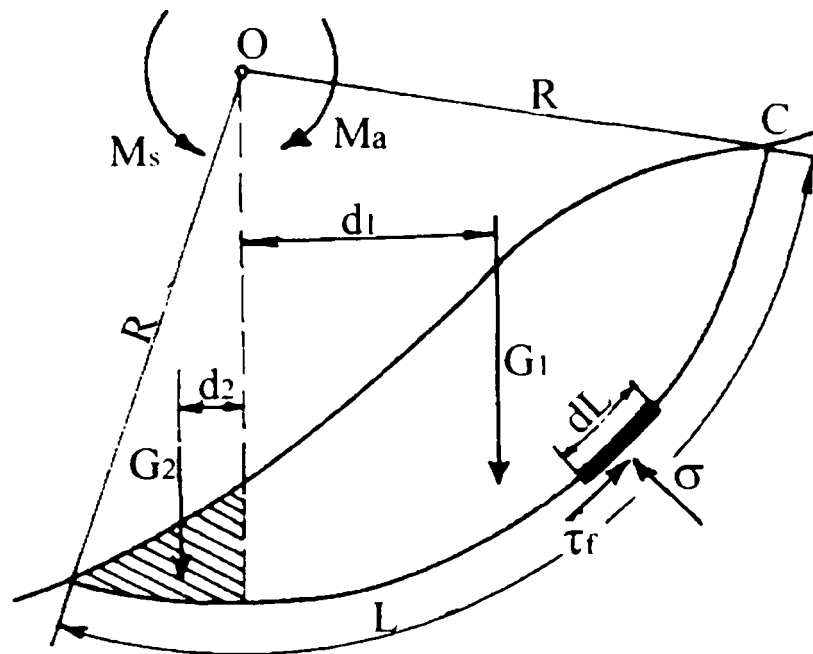


Figura 3.9. Definirea coeficientului de siguranță

În unele metode de verificare a stabilității taluzurilor și versanților, care admit existența unei suprafețe de alunecare de formă cilindrică (figura 3.9), coeficientul de siguranță se exprimă ca raport între momentul de stabilitate  $M_s$ , dat de forțele de rezistență și momentul de alunecare  $M_a$ , dat de forțele active de alunecare, ambele fiind calculate față de centrul cercului director al suprafeței de alunecare:

$$\eta_s = \frac{M_s}{M_a} \quad 3.4$$

Ținând seama de notațiile din figura 3.9, momentul total de stabilitate poate fi scris astfel:

$$M_s = G_2 \cdot d_2 + M_i \quad 3.5$$

unde,  $M_i$  reprezintă momentul de stabilitate dat de forțele de rezistență interioară (datorat lui  $\tau_{f \text{ real}}$ ) având valoarea:

$$M_i = \tau_{f \text{ real}} \cdot L \cdot R \quad 3.6$$

Valoarea medie a rezistenței la forfecare disponibilă (reală) poate fi exprimată prin relația:

$$\tau_{f \text{ real}} = \frac{1}{L} \int_0^L \sigma \cdot \text{tg} \phi \cdot dL + c \quad 3.7$$

Conform schemei de calcul prezentate în figura 3.9, momentul de alunecare este:

$$M_a = G_1 \cdot d_1 \quad 3.8$$

În situația de echilibru limită a stabilității, este îndeplinită condiția:

$$M_s = M_a \quad 3.10$$



sau:

$$G_2 \cdot d_2 + M_i = G_1 \cdot d_1, \quad 3.11$$

din care rezultă:

$$M_i = G_1 \cdot d_1 - G_2 \cdot d_2 = M_{i \text{ nec}}, \quad 3.12$$

unde prin  $M_{i \text{ nec}}$  s-a notat momentul forțelor de rezistență interioară, necesar a fi mobilizat efectiv pentru a se ajunge la starea de echilibru limită și care prin analogie cu relația 3.6 poate fi exprimat astfel:

$$M_{i \text{ nec}} = \tau_{f \text{ nec}} \cdot L \cdot R \quad 3.13$$

Relația 3.14 corespunzătoare limitei echilibrului, sugerează posibilitatea exprimării coeficientului de siguranță, în funcție de momentele forțelor care intervin în echilibru, prin raportul:

$$\eta_s = \left[ \frac{M_i}{M_{i \text{ nec}}} \right]_{\min} \quad 3.14$$

care, dacă se ține seama de relațiile 3.12 și 3.13, devine identică cu relația 3.4, adică:

$$\eta_s = \left[ \frac{\tau_{f \text{ real}} \cdot L \cdot R}{\tau_{f \text{ nec}} \cdot L \cdot R} \right]_{\min} = \left[ \frac{\tau_{f \text{ real}}}{\tau_{f \text{ nec}}} \right]_{\min} \quad 3.15$$

Indiferent de modul de exprimare și de calcul al coeficientului de siguranță, în momentul când se declanșează alunecarea (când se atinge limita echilibrului) valoarea sa este egală cu unitatea. Valorile supraunitare ale coeficientului de siguranță indică rezerva de stabilitate pe care o are taluzul sau versantul analizat.

În cazul când coeficientul de siguranță este supraunitar, se pune întrebarea, de la ce valoare taluzul sau versantul poate fi considerat ca fiind „suficient de stabil”. Valoarea minimă necesară a coeficientului de siguranță depinde în mare măsură de complexitatea și gradul de cunoaștere de către proiectant a problemei analizate, precum și de dificultatea de exprimare a tuturor factorilor geologici în termeni ingineresti și relații matematice. În cazul când există un grad mai ridicat de incertitudine privind problema analizată, se indică adoptarea unei valori admisibile mai mari pentru coeficientul de siguranță. De asemenea, atunci când estimarea prin calcul a stabilității unui taluz sau versant prezintă o mare importanță socială sau economică, se adoptă în mod deliberat o valoare admisibilă mai mare a coeficientului de siguranță, chiar dacă cazul respectiv este bine cunoscut și stăpânit. Acest lucru este justificat și de faptul că prin coeficientul de siguranță se redă gradul de stabilitate a unui versant sau taluz la un moment dat. În decursul timpului pot însă să apară modificări nepronozate ale condițiilor de stabilitate, care schimbă valoarea coeficientului de siguranță.

În mod frecvent, valoarea minimă admisibilă a coeficientului de siguranță considerată de mulți specialiști, precum și de diverse norme sau prescripții este de 1,25...2,0.

În afară de stabilirea elementelor geometrice, cercetarea și studiul alunecărilor de teren urmăresc, în primul rând determinarea cauzelor determinante în producerea lor, cunoscând aceste cauze se pot stabili măsurile eficiente de stabilizare a versanților și taluzurilor. Determinarea alunecărilor de teren prezintă unele particularități specifice, de asemenea se pot menționa unele cauze ce trebuie avute în vedere la analiza și studiul alunecărilor de teren.

### **3.3.1 Modificarea pantei versanților și a stării interioare de eforturi**

Sub influența acțiunii factorilor fizici naturali precum și a factorului antropic, panta generală a versantului poate să crească până la o valoare critică peste care versantul își pierde stabilitatea.

Cauzele care pot contribui la modificarea morfologiei versantului sunt multiple între cele mai importante menționându-se:

- eroziunea la baza versantului și eroziunile torențiale;
- excavațiile executate pentru exploatare în cariere, platforme pentru amplasarea diverselor construcții, platforme de drumuri, canale de coastă sau căi ferate executate paralel cu curbele de nivel;
- supraîncărcarea versanților;
- prăbușiri datorită excavațiilor subterane sau golurilor create de fenomenele carstice, etc.

În figura 3.10 sunt reprezentate câteva scheme privind diverse cauze care pot favoriza producerea alunecărilor de teren.

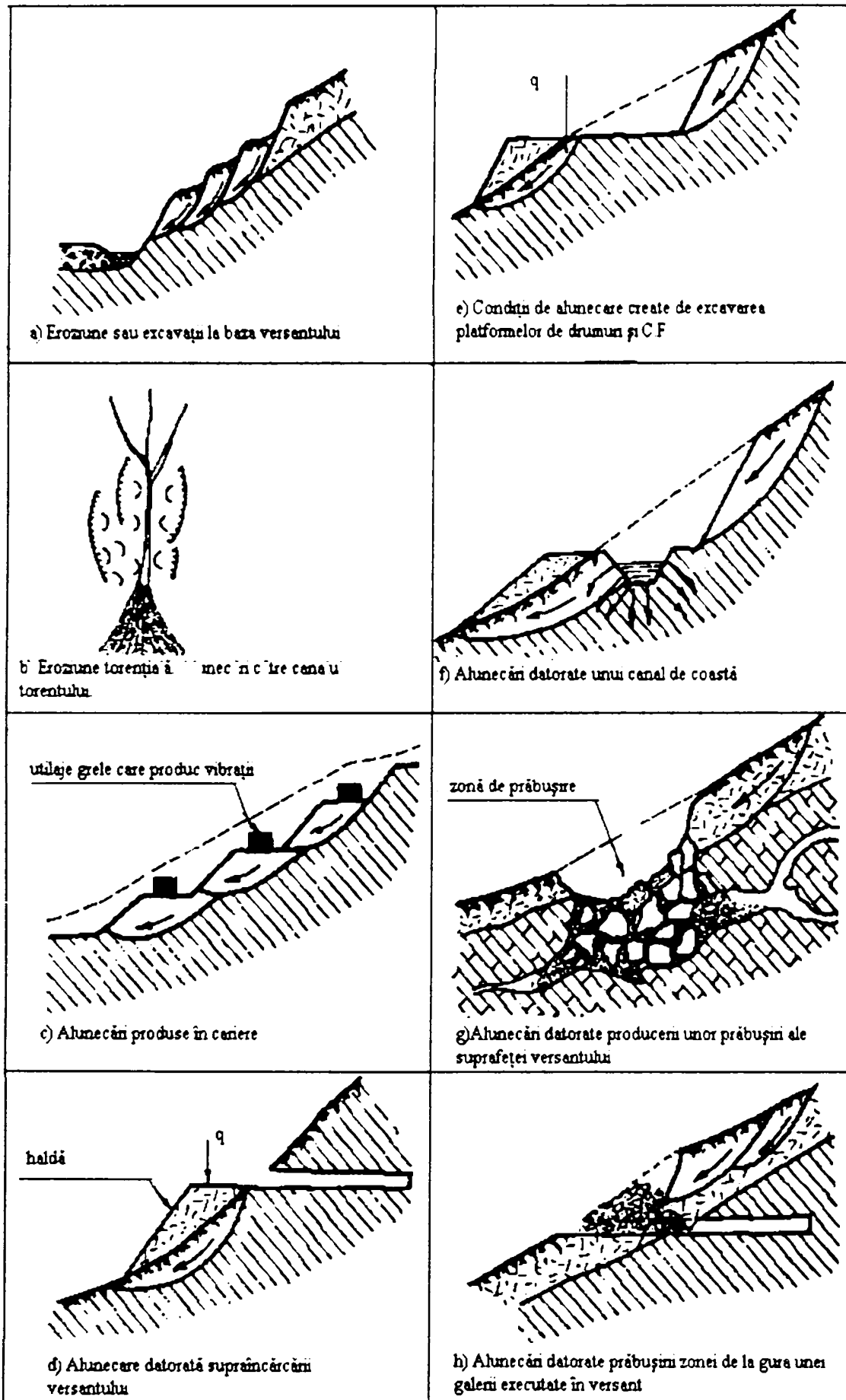


Figura 3.10 Scheme privind diverse cauze care pot favoriza producerea alunecărilor de teren

### 3.3.2.1 Eroziunea bazei versanților și a taluzurilor

Eroziunea râurilor la baza versanților, precum și acțiunea valurilor mării și a oceanului asupra țărmului înalt au drept rezultat formarea a numeroase alunecări de teren. Eroziunea râurilor descarcă baza versantului, lipsindu-l în acest mod de un sprijin natural cu rol de pinten de rezistență. Prin eroziunea versantului se reduce mărimea forței de rezistență din prismul masiv, se modifică raportul dintre forțele de rezistență și cele de alunecare în favoarea acestora din urmă, ceea ce are drept rezultat pierderea echilibrului natural al versantului, formarea unei alunecări de teren. Eroziunea râurilor și abraziunea marină sunt probabil cele mai frecvente cauze ale alunecărilor de teren. Cartând alunecările de teren în orice zonă, acestea au cea mai mare răspândire în lungul râurilor și pâraielor.

Eroziunea intensă și de durată poate micșora rezerva de stabilitate a versantului, exprimată prin coeficientul de siguranță până la condiția echilibrului limită, când se declanșează procesul propriu-zis de alunecare. Calitativ, reducerea rezervei de stabilitate a versantului a fost reprezentată grafic de K. Terzaghi.

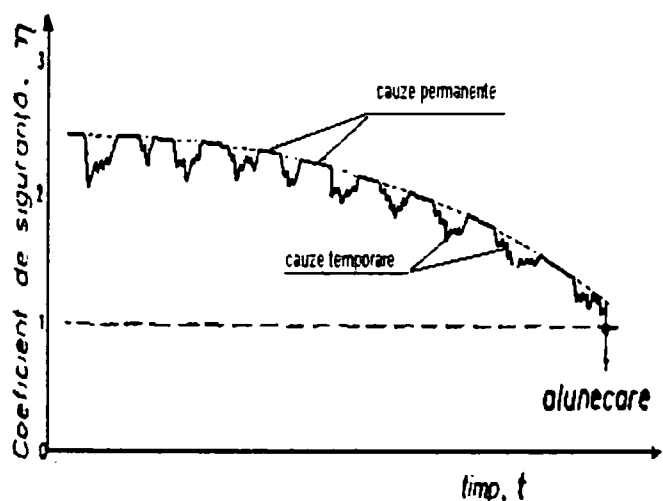


Figura 3.11. Variația coeficientului de siguranță al stabilității versantului (după K. Terzaghi)

Sub acțiunea cauzelor permanente, avem o reducere continuă a rezervei de stabilitate, în vreme ce cauzele temporare determină o reducere locală, limitată ca mărime. Procesul de alunecare poate apărea ca urmare a cauzelor temporare, în condițiile în care rezerva de stabilitate este foarte mică, apropiată de valoarea critică,  $\eta=1$ .

E. P. Emelianova (1953) a luat în considerare diferite cauze ale alunecărilor de teren, a diversificat reprezentările grafice, dând o imagine diferențiată procesului de formare a alunecărilor.

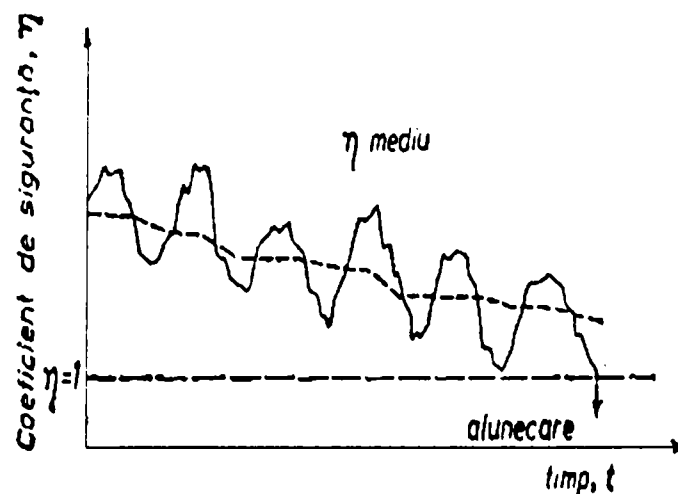


Figura 3.12. Formarea alunecărilor prin eroziunea bazei versanților și acțiunea precipitațiilor (după Emelianova)

Linia punctată orizontală reprezintă coeficientul de siguranță limită  $\eta=1$ , iar linia punctată înclinată spre dreapta reprezintă coeficientul de siguranță mediu, care se reduce continuu sub eroziunea bazei versantului de către un curs de apă. Linia continuă care oscilează în jurul coeficientului de siguranță mediu este variația coeficientului de siguranță când versantul este supus succesiv unei perioade cu ploi urmată apoi de o perioadă secetoasă. În timpul ploilor, rezerva de stabilitate se reduce, prin creșterea forțelor de alunecare, linia continuă situându-se sub cea punctată, iar în perioada secetoasă cresc forțele de rezistență ale masivului, rezerve de stabilitate fiind mai mare, fapt concretizat prin creșterea coeficientului de siguranță, curba continuă care-l reprezintă aflându-se deasupra liniei punctate. Prin eroziunea de durată a versantului rezerva de stabilitate se reduce continuu iar alunecarea se produce, de multe ori chiar mai devreme, sub efectul acțiunii ploilor, așa cum a arătat K.Terzaghi.

### 3.3.2.2 Săpăturile executate la baza versanților sau pe versanți

Săpăturile executate la baza versanților sau pe versanți, joacă, la o scară mai mică, un rol asemănător cu eroziunea râurilor, lipsind versanții de un contrafort natural la baza acestora.

În figura 3.13 este sugerat efectul pe care îl au săpăturile executate pe versanți în formarea unei alunecări de teren.

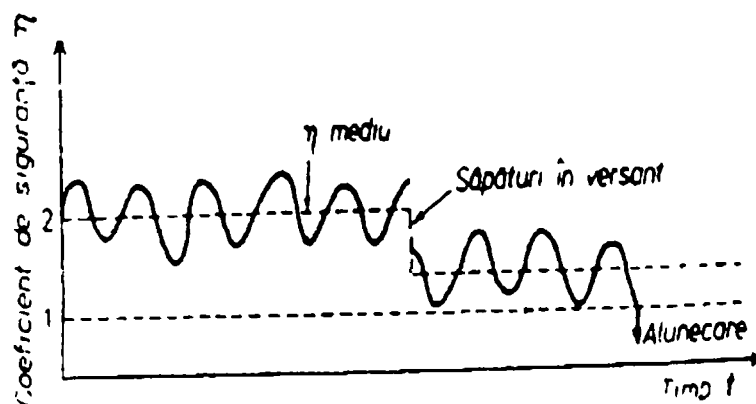


Figura 3.13. Efectul săpăturilor executate pe versanți (după Emelianova)

Coeficientul de siguranță la cedarea versantului prin alunecare are, în acest model, valoarea inițială  $\eta=2$ . În timpul ploilor acest coeficient scade, iar în vreme secetoasă versantul câștigă ceva din rezerva de stabilitate. Coeficientul  $\eta=2$  reprezintă deci o valoare medie a oscilațiilor provocate de ploi și secetă. Prin efectuarea unor săpături pe versant coeficientul de siguranță scade de la  $\eta=2$  la  $\eta=1,5$ . În noua situație intervenția ploilor devine critică pentru stabilitatea versantului, coeficientul de siguranță poate atinge valoarea  $\eta = 1$  și versantul cedează prin alunecare. Și în acest caz avem o îmbinare a acțiunii simultane a două cauze, între care cea determinată de efectuarea săpăturii pe versant, sau la baza acestuia, joacă rolul principal.

### 3.3.2.3 Încărcarea versanților

Încărcarea versanților cu construcții, halde de steril, iazuri de decantare ș.a. duce la o creștere considerabilă a forțelor de alunecare, ceea ce poate avea drept urmare formarea alunecărilor de teren. Studiarea stabilității naturale a versanților, înainte de aplicarea acestor suprasarcini, este o problemă căreia trebuie să i se acorde atenția cuvenită, atât din partea cercetătorului cât și a proiectantului, mai cu seamă în cazul versanților acoperiți cu deluvii argiloase, pentru prevederea evoluției stabilității și stabilirea măsurilor care să permită exploatarea construcțiilor în condiții de siguranță.

### 3.3.3 Modificarea umidității rocilor din corpul versanților și taluzurilor

Modificarea umidității rocilor din versanți se poate produce prin aport de apă sau prin pierdere de apă. Aportul de apă se poate datora infiltrațiilor din precipitații sau subinundării rocilor prin ridicarea nivelului apei subterane, iar diminuarea umidității prin evaporare sau prin drenaj.

Cantitatea de apă dintr-un masiv de rocă, exprimată prin gradul de umiditate, poate varia de la zero ( $S_r=0$ ) în cazul rocilor uscate, situate în zona de evaporare la valoarea maximă ( $S_r>0,9$ ) în cazul rocilor saturate situate sub nivelul apei subterane sau în cazul rocilor argiloase-prăfoase și în zona de capilaritate.

Influența apei asupra stabilității taluzurilor și versanților, în majoritatea cazurilor este defavorabilă, fenomenele fiind generate atât de apele de suprafață, cât și de apele subterane.

Apa din pori și fisuri are o influență nefavorabilă asupra caracteristicilor fizice ale rocilor în special prin creșterea greutății volumice și diminuarea rezistenței la forfecare.

### 3.3.3.1 Precipitațiile atmosferice

Prin acțiunea lor asupra versanților și taluzurilor, precipitațiile joacă un rol de prim ordin în declanșarea și evoluția alunecărilor de teren. Anotimpurile ploioase produc în unele zone alunecări de teren, reactivarea unor alunecări cu evoluție mai lentă sau chiar reactivarea unor alunecări deja stabilizate. Cu fiecare anotimp ploios, valorile proprietăților fizico-mecanice ale rocilor se reduc, rezistența rocilor devine mai mică, îndeosebi prin reducerea coeziunii și a unghiului de frecare internă. Apariția unei alunecări de teren într-un anotimp ploios reprezintă efectul final al unui șir mai lung de efecte însumate ale acțiunii precipitațiilor asupra rocilor.

Între precipitații și alunecările de teren există anumite corelații. Astfel, s-au stabilit corelații între cantitatea precipitațiilor și mărimea absolută a deplasării totale a alunecării de teren, corelații între precipitații și viteza de alunecare

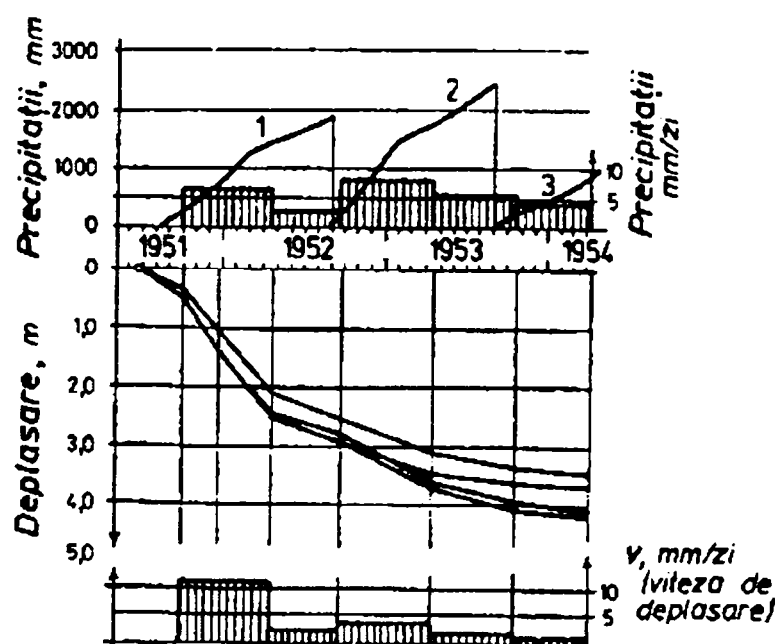


Figura 3.14. Corelația dintre precipitații și alunecare (după Nonveiller și Suklje 1955)

În figura 3.14. este prezentat un exemplu de corelare dintre volumul de precipitații și deplasarea alunecării care atinge valoarea de cca. 4 metri în 2.5 ani. Precipitațiile sunt redate atât ca valori anuale în mm (curbele 1-3) cât și în mm/zi (zonele hașurate din figura 3.14).

Corelația dintre volumul precipitațiilor și mărimea vitezei de alunecare este prezentată în figura 3.15. Precipitațiile maxime de cca. 13cm/lună au determinat o viteză de deplasare de cca. 180 cm/lună, ce a fost atinsă după un interval de timp foarte scurt de la căderea precipitațiilor. Din această corelație rezultă dependența directă a vitezei de alunecare de mărimea precipitațiilor precum și decalarea lor în timp în funcție de evoluția procesului de alunecare.

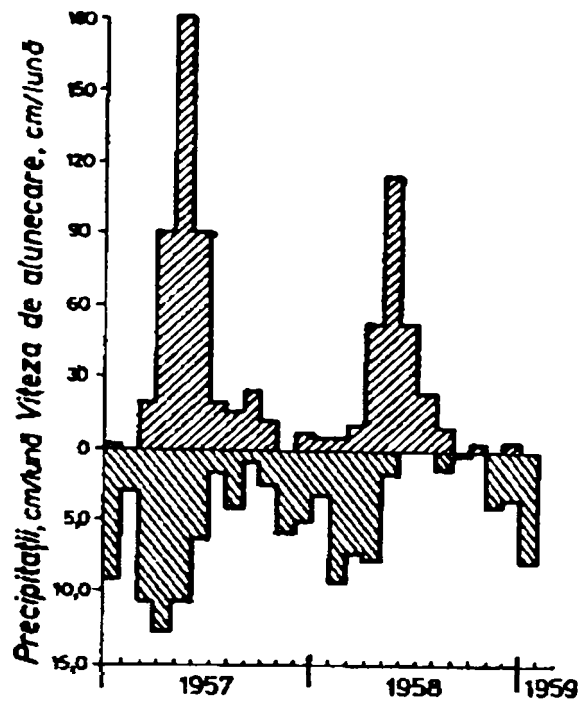


Figura 3.15. Corelația dintre precipitații și viteza de alunecare (după Wilson 1960)

### 3.3.3.2 Ridicarea nivelului apei subterane

Prin ridicarea nivelului apei subterane, greutatea volumică a rocilor trece din „starea umedă” în starea „starea inundată”, ceea ce reprezintă o condiție nefavorabilă pentru stabilitatea versanților și taluzurilor. Cercetând condițiile de formare a alunecărilor de teren s-a constatat că declanșarea procesului de alunecare a fost provocată în unele cazuri de ridicarea nivelului apei subterane; adoptându-se, ca măsură de stabilizare a alunecării, coborârea apei subterane, alunecarea și-a încetinit viteza și în cele din urmă s-a stabilizat, ca urmare a îndepărtării cauzei reale care a generat-o. În cazul în care stratul acvifer este acoperit de un strat impermeabil, ridicarea nivelului apei subterane se traduce prin creșterea subpresiunii pe fața interioară a stratului impermeabil, ceea ce de asemenea este în dauna stabilității.



Ridicarea nivelului apei subterane este în funcție atât de condițiile de alimentare a acviferului, cât și de capacitatea de înmagazinare a rocilor, adică de calitățile rocilor colectoare, între care porozitatea și permeabilitatea se află pe primul plan. Ilustrarea deosebirilor mari între variația nivelului hidrostatic în două tipuri diferite de roci este redată în figura 3.16. Astfel, la aceeași cantitate de precipitații, de circa 25 mm, nivelul apei subterane se ridică cu numai 10-25cm într-un nisip, față de o ridicare de ordinul a câțiva metri în roci stâncoase slab fisurate, cu porozitate mică.

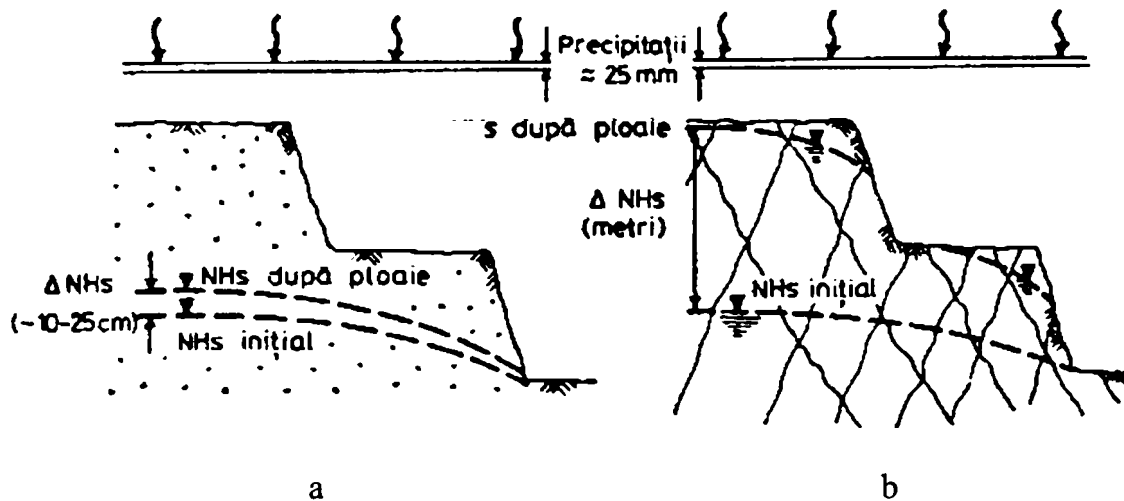


Figura 3.16. Variația nivelului apei subterane în taluze executate în roci stâncoase și în nisipuri (după Patton și Deere)

### 3.3.3.3 Efectul alterării rocilor

Datorită variației umidității rocilor, se produce alterarea, ca proces fizic, chimic și biologic, prin care toate tipurile de roci își modifică esențial proprietățile fizico-mecanice și, în cele din urmă, rezistența la forfecare necesară în menținerea stabilității versanților și taluzurilor. Condițiile climatice joacă un rol foarte important în procesul de alterare a rocilor. Corelația dintre alterare și factorii climatici este redată în figura 3.18.

În climatul rece și umed, unde cantitatea de precipitații este mai mare decât evaporarea, un rol mare îl are alterarea fizică, dată de efectele ce se produc prin îngheț. Același gen de alterare predomină și în deșerturi și semideșerturi, unde evaporația depășește cu mult cantitatea de precipitații, ceea ce face ca produsele de alterare să rămână, de regulă, pe locul de formare. În climatul cald și umed, în care precipitațiile sunt mai mari decât evaporația, alterarea chimică și biologică are o mare dezvoltare, zona de alterare atingând grosimea maximă. În majoritatea cazurilor alterarea fizică și chimică acționează simultan.

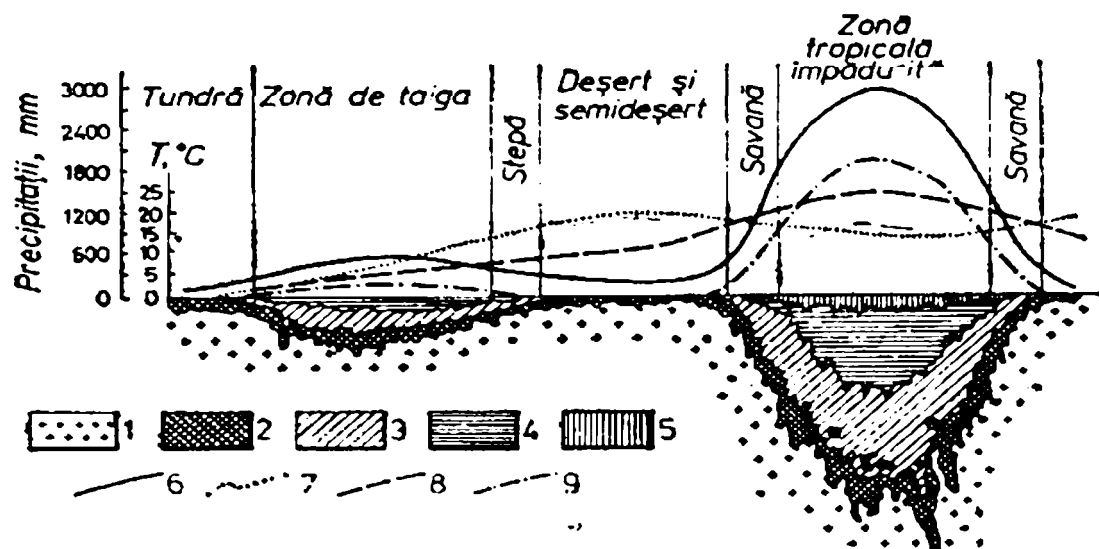


Figura 3.17. Zonalitatea alterării (după Strahov)

1- rocă nealterată, 2- rocă dezagregată, slab alterată chimic, 3- hidromice, montmorilonit, beldelit; 4- caolinit; 5- ocră; 6- precipitații; 7- evaporare; 8- temperatură  $t^{\circ}\text{C}$ , 9- resturi vegetație

Prin alterarea fizică se produce doar fragmentarea rocilor, fără o modificare a conținutului chimic. Alterarea fizică este legată, în principal, de variațiile brusce de temperatură, care duc la o dilatare și comprimare neuniformă a mineralelor componente ale rocilor. Alterarea chimică transformă radical conținutul chimic și mineralogic al rocilor, rolul esențial avându-l apa, bioxidul de carbon, oxigenul, acizii organici și alți acizi ce se formează ca rezultat al transformărilor mineralogice, al descompunerii resturilor vegetale și prin acțiunea microorganismelor. Cu cât crește concentrația de ioni în apă, cu atât este mai intensă alterarea chimică a mineralelor. Este cunoscut că concentrația de ioni disociați în apă crește cu temperatura.

În procesul de alterare relieful joacă, de asemenea un rol important. În condițiile unui relief accidentat, produsele de alterare sunt îndepărtate prin eroziunea de suprafață, într-un timp relativ scurt, față de durata mare necesară proceselor de alterare, ceea ce face ca grosimea zonei de alterare să fie neînsemnată. Pe un teren cu pantă mică, sau relativ plan, dimpotrivă, eroziunea de suprafață fiind foarte slabă, alterare se dezvoltă pe o adâncime mare.

Grosimea zonei de alterare a versanților este foarte variabilă, de la câțiva metri, la câteva sute de metri (chiar 400-500m). Alterare activă, însă, care transformă radical proprietățile fizico-mecanice ale rocilor, este mai redusă ca grosime, de la câțiva metri la câteva zeci de metri, ceea ce corespunde, de regulă, ca ordin de mărime, cu adâncimea la care se formează suprafețele de alunecare în versanți. Evoluția procesului de alterare în versanți și taluzuri este foarte diferită. În linii generale, în versanți procesul de alterare are o evoluție foarte lentă, în timp geologic, în raport cu taluzurile construite de om, unde procesul de

alterare este mult mai activ și mai rapid, deoarece rocile au fost aduse prin intervenția omului, în contact direct cu factorii climatici.

Ca urmare a alterării, în roci apar fisuri, goluri, crește porozitatea, se micșorează greutatea volumică, crește starea de afânare, se reduce compactitatea, se micșorează rezistența rocilor.

Taluzurile carierelor sunt uneori afectate și de alunecări care apar de regulă la treptele superioare, spre versant, în zona de alterare. În figura 3.18 este reprezentat taluzul unei cariere într-o rocă stâncoasă stratificată. Atât în zona de alterare cât și în formațiunea acoperitoare ce îmbracă versantul, sunt posibile alunecări ale taluzurilor pe direcția stratificației. Treptele inferioare ale carierei, fiind executate în roci nealterate, apar stabile.

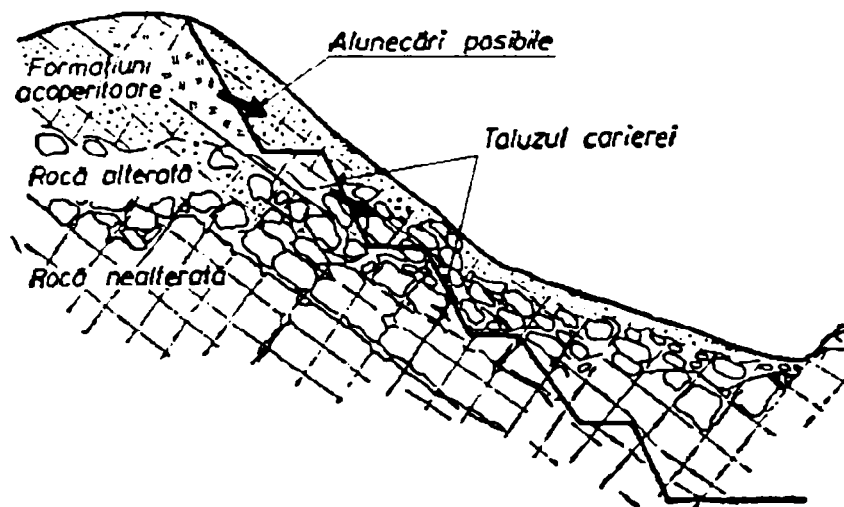


Figura 3.18. Alunecări de taluzuri în roci alterate și în formațiuni acoperitoare (după Patton și Deere)

Reducerea rezistenței la forfecare a rocilor este în funcție de intensitatea procesului de alterare. Din acest punct de vedere, calitativ, rocile de alterare se împart în: puternic alterate, alterate și slab alterate. Această separare este mai ușor de făcut în rocile stâncoase și mai greu de realizat în rocile moi. Măsură cantitativă a intensității procesului de alterare la rocile stâncoase poate fi obținută prin măsurători ale vitezei undelor elastice. Valorile mari ale vitezei undelor elastice reflectă creșterea rezistenței rocilor cu adâncimea, ceea ce reprezintă o premisă favorabilă stabilității versanților.

### 3.3.4 Acțiunea mecanică a apei din versanți și taluzuri

Pe pereții fisurilor umplute cu apă acționează presiunea hidrostatică  $\sigma_w = \gamma_w z$  care poate contribui sensibil la creșterea eforturilor în masivul de rocă, creșterea gradului de fisurare și diminuarea stării de echilibru a versanților.

Apa din porii și fisurile rocilor, datorită variațiilor mari de temperatură, poate trece din stare lichidă în stare solidă în urma fenomenului de îngheț. Acest fenomen are loc în partea superficială a terenului pe adâncimea maximă de îngheț.

Prin înghețare apa își mărește volumul și exercită presiuni mari asupra pereților care delimitează golurile în care este cantonată. Prin această acțiune se accentuează fenomenele de fisurare și dezagregare ale rocilor al căror efect final este reducerea rezistenței mecanice a masivului de rocă.

### 3.3.4.1 Presiunea apei din porii și fisuri

Presiunea apei din porii și din fisuri acționează diferit, dar cu același rezultat.

Presiunea apei din porii reduce forțele de rezistență ale masivului, iar presiunea apei din fisuri crește forțele de alunecare. În terenul neafectat de alunecare presiunea apei din porii este egală, la adâncime dată, cu presiunea hidrostatică. În cuprinsul alunecării, deasupra suprafeței de alunecare, presiunea apei din porii este mai mare decât valoarea presiunii hidrostatice. Acest lucru se explică prin faptul că în cuprinsul masei alunecătoare structura rocilor fiind deranjată, nu mai poate prelua sarcina geologică și o transmite direct apei din porii, care obține o creștere suplimentară a presiunii. Sub suprafața de alunecare însă, roca în loc nemaifiind deranjată, presiunea apei din porii devine egală cu presiunea hidrostatică. Și în vecinătatea alunecării s-au constatat valori mai mari ale presiunii apei din porii, față de presiunea hidrostatică. (figura 3.19)

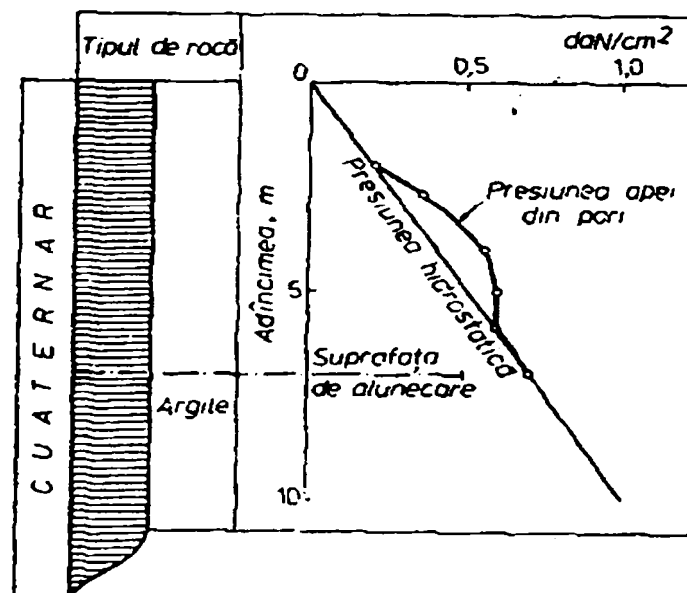


Figura 3.19. Variația presiunii apei din porii în vecinătatea unei alunecări de teren (după O. Eide și L. Bjerrum)

Fisurarea rocilor, chiar și în absența apei din fisuri, este un factor defavorabil stabilității versanților și taluzurilor (figura 3.20 a). Blocurile separate prin fisuri tind să se rotească dezvoltând forțe suplimentare de alunecare, care pot duce la pierderea stabilității. Apa din fisuri dezvoltă o presiune hidrostatică care acționează pe o direcție perpendiculară pe peretele fisurii.

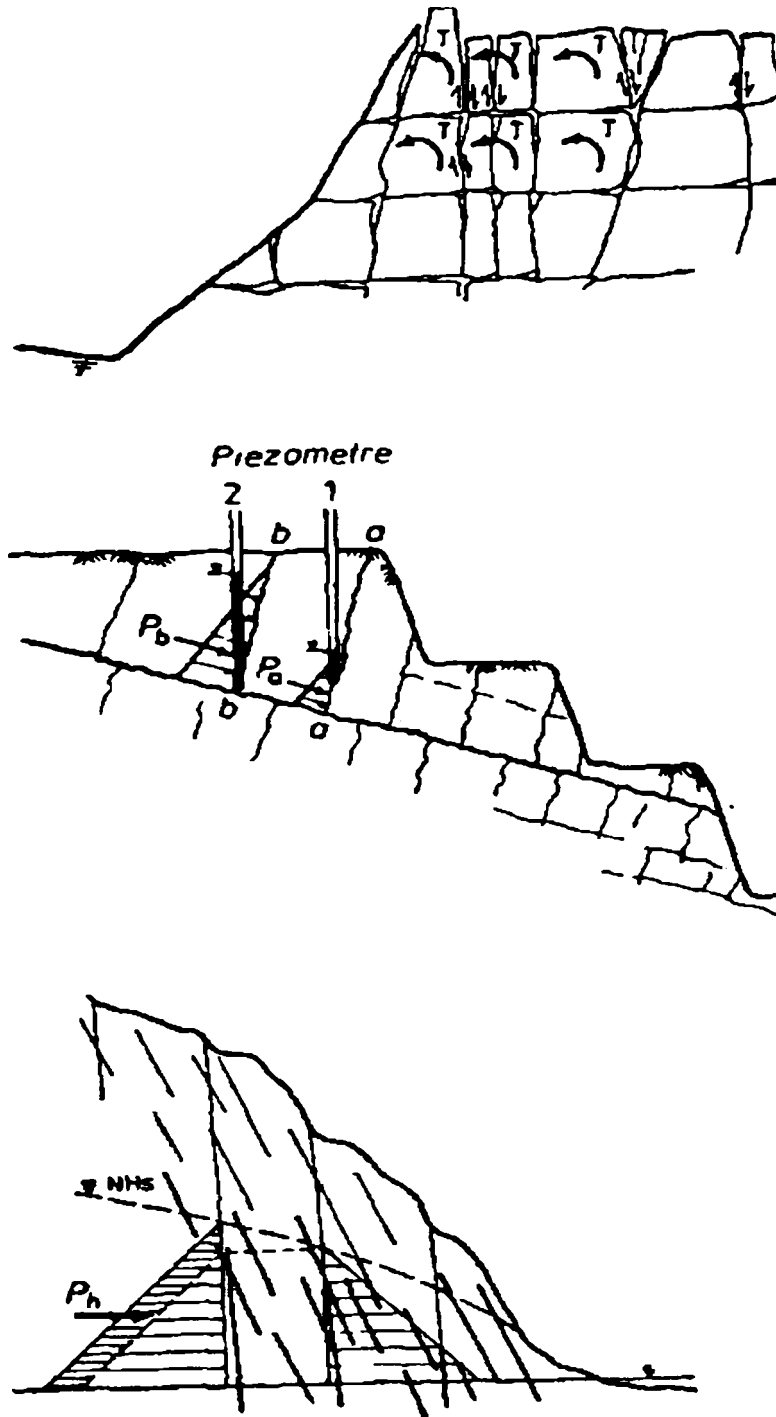


Figura 3.20 Influența presiunii hidrostactice și a apei din fisuri asupra diferitelor tipuri de roci (după Muller)

În figura 3.20.b care reprezintă o secțiune într-un taluz executat în roci stâncoase, se pot urmări două fisuri, a-a și b-b în care presiunile hidrostactice pe  $P_a$  și  $P_b$  sunt diferite în funcție de nivelul apei (măsurat cu piezometrele 1 și 2). Nivelul apei în fisura b-b fiind mai

ridicat. presiunea hidrostatică de aici este de câteva ori mai mare decât presiunea hidrostatică din fisura a-a.

Presiunea hidrostatică a apei din fisuri, alături de alte cauze, joacă un rol important în producerea procesului de alunecare (figura 3.20.c)

### 3.3.4.2 Acțiunea înghețului

În timpul înghețului, în teren se dezvoltă tensiuni foarte mari, care după datele lui Muller sunt de ordinul a  $2000 \text{ daN/cm}^2$ . Această presiune duce la fisurarea rocilor, la fragmentarea lor, la o scădere a valorilor proprietăților fizico-mecanice și implicit a rezistenței rocilor. Influența înghețului asupra rocilor este diferită în funcție de natura petrografică.

Astfel, argilele suferă o degradare mai mare distrugându-și structura, în comparație cu nisipurile și pietrișurile. Și la rocile stâncoase influența înghețului este diferită, în funcție de rezistența la compresiune și de gradul de fisurare naturală.

Un alt proces generat de îngheț este reprezentat de migrația apei în teren, pe verticală, din adâncime spre suprafața terenului (figura 3.21).

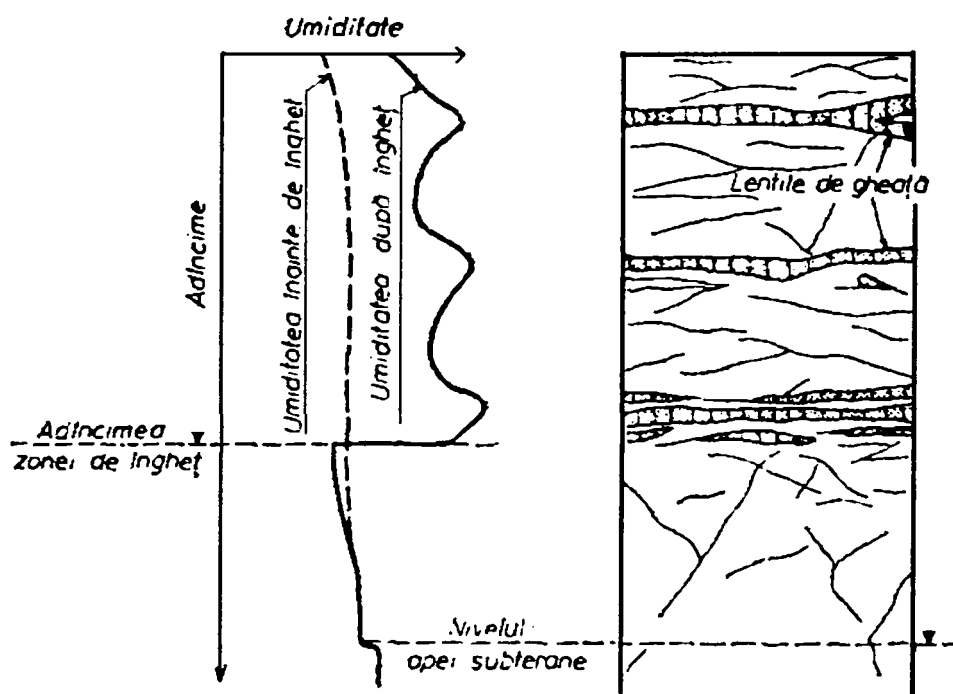


Figura 3.21. Variația umidității în timpul înghețului (după Osterberg)

În timpul temperaturilor scăzute îngheață mai întâi apa gravitațională din teren, după care urmează în ordine apa capilară, iar la temperaturi și mai mici, apa peliculară legată fizic în jurul granulelor minerale. Înghețând o parte din apa peliculară, particula minerală dispune de un potențial electrocinetic care este satisfăcut prin atragerea unei noi cantități de apă din adâncime, de sub zona de îngheț, apă care se ridică pe verticală spre zona de îngheț, pe calea migrației peliculară. Practic apa peliculară migrează de la o granulă minerală la alta, din

zonele neânghețate spre zona care îngheață. măbind în acest mod cantitatea de apă din teren, pe toată adâncimea de îngheț. Acest proces de migrație a apei peliculare a fost dovedit experimental prin determinări de umiditate făcute într-o secțiune verticală în teren, înainte și după îngheț. În figura 3.21 linia întreruptă arată valorile umidității, pe adâncime, înainte de îngheț, iar linia continuă reprezintă umiditatea după îngheț-dezghet. Din figură reiese un prim aspect că umiditatea rocilor după îngheț este mai mare decât cea de dinainte de îngheț, sporul de umiditate venind din adâncime de sub zona de îngheț, sau chiar din apa subterană, pe calea migrației peliculare. Al doilea aspect al migrației peliculare îl reprezintă faptul că imediat sub adâncimea de îngheț există o zonă de deficit de umiditate în teren, umiditatea rocilor după îngheț fiind mai mică decât cea de dinainte de îngheț. Aceasta este zona care a cedat cea mai mare cantitate de apă, ca urmare a acțiunii înghețului. Așa cum reiese și din figură, în terenul înghețat formându-se lentile de gheață, umiditatea rocilor după îngheț, în dreptul acestor lentile este mai mare decât cea din vecinătate.

Creșterea umidității terenului prin îngheț, reprezintă, mai ales în cazul rocilor argiloase, o reducere a rezistenței la forfecare, ceea ce poate duce la formarea unor alunecări de teren.

### **3.3.5 Acțiunea hidrodinamică a apei**

Stabilitatea versanților poate fi afectată de mișcarea apei atât direct, prin forța de filtrație, cât și indirect, în urma proceselor de antrenare hidrodinamică a pământurilor necoezive care intră în alcătuirea versanților.

Forța de filtrație se manifestă îndeosebi când nivelul apei din interfluvii crește și apa este drenată către suprafața versanților. Foarte frecvent se produc alunecări ale versanților datorită acțiunii forțelor de filtrație la golirea rapidă a lacurilor de acumulare care favorizează exfiltrațiile din versanți.

Procesele de antrenare hidrodinamică, sub formă de sufozie, eroziune internă, refulare sau rupere hidraulică pot iniția procese de alunecare a versanților.

În figura 3.22 sunt redate situații create de acțiunea hidrodinamică a apei care pot favoriza alunecări ale versanților.

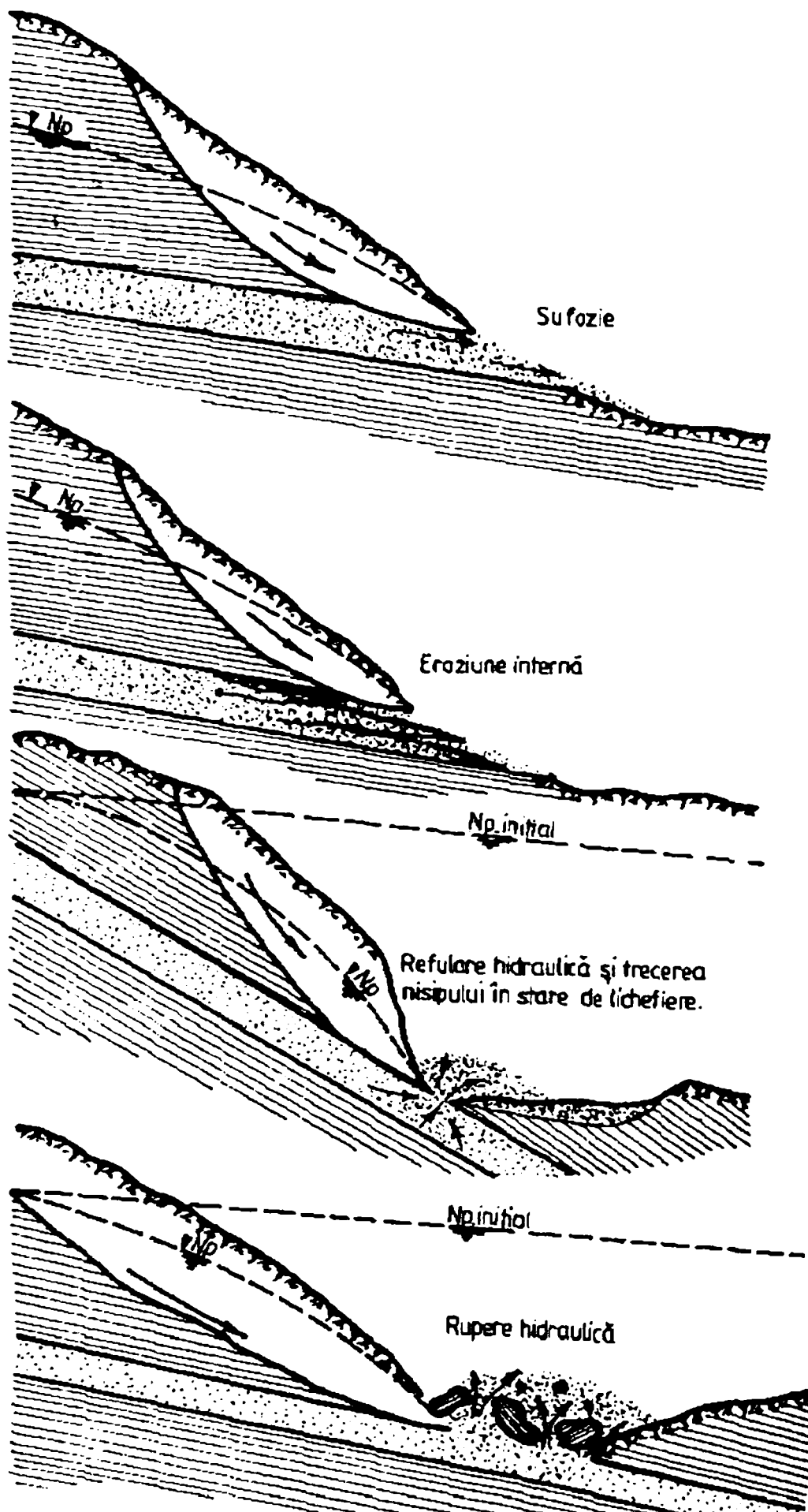


Figura 3.22 Instabilitate versanților provocată de acțiunea hidrodinamică a apei



### 3.3.5.1 Presiunea de filtrare a apei subterane

În procesul de filtrare, datorită rezistenței opuse de roci, suprafața apei subterane cu nivel liber are o anumită înclinare în sensul curgerii subterane. Presiunea de filtrare este o forță de volum și acționează în direcția liniilor de curent ale curgerii subterane, contribuind la mărirea forțelor de alunecare. Ea apare ca un rezultat direct al rezistenței pe care rocile o opun procesului de filtrare. Această presiune se formează cel mai des în versanții lacurilor de acumulare în taluzurile carierelor sau ale canalelor la scăderea bruscă a nivelului apei. În iazurile de decantare, presiunea de filtrare este un factor esențial în pierderea stabilității.

Schematic, presiunea de filtrare este prezentată în figura 3.23, în care se reprezintă o secțiune geologică a unui versant alcătuit dintr-o alternanță de argile, nisipuri și gresii, nisipurile conținând un strat acvifer cu nivel liber.

Presiunea de filtrare  $P_f = \gamma_a \cdot i$ , este în funcție de gradientul hidraulic, care în natură este în general mic, dar la coborârea bruscă a nivelului apei dintr-un recipient natural (lac sau canal) are loc o creștere importantă a gradientului hidraulic, fapt care mărește considerabil presiunea de filtrare.

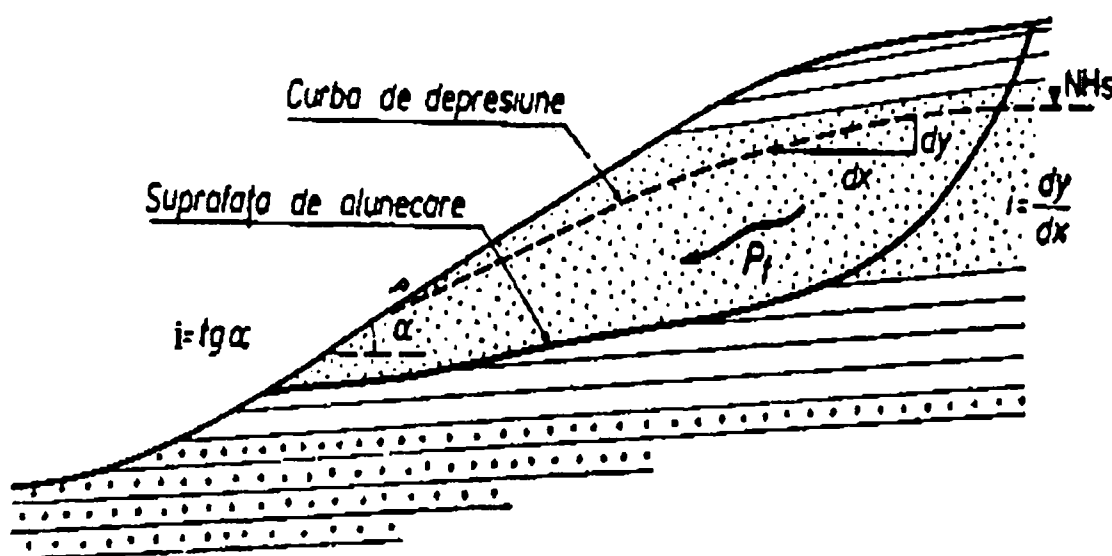


Figura 3.23 Schema presiunii de filtrare a apei subterane

$P_f$  – presiunea de filtrare,  $i$  – gradientul hidraulic

### 3.3.6 Modificarea unor proprietăți fizico-mecanice ale rocilor din corpul versanților și taluzurilor

Modificările proprietăților fizico-chimice ale rocilor au consecințe negative directe asupra stabilității versanților și taluzurilor, reducând rezervele de stabilitate până la limita de pierdere a echilibrului natural, favorizând frecvente alunecări de teren. Durata necesară pentru aceste modificări se împarte într-un timp la "scara vieții", în care se examinează influența apei asupra unor proprietăți fizico-mecanice, și un timp la "scara geologică", care modifică esențial toate proprietățile fizico-mecanice ale rocilor prin procesul de alterare. Astfel, la "scara vieții" s-a observat că apa subterană sau cea de suprafață contribuie în mod simțitor la modificarea unor proprietăți fizico-mecanice ale rocilor de care depinde stabilitatea versanților și a taluzurilor. Proprietățile fizico-mecanice folosite cel mai frecvent în calculul stabilității sunt greutatea volumetrică a rocilor și caracteristicile de rezistenței la forfecare (unghiul de frecare interioară și coeziunea). În timpul unei ploi cu durată mică, rocile din versant sau taluz se îmbibă cu apă chiar până la saturație, greutatea volumică a rocilor se mărește. Astfel, datorită supraîncărcării versantului sau taluzului, cresc forțele de alunecare și se reduce rezerva de stabilitate. Creșterea rapidă a greutateii volumice a rocilor, a presiunii apei din pori și a presiunii de filtrare în timpul unei ploi sunt cauzele multor alunecări de teren.

Prin umezirea rocilor argiloase de către apa de suprafață sau subterană, scade rezistența la forfecare, datorită reducerii atât a unghiului de frecare interioară cât și a coeziunii.

În urma cercetării unor alunecări de teren s-a stabilit că există o legătură între variația mineralizației din apa din pori și rezistența la forfecare (L.Bjerrum – Norvegia). Pentru a înțelege fenomenul de reducere a mineralizației apei din pori trebuie să se plece de la condițiile de formare a acestor roci. În pleistocen, prin topirea ghețarilor, apele au erodat și au depus în mediul marin produsele de eroziune, producându-se o ridicare lentă a suprafeței terenului. Ridicându-se deasupra nivelului mării, argilele sensitive au avut mineralizația de c.ca 35g/l, care a fost micșorată în timp de apele subterane, procesul de spălare a sărurilor fiind foarte lent. Această mineralizație s-a redus la 2-3 g/l, reducerea medie fiind de c.ca 1,5 g/l în 100 ani. Deteriorarea proprietăților fizico-mecanice, a rezistenței la forfecare a argilelor sensitive este în funcție de gradul de spălare a sărurilor din apa porilor, care este în funcție de permeabilitatea argilelor, fiind un fenomen foarte lent. Astfel la o scădere a concentrației în săruri mai mică de 10 g/l, modificarea proprietăților fizico-mecanice este mai mică, în timp ce la reduceri mai mari ale mineralizației apar modificări importante ale proprietăților fizico-mecanice ale rocilor.

### 3.3.7 Rolul solicitărilor dinamice în producerea alunecărilor de teren

Acțiunea vibrațiilor asupra versanților sau taluzurilor modifică starea de eforturi din teren și are drept rezultat creșterea forțelor de alunecare. Efectul negativ al vibrațiilor este general, în funcție de natura rocilor, structura versanților, și intensitatea vibrațiilor. Un alt efect negativ îl modificarea structurii, care duce la micșorarea rezistenței la forfecare atât a pământurilor necoezive cât și a celor coezive. Vibrațiile pot fi produse de cutremurele de pământ sau pot avea cauze locale (traficul rutier, feroviar sau explozii).

#### 3.3.7.1 Tixotropia rocilor

Tixotropia este un proces fizico-chimic reversibil prin care o rocă argilooasă sub acțiunea vibrațiilor se transformă într-o masă fluidă, iar după încetarea vibrațiilor fluidul capătă proprietățile unui gel. Deci, tixotropia este un proces reversibil, izotermic, gel-fluid-gel.

Tixotropia este o cauză importantă a alunecărilor de teren pentru că ea poate duce la o reducere substanțială a rezistenței la forfecare a rocilor argiloase. Interpretare tixotropiei, ca un proces de care depinde rezistența la forfecare a rocilor a fost făcută pentru prima dată de către Hvorslev-Suedia. Ulterior au fost efectuate cercetări în Elveția de Haefeli, Mors, Reutsch și în Norvegia de Akkermann, care au confirmat rezultatele lui Hvorslev. Tixotropia este pusă în evidență prin acțiunea vibrațiilor care pot proveni din mai multe surse. Sub efectul vibrațiilor, o parte din apa legată fizic trece în apă liberă, reducând rezistența la forfecare, după ce vibrațiile încetează se produce fenomenul invers, apa liberă se transformă în apă legată fizic ducând la mărirea rezistenței la forfecare a argilei.

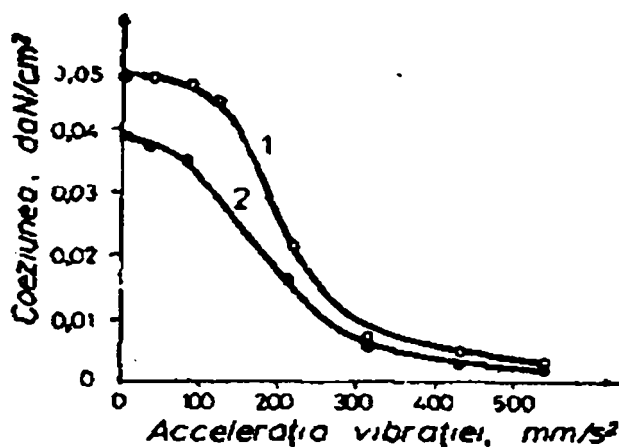


Figura 3.24 Reducerea coeziunii sub acțiunea vibrațiilor (după Savcenko)

În figura 3.24 este reprezentată variația coeziunii unor paste bentonitice sub acțiunea vibrațiilor, în două situații diferite, în funcție de timpul scurs după încetarea acțiunii dinamice. Astfel, se poate observa că la aceeași accelerație a vibrației, coeziunea este mai mare la pasta

bentonitică testată la 120 zile de la încetarea vibrațiilor (curba 1) decât coeziunea obținută pe cealaltă pastă bentonitică imediat după încetarea solicitării dinamice. La valori mici ale accelerației vibrației reducerea coeziunii este neînsemnată, dar la o anumită valoare a accelerației vibrației, numită „accelerație critică”, pasta bentonitică își reduce sensibil coeziunea. Dacă accelerația vibrației crește peste valoarea critică, coeziunile celor două paste bentonitice se apropie foarte mult, dar scad în valoare absolută, ajungând la valori neînsemnate.

Rezistența la forfecare a argilelor sub acțiunea vibrațiilor ca și coeziunea se reduce substanțial (figura 3.25).

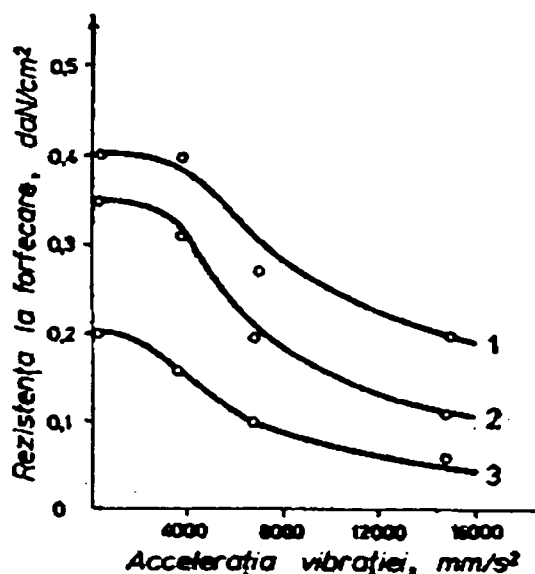


Figura 3.25 Reducerea rezistenței la forfecare sub acțiunea vibrațiilor (după Savcenko)

Dacă o argilă se supune la presiuni normal diferite, rezistențele la forfecare inițiale, în absența vibrațiilor sunt diferențiate, valori mari corespunzând valorilor ridicate ale de presiuni normale. Prin aplicarea sarcinii dinamice, rezistența la forfecare se reduce din ce în ce mai mult, pe măsură ce crește accelerația vibrației. Accelerația critică în acest caz este cuprinsă între 2500 și 3700 mm/s<sup>2</sup>.

Supuse la solicitări dinamice, rocile argiloase suferă de un proces lent de degradare a structurii, în funcție de timpul de acțiune al vibrațiilor. Timpul de la care rocile încep să-și reducă rezistența la forfecare se numește “timp critic”, fiind în funcție de intensitatea vibrației. Timpul critic are o durată mare la rocile argiloase în cazul unor vibrații de intensitate mică și se reduce pe măsură ce crește intensitatea vibrațiilor.

Pentru a pune în evidență gradul de reducere a rezistenței la forfecare a argilelor sub influența vibrațiilor, s-a definit coeficientul de reducere a rezistenței la forfecare ( $\eta_0$ ), care

este raportul dintre rezistența la forfecare a rocii supuse vibrațiilor ( $\tau_d$ ) și rezistența la forfecare în condiții statice ( $\tau$ ) relația 3.16.

$$\eta_0 = \frac{\tau_d}{\tau} \quad 3.16$$

### 3.3.8.2 Șocuri seismice

Pericolul cel mai mare pentru stabilitatea versanților în timpul cutremurelor de pământ îl constituie acțiunea undelor superficiale transversale care acționează în plan orizontal, sub formă sinusoidală, afectând stabilitatea versanților prin momentele de inerție pe care le creează.

Forțele care acționează în timpul cutremurului asupra unui volum elementar de rocă din versant sunt (figura 3.26)

$G$  - forța de greutate corespunzătoare volumului luat în considerare, cu componentele normală  $N$  și tangențială  $T$  la suprafața potențială de alunecare;

$Q$  - forța orizontală rezultată din acțiunea seismică, cu componentele normală  $N_c$  și tangențială  $T_c$  la suprafața potențială de rupere;

$S$  - forța de rezistență la forfecare a rocii

Forțele care acționează în favoarea stabilității sunt forțele  $N$  și  $S$  iar forțele destabilizatoare  $N_c$ ,  $T$  și  $T_c$ .

Forța  $N$  va fi diminuată de forța  $N_c$  în timp ce forța tangențială  $T$  se amplifică prin însumare cu componenta  $T_c$ .

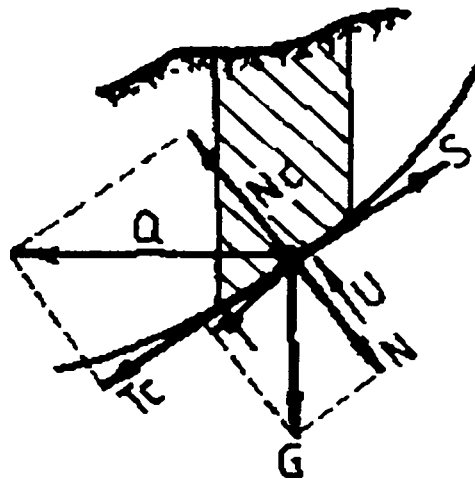


Figura 3.26 Distribuția forțelor care acționează asupra unui volum elementar de rocă din versant în timpul unui cutremur

Dacă înainte de cutremur factorul de stabilitate era:

$$F_s = \frac{\Sigma N \cdot \operatorname{tg} \phi + c \cdot L}{3.17 \Sigma T_{(+)} - \Sigma T_{(-)}}$$

în timpul cutremurului el scade la valoarea:

$$F_s = \frac{\Sigma(N - N_c) \cdot \operatorname{tg} \phi + c \cdot L}{3.18 \Sigma T_{(+)} - \Sigma T_{(-)} + \Sigma T_c}$$

Dacă se are în vedere și presiunea apei din pori, factorul de stabilitate devine:

$$F_s = \frac{\Sigma(N - U - N_c) \cdot \operatorname{tg} \phi + c \cdot L}{3.19 \Sigma T_{(+)} - \Sigma T_{(-)} + \Sigma T_c}$$

În cazul în care mișcarea seismică coincide și cu o perioadă de precipitații, când rocile din versanți se umezesc până la saturație, probabilitatea producerii alunecărilor de teren crește.

Cutremurele au efect destabilizator asupra nisipurilor submersate din versanți.

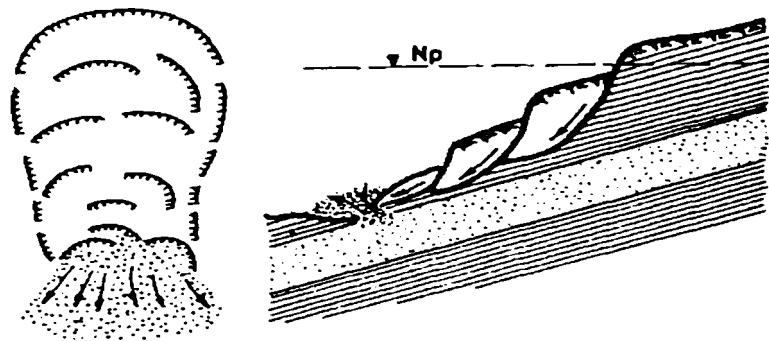


Figura 3.27 Lichefierea și refularea nisipului dintr-un versant în timpul unui cutremur

Dacă straturile de nisip se află în apropierea suprafeței terenului și nisipurile au un grad redus de îndesare, există riscul ca acestea să treacă în stare de lichefiere cu pierderea completă a rezistenței la forfecare și a capacității portante.

În asemenea situații pe suprafața versantului pot apărea zone cu erupții de nisip și declanșarea unor alunecări care au drept focar locul de producere a refulării nisipului (figura 3.27). Șocurile și vibrațiile induc în masivele de roci eforturi dinamice ciclice care, în cazul rocilor dezagregate determină o reșezare a particulelor solide concomitent cu creșterea și scăderea alternativă a presiunii apei din fisuri

Creșterea presiunii apei din pori peste anumite valori poate crea situații când rezistența la forfecare a rocilor să coboare sub valoarea care asigură stabilitatea versantului. În plus, în timpul manifestării vibrațiilor, datorită variației presiunii apei din pori variază și forța hidrodinamică de filtrație cu consecințe destabilizatoare asupra echilibrului versantului.

Efectul cutremurelor de pământ și al trepidațiilor de orice natură asupra stabilității versanților este maxim în cazul rocilor saturate cu apă, în special în cazul rocilor necoezive de tipul nisipului, cu grad de uniformitate redus.

Producerea cutremurelor în timpul sau imediat după perioade de precipitații sau după coborârea rapidă a apei în lacurile de acumulare, când rocile din versanți sunt în stare saturată, creează condiții foarte favorabile pentru producerea alunecărilor de teren.

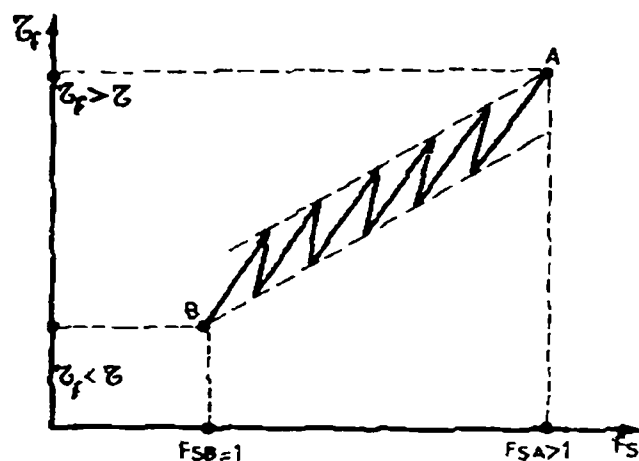


Figura 3.28 Variația rezistenței la forfecare a factorului de stabilitate după solicitări seismice repetate

Declanșarea alunecărilor de teren de regulă necesită o succesiune de solicitări dinamice care au drept efect diminuarea treptată a rezistenței la forfecare a rocilor și implicit a factorului de stabilitate până la atingerea limitei de echilibru când se declanșează alunecarea (figura 3.28)

Dacă se consideră că versantul se găsește în stare de echilibru stabil, corespunzătoare unei rezistențe la forfecare  $\tau_f$  (figura 3.28, punctul A) după primul șoc rezistența la forfecare și în factorul de instabilitate scad până la o anumită valoare. După trecerea undei de șoc

rezistența la forfecare nu mai revine la valoarea inițială și în consecință nici factorul de stabilitate.

După producerea mai multor șocuri succesive rezistența la forfecare se diminuează treptat până când factorul de stabilitate poate să atingă valoarea critică  $F_s=1$  (punctul B), ceea ce înseamnă că versantul și-a pierdut rezerva de stabilitate și alunecarea se poate declanșa în orice moment.

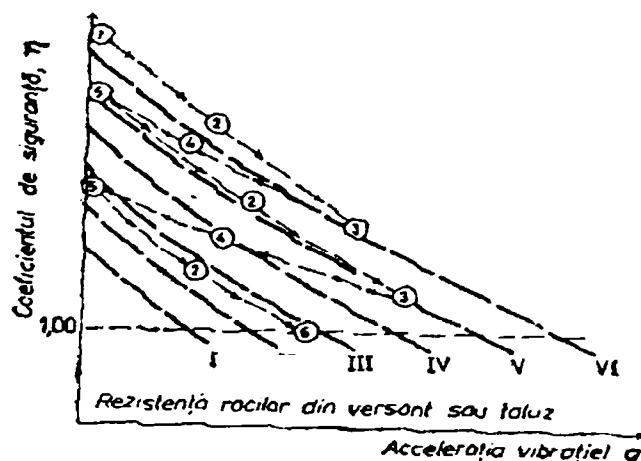
Pe lângă influența caracteristicilor fizice și mecanice ale rocilor și particularitățile geomorfologice ale versanților declanșarea alunecărilor depinde și de accelerația vibrațiilor.

Observațiile și măsurătorile efectuate de diverși autori asupra efectului vibrațiilor, în ceea ce privește stabilitatea versanților și taluzurilor, au arătat că pentru accelerații de ordinul a câtorva zeci de  $\text{cm/s}^2$  efectul este neglijabil sau minor. Când accelerația depășește 80-100  $\text{cm/s}^2$  efectul acestor vibrații începe să devină periculos. Când accelerația devine egală cu accelerația gravitației (981  $\text{cm/s}^2$ ) corpurile se desprind de pe suprafața scoarței și posibilitatea de producere a alunecărilor și prăbușirilor de roci crește considerabil. Această situație ar corespunde la cutremure de intensitate maximă.

### 3.3.7.3 Vibrațiile locale produse de explozii, trafic rutier sau feroviar, fundații de mașini

Datorită intensității, duratei sau periodicității lor, vibrațiile de acest gen reprezintă cauze frecvente ale alunecărilor de teren sau taluzuri. Vibrațiile locale, mai ales cele din explozii, pot genera o componentă verticală care este foarte dăunătoare stabilității versanților sau taluzurilor. Componenta verticală a vibrațiilor afectează stabilitatea naturală a versanților sau taluzurilor, mai ales prin reducerea rezistenței la forfecare a rocilor de-a lungul elementelor de discontinuitate (fețele de strat, faliile și contactul dintre formațiunea acoperitoare și roca de bază).

Pierderea stabilității unui versant sau taluz prin șocul provocat de explozii poate fi urmărită calitativ în figura 3.29.





În această figură se reprezintă printr-o serie de curbe întrerupte ( I-VI), înclinate și paralele, rezistența rocilor, considerată crescătoare de la curba I la curba VI. Din figură se poate vedea că versantul a suferit de șocuri succesive provenite din explozii. Sub acțiunea primului șoc, coeficientul de siguranță se reduce treptat până în momentul când în teren se atinge accelerația maximă a vibrației, după care versantul sau taluzul își mărește rezerva de stabilitate, coeficientul de siguranță crește, fără a mai ajunge la valoarea pe care a avut-o înainte de explozie. La o nouă explozie, coeficientul de siguranță se reduce din nou, valoarea absolută în timpul accelerației maxime fiind mai mică decât în cazul precedent. La încetarea vibrațiilor, imediat după atingerea accelerației maxime, coeficientul de siguranță crește, creștere mai mică decât în cazul precedent. Sub acțiunea celui de-al treilea șoc, coeficientul de siguranță se reduce încă o dată, când ajunge la valoarea unitară, versantul își pierde stabilitatea. Vibrațiile care provin din traficul rutier sau feroviar și cele transmise de fundațiile de mașini, prin efectul lor de durată, reduc substanțial rezistența rocilor, mai ales în condiții de saturare cu apă, ceea ce poate avea ca efect formarea unor alunecări de teren. Timpul în care se reduce rezistența la forfecare este pentru aceeași rocă, în funcție de accelerația vibrației. La accelerații mici ale vibrației, de ordinul a câtorva sute de  $\text{mm/s}^2$ , timpul de reducere a rezistenței la forfecare este mare, în timp ce la accelerații mari ale vibrațiilor, de mii  $\text{mm/s}^2$ , timpul de micșorare a rezistenței la forfecare este mic. Datorită domeniului larg al accelerațiilor vibrațiilor locale, formarea alunecărilor de teren este o problemă de durată. După observațiile făcute de Edwards și Northwood, la viteze de ordinul a  $5\text{cm/s}$  în orice direcție, efectul vibrațiilor asupra construcțiilor a fost neînsemnat, iar la o viteză de  $20\text{cm/s}$  efectul negativ a fost maxim. Bauer Alan și Calder Peter au determinat prin experimente, efectul vibrațiilor în roci stâncoase în funcție de viteza de propagare a vibrațiilor, date prezentate în următorul tabel:

Tabelul 3.4.

Viteza de propagare a vibrațiilor $\text{in/s}$	Efectul vibrațiilor asupra rocii
<10	Domeniu de siguranță
10-25	În roci apar tensiuni mici
25-100	Tensiuni puternice și crăpături radiale
>100	Roca cedează

## 3.4 Cartarea și monitorizarea alunecărilor de teren

### 3.4.1 Cartarea inginero-geologică a alunecărilor de teren

Cartarea inginero-geologică a alunecărilor de teren se face în scopul cunoașterii zonelor afectate și al studierii măsurilor de stabilizare. Cartarea inginero-geologică se face pe hărți la diferite scări. În țara noastră cele mai uzuale scări sunt 1:25000 și 1:10000. Măsurile de stabilizare a alunecărilor de teren nu pot fi însă proiectate decât printr-o cartare inginero-geologică la scară mare: 1:2 000, 1:500, 1:100. Cea mai fidelă și mai sugestivă reprezentare a alunecărilor dintr-o regiune se obține pe hărțile aerofotografice.

Prin cartarea inginero-geologică a alunecărilor de teren se urmărește nu numai reprezentarea pe hartă a zonelor afectate de alunecări, ci și cunoașterea tuturor factorilor care generează procesul de alunecare. Un geolog care face o cartare în formațiuni sedimentare urmărind un alt obiectiv, stratigrafic de exemplu, privește o alunecare de teren ca pe o dificultate în cartare, mai ales atunci când alunecarea se situează pe contactul a două formațiuni geologice diferite și acoperă limita stratigrafică care constituie obiectul cartării. În cartarea inginero-geologică a unei alunecări se dă atenție tuturor factorilor geologici care generează alunecarea și care furnizează informații asupra ei, cum sunt formațiunile geologice, vârsta și natura litologică, tectonica, apele subterane, și se studiază în detaliu toate elementele alunecării care pot să fie observate direct și anume: fața de desprindere, terasa de alunecare, acumulatul de alunecare, crăpăturile longitudinale și transversale, relieful alunecării, marginile și baza alunecării. Dintre aceste elemente, terasa de alunecare necesită unele precizări.

Ea se formează în partea superioară a alunecării, în vecinătatea feței de desprindere, și are o ușoară înclinare spre versant. Lățimea terasei de alunecare este în funcție de presiunea geologică de la baza versantului figura 3.30.

Cartarea inginero-geologică trebuie să răspundă și următoarelor probleme: estimarea adâncimii suprafeței de alunecare; descifrarea legității regionale și locale de răspândire a alunecărilor; stabilirea corelației dintre eroziunea bazei versanților și procesele de alunecare; rolul teraselor aluvionare în prevenirea alunecărilor de teren; stabilirea cauzelor proceselor de alunecare în vederea adoptării unor măsuri adecvate de prevenire și stabilizare; estimarea alterării și alterabilității rocilor ș.a.

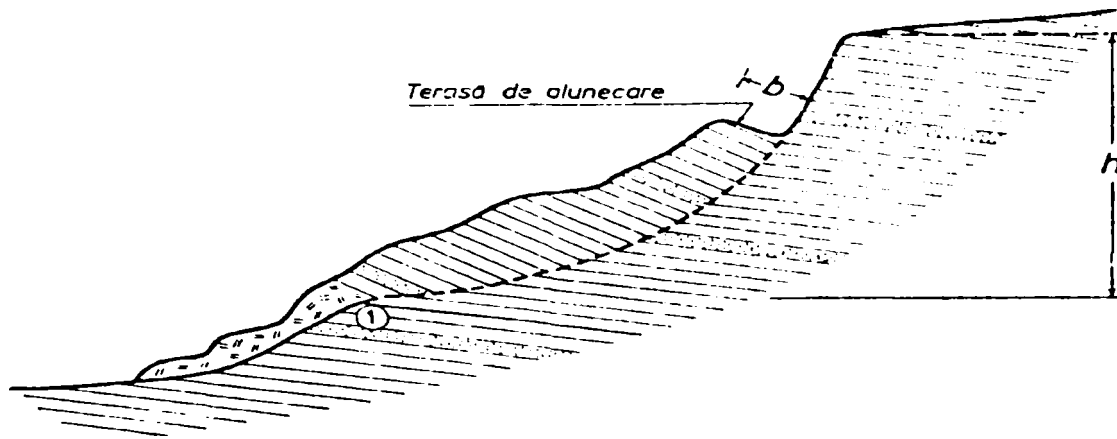


Figura 3.30 Formarea terasei de alunecare

$b$  — lățimea terasei de alunecare;  $l$  — piciorul alunecării;  $h$  — diferența de nivel dintre fruntea și piciorul alunecării

Adâncimea suprafeței de alunecare poate fi estimată în cartare după mărimea denivelării feței de desprindere. Sunt numeroase cazuri de alunecări de teren la care suprafața de alunecare este paralelă cu versantul și rămâne în relief, astfel că adâncimea ei poate fi măsurată pe cele două margini ale alunecării.

Studiul cauzelor alunecărilor de teren este o problemă complexă, care trebuie tratată în detaliu în faza de cartare inginero-geologică. Observațiile de teren sunt, de regulă, cele mai autentice dovezi în examinarea cauzelor alunecărilor de teren.

Estimarea alterării și alterabilității rocilor este foarte utilă pentru studiul alunecărilor de teren ce au loc în roci stâncoase. Grosimea zonei de alterare se estimează mai greu prin cartarea inginero-geologică. Pentru aceasta sunt necesare lucrări de explorare și încercări fizico-mecanice corespunzătoare. Alterabilitatea rocilor, însă, trebuie să fie estimată în cursul cartării inginero-geologice.

Cartarea inginero-geologică a alunecărilor de teren se impune să fie legată de problematica activității de construcții, pe bazine hidrografice, începând cu faza de studii pentru amplasamentele construcțiilor și continuând cu observații periodice asupra evoluției alunecărilor. În acest mod harta inginero-geologică este utilă activității de proiectare a măsurilor de stabilizare a alunecărilor de teren.

Concluzionând, aspectele legate de cartarea inginero-geologică a alunecărilor de teren se subliniază utilitatea hărților aerofotografice existente pentru unele regiuni și necesitatea întocmirii acestora în zonele pentru care nu există încă fotografiile aeriene. Compararea

fotografiilor noi cu cele vechi permite observarea evoluției alunecării. De notat însă că deși cercetarea pe teren a alunecărilor este ușurată de hărțile aerofotografice, ea nu poate fi înlocuită. Calitatea interpretării hărților aerofotografice depinde de cunoștințele pe care le are operatorul asupra terenului și geologiei zonei afectate de alunecări. Pe hărțile aerofotografice pot fi urmărite cu precizie formele de relief, drenajul, eroziunea și vegetația, ceea ce ușurează activitatea de cartare inginero-geologică.

În activitatea de geologie inginerească și în cea topo-geodezică, în funcție de destinația lor se pot întocmi următoarele tipuri principale de hărți:

- hărți litologice structurale;
- hărți cu izolinii, care pot fi: hărți cu izobate, hărți cu izopahite, hărți selective, hărți hidrologice cu izohipse, izopieze izofreate, izoperme, hărți hidrochimice ș.a.

**Hărți litologice structurale.** Aceste hărți reprezintă proiecția la scara, în plan orizontal, a litologiei și elementelor structurale le nivelul suprafeței de contact dintre roca de bază și formațiunea acoperitoare conform modelului din figura 3.31.

Aceste hărți trebuie să cuprindă:

- cornișele de desprindere;
- diferitele forme de alunecare ale zonei de suprafață a terenului (trepte, brazde, etc.);
- diferite forme de eroziune;
- rețeaua de crăpături și fisuri;
- situația apelor de suprafață și indicii referitoare la apa subterană (băltiri izvoare permanente sau nepermanente cu sau fără antrenare de material, rezervor de apa etc.).

Pentru fiecare dintre aceste elemente trebuie să se indice stadiul în care se găsesc.

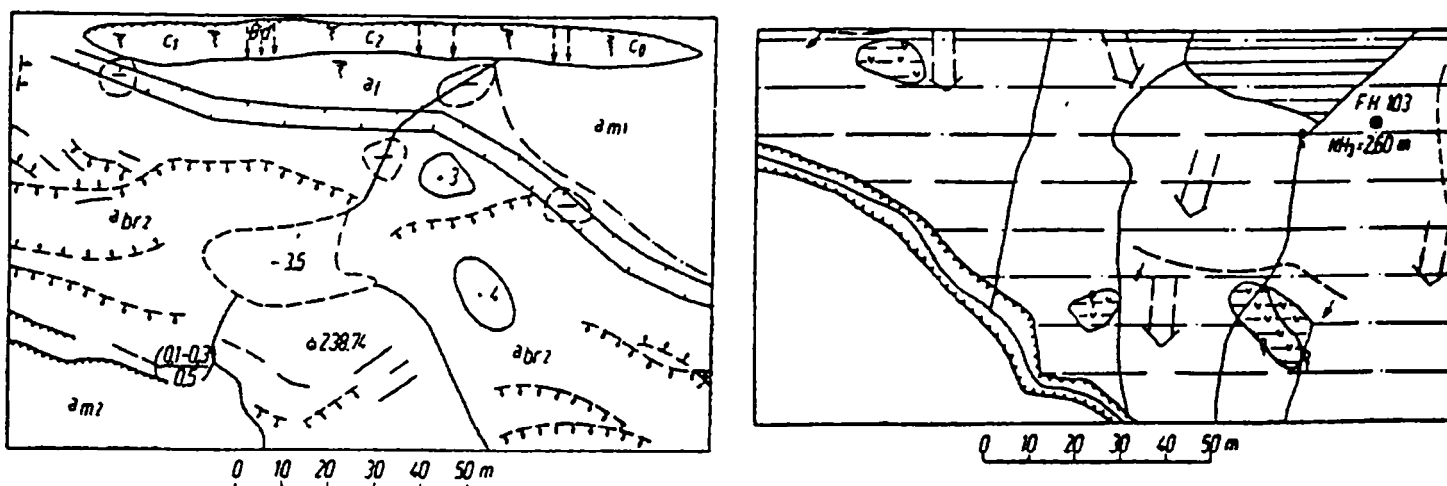


Figura 3.31 Modele de hărți litologice structurale

Scările la care se reprezintă aceste hărți sunt funcție de gradul de detaliere impus, de dimensiunile și importanța construcției, un rol hotărâtor în elaborarea lor avându-l cercetările tehnico-geologice și geotehnice precum și măsurătorile topo-geodezice.

**Hărți cu izolinii.** În această categorie intră toate tipurile de hărți în care se reprezintă prin linii de egală valoare un parametru structural, geotehnic sau hidrogeologic, cum ar fi de exemplu grosimea unui strat, adâncimea absolută a unei limite de strat, linii de egală cotă a pânzei de apă freatică, etc.

**Hărți cu izobate.** Izobatele reprezintă linii de egală cotă a unei suprafețe ce separă două formațiuni geologice sau două compartimente ale unei falii. Pentru întocmirea unei hărți cu izobate este necesar ca prin lucrări miniere, să se determine cotele absolute ale suprafeței respective într-o serie de puncte dispuse într-o rețea.

**Hărțile cu izopahite** sunt hărți cu linii de egală grosime, măsurate pe verticala unui strat sau formațiune geologică. Se obțin prin suprapunerea a două hărți cu izobate construite la aceeași scară, pentru limitele inferioară și superioară ale stratului sau formațiunii geologice respective. În nodurile rețelei se notează diferența dintre izobate care se intersectează în aceste puncte și prin interpolarea diferențelor de cotă înscrise în noduri se obțin hărțile cu izopahite. Se mai pot construi și prin măsurarea directă a grosimii stratului pe releveele puțurilor sau forajelor executate în zona respectivă sau măsurată în galerii și recalculată față de verticală, trecerea valorilor măsurate în punctele de amplasare a lucrărilor de prospecțiuni și interpolarea valorilor, obținându-se în final linii de egală grosime.

### **3.4.2 Tehnici și metode de monitorizare a alunecărilor de teren**

#### **3.4.2.1 Aspecte generale privind urmărirea dinamicii fenomenelor de instabilitate a versanților și taluzurilor**

Urmărirea dinamicii fenomenelor de instabilitate este foarte importantă, deoarece cunoașterea ei poate furniza date necesare previziunii acestora.

Așa cum s-a arătat în paragrafele anterioare, există o multitudine de factori care conduc în timp, uneori instantaneu la reducerea rezervei de stabilitate până la valori subunitare, corespunzătoare pierderii stabilității.

Cu excepția prăbușirilor, care sunt deplasări de teren foarte rapide și previzibile prin condițiile geomorfologice la celelalte fenomene de instabilitate, viteza de producere a lor poate furniza date importante, spre exemplu: la alunecările de teren, după viteza de deplasare a masivului afectat, se poate stabili faza de alunecare în care se găsește versantul sau taluzul.

Prevederea alunecărilor de teren este o problemă de mare răspundere economică și socială având în vedere victimele omenești și pierderile de bunuri materiale înregistrate anual pe glob, la care se adaugă cheltuielile necesare pentru reconstrucție.

De aceea, se poate afirma că nici o metodă de urmărire a fenomenelor de instabilitate cu scopul prevederii alunecărilor de teren nu este prea costisitoare din punct de vedere material, în raport cu eventualele daune materiale și umane.

Prevederea alunecărilor urmărește două obiective:

- estimarea probabilității ca o alunecare de teren să se producă într-un loc dat
- aproximarea datei la care este posibilă producerea alunecării.

Se înțelege că cel de-al doilea obiectiv este mult mai dificil de a fi atins, chiar într-o aproximație largă. Din acest punct de vedere rezultate foarte bune s-au obținut în Japonia unde prin studii sistematice s-a ajuns ca prevederea datei la care s-au produs unele alunecări de teren să fie redusă la un interval de timp care variază de la câteva zile, la șase minute.

Urmărirea dinamicii fenomenelor de instabilitate se poate face prin:

- măsurători topo-geodezice;
- observații staționare;
- măsurători în adâncime în foraje, puțuri sau galerii;
- studii pe modele.

#### **3.4.2.2 Măsurători topo-geodezice**

Principiul metodelor topografice este următorul: pe aria zonei afectată de fenomene de instabilitate se proiectează o rețea de puncte topografice pentru măsurători. Aceste puncte situate în zona afectată este necesar a fi “legate” de puncte de referință localizate în zone adiacente stabile. Eventualele deplasări vor fi măsurate la intervale regulate de timp, ori la intervale ce depind de factori care influențează mișcările de alunecare cum sunt: ploi torențiale, dezghețul de primăvară, cutremure, etc.

Pe baza măsurătorilor efectuate se stabilesc deplasările orizontale și verticale ale reperilor, fiind posibilă construirea unor profile sau diagrame ale deplasărilor.

Metodele topografice folosite în cazul urmăririi fenomenelor de instabilitate ale terenurilor și construcțiilor vor fi prezentate pe larg în capitolele următoare dar, pe lângă acestea, pentru măsurarea și urmărirea dinamicii alunecărilor de teren se folosesc și metode fotogrametrice.

Metodele fotogrametriei terestre și cele ale stereofotogrametriei au avantajul că evoluează cu o precizie destul de bună deformațiile constante și cele temporare. De asemenea

fotografierea cu ajutorul fototeodolitului se poate efectua în orice anotimp al anului și într-un timp foarte scurt. Metoda fotogrametrică constă în fotografierea succesivă a zonei studiate.

În cazul utilizării fototeodolitului, o dificultate a acestei metode este aceea că axul optic al fototeodolitului ar trebui să ocupe o poziție astfel încât acesta să fie îndreptat perpendicular pe planul P al zonei studiate.

În cazul metodei stereofotogrametrice particularitatea acestei metode constă în alcătuirea vederii stereoscopice care redă poziția unui punct în cele 3 dimensiuni x,y,z. Pentru aceasta avem nevoie de cel puțin două poziții din care trebuie efectuate fotograme în aceeași zonă. Dificultatea acestei metode cel puțin în cazul fotogrametriei terestre este construirea celor două sau mai multe puncte din care se vor efectua observațiile.

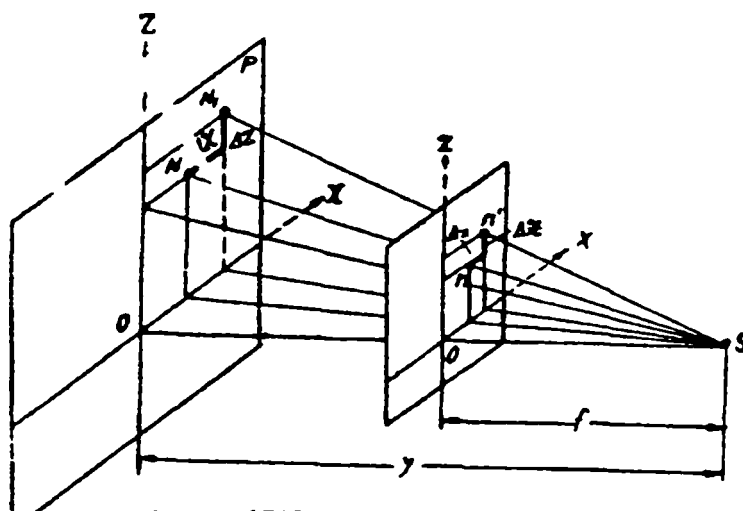


Figura 3.31 Principiul metodei fotogrametrice

În cazul fotogrametriei aeriene aceste neajunsuri pot dispărea dar va apărea criteriul economic, foarte important de luat în considerare. În cazul ridicării topografice cu ajutorul metodelor obișnuite pentru cartare se construiește o hartă cu curbe de nivel de obicei la scara 1:5000 sau la o scara mai mare.

### 3.4.2.3 Observații staționare inginero-geologice

Organizarea studierii fenomenelor de instabilitate, în special a alunecărilor de teren în stații de observație periodică a procesului de alunecare, reprezintă o metodă complexă, foarte eficientă de abordare multilaterală a alunecărilor de teren în scopul obținerii elementelor necesare pentru prognoză.

Stațiile se amplasează în zone susceptibile de alunecări, în perimetrele importante din punct de vedere economic și social, care ar putea suferi din cauza producerii unei alunecări de teren. Observațiile staționare, care cuprind măsurători sistematice se execută de regulă, de două ori pe an în perioada topirii zăpezilor și în perioada ploilor de toamnă, dar se fac de asemenea măsurători după cutremurele de pământ, inundații, la apariția unor noi alunecări sau în cazul reactivării unor alunecări vechi.

Stațiile de observare trebuie să furnizeze date în primul rând pentru harta inginero-geologică a alunecărilor de teren. Eficiența acestor hărți crește dacă în cartare se folosesc ca bază de plecare hărțile topografice. Un loc important în observațiile staționare, îl ocupă de asemenea, determinarea deplasărilor unor reperi (prin metode topografice) situați în perimetrul zonei de alunecare.

Din observațiile staționare trebuie să rezulte tipurile de alunecări, dinamica și mecanismul procesului de alunecare, măsuri pentru menținerea stabilității versanților și a taluzurilor, precum și recomandări necesare pentru regimul de exploatare a construcțiilor din zona învecinată. Cu aceste elemente, la care se adaugă studiul condițiilor inginero-geologice de formare și dezvoltare a proceselor de alunecare, se elaborează prognoza alunecărilor de teren, întemeiată pe datele obținute din observațiile staționare periodice.

Majoritatea prognozelor se fac pe această cale, prin observații staționare, prin observarea apariției fisurilor sau altor semne de deformație, care sunt dovezi ale procesului de alunecare. Acest procedeu este sigur și practic, deși între apariția fisurilor și declanșarea procesului de alunecare nu este întotdeauna timp suficient pentru a aplica măsurile de prevedere și prevenire a alunecărilor.

E. P. Emilianova recomandă pentru prognoza alunecărilor de teren ”*metoda bilanțului masei de teren*”, care constă în studierea terenului situat în amonte și aval față de centrul de greutate al masei alunecătoare.

În efectuarea bilanțului masei de teren se folosesc două ecuații:

Pentru jumătatea superioară a alunecării, situată deasupra centrului de greutate al masei alunecătoare, se aplică expresia

$$X_s = A_s - B_s - h \cdot l \cdot d \quad 3.20$$

iar pentru jumătatea inferioară expresia are forma:

$$X_i = A_i - B_i + hld, \quad 3.21$$



în care  $X$  este cantitatea excedentară (notată cu semnul +) sau deficitară (notată cu semnul -) a masei de teren. în partea din versant examinată, în intervalul de timp  $t$ , pentru care se face bilanțul:

A - aportul de material pe corpul alunecării, din prăbușiri laterale, depuneri de aluviuni pe partea inferioară a alunecării etc.;

B - pierderile de material pe seama eroziunii părții inferioare alunecării, săpături artificiale etc.;

$h$  - grosimea medie a acumulatului de alunecare, măsurată la mijlocul alunecării;

$l$  - lățimea acumulatului de alunecare, considerată la mijlocul alunecării;

$d$  - deplasarea medie a acumulatului de alunecare, înregistrată la mijlocul alunecării, în timpul  $t$ ;

$s$  - jumătatea superioară a alunecării;

$i$  - jumătatea inferioară a alunecării.

Pe baza rezultatelor date de ecuațiile 3.20 și 3.21, dacă  $X_s - X_i \geq 1$  stabilitatea alunecării în perioada pentru care se face bilanțul se reduce, iar pentru  $X_s - X_i \leq 1$ , rezerva de stabilitate crește.

Această metodă de prognoză a alunecărilor de teren deși este recomandată ca având caracter practic, se prezintă într-o formă relativ greu de folosit și se aplică numai alunecărilor de teren deja produse. Ea reprezintă de fapt un procedeu de prognoză a reactivării alunecărilor existente.

#### **3.4.2.4 Urmărirea dinamicii alunecărilor de teren pe baza măsurătorilor de adâncime**

Metodele de măsurare a deplasărilor în adâncime sunt foarte variate. O metodă foarte simplă constă în amplasarea unor repere în găuri de foraj la diferite adâncimi.

În acest mod se poate măsura deplasarea fiecărui strat. Bucăți de lemn, blocuri de teren sau tuburi de drenaj sunt înserate într-un puț de cercetare care după aceea este umplut cu pământ. Redeschizând puțul după o anumită perioadă de timp, deplasarea la diferite nivele poate fi dedusă prin măsurarea pozițiilor reperelor. În figura 3.33. este prezentat un astfel de puț de cercetare.

O metodă mai perfecționată constă în instalarea unor tuburi de sticlă de mică lungime în interiorul unui foraj. Fiecare tub are c.ca 30 cm lungime; la capătul de jos al tubului se fixează o sârmă sau un cablu care se scoate până la suprafață, unde se trece peste un scripete și se întinde cu o greutate.

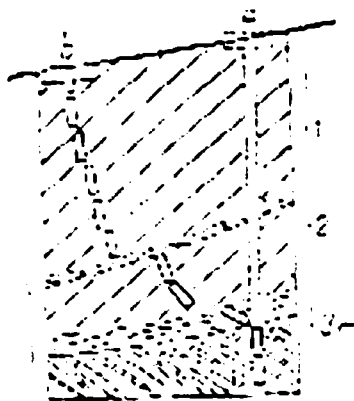


Figura 3.33 Deplasarea cărămizilor într-un puț de cercetare

a - poziția inițială; b - poziția lor la redeschidere

Deplasările relative ale fiecărui tub pot fi înregistrate separat. Orice deplasare a masei alunecate se manifestă prin întinderea sârmelor legate de tuburile situate sub suprafața de alunecare. Pe această cale poate fi înregistrat atât ritmul deplasării, cât și existența unei sau mai multor suprafețe de alunecare. Puțurile de exploatare săpate de obicei sub masele alunecate pot fi folosite în scopul observării mișcărilor în adâncime.

Puțurile sunt prevăzute de regulă cu armătură din beton și umplutură din pietriș.

Deplasările sunt măsurate cu un pendul poziționat asemănător cu acela folosit la baraj pentru măsurarea înclinării parametrului. Pendulul este suspendat pe armătură deasupra suprafeței de alunecare și dispozitivul de citire este fixat sub această suprafață. Componentele orizontale ale mișcării, sunt măsurate cu o precizie de zecimi de milimetru.

În unele tipuri de roci, așa numitele alunecări bloc, constituie un fenomen frecvent. Deplasarea blocurilor adiacente poate fi măsurată prin folosirea dilatantelor ce sunt curent folosite pentru detectarea deformațiilor în baraje.

**Extensometrul bazat pe fenomenul Moire**, permite măsurarea mișcărilor foarte mici de lungă durată din alunecările bloc.

Fenomenul Moire prevede posibilitatea detectării mișcării într-un sistem de franje produse de grilele ce se deplasează relativ una față de alta.

Extensorul constă din doi suportți ficeși și două elemente Moire, adică două perechi de anozii cu spirale de sticlă. Suportții sunt fixați în pereții contactelor dintre blocuri, elementele sunt instalate pe muchia suportților, elementul superior în poziție orizontală, iar cel inferior în poziție verticală. Deplasarea detectabilă pe două planuri perpendiculare unul pe altul, este evaluată pe baza numărului total de franje. Citirile pot fi făcute vizual sau fotografic. Sensibilitatea și precizia instrumentului depind de densitatea grilelor.

În alunecările active, suprafața de alunecare se poate detecta prin devierea în timp a forajului.

Coborârea unor bare sau a firelor cu plumb permit determinarea poziției suprafeței de alunecare care corespunde cu adâncimea la care întâlnește obstacolul respectiv peretele forajului deviat.

În dinamica alunecărilor de teren este importantă și cunoașterea nivelului și variației apei subterane.

Forajele executate în zona de alunecare pot fi echipate cu piezometre pentru măsurarea nivelului apei subterane și pentru evidențierea mai multor pânze de apă distincte, situate la diverse nivele. De exemplu, în același foraj de 4 se pot amplasa până la patru tuburi piezometrice figura 3.34.

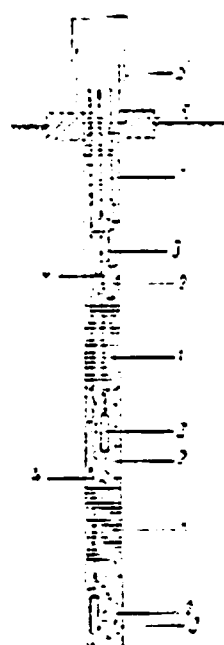


Figura 3.33 Echiparea forajelor cu piezometre dispuse la mai multe nivele

- 1 - dop de etanșare ( bentonită, argilă, ciment); 2 - material granular permeabil ( nisip grosier, pietriș, etc.); 3 - captorul (tub ceramic poros, tub de plastic sluit protejat cu vată de sticlă etc.); 4 - tub de plastic  $d=15...50\text{mm}$ ; 5 - protector metalic;  
6 - suport de beton pentru protector

Pentru măsurarea nivelului apei în tuburile cu diametrul mic (sub 1 cm ), se poate folosi dispozitivul electric din figura 3.35.

Executarea și echiparea forajelor trebuie făcută de o unitate specializată , dar urmărirea variațiilor de apă se poate face și de către personal fără nici o calificare specială.

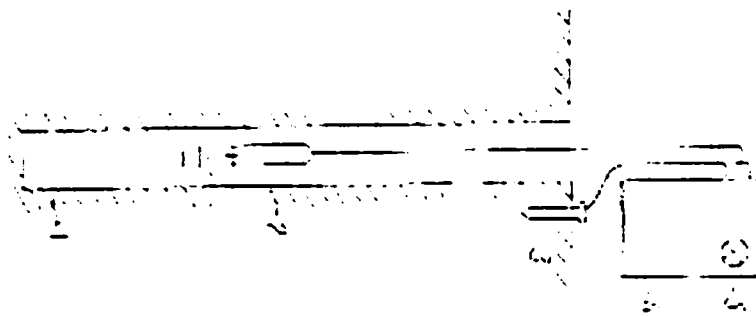


Figura 3.35 Dispozitivul electric pentru poziționarea nivelului apei în foraj.

1 - foraj tubat cu țevă din material plastic  $d'15...30\text{mm}$ ; 2 - 3 electrozi de contact; 3 - aparat de semnalizare; 4 - dispozitivul de semnalizare ( bec, cadru cu indicator, etc).

În forajele cu diametru peste 10 cm pot fi utilizate înclinometre pentru măsurarea derivației forajelor. Firma Slope Indicator Ca din Seattle (S.U.A.) , utilizează tuburi de aluminiu cu patru șanțuri interioare, pentru a asigura poziția înclinometrului în raport cu tubul, acest dispozitiv face posibile măsurători pe întreaga lungime a tuburilor și un profil continuu a tubului deviat până când acesta este forfecat de alunecare. Metoda înclinometrică constă din tubarea forajelor cu tuburi canelate, capabile să ghideze dispozitivul de măsurare - înclinometrul.

Înclinometrul este alcătuit dintr-o capsulă prevăzută cu un dispozitiv capabil să indice înclinarea față de verticală a capsulei, pe măsură ce acesta culisează în interiorul forajului (figura 3.36).

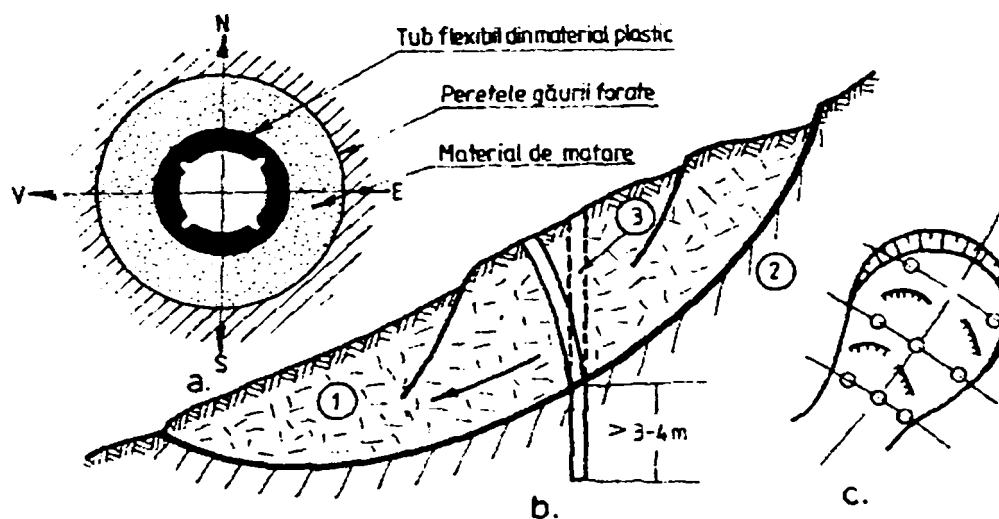


Figura 3.36 Schema determinărilor înclinometrice

De exemplu, dispozitivul înclinometric poate consta dintr-o lamelă a cărei încovoiere este înregistrată de un traductor electometric și comutată printr-un amplificator la un

dispozitiv de înregistrare. Canelurile tubajului și ghidajele capsulei permit efectuarea măsurătorilor pe două direcții perpendiculare în plan.

Programul de urmărire începe cu efectuarea unei măsurători de referință în fiecare foraj, la intervale de adâncimi de ordinul a 0,5 – 1 m de la suprafața terenului până în talpa forajului.

Devierea forajului în fiecare punct se calculează și se reprezintă în plan zenital și azimutal, determinându-se în felul acesta diagramele de referință corespunzătoare datei când s-au efectuat măsurătorile.

Următoarele serii de măsurători se efectuează la intervale de timp conform unui program prestabilit.

Pentru fiecare serie de măsurători se întocmesc diagramele de deviere și se compară cu cele anterioare (figura 3.37)

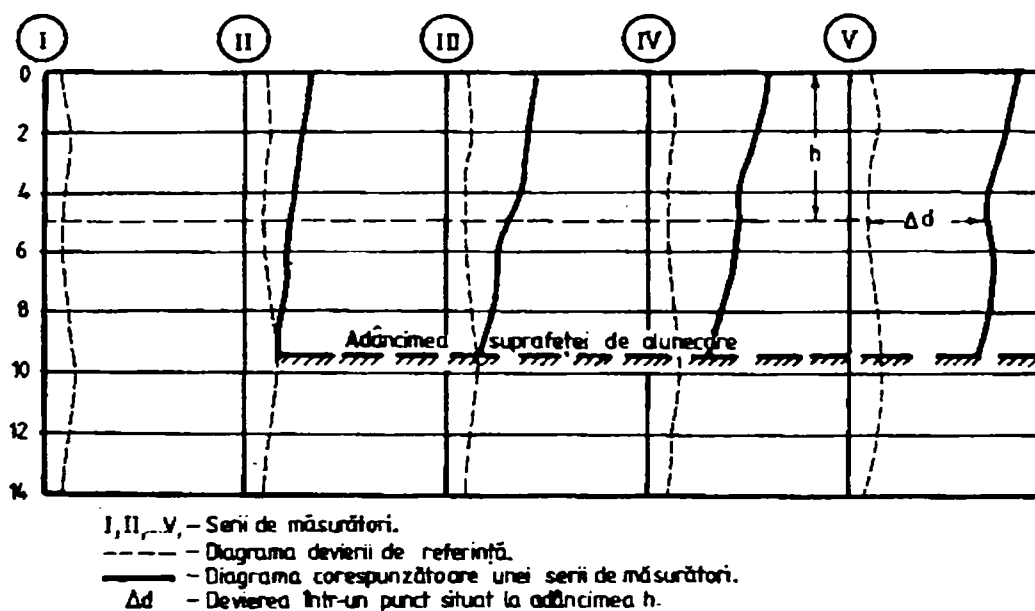


Figura 3.37 Diagrame privind evoluția deplasării unei mase alunecătoare obținute prin măsurători într-un foraj echipat cu tub flexibil

Reprezentarea devierilor în plan zenital se face prin proiecția acestora pe un plan vertical, paralel cu direcția de deviere maximă în plan orizontal. Deplasările pot fi sensibile, în cazul alunecărilor active putând ajunge până la ruperea tubulaturii în dreptul suprafeței de alunecare.

## 3.5 Asigurarea protecției construcțiilor prin hărțile de risc la alunecare

### 3.5.1 Considerații generale

Condițiile geologice și fizico-geografice situează România în categoria țărilor cu potențial ridicat de producere a unor fenomene de instabilitate, în special a alunecărilor de teren.

Ariile cu potențial ridicat în ceea ce privește probabilitatea de declanșare a unor alunecări de teren sunt legate de condițiile de relief, fiind situate în cea mai mare parte în zonele subcarpatice ale țării noastre.

Derularea unui program rațional de măsuri de protecție a zonelor construite împotriva alunecărilor de teren, impune microzonarea perimetrelor construite și a zonelor adiacente acestora din punct de vedere al potențialului de producere a alunecărilor de teren, prin întocmirea hărților de risc la alunecare, la scări de detaliu (1:5000) și chiar mai mari dacă este necesar. În acest sens a fost elaborat **“Ghidul de redactare a hărților de risc la alunecare a versanților pentru asigurarea stabilității construcțiilor”** indicativ GT019-98, aprobat prin **Hotărârea de Guvern nr. 447 din 2003**.

Hărțile de risc trebuie să oglindească starea de eforturi din versanți și valorile factorilor de stabilitate în secțiunile reprezentative, acestea constituind parametrii principali pe baza cărora să se poată aprecia cât de ridicat este pericolul atingerii limitei de cedare a masivului de pământ și de producere a alunecării de teren.

Dacă sunt corect întocmite, hărțile de risc permit adoptarea unor măsuri eficiente de prevenire a dezastrelor potențiale datorate producerii alunecărilor de teren și luarea unor decizii raționale privind amplasarea construcțiilor și executarea unor lucrări de excavații fără a fi periclitată stabilitatea terenului.

**Într-o primă etapă hărțile de risc la alunecare trebuie să devină documente obligatorii pentru toate zonele construite și cele potențial construibile, urmând ca acțiunea de elaborare a acestora să fie extinsă treptat până la acoperirea întregului teritoriu a țării.**

### 3.5.2 Metodologia elaborării hărților de risc la alunecare

Așa cum s-a arătat mai sus, condițiile geologice și fizico-geografice situează România în categoria țărilor cu potențial ridicat de producere a alunecărilor de teren. Pentru întocmirea unei hărți cu zonarea teritoriului României din punct de vedere al potențialului de producere a

alunecărilor de teren, s-a elaborat "Ghidul de redactare a hărților de risc la alunecare a versanților pentru asigurarea stabilității construcțiilor"- indicativ GT019-98 și a probat prin hotărârea de Guvern nr. 447 din 10.04.2003 „Normele metodologice privind modul de elaborare și conținutul hărților de risc natural la alunecări de teren”. Aceste norme prezintă cadrul general privind succesiunea operațiilor de întocmire a hărților de risc al alunecare.

În afară de condițiile de relief, ariile cu potențial ridicat de declanșare a unor alunecări de teren (figura 3.38) se suprapun, în bună parte, peste zone cu seismicitate ridicată (figura 3.39 și 3.40).

Hărțile de risc trebuie să oglindească starea de eforturi din versanți și valorile factorilor de stabilitate în secțiuni reprezentative, acestea constituind parametrii principali pe baza cărora să se poată aprecia cât de aproape este momentul stingerii limitei de cedare a maselor de pământ la care se pot declanșa alunecările de teren.

Hărțile de risc, dacă sunt corect întocmite, permit adoptarea unor măsuri eficiente de prevenire a dezastrelor potențiale datorate producerii alunecărilor de teren precum și luarea unor decizii raționale cu privire amplasarea construcțiilor, executarea excavațiilor etc. fără a fi periclitată stabilitatea versanților.

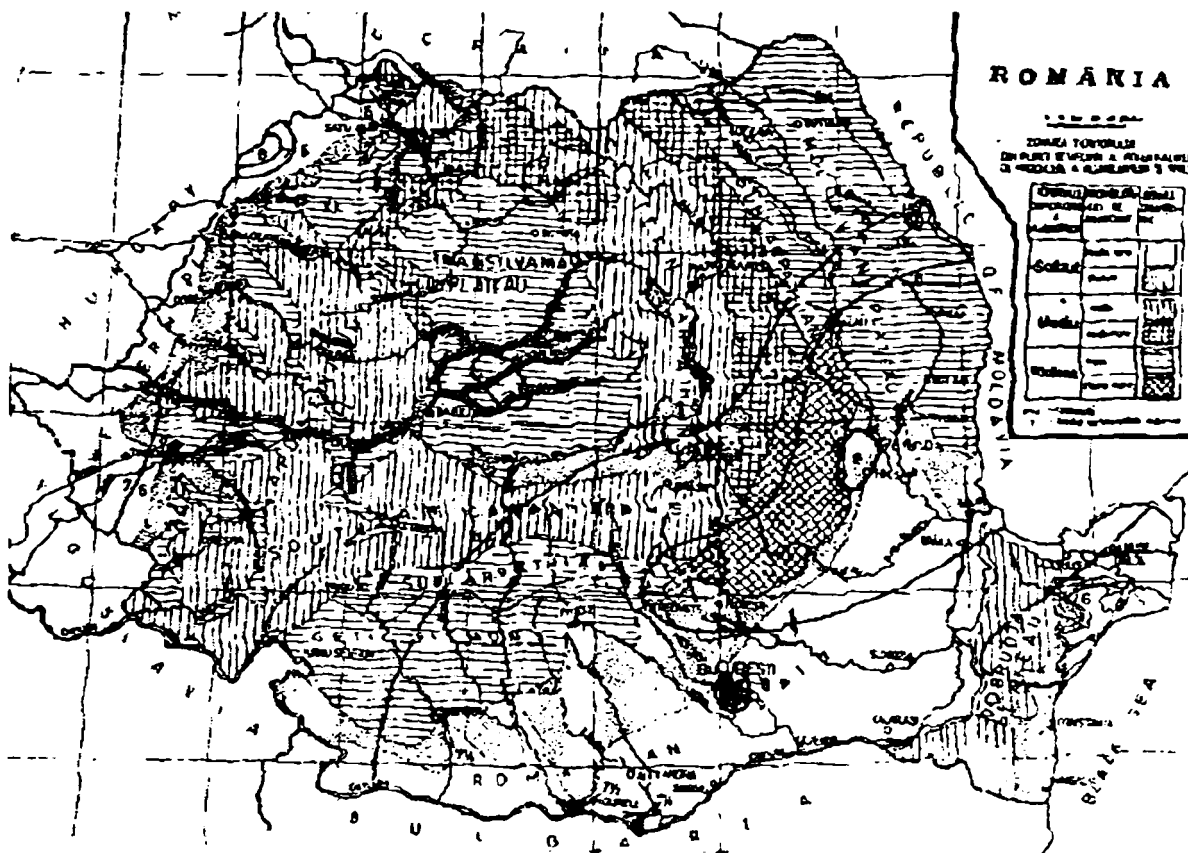


Figura 3.38 Zonarea teritoriului României din punct de vedere al potențialului de producere a alunecărilor de teren

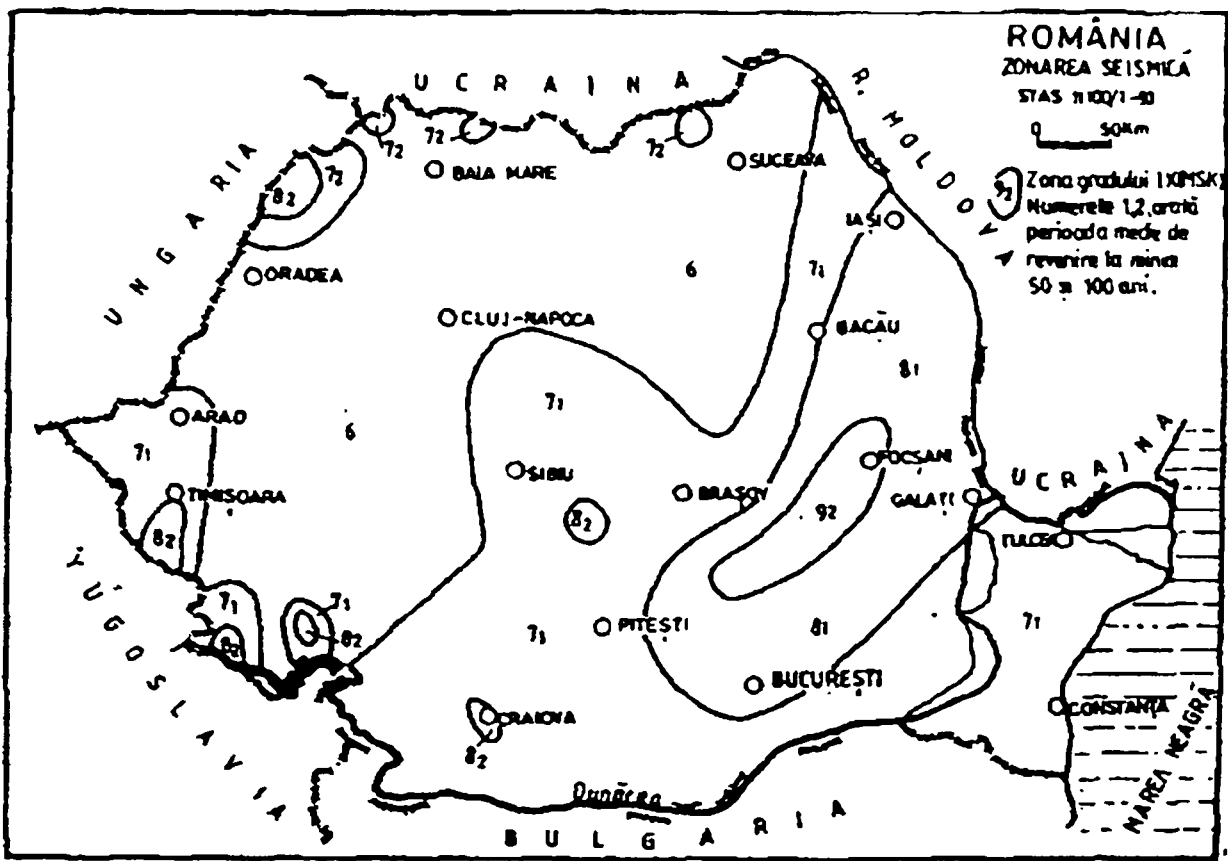


Figura 3.39 Zonarea macroseismică a teritoriului României din punct de vedere al intensității cutremurelor, Scara MSC (SR-11100-93)

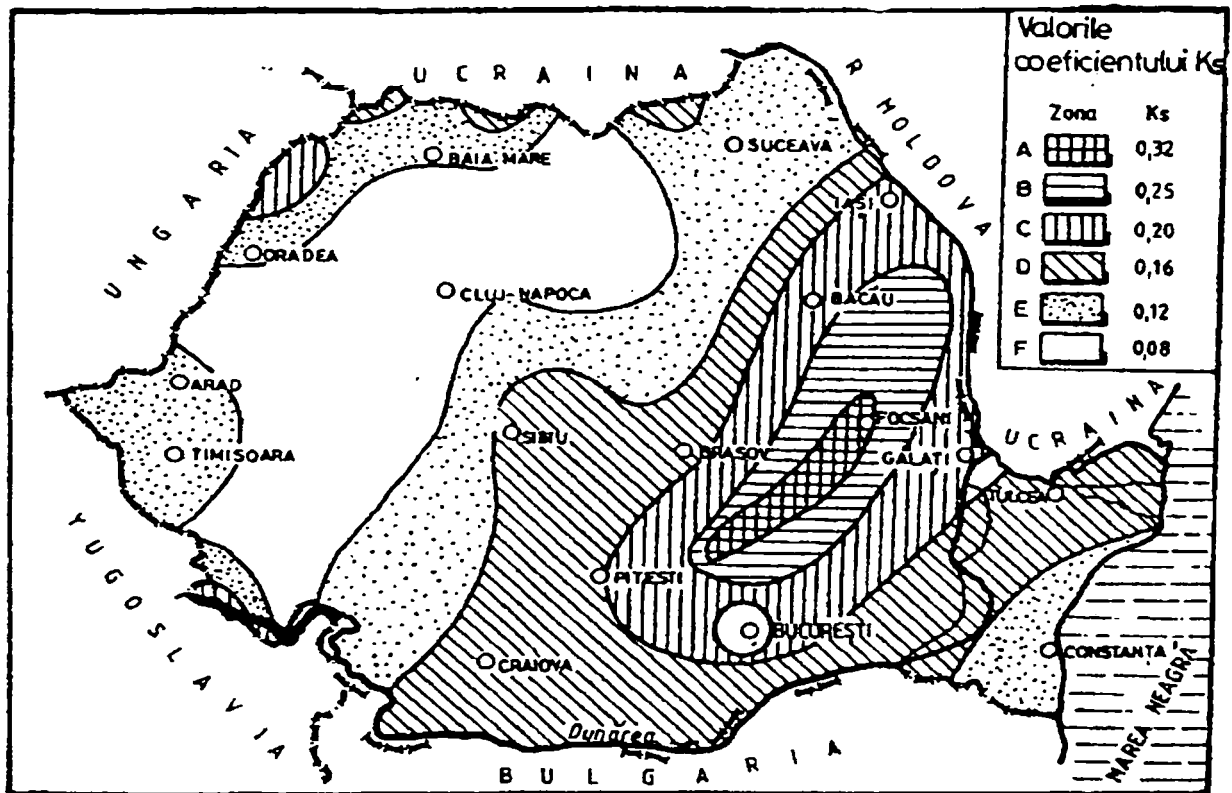


Figura 3.40 Zonarea teritoriului României din punct de vedere al coeficientului seismic  $K_s$ , (Normativ P 100-92)



Elaborarea unei hărți de risc trebuie să se desfășoare în două etape:

**Etapa I** - va cuprinde culegerea tuturor informațiilor morfologice, hidrologice, climatice, geologice, geotehnice și hidrogeologice existente în documentațiile întocmite pentru scopuri diverse, aferente perimetrului care se cercetează, precum și cartări geologice inginerești și hidrogeologice foarte detaliate.

Pe baza datelor obținute în această etapă se va întocmi harta de risc la alunecare a zonei cercetate, hartă care de cele mai multe ori poate fi considerată satisfăcătoare pentru scopul în care a fost elaborată. Hărțile se redactează la scări 1:10000 ... 1:5000 în funcție de suprafață și complexitatea zonei.

Dacă din analiza hărții întocmită în această etapă va rezulta un risc ridicat de alunecare a versantului, luând în considerare și consecințele unui eventual dezastru pe care acesta îl poate produce, se va trece la redactarea hărții de risc corespunzătoare etapei a II<sup>a</sup>.

**Etapa „II<sup>a</sup>”** - pe lângă datele obținute în prima etapă, trebuie să cuprindă în mod obligatoriu lucrări de prospecțiuni (geofizice, foraje, lucrări miniere, teste efectuate *in situ*) și analize geotehnice de laborator, datele obținute contribuind în mod substanțial la creșterea gradului de precizie al hărții de risc care se va fundamenta pe calcule și interpretări mult mai precise.

În normativele prezentate anterior sunt date criteriile pentru stabilirea potențialului și probabilității de producere a alunecărilor de teren tabelul 3.5

**CRITERII PENTRU ESTIMAREA POTENTIALULUI ȘI PROBABILITĂȚII DE PRODUCERE A ALUNECĂRILOR DE TEREN**

Nr. crt.	SIMBOLUL	CRITERIUL	POTENTIALUL DE PRODUCERE A ALUNECĂRILOR (p)				RIDICAT			
			SCĂZUT		MEDIU					
			PROBABILITATEA DE PRODUCERE A ALUNECĂRILOR (P) ȘI COEFICIENTUL DE RISC CORESPUNZĂTOR (K)							
			PRACTIC-ZERO	REDUSĂ	MEDIE	MEDIE-MARE		MARE	FOARTE MARE	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	> 0,80	
1		LITOLOGIC	Roci stancoase, masive, compacte sau fisurate, nealterate			Majoritatea rocilor sedimentare care fac parte din formațiunea acoperitoare (deluvii, coluvii și depozite proluviale) și din categoria rocilor semistancoase (roci pelitice stratificate, cum sunt șisturile argiloase, marmele și marmocălcările, cretele ș. a., rocile metamorfice, îndeosebi șisturile de epizonă și mai puțin cele de mezozonă, puternic alterate și exfoliate, unele roci de natură magmatică puternic alterate ș. a.)				Roci sedimentare detritice neconsolidate - necimentate, de tipul argilelor și argilelor grase, saturate, plastic moi - plastic consistente, cu umflări și contracții mari, argilele montmorilonitice, puternic expansive, praful și nisipurile mici și mijlocii aflărate, în stare submersată, brecea sării etc.
2	b	GEOMORFOLOGIC	Relief plan orizontal afectat de procese de eroziune nesemnificative, văile care constau în rețeaua hidrografică, fiind într-un avansat stadiu de maturitate			Relief de tip colinar, caracteristic zonelor piemontane și de podiș, fragmentat de rețele hidrografice cu văi ajunse într-un anumit stadiu de maturitate, mărginite de versanți cu înălțimi medii și înclinări în general, medii și mari.				Relief caracteristic zonelor de deal și de munte, puternic afectat de o rețea densă de văi tinere cu versanți înalți și puternic înclinați, înălțimea văilor fiind subsecvențe (paralele cu direcția stratelelor).
3	c	STRUCTURAL	Copuri masive de roci stancoase de natură magmatică, roci sedimentare stratificate, cu stratele în poziție orizontală, roci metamorfice cu suprafețe de sistozitate dispuse în plane orizontale.			Majoritatea structurilor geologice cunoscute și afectate de clivaj și fisurări: structurile dispire, zonele ce marchează fruntea pânzelor de apă.				Structuri geologice caracteristice anilor geosinclinale în fașcis de flis și formațiunilor de molasă din depresiunile marginale, structuri geologice stratificate, puternic erodate și dislocate, afectate de o rețea densă de clivaj, fisurări și stratificatie.
4	d	HIDROLOGIC ȘI CLIMATIC	Zone în general aride, cu precipitații medii anuale reduse. Debitele scurse pe albiile râurilor, ale căror bazine hidrografice se extend în zonele de deal și de munte, în general sunt controlate de precipitațiile din aceste zone. Pe albiile râurilor predomină procesele de sedimentare, eroziunea producându-se numai lateral în timpul viiturilor.			Cantități moderate de precipitații. Văile principale din rețeaua hidrografică au ajuns stadiu de maturitate, în timp ce afluenții acestora se află încă în stadiu de tinerețe. În timpul viiturilor se produc atât eroziuni verticale cât și laterale. Importanțe transporturi și depuneri de debite solide.				Precipitații lente de lungă durată cu posibilități mari de infiltrare a apei în roci. La ploii rapide sunt viteze mari de scurgere cu transport de debite solide. Predomină procesele de eroziune verticală.
5	e	HIDROGEOLOGIC	Curgerea apelor freatice are loc la gradienti hidrografici foarte mici. Forțele de filtrație sunt neglijabile. Nivelul liber al apei freatice se află la adâncime mare.			Gradientii de curgere a apei freatice moderate. Forțele de filtrație au valori care pot influența sensibil starea de echilibru a versanților. Nivelul apei freatice, în general, se situează la adâncimi mai mici de 5 metri.				Curgerea apelor freatice are loc sub gradienti hidrografici mari. La baza versanților, uncoți și pe versanți, apar izvoare de apă. Există o curgere din interiorul versanților către suprafața acestora cu dezvoltarea unor forțe de filtrație ce pot contribui la declanșarea unor alunecări de teren.
6	f	SEISMIC	Intensitate seismică pe scara M.K.S. mai mică de gradul 6.			Intensitate seismică de gradul 6-7				Intensitate seismică mai mare de gradul 7.
7	g	SILVIC	Gradul de acoperire cu vegetație arborească mai mare de 80%. Păduri de foioase cu arbori de dimensiuni mari			Gradul de acoperire cu vegetație arborească cuprins între 20% și 80%. Păduri de foioase și conifere, cu arbori de vârste și dimensiuni variate.				Gradul de acoperire cu vegetație arborească mai mic de 20%.
8	h	ANTROPOGEN	Pe versanți nu sunt executate construcții importante, acumulările de apă lipsesc.			Pe versanți sunt executate și se ne de lucrări (platforme de drumuri și cale ferată, canale de coastă, cariere ș.a.) cu extindere limitată și pentru care s-au executat lucrări corespunzătoare de protecție a versanților.				Versanți afectați de o rețea densă de conducte de alimentare cu apă și canalizare, drumuri, căi ferate, canale de coastă, canere, supraînălțarea acestora în partea superioară cu depozite de înaltă, construcții grele ș. a. Lacuri de acumulare care unezesc versanții în partea inferioară

### 3.5.2.1 Criterii de elaborare a hărților de risc

La întocmirea hărților de risc s-au luat în considerare mai multe criterii stabilite pe baza unor factori care acționând singular sau în interdependență, pot influența decisiv stabilitatea versanților.

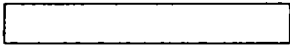




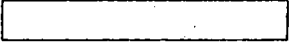
Criteriile care se iau în considerare, caracterizarea masivelor de roci potențial alunecătoare corespunzătoare fiecărui criteriu, estimarea potențialului și probabilității de producere a alunecărilor de teren sunt prezentate sintetic în tabelul 3.6. Pentru redactarea hărții de risc în etapa a I-a se adoptă următoarea metodologie de lucru:

- estimarea valorii și a distribuției geografice a coeficienților de risc  $K_{(a-h)}$  pe baza criteriilor de analiză adoptate (tabelul 3.6);
- stabilirea gradelor de potențial (scăzut, mediu, ridicat), cărora le corespunde o anumită probabilitate de producere a alunecărilor ( practic zero, redusă, medie, medie-mare, mare și foarte mare);
- împărțirea arealului pe care se dorește întocmirea hărții de hazard la alunecări de teren în suprafețe poligonale delimitate astfel încât să reprezinte depozite cât mai omogene litologic și structural;
- evaluarea, pentru fiecare suprafață poligonală, a coeficienților de risc  $K_{(a-h)}$
- calcularea coeficientului mediu de hazard ( $K_m$ ), corespunzător fiecărei suprafețe poligonale analizate, cu relația:

$$K_m = \frac{K_a \cdot K_b}{6} (K_c + K_d + K_e + K_f + K_g + K_h) \quad 3.22$$

- întocmirea hărții cu distribuția geografică a coeficientului mediu  $K_m$ , după modelul prezentat în figura 3.41.

Tabelul 3.6

POTENTIALUL DE PRODUCERE A ALUNECARILOR	POTENTIALUL DE ALUNECARE	SEMNULE CONVENTIONALE CORESPUNZATOR HARTI DIN FIG 3.46
Scăzut	Practic zero $K_m=0$	
	Redusă $K_m < 0,10$	
Mediu	Medie $K_m = 0,10 - 0,30$	
	Medie mare $K_m = 0,10 - 0,30$	
Ridicat	Mare $K_m = 0,51 - 0,80$	
	Foarte mare $K_m > 0,80$	

În funcție de valoarea coeficientului  $K_m$ , potențialul de producere al alunecărilor poate fi: scăzut, mediu, ridicat (Tabelul 3.6).

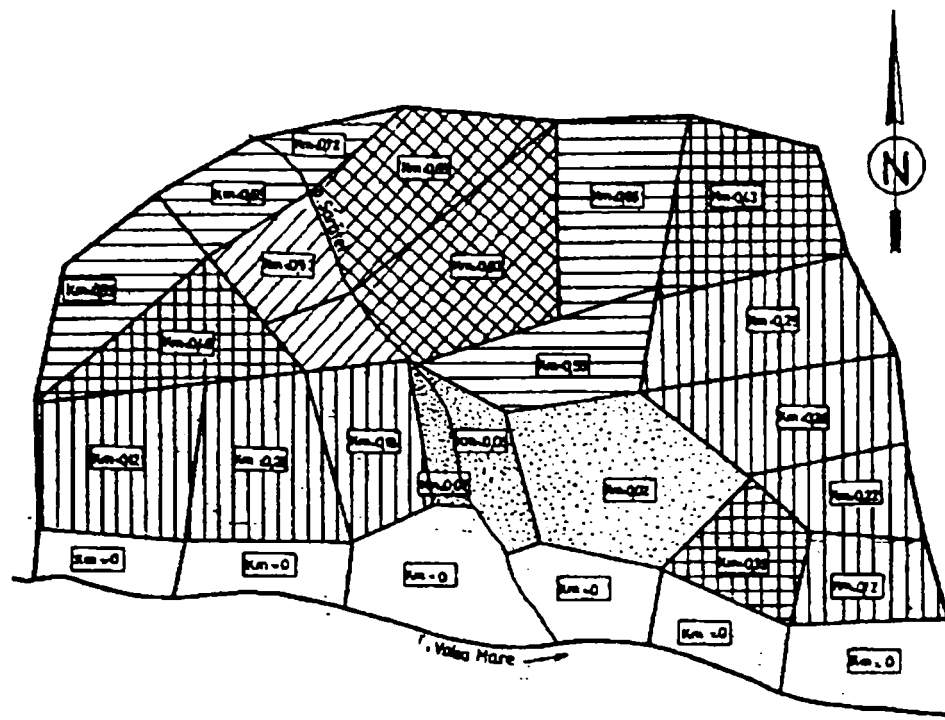


Figura 3.41 Harta cu distribuția geografică a coeficientului mediu  $K_m$

Pentru crearea unui model optim de analiză care să se apropie cât mai mult de modelul natural, în etapa a II a se întocmesc următoarele hărți:

- harta topografică
- harta geomorfologică
- harta litologică-structurală la contactul rocă de bază-formațiune acoperitoare
- harta distribuției indicelui structural de alunecare
- harta cu izobate la contactul rocă de bază-deluviu
- harta cu izopahitele depozitelor deluviale
- harta hidrogeologică cu hidroizohipse și hidroizofreate

Toate hărțile se redactează la aceeași scară cu harta de sinteză, care constituie harta de risc la alunecare. Pe baza analizei hărților ajutătoare se pot elabora programe suplimentare de cercetare a caracteristicilor geotehnice ale maselor de roci potențial alunecătoare, se întocmesc secțiuni geologice reprezentative pentru calculul stării de eforturi din versant și al factorilor de stabilitate pe secțiunile adoptate.

Harta de risc pentru etapa „II” se construiește pe baza diagramelor de variație a forțelor de împingere, corespunzătoare fiecărei secțiuni de calcul, prin corelarea acestora în limitele perimetrului analizat, obținându-se în final o hartă cu izolinii de egală forță de împingere, având în același timp și factorii de stabilitate corespunzători secțiunilor de calcul luate în considerație.

### 3.6 Concluzii

Alunecările de teren sunt fenomene naturale distructive, generatoare de pagube materiale și pierderi de vieți omenești.

Caracteristica distructivă a unei alunecări de teren reprezintă acea mărime specifică a fenomenului care prin interacțiune cu structurile construcțiilor le produce acestora daune: câmpul de deplasări diferențiate pentru alunecările lente, deplasări de subsidență pentru dezvoltările retrogresive, energia cinetică a masei alunecătoare pentru alunecările rapide.

Riscul asociat alunecărilor de teren reprezintă pagubele materiale și pierderile umane potențiale cauzate de apariția acestor fenomene naturale.

Vulnerabilitatea la alunecări de teren reprezintă gradul de afectare a elementelor expuse la acțiunea hazardului alunecărilor de teren.

În cazul alunecărilor de teren lente primare sau reactivate, pagubele, atât materiale, cât și umane, nu mai sunt maximale. Vulnerabilitatea structurilor afectate de acest tip de alunecări de teren se poate exprima în funcție de intensitatea caracteristicii distructive.

Urmările negative ale acestor fenomene, determină necesitatea studierii alunecărilor de teren.

Elementele unei alunecări de teren ne ajută, în primul rând, să recunoaștem pe teren și să cartăm cât mai exact zona din versant afectată de alunecare, iar în al doilea rând utilitatea lor este foarte mare, în alegerea schemelor și metodelor de calcul pentru estimarea stabilității versantului. Necunoașterea elementelor unei alunecări de teren poate conduce la ipoteze eronate în alegerea metodelor de calcul, la rezultate care nu exprimă starea reală de stabilitate sau instabilitate a versantului, la concluzii nefondate privind măsurile de asigurare a stabilității.

Clasificarea alunecărilor de teren a stat în atenția cercetătorilor încă de la începuturile cunoașterii științifice a proprietăților fizico-mecanice ale rocilor și a folosirii acestora în explicarea procesului de alunecare. În majoritatea cazurilor, clasificările aparținând diferiților cercetători au ca scop sistematizarea alunecărilor cartate într-o anumită zonă. Sistematizarea alunecărilor dintr-o regiune este totuși importantă și necesară pentru inginerul geolog ca metodă de analiză.

În clasificarea alunecărilor de teren apar numeroase dificultăți, legate de insuficienta cunoaștere a cauzelor care generează alunecările, de cunoașterea incompletă a procesului de alunecare și de multitudinea formelor morfologice pe care le îmbracă alunecările. Este utilă folosirea unei clasificări care se bazează pe criterii clare, cu răspândire regională într-o zonă dată. O clasificare a alunecărilor de teren trebuie să permită întrevăderea evoluției viitoarelor

procesele de alunecare, pe de o parte, și să servească la elaborarea măsurilor de stabilizare, pe de altă parte.

Uniunea Internațională de Diminuare a Dezastrelor Naturale care s-a constituit sub egida UNESCO și în cadrul căreia funcționează Grupul pentru Studiul Alunecărilor de Teren, utilizează o terminologie care cuprinde termenii cei mai frecvent utilizați pentru caracterizarea alunecărilor de teren, clasificare bazată pe criterii generale.

Cercetarea alunecărilor de teren presupune o foarte bună cunoaștere a geologiei locale și regionale, plecând de la elementele de ordin stratigrafic, litologic, tectonic, geneza formațiunilor afectate de astfel de procese. Studiul alunecărilor de teren se începe cu cercetarea cauzelor acestor fenomene, care sunt deplasări spontane, naturale ale unor mase de pământ spre piciorul versanților sau taluzurilor. Cunoscând cauzele alunecărilor cunoaștem de fapt direcțiile în care trebuie să se acționeze pentru stabilizarea alunecărilor de teren, prin eliminarea acțiunii cauzelor sau prin reducerea efectului lor în timp.

Harta teritoriului României, împărțită în zone, în funcție de potențialul alunecărilor de teren, este foarte utilă pentru a se lua măsurile necesare în vederea prevenirii alunecărilor de teren, care adesea pot avea consecințe catastrofale.

Există numeroase construcții importante amplasate pe terenuri aparent stabile, dar care în realitate fac parte din zonele cu potențial ridicat de alunecare. Aceste zone, în timp au devenit instabile și au fost afectate de importante alunecări de teren. Harta potențialului alunecărilor de teren este folositoare pentru estimarea riscului de producere a alunecărilor de teren și pentru stabilirea măsurilor necesare prevenirii acestui risc.

Administrarea din ce în ce mai responsabilă a teritoriului presupune o analiză a riscurilor privind producerea unor accidente naturale, cum ar fi alunecările de teren. Un prim pas în această direcție o reprezintă întocmirea și respectiv reactualizarea hărților zonelor expuse unor riscuri naturale precum alunecările de teren. Întocmirea unor astfel de hărți presupune o echipă de specialiști competenți (geologi, geotehnicieni, geodezi) și o activitate minuțioasă atât la nivel de observații și măsurători de teren cât și la nivel de analiză. O experiență în domeniul problematicii instabilității masivelor din pământ și o cunoaștere a caracteristicilor geologice din zonă sunt atuuri, care permit dacă nu numai reducerea subiectivității în estimarea riscurilor, cel puțin asigurarea unei estimări reale a riscurilor existente.

Harta reprezentând potențialul de alunecare este folositoare după elaborarea hărții reprezentând alunecările de teren pentru că permite estimarea riscului de alunecare în zonele unde factorii care favorizează alunecarea nu ajung încă la valori care depășesc echilibrul limită al taluzurilor. Harta detaliată a potențialului de alunecare este foarte importantă pentru

prezicerea stabilității taluzurilor, în special în zonele largi ale lacurilor de acumulare, căi de comunicație terestre, în paralel cu curbele de nivel, etc.

Pentru întocmirea hărților de risc, prin Ordin nr.80/N din 19.10.1998, Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului a aprobat „Ghidul de redactare a hărților de risc la alunecare a versanților pentru asigurarea stabilității construcțiilor” Indicativ GT019-1998.

Referitor la analiza condițiilor de stabilitate ale unei zone geografice complexe, prin cartografiere se pot prezenta în principal următoarele concluzii:

- prin metodologia propusă, au fost definite o serie de criterii pe baza cărora se poate întocmi o documentație de evaluare obiectivă a gradului de risc pe care îl pot prezenta anumite formațiuni geologice din punct de vedere al stabilității.
- s-a dovedit utilitatea întocmirii unei analize aprofundate, multicriteriale, a gradului de risc pentru amplasament, concluziile acestuia având un important impact social și economic, în special pentru zonele urbane situate în regiuni cu relief accidentat.

Pentru orientarea activității de prevenire și reducere a efectelor alunecărilor de teren asupra mediului înconjurător în general și asupra obiectivelor economico-sociale în special, Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului, a aprobat prin Ordin nr. 18/N din 19.02.1997 „Ghidul privind identificarea și monitorizarea alunecărilor de teren și stabilirea soluțiilor cadru de intervenție asupra terenului pentru prevenirea și reducerea efectelor acestora, în vederea satisfacerii cerințelor de siguranță în exploatare a construcțiilor, refacere și protecție a mediului”- Indicativ GT 006-97.

Studiul unei alunecări de teren și soluțiile de stabilizare care se pot propune trebuie analizate într-un cadru complex, ținând seama de toate aspectele prezentate anterior.

## Capitolul 4. 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 observație a 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 pe durata măsurătorilor 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 eventualele 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 această grupă intră următoarele tipuri de măsurători ale 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 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 acestora.

- **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 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 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:

- 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 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 aflate în afara construcției spre punctele 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.

## 4.1 Modele clasice pentru stabilirea deformațiilor

### 4.1.1 Relația cauză-efect

Pentru determinarea unor mișcări la construcții sau a 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 4.1):

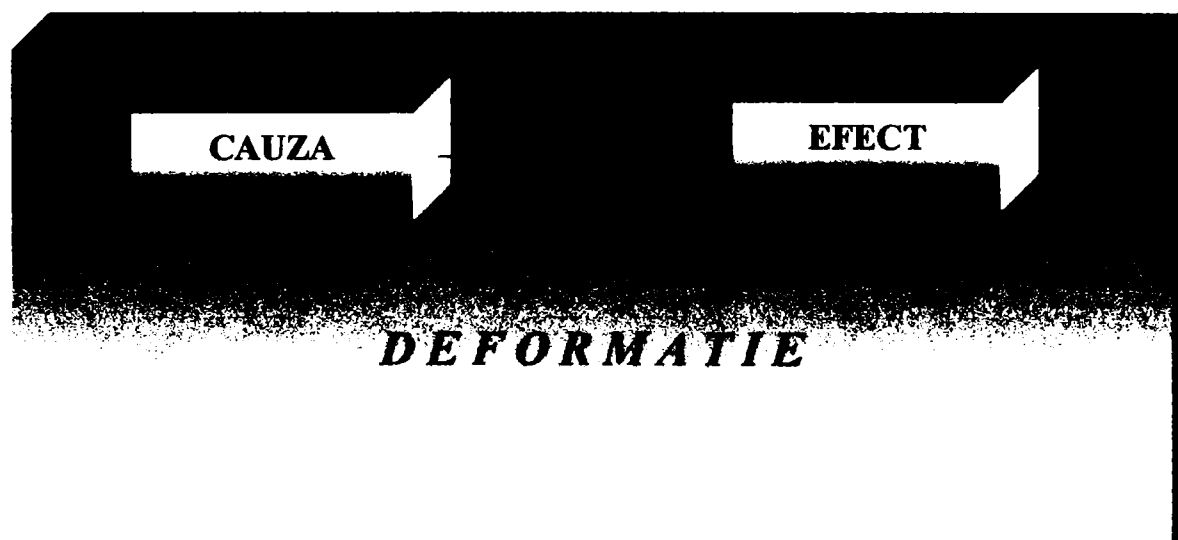


Figura 4.1 Relația cauză-efect

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 a construcțiilor și 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, cărbune se impune 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 ceea ce se întâmplă în realitate, ci doar cu o anumită probabilitate găsim o „relație”, un mod determinist ce conduce către un efect. Efectul este întotdeauna deformația, definită ca o modificare spațială.**

## 4.1.2 Aspecte generale privind alegerea unui model de deformăție

### 4.1.2.1 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 4.2);

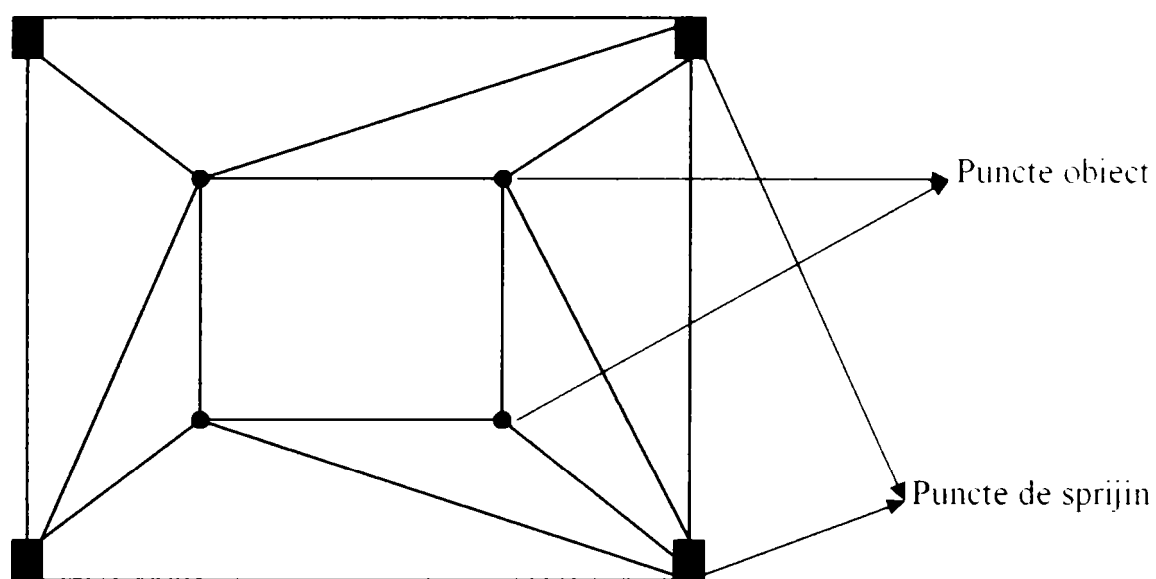


Figura 4.2 Puncte de sprijin și puncte obiect

- 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 stabilindu-se după anumite principii.

#### 4.1.2.2 Cunoștințe apriorice asupra unui model de deformație

Rolul rețelelor geodezice de urmărire este de a observa și determina dacă au apărut sau nu mișcări sau deplasări ale 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 parametri de bază pentru un model de deformație ce trebuie avuți în vedere sunt:

- reprezentativitatea punctelor;
- delimitarea domeniului de deformație;
- evoluția în timp a deplasărilor;
- direcțiile de deplasare de interes;
- ordinul de mărime al deplasărilor.

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

#### 4.1.2.3 Discretizare în 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 numărul de puncte obiect, 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 această problemă cunoscută sub denumirea de generalizare, este necesar a 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 deformație și la generalizare.

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

Pentru majoritatea construcțiilor masive mișcările nu sunt limitate doar la construcțiile în sine, ci se extind și în jurul construcției. În stabilirea domeniului de deformație trebuie avută 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

#### **4.1.2.3 Discretizarea în domeniul timp**

La fel de importantă 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 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 temperatură. **Alegerea la întâmplare a momentelor de măsurare conduce după câteva etape de măsurători la un model eronat iar practica a dovedit ca măsurătorile trebuie stabilite în teren astfel încât sa fie cuprinse stările maxime și minime ale construcției.**

#### **4.1.2.4 Caracteristici ale modelelor clasice de deformație**

Determinarea deplasărilor și abaterilor unui obiect constituie cerințe primordiale în analiza deformațiilor în raport cu timpul și spațiul. Dezvoltarea actuală, 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 mare, 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 care prodce deformație poate fi reprezentată ca o funcție de timp (figura 4.3).

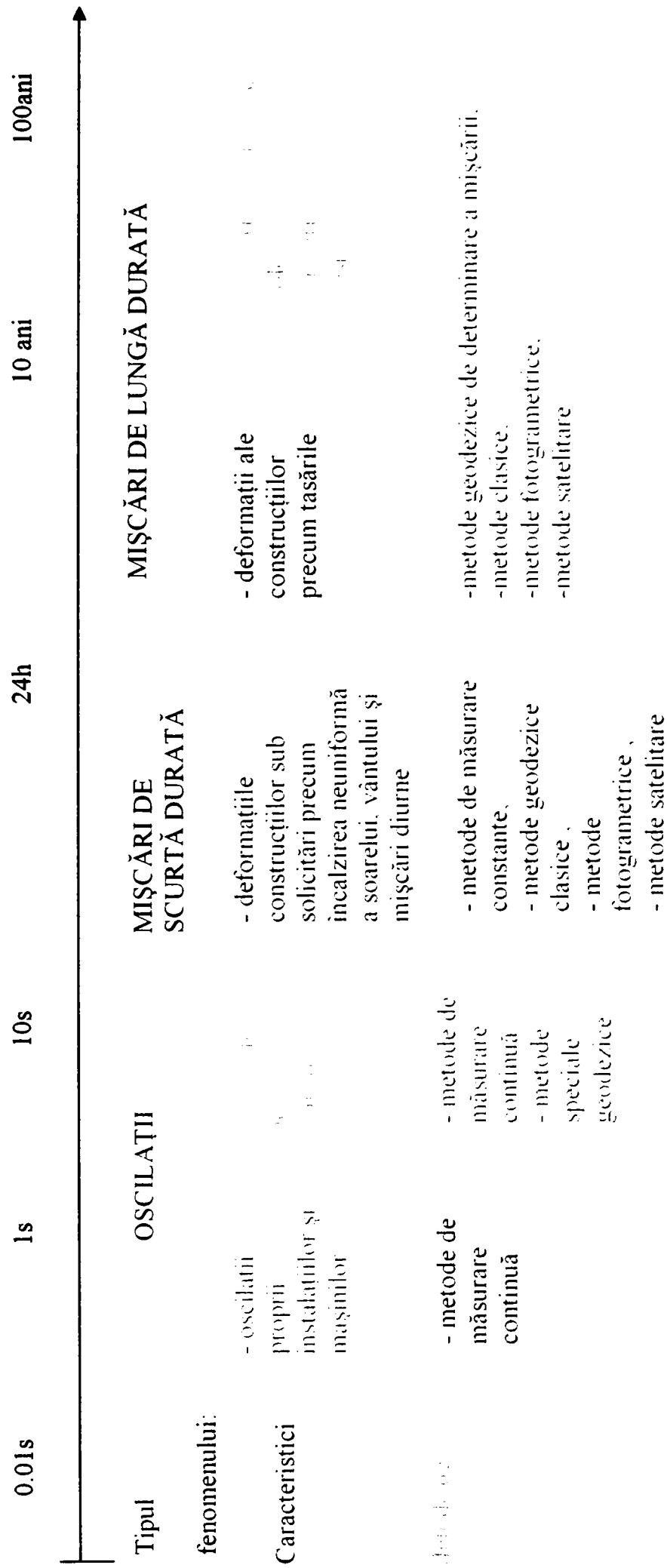


Figura 4.3 Reprezentarea deformației ca o funcție de timp

Un obiect poate fi considerat ca un **sistem cinematic**, atunci când determinarea deplasărilor 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 studiat la diferite etape de măsurare fără a se ține seama de efectele generatoare.

*Scopul principal* al Teoriei Sistemelor prezentat în detaliu în paragrafele anterioare este de a stabili funcții descriptive matematice pentru analiza acestor sisteme și identificarea lor:

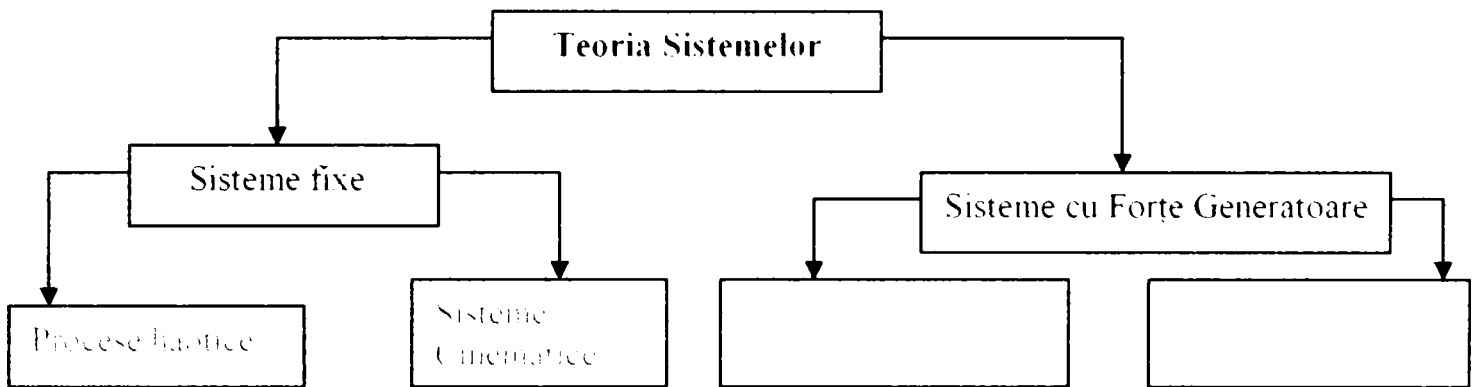


Figura 4.4 Clasificarea sistemelor

Totodată, este esențial a se face distincție în cazul modelelor de deformație între modelele pur descriptive și cele care includ relația cauză efect (figura 4.5).

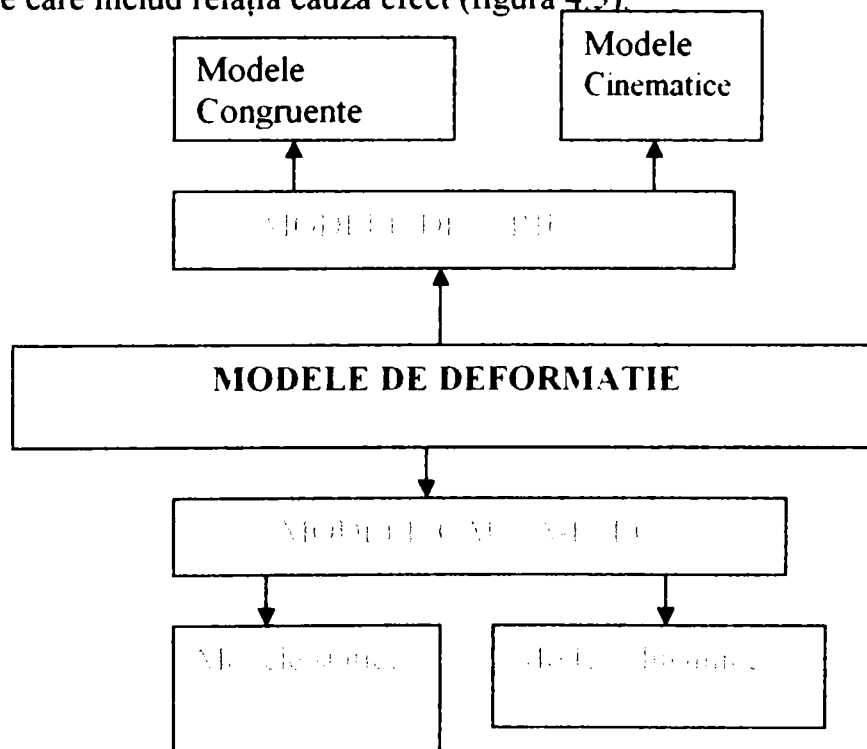


Figura 4.5 Modele de deformație



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 substanțial, chiar în punctele învecinate;**
- 2. modelarea mișcării ca o funcție de timp și loc, caz în care se realizează suplimentar față de modelul precedent o generalizare locală.**

Având în vedere că variabila timp prezintă o pondere radicală în modelarea cinematică, durata dintre etapele de măsurători trebuie aleasă astfel încât 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 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 descrisă de relația de mai jos :

$$x_k = x_{t_0} + \int_{t_0}^{t_k} \alpha_j dt \quad 4.1$$

unde : -  $x_k$  reprezintă poziția la un moment  $t_k$ ;

- $dt$  intervalul de timp dintre perioadele observației;

- $\alpha_j$  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, a tehnologiei automate și a programelor performante de PC, la fel de mult ca și în modelarea matematică, monitorizarea geotehnică este una din metodele fundamentale de monitorizare folosită pe scară largă 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.

#### 4.1.3 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 idee se definește din punct de vedere statistic ipoteza  $H_0$  :

$$H_0 : \{E(x_1)\} \equiv \{E(x_2)\} \equiv \{E(x_3)\} \equiv \dots \equiv \{E(x_n)\} \quad 4.2$$

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.

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 apărut deformații. În fiecare etapă sunt măsurători efectuate prin intermediul cărora stabilim un model funcțional de forma :

$$\bar{l}_i + \bar{v}_i = \bar{A}_i + \hat{X}_i, \quad 4.3$$

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 are forma:

$$\sum l_i = \sigma_0^2 Q_l, \quad \text{unde } P = Q_l, \quad 4.4$$

iar

$\sigma_0$  – reprezintă abaterea standard;

$Q_l$  – matricea cofactorilor.

Acest model este supus condiției de minim :

$$v^T P v \Rightarrow \min \quad 4.5$$

Prelucrarea în bloc a măsurătorilor din cele două etape are următoarea formă:

$$\begin{bmatrix} \bar{l}_1 \\ \dots \\ \bar{l}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \dots \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \dots \\ \hat{X}_2 \end{bmatrix} \quad 4.6$$

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

Valoarea zero pe diagonală semnifică faptul că între etapele de măsurători analizate nu se admit corelații.

Condițiile pentru ca testul de congruență să localizeze deformații în rețea 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 regulă 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  $\sigma_0^2$  să fie aceeași pentru ambele etape de măsurători.

După compensare se face compararea abaterilor standard empirice  $s_i^2$  obținute în cele două etape de măsurători. Compararea se face prin procedee statistice astfel:

$$(H_0) : E(s_{01}^2) \equiv E(s_{02}^2) \equiv \sigma_0^2 \quad 4.8$$

unde

$s_{01}^2$  - reprezintă abaterea standard empirică;

$E(s_{01}^2)$  - reprezintă valoarea de așteptare a abaterii standard empirice;

$\sigma_0^2$  - abaterea standard teoretică.

Testul pe care se propune are următoarea formă:

$$\frac{s_{01}^2}{s_{02}^2} = \text{are distribuție Fischer}; \quad 4.9$$
$$\frac{s_{01}^2}{s_{02}^2} \leq F_{t_1, t_2} (1 - \alpha)$$

Măsurătorile din cele două etape au de același grad de încredere, iar varianța empirică comună celor două etape de măsurători se poate defini cu ajutorul formulei de mai jos :

$$s_0^2 = \frac{\Omega}{f}$$

unde

4.10

$$\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 = v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2;$$

$$f = f_1 + f_2 \Rightarrow \text{numarul total al gradelor de libertate}$$

Dacă matricea normală este singulară, atunci apare un efect în datum și matricea cofactorilor se va calcula printr-o metodă specială, cel mai des utilizată fiind matricea inversă generalizată (Moore-Penrose).

Pentru aplicarea unui test statistic trebuie stabilită o ipoteză. Forma generală a unei astfel de ipoteze statistice este:

$$\overline{BX} = \overline{W}$$

4.11

unde:

$B$ -matricea ce explică funcția ;

$X$ -vector al parametrilor ;

$W$ -vector al discrepanțelor.

În urma aplicării testului de congruență, în cadrul modelelor statistice se deduc următoarele caracteristici:

- decizia stabilită în urma aplicării testului este adevărată cu probabilitatea  $1-\alpha$  ; în statistică o hotărâre care să aibă certitudine nu este posibilă;
- testul global de congruență pune în evidență faptul că cele două rețele nu sunt congruente, deci au apărut deformații, dar nu permite localizarea deformațiilor.

### 4.1.3 Modele cinematice în studierea deformațiilor construcțiilor

În unele situații precum alunecările de teren sau mișcările scoarței terestre, unde toate punctele suferă deplasări mai mari sau mai mici, cunoașterea sau cuprinderea stării de mișcare constituie 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 substanțial, chiar pentru punctele învecinate;
2. modelarea mișcării ca o **funcție de timp și loc** unde 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 aminti:

- 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 4.6 a și b).

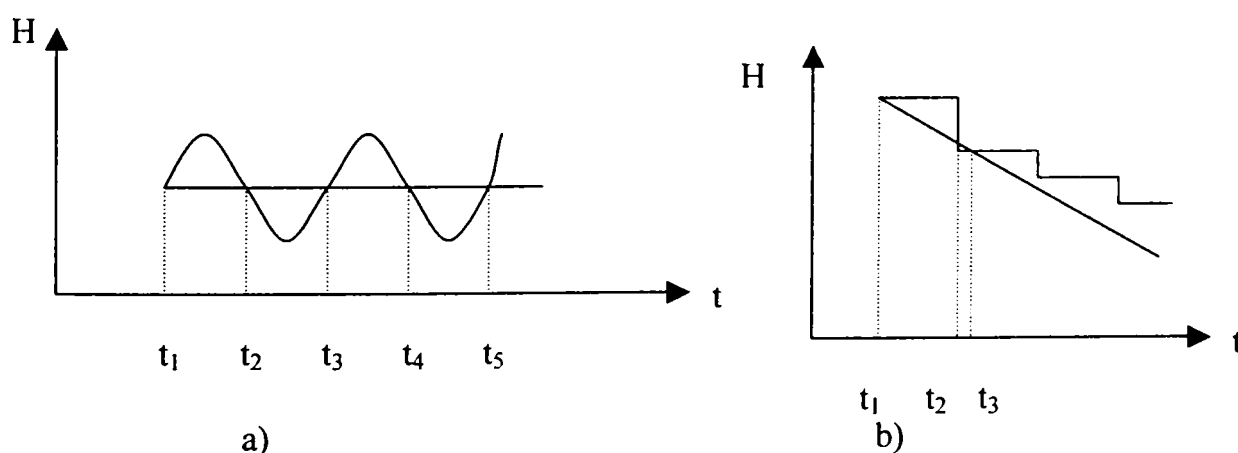


Fig.4.6 Descrierea mișcărilor în funcție de timp

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 periodicitatea etapelor de măsurători.

Dacă mișcarea în timp a punctelor urmărește o curba sau este aproape liniară, atunci poziția punctului la un moment oarecare  $t_k$  este descrisă de relația:

$$x_{(t_k)} = x_{(t_0)} + \int_{t_0}^{t_k} \alpha_j dt \quad 4.12$$

unde:

$x_{(t_k)}$  - reprezintă poziția punctului la momentul  $t_k$ ;

$x_{(t_0)}$  - reprezintă poziția punctului la momentul inițial;

$\alpha_j$  - reprezintă viteza de deplasare a punctului;

$dt$  - reprezintă intervalul de timp dintre perioadele observației.

Integrala din relația 4.12 este aproximată prin dezvoltări în serie Taylor în jurul momentului  $t_0$  exprimată prin relația:

$$x_{(t_k)} = f(t_0 + \Delta t) = x_{(t_0)} + \left(\frac{df}{dt}\right)_{t_0} \Delta t_i + \frac{1}{2!} \left(\frac{d^2 f}{dt^2}\right)_{t_0} \Delta t_i^2 + \dots \quad 4.13$$

Un model de mișcare liniară pentru un punct este definit de regulă de relația:

$$x(t_k) = f(x(t_0); \Delta t_i) = x(t_0) + \left(\frac{df}{dt}\right)_{t_0} \Delta t_i \quad 4.14$$

Relația ce descrie mișcarea unui punct ca o mișcare uniform accelerată va avea forma:

$$x(t_k) = f(x(t_0); \Delta t_i) = x(t_0) + \left(\frac{df}{dt}\right)_{t_0} \Delta t_i + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 f}{dt^2}\right)_{t_0} \Delta t_i^2 \quad 4.15$$

unde:

$\frac{df}{dt}$  - reprezintă viteza de mișcare a punctului;

$\frac{d^2 f}{dt^2}$  - reprezintă accelerația în cazul în care mișcarea este uniform accelerată;

$\Delta t_i$  - reprezintă intervalul de timp dintre etapele în care s-au efectuat măsurători.

O grupare a parametrilor descriptivi conduce la definirea vectorilor de stare caracteristici pentru fiecare punct:

$$Y = \begin{bmatrix} x \\ \frac{df}{dt} \\ \frac{d^2 f}{dt^2} \end{bmatrix} \quad 4.16$$

în care  $Y$ - reprezintă vectorul de stare.

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 deplasările majore, față de mișcările perturbatoare locale.

Modelarea mișcărilor prin relațiile 4.14 și 4.15 reprezintă în principiu o descriere relativă a mișcărilor deoarece mișcările spațiale sunt raportate la un moment de referință  $t_0$ . Funcție de modul de combinare a coeficienților diferențiali din relația 4.15, cu măsurătorile geodezice au fost elaborate diferite strategii de prelucrare, distingându-se două direcții principale și anume:

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

Ideea de bază în formarea unor modele cinematice pentru determinarea zonală a parametrilor de stare pornește de la premiza de a aproxima mișcarea cu suprafețe continue. Acest lucru este realizat prin atragerea în funcția descriptivă a poziției punctelor date prin coordonate planimetrice  $(x_i, y_i)$ .

De exemplu, altitudinea unui punct, la un moment oarecare  $t$  va fi reprezentată în modelele cinematice sub forma unei funcții:

$$H_j = f(x_j, y_j, t) \quad 4.17$$

Relația generală pentru estimarea vitezelor în acest caz are următoarea formă:

$$\alpha = f(x, y) = \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} C_{k,l} x^k y^l \quad 4.18$$

Viteza este reprezentată sub forma unor dezvoltări polinomiale bidimensionale la care gradul polinomului este egal cu  $m$ . O primă formă de exprimare a vitezelor  $\alpha$ , este propusă ca fiind polinomială, și este dată de relația:



$$\alpha_j = C_{00} + C_{10}x_j + C_{01}y_j + C_{20}x_j^2 + C_{02}y_j^2 + C_{11}x_jy_j + \dots \quad 4.20$$

În relația 4.20 coeficienții  $C_{kl}$  sunt determinați printr-o compensare în urma aplicării metodei celor mai mici pătrate. Alitudinea punctului  $j$  la momentul  $i$  se va obține din relația:

$$H_j^i = H_j^{i_0} + \Delta t_i (C_{00} + C_{10}x_j + C_{01}y_j + C_{20}x_j^2 + C_{02}y_j^2 + C_{11}x_jy_j + \dots) \quad 4.21$$

Pentru estimarea coeficienților polinomiali s-a pornit de la diferențele de nivel măsurate în două etape de măsurători diferite, cu ajutorul cărora este definită viteza  $\alpha_j$ .

$$\Delta\alpha_{ij} = \frac{\Delta h_{ij}^{i_2} - \Delta h_{ij}^{i_1}}{\Delta t} \quad 4.22$$

Această nouă relație ce definește viteza dedusă va fi introdusă în prelucrare în modelul funcțional ca o "observație" rezultând prin admiterea unei corecții  $v_{\Delta\alpha}$  o ecuație de corecție de forma următoare:

$$v_{\Delta\alpha} = \hat{C}_{10}(x_j - x_i) + \hat{C}_{01}(y_j - y_i) + \hat{C}_{20}(x_j^2 - x_i^2) + \hat{C}_{02}(y_j^2 - y_i^2) + \hat{C}_{11}(x_jy_j - x_iy_i) + \dots \quad 4.23$$

Întrucât ecuațiile de corecții de acest gen sunt doar funcții de coordonate ale punctelor, observațiile folosite la formarea ecuației 4.23 nu trebuie să formeze o rețea în sens geodezic, pentru prelucrări considerându-se punct fix fără defect de rang. Deoarece în această compensare sunt estimați coeficienții pentru suprafețele caracteristice, acest model este adesea denumit și **model geocinematic**. O diferență de nivel compensată trebuie să satisfacă relația:

$$\Delta h_{ij}^{(t)} + v_{\Delta h_{ij}}^{(t)} = H_j^{(t)} - H_i^{(t)} \quad 4.24$$

Deoarece nu este necesar ca liniile de nivelment să constituie o rețea, apare riscul foarte mare de a interpreta unele erori de măsurare, ca fiind mișcări semnificative.

## 4.2 Modele moderne pentru stabilirea deformațiilor

### 4.2.1 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 legătura 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 4.7):

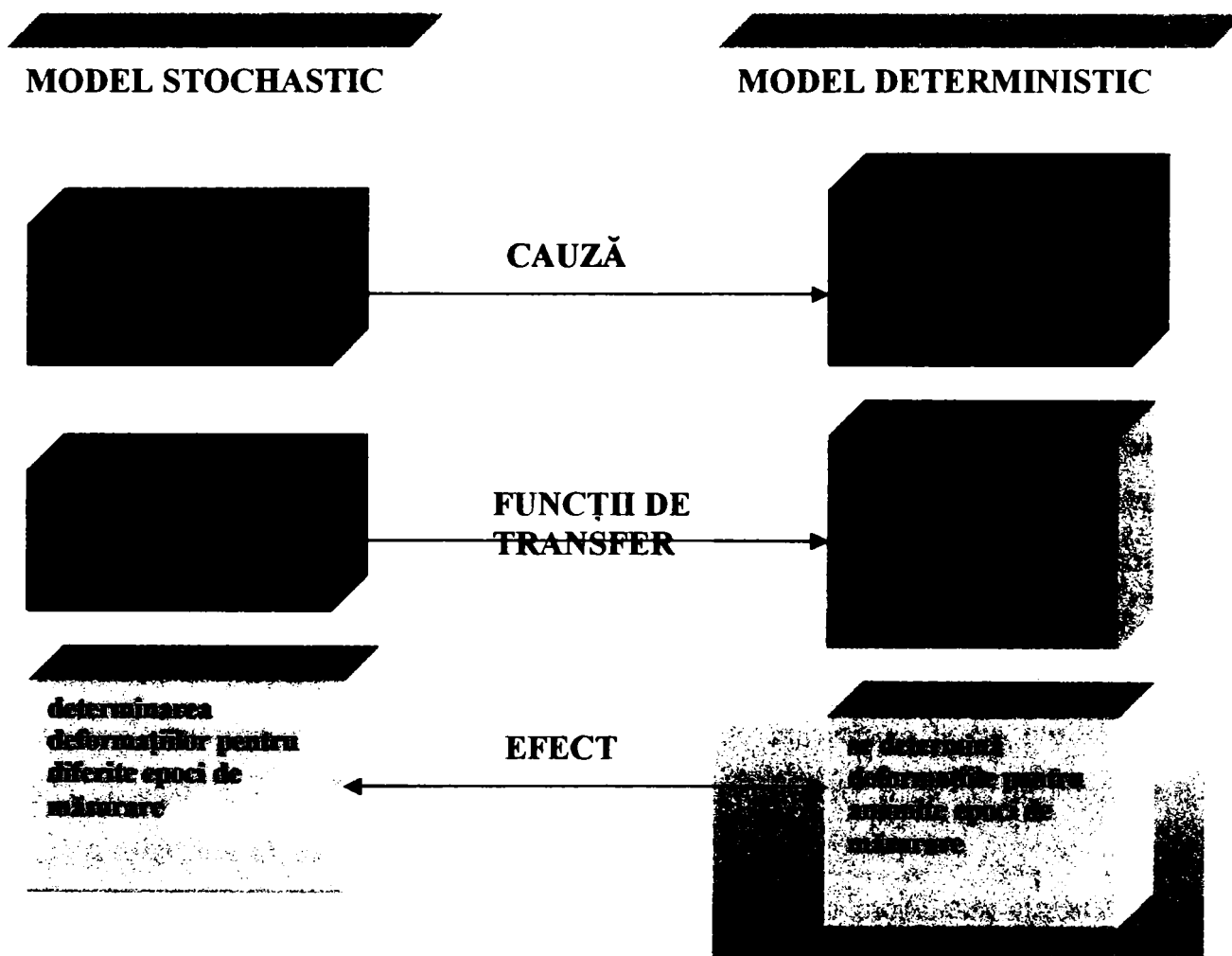


Figura 4.7 Modelul dinamic

## 4.3 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 impetuos necesară.

La stabilirea modelului care poate să răspundă la modul cel mai obiectiv și relevant atât în cazul măsurătorilor cât și prelucrarea 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, luând astfel 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 optim 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 optime de observație. Pentru o variabilă unidimensională pot fi observate deformațiile care redau fidel mișcarea. Se poate considera că este imposibil să se stabilească un model universal pentru alegerea momentului de măsurare 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 temperatură. Alegerea la întâmplare a momentelor de măsurare conduce după câteva etape de măsurători la un model eronat iar practica a dovedit ca măsurătorile trebuie stabilite în teren astfel 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 parametri cinematici ajută la definirea a două posibilități fundamentale și anume : modelarea mișcării ca o funcție de timp la care sunt acceptați parametri de mișcare individuali, care pot diferi substanțial, chiar în punctele învecinate ; modelarea mișcării ca o funcție de timp și loc, 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. METODE TOPO-GEODEZICE ȘI APORTUL ACESTORA LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR**

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

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

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

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

### **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 mărimea deplasărilor verticale, ele vor trebui corelate cu observarea și studierea regimului apelor subterane, mecanica pământurilor, în scopul descoperirii originii acestor deplasări și indicarea posibilităților de eliminare a lor.

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

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

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

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 studiului efectuat.

### **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 în vigoare din țara noastră.

#### **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, etc.). Din acest punct de vedere cel mai bine corespund clădirile publice unde reperul de control se încastrează în apropierea colțurilor construcției, având în vedere asigurarea condițiilor de stabilitate a acestora. În literatura de specialitate se consideră că dacă asupra unei construcții nu intervin sarcini continue și crescânde, aceasta se poate considera stabilizată după o perioadă de cinci ani de la darea ei în exploatare.

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

În țara noastră, normativul elaborat de I.N.C.E.R.C. privind determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61-64, recomandă ca reperi de control montați în pereții construcțiilor stabile, modelul de reper prezentat în figura 5.1.

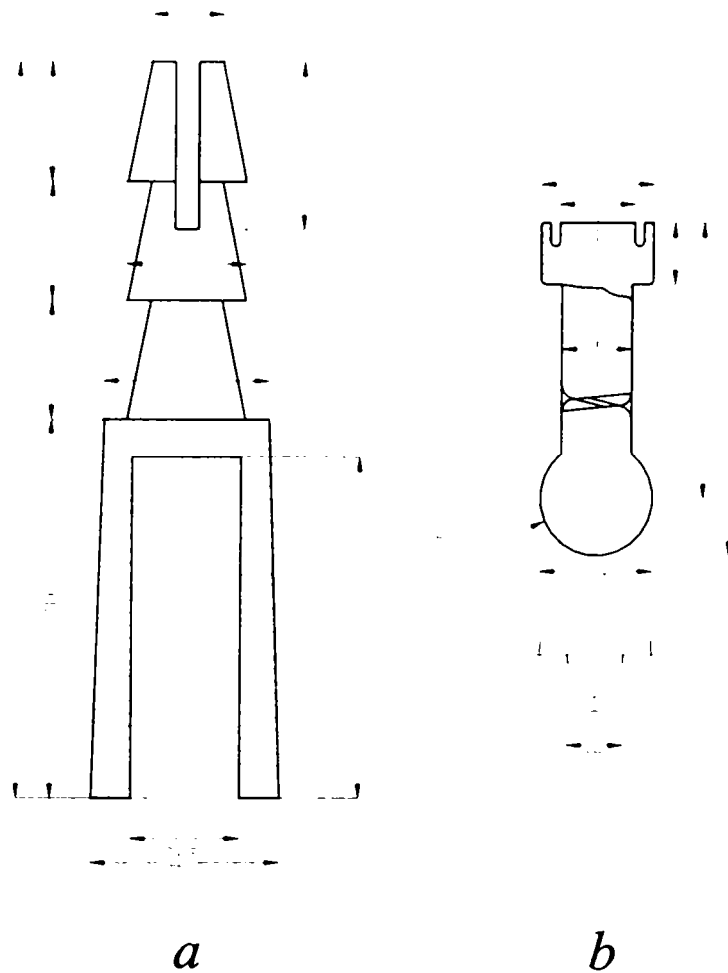


Figura 5.1 Reperi de control tip I.N.C.E.R.C. montați pe construcții în România  
a – Corpul mărcii sau reperului; b – Capac cu bulon sferic al mărcii sau reperului

Reperii de control fixați pe sol sunt de două tipuri:

- reperi de suprafață;
- reperi de adâncime.

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

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

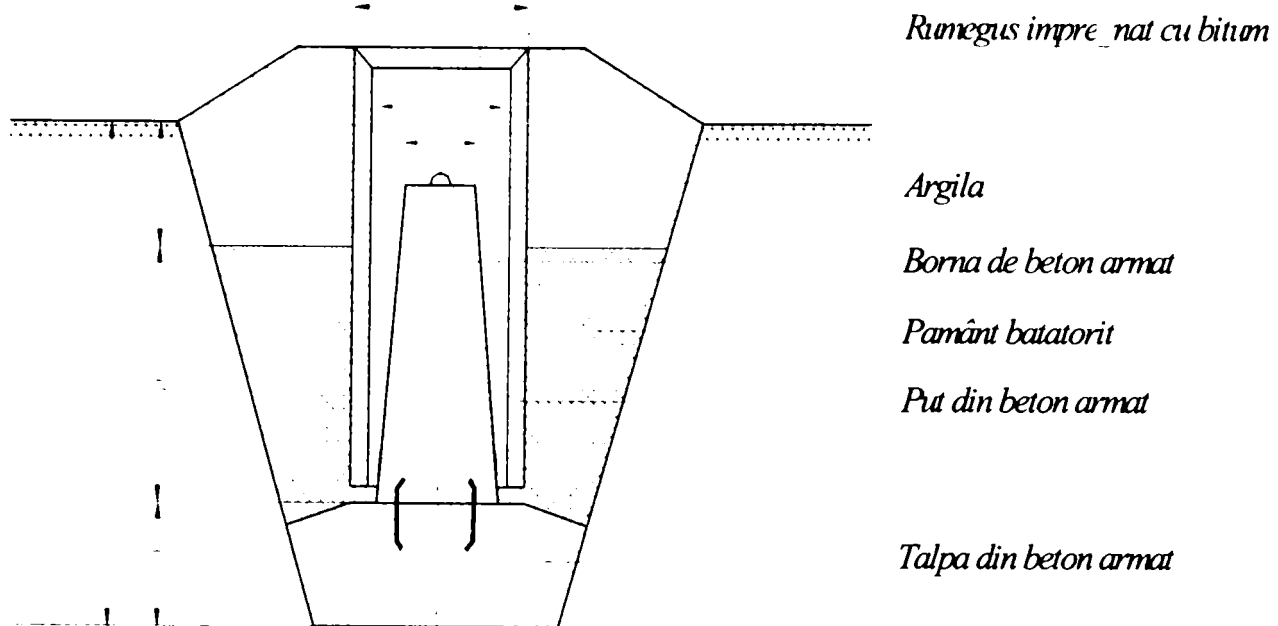


Figura 5.2.a. Reper de control de suprafață – România

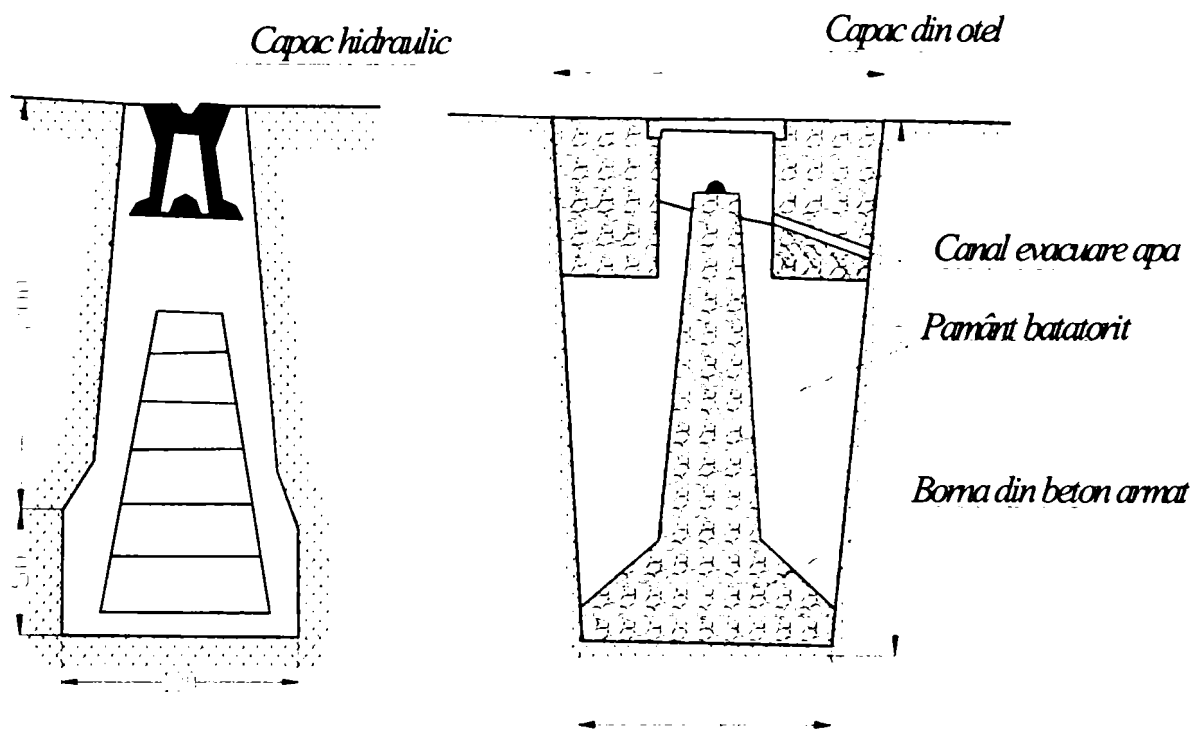


Figura 5.2.b. Reperi de control de suprafață – Cehia, Ungaria

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

împotriva deplasărilor de teren prin intermediul puțului de beton armat prevăzut la partea superioară cu un capac metalic de protecție.

În cazul în care se dorește a se amplasa un reper de genul celui prezentat în figura 5.3 se vor lua în calcul doi indici importanți: nivelul apei freatică specific zonei respective și adâncimea de îngheț.

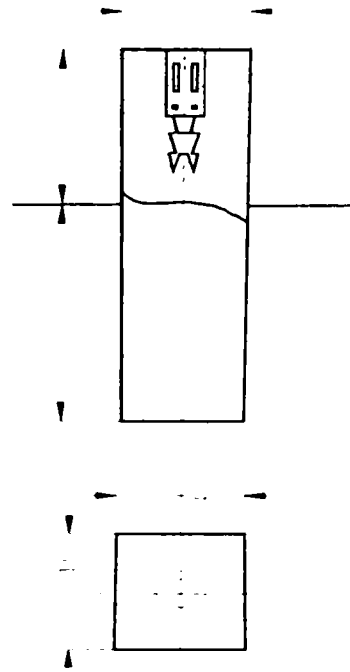


Figura 5.3 Reper de control de suprafață în România

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

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

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

Reperul de câmp se compune din două părți distincte (figura 5.4):

- reperul propriu zis (borna);
- marca, adică piesa care se montează la partea superioară în bornă și care susține 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 din nou pentru conservare.



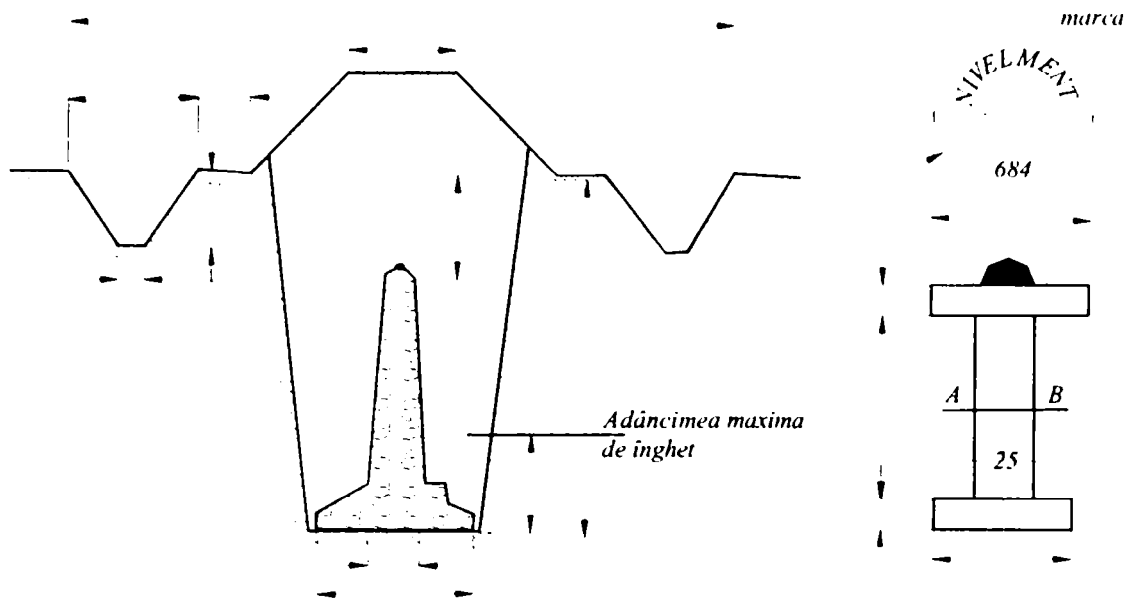


Figura 5.4 Reperi de câmp în România

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

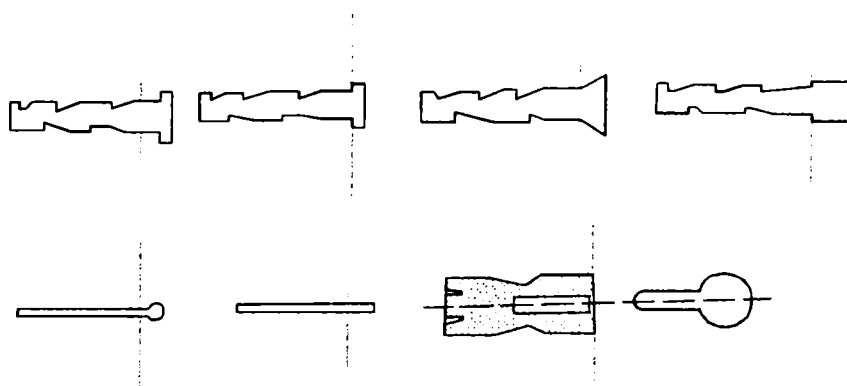


Figura 5.5 Reperi de nivelment de zidărie în România

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

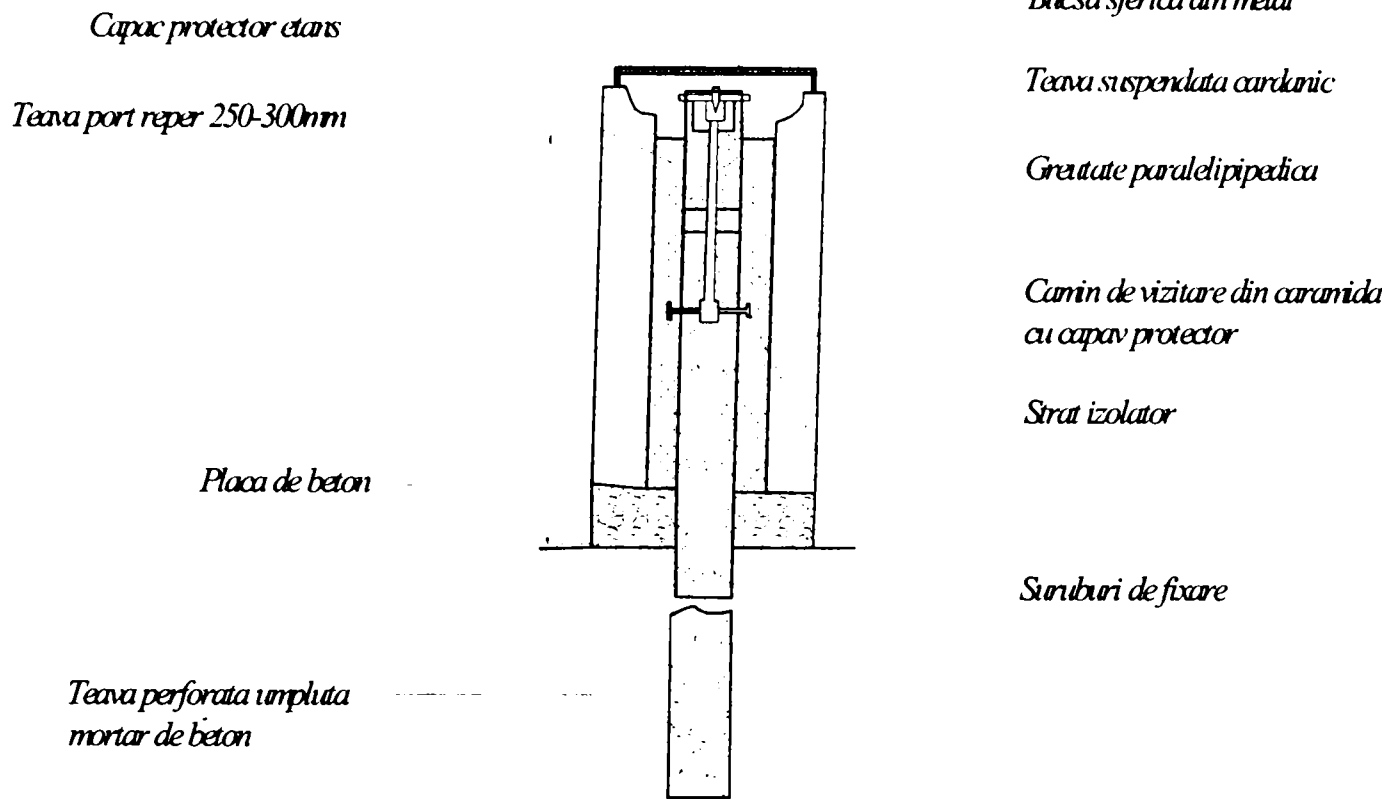


Figura 5.6 Reper de adâncime tip Muraviev

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

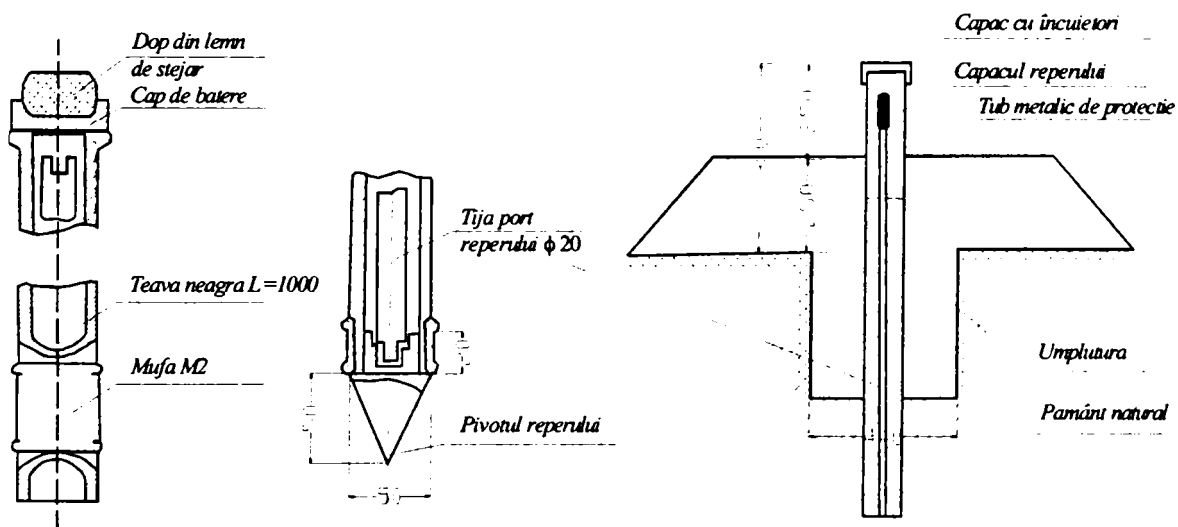


Figura 5.7 Reperi de adâncime tip I.N.C.E.R.C. – poziția de batere și poziție definitivă

**În contextul în care partea economică are o dimensiune importată în economia de piață din țara noastră am propus ca și contribuție personală 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 reperul de control propus în figura 5.8 și aceasta din cauza faptului că la partea inferioară a acestuia este prevăzut un mod de ancorare în roca stabilizată care nu permite deplasarea pe verticală a reperului.

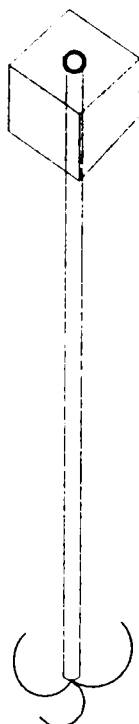


Figura 5.8 Reper de nivelment de adâncime – propunere

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 se prezintă ca un cub sau paralelipiped de beton sau piatră prevăzut cu un orificiu prin care este introdus tubul de protecție;
- tubul de 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.

### 5.1.1.2 Materializarea mărcilor de control sau a punctelor de pe obiectul examinat

Materializarea punctelor de nivelment marcate pe obiectivul supus observațiilor, se realizează prin intermediul **mărcilor de tasare**. Mărcile montate pe construcțiile urmărite pot avea forme diferite, fiind confecționate din bare metalice cu cap rotunjit, sau din corniere cu cap semirotond (figura 5.9).

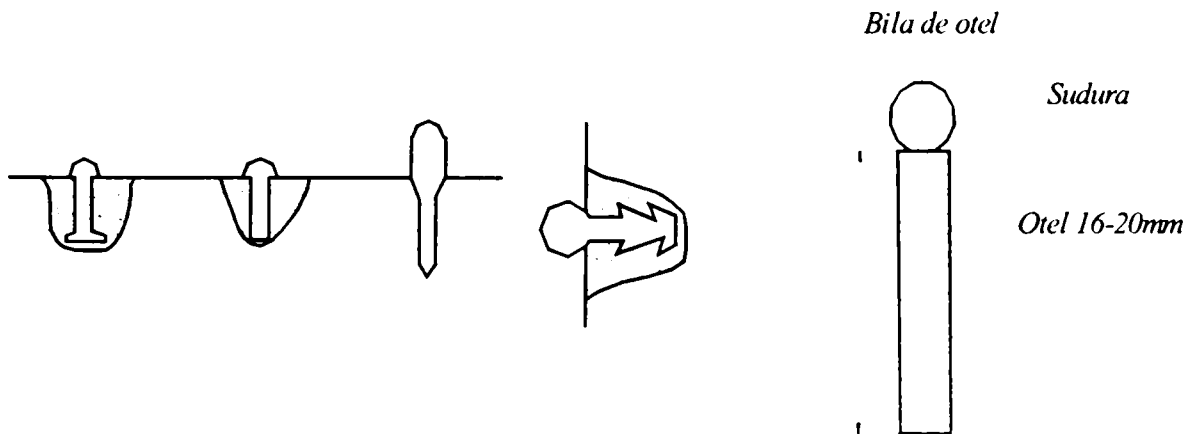


Figura 5.9 Mărci de nivelment încastrare în construcție

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

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

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

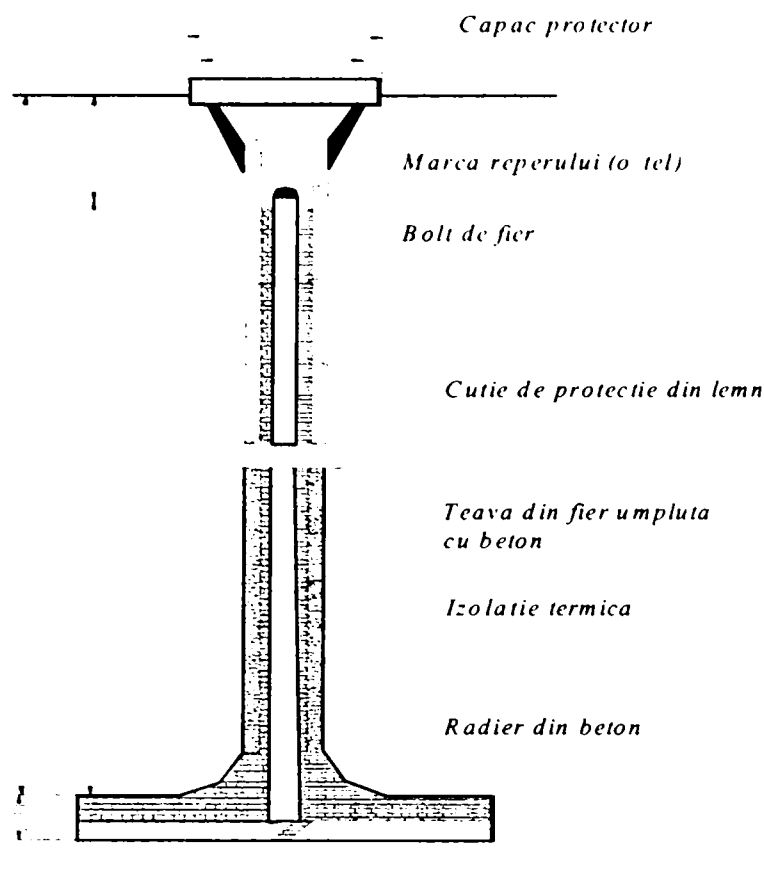


Figura 5.10 Marcă de adâncime de tip Lazzarini

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

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

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

Un alt tip de marcă – reper de adâncime este reprezentat în figura 5.11 și este concepută și propusă de Tarnovski și reprezintă o perfecționare a tipului precedent. Aceasta se obține prin înșurubarea pe tija mărcii a unei bare metalice suplimentare.

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.

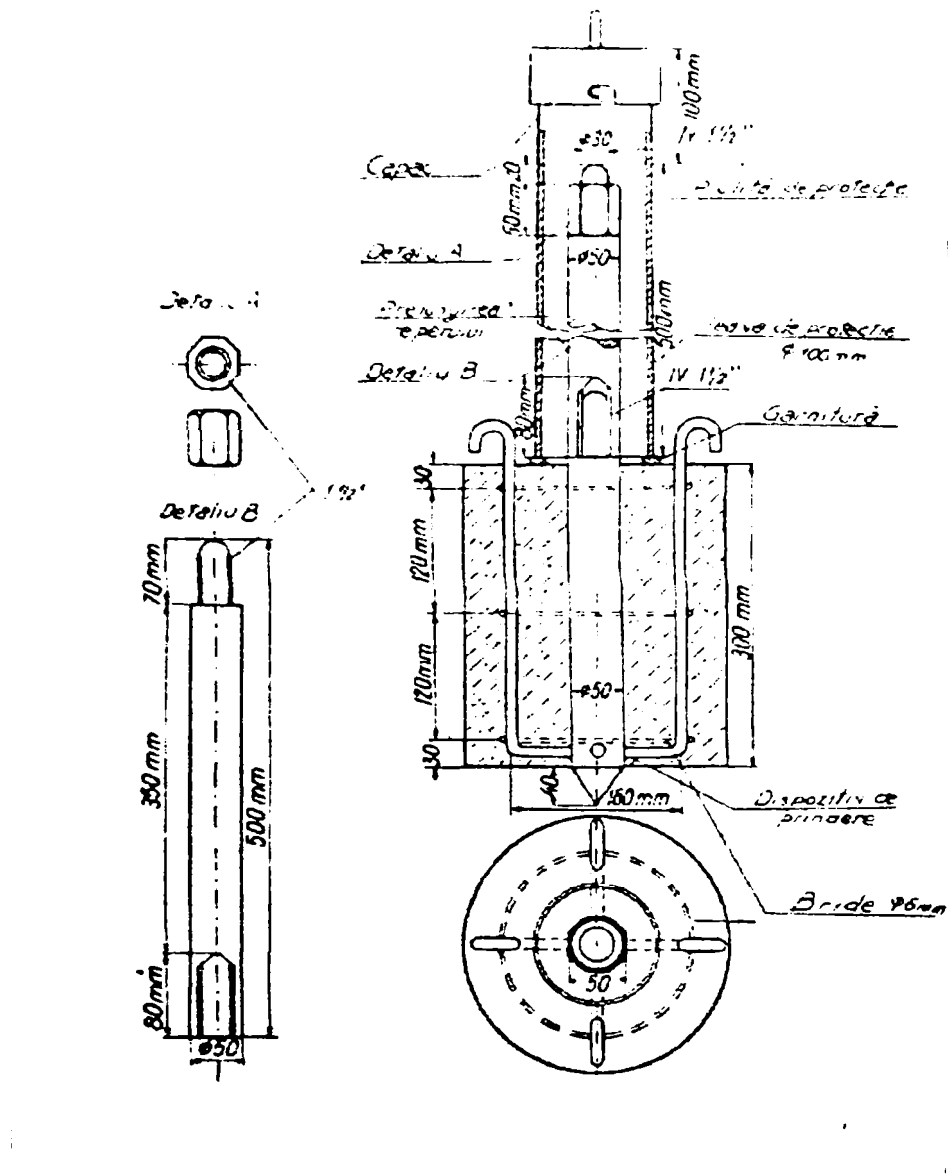


Figura 5.11 Marcă de adâncime de tip Tarnovski

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

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

În componența rețelei regăsim următoarele tipuri de puncte:

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

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

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

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

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

Ca regulă generală, reperele fixe se amplasează în afara zonei de influență a construcției observate sub adâncimea de îngheț și până la roca de bază, sau sunt încastrate în construcții vechi existente, masive și stabile sau în stâncă, în locuri accesibile pentru observații. Amplasamentul acestora trebuie să asigure conservarea lor pe toată perioada studiului.

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

- etapa măsurătorilor de nivelment la locul experimentării, în laborator sau pe teren, pentru fiecare ciclu de măsurători;
- etapa prelucrării măsurătorilor pentru calculul deplasărilor verticale ale construcției și evaluarea preciziei, care include:

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

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

Reperii de control trebuie să fie situați reciproc în așa fel încât stabilitatea fiecăruia dintre ei să poată fi apreciată cu ajutorul cel puțin a unei 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.

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

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

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

$m$  - eroarea de măsurare.



Rezultă următoarea condiție:

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

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 doi reperi de control, de ordinul a 0,5 mm, va fi posibilă numai când  $n \leq 6$ .

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

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

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

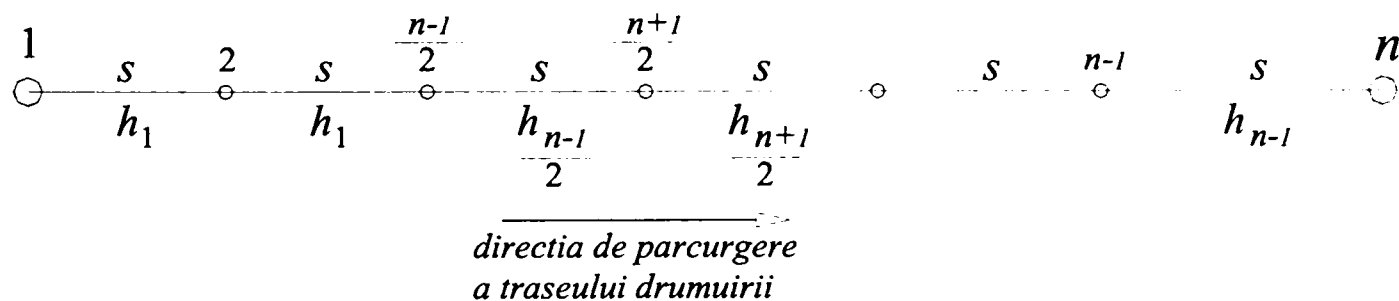


Figura 5.12 Drumuire de nivelment geometric

Admițând pentru simplificarea calculului  $n$  impar, precum și numărul de stații  $s$  din figura 5.12 pe diferite porțiuni ale drumuirii, se poate scrie următoarea egalitate:

$$\begin{aligned}
 & (h_1 + v_1) + (h_2 + v_2) + \dots + \left( \frac{h_{n-3}}{2} + \frac{v_{n-3}}{2} \right) + \left( \frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) + \left( \frac{h_{n+1}}{2} + \frac{v_{n+1}}{2} \right) + \dots + (h_{n-1} + v_{n-1}) = \\
 & \hspace{15em} 5.3 \\
 & = (h'_1 + v'_1) + (h'_2 + v'_2) + \dots + \left( \frac{h'_{n-3}}{2} + \frac{v'_{n-3}}{2} \right) + \left( \frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) + \left( \frac{h'_{n+1}}{2} + \frac{v'_{n+1}}{2} \right) + \dots + (h'_{n-1} + v'_{n-1})
 \end{aligned}$$

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

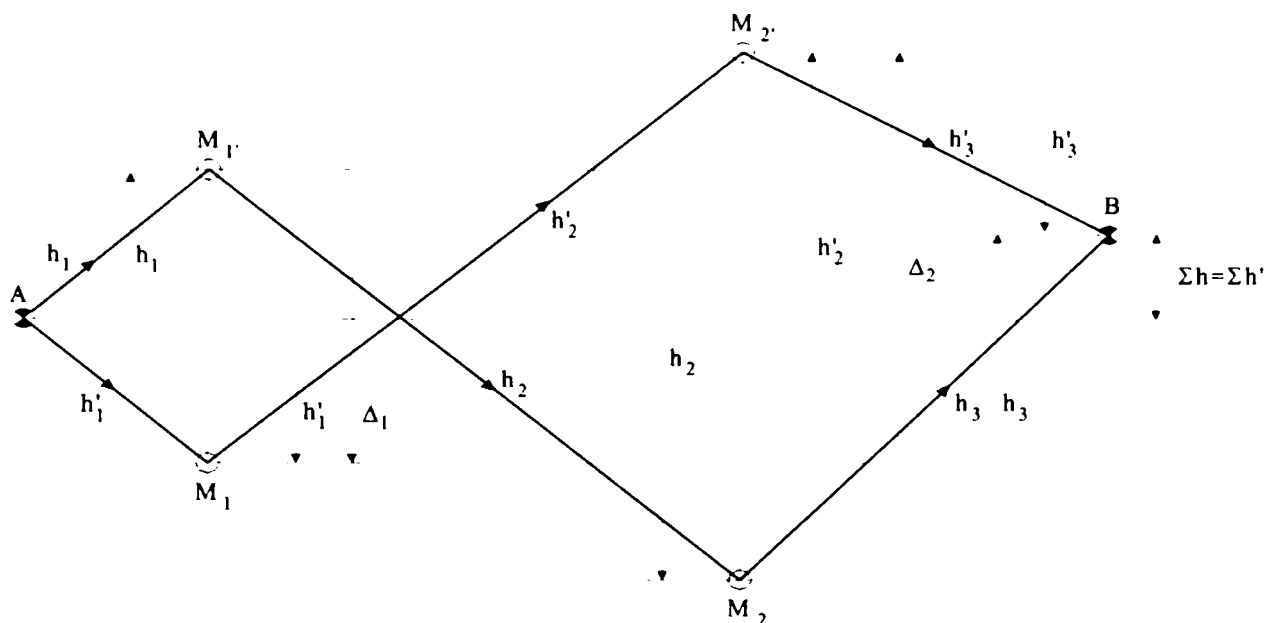


Figura 5.13 Rețea de nivelment sub formă de drumuire sprijinită la capete

În figură s-au folosit următoarele notații:

- A și B – reperi de control ficși;
- M<sub>1</sub> și M<sub>2</sub> – mărcile de tasare de pe construcție în poziția inițială (ciclul I);
- M<sub>1</sub>' și M<sub>2</sub>' - mărcile de tasare de pe construcție în poziția actuală (ciclul II);
- h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub> – diferențele de nivel deduse din observațiile inițiale (ciclul I);
- h'<sub>1</sub>, h'<sub>2</sub>, h'<sub>3</sub> - diferențele de nivel deduse din observațiile actuale (ciclul II);
- v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>, v<sub>3</sub> – corecțiile diferențelor de nivel măsurate inițial;
- v'<sub>1</sub>, v'<sub>2</sub>, v'<sub>3</sub> – corecțiile diferențelor de nivel măsurate actual;
- Δ<sub>1</sub>, Δ<sub>2</sub> – deplasările verticale (tasările) mărcilor 1 și 2 în intervalul dintre cele două cicluri de măsurători.

Se consideră pentru început eliminarea valorilor h<sub>3</sub> și h'<sub>3</sub> și se raportează deplasările mărcilor 1 și 2 numai la un singur reper de control A, se obține:

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

Rezultă:

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

Generalizând relația 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 conduce 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  $w$  care reprezintă termenul liber se exprimă sub forma:

$$w = \sum (h_i - h'_i) \quad 5.9$$

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

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

$$h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_4 + v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \quad 5.11$$

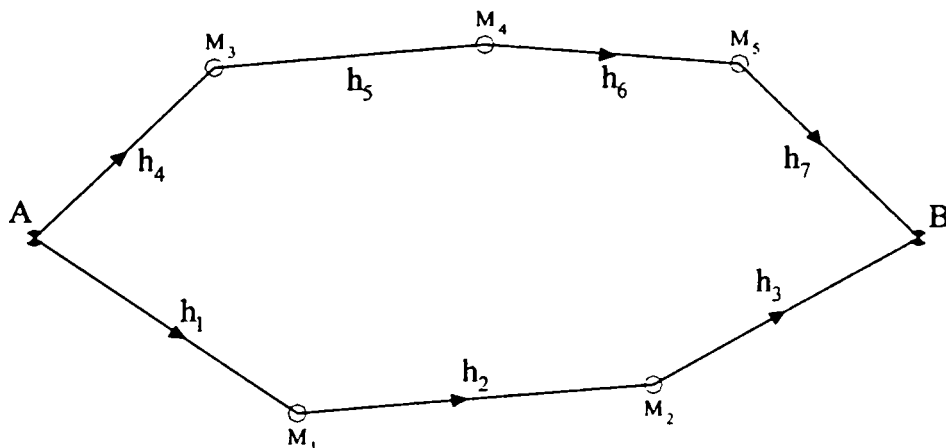


Figura 5.14 Rețea de nivelment cu două drumuri sprijinite la capete

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 a celorlalte trei ecuații precedente. În consecință, la compensarea rețelei trebuie să se ia în considerare oricare trei din cele patru ecuații scrise mai sus.

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

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

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

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

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

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

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

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 drumuri de nivelment formată din 3 reperi  $A$ ,  $B$  și  $C$  pentru care se pot scrie următoarele ecuații:

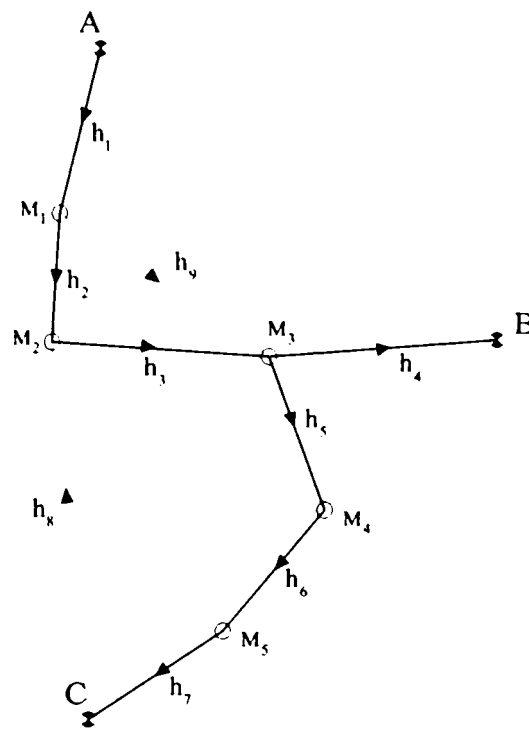


Figura 5.15 Rețea de nivelment cu 3 reperi de sprijin

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

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

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

$$N = D - M + I \tag{5.16}$$

în care:  $I$  reprezintă numărul închiderilor.

Relația de mai sus se poate verifica tot în rețeaua din figura 5.15 completată cu drumurile suplimentare care formează închideri (linii întrerupte).

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

Ecuațiile caracteristice care se scriu pe baza rețelei nivelitice din figura 5.15 sunt:

1.  $h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_8 + v_8 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8$
2.  $h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_4 + v'_4$

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

$$4. h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 - h'_9 - v'_9 = 0$$

$$5. h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 - h_8 - v_8 = 0$$

$$6. h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 - h'_8 - v'_8 = 0$$

$$7. h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \quad 5.17$$

$$8. h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7$$

$$9. h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \\ = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7$$

$$10. -h_8 - v_8 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = -h'_8 - v'_8 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4$$

$$11. -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7$$

$$12. h_2 + v_2 + h_8 + v_8 - h_7 - v_7 - h_6 - v_6 - h_5 - v_5 - h_9 - v_9 = 0$$

$$13. h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 - h'_7 - v'_7 - h'_6 - v'_6 - h'_5 - v'_5 - h'_9 - v'_9 = 0$$

Din ecuațiile 5.17, primele 6 sunt independente, celelalte provenind din combinațiile primelor 6. Alegând din egalitățile de mai sus, oricare 6 ecuații independente le putem transforma în 6 ecuații de condiție independente ale corecțiilor.

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

$$a_1 v_1 - a'_1 v'_1 + a_2 v_2 - a'_2 v'_2 + a_8 v_8 - a'_8 v'_8 + w_a = 0$$

$$b_1 v_1 - b'_1 v'_1 + b_4 v_4 - b'_4 v'_4 + b_9 v_9 - b'_9 v'_9 + w_b = 0$$

$$c_2 v_2 + c_3 v_3 - c_9 v_9 + w_c = 0 \quad 5.18$$

$$d'_2 v'_2 + d'_3 v'_3 - d'_9 v'_9 + w_d = 0$$

$$e_3 v_3 + e_5 v_5 + e_6 v_6 + e_7 v_7 - e_8 v_8 + w_e = 0$$

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

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

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

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

$$w_c = (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \quad 5.19$$

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

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

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

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:

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

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

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) ale mărcilor, calcul care se poate realiza pe mai multe căi, luând ca bază pentru control diferite reperi stabili.

$$\begin{aligned}
 1. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2) - (h_1 + v_1 + h_2 + v_2) \\
 2. \Delta M_2 &= (-h'_4 - v'_4 - h'_3 - v'_3) - (-h_4 - v_4 - h_3 - v_3) \\
 3. \Delta M_2 &= (-h'_8 - v'_8) - (-h_8 - v_8) \\
 4. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 - h'_3 - v'_3) - (h_1 + v_1 + h_9 + v_9 - h_3 - v_3)
 \end{aligned}
 \tag{5.22}$$

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

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

5.23

Astfel, soluția se va scrie:

$$2s(n-1)k + w = 0
 \tag{5.24}$$

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

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

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

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

Eroarea medie pătratică a unității de pondere se exprimă prin:

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

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

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



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  $F_i$  se determină astfel:

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

Cu aceste mărimi se poate exprima eroarea funcției  $F_i$  cu relația:

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

în care indicativul 1 reprezintă numărul succesiv al ultimei corecții.

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

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

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

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  $\mu, m_{F_1}, m_{F_2}$ , se constată pe baza presupunerii că eroarea medie pătratică cea mai mare o va avea punctul din mijlocul drumuirii și că erorile în deplasările reperilor vecini diferă foarte puțin între ele. Deoarece eroarea  $\mu$  depinde într-o drumuire separată de mărimea  $w$  a termenului liber, în formula lui  $m_{F_1}$ ,  $\mu$  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  $M_{\Delta}$  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 acesteia 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 porțelor sunt egale, atunci și valorile erorilor vor fi egale. Fiind vorba de o funcție de mărimi măsurate direct, se aplică relația de calcul în funcție de derivatele parțiale:

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

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

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

### 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 5.16:

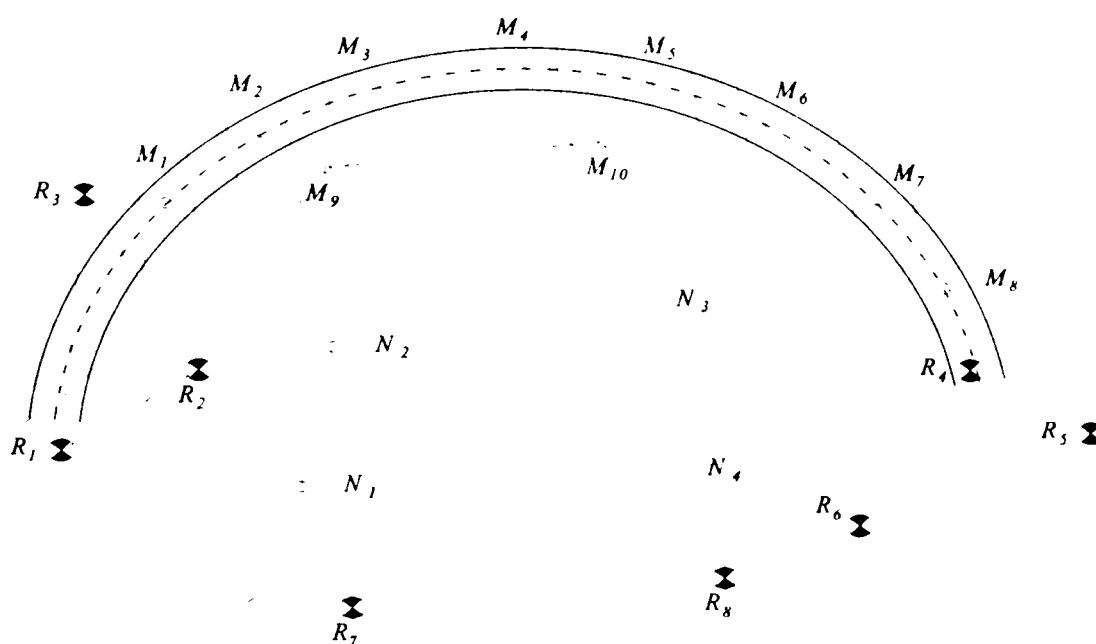


Figura 5.16 Dispunerea drumurilor de nivelment geometric la un baraj arcuit

În figura 5.17 este prezentat un exemplu de poziționare a reperilor de control și a mărcilor de tasare, în vederea executării măsurătorilor 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.

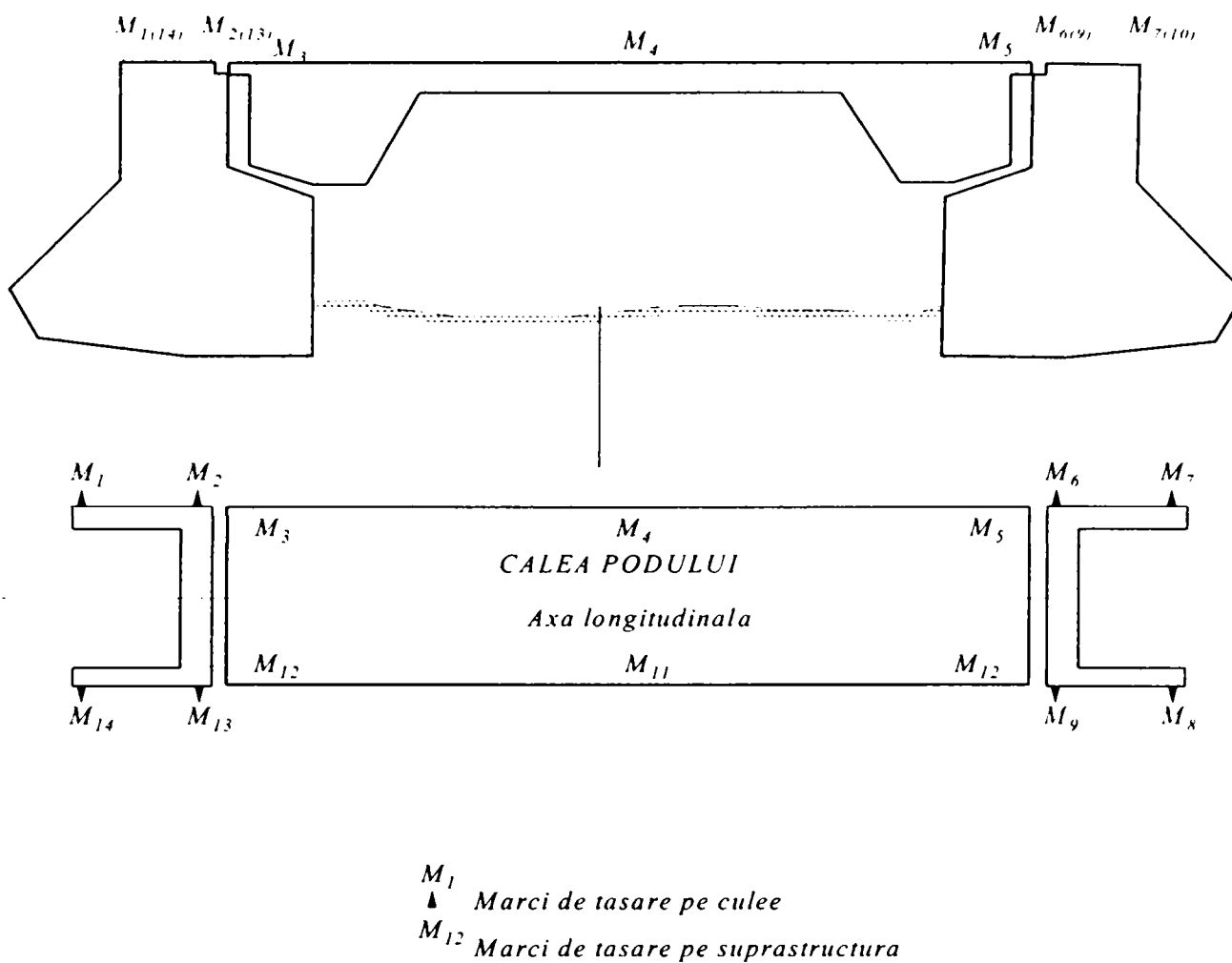


Figura 5.17 Modul de repartiție a mărcilor de tasare pe culei și pe suprastructura podului

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

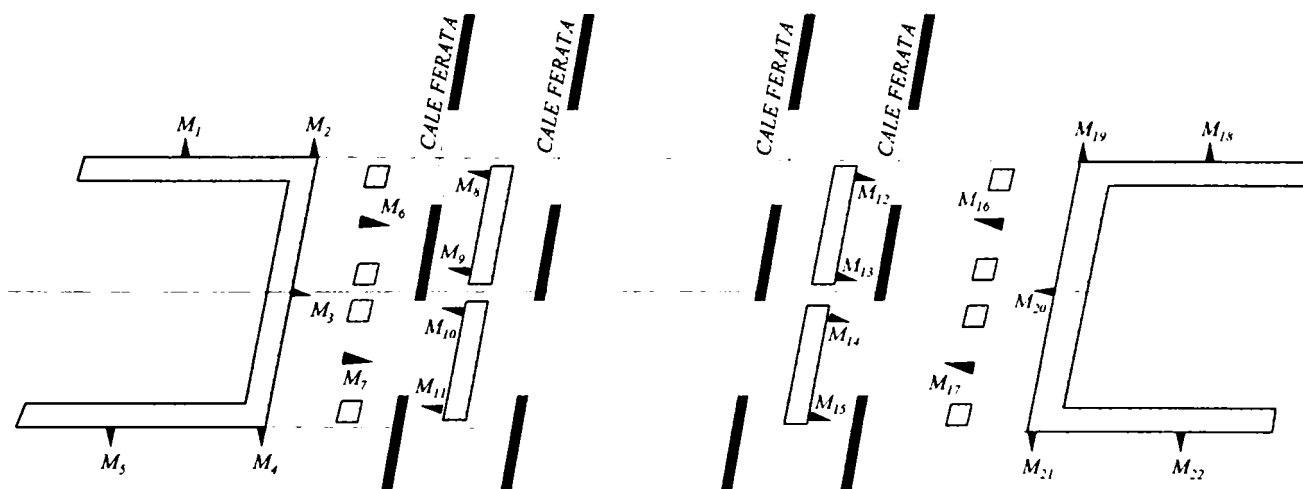


Figura 5.18 Modul de amplasare a mărcilor de tasare pe suportii unui pasaj superior

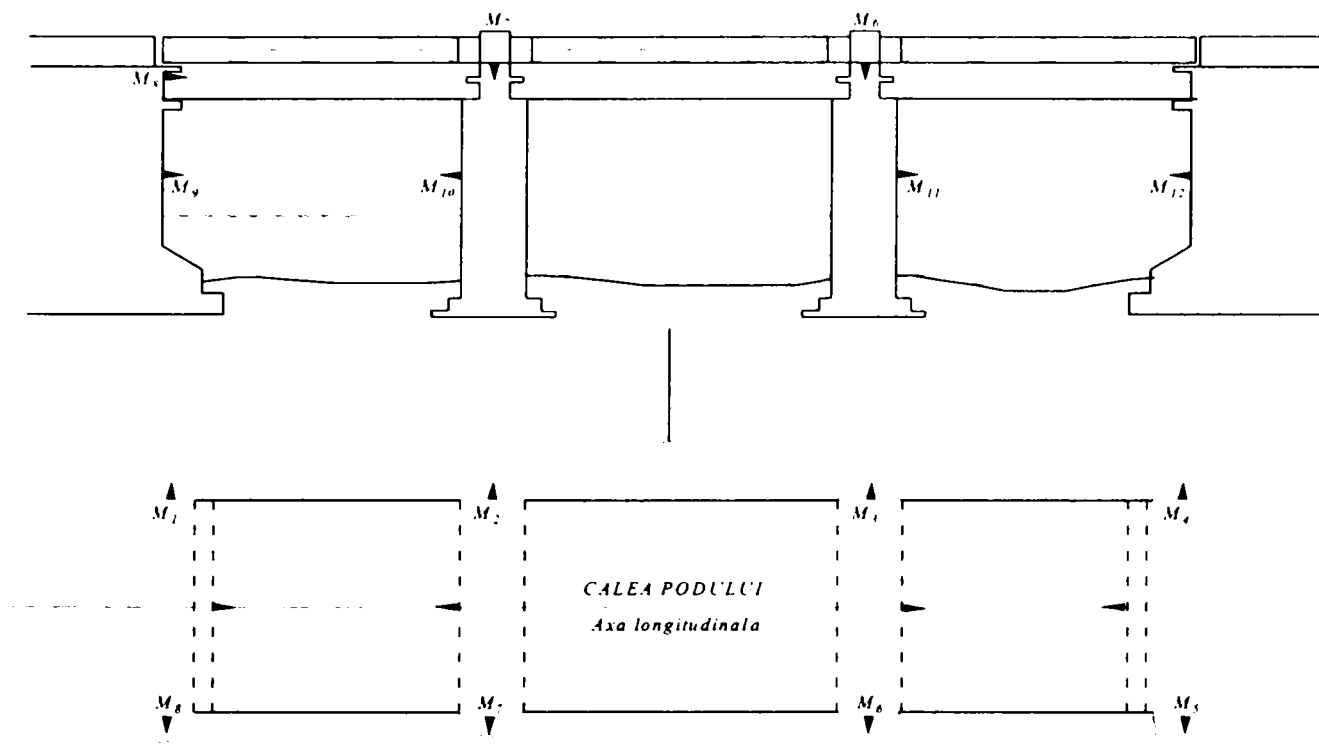


Figura 5.19 Modul de amplasare a mărcilor de tasare la diferite nivele ale suporturilor

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

În figurile 5.20.a și 5.20.b se prezintă modelul de rețea de nivelment cu patru reperi de plecare  $R_1, R_2, R_3$  și  $R_4$ , cu 14 mărci de tasare  $M_1, M_2, \dots, M_{14}$  pentru măsurarea tasărilor unui pod cu două deschideri. Legătura reperilor de plecare de pe ambele maluri ale cursului de apă, se realizează prin trei poligoane de nivelment amplasate ținând seama de egalitatea distanțelor aparat la miră sau reflector.

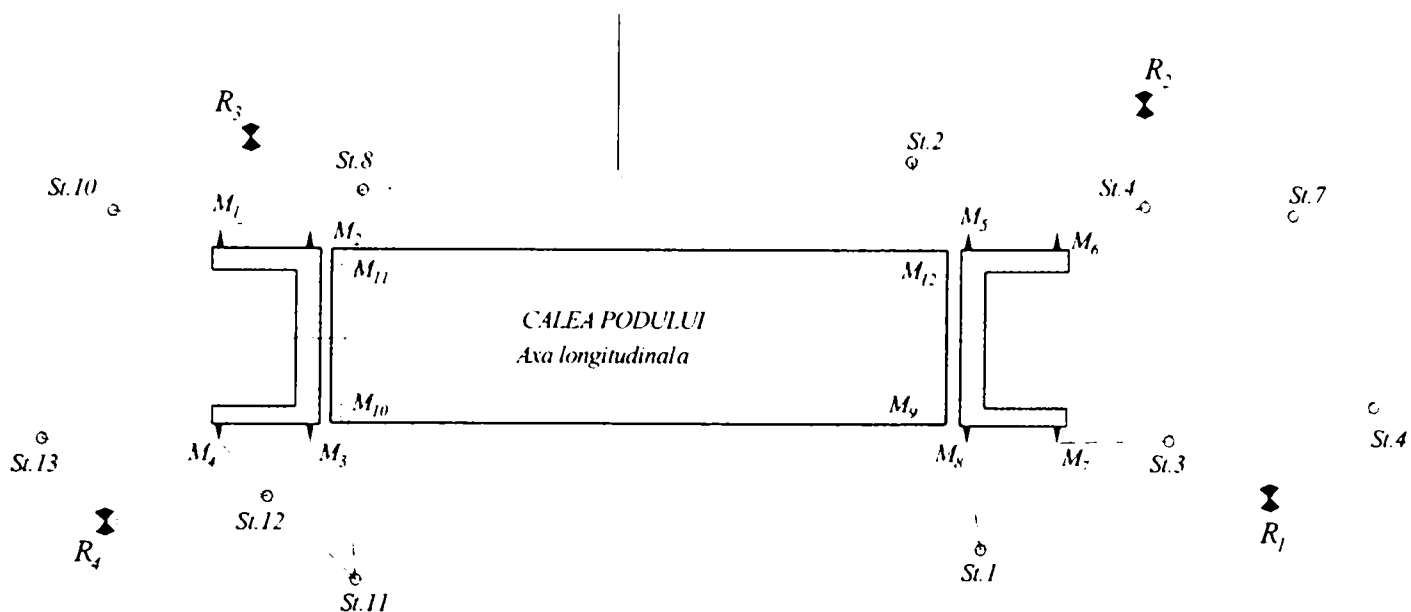


Figura 5.20. a Schema drumuirilor de nivelment – pod cu o singură deschidere

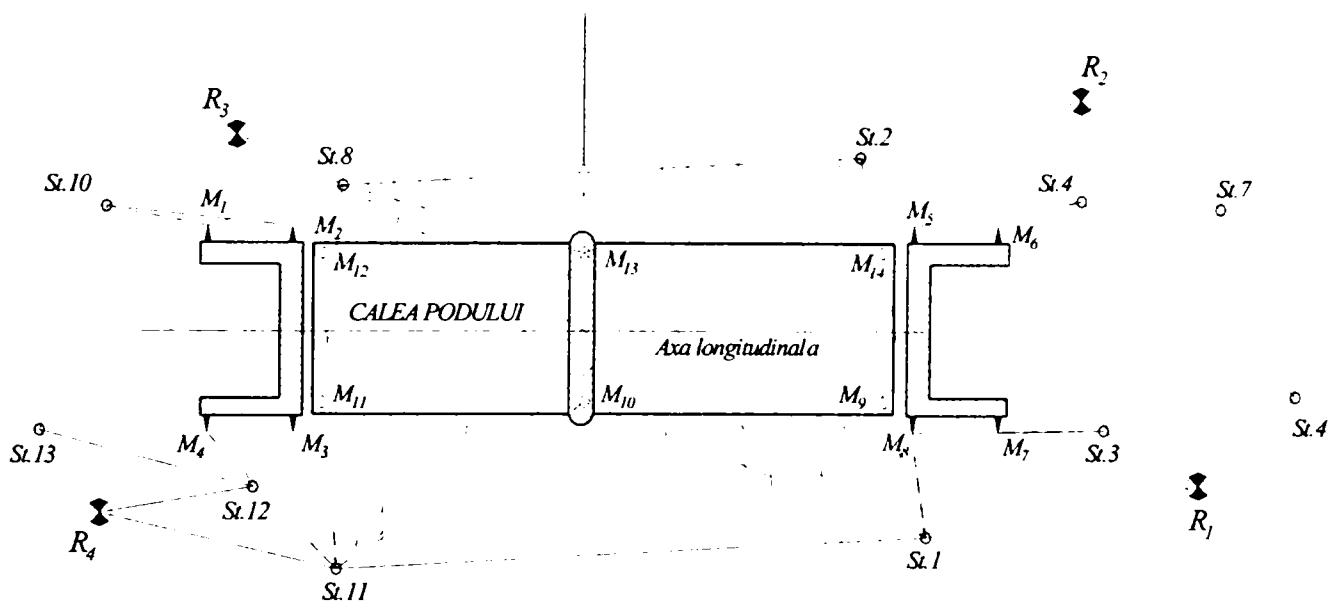


Figura 5.20 b Rețeaua drumuirilor de nivelment pentru un pod cu două deschideri

### 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 mijlocul niveleului unui traseu de nivelment geometric.*

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

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

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:

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

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

### **B. Neaplicarea corecției de sfericitate, refracție și temperatură**

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

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

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

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

Pe lângă erorile datorate sfericității și refracției, instrumentele și mirele de nivelment sunt supuse în timpul măsurării tasărilor unor variații importante de temperatură care provoacă 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 această situație sunt cazuri de variații mari de temperatură, când aparatul este încălzit neuniform.

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

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

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

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

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

În cazul înclinării mirei cu un unghi  $\varepsilon$ , banda de invar a acesteia nu se găsește peste punctul cel mai înalt conform figurii 5.21, astfel că în loc de valoarea  $l_0$  se va citi valoarea  $l$ , mai mare.

Acestei citiri este necesar a i se aplica o corecție:

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



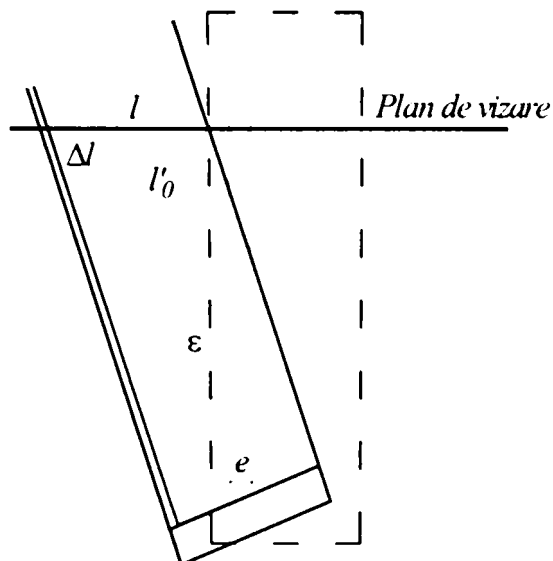


Figura 5.21 Determinarea corecției de excentricitate a benzii de invar

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.

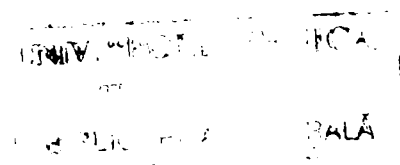
Valoarea erorii de neverticalitate crește și mai mult atunci când mira este așezată excentric față de reper. În acest caz este valabilă următoarea ecuație:

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

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  $\varepsilon$ , dar depinde și de înălțimea de vizare și are în general un caracter întâmplător. Valoarea acestui termen este mai mare ca a primului și poate să aibă un efect unilateral dacă nivela sferică de pe miră este așezată prea sus, astfel încât operatorul de la miră nu vede perpendicular bula nivelei și produce o eroare de centrare în reper (figura 5.22).



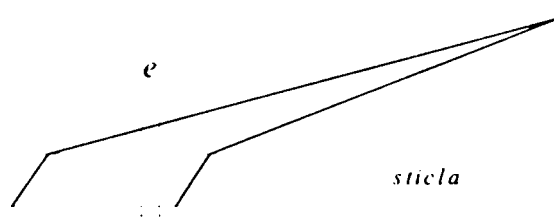


Figura 5.22 Excentricitate datorată neperpendicularității razei vizuale

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

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

### 5.1.3 Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 se face în funcție directă de diferențele unghiurilor zenitale, măsurate în punctele de capăt ale unei baze fixe, când orizontul instrumentului se modifică în fiecare ciclu de observații.

Se consideră o bază fixă, față de punctele de capăt ale 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).

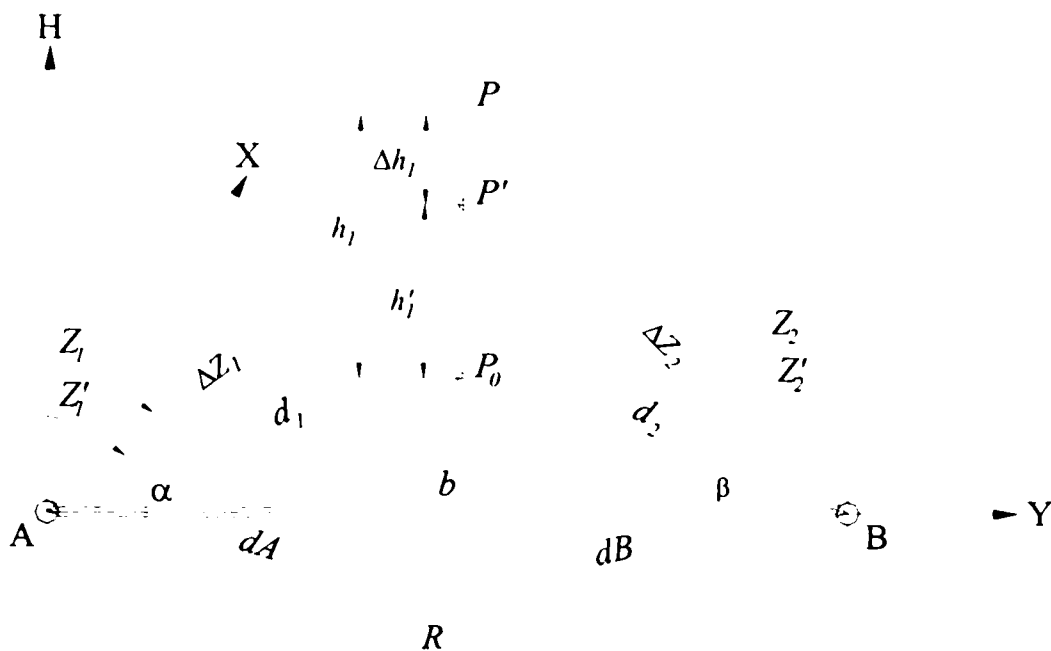


Figura 5.23 Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

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

$$H_1 = H_A + h_1; \quad 5.51$$

în care:

$H_A$ - orizontul instrumentului în punctul de stație  $A$ ;

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

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

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

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:

$$h_1 = d_1 \operatorname{ctg} Z_1 \quad 5.54$$

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:

$$H_1' = H_A' + h_1'; \quad 5.55$$

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 obțin, pentru relațiile de mai sus următoarele expresii:

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

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 prin 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 contro. de pe construcția studiată, în funcție de diferențele unghiurilor zenitale măsurate în două cicluri de observații, pentru cazul general al variației orizontului instrumentului în punctele de stație, reprezentând o metodă eficientă în cazul folosirii nivelmentului trigonometric de precizie.

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

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

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

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

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

Calculându-se derivatele parțiale și introducându-le în relațiile 5.64 și 5.65, se obține pentru erorile medii pătratice ale diferențelor orizontului instrumentului, formulele:

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

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

Eroarea medie pătratică a valorii medii 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  $m_{d_A} \approx m_{d_B} \approx m_d$ ,  $m_{Z_A} \approx m_{Z_B} \approx m_{Z_h}$ ,  $m_{\Delta Z_A} \approx m_{\Delta Z_B}$ , va rezulta pentru eroarea medie pătratică a valorii medii a deplasării verticale, în funcție de erorile medii

pătratică ale diferențelor dintre orizonturile instrumentului din cele două cicluri de observații relația:

$$m_{\Delta h_1} = \left[ \left( \Delta H \frac{m_d}{d} \right)^2 + \left( \sqrt{2} \Delta H \operatorname{ctg} Z_A \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H}{\sqrt{2} \Delta Z_A} m_{\Delta Z_A} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad 5.69$$

Erorile medii pătratică ale deplasărilor verticale, mai precis ale diferențelor de nivel determinate din cele două puncte de stație, se exprimă cu relațiile 5.70:

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

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

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

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

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

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

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

Pe baza relațiilor de mai sus, se deduce că eroarea medie pătratică a valorii medii 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  $100^\circ$ , iar dreptele de determinare se intersectează sub un unghi cât mai apropiat de  $200^\circ$ .

#### 5.1.4 Utilizarea nivelmentului hidrostatic în determinarea deplasărilor construcțiilor masive

În anumite situații, măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor studiate se poate efectua prin metoda nivelmentului hidrostatic. Metoda se aplică cu rezultate foarte bune în condiții speciale, în condiții grele de lucru (locuri greu accesibile în interiorul clădirilor, la înălțimi mari) unde metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie este dificil sau uneori imposibil de aplicat.

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

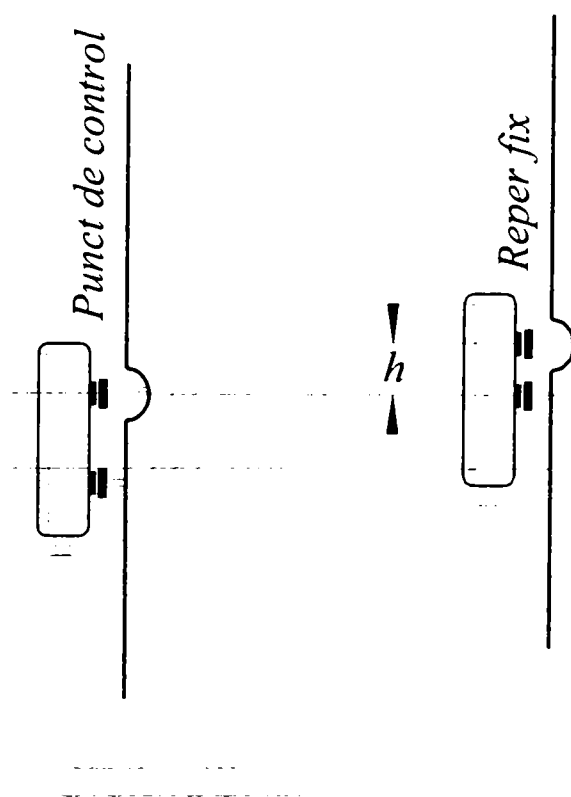


Figura 5.24 Principiul nivelmentului hidrostatic

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 înaltă precizie, 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, reprezintă 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:

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

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:

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

5.77

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

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

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

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

Dacă sistemul hidrostatic cuprinde atât tuburi în reperi ficși 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 reperi de cote cunoscute.

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

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

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

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

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

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

Furtunurile ce leagă sistemul hidrostatic se realizează din diferite materiale: metal, cauciuc, material plastic. Furtunurile sistemelor hidrostatice au lungimi cuprinse între 10...30

m. La lungimi mari, principalul volum de lichid se află în aceste conducte, iar schimbarea volumului conductei de polietilenă reprezintă aproximativ 5% la schimbarea temperaturii de la +5° la +30°C. În acest fel, dacă volumul de apă din rezervorul sistemului reprezintă mai puțin de 5% decât volumul total al lichidului în sistem, atunci la schimbarea temperaturii apa se poate scurge total din rezervor și măsurarea nu mai este posibilă, introducându-se astfel un sistem de compensare.

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

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

## 5.2 Metode topo-geodezice folosite la determinarea deplasărilor horizontale

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

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

### 5.2.1 Metoda microtriangulației și utilizarea acesteia la determinări ale deplasărilor

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

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

Construcția rețelei de microtriangulație se realizează cu precizie foarte mare.

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

În componența rețelei se regăsesc următoarele categorii de puncte:

- ⇒ Puncte de control, numite și mărci de tasare ce sunt fixate pe construcția ce urmează a fi observată. Aceste puncte au rolul de a evidenția cu exactitate mărimea și direcția deplasărilor. Semnalizarea lor se face cu mărci speciale de diferite forme, confecționate din bronz cromat spre a rezista la coroziune. Cercetările au arătat că cele mai bune sunt semnalele sub formă de disc, diametrul cercului reprezentând 1:20 din distanța medie de la punctul fix până la punctul de determinat.
- ⇒ Puncte de stație, din care se fac observații repetate spre punctele de control de pe construcție. Aceste puncte sunt marcate prin pilaștri de beton armat, cu fundație adâncă, având la partea superioară piese speciale de centrare și prindere a teodolitului.

Amplasarea lor se face în apropierea construcției . la maximum 300...500 m, numărul lor fiind de cel puțin două. La partea superioară a pilastrului se fixează o placă de oțel în mijlocul căreia se află dispus un reper cu filet ce înlocuiește șurubul pompă, pentru o mai bună centrare a teodolitului și a semnalelor de vizare pe punctele de stație.

- ⇒ Punctele de referință de la care se determină eventualele schimbări în poziția punctelor de stație sunt amplasate în terenuri stabile și la distanțe de 200...300 m de construcția observată, spre a se elimina orice influență a acesteia asupra lor.
- ⇒ Punctele de orientare sunt amplasate la distanțe mai mari , în terenuri care prezintă un grad ridicat al stabilității, indicat în studiile geotehnice.

Rețeaua de microtriangulație se poate prezenta după cum urmează:

- **rețea completă**, care cuprinde toate cele patru categorii de puncte și cu vize reciproce între punctele de stație și punctele de referință (figura 5.25);

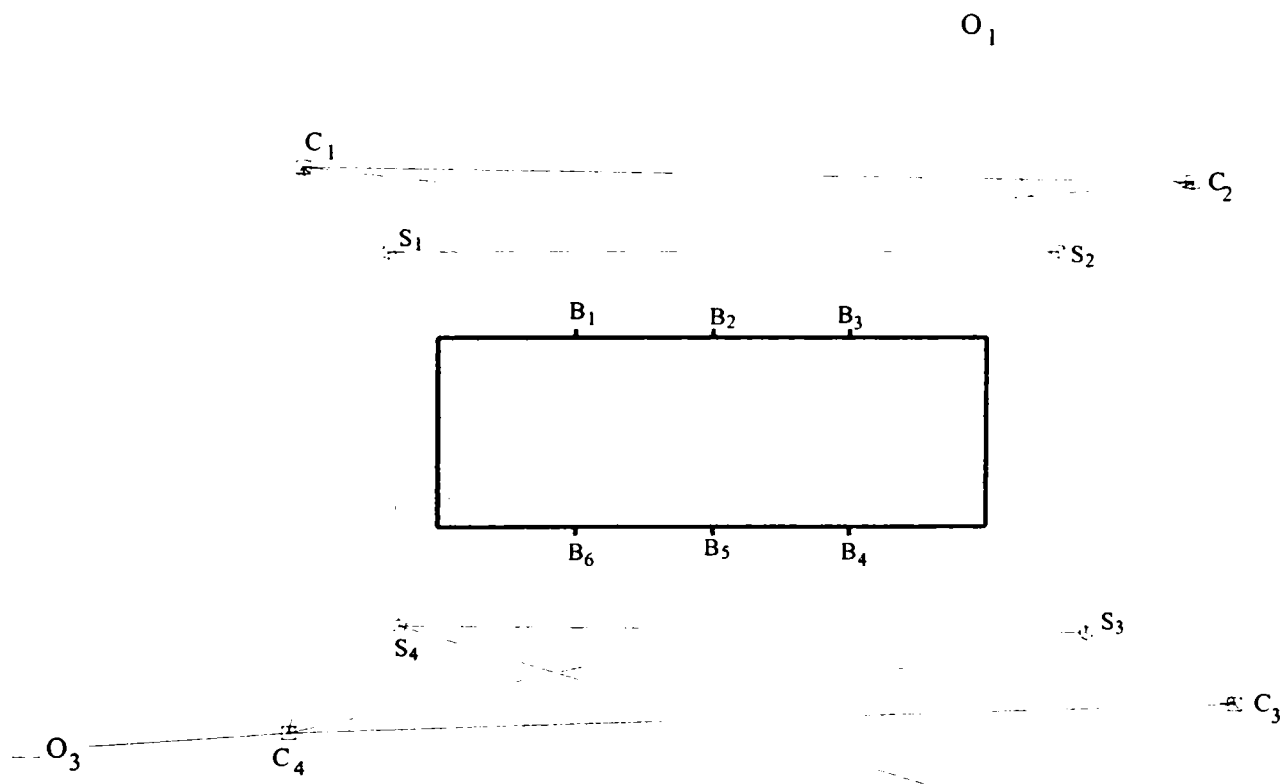


Figura 5.25 Rețea completă de urmărire

$B_1, B_2 \dots B_n$  – repere fixate pe obiectiv;  $S_1, S_2 \dots S_n$  – stații de observație;  $C_1, C_2 \dots C_n$  – puncte de control;  $O_1, O_2 \dots O_n$  – puncte de orientare.

- **rețea incompletă**, când nu sunt asigurate vizele reciproce între punctele de stație și punctele de referință:

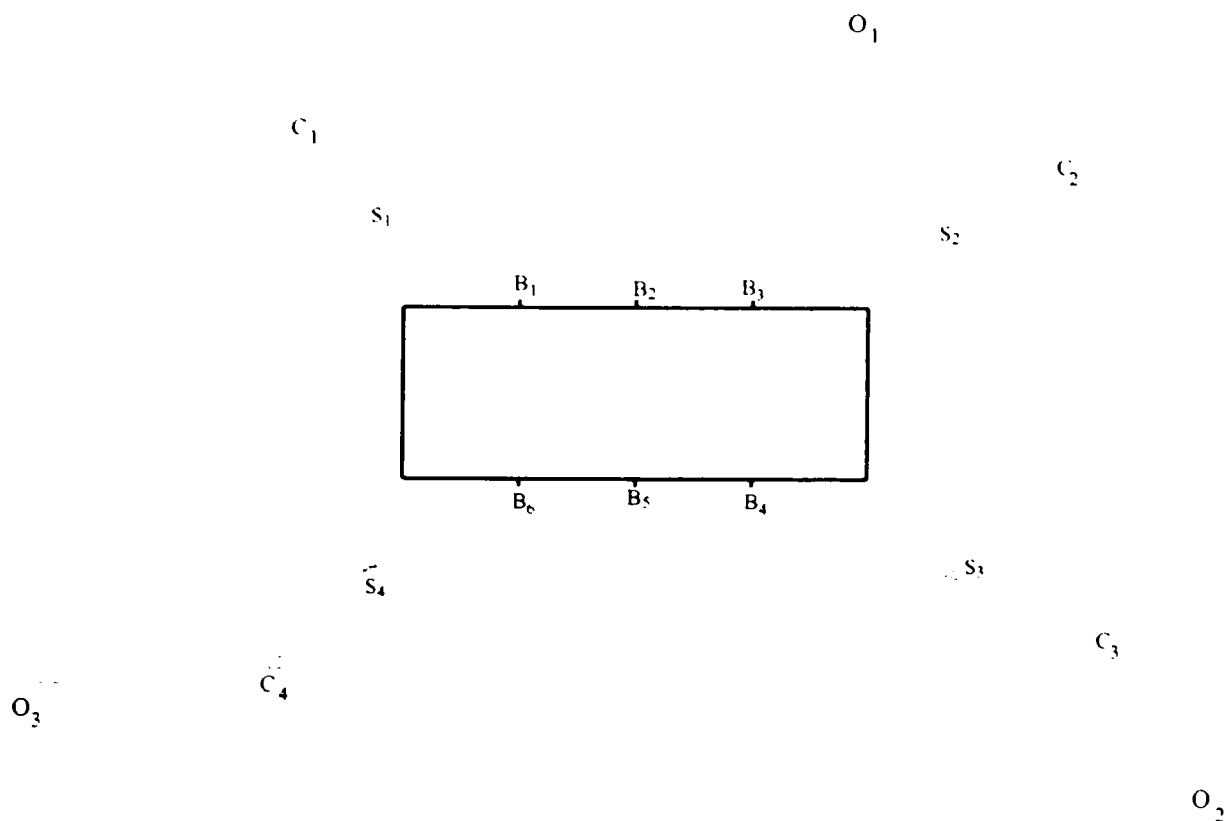


Figura 5.26 Rețea incompletă de urmărire

- **rețea simplă**, compusă din puncte de stație și puncte de referință.

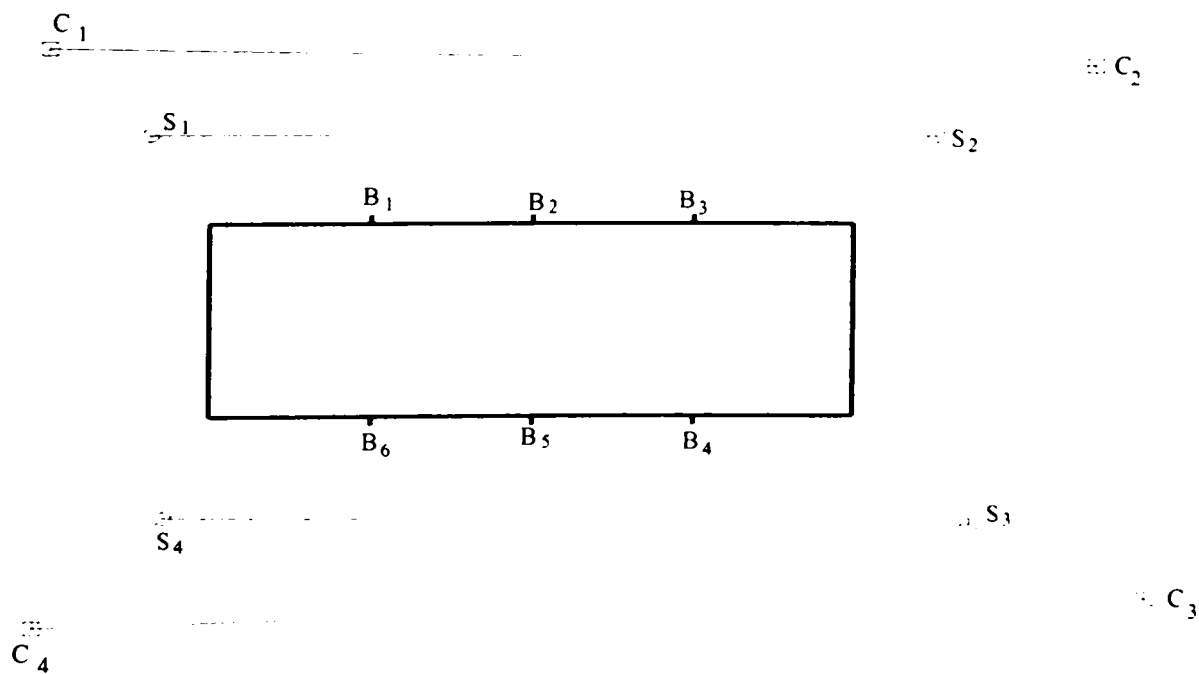


Figura 5.27 Rețea simplă de urmărire

La realizarea rețelei de microtriangulație se urmărește obținerea unei bune conformații a figurilor geometrice componente, în vederea obținerii unei precizii antecalulate care să

satisfacă pe deplin cerințele impuse. Se alege un sistem rectangular de axe care să coincidă cu axele principale ale construcției observate. De exemplu în cazul urmării unui baraj sau a unei lucrări de artă (pod, viaduct), deformațiile rezultate pe axa  $Y$  paralelă cu axa obiectivului, sunt mai mici decât cele pe verticală, adică după axa  $Z$ .

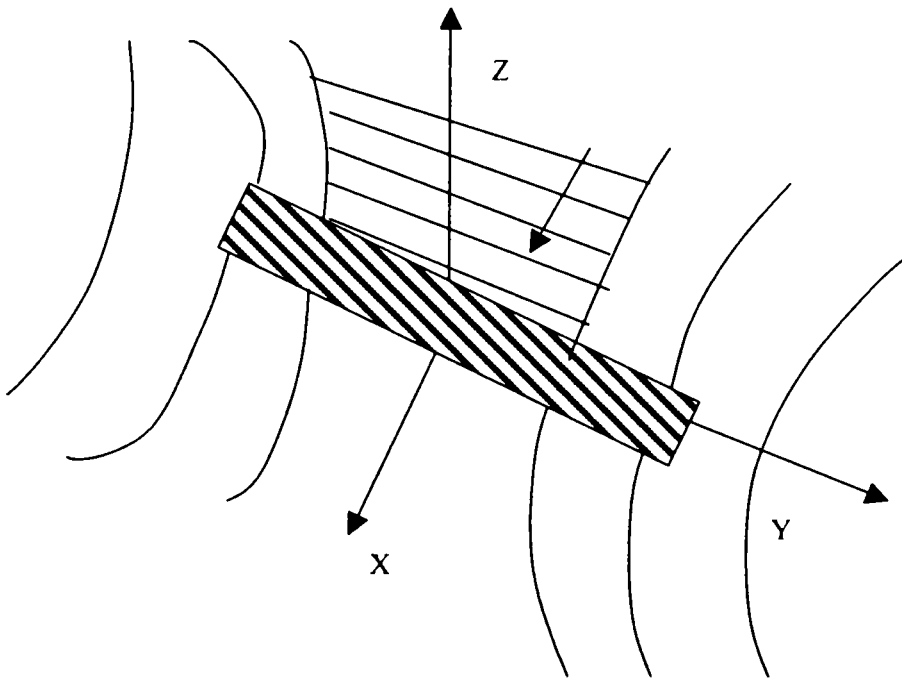


Figura 5.28 Alegerea sistemului de referință pentru urmărirea unui baraj

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

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

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

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

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

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

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

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

Determinarea precisă a deplasării stațiilor de observație este foarte necesară deoarece o determinare greșită a deplasărilor poate să schimbe forma deformațiilor construcției. Deplasările construcțiilor sunt în general foarte mici, situate în foarte multe cazuri la limita



posibilităților de observație. Determinarea acestor cantități mici trebuie să se facă foarte precis și din această cauză trebuie eliminate erorile provenite din deplasarea stațiilor și măsurătoare.

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

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

### **5.2.1.1 Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de stație în rețelele “incomplete”**

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

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

Se consideră o porțiune dintr-o rețea de microtriangulație, conform figurii 5.29 în care se fac notațiile:

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

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

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

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

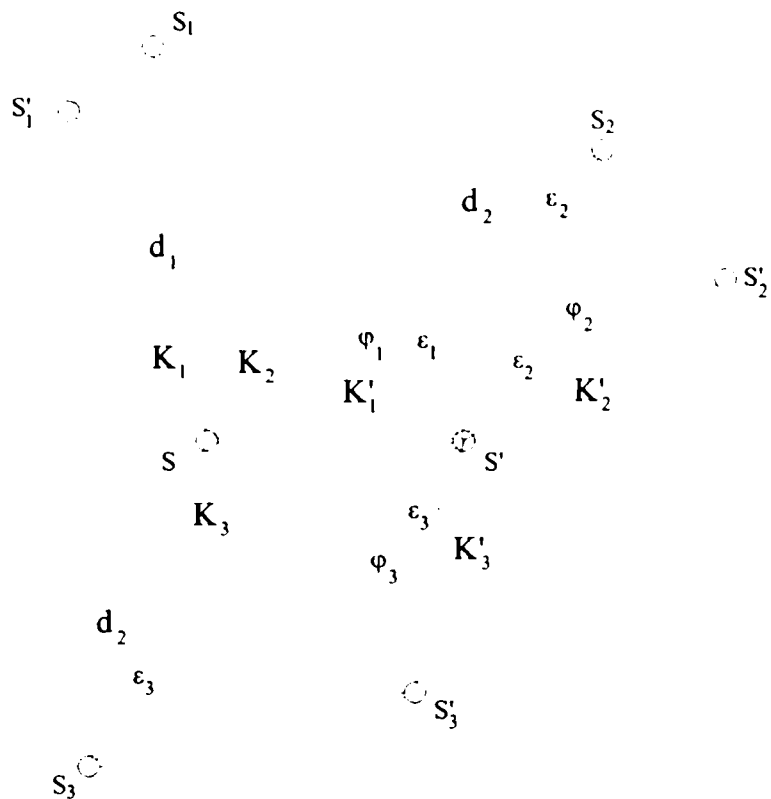


Figura 5.29 Deplasarea punctelor de stație prin observarea direcțiilor

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

$$(K_2 + v_2) - (K_1 + v_1) = (K'_2 + v'_2 + \varphi_2 + \varepsilon_2) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \quad 5.78$$

$$(K_3 + v_3) - (K_1 + v_1) = (K'_3 + v'_3 + \varphi_3 + \varepsilon_3) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_2 + \varepsilon_2) \quad 5.79$$

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

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

În ecuațiile 5.78 și 5.79 se poate observa o componentă comună, așa numita necunoscută de orientare a stației de observație S:

$$dz_s = (K_1 + v_1) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \quad 5.80$$

$$dz_s = (K_2 + v_2) - (K'_2 + v'_2 + \varphi_2 + \varepsilon_2) \quad 5.81$$

Ținând cont de notațiile de mai sus, se scriu ecuațiile 5.78 și 5.79 se pot scrie astfel:

$$\begin{aligned} v_1 - v'_1 - dz_s - \varphi_1 - \varepsilon_1 + (K_1 - K'_1) &= 0 \\ v_2 - v'_2 - dz_s - \varphi_2 - \varepsilon_2 + (K_2 - K'_2) &= 0 \\ v_3 - v'_3 - dz_s - \varphi_3 - \varepsilon_3 + (K_3 - K'_3) &= 0 \end{aligned} \quad 5.82$$

Corecțiile  $\varphi_i$  sunt cauzate de deplasările punctelor de vizare  $S_i$ , iar corecțiile  $\varepsilon_i$  sunt cauzate de deplasarea punctului de stație S. Aceste variații ale orientării unei direcții  $\varphi, \varepsilon$  provocate de variația coordonatelor capetelor sale sunt evidențiate prin relații de tipul:

$$\begin{aligned} \varphi_{SS_1} &= \frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta x_{S_1} - \frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta y_{S_1} \\ \varepsilon_{SS_1} &= -\frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta y_S + \frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta x_S \end{aligned} \quad 5.83$$

în care.  $\theta_{SS_1}$  – orientarea direcției  $SS_1$

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

Raporturile  $-\frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1}$  și  $\frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1}$  reprezintă coeficienții de direcție dintre S și  $S'$  notați

cu  $a_{SS_1}$  și  $b_{SS_1}$ . Introducând aceste mărimi în ecuațiile corecțiilor se obține pentru direcția

considerată  $SS_1$  și pentru celelalte, observate de două ori, următoarele ecuații de condiție:

$$\begin{aligned} v_1 - v'_1 - dz_s - a_{SS_1} \Delta x_S - b_{SS_1} \Delta y_S + a_{SS_1} \Delta x_{S_1} + b_{SS_1} \Delta y_{S_1} + l_1 &= 0 \\ v_2 - v'_2 - dz_s - a_{SS_2} \Delta x_S - b_{SS_2} \Delta y_S + a_{SS_2} \Delta x_{S_2} + b_{SS_2} \Delta y_{S_2} + l_2 &= 0 \\ v_3 - v'_3 - dz_s - a_{SS_3} \Delta x_S - b_{SS_3} \Delta y_S + a_{SS_3} \Delta x_{S_3} + b_{SS_3} \Delta y_{S_3} + l_3 &= 0 \end{aligned} \quad 5.84$$

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

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

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

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

Calculând termenii liberi trebuie avut în vedere faptul că mărimea acestora depinde de valoarea direcției actuale, în funcție de diferența dintre valoarea inițială și valoarea actuală. Pentru ca valoarea termenilor liberi să fie cât mai mică, este recomandabil ca direcțiile actuale să fie măsurate cu aceeași origine ca la măsurarea inițială, în acest fel diferențele între direcțiile actuale și cele inițiale reprezintă erorile de măsurare efective.

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

$$L_i = \left( l_i - \frac{l_i}{n} \right) \quad 5.85$$

Prin rezolvarea ecuațiilor corecțiilor  $v$  și  $v'$ , se pot determina necunoscutele  $\Delta x$  și  $\Delta y$  pentru fiecare punct de stație. Ecuațiile corecțiilor se pot scrie într-o formă generală de tipul:

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

5.86

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

$$v_1 - v'_1 + a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 u + l_1 = 0$$

$$v_2 - v'_2 + a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 u + l_2 = 0$$

$$v_3 - v'_3 + a_3 x + b_3 y + c_3 z + d_3 u + l_3 = 0$$

5.87

$$v_4 - v'_4 + a_4 x + b_4 y + c_4 z + d_4 u + l_4 = 0$$

$$v_5 - v'_5 + a_5 x + b_5 y + c_5 z + d_5 u + l_5 = 0$$

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

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

$$[p v v] + [p' v' v'] = (p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + \dots + p_n v_n^2) + (p'_1 v'^2_1 + p'_2 v'^2_2 + \dots + p'_n v'^2_n) = \text{minim} \quad 5.88$$

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

$$\begin{aligned} \Phi = & (p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + p_3 v_3^2 + p_4 v_4^2 + p_5 v_5^2) + (p'_1 v'^2_1 + p'_2 v'^2_2 + p'_3 v'^2_3 + p'_4 v'^2_4 + p'_5 v'^2_5) - \\ & - 2K_1(v_1 - v'_1 + a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 u + l_1) - 2K_2(v_2 - v'_2 + a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 u + l_2) - \\ & - 2K_3(v_3 - v'_3 + a_3 x + b_3 y + c_3 z + d_3 u + l_3) - 2K_4(v_4 - v'_4 + a_4 x + b_4 y + c_4 z + d_4 u + l_4) - \\ & - 2K_5(v_5 - v'_5 + a_5 x + b_5 y + c_5 z + d_5 u + l_5) \end{aligned} \quad 5.89$$

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

Derivatele parțiale ale funcției  $\Phi$  în raport cu corecțiile  $v$  sunt:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial v_1} &= 2p_1 v_1 - 2K_1 = 0, \text{ de unde rezultă } v_1 = \frac{K_1}{p_1} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_2} &= 2p_2 v_2 - 2K_2 = 0, \text{ de unde rezultă } v_2 = \frac{K_2}{p_2} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_3} &= 2p_3 v_3 - 2K_3 = 0, \text{ de unde rezultă } v_3 = \frac{K_3}{p_3} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_4} &= 2p_4 v_4 - 2K_4 = 0, \text{ de unde rezultă } v_4 = \frac{K_4}{p_4} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v_5} &= 2p_5 v_5 - 2K_5 = 0, \text{ de unde rezultă } v_5 = \frac{K_5}{p_5} \end{aligned} \quad 5.90$$

Derivatele parțiale ale funcției  $\Phi$  în raport cu corecțiile  $v'$  sunt prezentate în relațiile 5.91.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial v'_1} &= 2p'_1 v'_1 + 2K_1 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_1 = -\frac{K_1}{p'_1} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_2} &= 2p'_2 v'_2 + 2K_2 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_2 = -\frac{K_2}{p'_2} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_3} &= 2p'_3 v'_3 + 2K_3 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_3 = -\frac{K_3}{p'_3} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_4} &= 2p'_4 v'_4 + 2K_4 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_4 = -\frac{K_4}{p'_4} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial v'_5} &= 2p'_5 v'_5 + 2K_5 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_5 = -\frac{K_5}{p'_5} \end{aligned} \quad 5.91$$

Rezultă:

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

$$v_3 - v'_3 = \frac{K_3}{p_3} + \frac{K_3}{p'_3} = K_3 \left( \frac{1}{p_3} + \frac{1}{p'_3} \right) = \frac{K_3}{pl_3} \quad 5.92$$

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

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

Ponderile din sistem se vor calcula ca raport între eroarea medie pătratică a unității de pondere și eroarea medie pătratică a unei direcții măsurate, conform relației 5.93:

$$p_i = \frac{\mu_0^2}{\mu_i^2}, p'_i = \frac{\mu_0^2}{\mu_i'^2} \quad 5.93$$

în care:  $\mu_0$  - eroarea medie pătratică a unității de pondere =  $\pm 1''$ ;

$\mu_i$  - eroarea medie pătratică a unei direcții măsurate în ciclul inițial;

$\mu_i'$  - eroarea medie pătratică a unei direcții măsurate în ciclul actual;

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

$$v_i = \frac{K_i}{p_i} = K_i \frac{\mu_i^2}{\mu_0^2}, v'_i = -\frac{K_i}{p'_i} = -K_i \frac{\mu_i'^2}{\mu_0^2} \quad 5.94$$

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

$$\frac{K_1}{pl_1} + a_1x + b_1y + c_1z + d_1u + l_1 = 0 \Rightarrow K_1 = -pl_1(a_1x + b_1y + c_1z + d_1u + l_1)$$

$$\frac{K_2}{pl_2} + a_2x + b_2y + c_2z + d_2u + l_2 = 0 \Rightarrow K_2 = -pl_2(a_2x + b_2y + c_2z + d_2u + l_2)$$

$$\frac{K_3}{pl_3} + a_3x + b_3y + c_3z + d_3u + l_3 = 0 \Rightarrow K_3 = -pl_3(a_3x + b_3y + c_3z + d_3u + l_3) \quad 5.95$$

$$\frac{K_4}{pl_4} + a_4x + b_4y + c_4z + d_4u + l_4 = 0 \Rightarrow K_4 = -pl_4(a_4x + b_4y + c_4z + d_4u + l_4)$$

$$\frac{K_5}{pl_5} + a_5x + b_5y + c_5z + d_5u + l_5 = 0 \Rightarrow K_5 = -pl_5(a_5x + b_5y + c_5z + d_5u + l_5)$$

Derivatele parțiale ale funcției  $\Phi$  în raport cu necunoscutele  $x, y, z, u$  sunt:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = -2a_1K_1 - 2a_2K_2 - 2a_3K_3 - 2a_4K_4 - 2a_5K_5 = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = -2b_1K_1 - 2b_2K_2 - 2b_3K_3 - 2b_4K_4 - 2b_5K_5 = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = -2c_1K_1 - 2c_2K_2 - 2c_3K_3 - 2c_4K_4 - 2c_5K_5 = 0 \quad 5.96$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial u} = -2d_1K_1 - 2d_2K_2 - 2d_3K_3 - 2d_4K_4 - 2d_5K_5 = 0$$

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

$$[p,aa] \cdot x + [p,ab] \cdot y + [p,ac] \cdot z + [p,ad] \cdot u + [p,al] = 0$$

$$[p,ab] \cdot x + [p,bb] \cdot y + [p,bc] \cdot z + [p,bd] \cdot u + [p,bl] = 0$$

$$[p,ac] \cdot x + [p,bc] \cdot y + [p,cc] \cdot z + [p,cd] \cdot u + [p,cl] = 0 \quad 5.97$$

$$[p,ad] \cdot x + [p,bd] \cdot y + [p,cd] \cdot z + [p,dd] \cdot u + [p,dl] = 0$$

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

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

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



$$\mu_0^{comp} = \pm \sqrt{\frac{[pvv] + [p'v'v']}{r-n}} \cdot \left(1 \pm \frac{0,7071}{\sqrt{r-n}}\right) \quad 5.98$$

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

$n$  – numărul necunoscutelor determinate;

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

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

$$m_i = \pm \mu_0^{comp} \sqrt{Q_{ii}} \quad 5.99$$

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

Se consideră un punct de stație  $S$  definit în poziția inițială și poziția  $S'$ , deplasată, în ciclul următor de măsurători (figura 5.30).

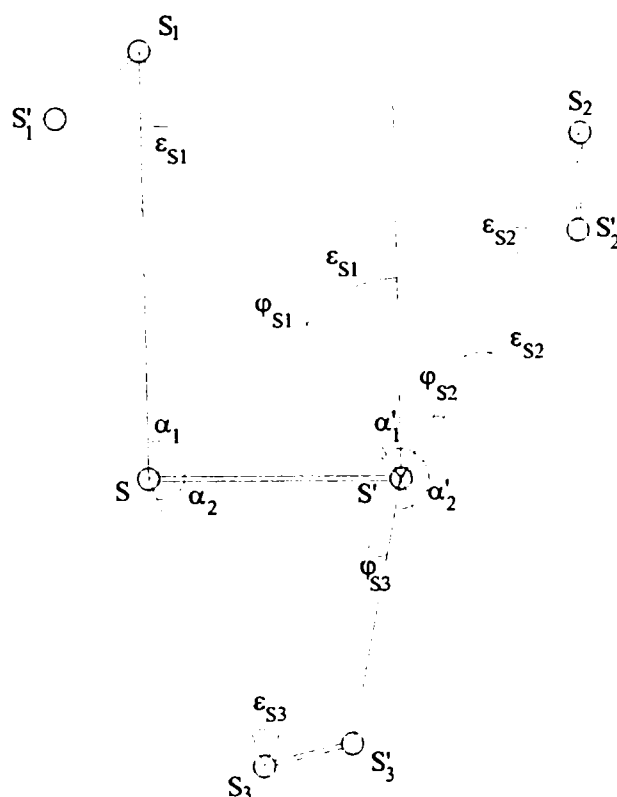


Figura 5.30 Determinarea deplasărilor punctelor de stație prin observarea unghiurilor

Corespunzător figurii 5.30 se pot scrie următoarele notații:

$\alpha_1, \alpha_2$  - unghiurile măsurate inițial (ciclul de referință);

$\alpha'_1, \alpha'_2$  - unghiurile măsurate actual (ciclul actual);

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

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

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

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

Între unghiurile și corecțiile definite se pot scrie următoarele relații:

$$\begin{aligned} \alpha_1 + v_{\alpha_1} &= \alpha'_1 + v'_{\alpha_1} + (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) - (\varphi_{S_1} + \varepsilon_{S_1}) \\ \alpha_2 + v_{\alpha_2} &= \alpha'_2 + v'_{\alpha_2} + (\varphi_{S_3} + \varepsilon_{S_3}) - (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) \end{aligned} \quad 5.100$$

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

$$\begin{aligned} (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) - (\varphi_{S_1} + \varepsilon_{S_1}) &= -d\alpha_1 - \text{eroarea unghiului } \alpha_1 \\ (\varphi_{S_3} + \varepsilon_{S_3}) - (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) &= -d\alpha_2 - \text{eroarea unghiului } \alpha_2 \end{aligned} \quad 5.101$$

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

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= K_2 - K_1 \Rightarrow v_{\alpha_1} = v_2 - v_1 \\ \alpha'_1 &= K'_2 - K'_1 \Rightarrow v_{\alpha'_1} = v'_2 - v'_1 \\ \alpha_2 &= K_3 - K_2 \Rightarrow v_{\alpha_2} = v_3 - v_2 \\ \alpha'_2 &= K'_3 - K'_2 \Rightarrow v_{\alpha'_2} = v'_3 - v'_2 \end{aligned} \quad 5.102$$

Ecuatiile vor fi:

$$\begin{aligned} & \left[ (-a_{ss_2} \Delta x_{s_2} - b_{ss_2} \Delta y_{s_2}) + (a_{ss_2} \Delta x_S + b_{ss_2} \Delta y_S) \right] - \\ & - \left[ (-a_{ss_1} \Delta x_{s_1} - b_{ss_1} \Delta y_{s_1}) + (a_{ss_1} \Delta x_S + b_{ss_1} \Delta y_S) \right] = -d\alpha_1 \\ & \left[ (-a_{ss_3} \Delta x_{s_3} - b_{ss_3} \Delta y_{s_3}) + (a_{ss_3} \Delta x_S + b_{ss_3} \Delta y_S) \right] - \\ & - \left[ (-a_{ss_2} \Delta x_{s_2} - b_{ss_2} \Delta y_{s_2}) + (a_{ss_2} \Delta x_S + b_{ss_2} \Delta y_S) \right] = -d\alpha_2 \end{aligned} \quad 5.103$$

Aceste relații se completează cu valorile corecțiilor, cu satisfacerea condiției ca suma tuturor coeficienților deplasărilor  $\Delta x$  și  $\Delta y$  alături de corecțiile  $v$  și  $v'$  să fie zero, rezultând ecuația 5.104:

$$\begin{aligned} v_{\alpha_1} - v'_{\alpha_1} - a_{ss_1} \Delta x_{s_1} - b_{ss_1} \Delta y_{s_1} + a_{ss_2} \Delta x_{s_2} + b_{ss_2} \Delta y_{s_2} - (a_{ss_2} - a_{ss_1}) \Delta x_S - (b_{ss_2} - b_{ss_1}) \Delta y_S + \lambda_1 &= 0 \\ v_{\alpha_2} - v'_{\alpha_2} - a_{ss_2} \Delta x_{s_2} - b_{ss_2} \Delta y_{s_2} + a_{ss_3} \Delta x_{s_3} + b_{ss_3} \Delta y_{s_3} - (a_{ss_3} - a_{ss_2}) \Delta x_S - (b_{ss_3} - b_{ss_2}) \Delta y_S + \lambda_2 &= 0 \end{aligned}$$

în care:  $\lambda_i = \alpha_i - \alpha'_i$

$a_i, b_i$  - coeficienți de direcție;

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

Notând corecția de măsurare a diferenței de nivel între ciclul inițial și cel actual cu  $v_{\lambda_i} = -(v_{\alpha_i} - v'_{\alpha_i})$  se obține relația 5.105:

$$\begin{aligned} v_{\lambda_1} &= -a_{ss_1} \Delta x_{s_1} - b_{ss_2} \Delta x_{s_2} + a_{ss_2} \Delta x_{s_2} + b_{ss_2} \Delta y_{s_2} - (a_{ss_2} - a_{ss_1}) \Delta x_S - (b_{ss_2} - b_{ss_1}) \Delta y_S + \lambda_1 \\ v_{\lambda_2} &= -a_{ss_2} \Delta x_{s_1} - b_{ss_2} \Delta x_{s_2} + a_{ss_3} \Delta x_{s_3} + b_{ss_3} \Delta y_{s_3} - (a_{ss_3} - a_{ss_2}) \Delta x_S - (b_{ss_3} - b_{ss_2}) \Delta y_S + \lambda_2 \end{aligned}$$

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

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

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

Pentru a determina deplasarea stației de observație, se admite direcția axei  $x$  în mod arbitrar, dar de preferință de-a lungul primei vize de la măsurătoarea inițială. Pe baza relației

de calcul pentru o direcție oarecare observată inițial din stația S și actual din stația S' și care merge spre unul din punctele de control stabilite se poate scrie următoarea ecuație:

$$v_i - v'_i - dz_s - a_i \Delta x_s - b_i \Delta y_s + l_i = 0 \quad 5.106$$

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

$$[p_i] dz_s + [p_i \cdot a] \Delta x_s + [p_i \cdot b] \Delta y_s - [p_i \cdot l] = 0$$

$$[p_i \cdot a] dz_s + [p_i \cdot aa] \Delta x_s + [p_i \cdot ab] \Delta y_s - [p_i \cdot al] = 0 \quad 5.107$$

$$[p_i \cdot b] dz_s + [p_i \cdot ab] \Delta x_s + [p_i \cdot bb] \Delta y_s - [p_i \cdot bl] = 0$$

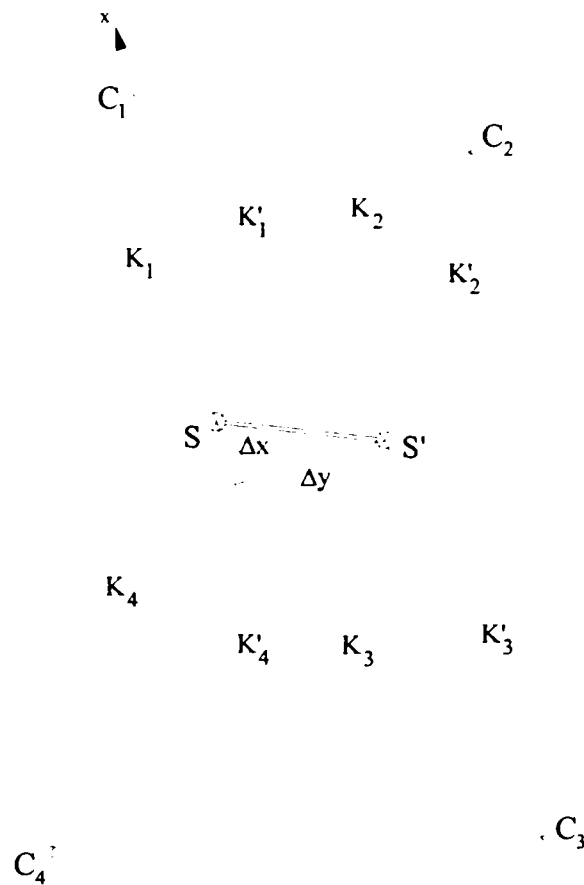


Figura 5.31 Determinarea deplasărilor punctelor de stație prin metoda retrointersecției

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

$$dz_s = -\frac{1}{[p_i]} \{ [p_i \cdot a] \Delta x_s + [p_i \cdot b] \Delta y_s - [p_i \cdot l] \} \quad 5.108$$

Substituind această valoare în celelalte două ecuații ale sistemului avem:

$$\begin{aligned} [p_i a] \left( -\frac{[p_i a]}{[p_i]} \Delta x_s - \frac{[p_i b]}{[p_i]} \Delta y_s + \frac{[p_i l]}{[p_i]} \right) + [p_i aa] \Delta x_s + [p_i ab] \Delta y_s - [p_i al] &= 0 \\ [p_i b] \left( -\frac{[p_i a]}{[p_i]} \Delta x_s - \frac{[p_i b]}{[p_i]} \Delta y_s + \frac{[p_i l]}{[p_i]} \right) + [p_i ab] \Delta x_s + [p_i bb] \Delta y_s - [p_i bl] &= 0 \end{aligned} \quad 5.109$$

sau:

$$\begin{aligned} \left( [p_i aa] - \frac{[p_i a]^2}{[p_i]} \right) \Delta x_s + \left( [p_i ab] - \frac{[p_i a] \cdot [p_i b]}{[p_i]} \right) \Delta y_s - \left( [p_i al] - \frac{[p_i a] \cdot [p_i l]}{[p_i]} \right) &= 0 \\ \left( [p_i ab] - \frac{[p_i a] \cdot [p_i b]}{[p_i]} \right) \Delta x_s + \left( [p_i bb] - \frac{[p_i b]^2}{[p_i]} \right) \Delta y_s - \left( [p_i bl] - \frac{[p_i b] \cdot [p_i l]}{[p_i]} \right) &= 0 \end{aligned} \quad 5.110$$

Notând,

$$\begin{aligned} A_i &= a_i - \frac{[p_i a]}{[p_i]} \\ B_i &= b_i - \frac{[p_i b]}{[p_i]} \\ \delta_i &= l_i - \frac{[p_i l]}{[p_i]} \end{aligned} \quad 5.111$$

rezultă:

$$\begin{aligned} [p_i AA] \Delta x_s + [p_i AB] \Delta y_s + [p_i A\delta] &= 0 \\ [p_i AB] \Delta x_s + [p_i BB] \Delta y_s + [p_i A\delta] &= 0 \end{aligned} \quad 5.112$$

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

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

$$\begin{aligned} m_{\Delta x} &= \pm \mu_0^{comp} \cdot \sqrt{Q_{xx}} \\ m_{\Delta y} &= \pm \mu_0^{comp} \cdot \sqrt{Q_{yy}} \end{aligned} \quad 5.113$$

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

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

$$p_l = \frac{\mu_0^2}{m_l^2} = \text{const.} \quad 5.114$$

$$\text{și: } dz_s = -\frac{1}{r} ([a]\Delta x_s + [b]\Delta y_s - [l]), \quad 5.115$$

în care:

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

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

### 5.3 Metoda aliniamentelor și utilitatea acestuia în studiul deplasărilor orizontale

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

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

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

Metoda aliniamentului este simplă, precisă și necesită un volum redus de lucrări de teren și de birou, aceasta permițând repetarea ei la intervale scurte de timp. Deplasarea orizontală a unui punct de control, între două cicluri de observații va rezulta din diferența

abaterilor punctului față de aliniament, măsurate în ciclul final și în ciclul inițial (deplasări totale) sau între ciclul actual și ciclul inițial (deplasări parțiale).

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

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

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

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

### 5.3.1 Metoda observării unui aliniament pe toată lungimea lui

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

Punctele de capăt ale aliniamentului,  $A$  și  $B$  (figura 5.32), reprezintă și puncte de stație din care se execută măsurătorile. Ele sunt materializate prin pilaștri de beton armat ca și în cazul metodei microtriangulației.

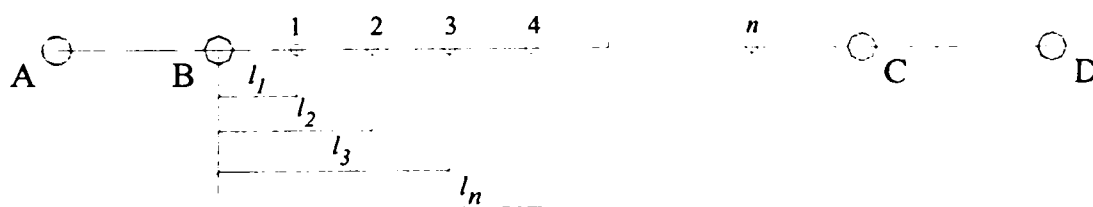


Figura 5.32 Principiul metodei aliniamentului

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

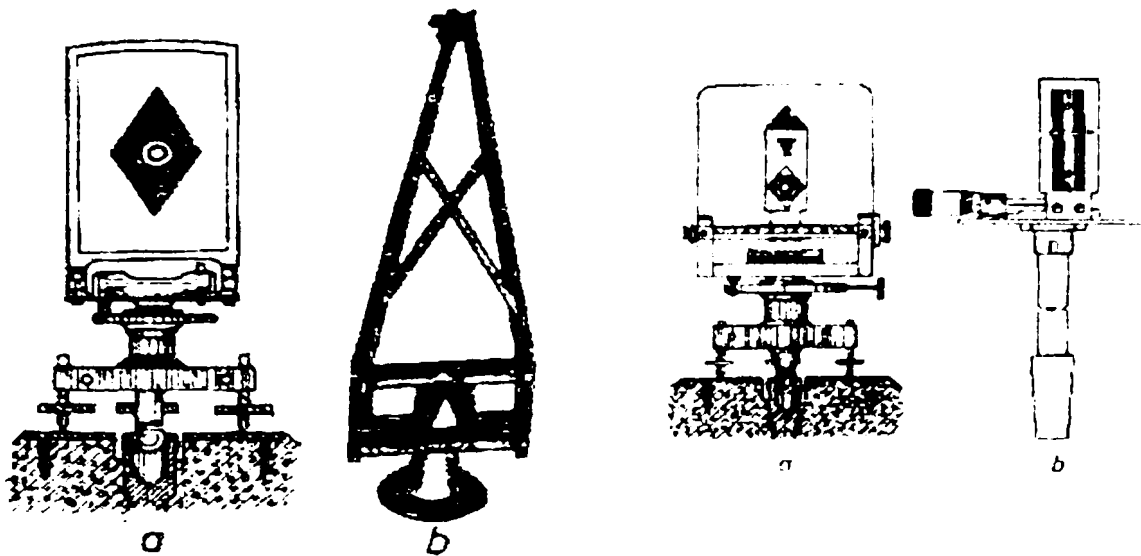


Figura 5.33 Tipuri de semnale pentru semnalizarea aliniamentelor

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

La începutul fiecărui ciclu de măsurători, operatorul îndreaptă axa de vizare a lunetei de-a lungul aliniamentului  $B-C$  (figura 5.32). Măsurătorile realizate în cele două poziții ale lunetei formează o serie de observații. Într-un ciclu de măsurători se efectuează cel puțin trei serii în care teodolitul a fost plasat atât în stația  $B$  cât și în stația  $C$ . La fiecare serie se calculează media valorilor măsurate în cele două poziții.

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

$$\begin{aligned} a_1 &= m_0 - m_m \\ a_2 &= m_m - m_0 \end{aligned} \quad 5.116$$

în care:

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

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

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



$$a_{statiab} = \frac{[a_1]}{n} \text{ și } a_{statiac} = \frac{[a_2]}{n} \quad 5.117$$

Abaterile totale a mărcii 1, de exemplu, într-un ciclu de măsurători se obține astfel:

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

sau

$$a_{tot.1} = a_{statiac} + \frac{b \cdot (L - l_1)}{L} \quad 5.118$$

în care:  $b = (a_{statiab} - a_{statiac})$

$l_1$  – distanța orizontală C-I

$L$  – lungimea totală a aliniamentului B-C

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

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

$$\delta = a_{tot(i)} - a_{tot(0)} \quad 5.119$$

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

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

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

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

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

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{r-1}} \quad 5.120$$

în care:  $vv$  – abaterea mediei aritmetice;

$r$  – numărul de citiri într-o serie.

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

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad 5.121$$

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

$$M_{\text{tot}} = \pm \frac{M_{\text{stati}B} \cdot M_{\text{stati}C}}{\sqrt{M_{\text{stati}B}^2 + M_{\text{stati}C}^2}} \quad 5.122$$

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

$$\mu_{\delta} = \pm \sqrt{M_{\text{tot}(1)}^2 + M_{\text{tot}(2)}^2} \quad 5.123$$

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

### 5.3.2 Metoda observării unghiurilor paralactice

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

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

Măsurarea unghiurilor orizontale corespunzător abaterilor  $a_i$  ale punctelor observate ( $1, 2, \dots, n$ ) se execută cu un teodolit de precizie ridicată, așezat în stație în punctul  $A$  cu care se măsoară față de aliniamentul  $A-B$  unghiurile  $\varphi_i$  și în mod analog, din stația  $B$  se măsoară față de același aliniament unghiurile  $\psi_i$ , măsurătorile de unghiuri executându-se în ambele poziții ale lunetei teodolitului (figura 5.34).

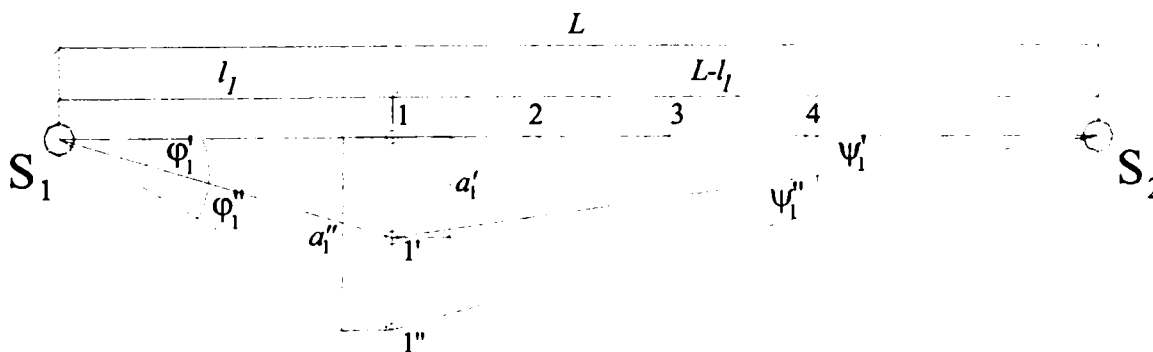


Figura 5.34 Metoda aliniamentului – măsurarea unghiurilor paralactice

Distanțele dintre stațiile punctelor de sprijin  $A$  și  $B$  față de punctele observate, se determină în prealabil prin măsurare directă sau optică. Măsurătorile unghiurilor orizontale

ale punctelor observate, efectuate în cele două poziții ale lunetei teodolitului, alcătuiesc o serie de observații, iar un ciclu de observații poate cuprinde între 3 și 5 serii de observații. La fiecare serie se calculează media valorilor măsurate  $\varphi_i$ , respectiv  $\psi_i$  pentru fiecare reper observat.

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

$$a_1' = l_1 \frac{\varphi_{1\text{mediu}}^{(cc)}}{\rho^{cc}} = (L - l_1) \frac{\psi_{1\text{mediu}}^{(cc)}}{\rho^{cc}} \quad 5.124$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \delta &= a_i - a_1^0 \\ \delta_1 &= a_1' - a_1^0 \end{aligned} \quad 5.125$$

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

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

Procedeeul aliniamentului prin măsurarea unghiurilor orizontale de abatere a poziției deplasate ale punctelor, permite o determinare simplă a mărimilor deplasărilor dar necesită o precizie ridicată la măsurarea unghiurilor de abatere  $\varphi_i$  și  $\psi_i$ , valorile unghiulare fiind înregistrate cu precizia de  $0,5^{cc} - 1^{cc}$ .

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

1. Eroarea medie pătratică a valorii medii a unghiului  $\varphi_i$  sau  $\psi_i$  din  $n$  serii:

$$m_{(\varphi, \psi)} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} \quad 5.126$$

în care:

$vv$  - eroarea reziduală rezultată din diferența dintre valoarea unghiului  $\varphi_i$  sau  $\psi_i$  dintr-o serie față de media unghiului obținută din  $n$  serii;

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

$$m_a = \frac{m_{(\varphi, \psi)}^{\text{cc}} \cdot l}{\rho^{\text{cc}}} \quad 5.127$$

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

$$\mu_\delta = \pm \sqrt{m_{a_1}^2 + m_{a_2}^2} \quad 5.128$$

Acest procedeu are față de cel de vizare în lungul aliniamentului următoarele avantaje:

- dispăre necesitatea folosirii mărcii mobile și ca urmare nu mai este necesar utilizarea unui operator;
- apare posibilitatea efectuării observațiilor asupra unor construcții care au contururi diferite de forma rectilinie, cum ar fi barajele arcuite, viaducte arcuite.

### 5.3.3 Metoda observării aliniamentelor paralele suplimentare

După o anumită perioadă de timp de la darea în exploatare a unei construcții, ca urmare a stabilizării acesteia, deplasările punctelor de control sunt din ce în ce mai mici. Din această cauză, se impune folosirea unor metode de măsurare care să asigure o precizie ridicată, în acest scop folosindu-se metoda aliniamentelor paralele suplimentare.

Metoda constă în fixarea unui nou aliniament  $A'B'$ , paralel cu aliniamentul vechi  $AB$  (figura 3.35). În funcție de cerințele lucrării se poate proiecta un număr de 2, 3 sau mai multe aliniamente noi. Distanțele  $AA'$  și  $BB'$ , dintre punctele de bază vechi și noi, trebuie considerate egale cu mărimea medie a abaterilor punctelor de control 1,2 și 3. Pentru măsurarea precisă a acestor distanțe este necesară determinarea abaterilor  $L_A$  și  $L'_A$ , concomitent față de ambele aliniamente.

Distanța dintre punctele  $A$  și  $A'$  se determină cu relația:

$$Z_1 = \frac{(L_A - L'_A)_1 p_1 + (L_A - L'_A)_2 + \dots + (L_A - L'_A)_i p_i}{p_1 + p_2 + \dots + p_i} \quad 5.129$$

În cazul folosirii mai multor aliniamente paralele suplimentare, distanțele ce corespund punctelor fiecărui aliniament nou relativ la cel vechi și de asemenea și mărimea  $Z'_1$  dintre capetele  $B$  și  $B'$  se determină cu relații analoage. Mărimea liniară a neparalelismului celor două sau mai multe aliniamente se exprimă prin:

$$Z_1 - Z'_1 = \Delta Z_1$$

$$Z_2 - Z'_2 = \Delta Z_2 \quad 5.120$$

$$Z_i - Z'_i = \Delta Z_i$$

În continuare problema constă în măsurarea abaterilor punctelor de control față de toate aliniamentele, în sens direct sau în sens invers. În cazul unui aliniament paralel suplimentar, mărimile abaterilor punctului de control  $i$  măsurate în cele două sensuri, sunt date de relațiile:

$$L_i' = \frac{L_{A_i}' + (Z_1 + L_{A_i})}{2}$$

$$L_i'' = \frac{L_{A_i}'' + (Z_1 + L_{A_i}')}{2} \quad 5.121$$

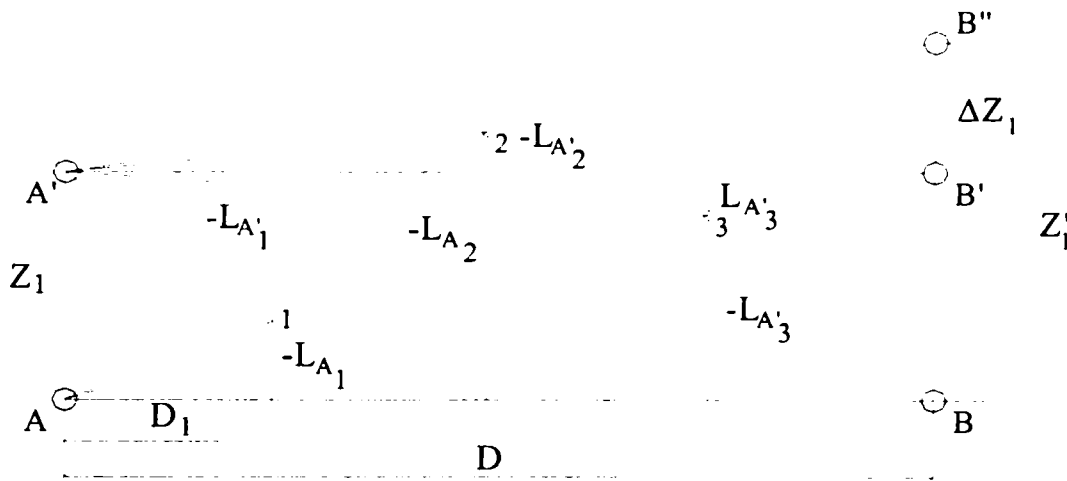


Figura 5.35 – Metoda observării aliniamentelor paralele suplimentare

în care:  $L_{A_i}$  și  $L_{A_i}'$  - abaterile punctelor de control față de aliniamentul vechi și respectiv nou;

$i$  - numărul punctelor de control;

$p_1, p_2, \dots, p_i$  - ponderile mărimilor măsurate.

În cazul în care se obține mărimea ne paralelismului, calculul abaterilor se face cu relațiile:

$$L_i' = \frac{L_{A_i}' + \left[ \left( Z_1 + \frac{\Delta Z_1}{D} D_i \right) + L_{A_i}' \right]'}{2}$$

$$L_i'' = \frac{L_{A_i}'' + \left[ \left( Z_1 + \frac{\Delta Z_1}{D} D_i \right) + L_{A_i}' \right]''}{2} \quad 5.122$$

în care:  $D$  - lungimea întregului aliniament;

$D_i$  - distanța de la capătul aliniamentului până la punctul de control  $i$ .

Mărimea definitivă a abaterii fiecărui punct de control se obține ca medie aritmetică a mărimilor măsurate în cele două sensuri:

$$L_i = \frac{L_i' + L_i''}{2} \quad 5.123$$

Deplasarea orizontală a punctului de control, produsă între cele două cicluri de observații, se determină din diferența abaterilor corespunzătoare celor două cicluri.

Admițându-se că măsurarea abaterilor față de cele două aliniamente, în ambele sensuri, s-a făcut cu aceeași precizie se poate scrie egalitatea:

$$m_{L_i'} = m_{L_i''} = m_{L_i''} = m_{L_i'} = m_L \quad 5.124$$

De asemenea se mai poate scrie egalitatea între valorile  $Z_1$  și  $Z_2$  astfel:

$$m_{Z_1} = m_{Z_2} = \dots = 0 \quad 5.125$$

Mărimile  $Z_i$  fiind determinate suficient de precis, eroarea medie pătratică a abaterii punctului de control va fi dată de relația:

$$M_L = \frac{m_L}{\sqrt{2n}} \quad 5.126$$

în care:  $n$  – numărul aliniamentelor care intră în determinarea abaterilor.

Eroarea medie pătratică a deplasării orizontale a punctului de control va fi:

$$m_{\Delta L} = \sqrt{M_{L'}^2 + M_{L''}^2} = M_L \sqrt{2} \quad 5.127$$

### 5.3.4 Metoda observării aliniamentelor intersectate

Metoda aliniamentului unic se aplică în general la construcțiile care au în plan o configurație liniară dreaptă. Construirea tot mai frecventă a barajelor de formă circulară, eliptică sau parabolică, fac imposibilă aplicarea metodei obișnuite a aliniamentului.

Pentru simplificarea măsurării deplasărilor punctelor de control, de pe coronamentul barajelor se poate utiliza metoda aliniamentelor intersectate.

Această metodă constă în alegerea unui aliniament, care trebuie să fie perpendicular pe direcția presiunii apei din bazin. La alegerea altor aliniamente este necesar a se menține unghiul dintre direcția presiunii apei și aliniamente în intervalul  $100^\circ \dots 150^\circ$ , unghiurile mai ascuțite ducând la creșterea lungimii aliniamentului și la scăderea preciziei.

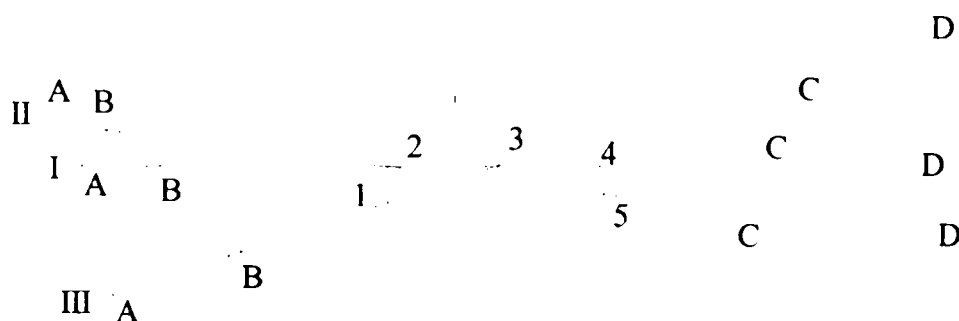


Figura 5.36 Metoda observării aliniamentelor intersectate

După fixarea punctelor de bază, se măsoară unghiurile dintre primul aliniament și următoarele, ele rămânând constante pentru toate ciclurile de observații. Organizarea lucrărilor, metodica și precizia de măsurare rămâne aceeași ca în metoda aliniamentului unic. Pentru reducerea măsurătorilor de pe toate aliniamentele la aliniamentul de bază *I*, este necesar ca abaterile măsurate să fie înmulțite cu cosinusul unghiului dintre primul aliniament și al doilea, al treilea până la ultimul aliniament.

Pentru controlul stabilității punctelor de capăt este necesar ca pe fiecare mal aliniamentele să fie fixate cu câte două puncte de bază, dispuse la distanțe mai mari de 20 m unul de altul.

Instrumentul se așează în punctul de capăt *B* (figura 3.36), după care se vizează punctele *D*, *C* și semnalele de vizare ale punctelor de control dispuse pe aliniamentul respectiv. Ulterior se mută instrumentul în punctul de capăt *C* și se vizează punctele *A*, *B* și punctele de control.

Această metodă prezintă o serie de avantaje fiind o metodă rentabilă din punct de vedere economic, reducând foarte mult timpul de staționare în teren, numărul echipei de lucru putând fi de 2 persoane. Totodată, metoda observării aliniamentelor intersectate, oferă o precizie cel puțin egală cu oricare metodă de determinare a deplasărilor orizontale ale punctelor de control utilizând prin măsurarea aliniamentelor.

## 5.4 Metoda poligonometrică

Metoda poligonometrică, care mai este cunoscută și sub denumirea de metoda drumirii planimetrice de precizie, se folosește la determinarea vectorului deplasării

orizontale a construcțiilor curbate sau a construcțiilor de lungime mare de genul: barajelor în arc, tuneluri, galerii subterane, pasaje de nivel curbate.

Metoda se aplică atunci când prin microtriangulație sau metoda aliniamentului, se obțin erori de măsurare foarte mari sau aplicarea acestora în funcție de condițiile naturale este foarte dificilă.

Metoda drumuirii de precizie se poate folosi cu multă eficiență la determinarea alunecărilor de teren, unde deplasările produse sunt cu mult mai mari, iar precizia necesară este mai redusă decât în cazul studierii comportării construcțiilor.

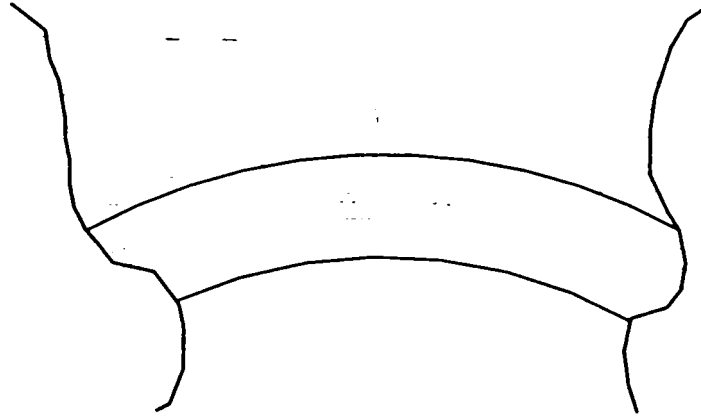


Figura 5.38 Determinarea deplasărilor orizontale prin metoda drumuirii planimetrice

Pentru exemplificarea metodei poligonometrice se consideră un baraj arcuit, pentru care se prezintă forma drumuirii planimetrice de precizie în raport cu care se efectuează determinarea vectorului deplasării orizontale. Se alege un sistem rectangular de axe astfel ca punctele de sprijin ale drumuirii  $B$  și  $C$  să fie dispuse pe axa  $Y$  (figura 3.39).

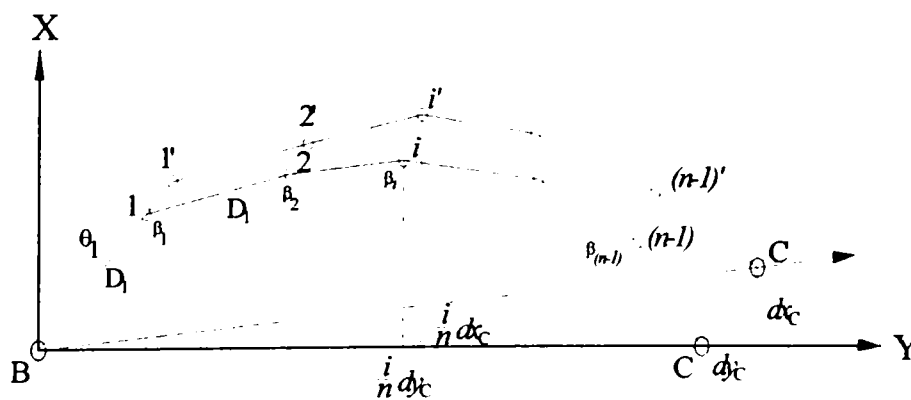


Figura 5.39 Traseul deplasat al drumuirii planimetrice de precizie

Metoda constă în măsurarea ciclică a unghiurilor orizontale și a laturilor drumuirii planimetrice. Componentele vectorului deplasării orizontale a unui punct de control  $i$  sunt



date de diferențele coordonatelor rectangulare rezultate din compensarea măsurătorilor efectuate în ciclurile de observații, actual și inițial sau de referință:

$$\begin{aligned}\Delta X_i &= X_i^1 - X_i^0 \\ \Delta Y_i &= Y_i^1 - Y_i^0\end{aligned}\tag{5.128}$$

în care:  $X_i^0, Y_i^0$  - coordonate rezultate în ciclul inițial;

$X_i^1, Y_i^1$  - coordonatele din ciclul actual.

Cunoscând aceste valori, pe baza componentelor se calculează vectorul deplasării orizontale și orientarea acestuia folosind următoarele relații 5.129:

$$\begin{aligned}L &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \\ \theta_L &= \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}\end{aligned}\tag{5.129}$$

Problema cea mai importantă constă în calculul anticipat al preciziei de determinare a coordonatelor și deplasărilor tuturor punctelor și determinarea preciziei punctului de control central, care corespunde locului unde deplasarea construcției este maximă.

Erorile medii pătratice de determinare a coordonatelor oricărui punct de control al drumuirii planimetrice de precizie pentru  $m_{\beta_1} \approx m_{\beta_2} \approx \dots \approx m_{\beta_{n-1}} = m_{\beta}$  și  $m_{D1} \approx m_{D2} \approx \dots \approx m_{Dn} = m_D$  sunt exprimate de relațiile:

$$\begin{aligned}m_{X_i}^2 &= \pm \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left[ \sum_{k=1}^{i-1} \left( \Delta Y_{i-k} - \frac{i}{n} \Delta Y_{B-k} \right)^2 + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta Y_{B-k}^2 \right] + \\ &+ m_D^2 \left[ \left( 1 - \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^i \cos^2 \theta_k + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=i+1}^n \cos^2 \theta_k \right]\end{aligned}\tag{5.130}$$

$$\begin{aligned}m_{Y_i}^2 &= \pm \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left[ \sum_{k=1}^{i-1} \left( \Delta X_{i-k} - \frac{i}{n} \Delta X_{B-k} \right)^2 + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta X_{B-k}^2 \right] + \\ &+ m_D^2 \left[ \left( 1 - \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^i \sin^2 \theta_k + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=i+1}^n \sin^2 \theta_k \right]\end{aligned}\tag{5.131}$$

Aceste relații permit pe lângă calculul erorilor medii pătratice ale coordonatelor punctului de control  $i$  și calculul componentelor acestor erori datorită erorilor unghiulare și liniare de măsurare. Eroarea medie pătratică în poziția punctului de control  $i$  va fi:

$$m_i = \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2}\tag{5.132}$$

Deoarece componentele vectorului deplasării construcției sunt reprezentate explicit de coordonatele rectangulare rezultate din cele două cicluri de măsurători, erorile medii pătratice ale componentelor deplasării orizontale a construcției vor fi exprimate de relațiile:

$$m_{\Delta X_i} = \pm \sqrt{m_{X_i^1}^2 + m_{X_i^0}^2}, m_{\Delta Y_i} = \pm \sqrt{m_{Y_i^1}^2 + m_{Y_i^0}^2} \quad 5.133$$

În funcție de erorile de-a lungul axelor de coordonate, se calculează eroarea medie pătratică a vectorului deplasării orizontale a punctului de control  $i$  cu relația următoare:

$$m_{L_i} = \sqrt{m_{\Delta X_i}^2 + m_{\Delta Y_i}^2} \quad 5.134$$

Pe baza analizării relațiilor definite, creșterea preciziei de determinare a deplasării orizontale a construcțiilor, prin metoda drumuirii planimetrice de precizie, este posibilă numai prin creșterea preciziei de determinare a mărimilor unghiulare, erorile măsurătorilor liniare influențând într-o foarte mică măsură precizia. Precizia de măsurare a elementelor liniare este de 1:2000, fapt ceea ce conduce la nerepetarea măsurătorilor liniare în ciclurile ulterioare ciclului de referință.

Influența fundamentală asupra determinării deplasărilor orizontale ale punctelor de control revine așadar variației unghiurilor orizontale. De aceea, în cadrul metodei de determinare a deplasării punctului de control, valorile obținute sunt direct influențate de diferențele unghiurilor orizontale.

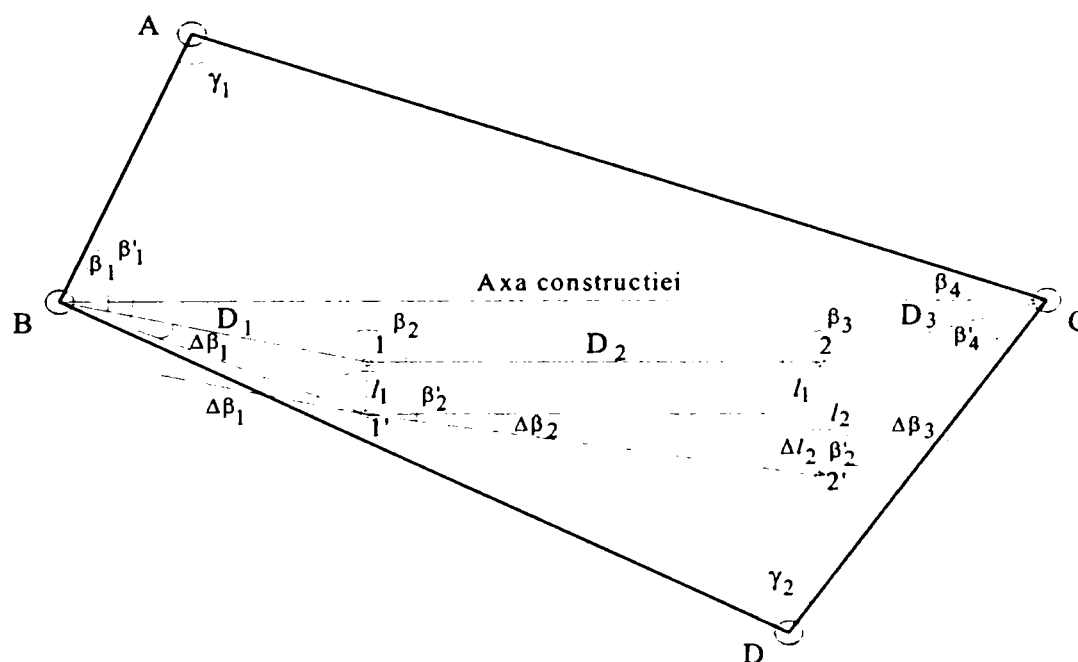


Figura 5.40 Deplasările orizontale ale punctelor de control

Punctele de control s-au deplasat din poziția inițială 1 și 2, în poziția actuală 1' și 2' (figura 5.40). La modificările mici ale unghiurilor orizontale măsurate, lungimile laturilor practic nu se schimbă astfel încât, ele se vor considera constante în toate ciclurile de observații. Deplasările orizontale ale punctelor de control, de pe construcția studiată vor fi exprimate de relațiile:

$$l_1 = D_1 \frac{\Delta\beta_1^{cc}}{\rho^{cc}}$$

$$l_2 = l_1 + \Delta l_2 = l_1 + D_2 \frac{\Delta\beta_2^{cc}}{\rho^{cc}}$$

.....

$$l_n = l_{n-1} + \Delta l_n = l_{n-1} + D_n \frac{\Delta\beta_n^{cc}}{\rho^{cc}}$$

Diferențele unghiulare sunt date de formulele:

$$\Delta\beta_1^{cc} = (\beta_1' - \beta_1) = \delta\beta_1^{cc}$$

$$\Delta\beta_2^{cc} = (\beta_2' - \beta_2) + \Delta\beta_1^{cc} = \delta\beta_2^{cc} + \Delta\beta_1^{cc}$$

.....

$$\Delta\beta_n^{cc} = (\beta_n' - \beta_n) + \Delta\beta_{n-1}^{cc} = \delta\beta_n^{cc} + \Delta\beta_{n-1}^{cc}$$

Eroarea medie pătratică a deplasării orizontale a punctului de control,  $n$ , admițându-se că unghiurile au fost măsurate cu aceeași precizie, va fi exprimată cu relația:

$$m_{l_n}^2 = m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2 + \dots + m_{l_{n-1}}^2 + \frac{m_{\Delta\beta}^2}{\rho^2} D_n^2 = \frac{2m_{\beta}^2}{\rho^2} (D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2)$$

În cazul în care s-au deplasat și punctele de sprijin ale drumuirii, diferențele unghiulare trebuie corectate. Dacă punctul de sprijin s-a deplasat din poziția  $B$  în  $B'$  se determină componentele deplasării pe cele două axe,  $\delta x_B$  și  $\delta y_B$ , față de punctele fixe ale rețelei de microtriangulație.

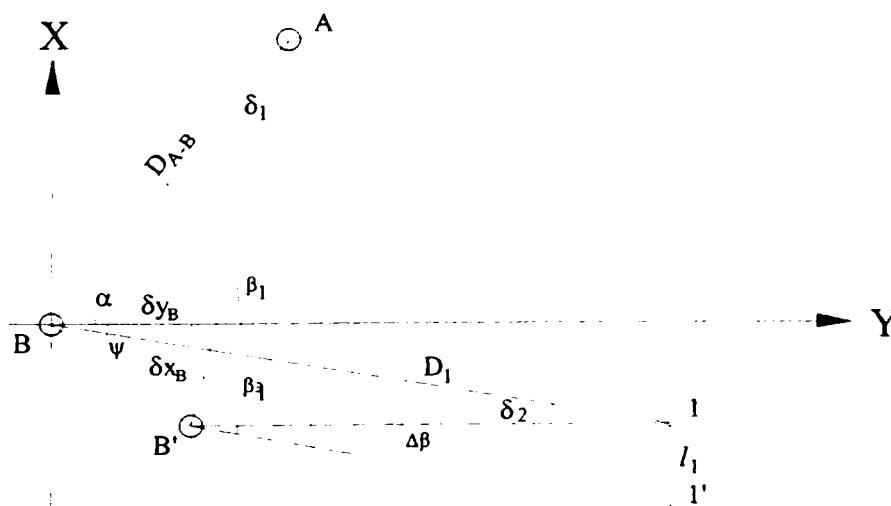


Figura 5.41 Deplasarea punctului B în poziția actuală B'

Din notațiile figurii de mai sus, se pot scrie următoarele relații:

$$l = \sqrt{\delta x_B^2 + \delta y_B^2} \text{ si } \psi = \arctg \frac{\delta x_B}{\delta y_B}$$

Se calculează abaterile transversale ale punctului de sprijin  $B'$  față de direcțiile  $AB$  și  $lB$  cu relațiile:

$$\begin{aligned} h_A &= l \sin(\alpha + \psi) \\ h_1 &= l \sin[\psi - (\beta_1 - \alpha)] \end{aligned} \quad 5.139$$

În funcție de abaterile transversale se calculează unghiurile sub care se observă cele două abateri:

$$\begin{aligned} \delta_1^{cc} &= \rho^{cc} \frac{h_A}{D_{AB}} \\ \delta_2^{cc} &= \rho^{cc} \frac{h_1}{D_1} \end{aligned} \quad 5.140$$

Unghiul orizontal măsurat în ciclul actual, va fi exprimat prin:

$$\beta_1' = \beta + \delta_1^{cc} - \delta_2^{cc} + \Delta\beta_1^{cc} \quad 5.141$$

Rezultă diferența unghiulară corectată din cauza deplasării punctului de sprijin B:

$$\Delta\beta_1^{cc} = (\beta_1' - \beta_1) + (\delta_2^{cc} - \delta_1^{cc}) \quad 5.142$$

Indiferent de metoda de determinare a vectorilor deplasărilor și deformațiilor orizontale ale tuturor punctelor de control, de pe construcția studiată, în final se întocmesc tabele, fișe și grafice. Pe baza datelor pe care le cuprind, se poate face o apreciere precisă asupra parametrilor ce caracterizează eforturile și deformațiile construcției supuse observației.

## 5.5 Metoda microtrilaterației

Metoda microtrilaterației (măsurarea lungimilor laturilor unei rețele liniare), se dovedește foarte indicată la măsurarea deplasărilor orizontale ale punctelor de pe suprafața terenurilor cu pericol de alunecare sau a terenurilor de construcții supuse unor experimente speciale, ale punctelor de pe suprafața plăcilor de beton armat supuse diverselor cercetări.

Rețelele liniare care ar putea fi folosite pentru cercetări periodice ale obiectivelor de suprafață se proiectează sub forma unor rețele constituite din lanțuri de triunghiuri sau dreptunghiuri. În acest caz, elementele măsurate periodic în ciclurile de observații sunt toate laturile rețelei și diagonalele acesteia.

Punctele de suprafață ce se examinează trebuie să fie astfel materializate încât deplasările acestor puncte să reprezinte chiar deplasarea terenului înconjurător. Întreaga rețea constituită trebuie să fie legată de puncte din exteriorul zonei, considerate fixe și neinfluențate de alți factori perturbatori.

În cazul obiectivelor alungite și înguste, rețeaua se poate transforma într-un lanț de patrulare liniare. Prin dezvoltarea tehnologiilor de măsurare electrooptică și folosirea aparatelor electronice de măsurat distanțe, metoda trilaterăției se poate utiliza pe scară largă cu rezultate foarte bune.

Aplicarea metodei microtrilaterăției pentru determinarea deplasărilor orizontale ale obiectivelor supuse observărilor periodice se poate face prin una din următoarele metode:

- determinarea deplasărilor orizontale utilizând rețelele liniare;
- determinarea deplasărilor orizontale folosind poligonul cu săgeți.

### 5.5.1 Determinarea deplasărilor orizontale utilizând rețelele liniare

Pentru exemplificarea metodei se va considera o porțiune dintr-o rețea de măsurare în care poziția reciprocă a punctelor a fost determinată prin intermediul măsurării de două ori a lungimilor laturilor și diagonalelor rețelei (figura 5.42).

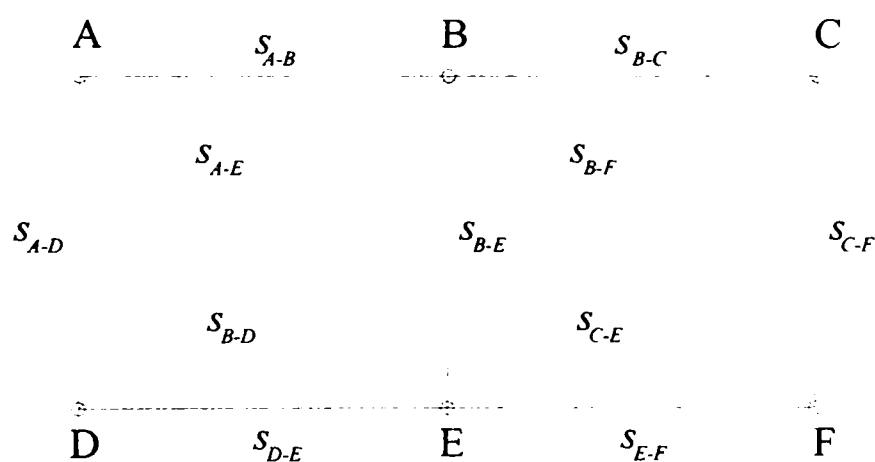


Figura 5.42 Rețea de urmărire liniară (microtrilaterația)

Se fac următoarele notații:

$s$  – distanța orizontală între două puncte, determinată pe baza măsurării inițiale;

$s'$  – distanța orizontală între aceleași puncte determinată pe baza măsurării actuale;

$v$  – corecția de observație la măsurătoarea inițială;

$v'$  – corecția de observație la măsurarea actuală;

$\Delta_s$  - modificarea distanței orizontale  $s$  în perioada de timp dintre cele două măsurători.

### 5.5.2 Determinarea deplasărilor orizontale utilizând poligonul cu săgeți

Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de stație prin intermediul poligonului cu săgeți, reprezintă un caz particular al rețelelor liniare, specific pentru determinarea deplasărilor obiectivelor înguste și alungite. Principiul acestui procedeu constă în determinarea săgeților (deplasării de la axa obiectivului studiată) elementelor construite sau a construcției în totalitatea sa. Termenii liberi și ponderile aferente acestora primesc din cauza înlocuirii măsurătorilor unghiulare cu măsurătorile liniare ale săgeților o formă particulară.

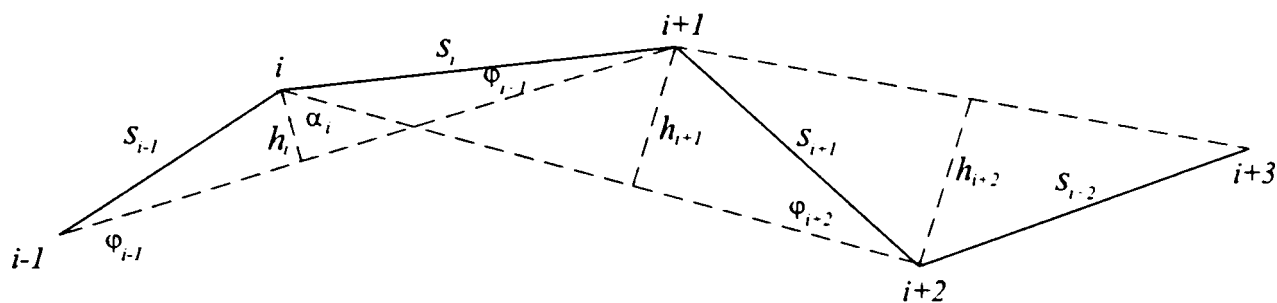


Figura 5.43 Poligonul cu săgeți

Se consideră o drumuire poligonală, în care în locul unghiurilor  $\alpha$  se vor determina pe baza măsurătorilor inițiale, lungimea săgeții  $h$ , precum și lungimile laturilor  $s_1$  și  $s_2$ , iar la măsurarea actuală se determină  $h'$ ,  $s'_1$  și  $s'_2$ .

Pe baza măsurătorilor efectuate se pot scrie următoarele ecuații:

$$\alpha = 200 - (\varphi_1 + \varphi_2) = 200 - \psi \quad 5.143$$

$$\alpha' = 200 - (\varphi'_1 + \varphi'_2) = 200 - \psi'$$

$$\lambda = \alpha - \alpha' = (200 - \psi) - (200 - \psi') \quad 5.144$$

$$\lambda = \psi' - \psi = (\varphi'_1 + \varphi'_2) - (\varphi_1 + \varphi_2)$$

După introducerea elementelor măsurate direct, expresia lui  $\lambda$  se poate scrie astfel:

$$\lambda = \left( \arcsin \frac{h'}{s'_1} + \arcsin \frac{h'}{s'_2} \right) - \left( \arcsin \frac{h}{s_1} + \arcsin \frac{h}{s_2} \right) \quad 5.145$$

Din figura poligonului cu săgeți se poate scrie următoarea relație:

$$\sin \psi' = \sin(\varphi'_1 + \varphi'_2) = \frac{h'}{s'_1} \sqrt{1 - \left(\frac{h'}{s'_2}\right)^2} + \frac{h'}{s'_2} \sqrt{1 - \left(\frac{h'}{s'_1}\right)^2} \quad 5.146$$

Transformând expresia în funcție de valorile  $a'$ ,  $b'$  și  $h'$  se obține:

$$\sin \psi' = \frac{h'}{s'_1 \cdot s'_2} \cdot (a' + b') = \frac{h' \cdot l'}{s'_1 \cdot s'_2} \quad \text{și} \quad \sin \psi = \frac{h}{s_1 \cdot s_2} \cdot (a + b) = \frac{h \cdot l}{s_1 \cdot s_2} \quad 5.147$$

Aceste relații sunt valabile pentru oricare mărime ale unghiurilor poligonale și oricare lungimi ale laturilor lor.

## 5.6 Concluzii

Am constatat că metodele topo-geodezice și aplicarea acestora la studiul și urmărirea comportării în timp a construcțiilor sunt foarte variate și răspund problemelor vaste pe care ingineria civilă le ridică. Totodată, aceste metode sunt o componentă esențială în determinarea calității unei construcții, mai ales modul în care aceasta se comportă în timp, sau cu alte cuvinte, modul în care o construcție îndeplinește cerințele de proiectare și se înscrie în valorile pe care proiectantul le-a luat în considerare.

De asemenea, se poate trage concluzia că în unele cazuri (cele mai multe dintre ele), metodele topo-geodezice sunt singurele metode prin care se poate determina poziția spațială a unor puncte de pe construcție la diferite momente date.

O importanță deosebită în determinarea valorilor reale ale deplasărilor unei construcții supuse solicitărilor o are modul în care punctele (atât cele de pe obiectul examinat cât și punctele de referință) sunt materializate, conservate și modul în care acestea alcătuiesc rețeaua de referință și rețeaua de observație. *Semnalul de alarmă care trebuie tras este acela că esteticul poate să sufere în detrimentul siguranței.*

Datorită diversității mari de metode topo-geodezice și a problemelor la care acestea răspund, precum și de situația întâlnită pe teren, metodele se pot combina între ele oferind posibilități de interpretare și comparare a rezultatelor obținute, fapt care conduce la o estimare mult mai relevantă a modului în care se determină deplasările efective.

Pe baza materialului studiat am concluzionat că fenomenul de instabilitate și deformabilitate al terenurilor și construcțiilor reprezintă o problemă încă neelucidată în totalitate. În acest sens, metodele și instrumentele topografice în continuă perfecționare își aduc un aport hotărâtor în rezolvarea problemelor legate de comportarea și evoluția în timp a obiectelor de pe suprafața terestră.

Garantarea unei funcționări optime și îndelungate în timp, condiții de siguranță, precum și îndeplinirea scopului pentru care o construcție a fost proiectată este strict asociată cu un program de urmărire a tasărilor în timp folosind variantele de metode prezentate în acest capitol.

## Capitolul 6. STUDII DE CAZ

### 6.1 Studiu asupra Coș de Fum, fabrica de vagoane ASTRA din Arad.

Denumire: COȘ DE FUM  
Locul construcției: Arad  
Beneficiar: SC ASTRA VAGOANE SA  
Categorია de importanță: C (conf.Ord.MLPAT 31N / 1995).

Conform Regulamentului privind stabilirea categoriei de importanță a construcțiilor aprobat prin H.G.R.nr.766/1997, clădirea se încadrează la categoria C, construcții de importanță normală.

Tabel 6.1

Factor determinant		Punctaj			
Denumire	Punctaj P(n)	Coef. de unicitate K(n)	Criterii asociate		
			p(i) execuția	p(ii)per-formanțe	p(iii)ex-ploatare
1.Importanța vitală	2	1	1	2	2
2.Imp.soc.ec.+culturală	5	1	4	4	5
3.Implicare ecologica	2	1	1	2	2
4.Necesit. luării în considerare a duratei de expl.	1	1	1	1	1
5.Necesit. adapt. la cond. locale și de mediu	1	1	1	1	1
6.Volum de muncă și de materiale necesare	4	1	3	4	4

**Total punctaj Pn = 15**, ceea ce corespunde la categoria de importanță normală (C)

Coșul de fum existent a fost construit pentru centrala termică a uzinei de vagoane în 1915 și continuă să fie utilizat. Coșul este din zidarie de cărămidă.

Partea inferioară are formă octogonală tronconică, care continuă cu formă circulară tronconică. Coșul are un brâu ornamental la trecerea dela forma octogonală la circulară și alt brâu la partea superioară. Pe înălțimea coșului sunt inele metalice exterioare și o scară exterioară.

Ca și cunoștințe apriorice asupra obiectivului am constatat următoarele caracteristici tehnice ale construcției:

-cota de fundare este situată la -3,70 m față de cota terenului;



- fundatiia are dimensiuni în plan 7,2 x 7,2 m;
- înălțimea coșului este 59,30 m;
- diametru exterior la vârful acestuia este de 2,58 m;
- diametru la +1,3 m de la nivelul terenului este 5.04 m;
- diametrul interior este constant până la cota +14,00 m. Pe această înălțime este zidărie de protecție cu grosime de 12 cm. Între zidăria de protecție și zidăria coșului este un spațiu liber de cca.12 cm;
- între cotele +1,30 și +8,80 m coșul are formă octogonală. Grosimea zidăriei la partea inferioară este de 62 cm și la partea superioară de 52 cm;
- între cotele +8,80 și +14,00 m grosimea zidăriei este 47 cm;
- între cotele +14,00 și +15,80 m avem zidărie îngroșată (cca.60 cm);
- între cotele +15,8 și +22,8 m grosimea zidăriei este de 41 cm;
- între cotele +22,8 și +29,8 m grosimea zidăriei este de 36 cm;
- între cotele +29,8 și +36,8 m grosimea zidăriei este de 30 cm;
- între cotele +36,8 și +43,8 m grosimea zidăriei este de 25 cm;
- între cotele +43,8 și +50,8 m grosimea zidăriei este de 20 cm.

Ca și cunoștințe apriorice asupra cauzelor care ar fi putut genera deplasări și deformații ale obiectului studiat am luat în considerare șocul dat de forțele care acționează în timpul cutremurului asupra pământurilor din care este alcătuit terenul de fundare și efectul pe care acestea le pot avea asupra construcțiilor, astfel, în zona Aradului cutremurele semnificative au fost:

- ⇒ 19.10.1794 Magnitudine = 4,7;
- ⇒ 15.10.1847 M = 4,7;
- ⇒ 17.10.1859 M = 4,7;
- ⇒ 10.10.1879 M = 5,3;
- ⇒ 02.04.1901 M = 5,0;
- ⇒ 29.05.1959 M = 5,0;
- ⇒ 12.07.1991 M = 5,7;
- ⇒ 18.07.1991 M = 5,6;

Pentru determinarea înclinării coșului de fum am propus și executat la fața locului metoda măsurării unghiurilor orizontale la diferite înălțimi ale coșului din două puncte de bază. Pentru o redare cât mai sugestivă a înclinării construcției am efectuat măsurătoarea unghiurilor orizontale în șase orizonturi și anume:

- ⇒ Orizontul 1 este considerat la +1.30 m deasupra solului.
- ⇒ Orizontul 2 este considerat la +8.80 m deasupra solului.
- ⇒ Orizontul 3 este considerat la +14.00 m deasupra solului.
- ⇒ Orizontul 4 este considerat la +30.00 m deasupra solului.
- ⇒ Orizontul 5 este considerat la +43.80 m deasupra solului.
- ⇒ Orizontul 6 este considerat la +43.80 m deasupra solului

Stația numărul unu din care s-au făcut măsurătorile este amplasată la o distanță de 43 m față de coșul studiat asigurându-se toate condițiile de vizibilitate și conservare a punctului de stație.

Stația a doua am aplatat-o pe o direcție aproximativ perpendiculară pe direcția stație 1 –coș la o distanță de 40 m față de coșul determinat, figura 6.1.

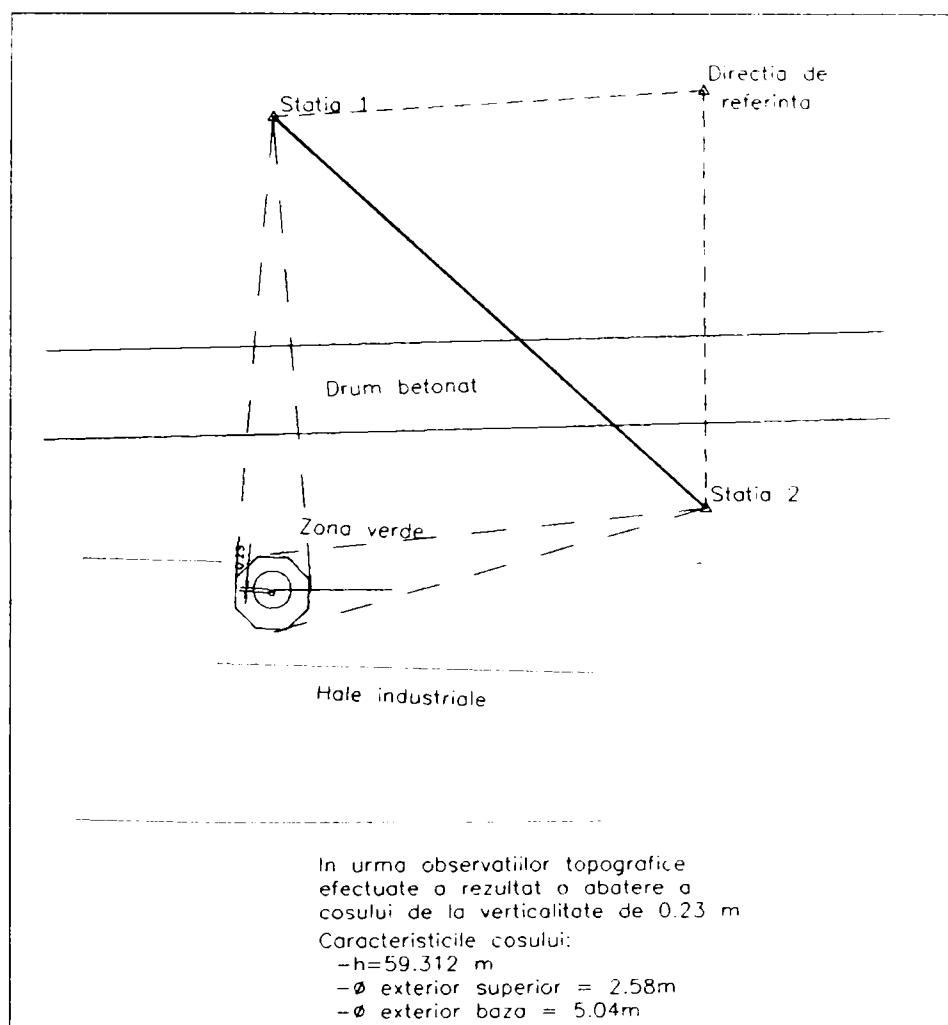


Figura 6.1. Schița dispunerii rețelei de urmărire

Pentru a elimina erorile de măsurare și poziționare s-a propus ca direcția de referință să fie aceeași pentru ambele stații. De asemenea, distanțele între punctele de stație și direcția de referință și respectiv punctele de stație și obiectul examinat a fost apropiată ca mărimi pentru a nu se umbla în timpul măsurătorilor la focusarea lunetei aparatului de măsurat.

Din cauză că măsurătorile s-au efectuat în perioada de vară (luna mai a anului 2005) am propus ca ora de începere a măsurătorilor sa fie 9.00 AM și aceasta pentru a elimina erorile datorate încălzirii inegale a părților expuse la soare, fapt care produce dilatări inegale ale corpului studiat și poate influența rezultatul studiului efectuat.

În urma determinărilor efectuate am construit o diagramă a înclinărilor respectiv a deformațiilor și crăpăturilor coșului de fum, alegând scara deplasării 10:1 față de scara elementelor proiectate pe un plan orizontal. Astfel, în figura alăturată se poate observa și scoate în evidență faptul că există o deplasare neuniformă (înclinare) a structurii coșului având o valoare de 0.23 m față de verticala acestuia.

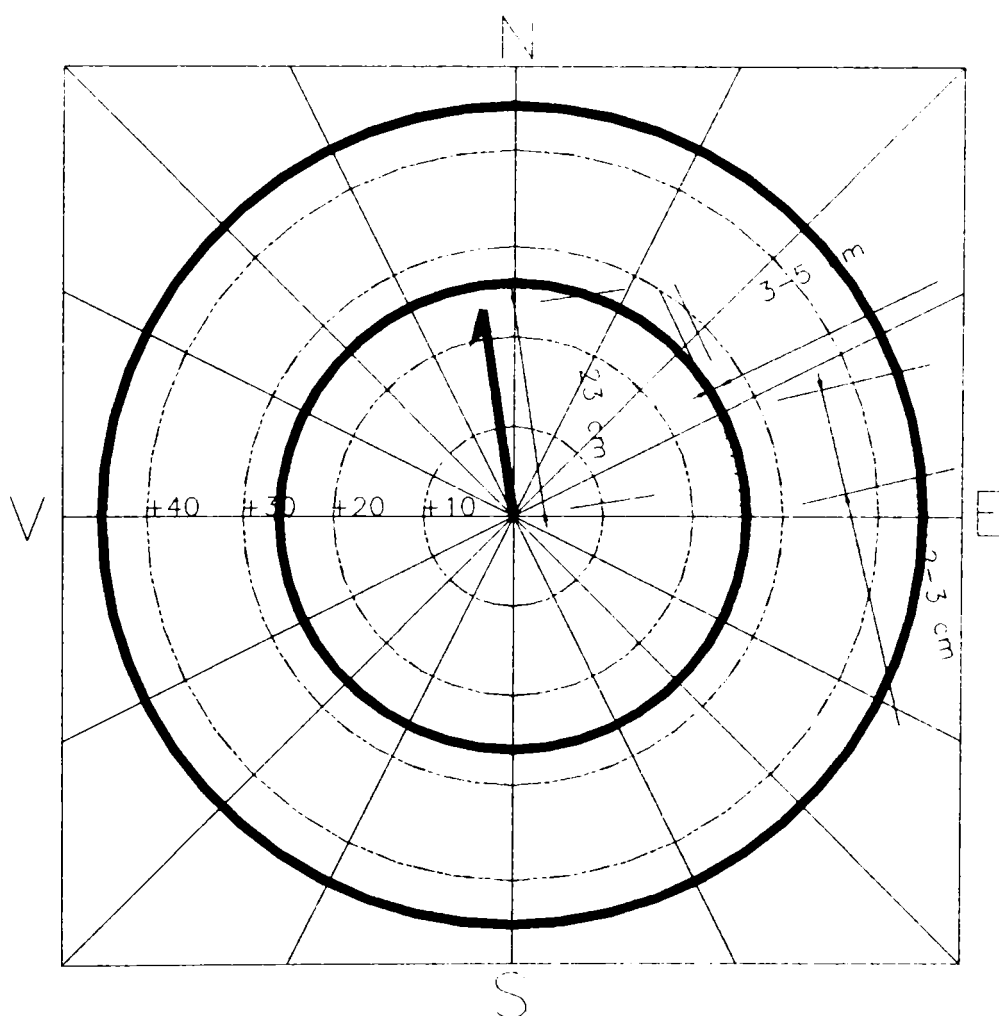


Figura 6.2 Diagrama deplasărilor proiectate pe un plan orizontal

Pentru o reprezentare cât mai fidelă a înclinării am construit secțiunea verticală pe direcția deplasării și am obținut următoarea reprezentare grafică:

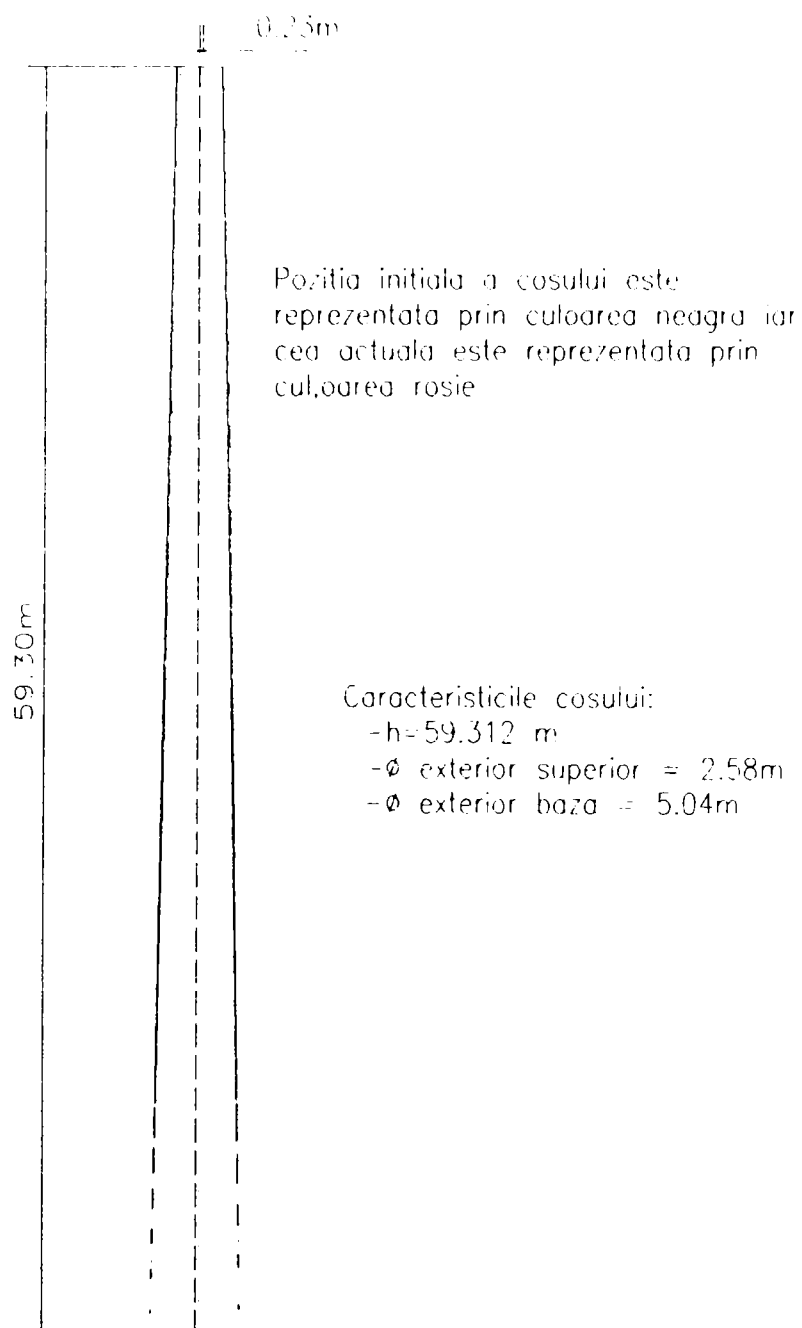


Figura 6.3. Secțiune verticală prin coșul de fum pe direcția înclinării

## **6.2. Determinarea deplasărilor orizontale și verticale la suprastructura căii de rulare a mașinii de cărbune de 1200 t/h din cardul CET Sud Timișoara**

### **6.2.1. Date generale și scurt istoric**

Beneficiarul solicită expertizarea elementelor căii de rulare a utilajului, având în vedere dezaxările și denivelările șinei căilor de rulare, fapt care a generat dificultăți de funcționare a mașinii de preluare și stivuire a cărbunelui.

De asemenea, se pune problema siguranței în exploatare atât a utilajului, utilaj care funcționează în regim greu, cât și din punct de vedere a căii de rulare și a fundației de beton armat a acesteia, care prezintă modificări de ecartament, aliniament și deplasări pe verticală.

Din informațiile primite de la beneficiarul Termocentralei CET Sud Timișoara, în perioada de exploatate din 1982 până în prezent, nu s-au efectuat studii și cercetări asupra construcției și fundația căii de rulare și calea de rulare nu au suferit nici un fel de intervenție.



**Figura 6.4 Mașina de cărbune de 1200 t/h din cardul CET Sud Timișoara**

Construcția este de tip “ingineresc”, cu o structură de rezistență realizată din fundație de beton armat rezemată pe mediu elastic.

Calea de rulare deservește un utilaj denumit ”**Mașină de preluat cărbune nr. 1 de 1200 t/h**”, care preia carbunele și îl încarcă pe banda transportoare, pentru alimentarea Termocentralei-CET Sud Timișoara.

Utilajul care circulă pe calea de rulare este o “**Mașina de preluat și stivuit carbune**” cu un regim de transport de 1200 t/h, tip T 3214, având un braț de 35 m și cântărind 460 de tone.

Roata cupei are un diametru de 4500 mm, cu 8 cupe, utilajul circulând cu o viteză de 18m/min.

Utilajul are 4 boghiuri cu un număr total de 8 (opt) roți de rulare, câte 2/boghiu.

Fundația căii de rulare, este realizată din beton armat prefabricat, având o suprabetonare de 32 cm pentru fixarea căii de rulare de fundație, având prinderile șinelor la calea de rulare la 70-80 cm, în medie, cu variații nesemnificative între distanțe.

Fundația are lățimea de 50 cm la partea superioară, iar la talpa fundației 125 cm, fiind la nivelul terenului, sau în unele porțiuni sub această cotă, fiind acoperită în majoritatea lungimii grinzilor de rulare de către un strat de pulbere de cărbune.

În imaginile de mai jos am prezentat modul de alcătuire al căii de rulare.



Figura 6.5 Aspect al căii de rulare și al mașinii de extracție cărbune nr. 1



Figura 6.5 Aspect al căii de rulare și a benzii transportoare a mașinii de extracție cărbune nr. 1 de la CET Sud Timișoara.

### 6.2.2. Date privind natura terenului de fundare și studii geotehnice asupra acestuia

În lungul căii de rulare s-au executat 5 (cinci) foraje geotehnice F1, F2, F3, F4, F5 și 10 (zece) penetrări dinamice ușoare, respectiv PDU 1 ... PDU 10.

Din punct de vedere seismic, amplasamentul este încadrat în zona "D", cu  $T_c=1,0$  sec, și  $K_s=0,16$ , conform hărții de zonare seismică a României cuprinsă în Normativul P 100-92, pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale.

Terenul de fundare este alcătuit dintr-o succesiune de pământuri nisipoase a căror grad de îndesare este de  $I_D = 0,47 \dots 0,56$ . **Aceste valori ale gradului de îndesare corespund unei stări de îndesare medie a terenului de fundare.**

Se constată că starea de îndesare medie a terenului de fundare, precum și caracterul dinamic al solicitărilor transmise terenului de fundare de către mașină au avut drept consecință

apariția unor tasări neuniforme în lungul căii de rulare, precum și deplasări pe orizontală a șinelor de rulare.

Pe baza încercărilor de teren prin penetrare dinamică cu con s-au trasat următoarele diagrame (figura 6.6)

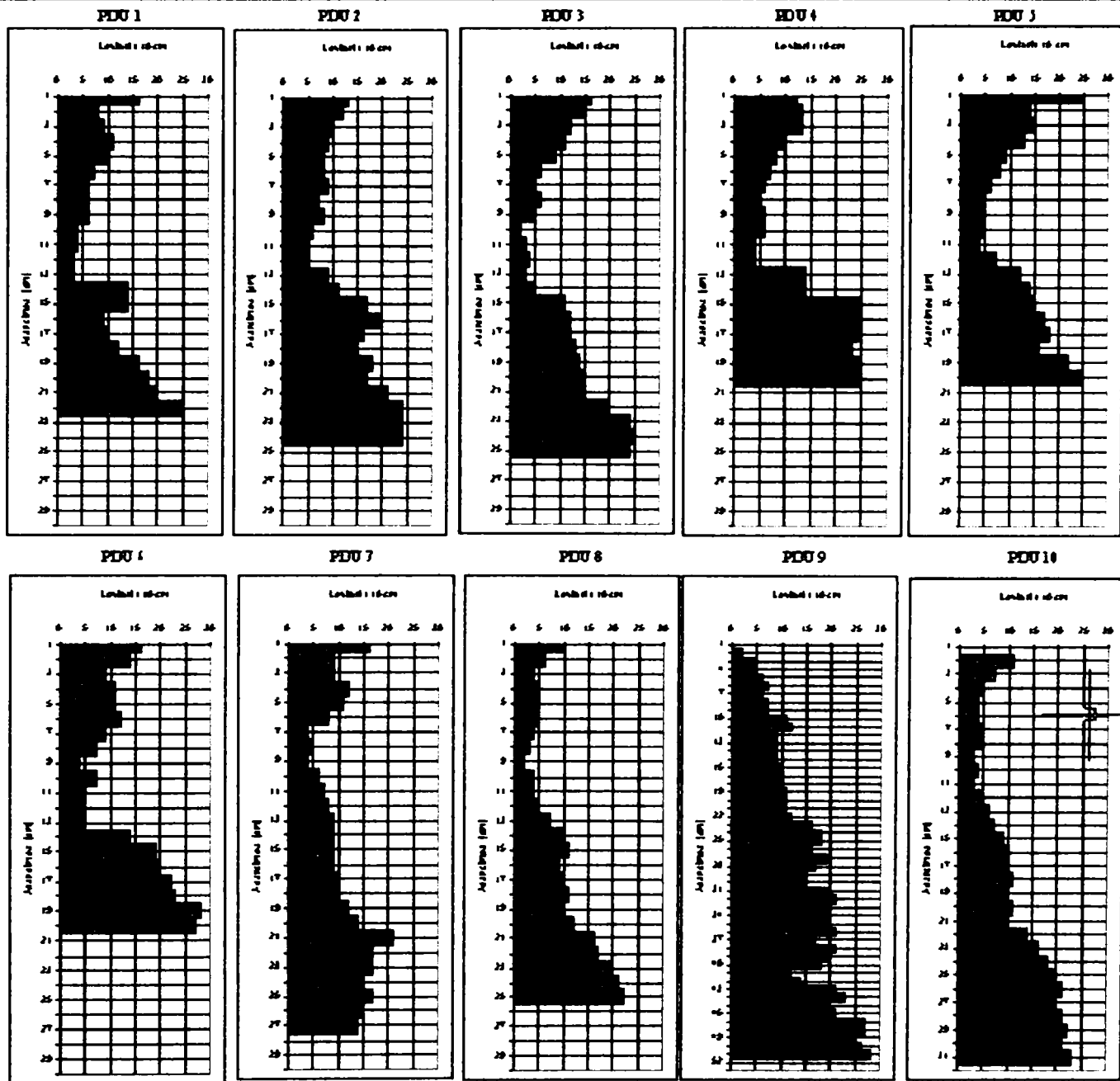


Figura 6.6 Diagramele încercărilor de teren prin penetrare dinamică cu con

Se poate observa pe planul de situație dispunerea încercărilor de teren prin penetrare dinamică cu con (figura 6.7)





Figura 6.7 Extras din planul de situație

Pentru determinarea deplasărilor atât cele verticale cât și deplasările pe orizontala am executat trei cicluri de măsurători, rezultatele acestora fiind concretizate în profilurile și diagramele de mai jos.

Valorile compensate ale diferențelor de nivel pe cele două fire sunt date în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

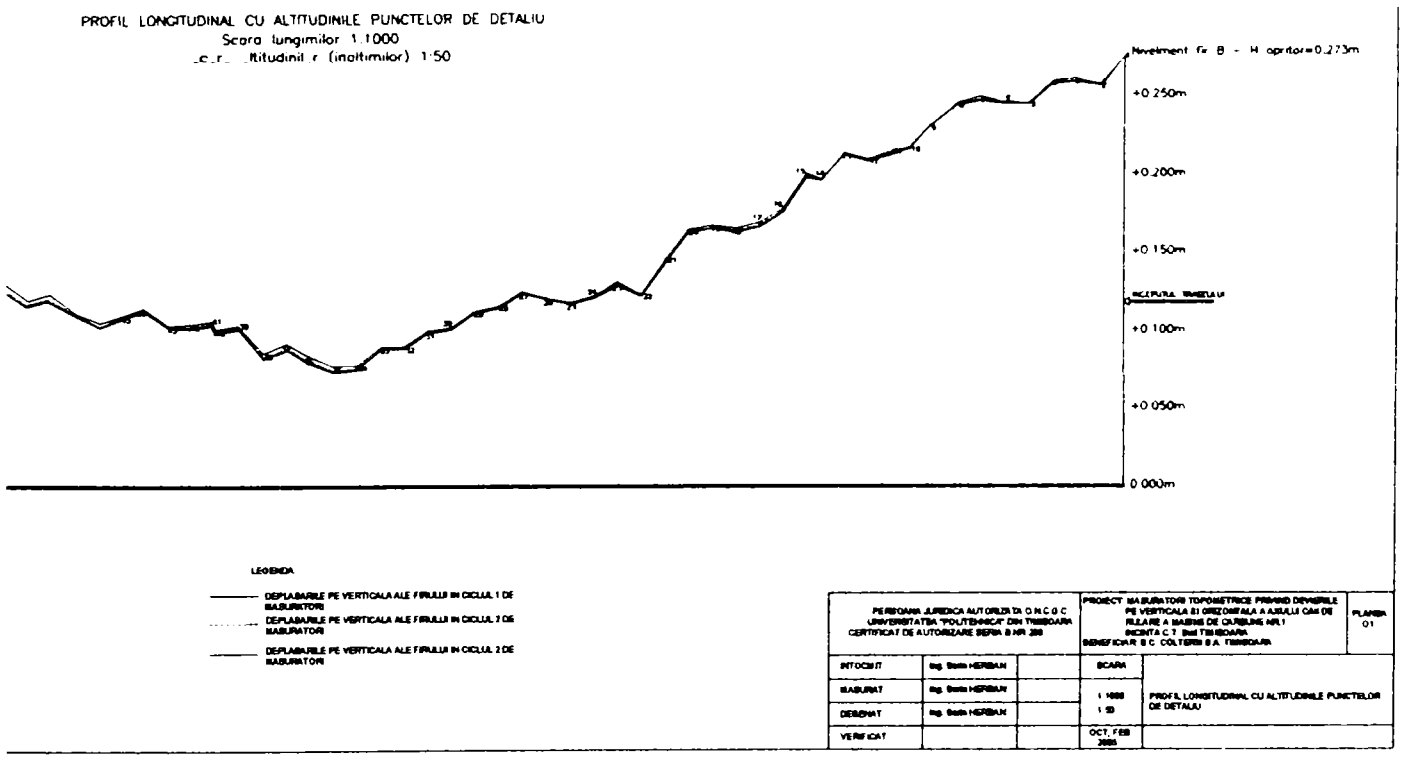
FIR A				FIR B			
Număr curent	Ciclul I dh (comp) mm	Ciclul II dh (comp) mm	Ciclul III dh (comp) mm	Număr curent	Ciclul I dh (comp) mm	Ciclul II dh (comp) mm	Ciclul III dh (comp) mm
1	0.000	0.000	0.000	1	0.013	0.013	0.013
2	-0.014	-0.015	-0.015	2	-0.005	-0.005	-0.006
3	-0.019	-0.020	-0.020	3	-0.001	-0.008	-0.008
4	-0.021	-0.021	-0.021	4	-0.001	-0.006	-0.006
5	-0.018	-0.022	-0.022	5	-0.018	-0.015	-0.018
6	-0.027	-0.031	-0.032	6	-0.015	-0.015	-0.018
7	-0.025	-0.031	-0.032	7	-0.012	-0.018	-0.021
8	-0.031	-0.037	-0.039	8	-0.017	-0.027	-0.03
9	-0.050	-0.057	-0.059	9	-0.031	-0.035	-0.038
10	-0.053	-0.057	-0.059	10	-0.045	-0.048	-0.048
11	-0.062	-0.062	-0.064	11	-0.047	-0.05	-0.05
12	-0.061	-0.070	-0.072	12	-0.052	-0.055	-0.0565
13	-0.066	-0.066	-0.068	13	-0.048	-0.05	-0.06
14	-0.078	-0.088	-0.090	14	-0.066	-0.073	-0.0745
15	-0.089	-0.098	-0.098	15	-0.061	-0.07	-0.07
16	-0.098	-0.105	-0.115	16	-0.085	-0.088	-0.088
17	-0.105	-0.105	-0.115	17	-0.093	-0.1	-0.111
18	-0.104	-0.108	-0.118	18	-0.096	-0.1	-0.111
19	-0.107	-0.127	-0.140	19	-0.094	-0.102	-0.109
20	-0.105	-0.145	-0.155	20	-0.098	-0.108	-0.115

21	-0.121	-0.132	-0.142	21	-0.115	-0.128	-0.128
22	-0.126	-0.133	-0.145	22	-0.138	-0.139	-0.144
23	-0.143	-0.156	-0.167	23	-0.131	-0.147	-0.152
24	-0.157	-0.157	-0.157	24	-0.14	-0.156	-0.161
25	-0.167	-0.177	-0.177	25	-0.143	-0.159	-0.164
26	-0.159	-0.165	-0.165	26	-0.14	-0.156	-0.161
27	-0.153	-0.166	-0.166	27	-0.136	-0.147	-0.152
28	-0.154	-0.188	-0.188	28	-0.145	-0.156	-0.167
29	-0.160	-0.176	-0.176	29	-0.149	-0.16	-0.171
30	-0.162	-0.167	-0.167	30	-0.159	-0.17	-0.181
31	-0.168	-0.179	-0.179	31	-0.161	-0.171	-0.171
32	-0.169	-0.188	-0.188	32	-0.171	-0.171	-0.171
33	-0.165	-0.182	-0.172	33	-0.171	-0.175	-0.175
34	-0.171	-0.189	-0.189	34	-0.184	-0.189	-0.19
35	-0.166	-0.180	-0.188	35	-0.183	-0.183	-0.185
36	-0.174	-0.185	-0.185	36	-0.177	-0.177	-0.177
37	-0.167	-0.181	-0.183	37	-0.169	-0.179	-0.181
38	-0.163	-0.178	-0.178	38	-0.175	-0.186	-0.186
39	-0.149	-0.166	-0.166	39	-0.158	-0.178	-0.18
40	-0.149	-0.159	-0.159	40	-0.16	-0.17	-0.17
41	-0.150	-0.171	-0.171	41	-0.155	-0.162	-0.164
42	-0.145	-0.152	-0.152	42	-0.157	-0.159	-0.159
43	-0.138	-0.144	-0.144	43	-0.157	-0.157	-0.159
44	-0.149	-0.151	-0.151	44	-0.147	-0.151	-0.151
45	-0.152	-0.164	-0.164	45	-0.152	-0.152	-0.152
46	-0.149	-0.160	-0.160	46	-0.156	-0.156	-0.158
47	-0.147	-0.157	-0.157	47	-0.15	-0.153	-0.153
48	-0.148	-0.148	-0.148	48	-0.153	-0.153	-0.158
49	-0.142	-0.148	-0.148	49	-0.138	-0.139	-0.139
50	-0.123	-0.133	-0.133	50	-0.142	-0.143	-0.143
51	-0.122	-0.134	-0.134	51	-0.131	-0.133	-0.133
52	-0.125	-0.141	-0.149	52	-0.136	-0.138	-0.14
53	-0.127	-0.135	-0.138	53	-0.128	-0.137	-0.138
54	-0.120	-0.129	-0.129	54	-0.120	-0.128	-0.128
55	-0.116	-0.118	-0.118	55	-0.117	-0.121	-0.121
56	-0.097	-0.099	-0.099	56	-0.113	-0.119	-0.119
57	-0.097	-0.098	-0.098	57	-0.108	-0.111	-0.116
58	-0.092	-0.092	-0.092	58	-0.104	-0.104	-0.104
59	-0.090	-0.090	-0.090	59	-0.109	-0.108	-0.108
60	-0.090	-0.091	-0.091	60	-0.105	-0.105	-0.105
61	-0.086	-0.086	-0.086	61	-0.104	-0.104	-0.104
62	-0.079	-0.079	-0.079	62	-0.106	-0.106	-0.106
63	-0.074	-0.084	-0.085	63	-0.11	-0.109	-0.11
64	-0.067	-0.067	-0.067	64	-0.111	-0.109	-0.109
65	-0.063	-0.063	-0.063	65	-0.106	-0.106	-0.106
66	-0.068	-0.070	-0.070	66	-0.094	-0.094	-0.094
67	-0.055	-0.055	-0.055	67	-0.075	-0.075	-0.075

În urma măsurătorilor topo-geodezice efectuate am stabilit abaterile șinelor-șir A și B, prezentate în tabelul 7.1. ca valori minime și maxime, iar în ANEXA 1, sunt prezentate toate valorile.

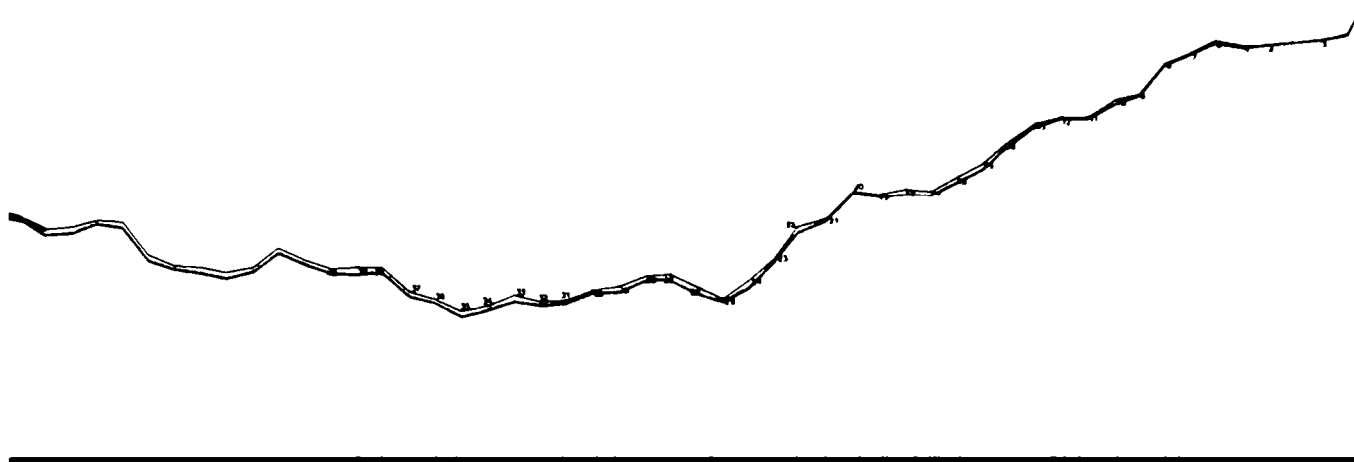
**Tabel 6.2 Abateri maxime cale**

Ciclu de Măsurare	FIR	DEVIERE SINA FATA DE ORIZONTALA mm		DEVIERE SINA FATA DE VERTICALA mm		ABATERI LA ECARTAMENT mm
		Int.	Ext.	Min.	Max.	
I	A	-45	+30	-14	-169	-36
	B	-36	+28	-14	-196	+15
II	A	-54	+43	-14	-177	-40
	B	-41	+33	-14	-213	+19
III	A	-58	+46	-14	-182	-40
	B	-46	+37	-14	-215	+22



**Figura 6.8 Reprezentarea deplasărilor pe verticala a Firului A**

PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU  
 Scara lungimilor 1.1000  
 Scara altitudinilor (inaltimilor) 1.50



LEGENDA

- DEPLASĂRILE PE VERTICALĂ ALE FIRULUI ÎN CILIU 1 DE MĂSURĂTORI
- - - DEPLASĂRILE PE VERTICALĂ ALE FIRULUI ÎN CILIU 2 DE MĂSURĂTORI
- DEPLASĂRILE PE VERTICALĂ ALE FIRULUI ÎN CILIU 2 DE MĂSURĂTORI

PERSONA JURIDICĂ AUTORIZATĂ A O.R.G.C.			PROIECT
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA			BENEFICIU
INTOCMIT	Ing. Stela HERBAN		
MĂSURAT	Ing. Stela HERBAN		
DESEINAT	Ing. Stela HERBAN		
VERIFICAT			OCT. FEB. 2005

Figura 6.9 Reprezentarea deplasărilor pe verticala a Firului B

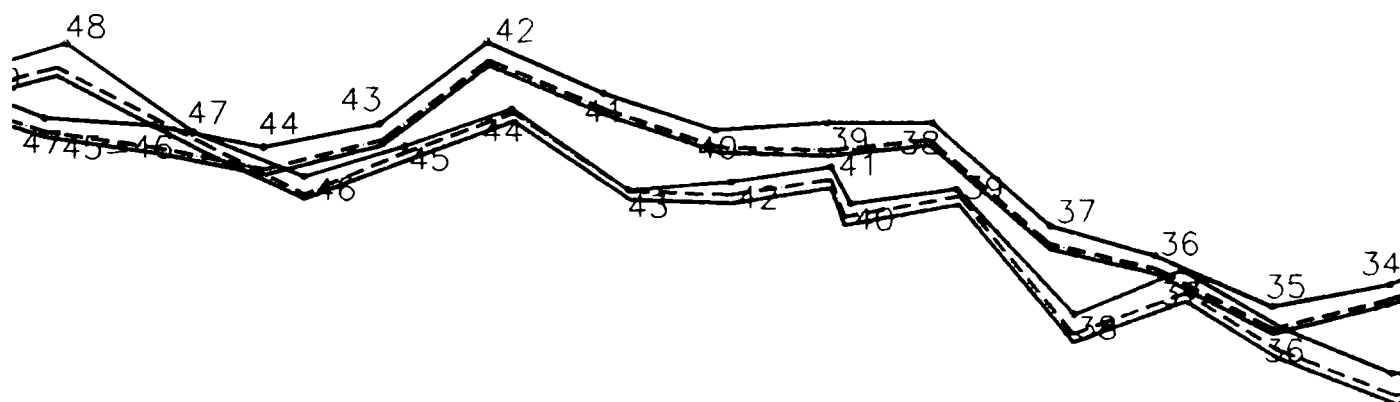


Figura 6.10 Reprezentarea deplasărilor pe verticală a Firului A și B și suprapunerea acestora

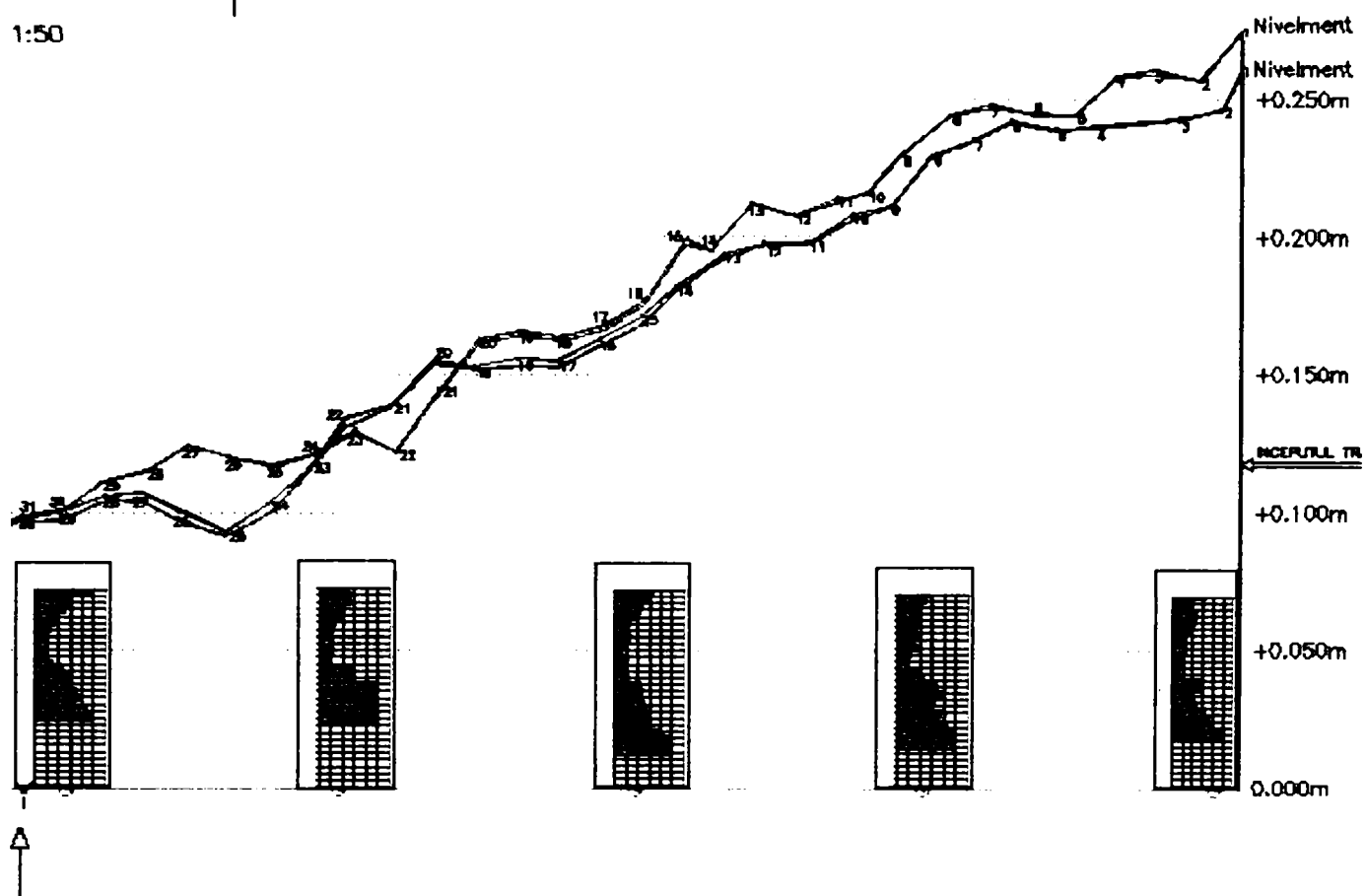


Figura 6.11 Reprezentarea Tasării ținând cont de rezultatele încercărilor cu PDU

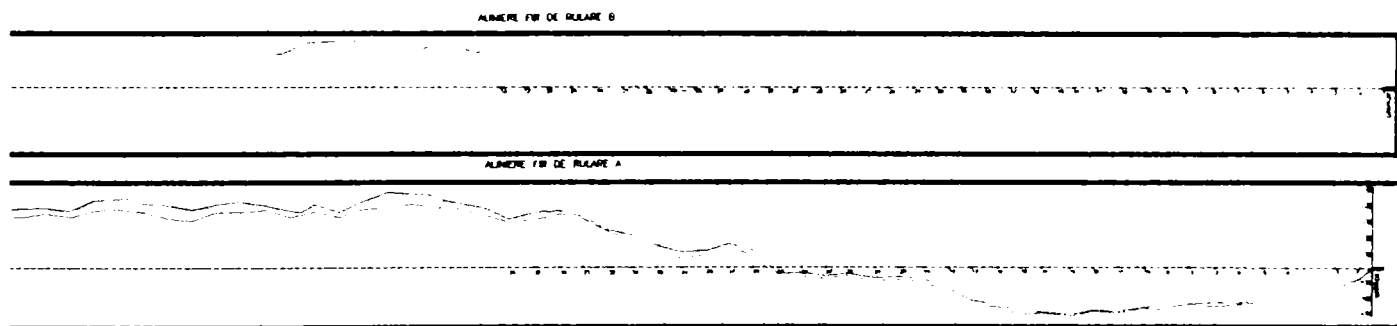


Figura 6.12 Reprezentarea deplasărilor orizontale in cele trei cicluri de măsurare.

Pentru o reprezentare mai sugestivă a tasărilor am propus și realizat graficele de tasare a celor două fire de șină astfel:

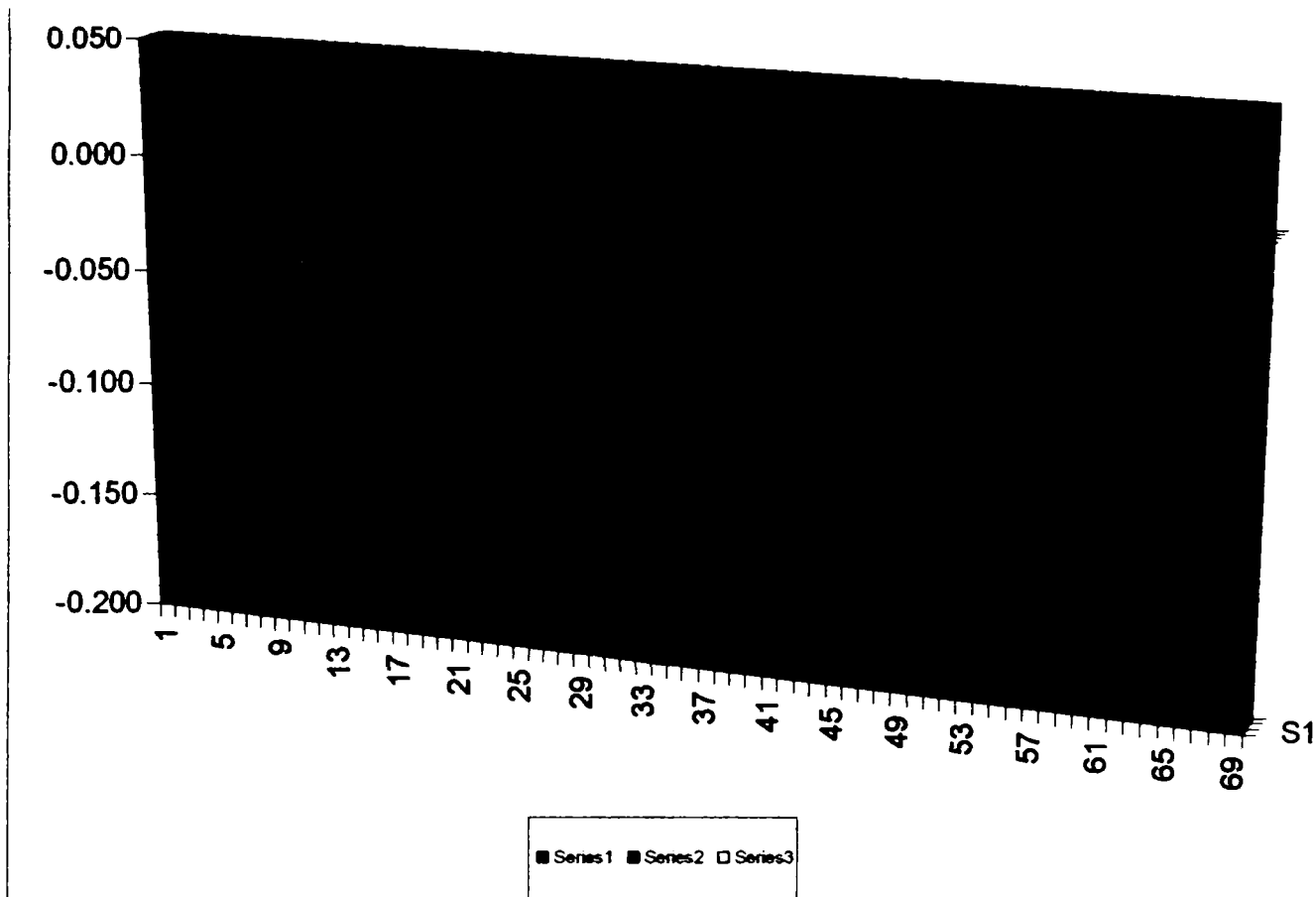


Figura 6.13 Reprezentarea grafică a deplasărilor verticale ale firului B în cele trei cicluri de măsurare.

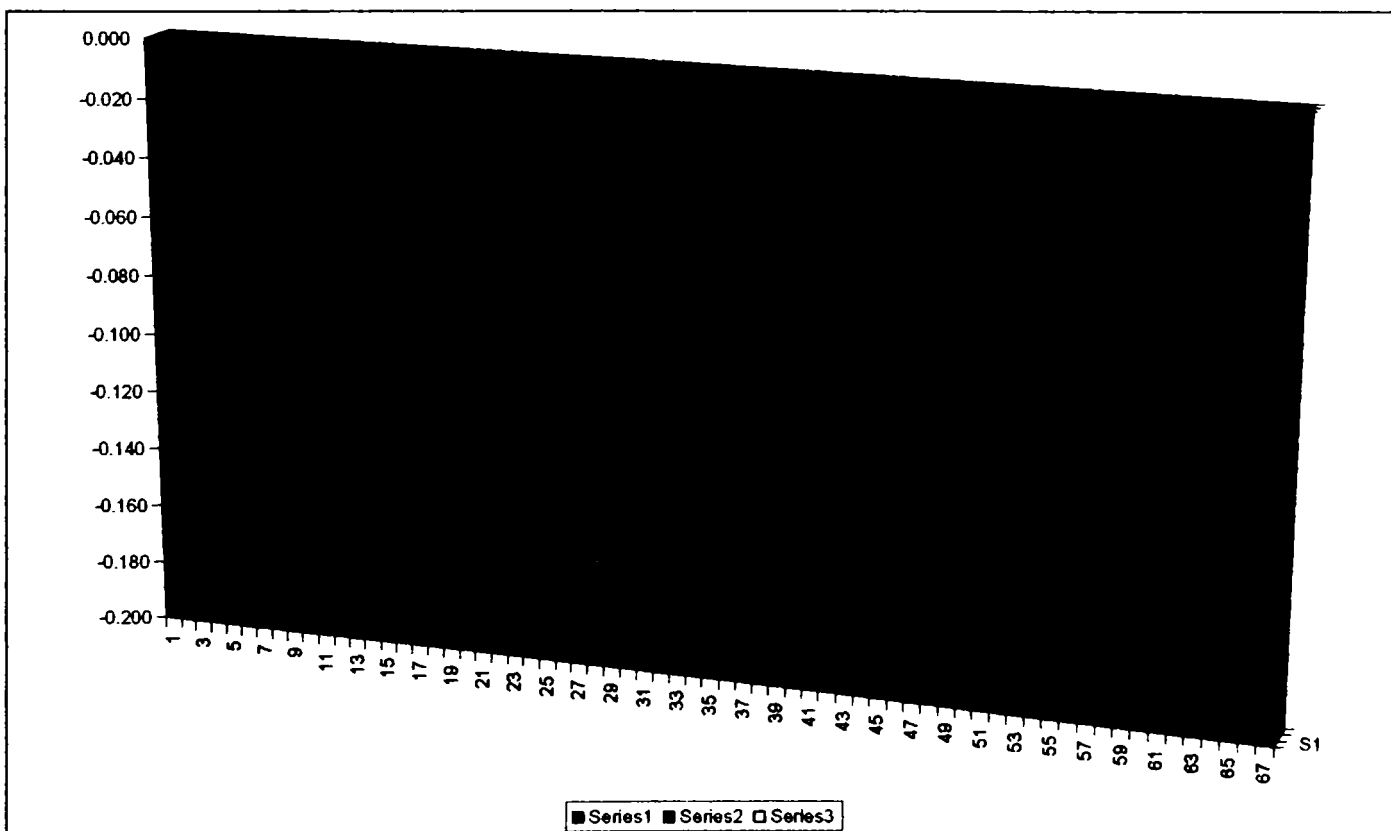


Figura 6.13 Reprezentarea grafică a deplasărilor verticale ale firului A în cele trei cicluri de măsurare.

Am propus și executat determinarea tasării instantanee la trecerea mașinii de transportat cărbune ținând cont de greutatea acesteia 460 t și de presinea pe carea aceasta o transmite prin fundație pamânturilor din care este alcătuit terenul de fundare și luând în considerare nivelul mediu de îndesare al terenului de fundare. Tasarea instantanee s-a măsurat și determinat în dreptul PDU-urilor executate iar valorile determinate ale acestor tasări s-au comparat cu rezultatul PDU-urilor, fapt realizat în diagramele de mai jos:

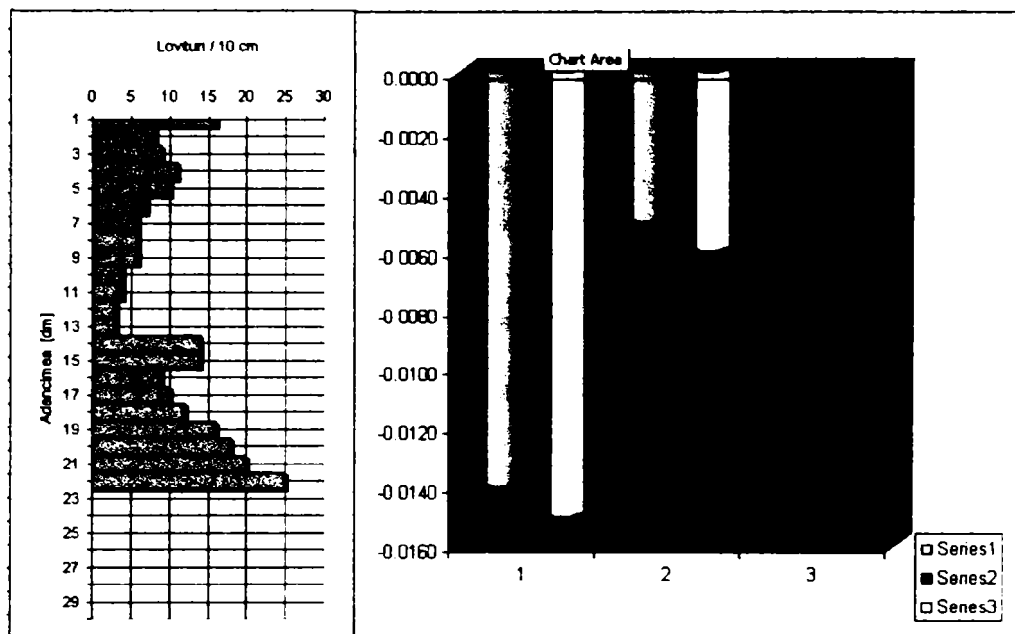


Figura 6.14 Reprezentarea tasărilor și a tasării instantanee în dreptul PDU 1

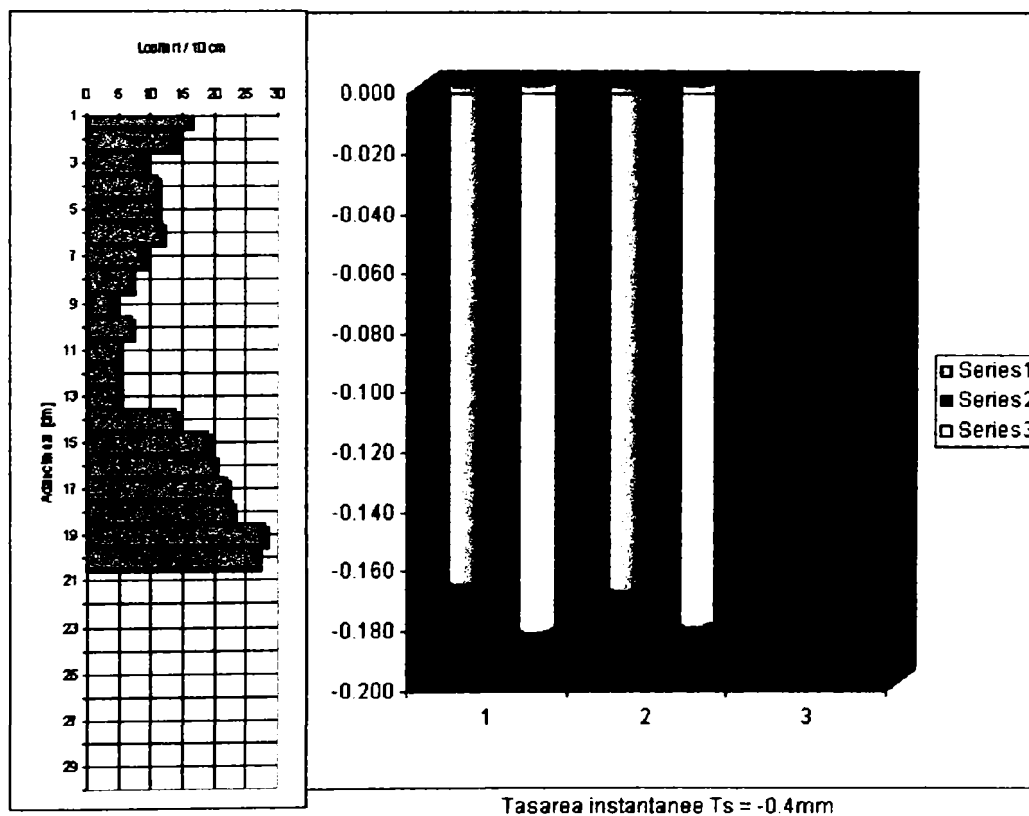


Figura 6.15 Reprezentarea tasărilor și a tasării instantanee în dreptul PDU 6

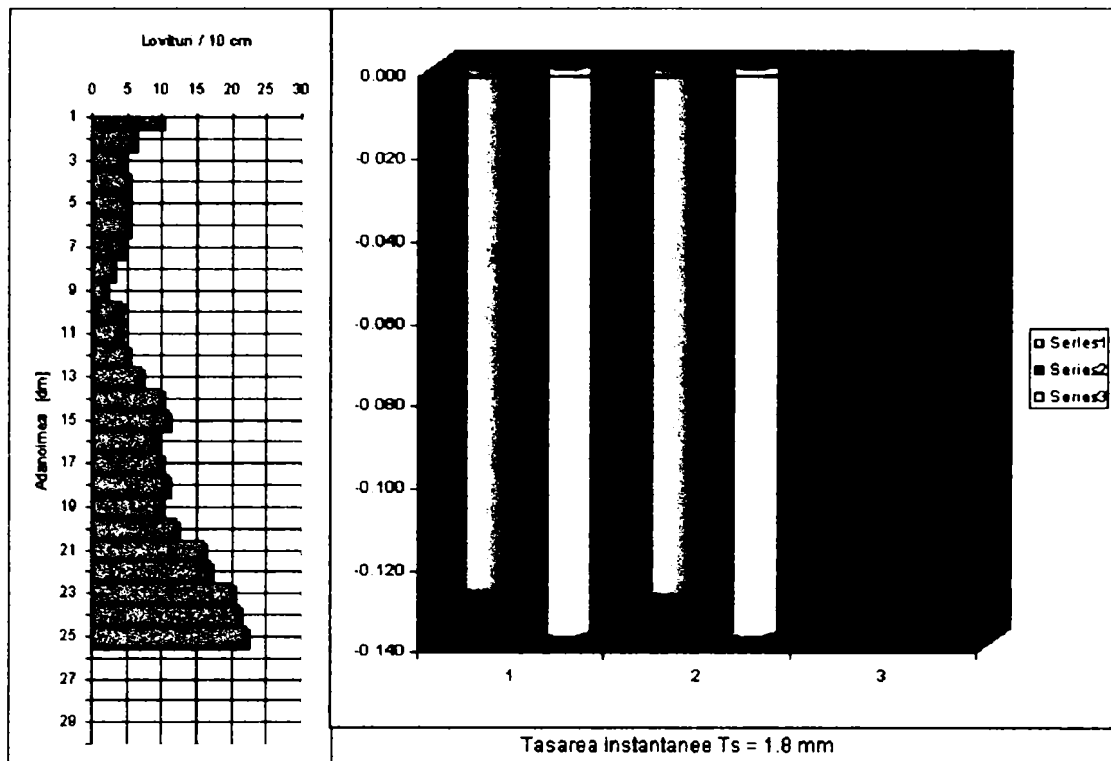


Figura 6.16 Reprezentarea tasărilor și a tasării instantanee în dreptul PDU 8

Valorile tasărilor instantanee s-au determinat în toate punctele unde au fost efectuate încercări PDU, mărimea acestora nedepășind valoarea de 1 mm, excepție face PDU 6 în care tasarea instantanee atinge valoarea de 1.8 mm



### 6.3. Determinarea deplasărilor și deformațiilor la silozurile de cereale – Moara Gottlob

Beneficiarul solicită verificarea verticalității și a înclinării silozurilor de la moara de cereale din localitatea Gottlob (figura 6.17).

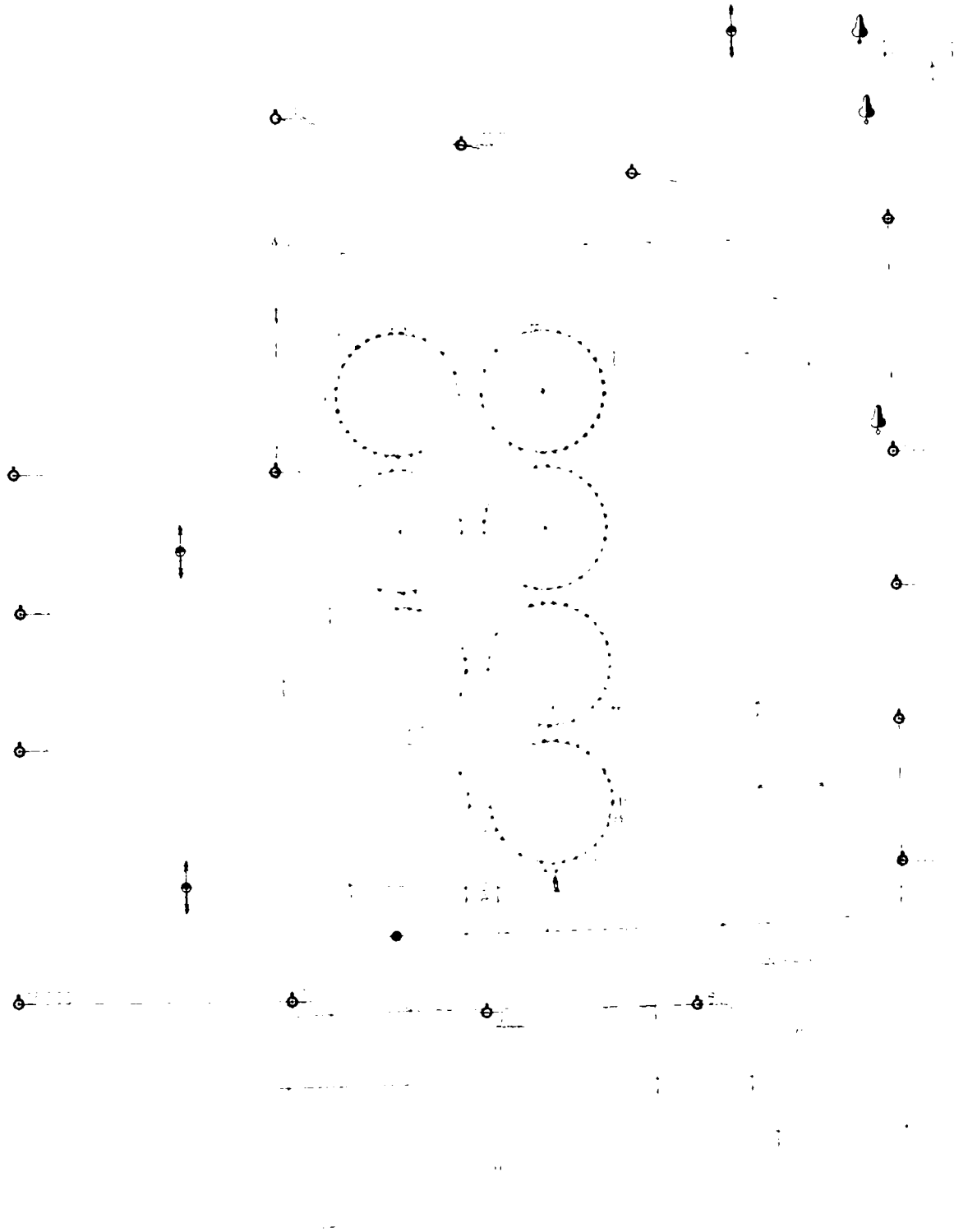


Figura 6.17 Plan de situație Moara Gottlob

În imaginile de mai jos este prezentat obiectivul examinat:



Figura 6.18 Aspect al silozurilor Gottlob

Tipul silozului este celular cu secțiunea circulară cu diametrul exterior de 10,150 m , iar înălțimea medie a acestora este de 15,150 m. Construcția este alcătuită din opt celule separate dispuse în două baterii simetrice una față de cealaltă.

Ca și cunoștințe apriorice referitoare la terenul de fundare am constatat că terenul de fundare este alcătuit dintr-o argilă prafoasă, având o consistență de  $I_c=0.7$ .

Pentru determinarea deplasărilor sa folosit ca metodă de lucru metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie. Ca sistem de referință am folosit reperi de suprafață situați în afara zonei de influență a construcției ținând cont ca aceștia să poată să fie conservați și să fie îndeplinite condițiile de stabilitate după cum se poate observa pe planul de situație din figura 6.17.

Observațiile de teren s-au împartit în următoarele faze:

- crearea rețelei de sprijin și marcarea punctelor de observație în vecinătatea amplasamentului;
- marcarea punctelor de referință pentru executarea observațiilor de nivelment;
- mărcile de tasare, marcate pe construcția studiată, s-au constituit sub forma unor timbre metalice.

Prelucrarea riguroasă a observațiilor s-a făcut prin metoda celor mai mici patrate, cazul observațiilor indirecte, urmărind considerentele teoretice prezentate în capitolul V, pentru care se prezintă în continuare etapele de prelucrare aferente fiecărui ciclu de măsurători.

Tasarea mărcilor s-a exprimat pe baza următorilor indici:

- diferența de nivel măsurată în ciclul de referință;
- corecția diferenței de nivel aferentă ciclului de referință;
- diferența de nivel măsurată în ciclurile de observații succesive;
- corecția corespunzătoare fiecărei mărci de tasare.

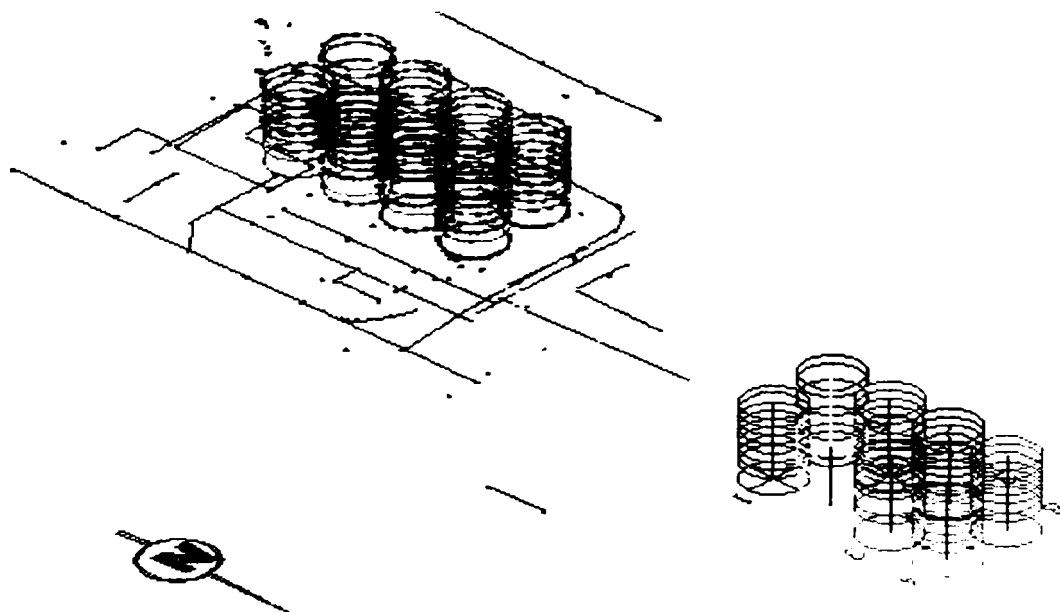


Figura 6.19 Reprezentarea spațială a silozului

La repartizarea mărcilor de pe obiectul examinat și determinarea eventualelor tasări ale acestora sa făcut astfel încât să permită trasarea curbelor de egală tasare precum și posibilitatea asezării și staționării cu mira de invar.

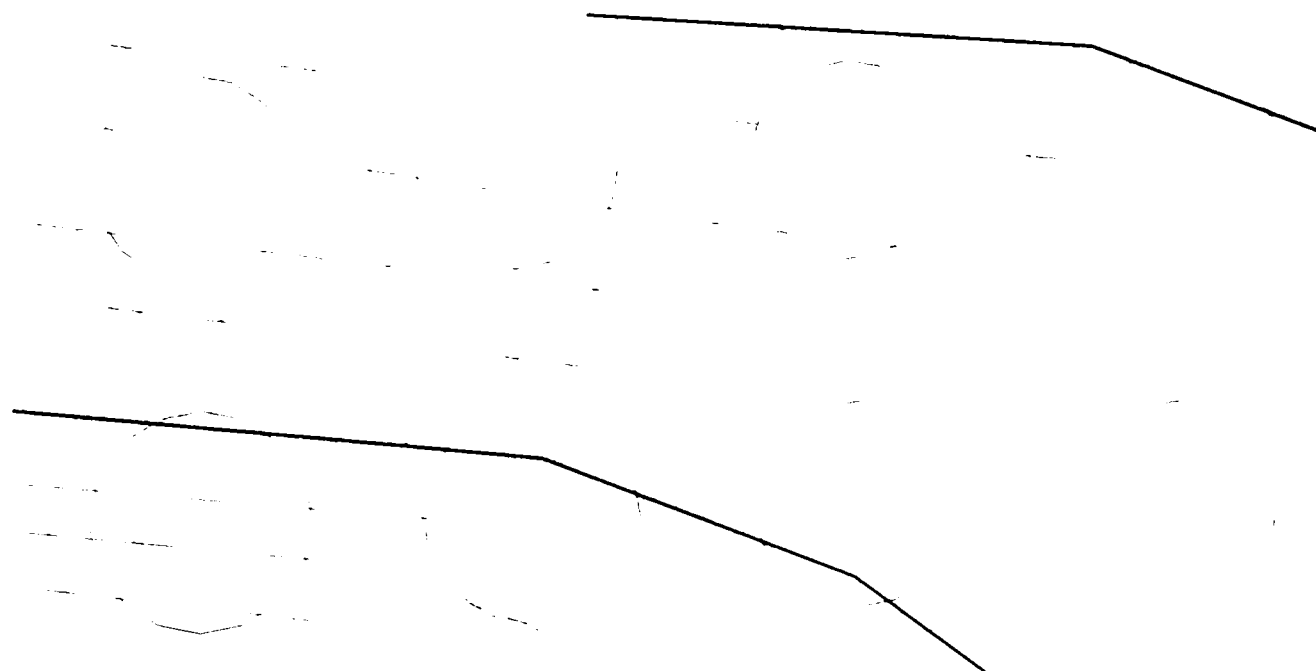


Figura 6.20 Planul de situație al silozurilor cu indicarea curbelor de egală tasare

În urma prelucrării datelor măsurate s-a trecut la reprezentarea diagramelor de tasare astfel:

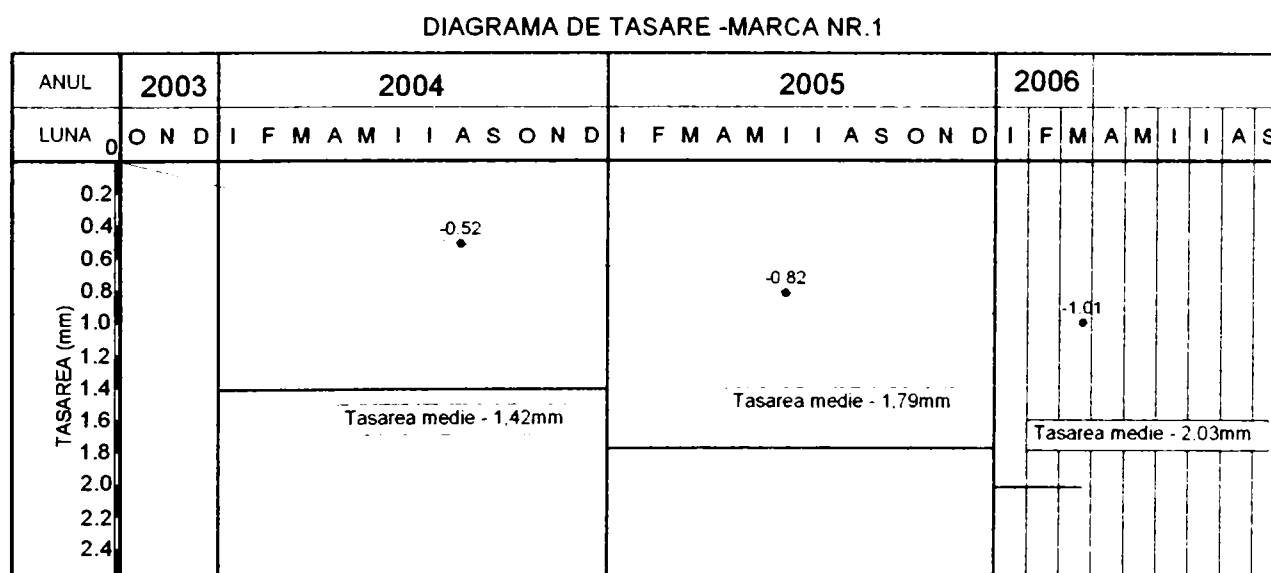


Figura 6.21 Diagrama de tasare a mărcii nr. 1

DIAGRAMA DE TASARE -MARCA NR.2

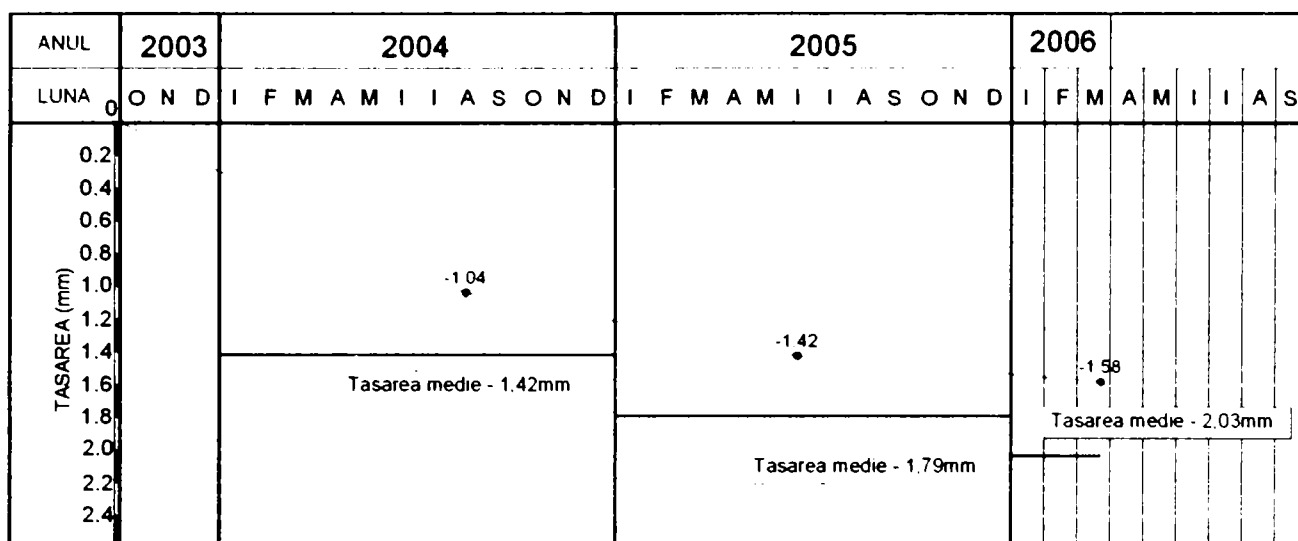


Figura 6.22 Diagrama de tasare a mărcii nr.2

DIAGRAMA DE TASARE -MARCA NR.3

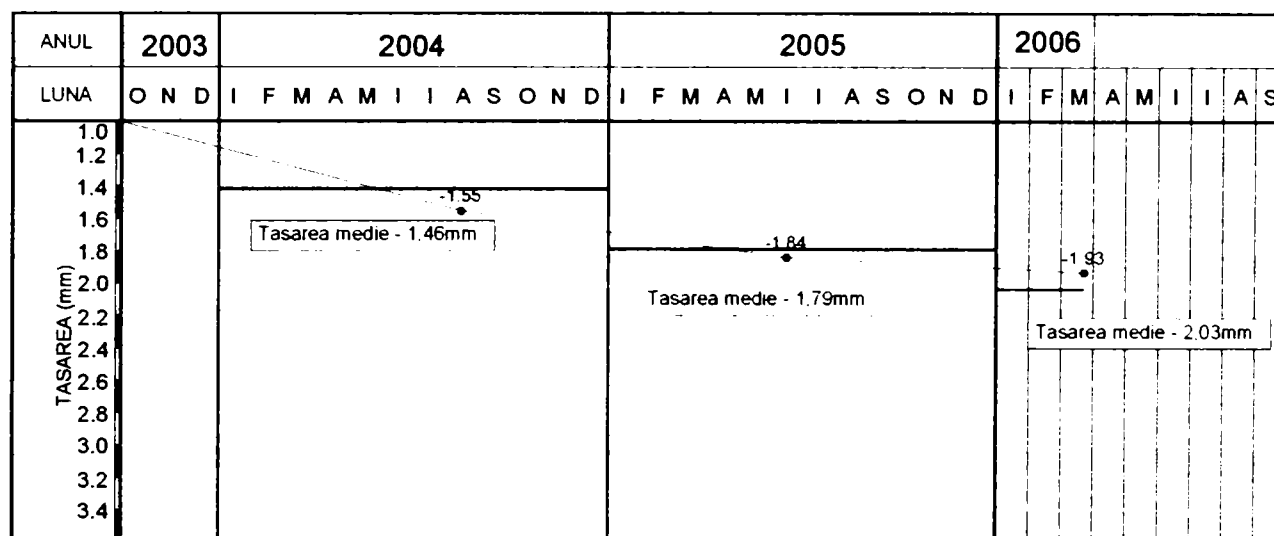


Figura 6.23 Diagrama de tasare a marcii nr.3

DIAGRAMA DE TASARE -MARCA NR.10

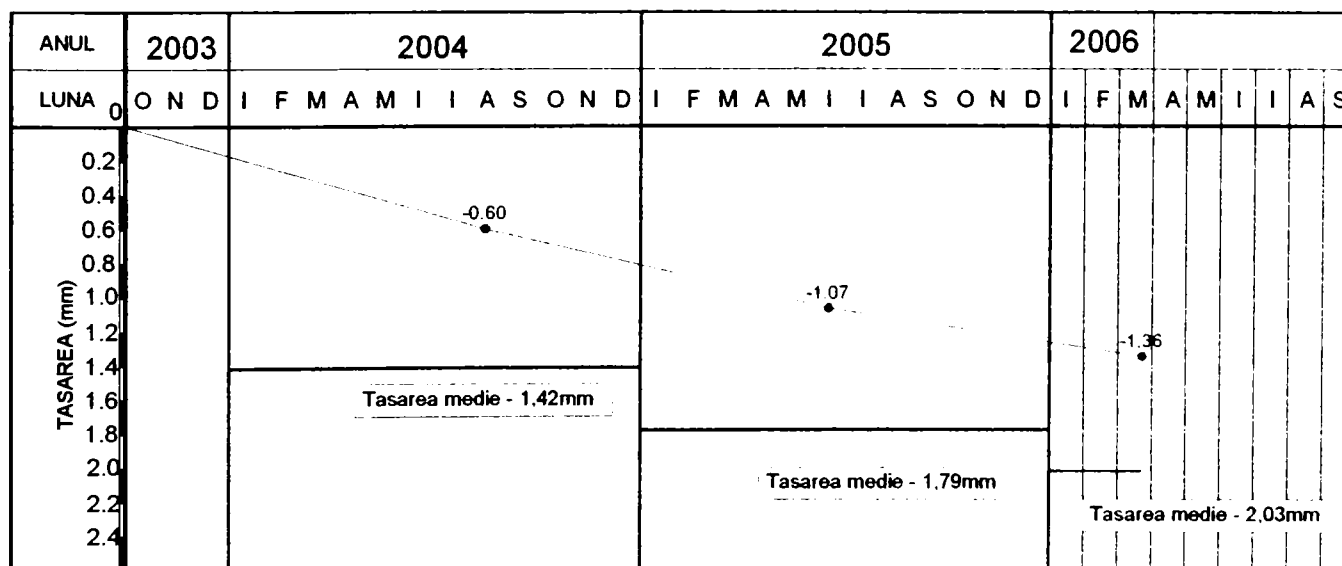


Figura 6.24. Diagrama de tasare a marcii nr.10

REPREZENTAREA STATISTICĂ A EVOLUȚIEI ÎN TIMP A REPREILOR DE NIVELMENT  
ȘI A MĂRCILOR DE TASARE

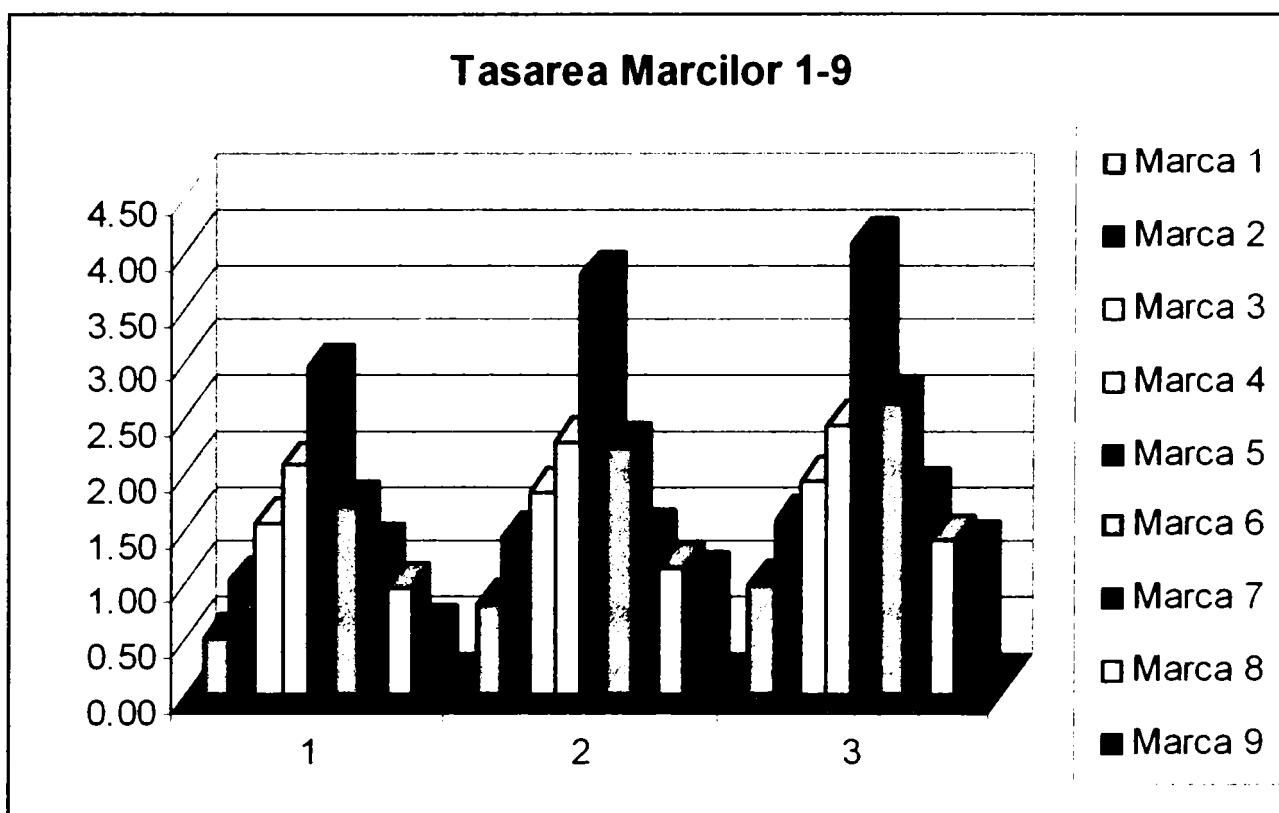


Figura 6.25 – Tasarea mărcilor nr. 1-9

### Tasarea Marcilor 10-22

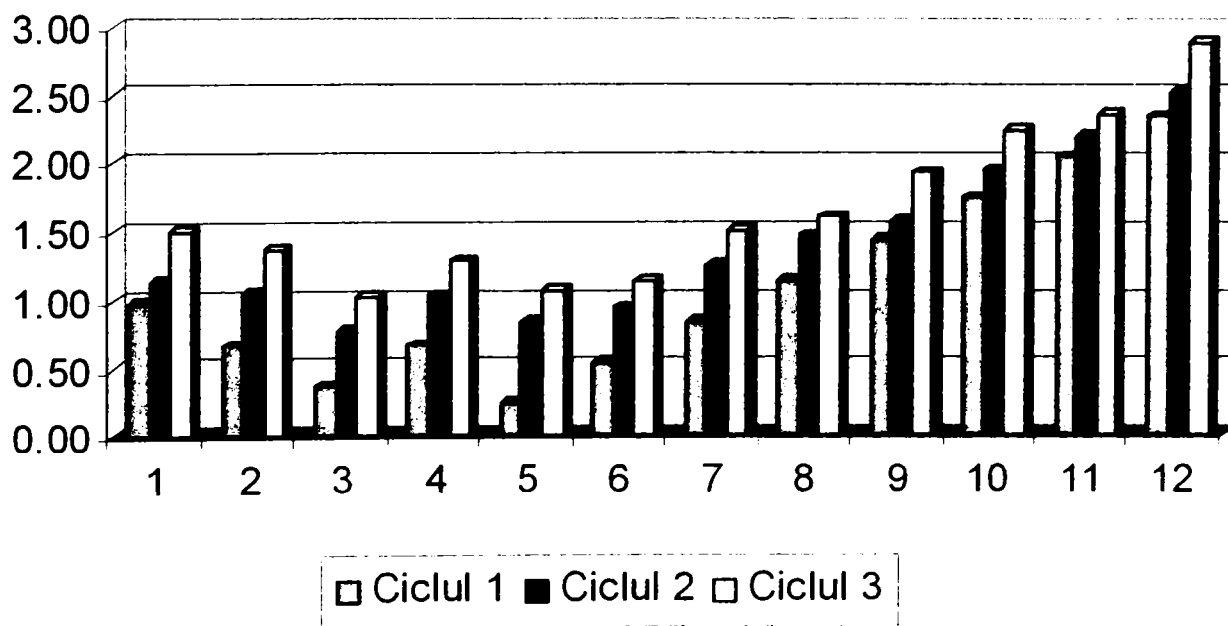


Figura 6.26 – Tasarea individuală a mărcilor nr. 11-22

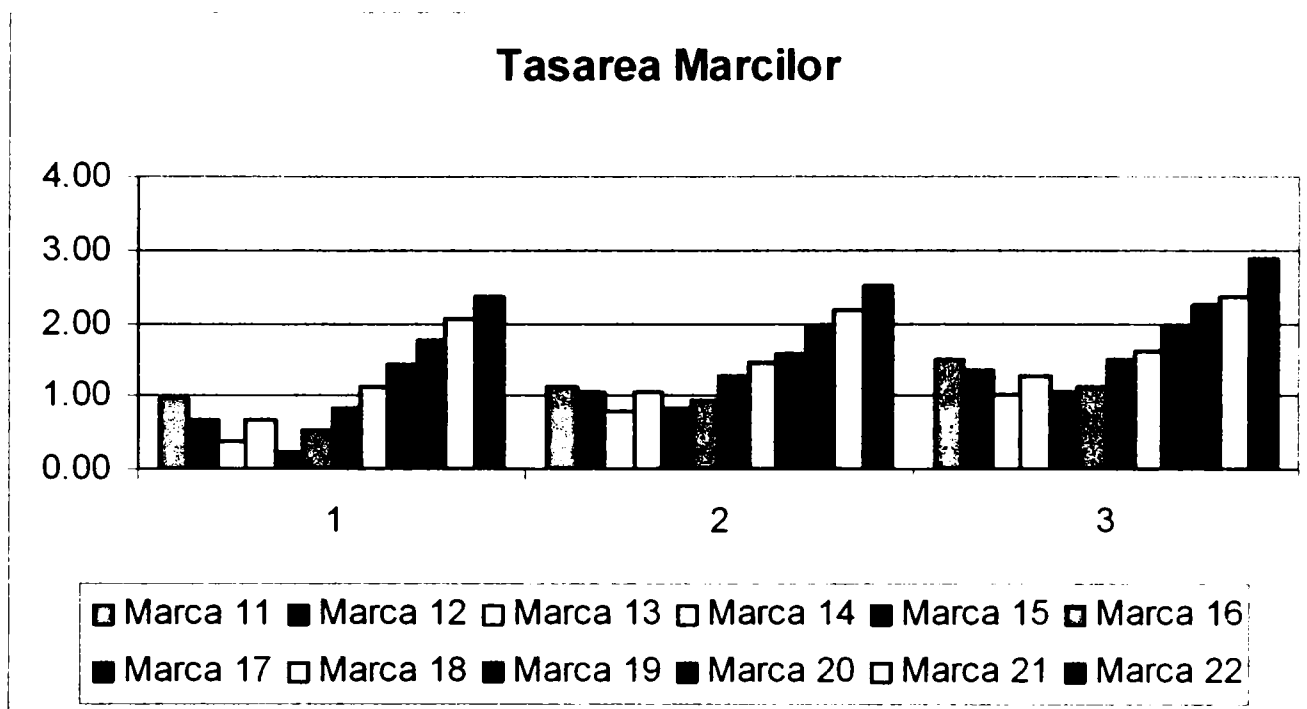


Figura 6.27– Tasarea corelată a mărcilor nr.11-22

Pentru a caracteriza mai bine starea fundației și respectiv a deformație terenului de sub aceasta tasările au fost reprezentate prin linii de egală tasare (figura 6.20).

Datorită faptului că valorile tăsărilor sunt mici și nu se poate caracteriza înclinarea construcției, am procedat la măsurarea, determinarea și reprezentarea înclinării la diferite orizonturi ale silozurilor astfel au rezultat valorile din tabelul 6.3, în care sunt prezentate devierile față de verticală a celor opt celule în parte. Orizonturile la care s-au efectuat determinări sunt din 1,50 m în 1,50 m

Abaterile în proiecție orizontală au fost determinate și au următoarele valori:

Tabelul 6.3

#### Abaterile deformațiilor axiale ale silozurilor

Nr Siloz	dX(mm)	dY(mm)
<b>Siloz 1</b>	<b>2.2</b>	<b>1.6</b>
<b>Siloz 2</b>	<b>3.4</b>	<b>-2.1</b>
<b>Siloz 3</b>	<b>-2.6</b>	<b>-2.6</b>
<b>Siloz 4</b>	<b>2.6</b>	<b>2.8</b>
<b>Siloz 5</b>	<b>-4.1</b>	<b>-3.1</b>
<b>Siloz 6</b>	<b>3.0</b>	<b>1.8</b>
<b>Siloz 7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>
<b>Siloz 8</b>	<b>-4.7</b>	<b>-3.5</b>

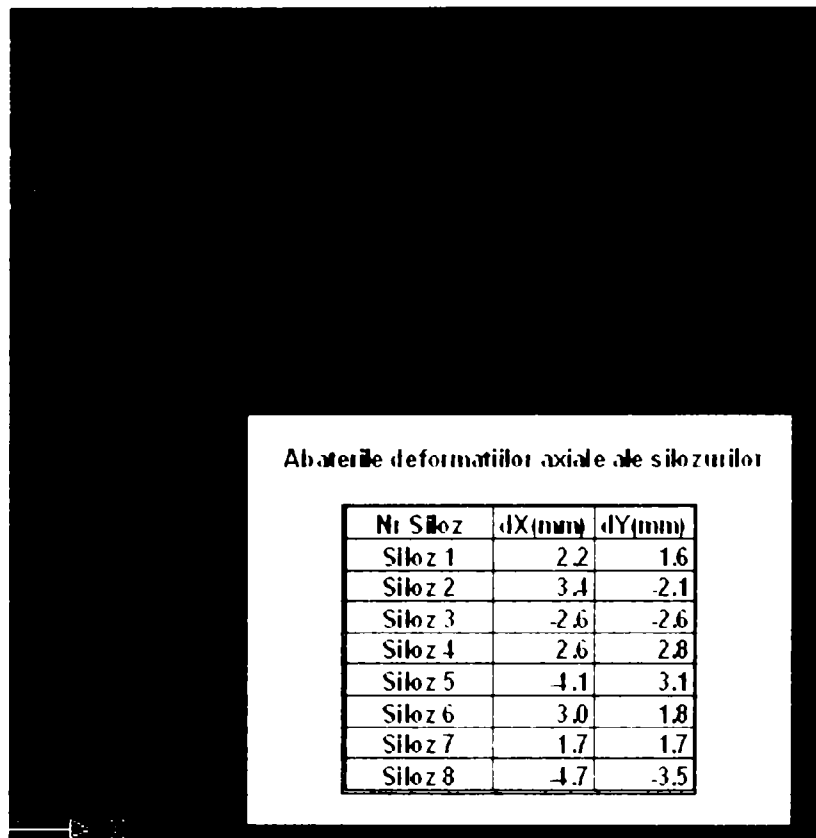


Figura 6.28 Reprezentarea abaterilor axiale

Reprezentarea sub formă statistică a acestor rezultate are forma de mai jos

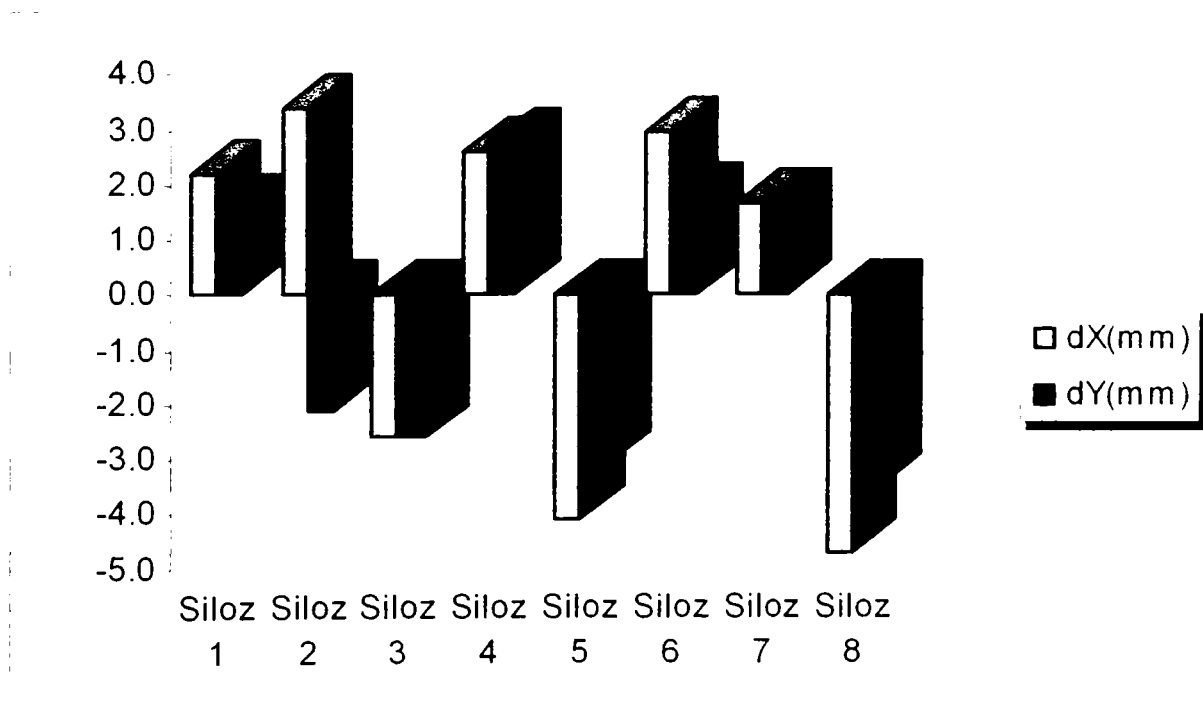


Figura 6.29 Reprezentarea abaterilor axiale



## **Capitolul 7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PERSONALE**

Pe lângă concluziile subliniate la sfârșitul fiecărui capitol doresc să subliniez următoarele concluzii finale.

Astfel, măsurarea directă prin metode topografice a deplasărilor construcțiilor fie că sunt deplasări orizontale sau verticale, contribuie la aprofundarea modului de cunoaștere și reprezentare a evoluției în timp a structurii respective, confirmând sau infirmând unele dintre ipotezele de calcul din faza de proiectare.

Tasările neuniforme contribuie sau induc la crearea de deformații și eforturi suplimentare în elementele structurilor favorizând astfel apariția fisurilor la construcțiile din beton armat fapt ce impune urmărirea strictă și riguroasă a construcțiilor industriale, civile și agricole.

Aplicarea metodelor topo-geodezice moderne la studiul comportării diferitelor tipuri de construcții reprezintă o condiție esențială în evidențierea reală a evoluției în timp a unui element al construcției sau a întregii structuri ca ansamblu și deasemeni conferă siguranță în exploatarea pe termen îndelungat a acesteia.

Materialul bibliografic studiat și sintetizat în capitolele teoretice, dar și realitatea practică relevă faptul, că aplicarea metodelor topo-geodezice la studiul comportării unei construcții se realizează prin interdependența mai multor domenii ale măsurătorilor terestre, cât și legătura acestora cu alte științe inginerești.

Există situații, când aceste metode se pot combina între ele, funcție de comportarea obiectivului studiat, astfel creîndu-se o legătură între măsurătorile unghiulare și cele liniare care, în final vor genera valoarea absolută a deplasării sau deformației construcției respective, aspect urmărit și de autorul tezei pe parcursul cercetărilor efectuate.

Un alt factor hotărâtor, pentru exprimarea valorilor reale ale tasărilor sau deplasărilor, îl constituie și modul de materializare a punctelor de observație care alcătuiesc rețeaua de urmărire, cât și asigurarea conservării acestor reperi pe toată perioada desfășurării programului de urmărire a construcției respective, aspect urmărit și în cazul obiectivelor studiate.

Alegerea unui amplasament neadecvat (zone cu circulație intensă, terenuri umede, terenuri cu umflări și contracții mari) coroborat cu neglijența în exploatare, pot duce în timp la distrugerea parțială sau totală a reperilor de control, a punctelor de stație sau a mărcilor de

tasare încastrate în clădirea supusă observării fapt care poate conduce la rezultate eronate a determinărilor sau chiar imposibilitatea realizării acestora.

Pentru evidențierea tasărilor obținute am folosit ca model de reprezentare diagramele de tasare pentru fiecare marcă în parte, sau pentru mai multe mărci corelate, urmărind tasarea acestora funcție de o deplasare medie pe cilcurile de măsurători efectuate.

Pe baza determinărilor efectuate în urma ciclurilor de măsurători executate se pot prezenta următoarele concluzii:

-pentru construcțiile înalte de genul coșurilor de fum sau a silozurilor de cereale, determinarea deplasărilor și a înclinărilor acestora folosind metode precise de măsurare a tasărilor nu sunt suficiente, de aceea, acestea trebuie corelate cu o metodă precisă de determinare a înclinării (citirii unghiurilor orizontale, sau determinarea distanțelor orizontale la diferite orizonturi) pentru a avea o imagine corectă a ceea ce se întâmplă cu obiectivul examinat.

- în urma determinarilor trebuie scoase în evidență valorile minimale și maxime ale deplasării, iar acolo unde este posibil determinarea tasării instantanee.

Studiul efectuat și prezentat în teza de doctorat, reprezintă o etapă intermediară în procesul de determinare a tasărilor și deplasărilor orizontale ale obiectivelor amintite.

Pe baza studiului realizat, se desprinde concluzia că urmărirea și evaluarea corectă a valorilor reale ale tasărilor și deplasărilor orizontale, cât și a înclinărilor construcțiilor înalte sau suple, reprezintă o problemă de topografie inginerescă de importanță tehnică deosebită, dar și economică prin posibilitatea evidențierii unor situații deosebite care ar duce în timp la costuri de întreținere și exploatare ridicate.

Cu ajutorul noilor metode și tehnologii geodezice cu grad înalt de automatizare, domeniul observării comportamentului construcțiilor supuse diferiților factori perturbatori, devine o ramură de maximă actualitate cu aplicabilitate la diferite tipuri de construcții civile, industriale sau de lucrări de artă deosebite.

**Astfel, problema măsurării și reprezentării tasărilor construcțiilor, a deplasărilor liniare orizontale și a înclinațiilor diferitelor obiective, impune în continuare studii și cercetări interdisciplinare, creînd legături între știința măsurătorilor terestre și ingineria civilă.**

Teza de doctorat elaborată de către autor, pledează pentru aplicarea noilor tehnologii topo-geodezice sub forma unor sisteme de control permanente care să monitorizeze comportarea în timp a obiectivelor de importanță deosebită cu sesizarea eficientă, în timp real, a oricărei modificări care poate conduce la un dezechilibru al întregului ansamblu urmărit.

Această soluție este deja utilizată cu succes pe plan mondial, în special pentru lucrările de artă și obiective strategice, fiind totuși o soluție de viitor și pentru lucrările de inginerie civilă care devin tot mai îndrăznețe.

## **Contribuții personale**

Studierea și sintetizarea cauzelor care produc fenomenele de instabilitate și efectul pe care acestea îl au asupra construcțiilor și deplasărilor acestora.

Sinteza metodelor topo-geodezice utilizate pentru urmărirea comportării în timp, cu exemplificarea metodelor aplicate la determinarea deplasărilor orizontale, deplasărilor verticale (tasărilor) și înclinărilor construcțiilor înalte fapt care s-a concretizat și în studiile de caz efectuate.

Reprezentarea datelor obținute prin crearea unor diagrame de urmărire a tasărilor celor de tasare ale obiectivului;

Crearea de modele universale pentru calculul și determinarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor.

Folosirea și luarea în considerare a cunoștințelor apriorice referitoare la terenul de fundare, perioadele “ideale” de măsurare, valoarea și sensul vectorului deplasare pentru alegerea metodei sau a metodelor topo-geodezice de determinare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor.

Prelucrarea statistică și evidențierea valorilor absolute ale tasărilor, a neuniformității tasărilor cilurilor de măsurători, a tasărilor medii ale structurii prin reprezentări tabelare și statistice;

Combinarea metodelor de lucru în stabilirea deformațiilor cu scopul de a determina același parametru de deplasare.

Implementarea unui program de urmărire pentru căile de rulare ale liniei de cale de la CET Sud Timișoara, concretizat într-un număr de trei cicluri de observații care au permis evidențierea corectă a valorilor tasărilor absolute induse de încărcarea mașinii de cărbune prin pivotare permanentă și determinarea tasărilor instantanee la trecera mașinii în punctele caracteristice.

Determinarea și prezentarea conceptului de tasare instantanee la trecerea mașinii de haldat cărbune din cadrul CET Sud Timișoara.

Propunerea continuării programului de urmărire elaborat de autor pentru următorii 5 ani, pe baza eşalonării unor noi cicluri de observații după refacerea, finalizarea și darea în exploatare a obiectivului.

## BIBLIOGRAFIE

1. Astasenkov, G. – *Deformations messungen an Fundamenten und Laufrigen von Drehofen Verm. Tech.*, 5, 1974
2. Atudorei, M. – *Măsurători geodezice prin unde*, Institutul de Construcții București, 1981
3. Atudorei, M. – *Astronomie, partea I-a*, Institutul de Construcții București, 1983
4. Băncila I., Florea M., Fotă D., Georgescu M., - *Geologie inginerescă*, Editura Tehnică, București-1979
5. Botez, M. – *Teoria erorilor și metoda celor mai mici pătrate*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1961
6. Botez, P.M., Ghițău, D., Ionescu, C – *Compensarea riguroasă automată a rețelelor de nivelment prin variația altitudinilor*, Rd GOT, 5, 1966
7. Botez, M. – *Geodezie, volumul I*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1969
8. Botez, P.M., Atudorei, M., Fotescu, N – *Manualul inginerului geodez – volumul I, Secțiunea III, Teoria erorilor măsurărilor și metoda celor mai mici pătrate*, Editura Tehnică București, 1972
9. Botez, P.M., Dragomir, V., ș.a. – *Manualul inginerului geodez – volumul I, Secțiunea VI, Geodezia*, Editura Tehnică București, 1973
10. Ciucu, V., Craiu, V. – *Introducere în teoria probabilităților și statistică matematică*, Editura Didactică și Pedagogică București, 1971
11. Collins, J. – *The satellite solution to surveying – Professional Surveyor*, 1982
12. Costăchel A., Ursea, V., Neamțu, M. – *Influența surselor de vibrații în nivelmentul geometric automat*, Rd. GOT, 6, 1966
13. Costăchel A., Cristescu, N. ș.a. – *Topografie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970
14. Coșarcă, C. – *Topografie inginerescă*, Editura Matrix Rom, București, 2003
15. Cristescu, N., Taub-Sebastian M., - *Curs de topografie inginerescă*, Institutul de Construcții București, 1970
16. Cristescu, N. – *Topografie inginerescă*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978
17. Cross., P. – *Geodetic networks and the surveyor*, London, 1987
18. Dinescu, A. – *Introducere în geodezia geometrică spațială*, Editura Tehnică București, 1980
19. Doandș V. – *Topografie generală și inginerescă*, Editura Politehnica, 2000
20. Doandș V. – *Topografie aplicată*, Editura Politehnica, 2005

21. Filimon, R., Botez, P.M., Costăchel, A., Russu, A., - *Topografie generală, Editura Tehnică București, 1958*
- 22 Florea, M.N.– *Alunecări de teren și taluze*, Editura Tehnică, București – 1979
23. Fotescu, N – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate, Institutul de Construcții București, 1975*
24. Fotescu N., Săvulescu, C. – *Îndrumător pentru lucrări practice în teoria erorilor, Universitatea Tehnică de Construcții București, 1975*
25. Ghițău, D. – *Geodezie – Triangulație – Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973*
26. Grafarend, E.W., Sanso, F. – *Optimisation and design of geodetic networks, Springer Verlag, 1985*
27. Grecea, C., Arcereanu, G. – *Instrumente topografice pentru cadastru, Universitatea Politehnica din Timișoara, 1995*
28. Grecea, C. – *Introducere în geodezia satelitară, Editura Mirton, Timișoara, 1999*
29. Grecea, C. – *Geodezie, Editura Mirton, Timișoara, 2005*
30. Haida V.– *Geologie Geotehnică și Fundații– 1982*
31. Haida, V., Marin M. – *Geotehnică, Universitatea Tehnică Timișoara, 1994*
32. Haida, V., Marin M., Mirea, M. – *Mecanica pământurilor, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004*
33. Herban, S. – *Aspecte privind aplicațiile practice ale topografiei în domeniul construcțiilor, Simpozion Jubiliar, Facultatea de Geodezie București-1998*
- 34 Herban, S. – *Aplicarea metodelor topografice la studiul și urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Referat Doctorat 2000*
35. Herban, S. *Procedee și metode topografice de urmărire a tasării construcțiilor- Zilele academice Timișene -2001*
36. Herban, S. – *Determinarea deplasărilor construcțiilor prin metode topografice, Referat doctorat, 2002*
37. Herban, S. *Metode și modele de determinare a deplasărilor și def. construcțiilor Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2003*
38. Herban, S. *Modele de determinare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor Zilele academice Timișene -2004*
39. Herban, S. – *Aplicarea metodei elementelor finite în cazul măsurării și urmăririi deformațiilor construcțiilor și terenului, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2005*
40. Herban, S. – *Determinarea ciclică a înclinării construcțiilor înalte prin măsurarea unghiurilor orizontale, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2005*

41. Hoffmann – Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. – *GPS Theory and practice, third revised edition, Springer Verlag Wien, 1994*
42. Hoffmann – Wellenhof, B., Kienast, G., Lichtenegger, H. – *GPS in der Praxis, Springer, Wien, New York, 1994*
43. Ingensand, M., Kyle, S. – *Modern survey technics, Leica Heerbrugg, 1994*
44. Jackson, P. – *Instruments Wild measures optiques, Wild Heerbrugg, 1994*
45. Kennedy, J.B., Neville, A.M. – *Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists, New York, 1976*
46. Klinger, I. – *Triangulație geodezică, Institutul de Construcții București, 1958*
47. Koch, K.R., - *Distributions of probabilities for statistical reviews of adjustment results, Bonn, 1975*
48. Leick, A. – *GPS Satellite Surveying, John WILEY & Sons Inc. USA, 1990*
49. Leoveanu, G. – *Metode topogeodezice de calcul pentru urmărirea stabilității construcțiilor, Rd GOT, 3, 1967*
50. Moldoveanu, C. – *Geodezie, Editura Matrix Rom, București, 2002*
51. Montgomery, H. – *GPS – the next generation, GPS World, 2, 1991*
52. Neamțu, M. – *Determinarea deplasărilor orizontale ale construcțiilor prin metode geodezice – Referat doctorat, 1971*
53. Neamțu, M., – *Complemente de topografie inginerească, Institutul de Construcții București, 1973*
54. Neamțu, M. – *Contribuții la perfecționarea tehnologiei de măsurare și a metodelor de calcul pentru determinarea deplasărilor liniare și unghiulare ale construcțiilor, Institutul de Construcții București, 1976*
55. Neamțu, M. – *Instrumente topografice și geodezice, Editura Tehnică București, 1982*
56. Neamțu, M., Onose, D., Neuner, J. – *Măsurarea topografică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Institutul de Construcții București, 1988*
57. Nistor, Gh. – *Geodezie aplicată la studiul construcțiilor, Editura Gh. Asachi, Iași, 1993*
58. ORDIN NR.80/N – 1998 – *Ghid de redactare a hărților de risc la alunecare a versanților pentru asigurarea stabilității construcțiilor- Indicativ GT019-98*
59. ORDIN NR.18/N - 1997- *Ghid privind identificarea și monitorizarea alunecărilor de teren și stabilirea soluțiilor cadru de intervenție, în vederea prevenirii și reducerii efectelor acestora, pentru siguranța în exploatare a construcțiilor, refacerea și protecția mediului – Indicativ GT006-97*
60. Peltzer, H. – *Criteria for the reliability and geodetic networks, Budapest, 1979*

61. Plăcinteanu, I. – *Teoria erorilor de măsurare*, București, 1980
62. Ruland, R., Leick, A. – *Application of GPS to a High Precision Engineering Survey Network, Proceedings: Washington D.C., National Geodetic Information Center, 1985*
63. Rumșiski, L.Z. – *Prelucrarea matematică a datelor experimentale*, Editura Tehnică București, 1974.
64. Russu, A. – *Topografie cu elemente de geodezie și fotogrammetrie*, Editura Ceres, București, 1968
65. Seeber, G. – *Satellite Geodesy*, Walter de Gruyter & Co. Berlin, 1993
66. Tiron, M. – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate*, Editura Tehnică București, 1972
67. Tiron, M. – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate*, București, 1973
68. Tiron, M. – *Metode clasice și moderne utilizate în prelucrarea matematică a observațiilor geodezice*, București, 1975
69. Ursea, V. – *Topografie aplicată în construcții*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974
70. Ursea, V., Mihăilă, M. – *Manualul inginerului geodez, volumul III, Secțiunea XII, Geodezie aplicată*, Editura Tehnică București, 1974
71. Willian, I. – *Surveying for Construction, 4th edition*, McGraw-Hill Book Company Europe, England, 1995
72. Wolf, H. – *Geometrie Connections and Re-Orientation of Three - Dimensional Triangulation Nets*, Bulletin Geodesique, 68, 1963
73. \*\*\* - Normativ I.N.C.E.R.C. – *Normativ pentru determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61-64*
74. \*\*\* - STAS 2745 – 69 – *Urmărirea tasării construcțiilor prin metode topografice*
- 75.\*\*\* - *Perfecționarea metodelor de lucru și a tehnologiilor în topografia inginerească*, București, 1979
76. \*\*\* GPS – *A Guide to the Next Utility - Trimble Navigation*, 1989
77. \*\*\* GPS – *Surveyor's Field Guide*, Trimble Navigation Ltd. USA, 1991
78. \*\*\* GPS – *A field Guidebook for Dynamic Surveying*, Trimble, 1992
79. \*\*\* *Măsurători terestre – fundamente, volumul I, Modulul B și C*, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002
80. \*\*\* *Măsurători terestre – fundamente, volumul II, Modulul D și F*, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002
81. \*\*\* *Măsurători terestre fundamente, volumul III, Modulul G*, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002

## **ANEXE**

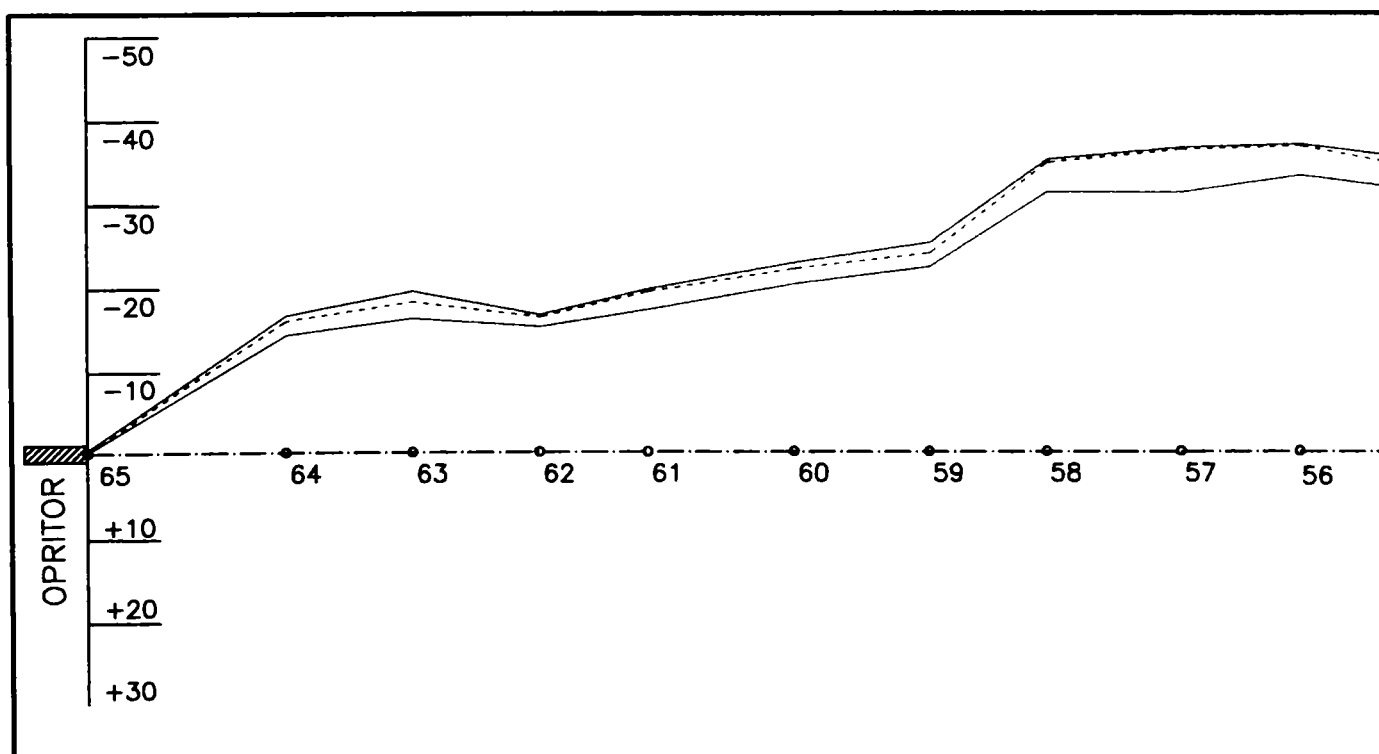
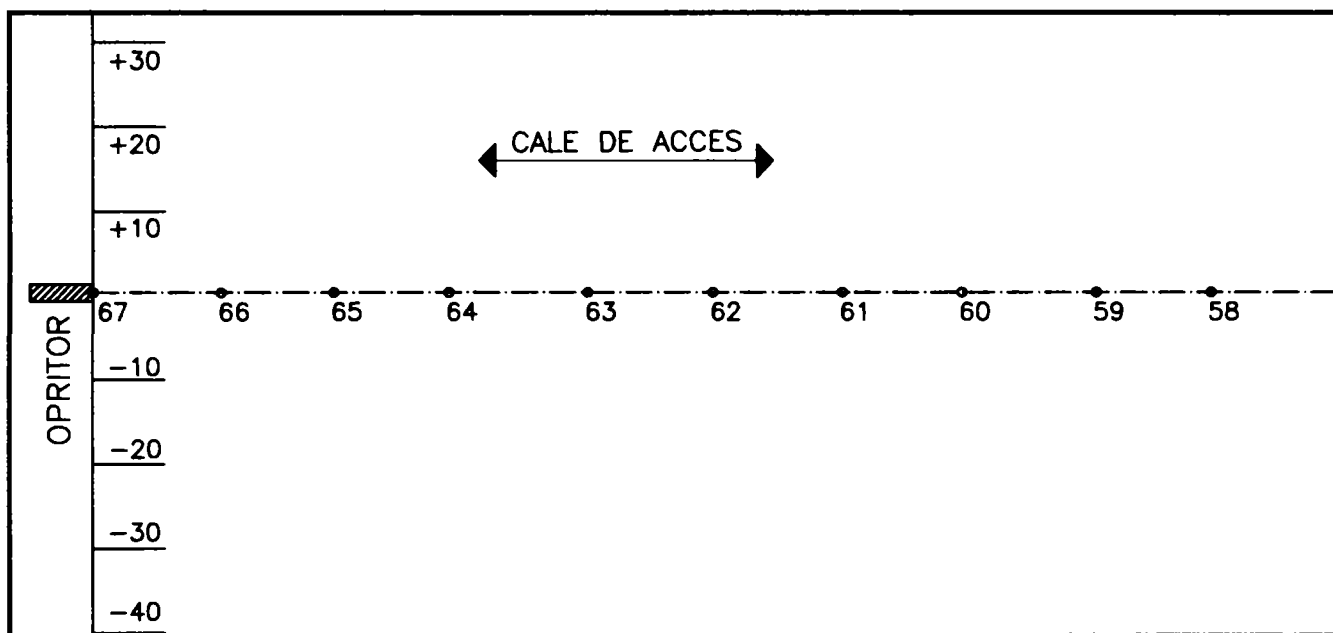


# MASURATORI TOPOGRAFICE MC NR.1

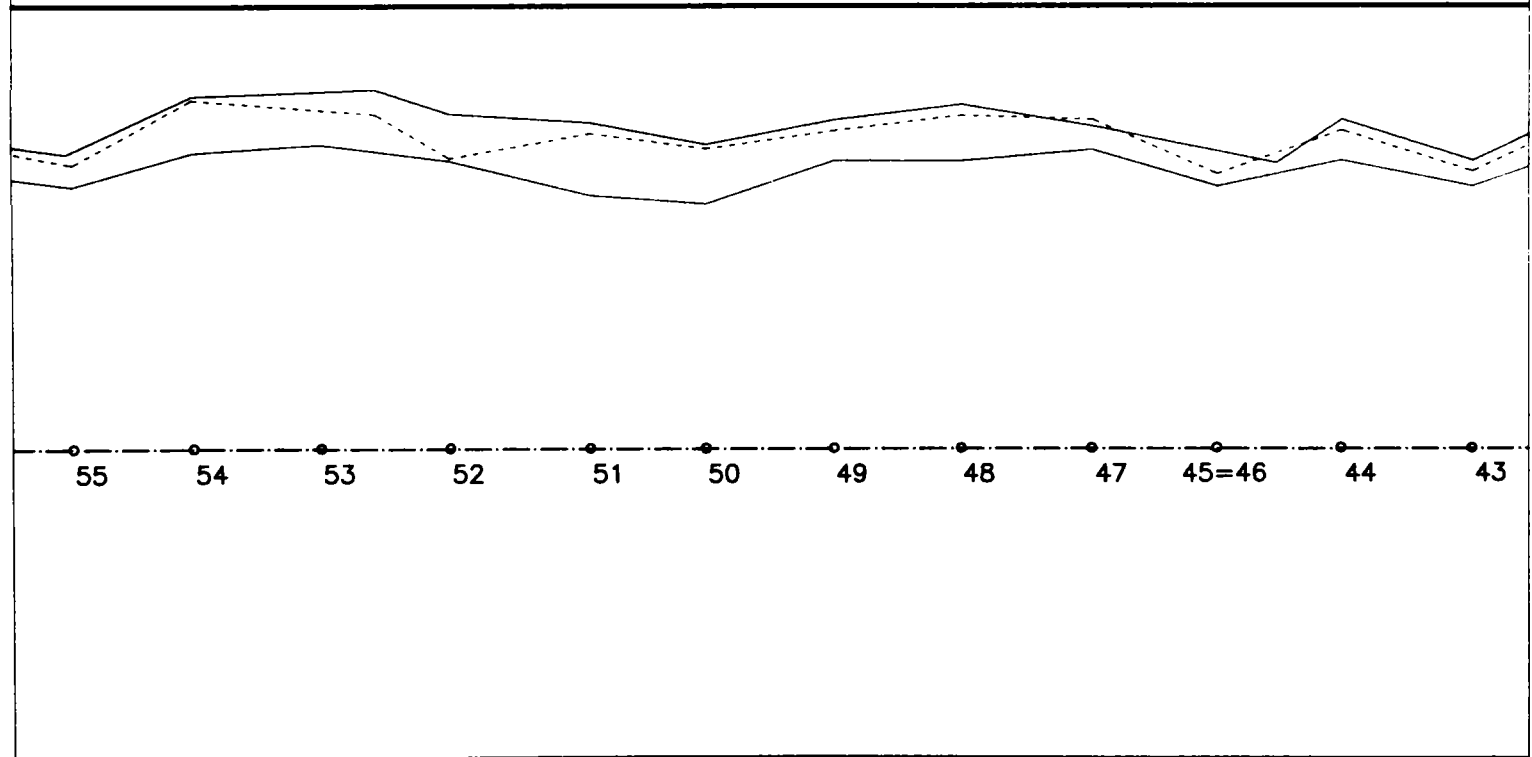
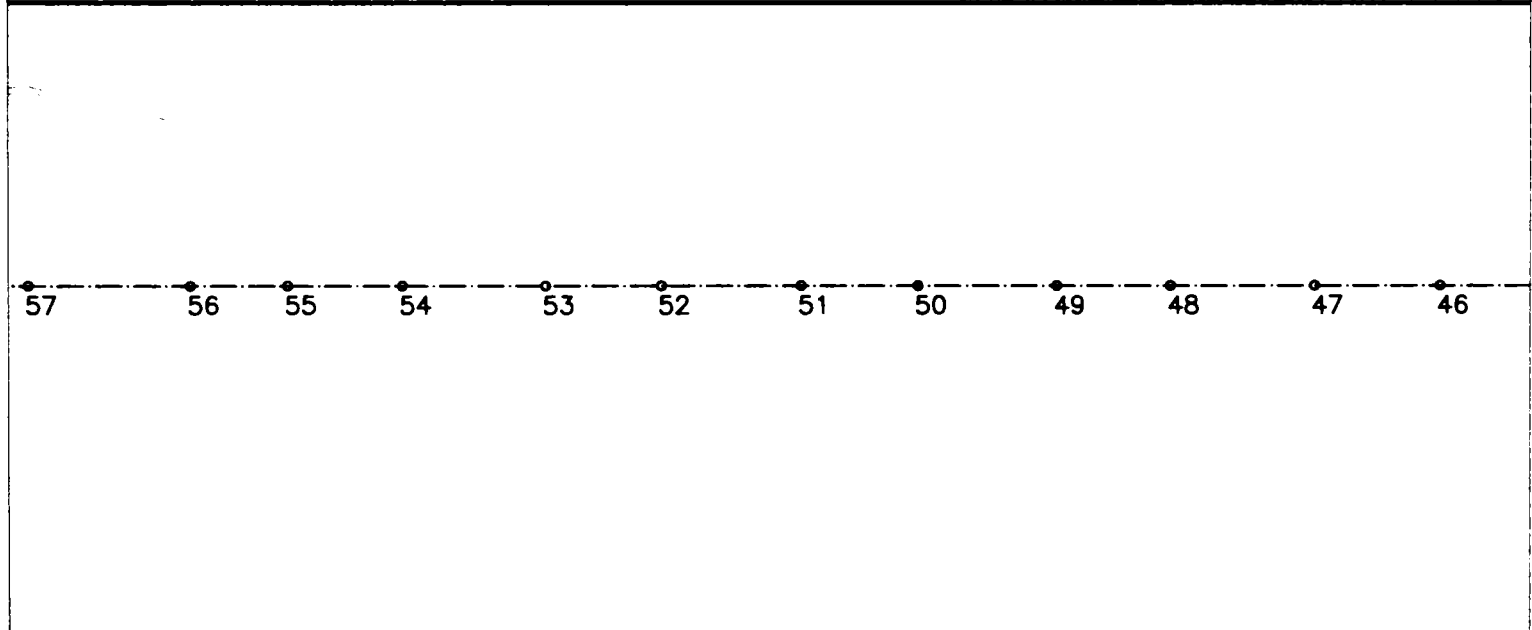
## CET SUD TIMISOARA

Numar punct	MASINA DE CARBUNI NR.1 CAPACITATE 1200t/h GREUTATE 460tone	1	2	3	4	5
Aliniere fir de rulare A		0	+14	+17	+28	+21
Aliniere fir de rulare B		0	-6	-4	-14	-6
Ecartament actual		7000	7008	7013	7014	7015
Nivelment fir rulare A		0	-14	-18	-21	-18
Nivelment fir rulare B		0	-19	-16	-15	-31

NOTA: valorile sunt exprimate in mm

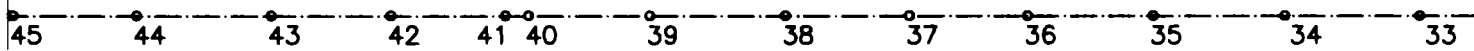


6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
+23	+16	+24	+26	+25	+28	+21	+30	+28	+29	+24	+23	+15	+9	-2
-16	-3	-17	-22	-16	-27	-22	-27	-31	-26	-28	-26	-36	-27	-21
7007	7013	7007	7004	7009	7001	6999	7003	6997	7003	6996	6997	6979	6982	6977
-27	-25	-31	-51	-52	-62	-61	-66	-78	-89	-97	-106	-104	-108	-105
-28	-25	-30	-44	-58	-60	-65	-61	-79	-74	-98	-106	-109	-108	-111

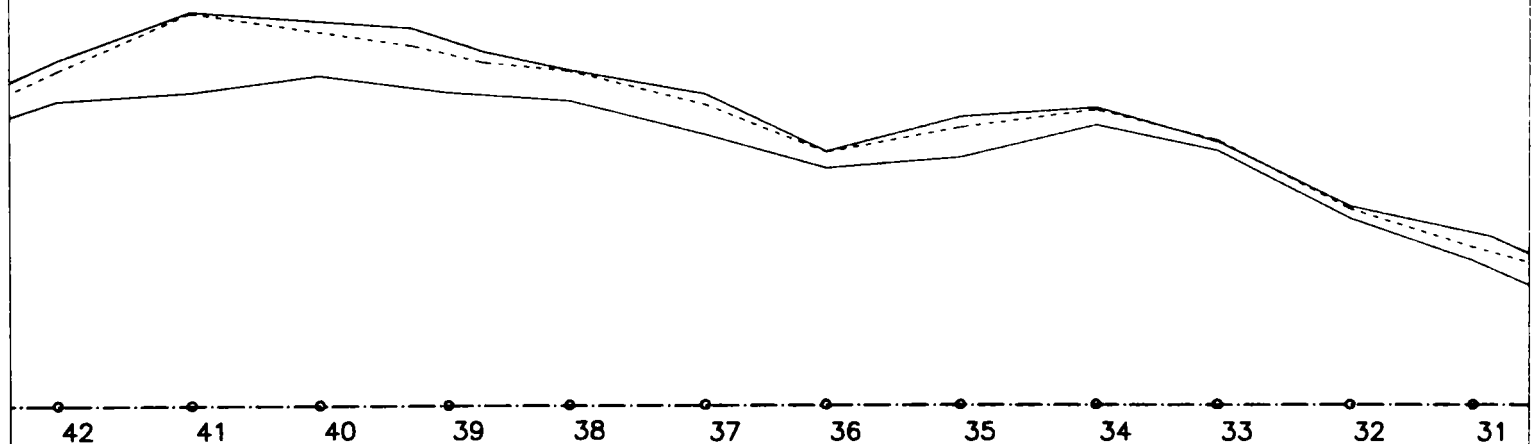


21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
+8	+5	+7	+5	+6	-7	-13	-4	-6	-7	-17	-22	-30	-36	-25
-29	-31	-23	-22	-15	-29	-22	-6	-6	-2	-3	-9	+9	+22	+18
6979	6974	6984	6983	6991	6964	6965	6990	6988	6991	6980	6969	6978	6986	6993
-121	-126	-143	-157	-167	-160	-153	-154	-160	-162	-168	-169	-165	-171	-174
-128	-144	-153	-156	-153	-149	-158	-162	-172	-174	-184	-184	-197	-196	-190

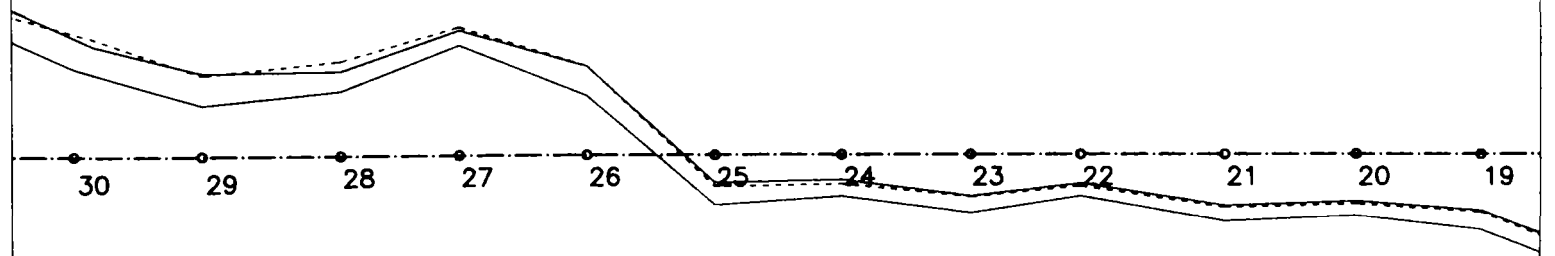
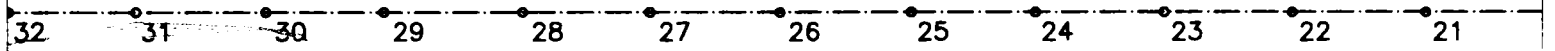
### ALINIERE FIR DE RULARE B



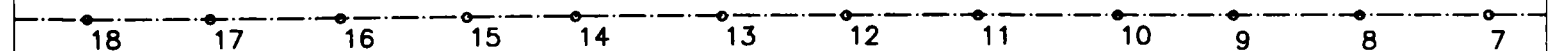
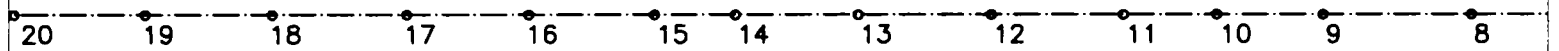
### ALINIERE FIR DE RULARE A



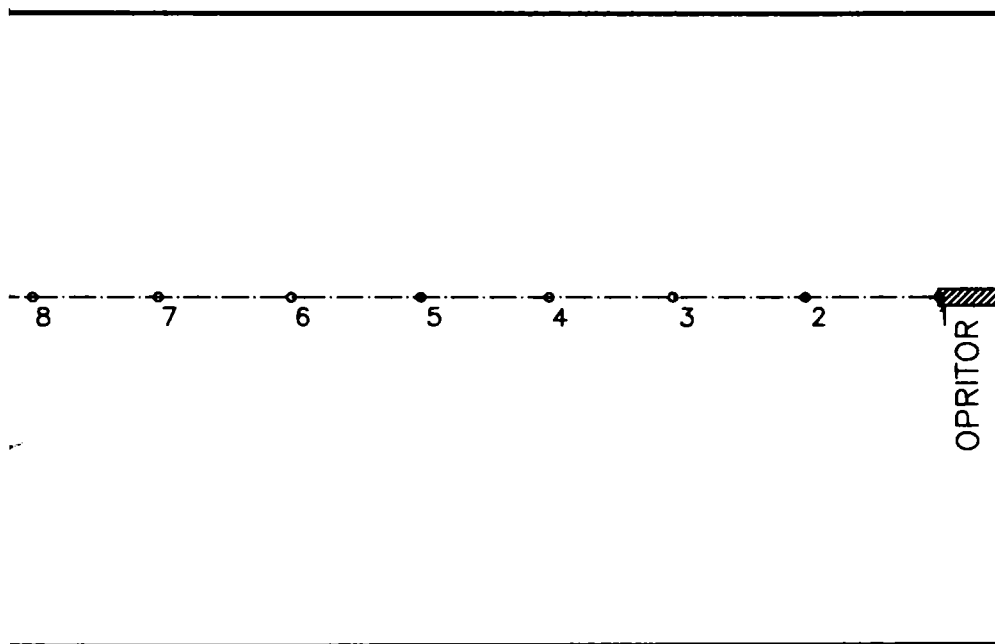
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
-28	-45	-36	-37	-39	-37	-39	-31	-41	-31	-31	-40	-34	-39	-21
+22	+22	+23	+21	+25	+25	+24	+21	+24	+25	+28	+27	+20	+20	+15
6994	6977	6987	6984	6986	6988	6985	6990	6983	6994	6997	6987	6986	6981	6994
-167	-163	-149	-149	-150	-145	-138	-149	-152	-149	-147	-148	-142	-122	-126
-182	-188	-171	-173	-170	-169	-160	-165	-169	-163	-163	-155	-145	-149	-141



51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
-30	-34	-36	-35	-31	-33	-31	-31	-18	-20	-17	-15	-16	-14	0
+15	+20	+13	+13	+7	+15	+23	+8	+24	+13	+8	+8	+4	+3	+4
6985	6986	6977	6978	6986	6982	6992	6977	7006	6993	6991	6993	6988	6989	7004
-127	-120	-116	-97	-97	-92	-90	-90	-87	-80	-94	-67	-63	-68	--
-133	-130	-137	-121	-118	-122	-118	-117	-119	-123	-119	-108	-86	-82	-94

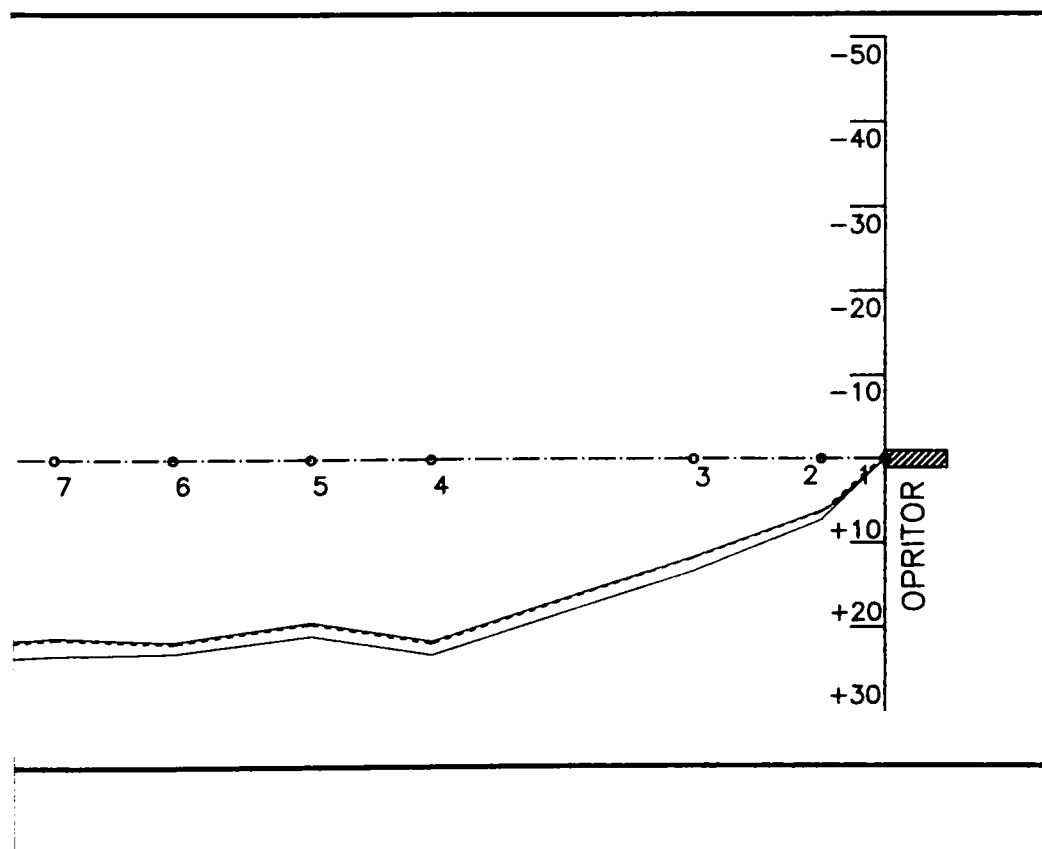


65	Numar punct
0	Aliniere fir de rulare A
+4	Aliniere fir de rulare B
7004	Ecartament actual
--	Nivelment fir rulare A
-94	Nivelment fir rulare B



OBSERVATII:

1. Lungime totala fir A = 480,79m
2. Lungime totala fir B = 480,70m
3. Ecartament nominal E=7000mm
4. Distanța între puncte măsurate = aprox.7,50m – la joante și la mijlocul distanței între joante
5. Semnul "+" indica o abatere de aliniere spre exteriorul caii de rulare
6. Semnul "-" indica o abatere de aliniere spre interiorul caii

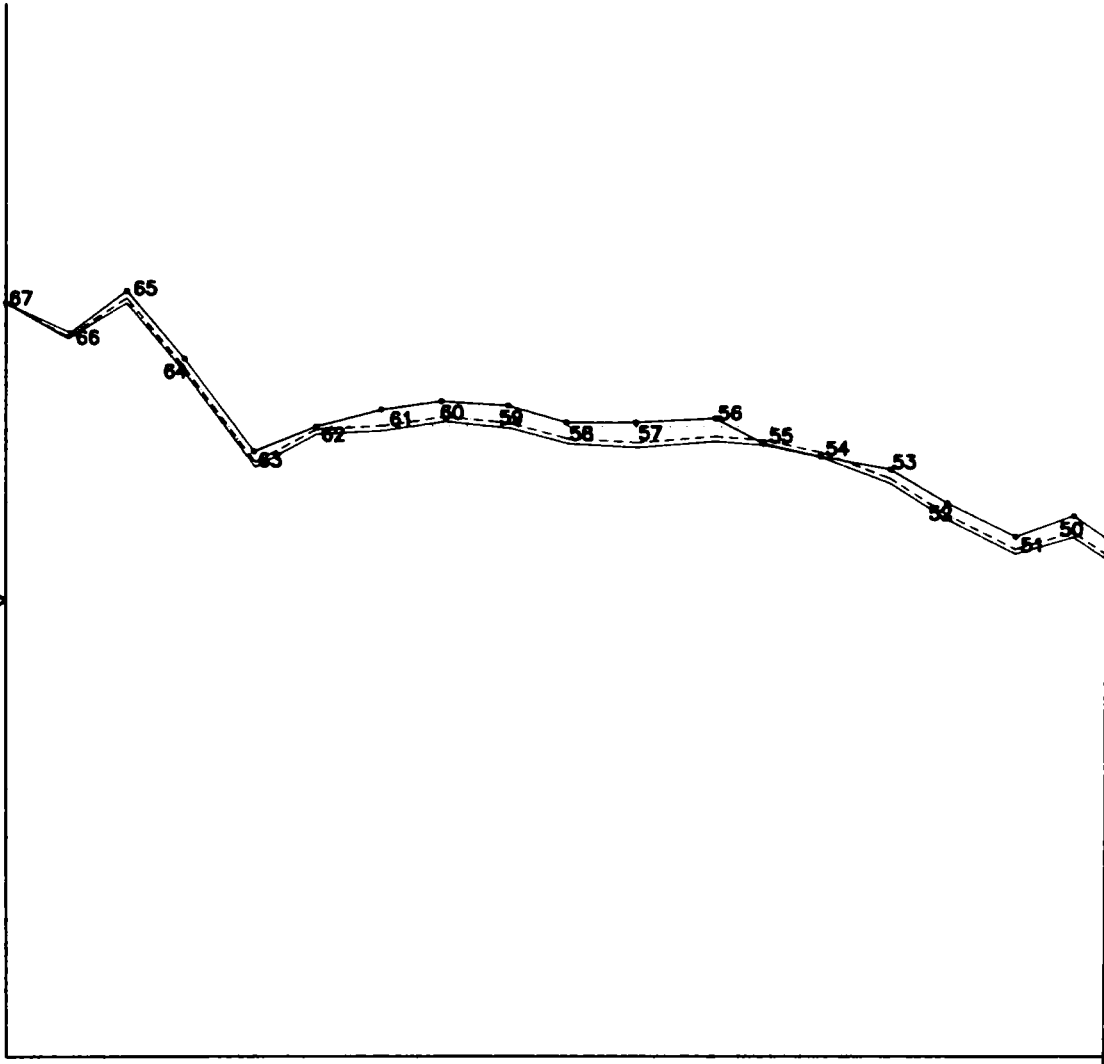


Timisoara, 14 octombrie 2005

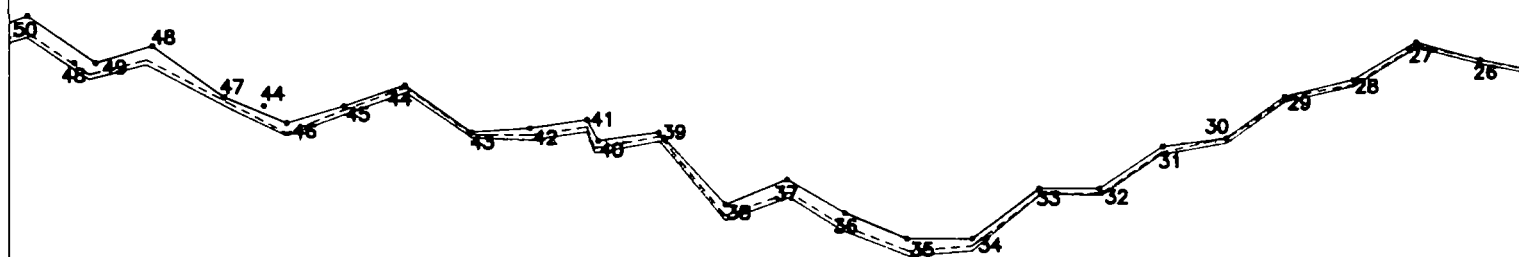
Masurat: ING. Cosmin MUSAT  
ING. Sorin HERBAN

Intocmit: ING. Cosmin MUSAT

SFARSITUL TRASEULUI



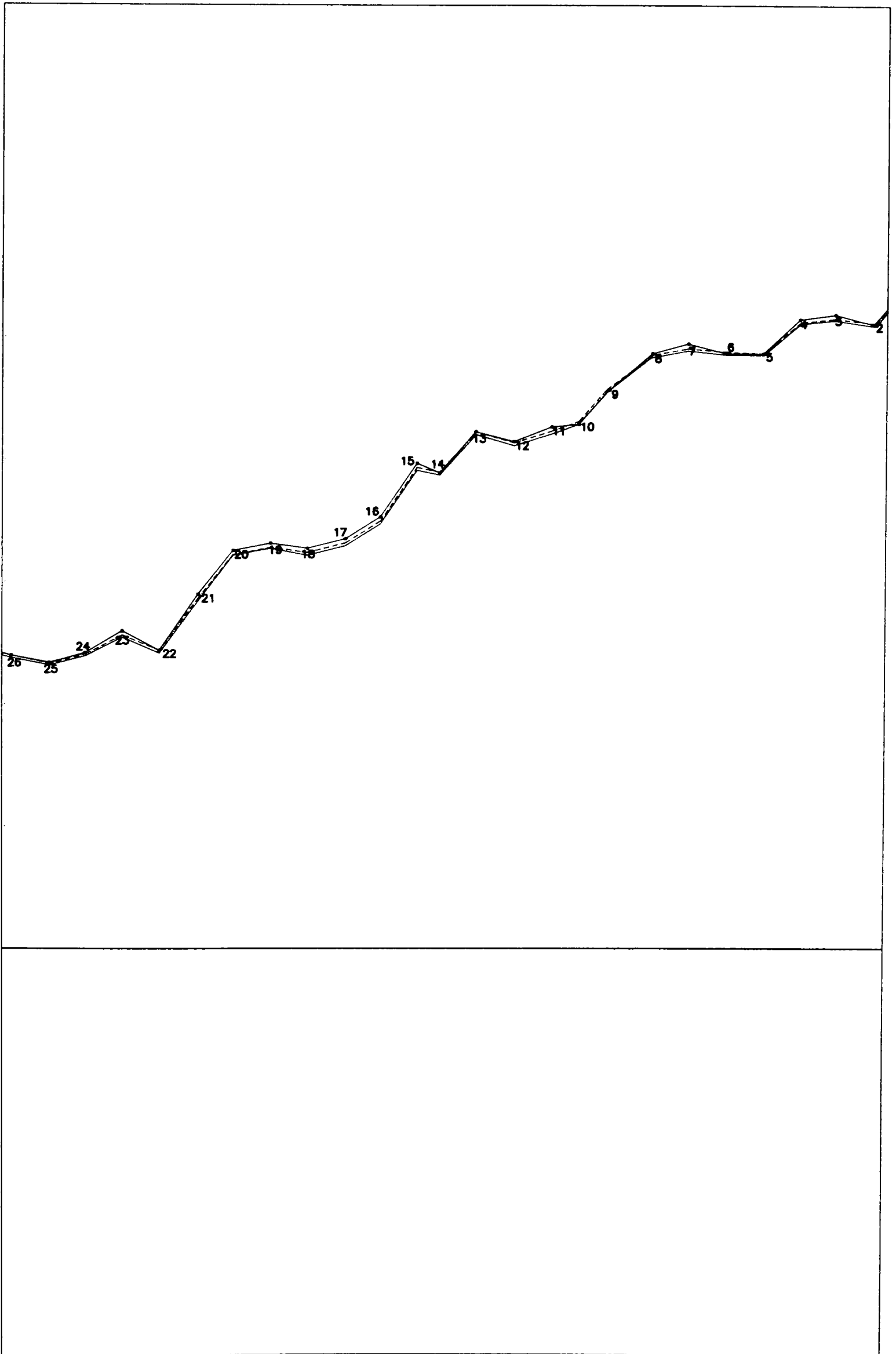
PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU  
Scara lungimilor 1:1000  
Scara altitudinilor (inaltimilor) 1:50

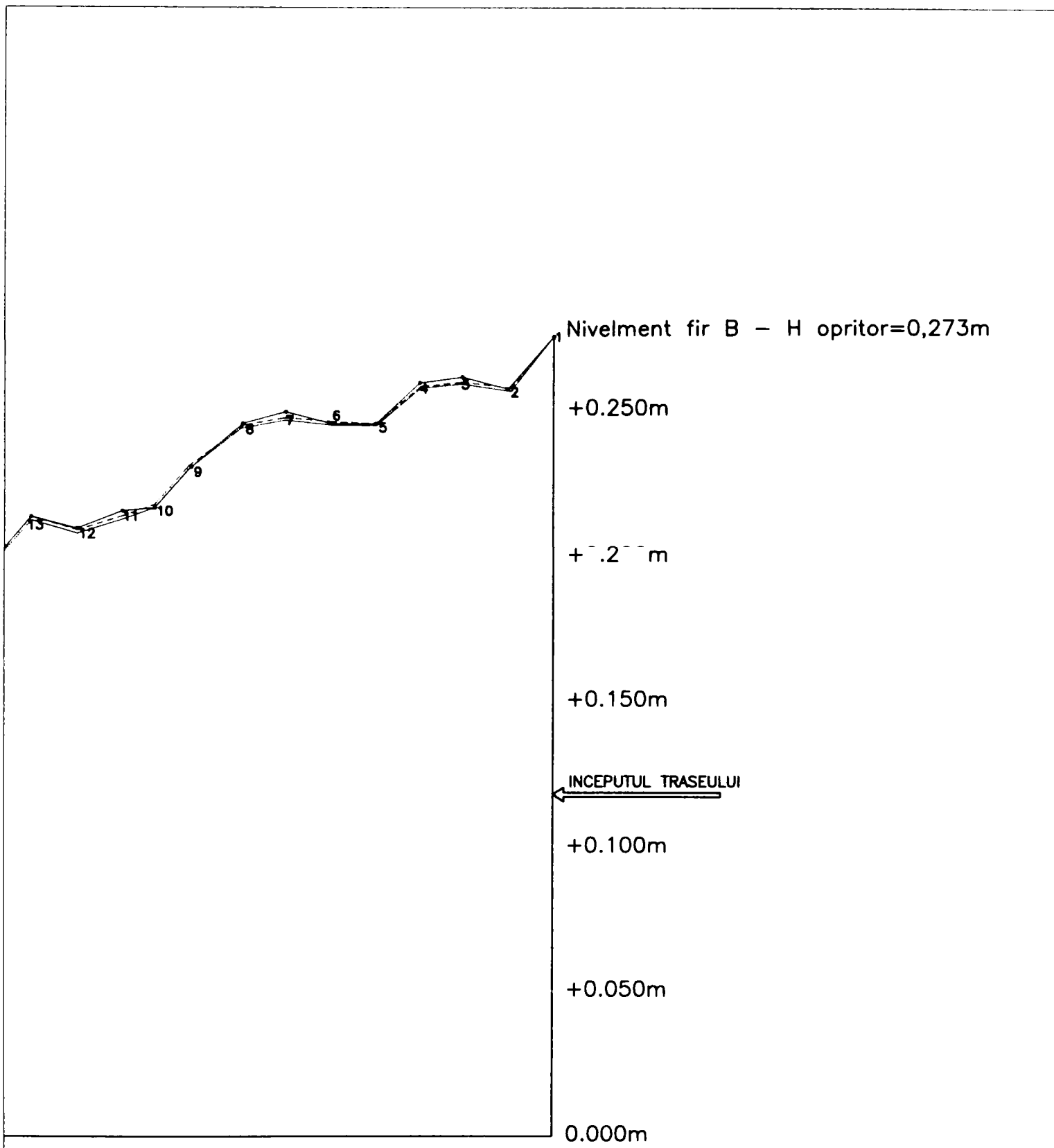


LEGENDA:

- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 1 DE MASURATORI
- - - - - DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 2 DE MASURATORI
- · - · - DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 2 DE MASURATORI

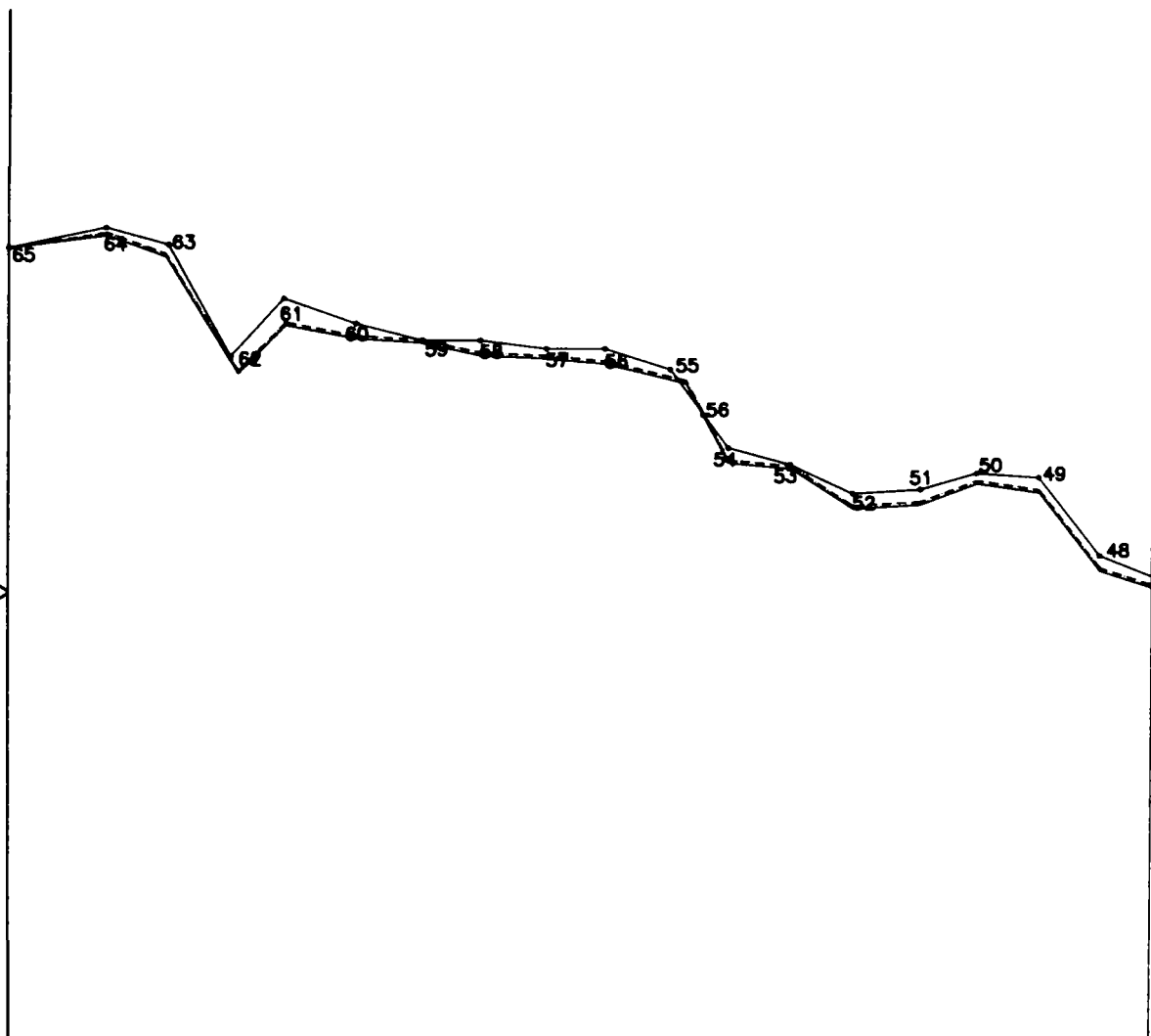




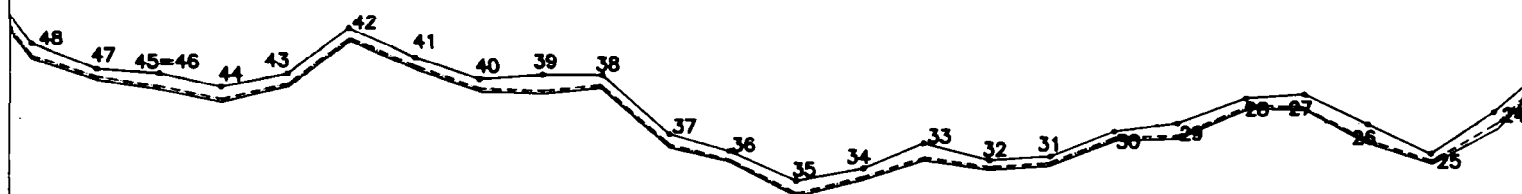


PERSOANA JURIDICA AUTORIZATA O.N.C.G.C. UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA CERTIFICAT DE AUTORIZARE SERIA B NR.289			PROIECT: MASURATORI TOPOMETRICE PRIVIND DEVIERILE PE VERTICALA SI ORIZONTALA A AXULUI CAII DE RULARE A MASINII DE CARBUNE NR.1 INCINTA C.T. Sud TIMISOARA BENEFICIAR: S.C. COLTERM S.A. TIMISOARA		PLANSA 01
INTOCMIT	Ing. Sorin HERBAN		SCARA	PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU	
MASURAT	Ing. Sorin HERBAN		1:1000		
DESENAT	Ing. Sorin HERBAN		1:50		
VERIFICAT			OCT, FEB 2005		

SFARSITUL TRASEULUI

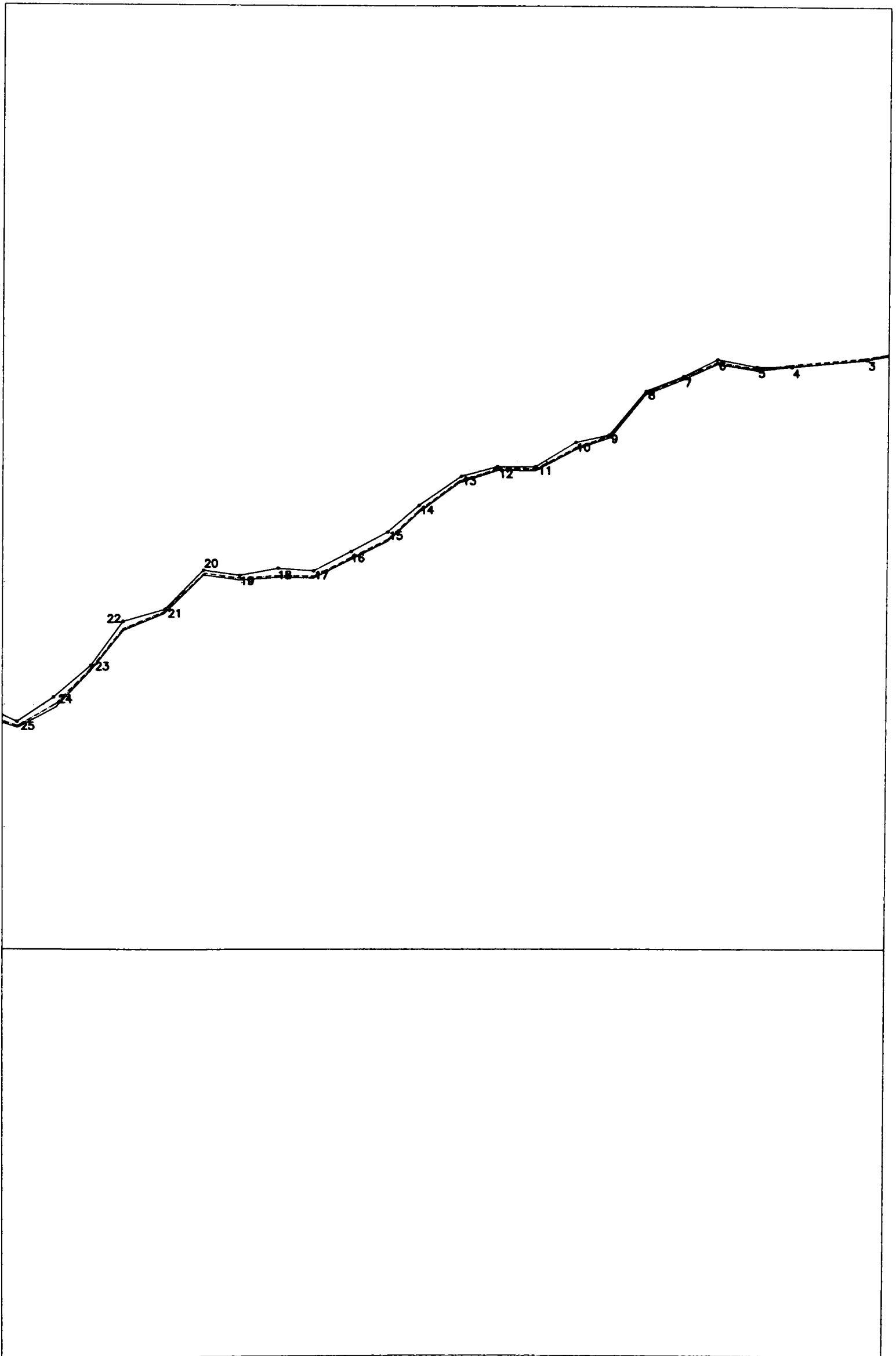


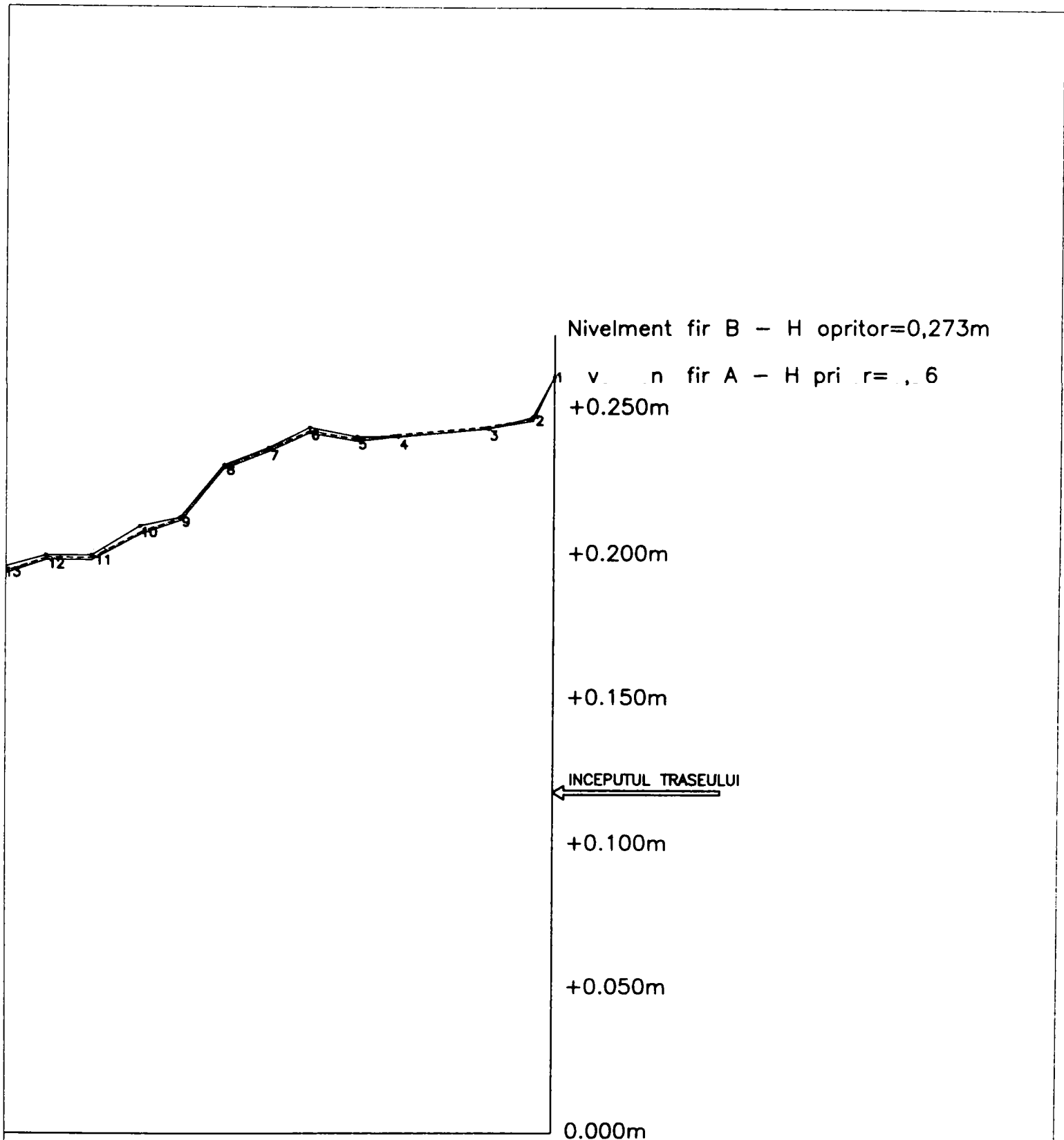
PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU  
Scara lungimilor 1:1000  
Scara altitudinilor (inaltimilor) 1:50



LEGENDA:

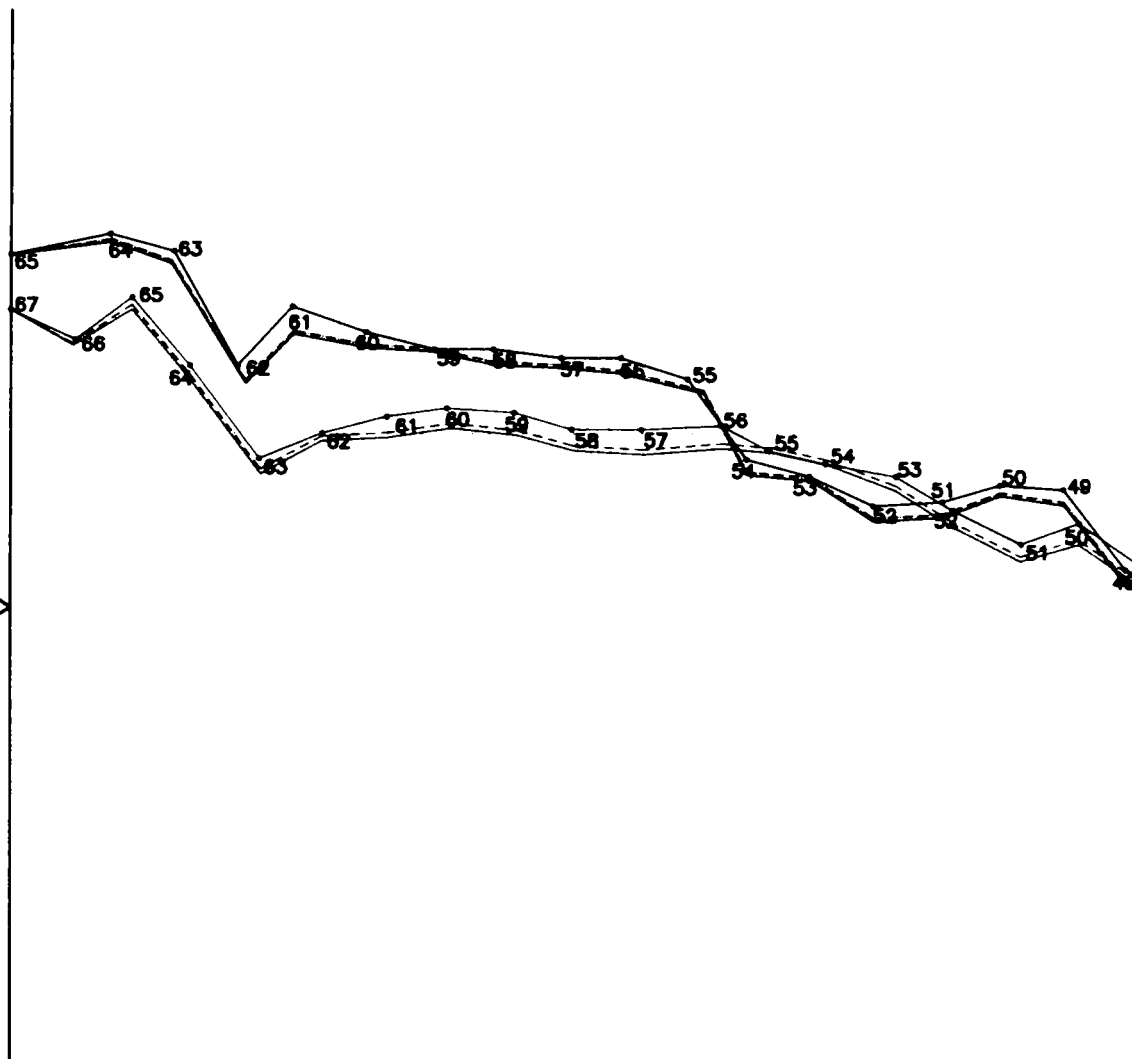
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 1 DE MASURATORI
- - - - - DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 2 DE MASURATORI
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 2 DE MASURATORI



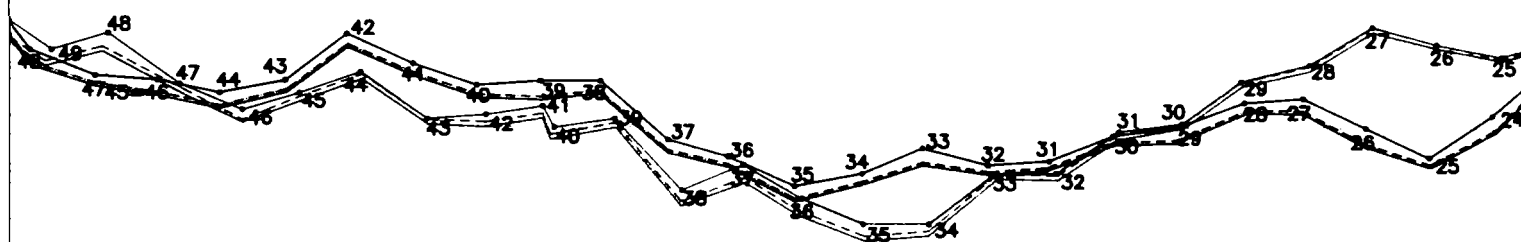


PERSOANA JURIDICA AUTORIZATA O.N.C.G.C. UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA CERTIFICAT DE AUTORIZARE SERIA B NR.289			PROIECT: MASURATORI TOPOMETRICE PRIVIND DEVIERILE PE VERTICALA SI ORIZONTALA A AXULUI CAII DE RULARE A MASINII DE CARBUNE NR.1 INCINTA C.T. Sud TIMISOARA BENEFICIAR: S.C. COLTERM S.A. TIMISOARA		PLANSA O2
INTOCMIT	Ing. Sorin HERBAN		SCARA	PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU	
MASURAT	Ing. Sorin HERBAN		1:1000		
DESENAT	Ing. Sorin HERBAN		1:50		
VERIFICAT			OCT, FEB 2005		

SFARSITUL TRASEULUI →



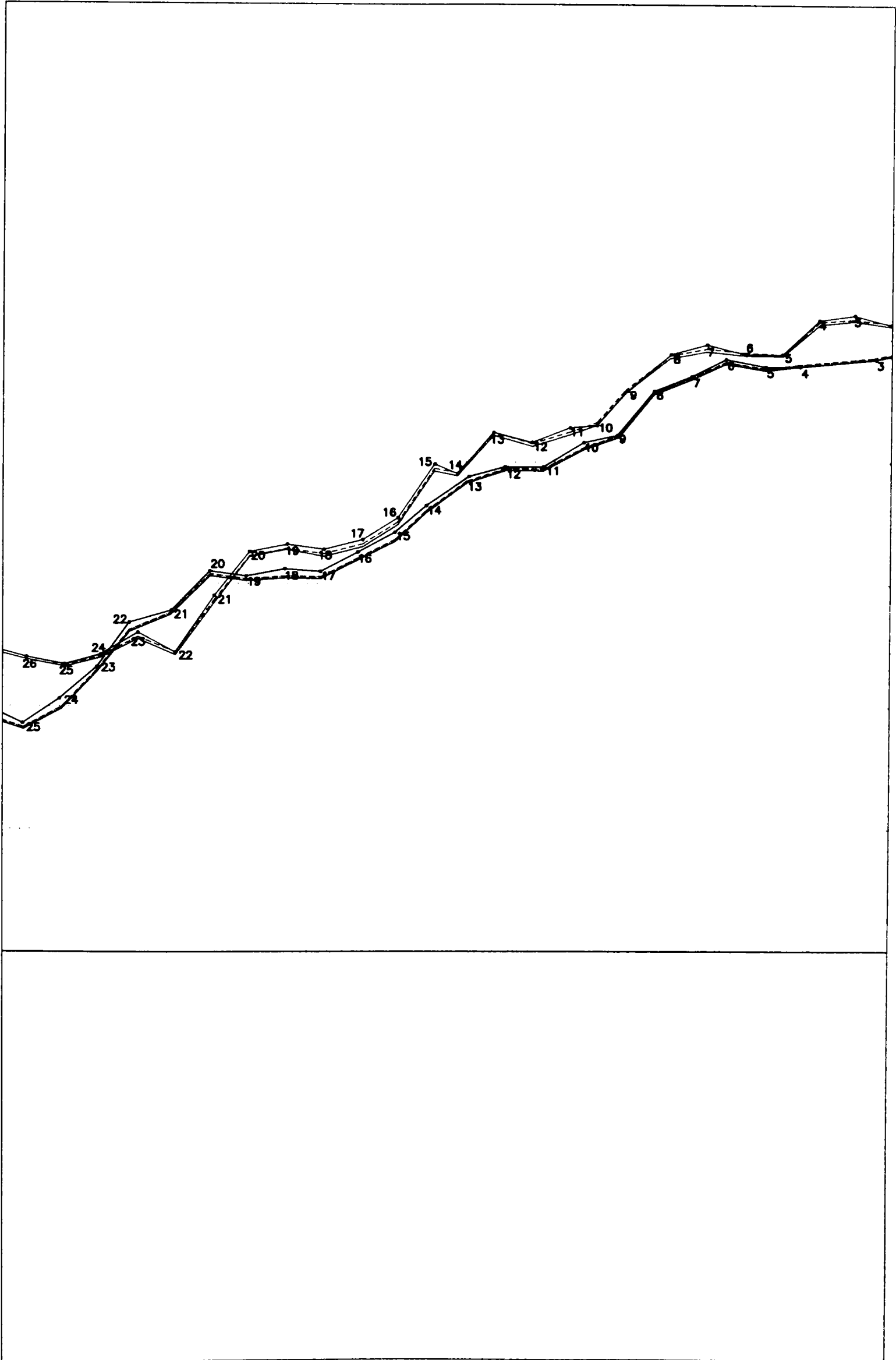
PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU  
Scara lungimilor 1:1000  
Scara altitudinilor (inaltimilor) 1:50

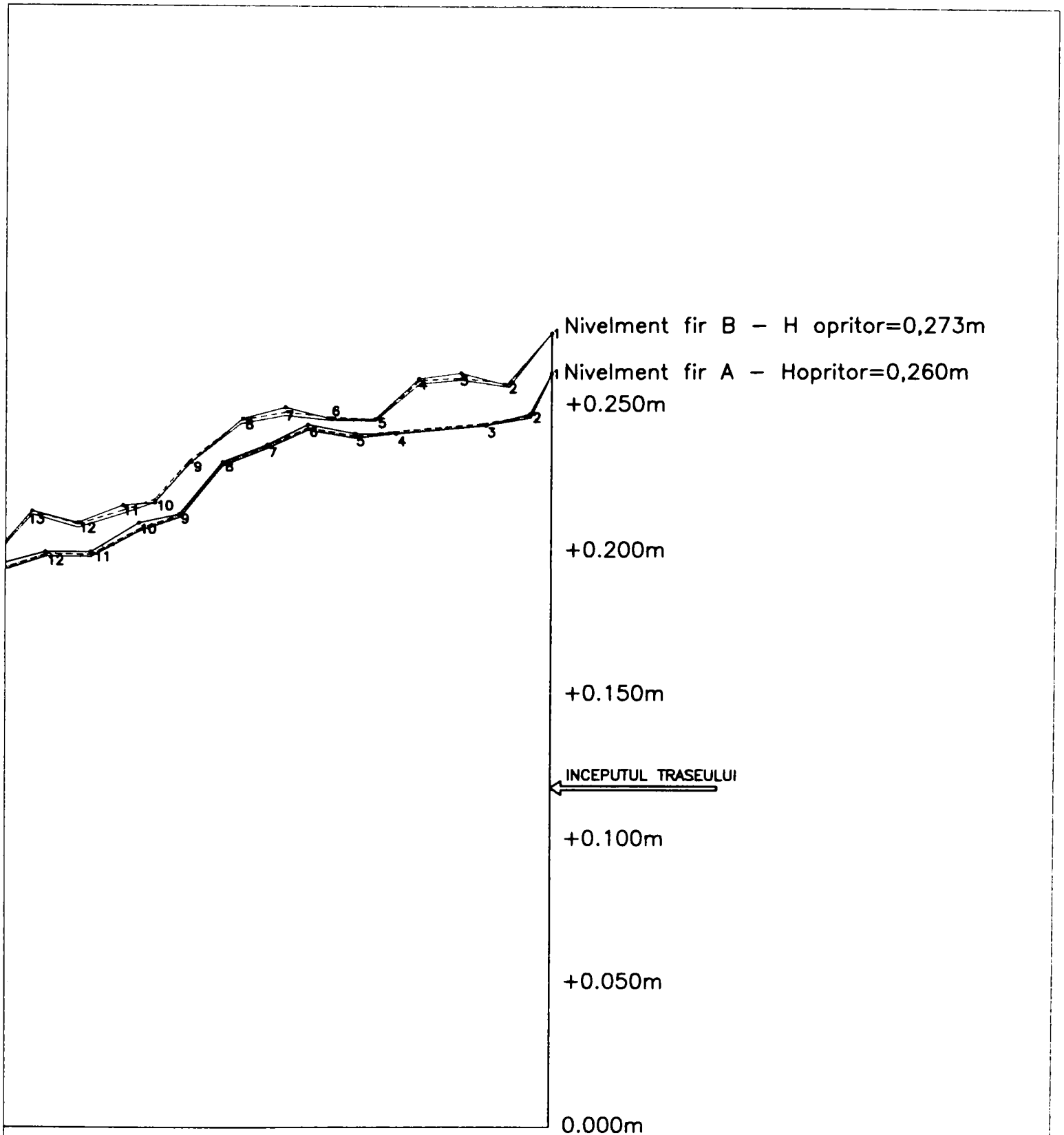


LEGENDA:

- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI A IN CICLUL 1 DE MASURATORI
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI A IN CICLUL 2 DE MASURATORI
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 2 DE MASURATORI
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI B IN CICLUL 1 DE MASURATORI
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI B IN CICLUL 2 DE MASURATORI

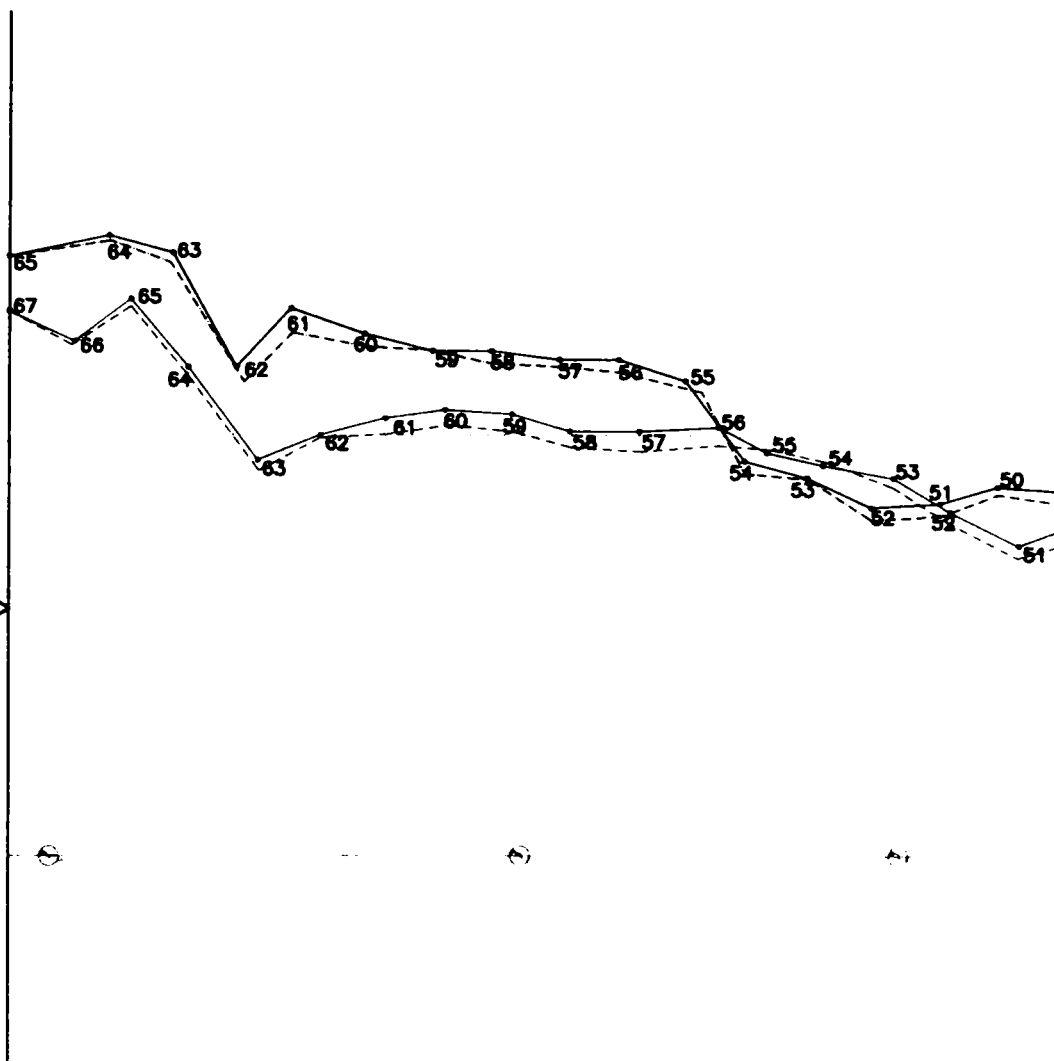




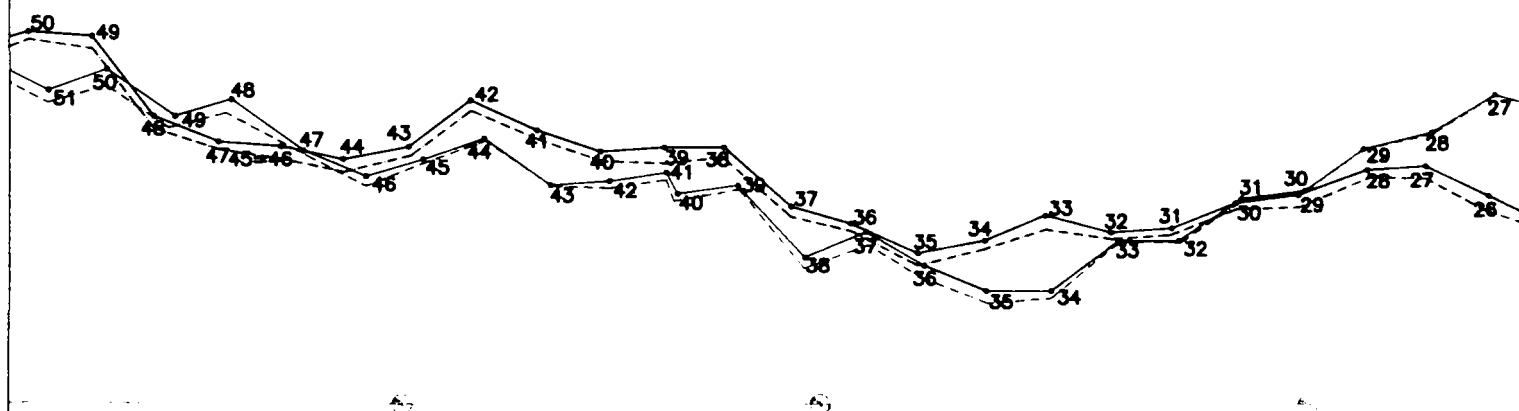


PERSOANA JURIDICA AUTORIZATA O.N.C.G.C. UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA CERTIFICAT DE AUTORIZARE SERIA B NR.289			PROIECT: MASURATORI TOPOMETRICE PRIVIND DEVIERILE PE VERTICALA SI ORIZONTALA A AXULUI CAII DE RULARE A MASINII DE CARBUNE NR.1 INCINTA C.T. Sud TIMISOARA BENEFICIAR: S.C. COLTERM S.A. TIMISOARA		PLANSA O3
INTOCMIT	Ing. Sorin HERBAN		SCARA	PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU	
MASURAT	Ing. Sorin HERBAN		1:1000		
DESENAT	Ing. Sorin HERBAN		1:50		
VERIFICAT			OCT, FEB 2005		

SFARSITUL TRASEULUI →

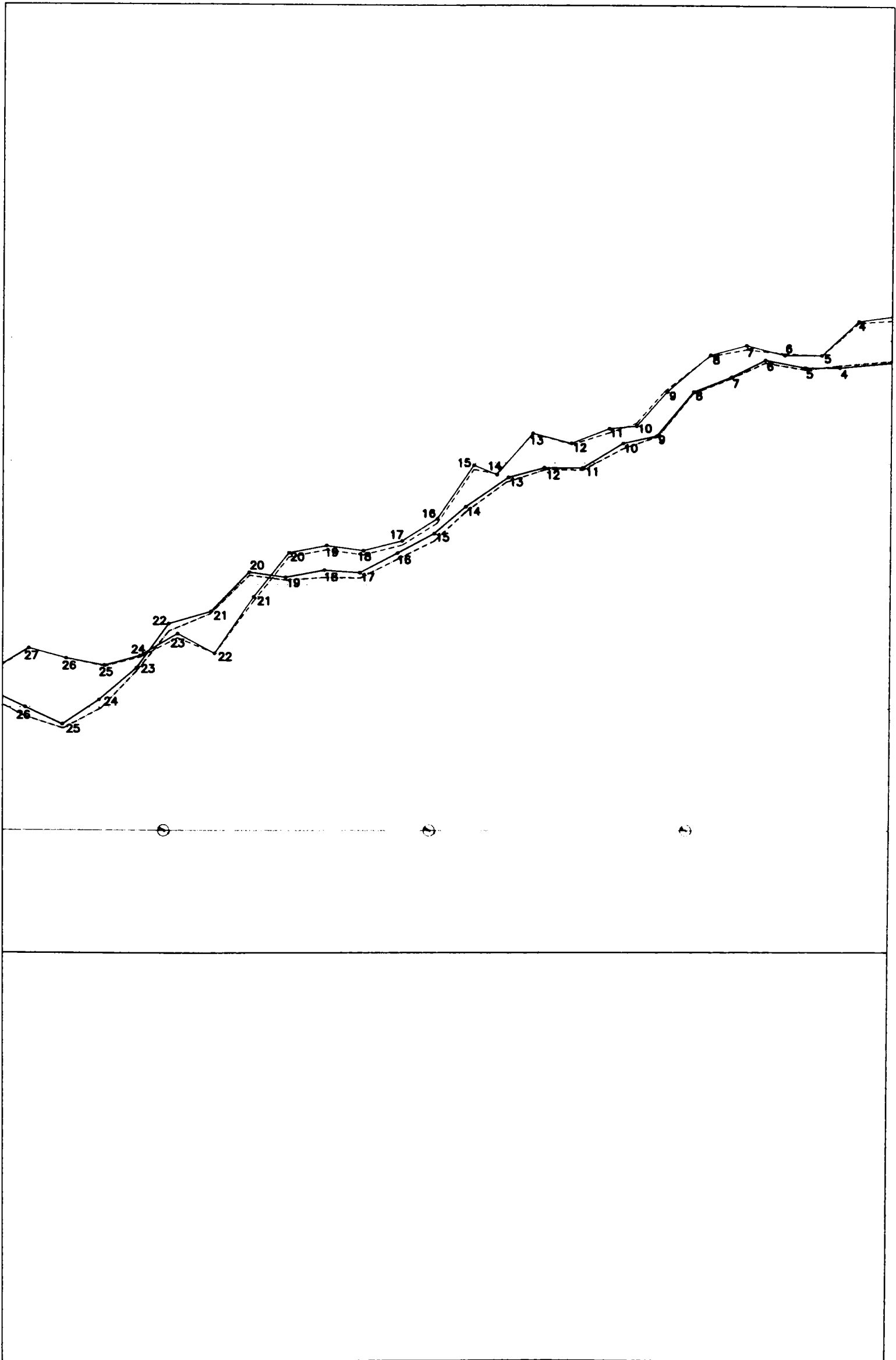


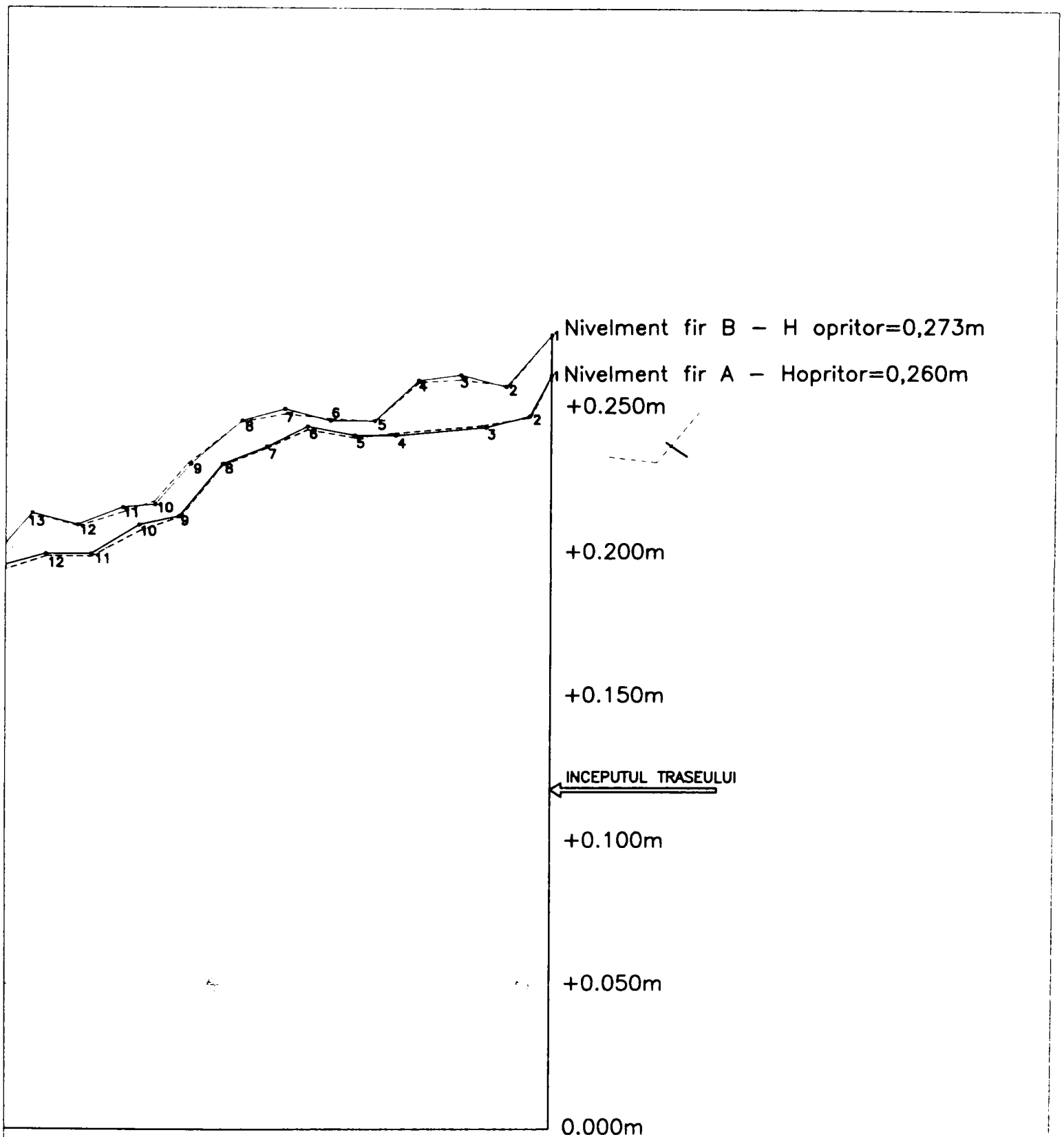
PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU  
 Scara lungimilor 1:1000  
 Scara altitudinilor (inaltimilor) 1:50



LEGENDA:

- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI A IN CICLUL 1 DE MASURATORI
- - - - - DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI A IN CICLUL 2 DE MASURATORI
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI B IN CICLUL 1 DE MASURATORI
- - - - - DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI B IN CICLUL 2 DE MASURATORI
- DEPLASARILE PE VERTICALA ALE FIRULUI IN CICLUL 2 DE MASURATORI





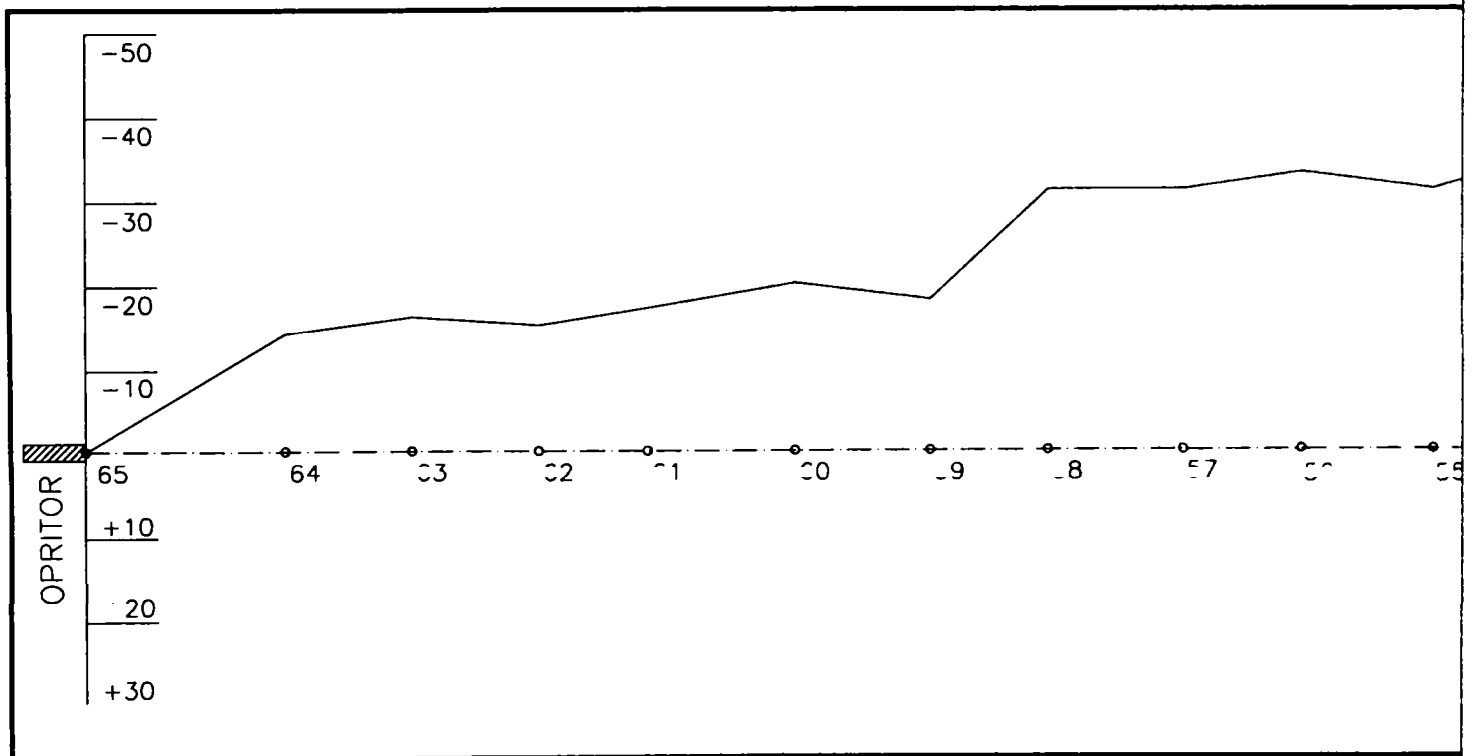
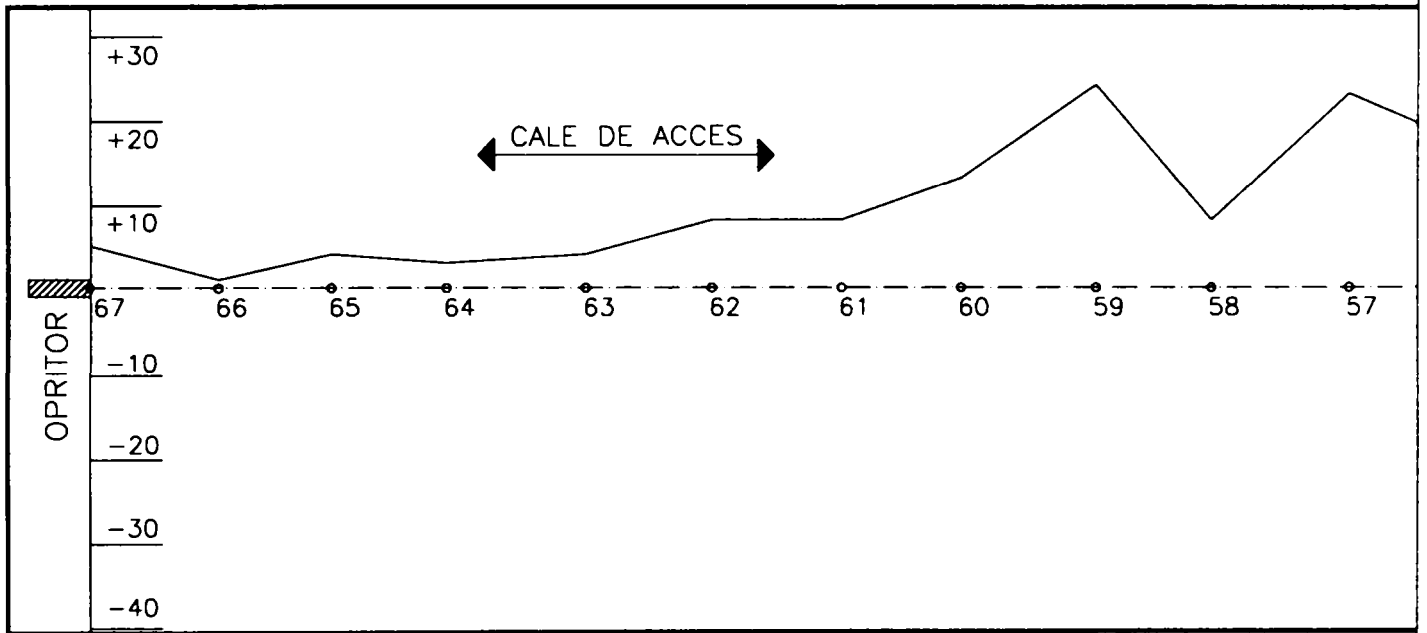
PERSOANA JURIDICA AUTORIZATA O.N.C.G.C. UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA CERTIFICAT DE AUTORIZARE SERIA B NR.289			PROIECT: MASURATORI TOPOMETRICE PRIVIND DEVIERILE PE VERTICALA SI ORIZONTALA A AXULUI CAII DE RULARE A MASINII DE CARBUNE NR.1 INCINTA C.T. Sud TIMISOARA BENEFICIAR: S.C. COLTERM S.A. TIMISOARA		PLANSA 03
INTOCMIT	Ing. Sorin HERBAN		SCARA	PROFIL LONGITUDINAL CU ALTITUDINILE PUNCTELOR DE DETALIU	
MASURAT	Ing. Sorin HERBAN		1:1000		
DESENAT	Ing. Sorin HERBAN		1:50		
VERIFICAT			OCT, FEB 2005		

# MASURATORI TOPOGRAFICE MC NR.1

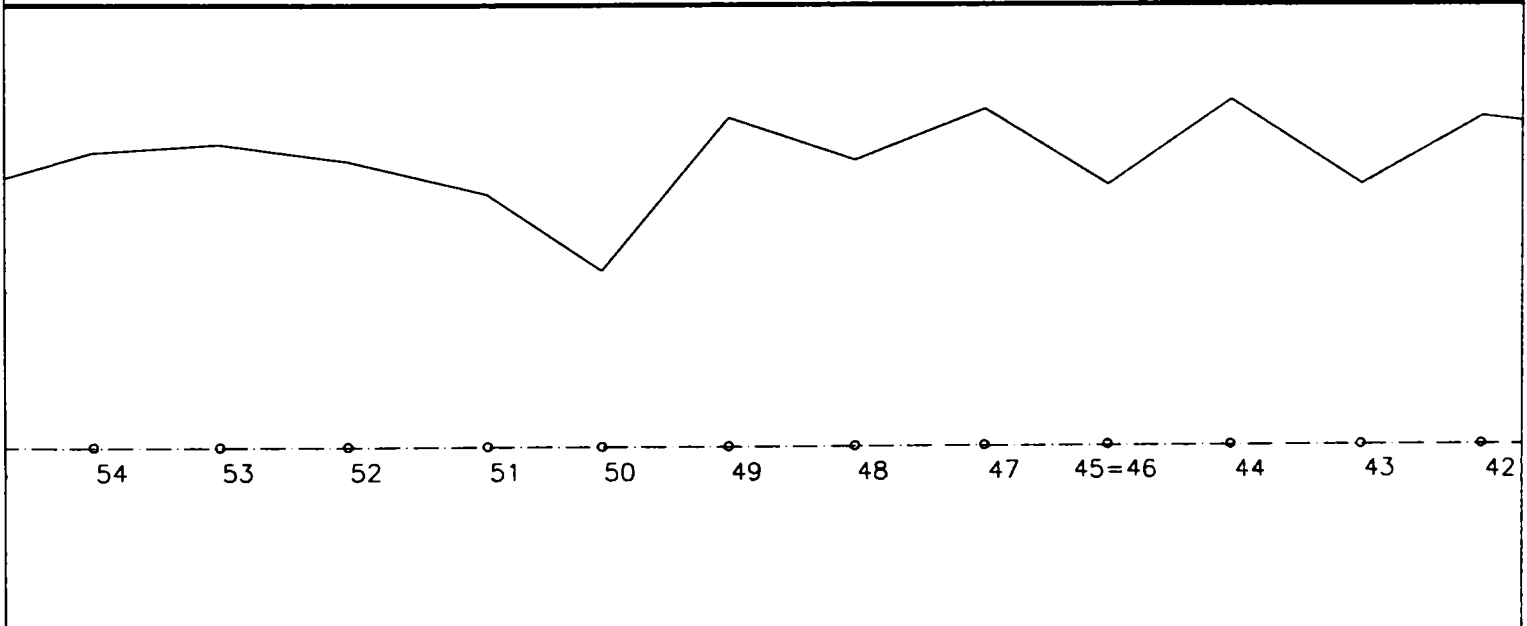
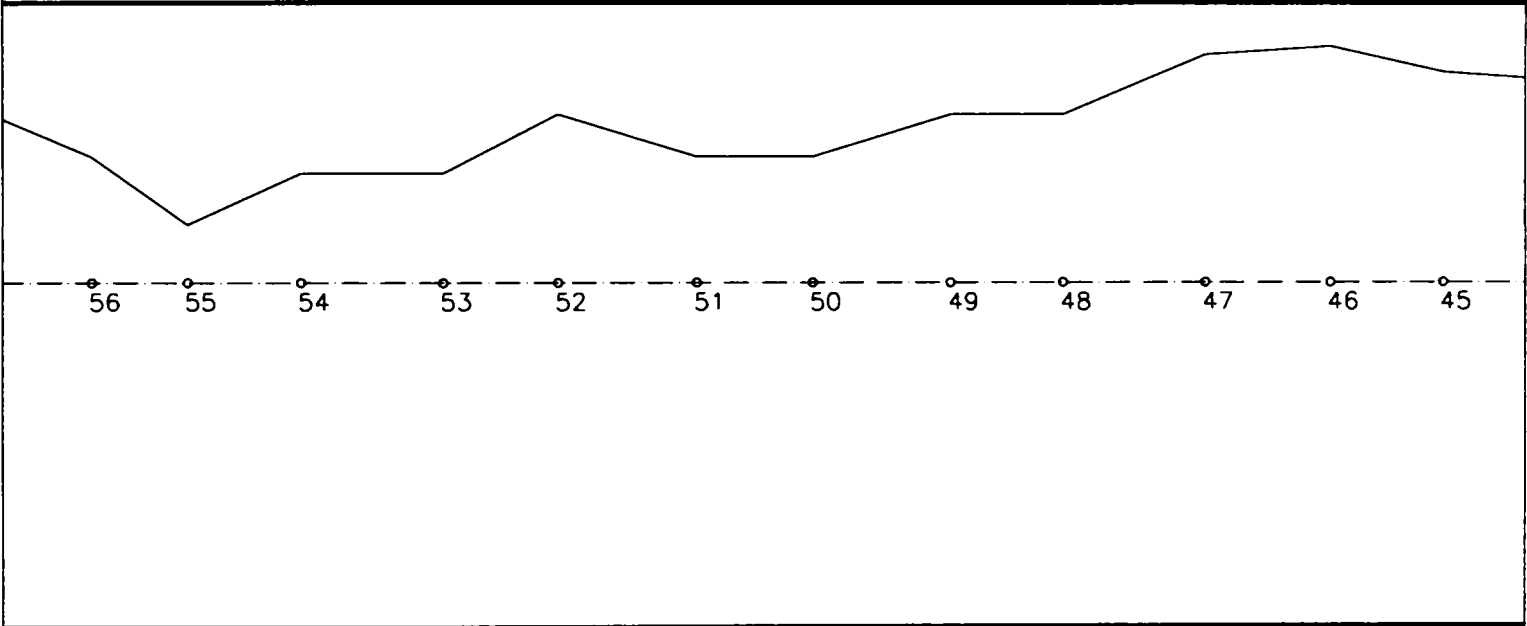
## CET SUD TIMISOARA

Numar punct	MASINA DE CARBUNI NR.1 CAPACITATE 1200t/h GREUTATE 460tone	1	2	3	4	5	6
Aliniere fir de rulare A		0	+14	+17	+28	+21	+23
Aliniere fir de rulare B		0	-6	-4	-14	-6	-16
Ecartament actual		7000	7008	7013	7014	7015	7007
Nivelment fir rulare A		0	-14	-18	-21	-18	-27
Nivelment fir rulare B		0	-19	-16	-15	-31	-28

NOTA: valorile sunt exprimate in mm



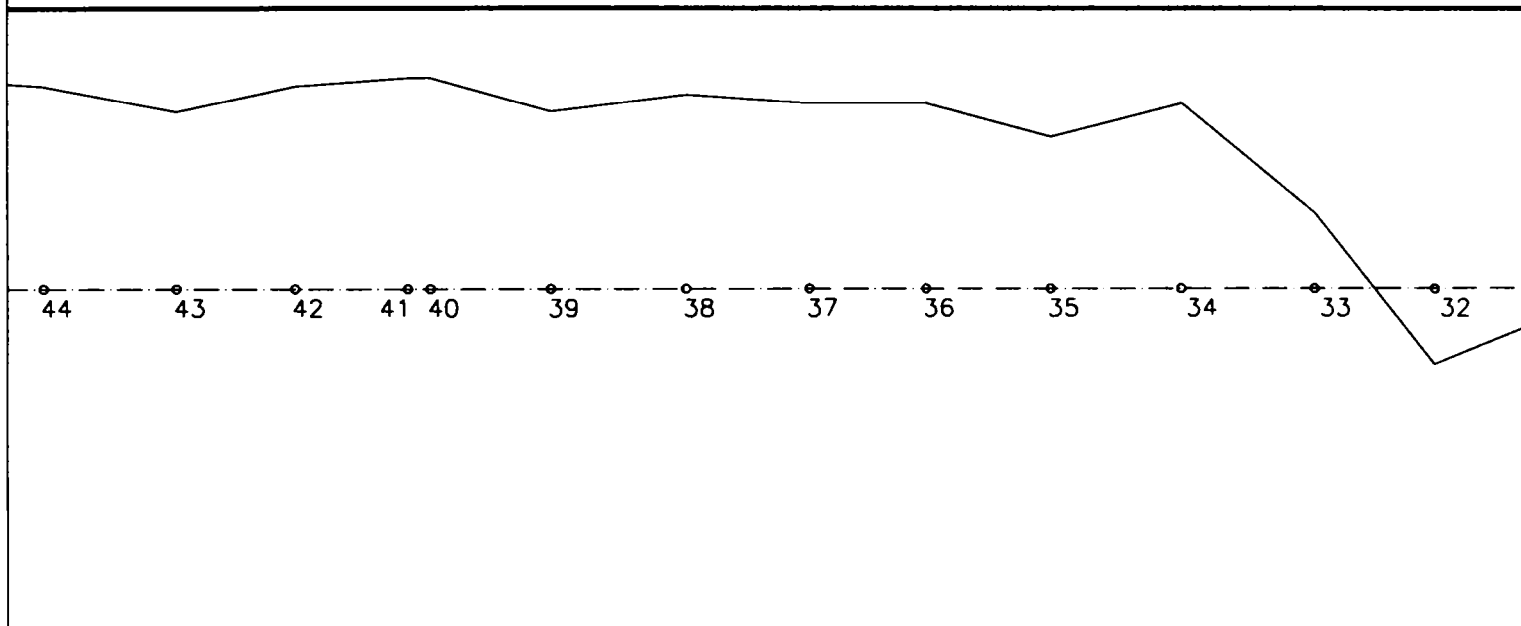
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
+16	+24	+26	+25	+28	+21	+30	+28	+29	+24	+23	+15	+9	-2	+8
-3	-17	-22	-16	-27	-22	-27	-31	-26	-28	-26	-36	-27	-21	-29
7013	7007	7004	7009	7001	6999	7003	6997	7003	6996	6997	6979	6982	6977	6979
-25	-31	-51	-52	-62	-61	-66	-78	-89	-97	-106	-104	-108	-105	-121
-25	-30	-44	-58	-60	-65	-61	-79	-74	-98	-106	-109	-108	-111	-128



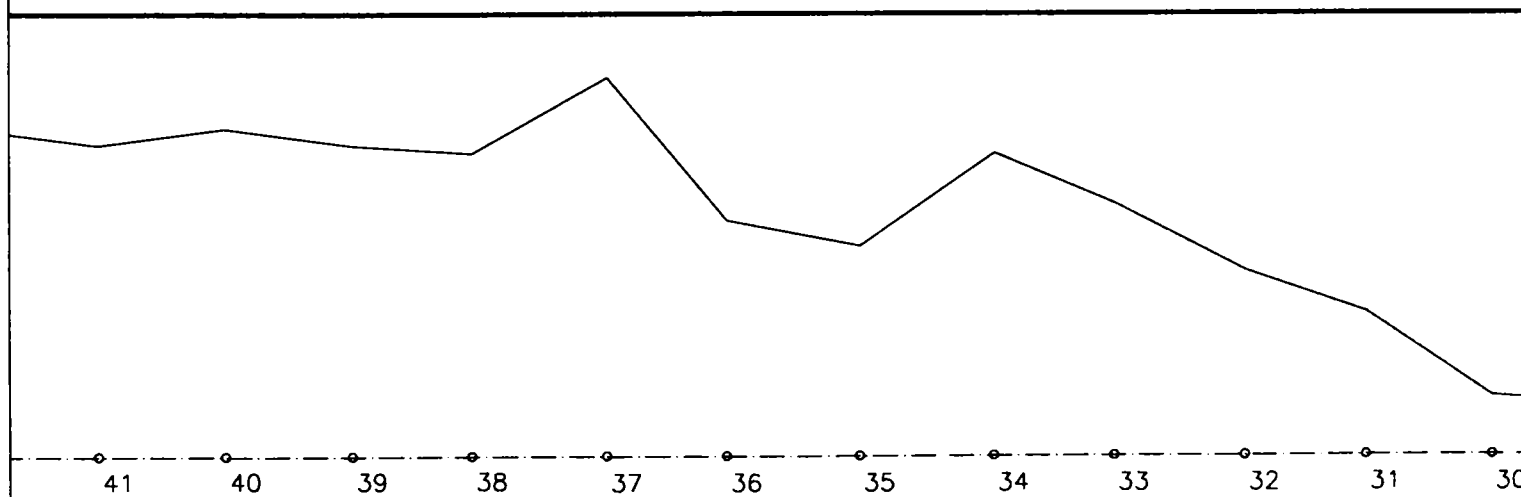


22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
+5	+7	+5	+6	-7	-13	-4	-6	-7	-17	-22	-30	-36	-25	-28
-31	-23	-22	-15	-29	-22	-6	-6	-2	-3	-9	+9	+22	+18	+22
6974	6984	6983	6991	6964	6965	6990	6988	6991	6980	6969	6978	6986	6993	6994
-126	-143	-157	-167	-160	-153	-154	-160	-162	-168	-169	-165	-171	-174	-167
-144	-153	-156	-153	-149	-158	-162	-172	-174	-184	-184	-197	-196	-190	-182

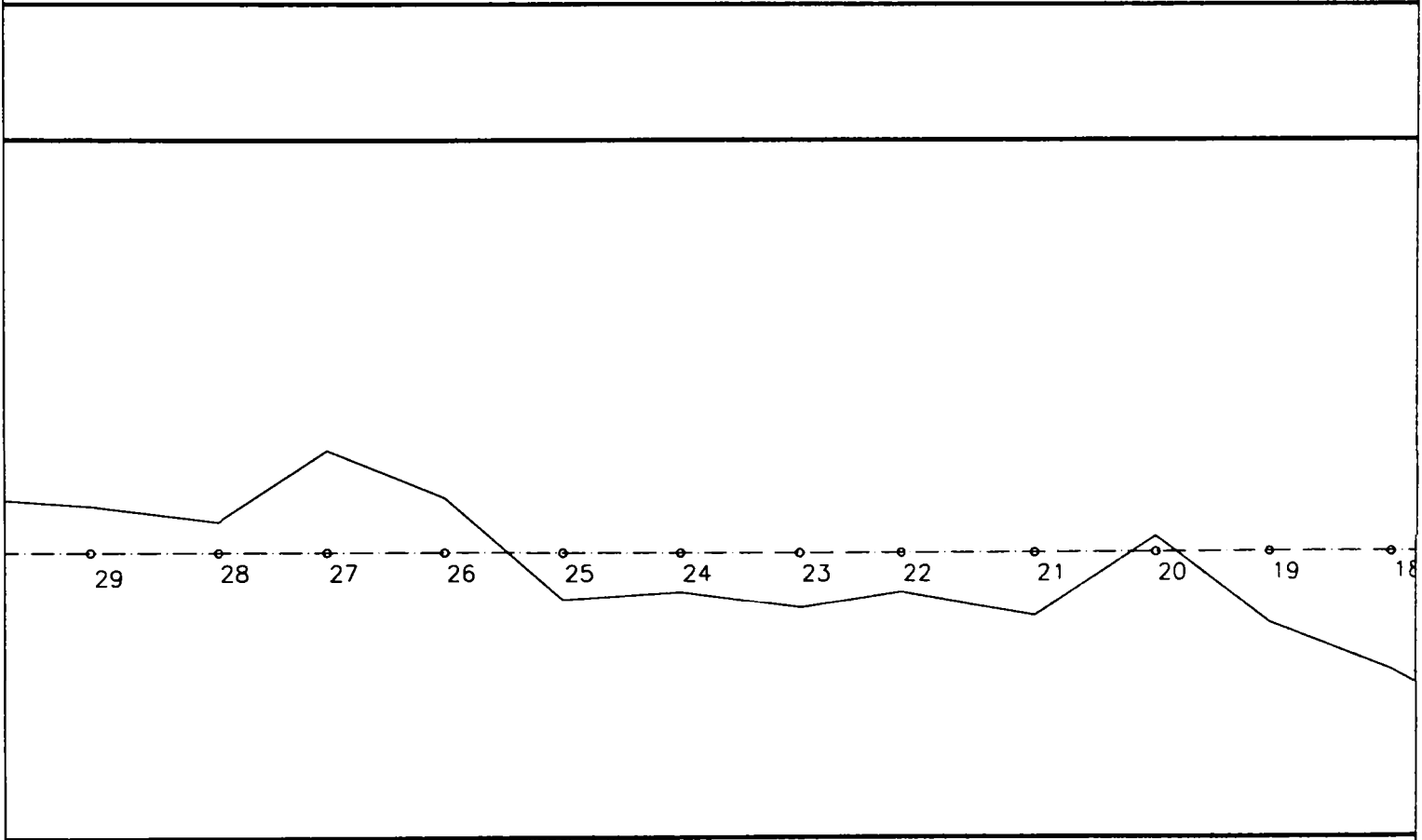
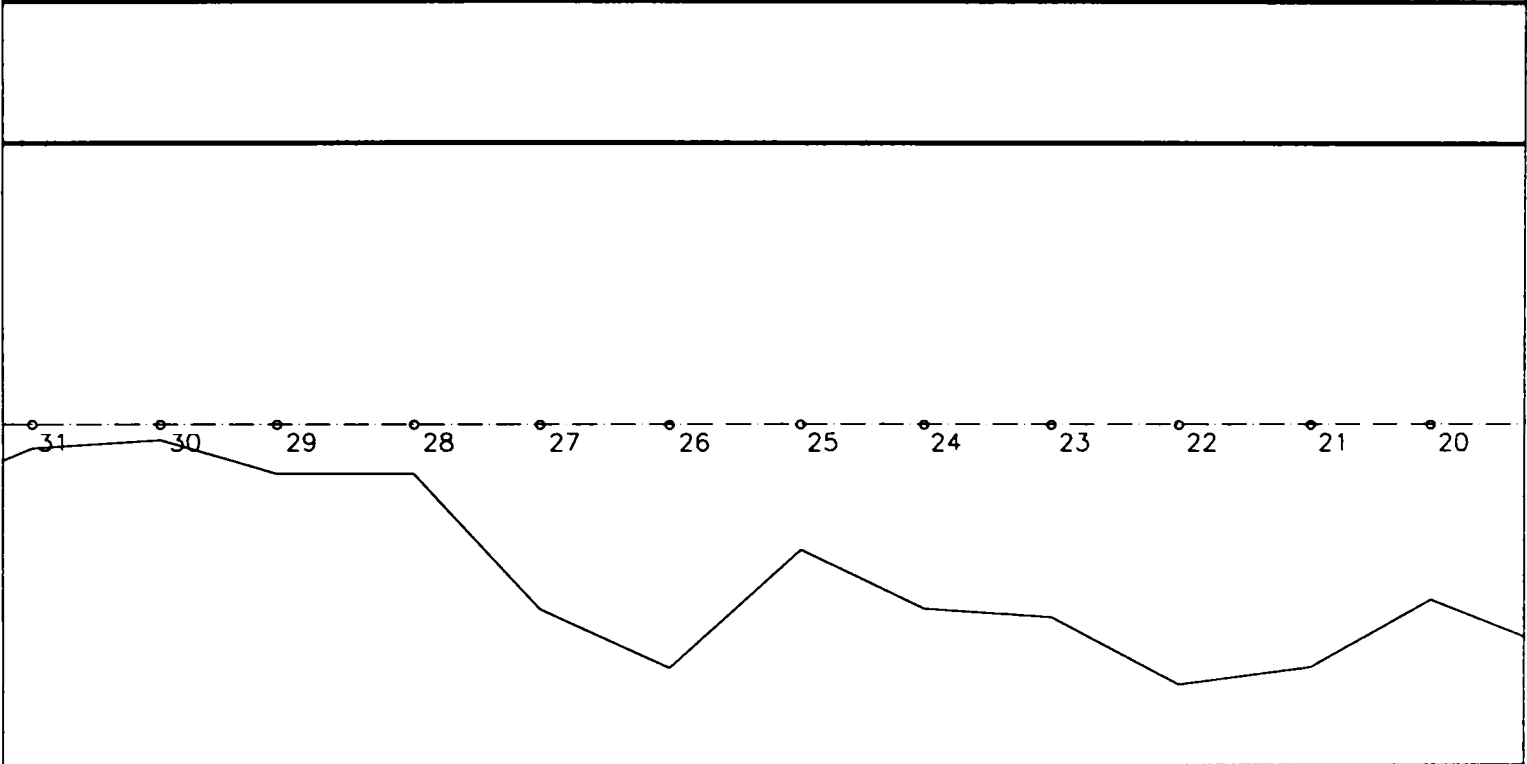
ALINIERE FIR DE RULARE B



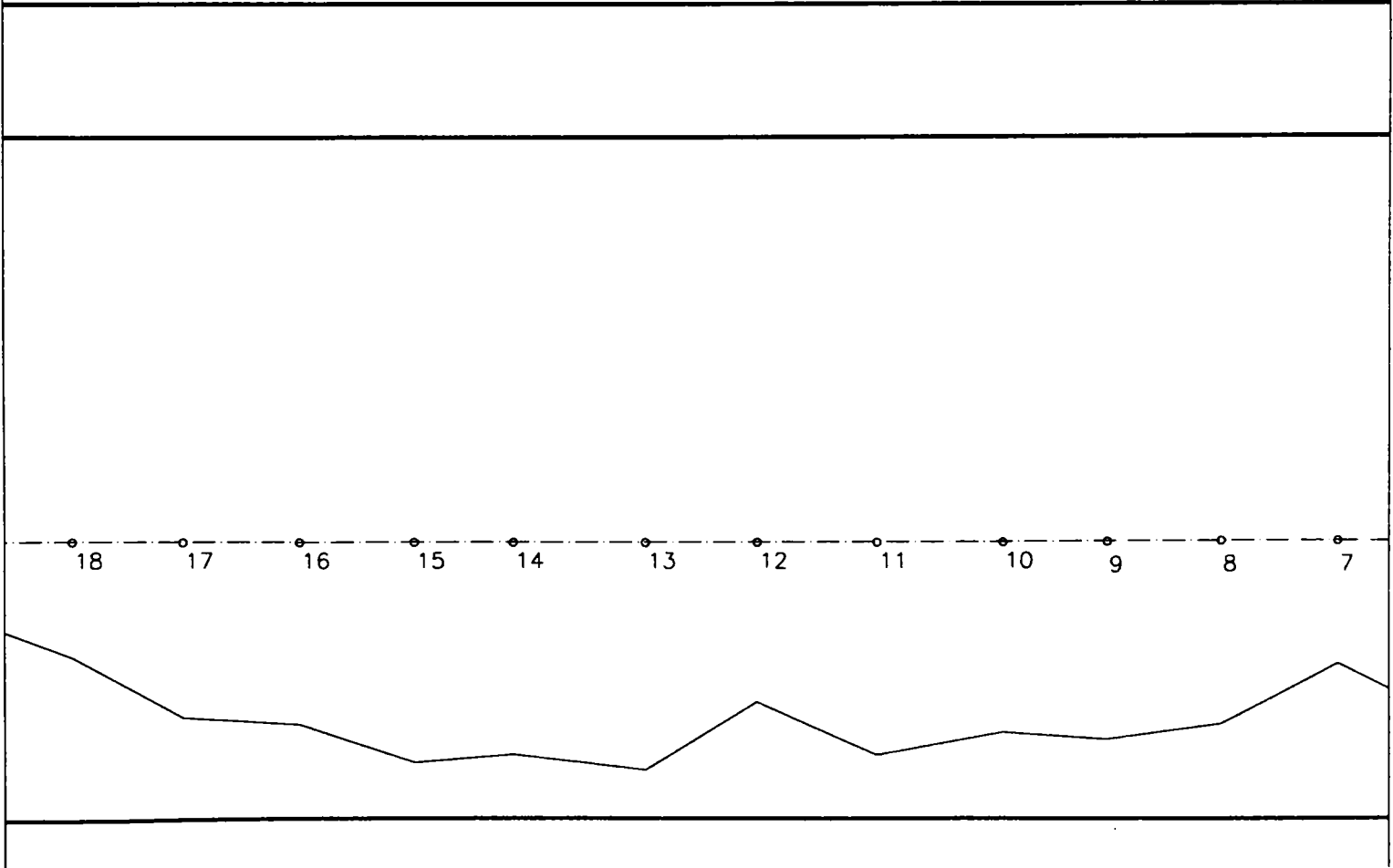
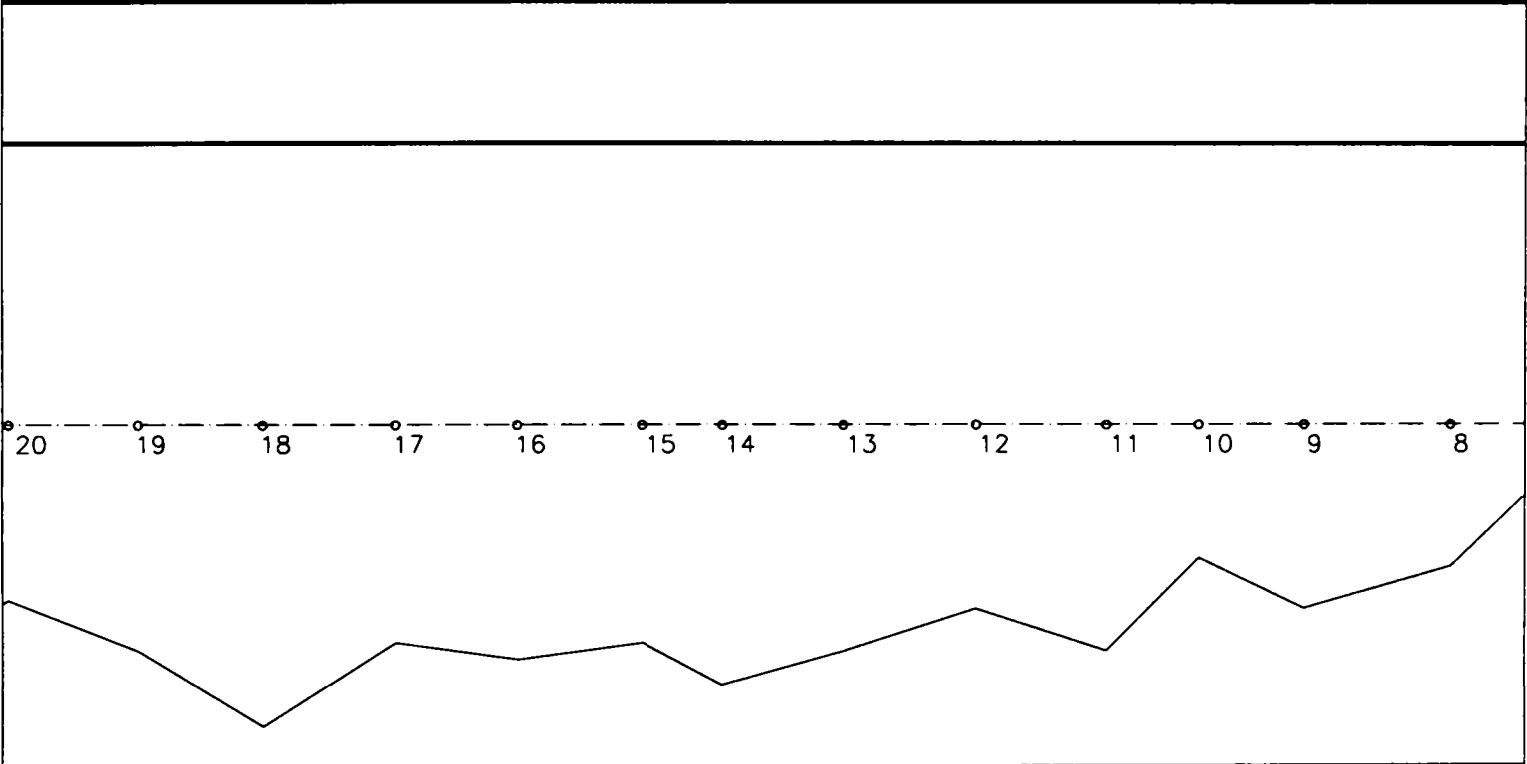
ALINIERE FIR DE RULARE A



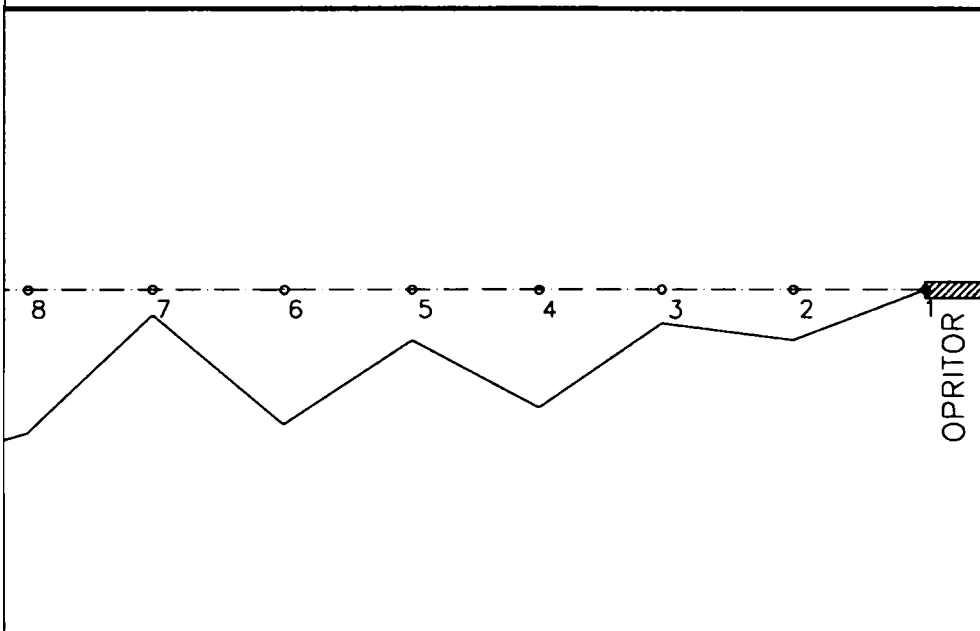
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
-45	-36	-37	-39	-37	-39	-31	-41	-31	-31	-40	-34	-39	-21	-30
+22	+23	+21	+25	+25	+24	+21	+24	+25	+28	+27	+20	+20	+15	+15
6977	6987	6984	6986	6988	6985	6990	6983	6994	6997	6987	6986	6981	6994	6985
-163	-149	-149	-150	-145	-138	-149	-152	-149	-147	-148	-142	-122	-126	-127
-188	-171	-173	-170	-169	-160	-165	-169	-163	-163	-155	-145	-149	-141	-133



51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
-30	-34	-36	-35	-31	-33	-31	-31	-18	-20	-17	-15	-16	-14	0
+15	+20	+13	+13	+7	+15	+23	+8	+24	+13	+8	+8	+4	+3	+4
6985	6986	6977	6978	6986	6982	6992	6977	7006	6993	6991	6993	6988	6989	7004
-127	-120	-116	-97	-97	-92	-90	-90	-87	-80	-94	-67	-63	-68	--
-133	-130	-137	-121	-118	-122	-118	-117	-119	-123	-119	-108	-86	-82	-94

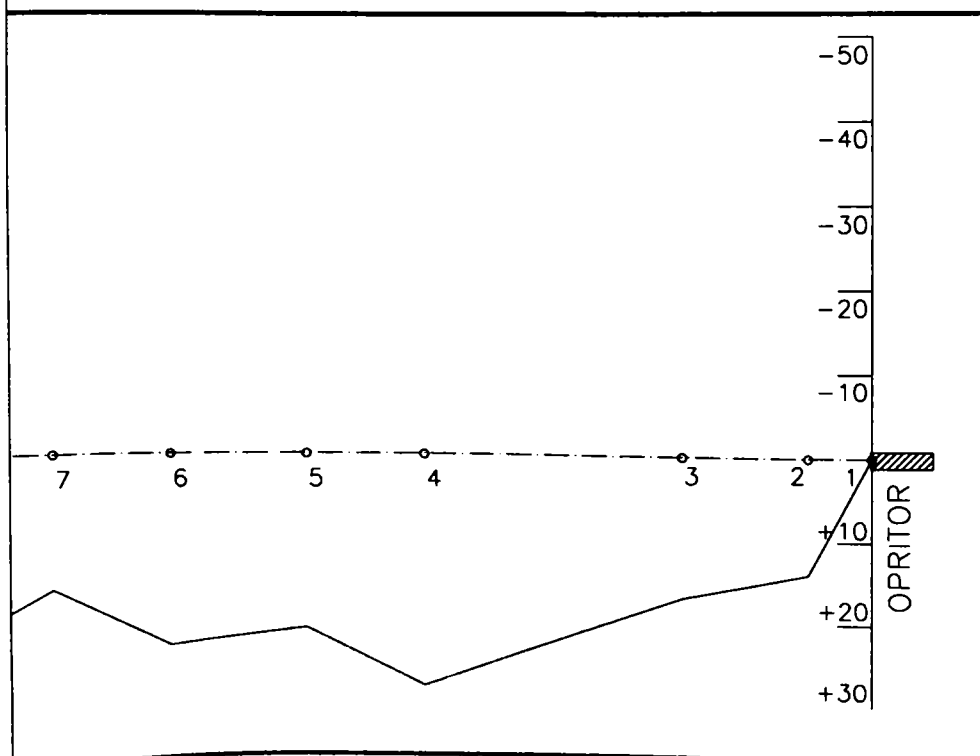


65	Numar punct
0	Aliniere fir de rulare A
+4	Aliniere fir de rulare B
7004	Ecartament actual
--	Nivelment fir rulare A
-94	Nivelment fir rulare B



OBSERVATII:

1. Lungime totala fir A = 480,79m
2. Lungime totala fir B = 480,70m
3. Ecartament nominal E=7000mm
4. Distanța între puncte măsurate = aprox.7,50m – la joante și la mijlocul distanței între joante
5. Semnul "+" indica o abatere de aliniere spre exteriorul căii de rulare
6. Semnul "-" indica o abatere de aliniere spre interiorul căii



Timisoara, 14 octombrie 2005

Masurat:ING. Cosmin MUSAT  
ING. Sorin HERBAN

Intocmit: ING. Cosmin MUSAT