

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

**Ing. Cosmin Constantin MUȘAT**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

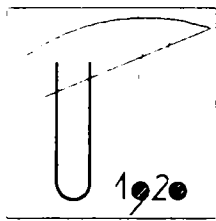
**CONTRIBUȚII PRIVIND STABILIREA TASĂRILOR ȘI  
DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR UTILIZÂND  
METODE ȘI TEHNICI TOPO-GEODEZICE MODERNE**

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT  
Prof.Dr.Ing. Marin MARIN**

UNIV. "POLITEHNICA"		
TIMIȘOARA		
BIBLIOTECA CENTRALĂ		
Nr. volum	648.359	
Dulap	369	Lit. C

**TIMIȘOARA  
2006**

16939



---

**COMPARTIMENT DOCTORAT**

**ORDIN NR. 44 DIN 19.01.2006**

*În ședința Senatului Universității "POLITEHNICA" din Timișoara din 19.01.2006.*

*s-a aprobat comisia pentru susținerea publică a tezei de doctorat elaborată de Domnul*

**MUȘAT COSMIN CONSTANTIN**

**RECTORUL** emite ordinul de numire a comisiei în următoarea componență:

**Președinte:** *Prof.dr.ing. BĂNCILĂ RADU*

**Conducător de doctorat:** *Prof.dr.ing.MARIN MARIN*

**Referenți:**

- 1.Prof.dr.ing.PALAMARIU MARICEL, Universitatea „1 Decembrie 1918” din Alba Iulia*
- 2.Prof.dr.ing.POPA AUGUSTIN, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca*
- 3.Conf.dr.ing.GRECEA CARMEN, Universitatea „Politehnica” din Timișoara*

**RECTOR**

**Prof.dr.ing.Nicolae Robu**

## CUPRINS

<i>Introducere</i>	4
<b>CAPITOLUL 1 - ASPECTE GENERALE PRIVIND DEFORMAȚIILE CONSTRUCȚIILOR ȘI IMPORTANȚA STUDIILOR ACESTORA</b>	9
<i>1.1. Tipuri de măsurători</i>	13
<i>1.2. Metode de măsurare a deformațiilor și deplasărilor construcțiilor</i>	14
<i>1.3. Cauzele producerii tasărilor și deformațiilor construcțiilor</i>	16
<b>CAPITOLUL 2 - STADIUL ACTUAL AL METODELOR TOPO-GEODEZICE APLICATE LA STUDIUL COMPORTĂRII CONSTRUCȚIILOR</b>	21
<i>2.1. Metode topo-geodezice utilizate la determinarea deplasărilor orizontale</i>	21
<i>2.1.1. Metoda microtriangulației</i>	21
<i>2.2. Determinarea deplasărilor orizontale ale construcțiilor</i>	25
<i>2.2.1. Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de stație în rețele complete</i>	28
<i>2.2.2. Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de stație în rețele incomplete</i>	34
<i>2.3. Metoda aliniamentelor</i>	37
<i>2.3.1. Metoda observării unui aliniament pe toată lungimea lui</i>	39
<i>2.3.2. Metoda observării unghiurilor paralactice</i>	40
<i>2.3.3. Metoda observării aliniamentelor paralele suplimentare</i>	42
<i>2.3.4. Metoda observării aliniamentelor intersectate</i>	44
<i>2.4. Metoda poligonometrică</i>	46
<i>2.5. Metoda microtrilaterației</i>	51
<i>2.5.1. Determinarea deplasărilor orizontale utilizând rețelele liniare</i>	51
<i>2.5.2. Determinarea deplasărilor orizontale utilizând poligonul cu săgeți</i>	53
<i>2.6. Metode topo-geodezice utilizate la determinarea deplasărilor verticale</i>	55
<i>2.6.1. Metoda nivelmentului geometric de precizie înaltă</i>	55
<i>2.6.2. Proiectarea rețelilor de nivelment geometric pentru determinarea tasărilor</i>	57
<i>2.6.2.1. Repartiția spațială a reperilor de control</i>	57
<i>2.6.2.2. Stabilirea poziției mărcilor pe obiectivul supus observațiilor periodice</i>	61
<i>2.7. Marcarea punctelor rețelilor de nivelment utilizate la urmărirea construcțiilor</i>	64
<i>2.7.1. Materializarea reperilor de control</i>	65
<i>2.7.2. Materializarea punctelor de nivelment pe obiectivul examinat</i>	69
<i>2.8. Erorile întâlnite în nivelmentul geometric pentru determinarea tasărilor și modul de eliminare a acestora</i>	72
<i>2.8.1. Neorizantalitatea liniei de vizare a lunetei instrumentului</i>	72
<i>2.8.2. Neaplicarea corecției de sfericitate, refracție și temperatură</i>	72
<i>2.8.3. Neverticalitatea mirei și excentricitatea benzii de invar față de axa reperului</i>	74
<i>2.9. Metoda nivelmentului trigonometric de precizie</i>	77
<i>2.9.1. Determinarea relațiilor de calcul</i>	77
<i>2.9.2. Evaluarea preciziei de determinare a deplasărilor verticale ale construcțiilor observate</i>	79
<i>2.10. Metoda nivelmentului hidrostatic</i>	81
<i>2.11. Metode geodezice de determinare a înclinării construcțiilor înalte</i>	84
<i>2.11.1. Determinarea înclinării construcțiilor rectangulare înalte prin măsurarea unghiurilor orizontale</i>	85

2.11.2. Determinarea înclinării construcțiilor circulare înalte prin măsurarea unghiurilor orizontale	87
2.11.3. Metodă de determinare a înclinării construcțiilor înalte prin nivelment geometric de precizie	90
2.11.4. Determinarea înclinărilor construcțiilor înalte prin măsurarea tasării fundației	92
2.12. <i>Influența factorilor atmosferici asupra stabilității construcțiilor înalte</i>	94
2.12.1. Influența radiațiilor solare asupra construcțiilor înalte	94
2.12.2. Influența vânturilor asupra construcțiilor înalte	95
<b>CAPITOLUL 3 - COMPENSAREA ȘI PRELUCRAREA MĂSURĂTORILOR TOPO-GEODEZICE SPECIFICE URMĂRIII CONSTRUCȚIILOR</b>	99
3.1. <i>Aspecte generale în studiul teoriei erorilor de măsurare</i>	99
3.2. <i>Importanța teoriei erorilor de măsurare</i>	101
3.3. <i>Măsurători și erori de măsurare</i>	102
3.3.1. Clasificarea măsurătorilor	103
3.3.2. Clasificarea erorilor de măsurare	104
3.4. <i>Proprietățile erorilor întâmplătoare</i>	106
3.4.1. Alte tipuri de erori	108
3.5. <i>Concepte statistice în prelucrarea măsurătorilor</i>	108
3.5.1. Repartiții de frecvențe	109
3.5.2. Repartiția empirică a erorilor întâmplătoare	110
3.5.3. Histograma	111
3.6. <i>Studiul repartiției erorilor întâmplătoare</i>	112
3.6.1. Valori tipice folosite în studiul repartiției teoretice a erorilor întâmplătoare	112
3.6.2. Valori tipice de selecție folosite la prelucrarea rezultatelor obținute din măsurători	113
3.7. <i>Determinarea tasărilor prin stabilitatea reperilor de control</i>	115
3.7.1. Calculul tasărilor prin metoda măsurătorilor condiționate	116
3.7.2. Calculul tasărilor prin metoda măsurătorilor indirecte	122
3.7.2.1. Liniarizarea ecuațiilor	123
3.7.2.2. Obținerea sistemului normal în cazul măsurătorilor indirecte de aceeași precizie	125
3.7.2.3. Rezolvarea sistemelor de ecuații normale	127
3.8. <i>Evaluarea preciziei măsurătorilor utilizând elipsa erorilor</i>	131
<b>CAPITOLUL 4 - INSTRUMENTE ȘI TEHNOLOGII TOPO-GEODEZICE MODERNE UTILIZATE LA URMĂRIREA ȘI INTERPRETAREA DEPLASĂRIILOR ÎN CONSTRUCȚII</b>	135
4.1. <i>Teodolite (tahimetre) electronice</i>	135
4.2. <i>Nivele digitale</i>	141
4.3. <i>Receptoare GPS</i>	143
4.4. <i>Constelația GPS</i>	146
4.5. <i>Principii utilizate la măsurătorile electronice prin unde</i>	147
4.6. <i>Procedee de măsurare cu unde electromagnetice</i>	149
4.6.1. Procedeele cu impulsuri	149
4.6.2. Procedeele cu interferență	150
4.6.3. Procedeele fazice	151
4.7. <i>Principiul măsurătorilor utilizând tehnologii geodezice spațiale</i>	154
4.8. <i>Tipuri de măsurători GPS</i>	155
4.9. <i>Metode de măsurare GPS</i>	156
4.10. <i>Tehnici de poziționare GPS</i>	158

<i>4.11. Structura sistemului GPS</i>	160
<i>4.11.1. Segmentul spațial</i>	161
<i>4.11.2. Segmentul de control</i>	164
<i>4.11.3. Segmentul utilizator</i>	165
<i>4.12. Planificarea măsurătorilor GPS pentru crearea rețelelor de sprijin necesare urmării construcțiilor</i>	165
<i>4.12.1. Planificarea unei sesiuni de măsurători</i>	168
<i>4.12.2. Prelucrarea măsurătorilor GPS</i>	168
<b><i>CAPITOLUL 5 – STUDIU DE CAZ – URMĂRIREA COMPORTĂRII SĂLII POLIVALENTE DIN MUNICIPIUL CRAIOVA</i></b>	172
<i>5.1 Date generale - scurt istoric</i>	172
<i>5.2 Date asupra terenului de fundare</i>	172
<i>5.3 Programul privind măsurarea tasărilor</i>	173
<i>5.4 Crearea rețelei de urmărire topografică pentru studiul comportării construcției</i>	174
<i>5.5 Lucrări de teren corelate cu măsurători topografice</i>	177
<i>5.6 Prelucrarea datelor măsurate</i>	180
<i>5.7 Prezentarea rezultatelor și prelucrărilor măsurătorilor asupra sălii polivalente Craiova</i>	186
<i>5.8 Evoluția comportării mărcilor de tasare în timp</i>	190
<b><i>CAPITOLUL 6 – CONTRIBUȚII PERSONALE, OBSERVAȚII ȘI CONCLUZII FINALE</i></b>	227
<i>6.1. Observații și concluzii finale</i>	227
<i>6.2. Contribuții personale</i>	233
<b><i>ANEXĂ</i></b>	234
<b><i>BIBLIOGRAFIE</i></b>	248

## INTRODUCERE

În contextul dezvoltării urbane, înregistrată în România pe parcursul ultimilor 10 ani, cu realizarea unor construcții deosebite ca volum și concepție, se poate afirma importanța deosebită a urmării comportării în timp a acestor construcții. Prin metodele noi de proiectare și prin combinarea diferitelor materiale, au rezultat construcții cu structuri speciale, compuse, care pe lângă aspectul estetic deosebit al edificiului, prezintă particularități cu privire la comportamentul în timp pe care îl pot dezvolta.

Printr-o colaborare continuă a ramurilor ingineriei, activitatea de construcții se corelează și completează de foarte multe ori cu adoptarea și aplicarea unor metode și tehnologii geodezice care vin să înregistreze, prelucereze și reprezinte comportamentul clădirilor supus diferiților factori perturbatori.

Pornind de la aceste considerente, prezenta teză de doctorat, evidențiază contribuția măsurătorilor topografice și tehnologiilor geodezice moderne exemplificate de către doctorand, adaptate în ingineria civilă la urmărirea comportării în timp a unui obiectiv de importanță deosebită, Sala Polivalentă din municipiul Craiova, cu prezentarea comportării acesteia pe parcursul ultimilor ani din punct de vedere al deplasărilor verticale și orizontale, determinate pe baza ciclurilor de măsurători pe care le-am efectuat asupra obiectivului amintit.

Teza prezintă stadiul actual al conceptelor, metodelor, instrumentelor topo-geodezice utilizate pentru urmărirea clădirilor supuse deformațiilor, cu exprimarea valorilor obținute în urma măsurătorilor de teren efectuate și a concluziilor care s-au deprins în urma studiului efectuat.

Elementele cuprinse în prezenta lucrare se doresc a fi o etapă dintr-un proces îndelungat care va continua și pe parcursul următorilor ani până la darea în exploatare a clădirii cât și ulterior acestui moment.

Plecând de la aceste premize, tematica tezei de doctorat am structurat-o într-un număr de 6 capitole, prezenta introducere, o anexă și bibliografia. Studiul efectuat este evidențiat pe parcursul a 253 pagini, care înglobează 313 relații de calcul, 28 tabele, 116 figuri și fotografii, 16 diagrame și 21 de prelucrări statistice.

Studiul bibliografic a cuprins un număr de 80 de titluri cuprinzând tratate de specialitate din literatura autohtonă și internațională, normative și indicatoare privind materializarea punctelor pentru determinarea tasărilor în construcții, reviste și publicații de specialitate, lucrări științifice și referate publicate de către autor.

În **capitolul 1**, am prezentat aspectele generale privind deformațiile și deplasările construcțiilor prin enunțarea tipurilor de măsurători, a metodelor fizice și geometrice aplicate, cât și a cauzelor care produc perturbații în stabilitatea structurilor cauzând astfel deplasarea și deformarea acestora. În finalul capitolului am prezentat tabelar valorile admisibile ale tasărilor diferitelor tipuri de construcții în funcție de tipul structurii, materialul de construcție și înălțimea construcției.

Stadiul actual al metodelor topo-geodezice aplicate la studiul comportării construcțiilor, l-am evidențiat pe parcursul **capitolului 2**. Conținutul capitolului este structurat pe trei părți. Prima parte se referă la metodele topo-geodezice utilizate la determinarea deplasărilor orizontale, unde am evidențiat metoda microtriangulației, metoda aliniamentelor cu cazurile sale specifice, metoda drumuirii planimetrice sau metoda poligonometrică, metoda microtrilaterației. Fiecare metodă este însoțită de desene explicative și formule de calcul care vin să explicitizeze metoda adoptată de autor și obținerea principalilor algoritmi de calcul.

Partea a doua a capitolului 2, cuprinde metodele topo-geodezice utilizate la determinarea deplasărilor verticale (a tasărilor). În acest sens am prezentat criteriile și modalitățile de materializare a punctelor de control, observație și a mărcilor de tasare ce se utilizează la construirea rețelelor geodezice specifice tematicii pe care am abordat-o. Am descris metoda nivelmentului geometric cu exemplificare principalelor erori în procesul de măsurare, metoda nivelmentului trigonometric prin relațiile de calcul care se utilizează la determinarea tasărilor și metoda nivelmentului hidrostatic cu particularitățile sale specifice.

În ultima parte a capitolului 2, am exemplificat cele mai importante aspecte legate de determinarea înclinărilor întâlnite cu precădere la construcțiile suple sau circulare. Totodată, am evidențiat influențele factorilor atmosferici cum ar fi radiația solară și acțiunea vânturilor asupra acestor tipuri de construcții cu implicațiile pe care acestea le dezvoltă.

Datorită faptului că orice observație sau măsurătoare realizată generează o eroare de măsurare, în **capitolul 3**, am exemplificat modelele de compensare și prelucrare a măsurătorilor topo-geodezice cu aplicare la studiul comportării construcțiilor.

## INTRODUCERE

În prima parte a capitolului, am realizat câteva clasificări generale asupra măsurătorilor și erorilor de măsurare, cu descrierea proprietăților întâmplătoare și repartiția empirică a acestora. Printre elementele statistice care se folosesc pentru cuantificarea sau evaluarea preciziei de măsurare, am prezentat următoarele:

- repartițiile de frecvențe;
- histograma;
- valorile tipice folosite în studiul repartiției teoretice a erorilor;
- valorile tipice de selecție utilizate la prelucrarea rezultatelor obținute din măsurători;
- eroarea medie pătratică a unei măsurători;
- eroarea medie pătratică a mediei.

Partea a doua a capitolului 3, am rezervat-o exemplificării calculului tasărilor prin două metode, metoda măsurătorilor condiționate și metoda măsurătorilor indirecte. Acest proces descrie etapele importante de liniarizare, normalizare și rezolvare a sistemelor de ecuații normale. În final, am descris evaluarea preciziei măsurătorilor utilizând un invariant în poziția planimetrică sub forma elipsei de erori.

Cum aplicarea metodelor topografice se poate realiza prin intermediul unor tehnologii adecvate sub forma instrumentelor de măsură, în **capitolul 4**, am descris o varietate importantă de teodolite și nivele topografice moderne, cu caracteristicile tehnice și constructive aferente. Aceste tipuri de instrumente au înlocuit practic în ultima perioadă instrumentele topografice clasice care utilizau la citire mirele centimetrice. O tehnologie modernă care a pătruns în ultimii 5 ani și în România o reprezintă Sistemul de poziționare globală (GPS), a cărui caracteristici le-am prezentat pe larg pe parcursul capitolului 4. În acest sens, am descris următoarele etape în măsurarea și prelucrarea observațiilor GPS:

- tipuri de măsurători GPS;
- metode de măsurare utilizând tehnologia GPS;
- tehnici de poziționare GPS;
- structura sistemului GPS;
- planificarea sesiunilor de lucru;
- prelucrarea măsurătorilor GPS.

Experiența acumulată de către autor în lucrările executate în decursul anilor trecuți, asupra obiectivului studiat, sala polivalentă din municipiul Craiova, constituie baza studiului de caz exemplificat în **capitolul 5**, studiu pe care l-am executat începând cu anul 2001 până în prezent. Pe baza situației concrete din teren, am propus și executat



## INTRODUCERE

un program de urmărire ciclică a comportării sălii polivalente care s-a desfășurat din luna mai 2001 și până în septembrie 2004, program care va continua odata cu reluarea lucrărilor de construcții.

Astfel, am prezentat câteva din caracteristicile terenului de fundare din locația obiectivului, caracteristicile constructive ale viitoarei clădiri care în final se va concretiza printr-o structură nouă cu o capacitate de 4000 de locuri pe scaune.

Doresc să evidențiez următoarele aspecte pe care le-am dedus în urma studiului efectuat::

- contribuția personală în proiectarea, completarea și realizarea rețelei de urmărire a obiectivului amintit;
- efectuarea măsurărilor pe baza unui program de urmărire adaptat de către autor în funcție de modul de desfășurare a lucrărilor de construcții pe șantier;
- efectuarea măsurărilor folosind aparatură de înaltă performanță avută la dispoziție (stații totale Carl Zeiss Jena seria 5C, 13C și 15);
- prelucrarea observațiilor de teren folosind programe de compensare automate elaborate de autor și apoi utilizate ca extensii la programul complex de compensare planimetrică și altimetrică Toposys versiunea 4.4;
- reprezentarea tasărilor obținute sub forma diagramelor de tasare în mediu grafic AutoCAD 2002 și 2004;
- interpretarea calitativă prin modele statistice a valorilor absolute ale tasărilor obținute prin utilizarea subprogramelor Chart Index al utilitarului Excel 2004;
- calculul și reprezentarea neuniformităților tasărilor măsurate pentru fiecare ciclul de observații, cât și procentul de neuniformitate total al structurii și al fiecărui element constituent în parte;
- simulări grafice tridimensionale privind variațiile compuse ale cadrelor longitudinale și tribunelor sălii polivalente.

Testele efectuate au evidențiat necesitatea unei abordări moderne bazate pe generarea diferitelor rapoarte calitative sub forma indicilor de precizie evaluați și a elementelor caracteristice elipselor de erori pentru punctele rețelei de urmărire.

Pe baza studiului efectuat, consider că observațiile, contribuțiile personale și concluziile finale prezentate în **capitolul 6**, referitoare la tema pe care am abordat-o, se constituie într-un argument convingător pentru implementarea acestor tehnologii moderne în domeniul măsurărilor topo-geodezice aplicate la studiul comportării în timp a construcțiilor din țara noastră, cât și o posibilă și necesară preocupare de viitor în

## INTRODUCERE

vederea dezvoltării, aprofundării, perfecționării și extinderii acestor tehnologii geodezice.

În final, doresc să-mi exprim recunoștința și deosebita apreciere pentru colaborarea avută cu conducătorul de doctorat, Prof.dr.ing. Marin MARIN, care m-a susținut pe tot parcusul perioadei de pregătire a examenelor și referatelor, să mulțumesc pentru sprijinul necontenit al doamnei Conf.dr.ing.Carmen GRECEA, cât și tuturor colegilor din cadrul colectivului de Cadastru și Departamentului de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicație Terestră, care prin sugestii, opinii sau material bibliografic au dus la concretizarea de către autor a prezentei lucrări de doctorat.

Timișoara, februarie 2006

Autorul

# CAPITOLUL 1

## ASPECTE GENERALE PRIVIND DEFORMAȚIILE CONSTRUCȚIILOR ȘI IMPORTANȚA STUDIERII ACESTORA

Studiul comportării construcțiilor, pe modele la scară naturală, are ca drept scop cunoașterea anumitor parametri ce caracterizează și explică comportarea locală sau de ansamblu a construcției cercetate. Modificările acesteia, rezultate ca urmare a solicitărilor statice sau dinamice, sau a unor factori cum sunt: natura terenului de fundare, variația nivelului apei subterane, acțiunea greutății proprii asupra fundației, variațiile de temperatură, acțiunea vântului, sunt evidențiate pe baza rezultatelor obținute din măsurătorile efectuate în timpul încercărilor, în timpul execuției, cât și după terminarea construcției și darea ei în exploatare.

În studiul comportării construcției se pot defini următoarele două aspecte:

- *deplasarea*, care se exprimă ca fiind schimbarea poziției unui punct al construcției supus solicitărilor;
- *deformația*, care se exprimă ca fiind schimbarea distanței relative dintre punctele construcției supusă solicitărilor.

Măsurarea deplasărilor și deformațiilor poate avea:

- *caracter relativ*, când se măsoară apropierea sau depărtarea a două sau mai multe puncte ale construcției supusă solicitărilor;
- *caracter absolut*, când deplasările punctelor construcției supusă solicitărilor se măsoară în raport cu repere fixe, amplasate în terenuri cu grad de deformabilitate nul și în afara zonei de influență a construcției.

Totodată, măsurarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor poate avea:

- *caracter parțial* – când se referă la diferența rezultatelor din două cicluri de măsurători succesive;
- *caracter total*, când se referă la diferența măsurătorilor dintre ciclul final și ciclul inițial de referință.

Pentru studierea unei construcții, supusă unui anumit regim de solicitări determinat de condițiile sale funcționale, se pot efectua trei categorii de măsurători:

## 1. Deplasări și defomații liniare formate din:

- *deplasările pe orizontală* ale unor elemente de construcție sau a construcției în întregime, datorită unor forțe orizontale sau modificării echilibrului terenului de fundare a construcției;
- *deplasările pe verticală în jos sau tasările*, fundațiilor construcțiilor și ale terenului de fundare;
- *lăsările de teren*, care au caracter de prăbușire fiind provocate de modificările radicale ale structurii terenului;
- *ridicările, bombările, sau deplasările pe verticală în sus*, ale fundației construcțiilor, ca urmare a modificării echilibrului presiunii în structura terenului;
- *înclinările*, față de verticală a construcțiilor rigide;
- *denivelările* construcțiilor relativ rigide, măsurate prin diferențele maxime ale tasărilor neuniforme a câte două reazeme vecine, raportate la distanța dintre ele;
- *crăpăturile și fisurile*, care reprezintă rupturi în planuri sau părți separate ale construcțiilor, ca urmare a tasărilor neuniforme (diferențiate) și apariției tensiunilor suplimentare în structura construcției;
- *săgețile*, unor elemente de construcție (plăci, stâlpi, grinzi).

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 a construcțiilor, datorate deformării terenului de fundare, poartă denumirea de tasări.

Se pot defini următoarele tipuri de tasări:

- tasarea absolută ( $s$ ), definită ca fiind deplasarea pe verticală a unui punct al fundației, sau a întregii fundații izolate sau continue;
- 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 fiecăreia din fundațiile considerate, să nu depășească 50% din valoarea medie, adică

$$|s - s_m| < 0,5 \cdot s_m; \quad (1.1)$$

- tasarea relativă ( $s_{rel}$ ), reprezentând diferența dintre tasările absolute a două fundații învecinate raportată la distanța dintre ele și exprimată prin relația:

$$s_{rel} = (s_2 - s_1) / l; \quad (1.2)$$

- înclinarea fundației ( $tg\theta$ ), care se exprimă prin diferența tasărilor absolute, maximă și minimă, a două puncte extreme ale tălpii fundației, raportată la lungimea, lățimea sau diametrul acesteia și se exprimă cu relația:  $tg\theta = (s_{max} - s_{min}) / l$ ;

$$(1.3)$$

- încovoierea relativă ( $f$ ), care reprezintă raportul dintre săgeata și lungimea părții de construcție care se încovoiaie; acest fenomen este caracteristic fundațiilor flexibile cu lungime mare, cum sunt grinzile de fundație, la care încovoierea relativă poate fi exprimată cu relația:

$$f = \frac{s_3 - \frac{s_1 + s_2}{2}}{l} = \frac{2s_3 - s_1 - s_2}{l} \quad (1.4)$$

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, determinată prin calcul în faza de proiectare, constituie tasarea probabilă (posibilă), iar cea măsurată prin metode topografice și instrumente adecvate în timpul execuției sau funcționării construcției, reprezintă tasarea reală.

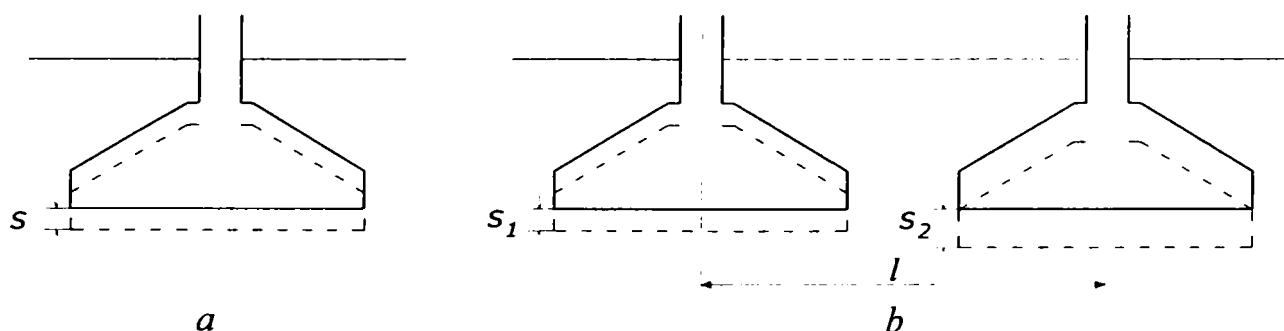


Figura 1.1a – Tipuri de deformații - a – tasarea absolută ( $s$ ); b – tasarea relativă ( $s_1, s_2$ )

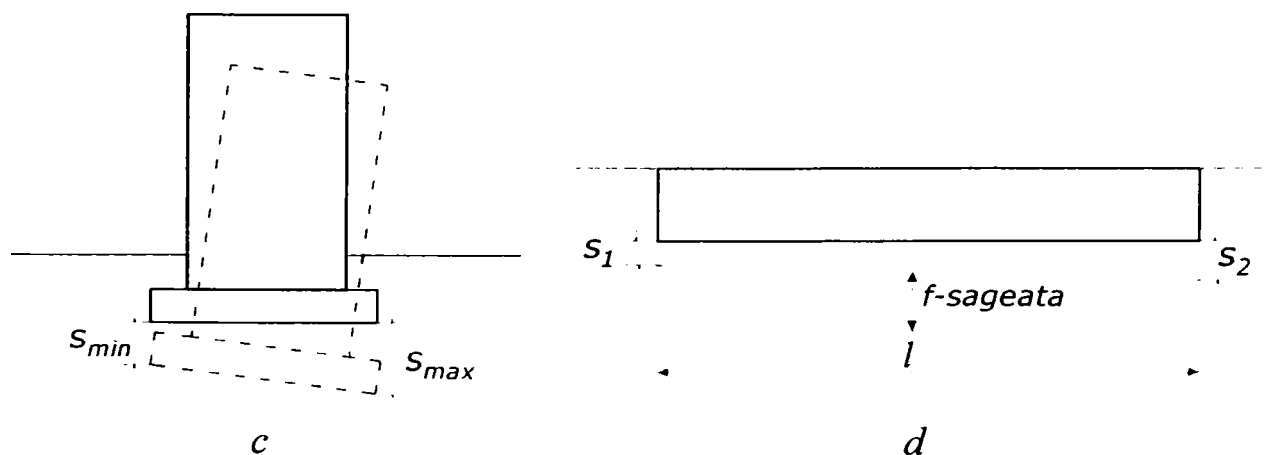


Figura 1.1b – Tipuri de deformații - c – înclinarea fundației ( $s_{min}, s_{max}$ ); d – încovoierea relativă  $f$

2. Deplasări și defomații unghiulare, constituite din unghiurile de rotire datorate torsiunilor elementelor de construcție.

3. Deformații specifice, prin intermediul cărora se face aprecierea stării de eforturi existente în elementul de construcție, prin folosirea relației dintre efortul unitar și deformația specifică. Deformația produce în instrumentul de măsură o anumită modificare, care poate fi, de poziție, de rezistență, de inductanță sau capacitate electrică, al cărei efect este transformat, mărit, indicat și înregistrat.

Cercetarea experimentală a unei construcții, având ca scop stabilirea comportării acesteia sub acțiunea unui anumit sistem de încercări, permite determinarea în orice punct al construcției, a tuturor sau principalelor valori care, în mod obișnuit se obțin prin calcul ca de exemplu: tensiuni, deformații, deplasări statice sau dinamice, rotiri, forțe tăietoare, forțe axiale. Din aceste mărimi, numai o parte pot rezulta în mod direct, din indicațiile sau înregistrările furnizate de aparatura de măsurare, acestea constituind astfel mărimile măsurabile. Celelalte mărimi urmează a fi deduse pe baza datelor experimentale referitoare la primele mărimi și pe baza relațiilor matematice existente între diferitele mărimi care caracterizează comportarea unei construcții.

Precizia cu care se obțin mărimile măsurabile experimental, determină și precizia celorlalte mărimi. În acest sens, alegerea aparatelor și metodelor de măsurare se va face strâns corelat între sensibilitățile și preciziile lor, astfel încât, valoarea unei mărimi care nu poate fi măsurată direct să se obțină cu o precizie corespunzătoare, indiferent de mărimea măsurată experimental. În afara elementelor obținute prin încercarea construcțiilor în faza de concepție și proiectare, foarte multe alte elemente pot fi cunoscute și pe baza experienței acumulate într-o perioadă îndelungată de timp, pe baza studiului și analizei comportării în timp a construcțiilor, în condiții de exploatare.

Analiza și interpretarea concomitentă a rezultatelor cercetărilor experimentale de laborator, pe modele și la scară naturală, cu rezultatele calculului de proiectare și cu rezultatele obținute în urma prelucrării măsurătorilor și observațiilor efectuate la urmărirea comportării în timp, constituie un avantaj la realizarea unor soluții optime, din punct de vedere social-economic, care să asigure utilizarea unor investiții cât mai reduse, amortizabile într-un timp cât mai scurt. Optimizarea construcțiilor are ca efect eliminarea supradimensionărilor și deci reducerea consumului de materii prime, materiale și energie, industrializarea construcțiilor și reducerea prețului de cost a acestora.

Valorile, în general mici și foarte mici, ale modificărilor survenite de construcții raportate la perimetrul sau volumul acestora, fac ca măsurarea lor să constituie o operație din cele mai dificile. Datorită progresului tehnologic înregistrat în producerea aparatelor și instrumentelor de măsurare, cât și îmbunătățirea continuă a metodelor de măsurare, au permis ca în ultimii ani să se obțină rezultate foarte precise, în stabilirea valorilor absolute ale deformațiilor construcțiilor.

## 1.1. TIPURI DE MĂSURĂTORI

Alegerea soluțiilor optime de proiectare și exploatare rațională a construcțiilor presupune un studiu aprofundat și de mare complexitate, care este necesar să se efectueze atât la începutul procesului de construcție, în faza de verificare a construcției, în execuție cât și în exploatare.

În faza de concepție și proiectare, studiul experimental executat prin încercarea construcțiilor urmărește:

- valorile numerice ale parametrilor care caracterizează din punct de vedere fizico-mecanic construcția;
- clarificarea caracteristicilor globale ale unei construcții sau element de construcție, sub forma unor coeficienți care o caracterizează în comportarea sa în anumite condiții de solicitare, fie că aceste condiții sunt specificate procesului de exploatare, fie că apar în împrejurări excepționale;
- generalizarea rezultatelor astfel încât ele să poată fi aplicate pe scară largă la numeroase construcții, în diverse condiții de exploatare.

Precizia rezultatelor depinde de precizia măsurătorilor efectuate, și trebuie să asigure valori suficiente de sigure pentru parametri și indicii care caracterizează construcția.

Necesitatea urmăririi în timp rezultă din mai multe motive:

- toate materialele de construcție uzuale manifestă în exploatare anumite fenomene cu caracter evolutiv, cum sunt: curgerea lentă, relaxarea, contracția, tasarea, oboseala, îmbătrânirea, care cu timpul produc schimbări ale proprietăților fizico-mecanice și ale distribuției eforturilor între și în elementele structurii de rezistență ale construcției;
- în decursul timpului pot interveni schimbări ai factorilor de mediu extern, ce pot influența comportarea construcției.
- cu toate măsurile luate în cadrul proiectării, nu pot fi stabilite cu exactitate încărcările viitoare ale construcției.

Urmărirea comportării în timp a construcțiilor reprezintă, de fapt, o încercare de tip special generată în primul rând de necesitatea asigurării securității în exploatare.

Prin urmărirea în timp a construcției se determină schimbările de poziție și de formă a ansamblului sau ale unor elemente, precum și sesizarea apariției unor fenomene evolutive, care ar putea afecta siguranța construcției.

## 1.2. 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 a 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.

Există două posibilități de determinare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, în funcție de modul de amplasare a instrumentelor în timpul măsurătorilor:

➤ *Metode fizice:* cu aparate de măsurare instalate în corpul construcției; în acest caz aparatele se deplasează împreună cu construcția în ansamblul ei și deci pot fi măsurate eventuale deplasări și deformații relative. Măsurători de acest gen pot fi făcute utilizând metode mecanice, metode fizice, electrice sau electronice. În acest caz spunem 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 se includ:

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



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.

- *Metode geometrice:* în cazul când se folosesc aparate de măsurare instalate în afara construcției, 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 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, 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 spune că am definit un model absolut, dacă mișcările construcției sunt determinate față de puncte de sprijin exterioare.

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

*A. Metode pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor orizontale:*

- metoda microtriangulației;
- metoda aliniamentului;
- metoda drumuirii planimetrice (poligonometriei);
- metoda microtrilaterației.

*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 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 doresc 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 construcțiilor.

În funcție de problemele urmărite, se pot crea rețele de urmărire regionale cu întindere de până la 10 km și cu distanțe între puncte apreciabil de mari, sau rețele de urmărire locală a căror laturi pot fi de la 50 m până la 1-2 km. Caracteristicile care trebuie respectate suplimentar sunt:

- rezultatele depind de perioada de observații;
- uneori precizia unui punct este mai importantă decât caracteristicile punctului în sine;
- rețelele sunt cu întindere limitată și sunt dependente de existența unor zone cu puncte stabile. Aceste rețele geometrice locale constituie obiectul domeniului ingineresc al măsurătorilor pentru determinarea mișcărilor se fac cel puțin două cicluri de măsurători. În aceeași rețea, de regulă, se fac mai multe cicluri de măsurători, intervalele de timp dintre etapele de măsurare se stabilesc după anumite principii.

### **1.3. CAUZELE PRODUCERII TASĂRIILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR**

Cauzele de bază ale tasării și deformării unui element al construcției sau al întregii construcții, se pot grupa în două categorii, și anume cauze generale și cauze speciale.

Cauzele generale cu influență asupra modificărilor poziției în spațiu a construcțiilor se pot grupa astfel:

- Structura geologică neomogenă a terenului de fundare, care duce la o compresiune neuniformă și o deplasare a terenului sub acțiunea construcției;
- Capacitatea terenului la deformații elastice și plastice sub influența încărcării;
- Umflarea la îngheț a terenurilor saturate cu apă și dezghețarea terenurilor înghețate;
- Modificarea condițiilor hidrologice, legate de variațiile sezoniere și multianuale, de temperatură și nivelul apelor subterane.

Cauzele speciale sunt legate de erorile datorită cercetării, proiectării, executării lucrării, cât și exploatarea construcțiilor. Aceste fenomene pot fi clasificate după cum urmează:

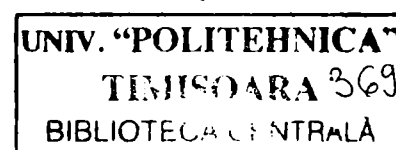
- Organizarea incorectă a șantierului, cum ar fi o slabă evacuare a apelor atmosferice și orice inundație;

- Unele inexactități admise de altfel în cercetările ingineresti, geologice și hidrogeologice;
- Coborârea sau ridicarea artificială a apelor subterane în timpul execuției;
- Umezirea loessurilor și dezghețarea terenului înghețat;
- Executarea unor lucrări subterane atrag în unele cazuri deplasări ale întregii stratificații aflate deasupra lucrărilor subterane;
- Executarea unor lucrări de construcții masive în imediata apropiere a unor lucrări de construcții mai vechi;
- Modificarea presiunii, care poate proveni din unele modificări ale construcției sau din cauza unor sarcini variabile, altele decât cele proiectate;
- Repartizarea neuniformă a presiunii pe talpa fundației prin executarea construcției în trepte sau prin încărcarea cu sarcină utilă a construcției în mod neuniform, cazul silozurilor agricole;
- Forma, dimensiunile și rigiditatea fundației construcțiilor;
- Vibrații produse asupra fundațiilor datorită unor utilaje, mașini sau a unor transporturi intensive.

Cu toate că multe din cauzele speciale au un caracter de impreviziune și o probabilitate 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. Este cazul barajelor, podurilor, viaductelor, tunelurilor, construcțiilor civile și industriale, turnurilor înalte, a căror importanță economică și socială mare, justifică soluții tehnice realizate cu un grad mare de siguranță.

Pentru evitarea unor tasări masive sau înclinări periculoase ale construcțiilor înalte, datorită unor tasări neuniforme care atrag inconveniente în exploatarea normală și la capacitatea de proiectare, se impune verificarea periodică sub forma ciclurilor de observații a tasărilor construcțiilor.

648.359



Tabelul 1.1 – Valori orientative ale deplasărilor sau deformațiilor admise pentru construcții

Tipul construcției		Deplasări sau deformații admisibile ale fundațiilor			
		Deformații		Deplasări (tasări)	
		Tipul deformației	Valoare admisă	Tipul deplasării	Val. adm. (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 de zidărie	Tasare relativă	0,001	tasare absolută maximă, $S_{max}$	8
	d) Cadre metalice cu umplură de 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	0,0007	tasare medie, $s_m$	10
	b) zidărie din blocuri sau cărămidă, fără armare	Încovoiere relativă	0,001	tasare medie, $s_m$	10
	c) zidărie din blocuri sau cărămidă armată sau cu centuri armate	Încovoiere relativă	0,0012	tasare medie, $s_m$	15
	d) independent de materialul zidurilor	Înclinare transversală $tg\theta_{tr}$	0,005	-	-

Tabelul 1.1 – Valori orientative ale deplasărilor sau deformațiilor admise pentru construcții (continuare)

Tipul construcției		Deplasări sau deformații admisibile ale fundațiilor				
		Deformații		Deplasări (tasări)		
		Tipul deformației	Valoare admisă	Tipul deplasării	Val. adm. (cm)	
4	Construcții înalte, rigide a) Silozuri din beton armat: - turnul elevatoarelor și grupurilor de celule sunt turnate monolit și reazemă pe același radier continuu	Înclinarea 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	Înclinarea longitudinală sau transversală $tg\theta$	0,003	tasare medie, $s_m$	30	
	- turnul elevatoarelor rezemat pe un radier independent	Înclinare transversală, $tg\theta_{tr}$	0,003	tasare medie, $s_m$	25	
		Înclinare longitudinală, $tg\theta_{tr}$	0,004	tasare medie, $s_m$	25	
	- grupuri de celule turnate monolit rezemate pe un radier independent	Înclinarea longitudinală sau transversală $tg\theta$	0,004	tasare medie, $s_m$	40	
	- grupuri de celule din beton armat prefabricat rezemate pe un radier independent	Înclinarea longitudinală sau transversală $tg\theta$	0,004	tasare medie, $s_m$	30	
	b) Coșuri de fum industriale cu înălțimea $H$ :	$H < 100$ m	înclinare, $tg\theta$	0,005	tasare medie, $s_m$	40
		$100 \leq H \leq 200$ m	înclinare, $tg\theta$	$\frac{1}{2H}$	tasare medie, $s_m$	30
		$200 < H \leq 300$ 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		



## **CAPITOLUL 2**

### **STADIUL ACTUAL AL METODELOR TOPO-GEODEZICE APPLICATE LA STUDIUL COMPORTĂRII CONSTRUCȚIILOR**

#### **2.1. METODE TOPO-GEODEZICE UTILIZATE LA DETERMINAREA DEPLASĂRILOR ORIZONTALE**

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

Vectorul 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.

##### **2.1.1. METODA MICROTRIANGULAȚIEI**

Se folosește la determinarea vectorului deplasării orizontale ale punctelor de control, fixate pe construcția luată în studiu, în raport cu un sistem de referință, constituit din puncte fixate în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției, 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 mărimile și direcțiile 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 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 în privința stabilității, indicate în studiile geotehnice.

Rețeaua de microtriangulație se poate reprezenta sub una din următoarele tipuri:

- *rețea completă*, care cuprinde toate cele patru categorii de puncte și cu vize reciproce între punctele de stație și punctele de referință;

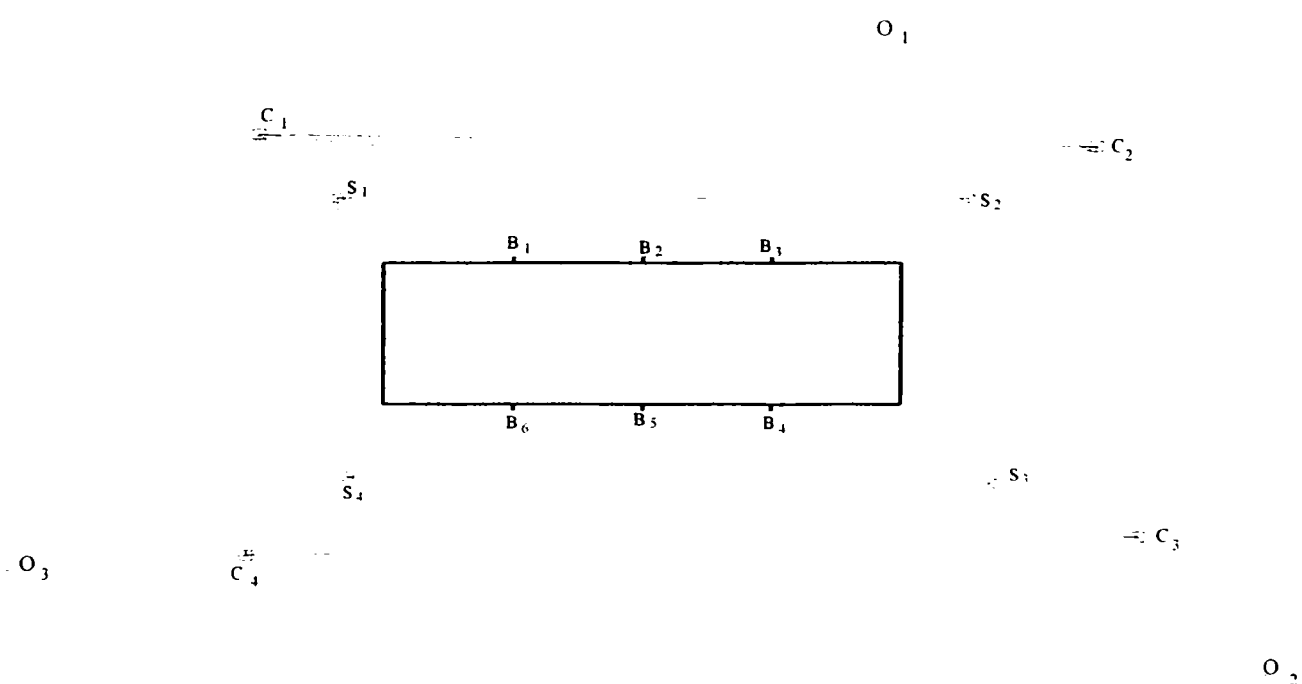


Figura 2.1 - Rețea completă de urmărire



$B_1, B_2 \dots B_n$  – 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;

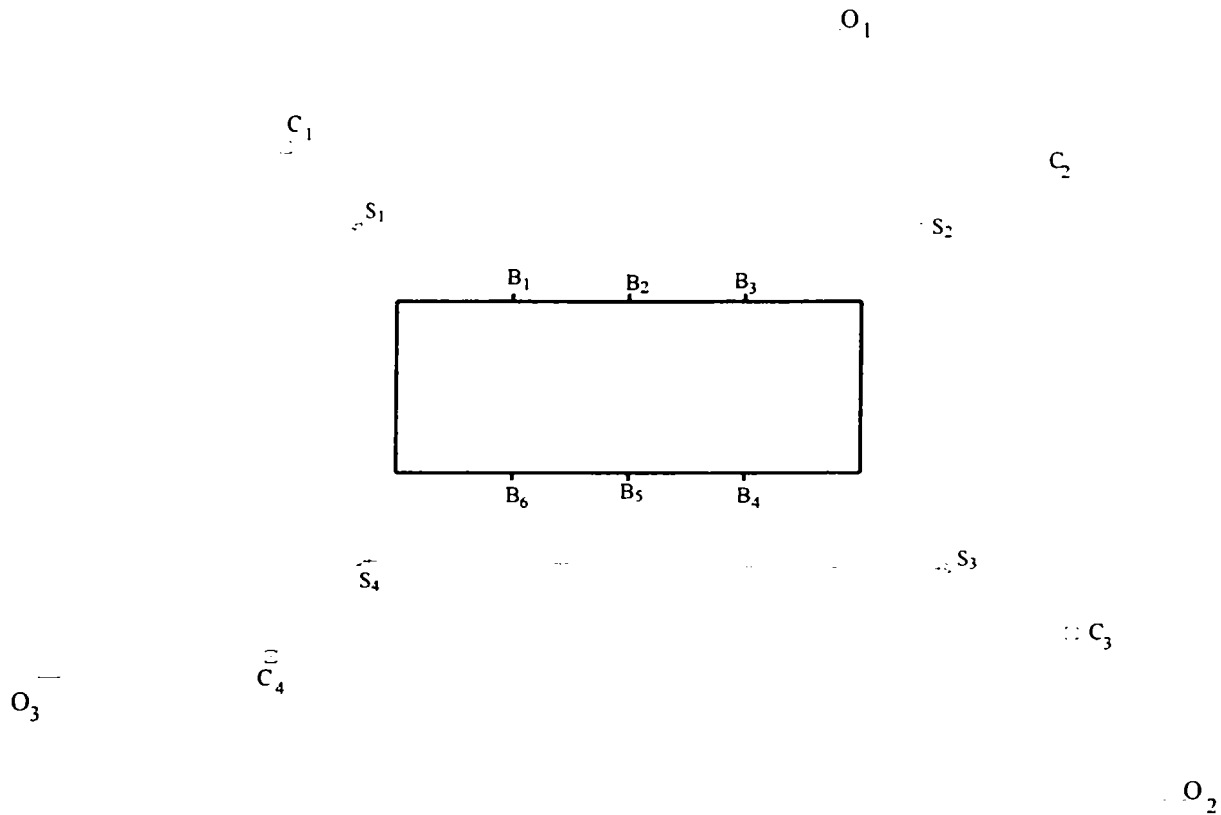


Figura 2.2 - Rețea incompletă de urmărire

- *rețea simplă*, compusă din puncte de stație și puncte de referință.

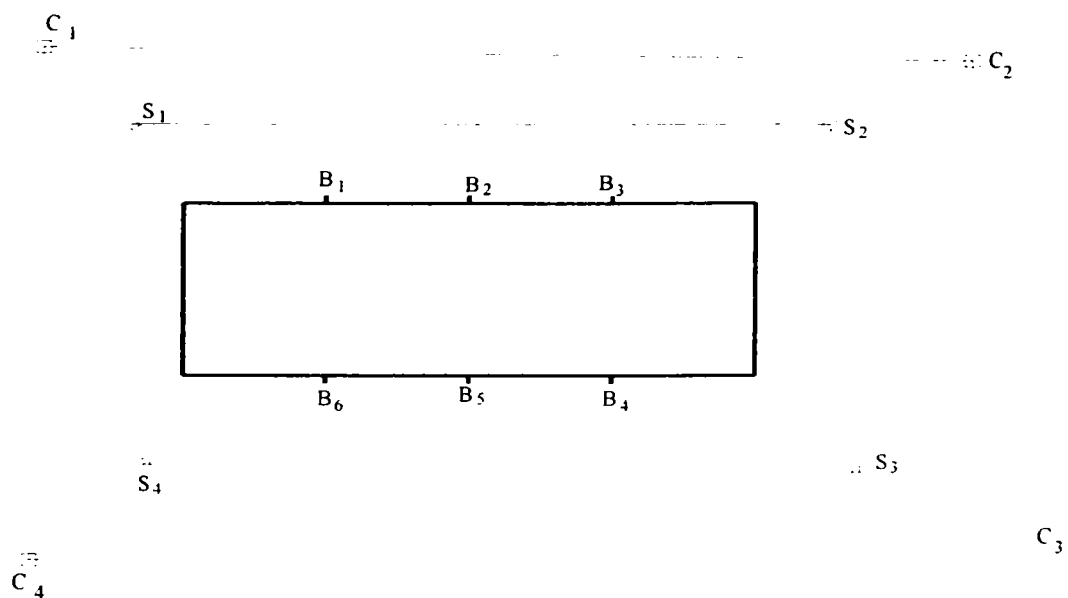
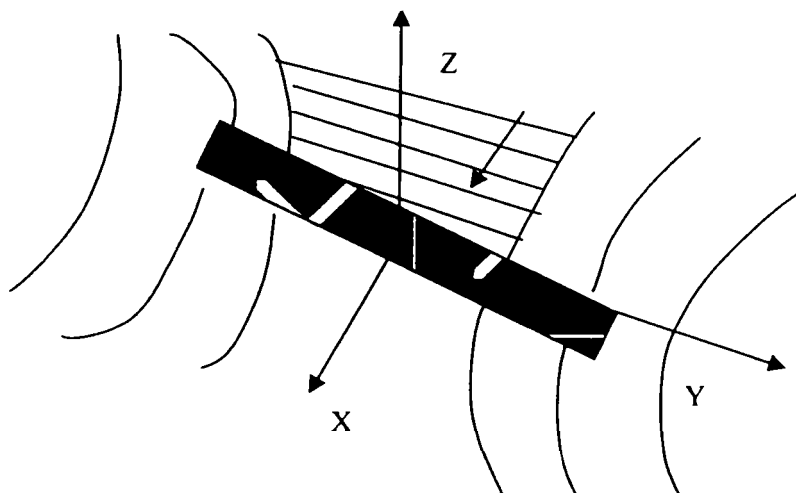


Figura 2.3 - Rețea simplă de urmărire

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



*Figura 2.4 – 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.

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 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, se va proceda 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 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 metoda empirică;
  - evaluarea preciziei măsurătorilor unghiulare și liniare;
  - cercetarea stabilității punctelor de stație și calculul modificărilor în direcțiile punctelor observate.
- etapa prelucrării datelor 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 mărimile deplasărilor punctelor fixe, ca și direcțiile deplasărilor și se introduc corecțiile corespunzătoare;
    - calculul vectorului deplasării orizontale, ale punctelor 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.

## 2.2. DETERMINAREA DEPLASĂRILOR ORIZONTALE ALE CONSTRUCȚIILOR

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

### 2.2.1. DETERMINAREA DEPLASĂRILOR ORIZONTALE ALE PUNCTELOR DE STAȚIE ÎN REȚELE COMPLETE

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

La intervale de timp stabilite, se repetă măsurătorile în rețea când se vor obține 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 admițând stabilitatea punctelor de control.

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

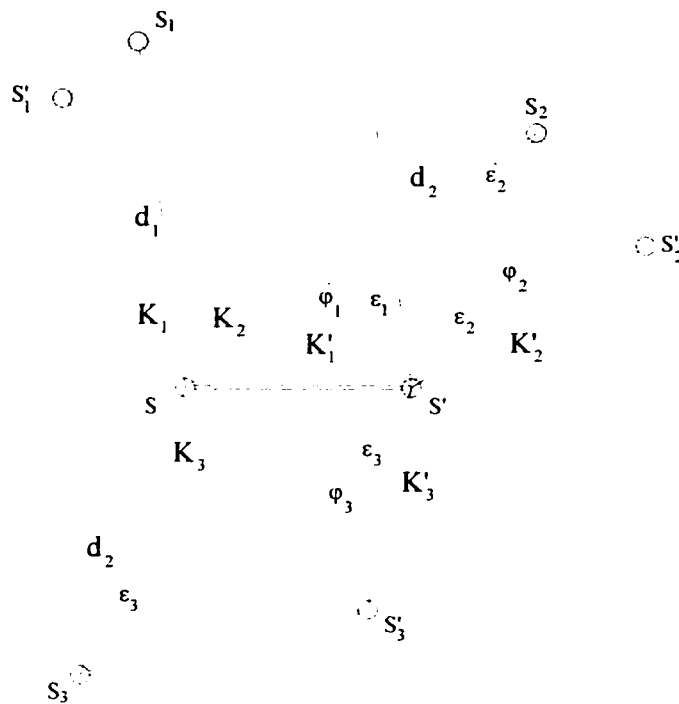


Figura 2.5 – Deplasarea punctelor de stație prin observarea direcțiilor

$S, S_1, S_2, S_3$  – 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  $S'$ .

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  $S$ :

$$\begin{aligned} (K_2 + v_2) - (K_1 + v_1) &= (K'_2 + v'_2 + \varphi_2 + \varepsilon_2) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \\ (K_3 + v_3) - (K_1 + v_1) &= (K'_3 + v'_3 + \varphi_3 + \varepsilon_3) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \end{aligned} \quad (2.1)$$

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 de mai sus se observă o componentă comună, așa numita necunoscută de orientare a stației de observație  $S$ :

$$\begin{aligned} dz_S &= (K_1 + v_1) - (K'_1 + v'_1 + \varphi_1 + \varepsilon_1) \\ dz_S &= (K_2 + v_2) - (K'_2 + v'_2 + \varphi_2 + \varepsilon_2) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Ținând cont de notațiile de mai sus, se scriu ecuațiile astfel:

$$\begin{aligned} v_1 - v'_1 - dz_S - \varphi_1 - \varepsilon_1 + (K_1 - K'_1) &= 0 \\ v_2 - v'_2 - dz_S - \varphi_2 - \varepsilon_2 + (K_2 - K'_2) &= 0 \\ v_3 - v'_3 - dz_S - \varphi_3 - \varepsilon_3 + (K_3 - K'_3) &= 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

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 date de relațiile următoare:

$$\begin{aligned} \varphi_{SS_1} &= \frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta x_{S_1} - \frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta y_{S_1} \\ \varepsilon_{SS_1} &= -\frac{\rho^{cc} \sin \theta_{SS_1}}{d_1} + \frac{\rho^{cc} \cos \theta_{SS_1}}{d_1} \Delta y_S \end{aligned} \quad (2.4)$$

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:

$$\begin{aligned}
v_1 - v'_1 - dz_s - a_{ss_1} \Delta x_s - b_{ss_1} \Delta y_s + a_{ss_1} \Delta x_{s_1} + b_{ss_1} \Delta y_{s_1} + l_1 &= 0 \\
v_2 - v'_2 - dz_s - a_{ss_2} \Delta x_s - b_{ss_2} \Delta y_s + a_{ss_2} \Delta x_{s_2} + b_{ss_2} \Delta y_{s_2} + l_2 &= 0 \\
v_3 - v'_3 - dz_s - a_{ss_3} \Delta x_s - b_{ss_3} \Delta y_s + a_{ss_3} \Delta x_{s_3} + b_{ss_3} \Delta y_{s_3} + l_3 &= 0
\end{aligned} \tag{2.5}$$

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 privesc termenii liberi ai ecuațiilor de condiții se pot face următoarele precizări:

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

Calculând termenii liberi trebuie avut în vedere faptul că mărimea acestora depinde de valoarea direcției actuale, în funcție de diferența dintre valoarea inițială și valoarea actuală. Pentru ca valoarea termenilor liberi să fie cât mai mică, este recomandabil ca direcțiile actuale să fie măsurate cu aceeași origine ca la măsurarea inițială, în acest fel diferențele între direcțiile actuale și 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 să determine, ci vor fi evidențiați când se vor scrie ecuațiile de reducere în care va apare un alt termen liber transformat:

$$L_i = \left( l_i - \frac{l_i}{n} \right) \tag{2.6}$$

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:

$$v_i - v'_i + a_i x + b_i y + c_i z + d_i u + l_i = 0 \tag{2.7}$$

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

$$\begin{aligned}
 v_1 - v'_1 + a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 u + l_1 &= 0 \\
 v_2 - v'_2 + a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 u + l_2 &= 0 \\
 v_3 - v'_3 + a_3 x + b_3 y + c_3 z + d_3 u + l_3 &= 0 \\
 v_4 - v'_4 + a_4 x + b_4 y + c_4 z + d_4 u + l_4 &= 0 \\
 v_5 - v'_5 + a_5 x + b_5 y + c_5 z + d_5 u + l_5 &= 0
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

În fiecare ecuație sunt patru necunoscute (direcția variază la ambele capete) și în plus apar și corecțiile  $v$ , caz în care rezolvarea sistemului se poate compensa 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.

$$[p v v] + [p' v' v'] = (p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + \dots + p_n v_n^2) + (p'_1 v'^2_1 + p'_2 v'^2_2 + \dots + p'_n v'^2_n) = \text{minim} \tag{2.9}$$

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:

$$\begin{aligned}
 \Phi &= (p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + p_3 v_3^2 + p_4 v_4^2 + p_5 v_5^2) + (p'_1 v'^2_1 + p'_2 v'^2_2 + p'_3 v'^2_3 + p'_4 v'^2_4 + p'_5 v'^2_5) - \\
 &- 2K_1(v_1 - v'_1 + a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 u + l_1) - 2K_2(v_2 - v'_2 + a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 u + l_2) - \\
 &- 2K_3(v_3 - v'_3 + a_3 x + b_3 y + c_3 z + d_3 u + l_3) - 2K_4(v_4 - v'_4 + a_4 x + b_4 y + c_4 z + d_4 u + l_4) - \\
 &- 2K_5(v_5 - v'_5 + a_5 x + b_5 y + c_5 z + d_5 u + l_5)
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

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 ale funcției  $\Phi$  în raport cu toate corecțiile și necunoscutele, derivate care vor fi egale cu zero (ca o funcție de  $n$  variabile să admită extremele, trebuie ca derivatele să fie zero).

Derivatele parțiale ale funcției  $\Phi$  în raport cu corecțiile  $v$  sunt:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \Phi}{\partial v_1} &= 2p_1 v_1 - 2K_1 = 0, \text{ de unde rezultă } v_1 = \frac{K_1}{p_1} \\
 \frac{\partial \Phi}{\partial v_2} &= 2p_2 v_2 - 2K_2 = 0, \text{ de unde rezultă } v_2 = \frac{K_2}{p_2} \\
 \frac{\partial \Phi}{\partial v_3} &= 2p_3 v_3 - 2K_3 = 0, \text{ de unde rezultă } v_3 = \frac{K_3}{p_3} \\
 \frac{\partial \Phi}{\partial v_4} &= 2p_4 v_4 - 2K_4 = 0, \text{ de unde rezultă } v_4 = \frac{K_4}{p_4}
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial v_5} = 2p_5 v_5 - 2K_5 = 0, \text{ de unde rezultă } v_5 = \frac{K_5}{p_5}$$

Derivatele parțiale ale funcției  $\Phi$  în raport cu corecțiile  $v'$  sunt:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial v'_1} = 2p'_1 v'_1 + 2K_1 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_1 = -\frac{K_1}{p'_1}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial v'_2} = 2p'_2 v'_2 + 2K_2 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_2 = -\frac{K_2}{p'_2}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial v'_3} = 2p'_3 v'_3 + 2K_3 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_3 = -\frac{K_3}{p'_3} \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial v'_4} = 2p'_4 v'_4 + 2K_4 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_4 = -\frac{K_4}{p'_4}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial v'_5} = 2p'_5 v'_5 + 2K_5 = 0, \text{ de unde rezultă } v'_5 = -\frac{K_5}{p'_5}$$

Rezultă:

$$v_1 - v'_1 = \frac{K_1}{p_1} + \frac{K_1}{p'_1} = K_1 \left( \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} \right) = \frac{K_1}{pl_1}$$

$$v_2 - v'_2 = \frac{K_2}{p_2} + \frac{K_2}{p'_2} = K_2 \left( \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \right) = \frac{K_2}{pl_2}$$

$$v_3 - v'_3 = \frac{K_3}{p_3} + \frac{K_3}{p'_3} = K_3 \left( \frac{1}{p_3} + \frac{1}{p'_3} \right) = \frac{K_3}{pl_3} \quad (2.13)$$

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

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

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 relațiilor:

$$p_i = \frac{\mu_0^2}{\mu_i^2}, p'_i = \frac{\mu_0^2}{\mu'_i^2} \quad (2.14)$$

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  $v'$ :



$$v_i = \frac{K_i}{p_i} = K_i \frac{\mu_i^2}{\mu_0^2}, v'_i = -\frac{K_i}{p'_i} = -K_i \frac{\mu_i^2}{\mu_0^2} \quad (2.15)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{K_1}{pl_1} + a_1x + b_1y + c_1z + d_1u + l_1 &= 0 \Rightarrow K_1 = -pl_1(a_1x + b_1y + c_1z + d_1u + l_1) \\ \frac{K_2}{pl_2} + a_2x + b_2y + c_2z + d_2u + l_2 &= 0 \Rightarrow K_2 = -pl_2(a_2x + b_2y + c_2z + d_2u + l_2) \\ \frac{K_3}{pl_3} + a_3x + b_3y + c_3z + d_3u + l_3 &= 0 \Rightarrow K_3 = -pl_3(a_3x + b_3y + c_3z + d_3u + l_3) \\ \frac{K_4}{pl_4} + a_4x + b_4y + c_4z + d_4u + l_4 &= 0 \Rightarrow K_4 = -pl_4(a_4x + b_4y + c_4z + d_4u + l_4) \\ \frac{K_5}{pl_5} + a_5x + b_5y + c_5z + d_5u + l_5 &= 0 \Rightarrow K_5 = -pl_5(a_5x + b_5y + c_5z + d_5u + l_5) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Derivatele parțiale ale funcției  $\Phi$  în raport cu necunoscutele  $x, y, z, u$  sunt:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial x} &= -2a_1K_1 - 2a_2K_2 - 2a_3K_3 - 2a_4K_4 - 2a_5K_5 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} &= -2b_1K_1 - 2b_2K_2 - 2b_3K_3 - 2b_4K_4 - 2b_5K_5 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial z} &= -2c_1K_1 - 2c_2K_2 - 2c_3K_3 - 2c_4K_4 - 2c_5K_5 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial u} &= -2d_1K_1 - 2d_2K_2 - 2d_3K_3 - 2d_4K_4 - 2d_5K_5 = 0 \end{aligned} \quad (2.17)$$

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  $x, y, z, u$ :

$$\begin{aligned} [p,aa] \cdot x + [p,ab] \cdot y + [p,ac] \cdot z + [p,ad] \cdot u + [p,al] &= 0 \\ [p,ab] \cdot x + [p,bb] \cdot y + [p,bc] \cdot z + [p,bd] \cdot u + [p,bl] &= 0 \\ [p,ac] \cdot x + [p,bc] \cdot y + [p,cc] \cdot z + [p,cd] \cdot u + [p,cl] &= 0 \\ [p,ad] \cdot x + [p,bd] \cdot y + [p,cd] \cdot z + [p,dd] \cdot u + [p,dl] &= 0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Sistemul normal se rezolvă prin metoda lui Gauss-Doolittle, metodă descrisă în capitolul 3 obținându-se valorile necunoscutelor cu ajutorul cărora se pot exprima mărimile 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 cea mai apropiată de eroarea medie pătratică introdusă în compensare cu o abatere de  $\pm 1^{\text{cc}}$ .

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

$$\mu_0^{\text{comp}} = \pm \sqrt{\frac{[pvv] + [p'v'v']}{r - n}} \cdot \left( 1 \pm \frac{0,7071}{\sqrt{r - n}} \right) \quad (2.19)$$

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:

$$m_i = \pm \mu_0^{\text{comp}} \sqrt{Q_{ii}} \quad (2.20)$$

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 cilurilor de măsurători.

Se consideră un punct de stație  $S$  definit în poziția inițială și poziția  $S'$ , deplasată, în ciclul următor de măsurători.

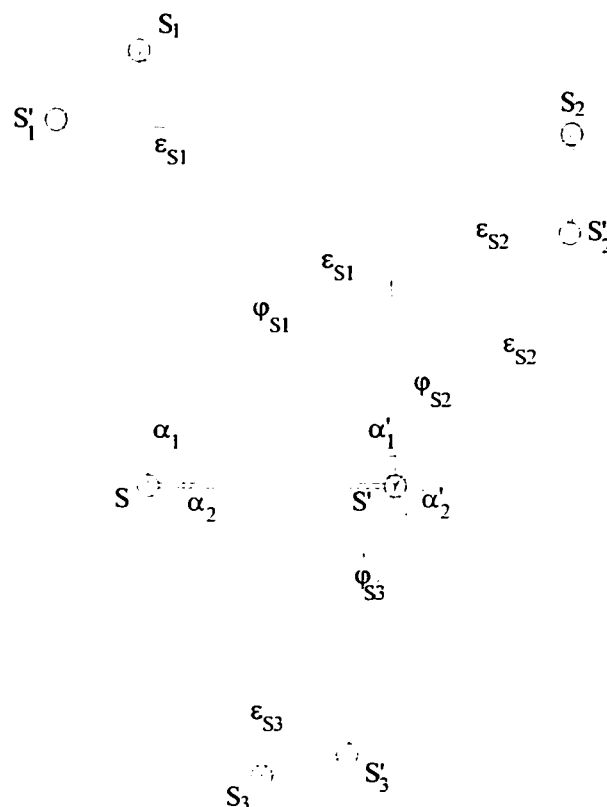


Figura 2.6 – Determinarea deplasărilor punctelor de stație prin observarea unghiurilor

În figură se fac 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 de măsurare ale unghiurilor inițiale;

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

Între unghiurile și corecțiile definite se pot scrie următoarele relații:

$$\begin{aligned}\alpha_1 + v_{\alpha_1} &= \alpha'_1 + v'_{\alpha_1} + (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) - (\varphi_{S_1} + \varepsilon_{S_1}) \\ \alpha_2 + v_{\alpha_2} &= \alpha'_2 + v'_{\alpha_2} + (\varphi_{S_3} + \varepsilon_{S_3}) - (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2})\end{aligned}\quad (2.21)$$

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:

$$\begin{aligned}(\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) - (\varphi_{S_1} + \varepsilon_{S_1}) &= -d\alpha_1 - \text{eroarea unghiului } \alpha_1 \\ (\varphi_{S_3} + \varepsilon_{S_3}) - (\varphi_{S_2} + \varepsilon_{S_2}) &= -d\alpha_2 - \text{eroarea unghiului } \alpha_2\end{aligned}\quad (2.22)$$

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:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= K_2 - K_1 \Rightarrow v_{\alpha_1} = v_2 - v_1 \\ \alpha'_1 &= K'_2 - K'_1 \Rightarrow v_{\alpha'_1} = v'_2 - v'_1 \\ \alpha_2 &= K_3 - K_2 \Rightarrow v_{\alpha_2} = v_3 - v_2 \\ \alpha'_2 &= K'_3 - K'_2 \Rightarrow v_{\alpha'_2} = v'_3 - v'_2\end{aligned}\quad (2.23)$$

Ecuațiile vor fi:

$$\begin{aligned}& [(-a_{SS_2} \Delta x_{S_2} - b_{SS_2} \Delta y_{S_2}) + (a_{SS_2} \Delta x_S + b_{SS_2} \Delta y_S)] - \\ & - [(-a_{SS_1} \Delta x_{S_1} - b_{SS_1} \Delta y_{S_1}) + (a_{SS_1} \Delta x_S + b_{SS_1} \Delta y_S)] = -d\alpha_1 \\ & [(-a_{SS_3} \Delta x_{S_3} - b_{SS_3} \Delta y_{S_3}) + (a_{SS_3} \Delta x_S + b_{SS_3} \Delta y_S)] - \\ & - [(-a_{SS_2} \Delta x_{S_2} - b_{SS_2} \Delta y_{S_2}) + (a_{SS_2} \Delta x_S + b_{SS_2} \Delta y_S)] = -d\alpha_2\end{aligned}\quad (2.24)$$

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 2.25

$$\begin{aligned}v_{\alpha_1} - v'_{\alpha_1} - a_{SS_1} \Delta x_{S_1} - b_{SS_1} \Delta y_{S_1} + a_{SS_2} \Delta x_{S_2} + b_{SS_2} \Delta y_{S_2} - (a_{SS_2} - a_{SS_1}) \Delta x_S - (b_{SS_2} - b_{SS_1}) \Delta y_S + \lambda_1 &= 0 \\ v_{\alpha_2} - v'_{\alpha_2} - a_{SS_2} \Delta x_{S_2} - b_{SS_2} \Delta y_{S_2} + a_{SS_3} \Delta x_{S_3} + b_{SS_3} \Delta y_{S_3} - (a_{SS_3} - a_{SS_2}) \Delta x_S - (b_{SS_3} - b_{SS_2}) \Delta y_S + \lambda_2 &= 0\end{aligned}$$

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 unghiul inițial și cel actual cu

$v_{\lambda} = -(v_{\alpha} - v'_{\alpha})$  se obține:

$$\begin{aligned} v_{\lambda_1} &= -a_{ss_1} \Delta x_{s_1} - b_{ss_2} \Delta x_{s_2} + a_{ss_2} \Delta x_{s_2} + b_{ss_2} \Delta y_{s_2} - (a_{ss_2} - a_{ss_1}) \Delta x_s - (b_{ss_1} - b_{ss_2}) \Delta y_s + \lambda_1 \\ v_{\lambda_2} &= -a_{ss_2} \Delta x_{s_1} - b_{ss_2} \Delta x_{s_2} + a_{ss_3} \Delta x_{s_3} + b_{ss_3} \Delta y_{s_3} - (a_{ss_1} - a_{ss_2}) \Delta x_s - (b_{ss_1} - b_{ss_2}) \Delta y_s + \lambda_2 \end{aligned} \quad (2.26)$$

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.

### 2.2.2. DETERMINAREA DEPLASĂRILOR ORIZONTALE ALE PUNCTELOR DE STAȚIE ÎN REȚELE 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 principiu 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:

$$v_i - v'_i - dz_s - a_i \Delta x_s - b_i \Delta y_s + l_i = 0 \quad (2.27)$$

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

$$\begin{aligned} [p_i] dz_s + [p_i \cdot a] \Delta x_s + [p_i b] \Delta y_s - [p_i \cdot l] &= 0 \\ [p_i \cdot a] dz_s + [p_i \cdot aa] \Delta x_s + [p_i ab] \Delta y_s - [p_i \cdot al] &= 0 \\ [p_i \cdot b] dz_s + [p_i \cdot ab] \Delta x_s + [p_i bb] \Delta y_s - [p_i \cdot bl] &= 0 \end{aligned} \quad (2.28)$$

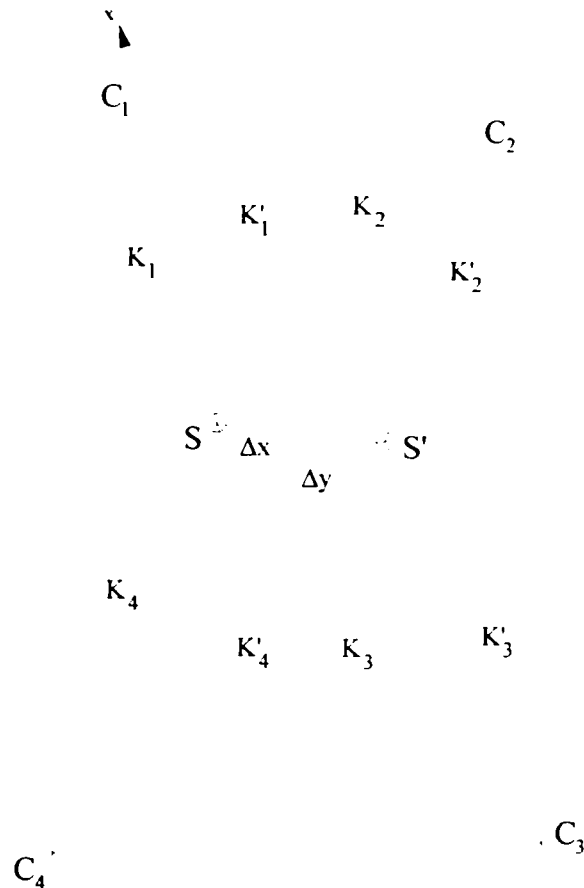


Figura 2.7 – Determinarea deplasărilor punctelor de stație prin metoda retrointersecției

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

$$dz_s = -\frac{1}{[p_l]} \{ [p_l \cdot a] \Delta x_s + [p_l \cdot b] \Delta y_s - [p_l \cdot l] \} \quad (2.29)$$

Substituind această valoare în celelalte două ecuații ale sistemului avem:

$$\begin{aligned} [p_l a] \left( -\frac{[p_l a]}{[p_l]} \Delta x_s - \frac{[p_l b]}{[p_l]} \Delta y_s + \frac{[p_l l]}{[p_l]} \right) + [p_l aa] \Delta x_s + [p_l ab] \Delta y_s - [p_l al] &= 0 \\ [p_l b] \left( -\frac{[p_l a]}{[p_l]} \Delta x_s - \frac{[p_l b]}{[p_l]} \Delta y_s + \frac{[p_l l]}{[p_l]} \right) + [p_l ab] \Delta x_s + [p_l bb] \Delta y_s - [p_l bl] &= 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

sau:

$$\begin{aligned} \left( [p_l aa] - \frac{[p_l a]^2}{[p_l]} \right) \Delta x_s + \left( [p_l ab] - \frac{[p_l a] \cdot [p_l b]}{[p_l]} \right) \Delta y_s - \left( [p_l al] - \frac{[p_l a] \cdot [p_l l]}{[p_l]} \right) &= 0 \\ \left( [p_l ab] - \frac{[p_l a] \cdot [p_l b]}{[p_l]} \right) \Delta x_s + \left( [p_l bb] - \frac{[p_l b]^2}{[p_l]} \right) \Delta y_s - \left( [p_l bl] - \frac{[p_l b] \cdot [p_l l]}{[p_l]} \right) &= 0 \end{aligned} \quad (2.31)$$

Notând,

$$A_i = a_i - \frac{[p_l a]}{[p_l]}$$

$$\begin{aligned}
 B_i &= b_i - \frac{[p_i b]}{[p_i]} \\
 \delta_i &= l_i - \frac{[p_i l]}{[p_i]}
 \end{aligned}
 \tag{2.32}$$

rezultă:

$$\begin{aligned}
 [p_i AA]\Delta x_s + [p_i AB]\Delta y_s + [p_i A\delta] &= 0 \\
 [p_i AB]\Delta x_s + [p_i BB]\Delta y_s + [p_i A\delta] &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.33}$$

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 eroarea medie pătratică ale deplasărilor determinate cu relațiile:

$$\begin{aligned}
 m_{\Delta x} &= \pm \mu_0^{comp} \cdot \sqrt{Q_{xx}} \\
 m_{\Delta y} &= \pm \mu_0^{comp} \cdot \sqrt{Q_{yy}}
 \end{aligned}
 \tag{2.34}$$

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 măsuratoarea inițială și cea actuală, vom avea:

$$p_i = \frac{\mu_0^2}{m_i^2} = const.
 \tag{2.35}$$

$$\text{și: } dz_s = -\frac{1}{r} ([a]\Delta x_s + [b]\Delta y_s - [l]),
 \tag{2.36}$$

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

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

### 2.3. METODA ALINIAMENTELOR

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

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

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

Metoda alinamentului 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 aliniametre, la care partea principală este luneta cu putere de mărire de 40...50 X, și semnalele sau mărcile 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°.

### 2.3.1. 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  $B$ , reprezintă și puncte de stație din care se execută măsurătorile. Ele sunt materializate prin pilaștri de beton armat ca și în cazul metodei microtriangulației.

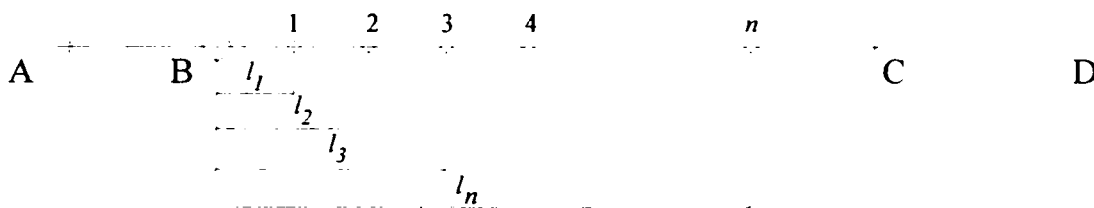


Figura 2.8 - Metoda aliniamentului

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

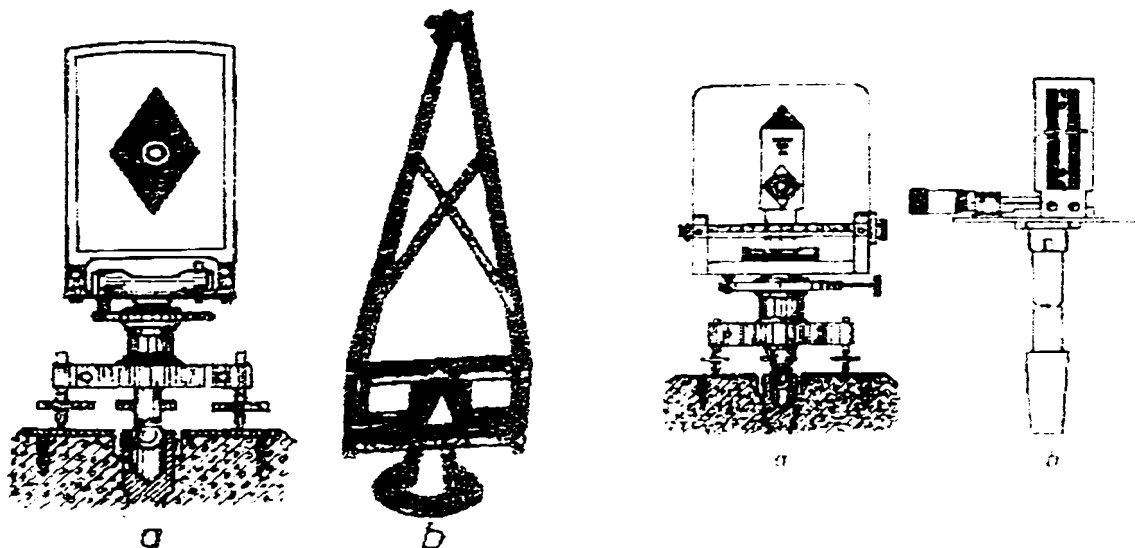


Figura 2.9 – Tipuri de semnale pentru semnalizarea aliniamentelor

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  $B-C$ . 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.

Abateră  $a_1$  a unei mărci de vizare, obținută din măsurătorile din stația  $B$  și abateră  $a_2$  a aceleiași mărci obținută din măsurătorile executate din stația  $C$  sunt:

$$\begin{aligned} a_1 &= m_0 - m_m \\ a_2 &= m_m - m_0 \end{aligned} \quad (2.37)$$

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:

$$a_{\text{stati}aB} = \frac{[a_1]}{n} \text{ și } a_{\text{stati}aC} = \frac{[a_2]}{n} \quad (2.38)$$

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

$$\begin{aligned} a_{\text{tot.1}} &= a_{\text{stati}aB} + \frac{b \cdot l_1}{L} \\ \text{sau} \quad a_{\text{tot.1}} &= a_{\text{stati}aC} + \frac{b \cdot (L - l_1)}{L} \end{aligned} \quad (2.39)$$

în care:  $b = (a_{\text{stati}aB} - a_{\text{stati}aC})$

$l_1$  – 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, măsurată în două cicluri de observații, astfel:

$$\delta = a_{\text{tot}(i)} - a_{\text{tot}(0)} \quad (2.40)$$

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

$a_{\text{tot}(0)}$  - 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 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, 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:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{r-1}} \quad (2.41)$$

în care:  $vv$  – abaterea mediei aritmetice;

$r$  – numărul de citiri într-o serie.

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

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (2.42)$$

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

$$M_{tot} = \pm \frac{M_{statiab} \cdot M_{statiac}}{\sqrt{M_{statiab}^2 + M_{statiac}^2}} \quad (2.43)$$

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

$$\mu_{\delta} = \pm \sqrt{M_{tot(1)}^2 + M_{tot(2)}^2} \quad (2.44)$$

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

### 2.3.2. METODA OBSERVĂRII UNGHIURILOR PARALACTICE

Particularizarea metodei aliniamentelor prin procedeu de măsurare a 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 bucle metalice în care se vor instala în timpul măsurătorilor mărci de vizare stabile sau simpli reperi metalici, care urmează a fi vizați pentru măsurarea unghiurilor orizontale.

Măsurarea unghiurilor horizontale 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 se execută în ambele poziții ale lunetei teodolitului.

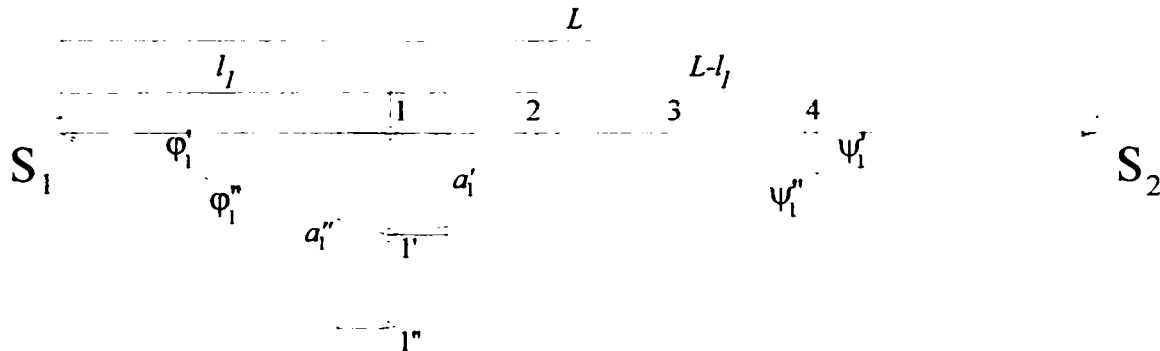


Figura 2.10 – Metoda aliniamentului – măsurarea unghiurilor paralactice

Distanțele dintre stațiile punctelor de sprijin  $A$  și  $B$  față de punctele observate, se determină în prealabil prin măsurare directă sau optică. Măsurătorile unghiurilor horizontale ale punctelor observate, efectuate în cele două poziții ale lunetei teodolitului, alcătuiesc o serie de observație, 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  $a_i'$  corespunzătoare deplasării unui punct al construcției din poziția 1 în poziția 1' în ipoteza coliniarității punctelor  $A - l - B$  va fi dată de relația:

$$a_i' = l_1 \frac{\varphi_{1mediu}^{(cc)}}{\rho^{cc}} = (L - l_1) \frac{\psi_{1mediu}^{(cc)}}{\rho^{cc}} \quad (2.45)$$

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.

$$\begin{aligned} \delta &= a_i - a_i^0 \\ \delta_i &= a_i' - a_i^0 \end{aligned} \quad (2.46)$$

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

$\alpha_1^0$  - abaterea punctului 1 față de aliniamentul  $A-B$ .

Procedeu aliniamentului prin măsurarea unghiurilor orizontale de abatere a poziției deplasate ale punctelor, permite o determinare simplă a mărimilor deplasărilor dar necesită o precizie ridicată la măsurarea unghiurilor de abatere  $\varphi$ , și  $\psi$ , valorile unghiulare fiind înregistrate cu precizia de  $0,5^{\text{cc}} - 1^{\text{cc}}$ .

Aprecierea preciziei măsurătorilor se face cu următoarele relații:

1. Eroarea medie pătratică a valorii medii a unghiului  $\varphi$ , sau  $\psi$ , din  $n$  serii:

$$m_{(\varphi,\psi)} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} \quad (2.47)$$

în care:  $vv$  – eroarea reziduală rezultată din diferența dintre valoarea unghiului  $\varphi$ , sau  $\psi$ , dintr-o serie față de media unghiului obținută din  $n$  serii;

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

$$m_a = \frac{m_{(\varphi,\psi)}^{\text{cc}} \cdot l}{\rho^{\text{cc}}} \quad (2.48)$$

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:

$$\mu_\delta = \pm \sqrt{m_{a_1}^2 + m_{a_2}^2} \quad (2.49)$$

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 rectiline, cum ar fi barajele arcuite, viaducte arcuite.

### 2.3.3. 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  $A'B'$ , paralele cu aliniamentul vechi  $AB$ . În funcție de cerințele lucrării se pot proiecta un număr de 2, 3 sau mai multe aliniamente noi. Distanțele  $AA'$  și  $BB'$ , dintre punctele de bază vechi și noi, trebuie luate 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:

$$Z_1 = \frac{(L_A - L_{A'})_1 p_1 + (L_A - L_{A'})_2 p_2 + \dots + (L_A - L_{A'})_i p_i}{p_1 + p_2 + \dots + p_i} \quad (2.50)$$

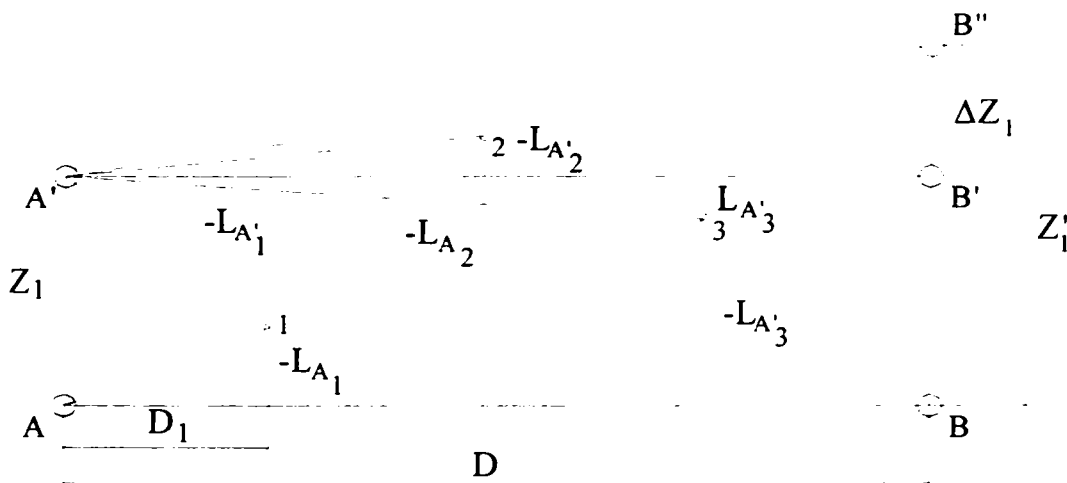


Figura 2.11 – Metoda observării aliniamentelor paralele suplimentare

în care:  $L_A$  și  $L_{A'}$  - 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 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 relațiile analoge. Mărimea liniară a ne paralelismului celor două sau mai multe aliniamente se exprimă prin relațiile:

$$\begin{aligned} Z_1 - Z'_1 &= \Delta Z_1 \\ Z_2 - Z'_2 &= \Delta Z_2 \\ \dots & \\ Z_i - Z'_i &= \Delta Z_i \end{aligned} \quad (2.51)$$

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 paralele suplimentar, mărimile abaterilor punctului de control  $i$  măsurate în cele două sensuri, sunt date de relațiile:

$$\begin{aligned} L'_i &= \frac{L_{A'_i} + (Z_1 + L_{A_i})'}{2} \\ L''_i &= \frac{L_{A''_i} + (Z_1 + L_{A_i})''}{2} \end{aligned} \quad (2.52)$$

În cazul în care se obține mărimea neparalelismului, calculul abaterilor se face cu relațiile:

$$L'_i = \frac{L'_{A_i} + \left[ \left( Z_1 + \frac{\Delta Z_1}{D} D_i \right) + L_{A'_i} \right]'}{2}$$

$$L''_i = \frac{L''_{A_i} + \left[ \left( Z_1 + \frac{\Delta Z_1}{D} D_i \right) + L_{A'_i} \right]''}{2} \quad (2.53)$$

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:

$$L_i = \frac{L'_i + L''_i}{2} \quad (2.54)$$

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:

$$m_{L'_{A_i}} = m_{L''_{A_i}} = m_{L'_{A_i}} = m_{L''_{A_i}} = m_L \quad (2.55)$$

De asemenea se mai poate scrie egalitatea între valorile  $Z_1$  și  $Z_2$  astfel:

$$m_{Z_1} = m_{Z_2} = \dots = 0 \quad (2.56)$$

Mărimile  $Z_i$  fiind determinate suficient de precis, eroarea medie pătratică a abaterii punctului de control va fi dată de relația:

$$M_L = \frac{m_L}{\sqrt{2n}} \quad (2.57)$$

în care:  $n$  – numărul aliniamentelor care intră în determinarea abaterilor.

Eroarea medie pătratică a deplasării orizontale a punctului de control va fi:

$$m_{\Delta L} = \sqrt{M_{L'}^2 + M_{L''}^2} = M_L \sqrt{2} \quad (2.58)$$

### 2.3.4. 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.

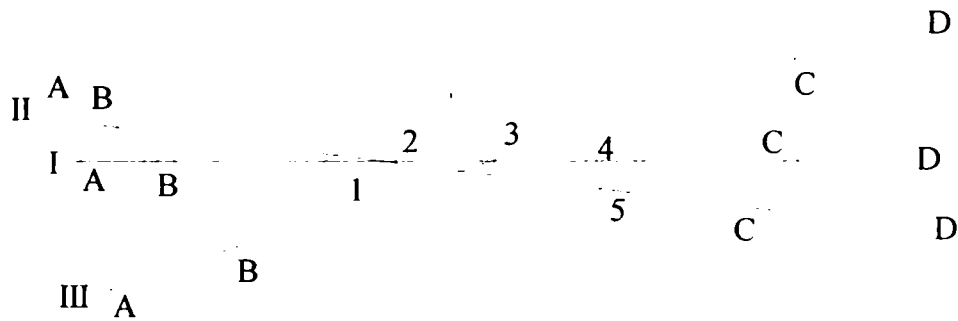


Figura 2.12 – Metoda observării aliniamentelor intersectate

După fixarea punctelor de bază, se măsoară unghiurile dintre primul aliniament și următoarele, ele rămânând constante pentru toate ciclurile de observații. Organizarea lucrărilor, metodică 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*, 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 a punctelor de control utilizând prin măsurarea aliniamentelor.

## 2.4. METODA POLIGONOMETRICĂ

Metoda poligonometrică, care mai este cunoscută și sub denumirea de metoda drumuirii 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.

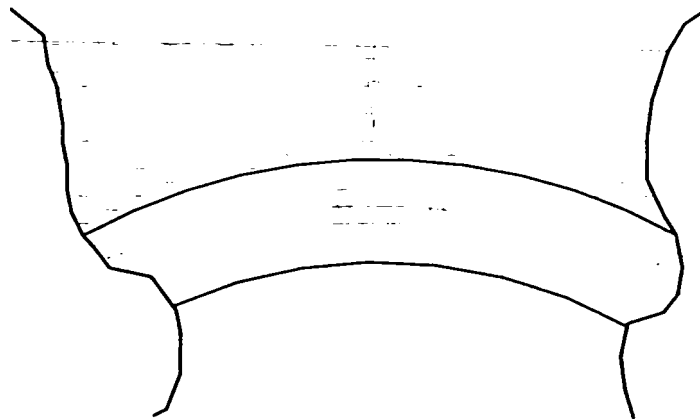


Figura 2.13 – Determinarea deplasărilor orizontale prin metoda drumuirii planimetrice

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  $Y$ .

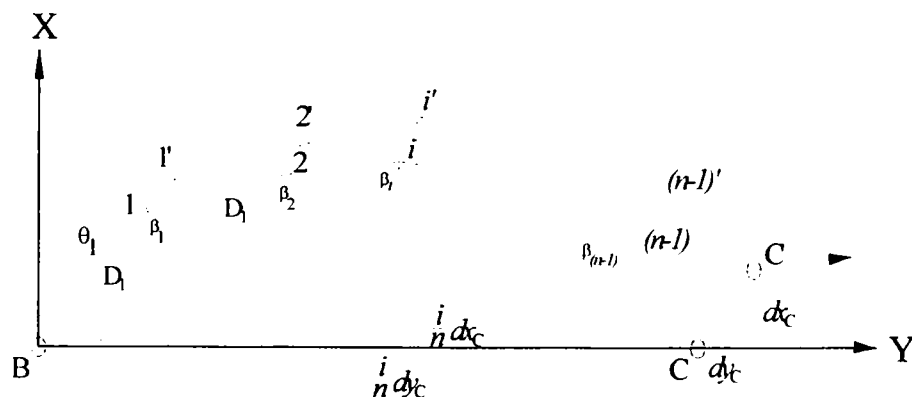


Figura 2.14 – Traseul deplasat al drumuirii planimetrice de precizie



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:

$$\begin{aligned}\Delta X_i &= X_i^1 - X_i^0 \\ \Delta Y_i &= Y_i^1 - Y_i^0\end{aligned}\quad (2.59)$$

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:

$$\begin{aligned}L &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \\ \theta_L &= \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}\end{aligned}\quad (2.60)$$

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 de formă curbă, 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 următoare:

$$\begin{aligned}m_{X_i}^2 &= \pm \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left[ \sum_{k=1}^{i-1} \left( \Delta Y_{i-k} - \frac{i}{n} \Delta Y_{B-k} \right)^2 + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta Y_{B-k}^2 \right] + \\ &+ m_D^2 \left[ \left( 1 - \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^i \cos^2 \theta_k + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=i+1}^n \cos^2 \theta_k \right]\end{aligned}\quad (2.61)$$

$$\begin{aligned}m_{Y_i}^2 &= \pm \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left[ \sum_{k=1}^{i-1} \left( \Delta X_{i-k} - \frac{i}{n} \Delta X_{B-k} \right)^2 + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta X_{B-k}^2 \right] + \\ &+ m_D^2 \left[ \left( 1 - \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^i \sin^2 \theta_k + \left( \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=i+1}^n \sin^2 \theta_k \right]\end{aligned}\quad (2.62)$$

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. Erorarea medie pătratică în poziția punctului de control  $i$  va fi:

$$m_i = \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2}\quad (2.63)$$

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 următoare:

$$m_{\Delta X_i} = \pm \sqrt{m_{X_i^1}^2 + m_{X_i^0}^2}, m_{\Delta Y_i} = \pm \sqrt{m_{Y_i^1}^2 + m_{Y_i^0}^2} \quad (2.64)$$

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:

$$m_{L_i} = \sqrt{m_{\Delta X_i}^2 + m_{\Delta Y_i}^2} \quad (2.65)$$

Pe baza analizării relațiilor definite, creșterea preciziei de determinare a deplasării orizontale a construcțiilor, prin metoda drumirii 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.

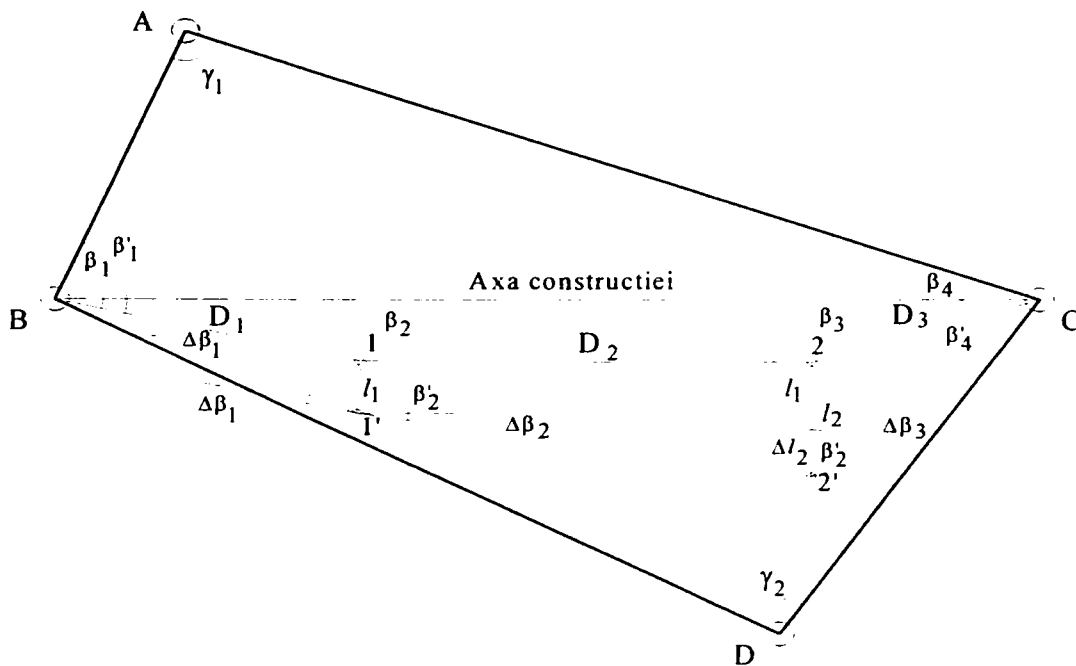


Figura 2.15 – Deplasările orizontale ale punctelor de control

Punctele de control s-au deplasat din poziția inițială 1 și 2, în poziția actuală 1' și 2'. 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:

$$\begin{aligned}
 l_1 &= D_1 \frac{\Delta\beta_1^{cc}}{\rho^{cc}} \\
 l_2 &= l_1 + \Delta l_2 = l_1 + D_2 \frac{\Delta\beta_2^{cc}}{\rho^{cc}} \\
 &\dots\dots\dots \\
 l_n &= l_{n-1} + \Delta l_n = l_{n-1} + D_n \frac{\Delta\beta_n^{cc}}{\rho^{cc}}
 \end{aligned}
 \tag{2.66}$$

Diferențele unghiulare sunt date de formulele:

$$\begin{aligned}
 \Delta\beta_1^{cc} &= (\beta_1' - \beta_1) = \delta\beta_1^{cc} \\
 \Delta\beta_2^{cc} &= (\beta_2' - \beta_2) + \Delta\beta_1^{cc} = \delta\beta_2^{cc} + \Delta\beta_1^{cc} \\
 &\dots\dots\dots \\
 \Delta\beta_n^{cc} &= (\beta_n' - \beta_n) + \Delta\beta_{n-1}^{cc} = \delta\beta_n^{cc} + \Delta\beta_{n-1}^{cc}
 \end{aligned}
 \tag{2.67}$$

Eroarea medie pătratică a deplasării orizontale a punctului de control,  $n$ , admitându-se că unghiurile au fost măsurate cu aceeași precizie, va fi exprimată cu relația:

$$m_{l_n}^2 = m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2 + \dots + m_{l_{n-1}}^2 + \frac{m_{\Delta\beta}^2}{\rho^2} D_n^2 = \frac{2m_{\beta}^2}{\rho^2} (D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2)
 \tag{2.68}$$

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.

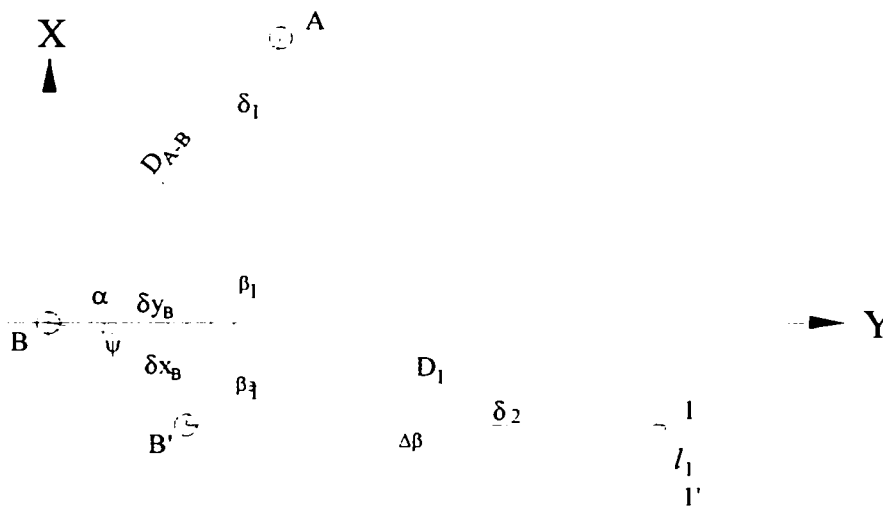


Figura 2.16 – Deplasarea punctului  $B$  în poziția actuală  $B'$

Din notațiile figurai se pot scrie relațiile:

$$l = \sqrt{\delta x_B^2 + \delta y_B^2} \text{ si } \psi = \arctg \frac{\delta x_B}{\delta y_B}
 \tag{2.69}$$

Se calculează abaterile transversale ale punctului de sprijin  $B'$  față de direcțiile  $AB$  și  $IB$  cu relațiile:

$$\begin{aligned} h_A &= l \sin(\alpha + \psi) \\ h_1 &= l \sin[\psi - (\beta_1 - \alpha)] \end{aligned} \quad (2.70)$$

În funcție de abaterile transversale se calculează unghiurile sub care se observă cele două abateri:

$$\begin{aligned} \delta_1^{cc} &= \rho^{cc} \frac{h_A}{D_{AB}} \\ \delta_2^{cc} &= \rho^{cc} \frac{h_1}{D_1} \end{aligned} \quad (2.71)$$

Unghiul orizontal măsurat în ciclul actual, va fi exprimat de formula:

$$\beta_1' = \beta + \delta_1^{cc} - \delta_2^{cc} + \Delta\beta_1^{cc} \quad (2.72)$$

Rezultă diferența unghiulară corectată din cauza deplasării punctului de sprijin B:

$$\Delta\beta_1^{cc} = (\beta_1' - \beta_1) + (\delta_2^{cc} - \delta_1^{cc}) \quad (2.73)$$

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.

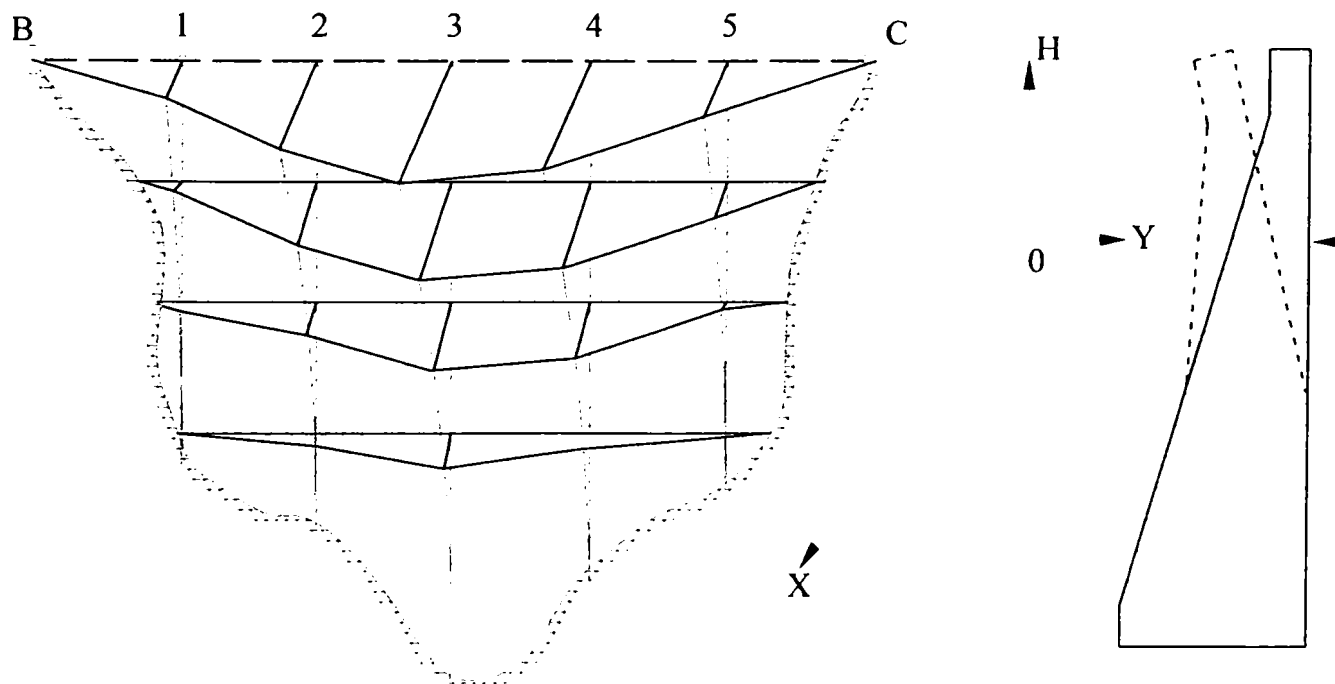


Figura 2.17 – Graficul deplasării a unui baraj de greutate

## 2.5. 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 trilaterației se poate utiliza pe scară largă cu rezultate foarte bune.

Aplicarea metodei microtrilaterației 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.

### 2.5.1. 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.

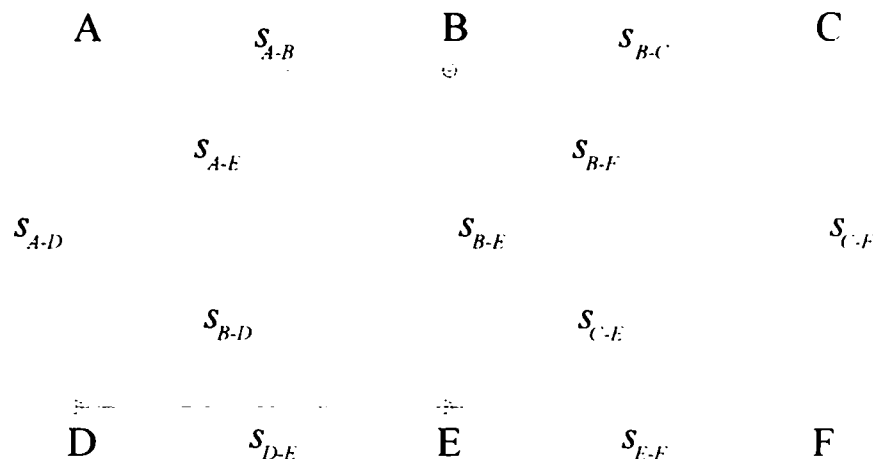


Figura 2.18 – Rețea de urmărire liniară (microtrilaterația)

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.

Plecând de la notațiile făcute, între mărimile de mai sus se poate scrie următoarea relație:

$$s + v + \Delta_s = s' + v' \quad (2.74)$$

Mărimea  $\Delta_s$  ca derivată a lungimii distanței între punctele  $A$  și  $B$  se exprimă din geodezie sub următoarea formă:

$$\Delta_{s,AB} = a_{AB} \Delta x_A + b_{AB} \Delta y_A - a_{AB} \Delta x_B - b_{AB} \Delta y_B \quad (2.75)$$

Coeficienții  $a_{AB}$  și  $b_{AB}$  se exprimă cu relațiile:

$$a_{AB} = -\frac{\Delta x_{AB}}{s_{AB}} = \frac{x_A - x_B}{s_{AB}} = -\cos \theta_{AB} \quad (2.76)$$

$$b_{AB} = -\frac{\Delta y_{AB}}{s_{AB}} = \frac{y_A - y_B}{s_{AB}} = -\sin \theta_{AB}$$

Înlocuind notațiile făcute cu valorile expresiilor, se obține pentru elementul de două ori măsurat cu numărul succesiv  $i$ , care leagă punctele  $A$  și  $B$  următoarea ecuație de condiție:

$$v_i - v'_i + a_{AB} \Delta x_{AB} + b_{AB} \Delta y_{AB} - a_{AB} \Delta x_B - b_{AB} \Delta y_B + l_i = 0 \quad (2.77)$$

Termenul liber  $l_i$  se exprimă ca diferența:

$$l_i = s_i - s'_i \quad (2.78)$$

Astefel, în locul corecțiilor  $v$  pentru observația inițială și actuală se poate folosi corecția  $v_i$  pentru diferența între aceste observații, luând totodată în considerare eroarea medie sau ponderea acestei erori. În acest caz ecuația de mai sus devine:

$$v_{l_i} = a_{.AB} \Delta x_{.AB} + b_{.AB} \Delta y_{.AB} - a_{.AB} \Delta x_B - b_{.AB} \Delta y_B + l_i \quad (2.79)$$

Eroarea medie și ponderea care îi corespund se calculează cu expresia:

$$m_{l_i} = \pm \sqrt{\mu_1^2 + \mu_1'^2}$$

$$p_{l_i} = \frac{p_i \cdot p_i'}{p_i + p_i'} = \frac{\mu_0^2}{m_{l_i}^2} \quad (2.80)$$

Prin rezolvarea ecuațiilor se vor determina necunoscutele  $\Delta x_i$ , adică deplasările punctelor din rețea de la un ciclu de măsurători.

### 2.5.2. 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, care este corespunzător în special pentru determinarea deplasărilor obiectivelor înguste și alungite.

Principiul acestei procedeu constă în determinarea săgeților (deplasării de la axa obiectivului studiat) elementelor construite sau a construcției în totalitatea sa. Termenii liberi și ponderile aferente acestora primesc din cauza înlocuirii măsurătorilor unghiulare cu măsurătorile liniare a săgeților o formă particulară.

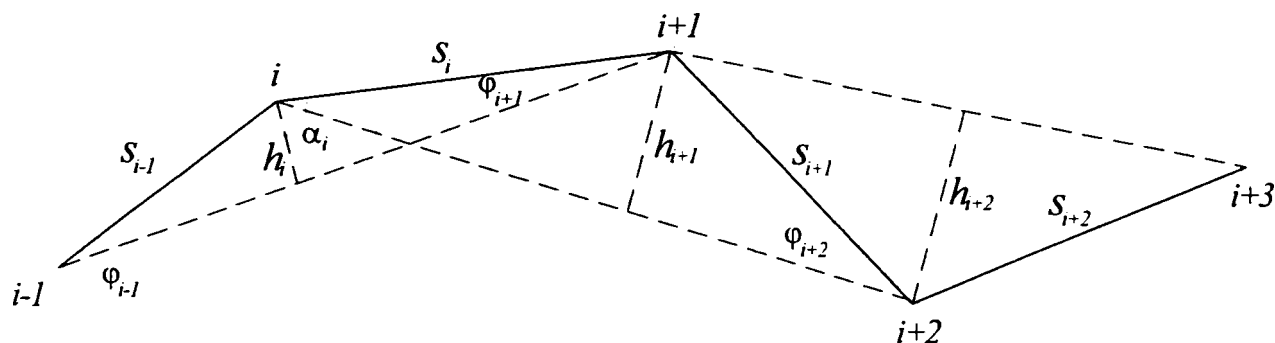


Figura 2.19 – Poligonul cu săgeți

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:

$$\alpha = 200 - (\varphi_1 + \varphi_2) = 200 - \psi \quad (2.81)$$

$$\alpha' = 200 - (\varphi_1' + \varphi_2') = 200 - \psi'$$

$$\lambda = \alpha - \alpha' = (200 - \psi) - (200 - \psi') \quad (2.82)$$

$$\lambda = \psi' - \psi = (\varphi_1' + \varphi_2') - (\varphi_1 + \varphi_2)$$

După introducerea elementelor măsurate direct, expresia lui  $\lambda$  se poate scrie astfel:

$$\lambda = \left( \arcsin \frac{h'}{s_1} + \arcsin \frac{h'}{s_2} \right) - \left( \arcsin \frac{h}{s_1} + \arcsin \frac{h}{s_2} \right) \quad (2.83)$$

Din figura poligonului cu săgeți se poate scrie următoarea relație:

$$\sin \psi' = \sin(\varphi_1' + \varphi_2') = \frac{h'}{s_1} \sqrt{1 - \left(\frac{h'}{s_2}\right)^2} + \frac{h'}{s_2} \sqrt{1 - \left(\frac{h'}{s_1}\right)^2} \quad (2.84)$$

Transformând expresia în funcție de valorile  $a'$ ,  $b'$  și  $h'$  se obține:

$$\sin \psi' = \frac{h'}{s_1 \cdot s_2} \cdot (a' + b') = \frac{h' \cdot l'}{s_1 \cdot s_2} \quad \text{și}$$

$$\sin \psi = \frac{h}{s_1 \cdot s_2} \cdot (a + b) = \frac{h \cdot l}{s_1 \cdot s_2} \quad (2.85)$$

Aceste relații sunt valabile pentru oricare mărime ale unghiurilor poligonale și oricare lungimi ale laturilor lor.



## 2.6. METODE TOPO-GEODEZICE UTILIZATE LA DETERMINAREA DEPLASĂRILOR VERTICALE

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

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

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

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

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

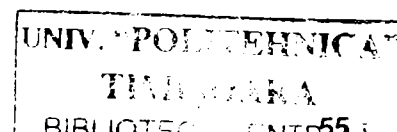
Mărimile deplasărilor verticale, tasări sau ridicări, se pot determina prin metode numerice, semiriguroase, folosind prelucrarea datelor măsurătorilor din teren prin metoda celor mai mici pătrate. Alegerea se face în funcție de natura și precizia cercetării efectuate.

### 2.6.1. METODA NIVELMENTULUI GEOMETRIC DE PRECIZIE ÎNALTĂ

Metoda nivelmentului geometric 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 crează configurația rețelei de nivelment geometric.

În componența rețelei regăsim următoarele tipuri de puncte:

- puncte de control, fixate pe construcția care este supusă cercetării, numite în cazul acestei metode și mărci de tasare sau repere mobile;



- reper fixe, numite și repere de referință, amplasate în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției studiate.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2.6.2. PROIECTAREA REȚELOR DE NIVELMENT GEOMETRIC PENTRU DETERMINAREA TASĂRILOR

### 2.6.2.1. Repartiția spațială a reperilor de control

Proiectarea rețelilor 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 acestea și-a modificat poziția inițială (în cazul în care apare o diferență între cotele absolute ale acestora).

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

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

$$d_{\max} = \pm 2\mu\sqrt{n} \quad (2.86)$$

în care:  $\mu$  - eroarea medie pătratică a unității de pondere;

$m$  - eroarea de măsurare.

Rezultă următoarea expresie:

$$n \leq \left( \frac{m}{2\mu} \right)^2 \quad (2.87)$$

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

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

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

Se consideră o drumuire nivelitică cu un număr total de repere  $n$ . Primul și ultimul reper le considerăm ca repere de control, iar celelalte puncte se consideră a fi repere mobile.

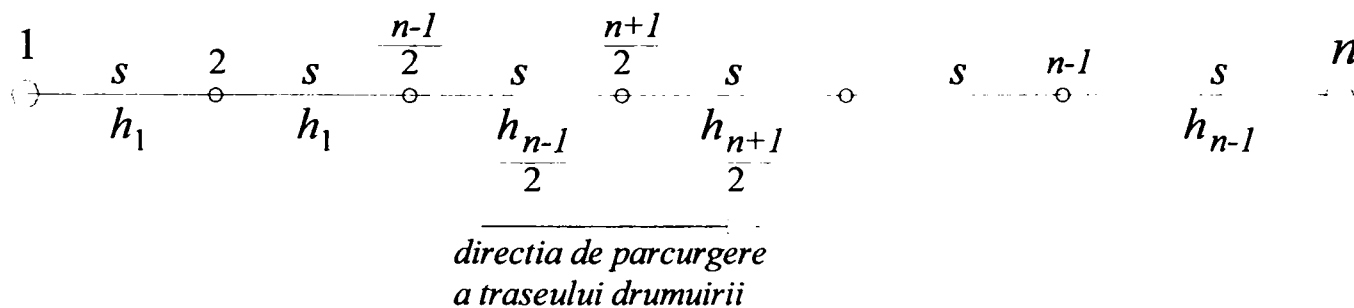


Figura 2.20 – Drumuirea de nivelment geometric

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

$$(h_1 + v_1) + (h_2 + v_2) + \dots + \left( \frac{h_{n-3}}{2} + \frac{v_{n-3}}{2} \right) + \left( \frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) + \left( \frac{h_{n+1}}{2} + \frac{v_{n+1}}{2} \right) + \dots + (h_{n-1} + v_{n-1}) = \quad (2.88)$$

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

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

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

Astfel soluția normală se va scrie:

$$2s(n-1)k + w = 0 \quad (2.89)$$

$$k = -\frac{w}{2s(n-1)} \quad (2.90)$$

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

$$v_i = \frac{a_i}{p_i} k = \frac{1}{s} \left( -\frac{w}{2s(n-1)} \right) = -\frac{w}{2(n-1)} \quad (2.91)$$

$$v'_i = \frac{a'_i}{p'_i} k = \frac{-1}{s} \left( -\frac{w}{2s(n-1)} \right) = +\frac{w}{2(n-1)} \quad (2.92)$$

Eroarea medie pătratică a unității de pondere va fi:

$$(\mu) = \sqrt{\frac{[pvv] + [p'v'v']}{1}} = \pm \frac{w}{\sqrt{2s(n-1)}} \quad (2.93)$$

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

$$F_1 = \frac{\Delta_{n+1}}{2} = (h'_i + v'_i) - (h_1 + v_1) + \dots + \left( \frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) - \left( \frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) \quad (2.94)$$

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

$$\Delta_i = F_i(h'_i + v'_i, h_i + v_i) \quad (2.95)$$

Eroarea funcției  $F_1$  se determină astfel:

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_i} = f_i = -1 \quad \text{și} \quad \frac{\partial F_1}{\partial h'_i} = f'_i = +1 \quad (2.96)$$

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

$$m_{F_1} = \pm \mu \cdot \sqrt{\left[ \frac{ff}{p} \cdot 1 \right]} \quad (2.97)$$

în care 1 reprezintă numărul succesiv al ultimei corecții.

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

$$F_2 = \frac{\Delta_{n-1}}{2} = (h_1 + v_1) - (h_1 + v_1) + \dots + \left( \frac{h'_{n-3}}{2} + \frac{v'_{n-3}}{2} \right) - \left( \frac{h_{n-3}}{2} + \frac{v_{n-3}}{2} \right) \quad (2.98)$$

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

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

$$m_{F_2} = \pm \mu \cdot \sqrt{\frac{s(n-3) \cdot (n+1)}{2(n-1)}} \quad (2.99)$$

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

$$F_2 = (h_{n-1} + v_{n-1}) - (h'_{n-1} + v'_{n-1}) + \dots + \left( \frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) - \left( \frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) \quad (2.100)$$

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 drumirii și că erorile în deplasările reperelor vecine 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:

$$\mu_{mm} = \sqrt{\frac{s(n-1)}{2}} \leq M_{\Delta mm} \quad (2.101)$$

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:

$$s(n-1) \leq 2 \frac{M_{\Delta}^2}{\mu^2} \quad (2.102)$$

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

$$H = h_1 + h_2 + \dots + h_n \quad (2.103)$$

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

$$\frac{\partial f}{\partial h_i} = 1 \text{ și } \left( \frac{\partial f}{\partial h_i} \right)^2 = 1 \quad (2.104)$$

adică se poate scrie egalitatea:

$$\begin{aligned} m_H^2 &= m_{h_1}^2 \cdot 1 + m_{h_2}^2 \cdot 1 + \dots + m_{h_n}^2 \cdot 1 \\ m_H^2 &= m_h^2 \cdot n \\ m_H &= m_h \cdot \sqrt{n} \end{aligned} \quad (2.105)$$

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

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

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

#### 2.6.2.2. Stabilirea poziției mărcilor pe obiectivul supus observațiilor periodice

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

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

În continuare se prezintă câteva exemple de amplasare a mărcilor de tasare și a reperelor de control pentru baraje, poduri și construcții masive.

În figura următoare se prezintă amplasarea mărcilor de tasare, a reperelor de control și punctelor intermediare pentru un baraj în arc.

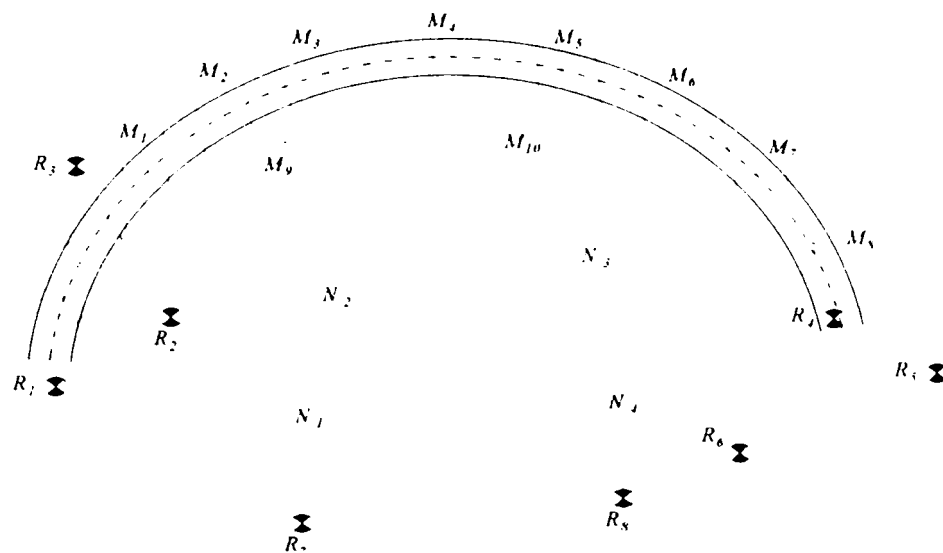


Figura 2.21 – Dispunerea drumurilor de nivelemnt geometric la un baraj arcuit

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

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

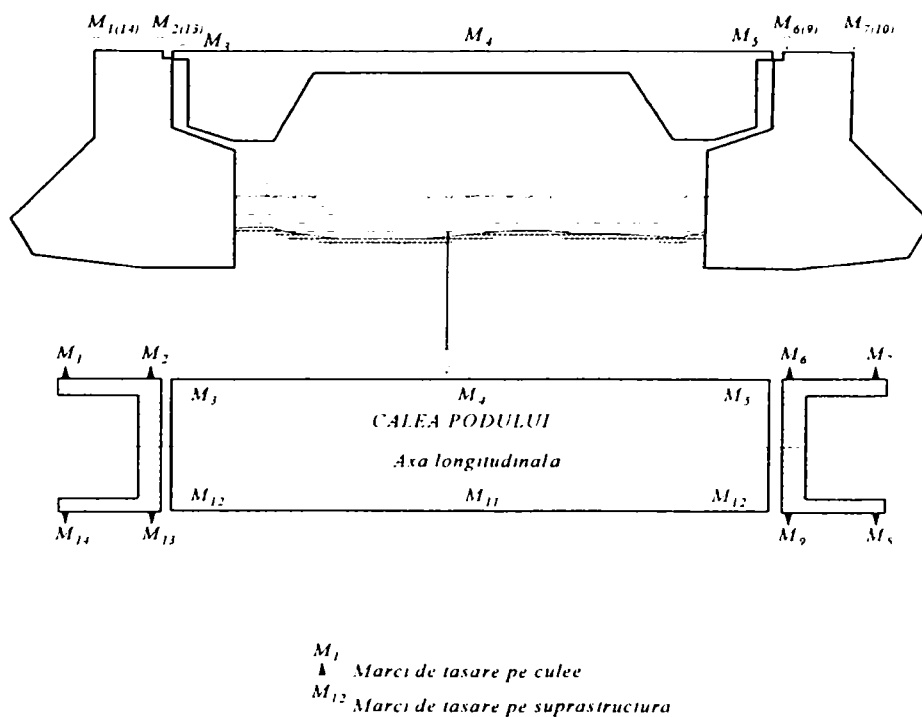


Figura 2.22 -Repartiția mărcilor de tasare pe culei și pe suprastructura podului



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

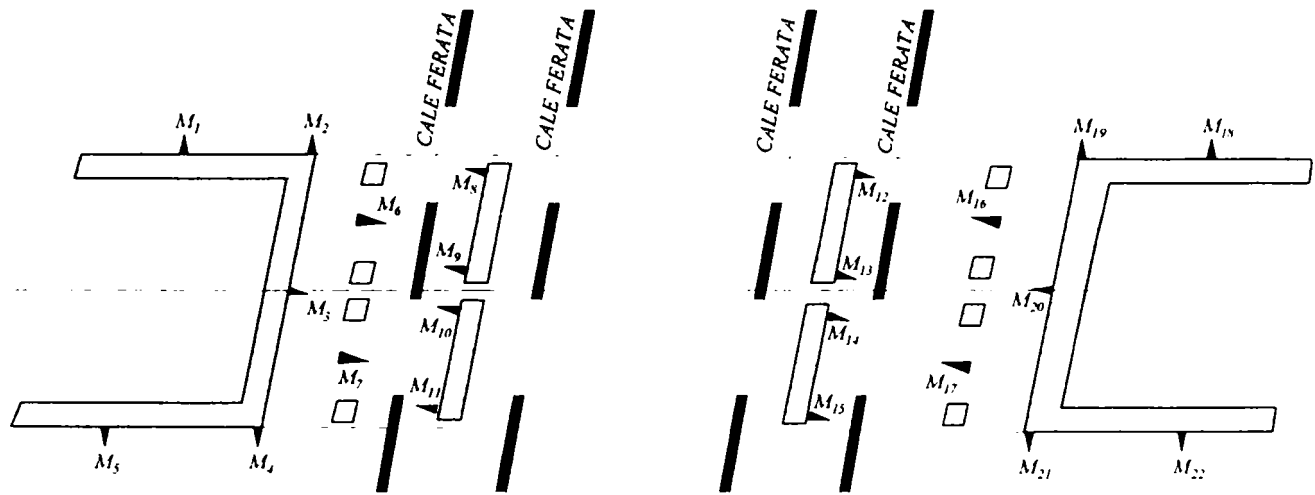


Figura 2.23 - Amplasarea mărcilor de tasare pe suportii unui pasaj superior

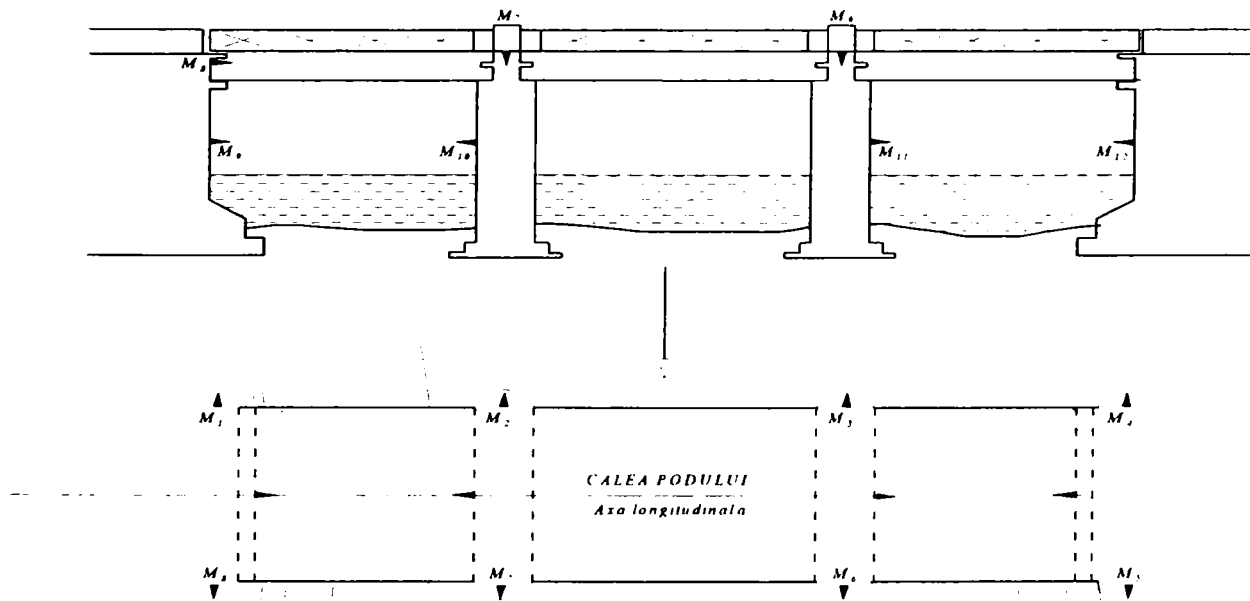


Figura 2.24 - Amplasarea mărcilor de tasare la diferite nivele ale suportilor

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

În figura următoare se descrie un exemplu de rețea de nivelment cu patru reperi de plecare  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  și  $R_4$ , cu 14 mărci de tasare  $M_1$ ,  $M_2$ , ...  $M_{14}$  pentru măsurarea tasărilor unui pod cu două

deschideri. Legătura reperilor de plecare de pe ambele maluri ale cursului de apă, se realizează prin trei poligoane de nivelment amplasate, ținând seama de egalitatea distanțelor de la nivela topografică la miră sau reflector.

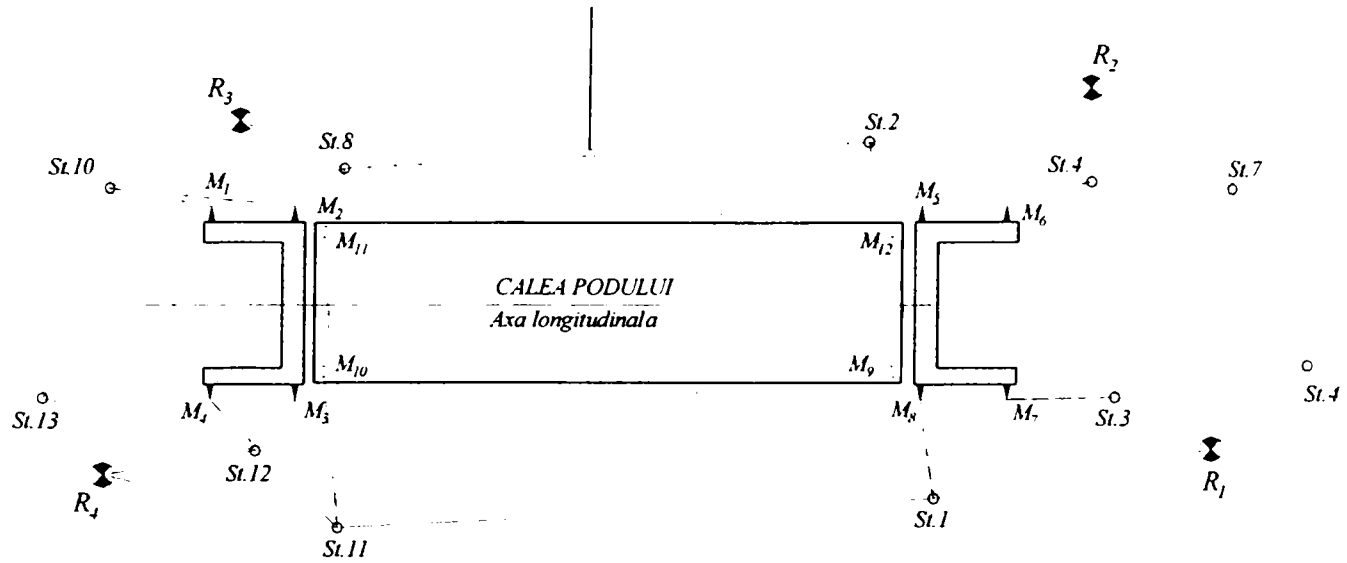


Figura 2.25a - Schema drumurilor de nivelment – pod cu singură deschidere

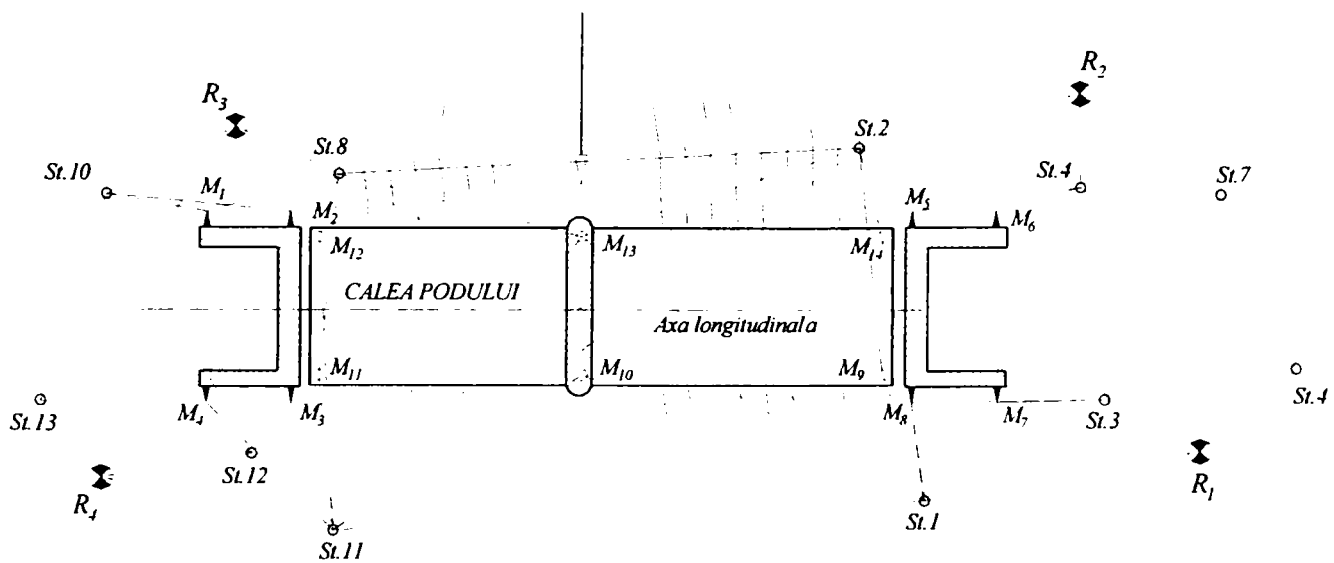


Figura 2.25 b – Rețeaua drumurilor de nivelment pentru pod cu două deschideri

## 2.7. MARCAREA PUNCTELOR REȚELELOR DE NIVELMENT UTILIZATE LA URMĂRIREA CONSTRUCȚIILOR

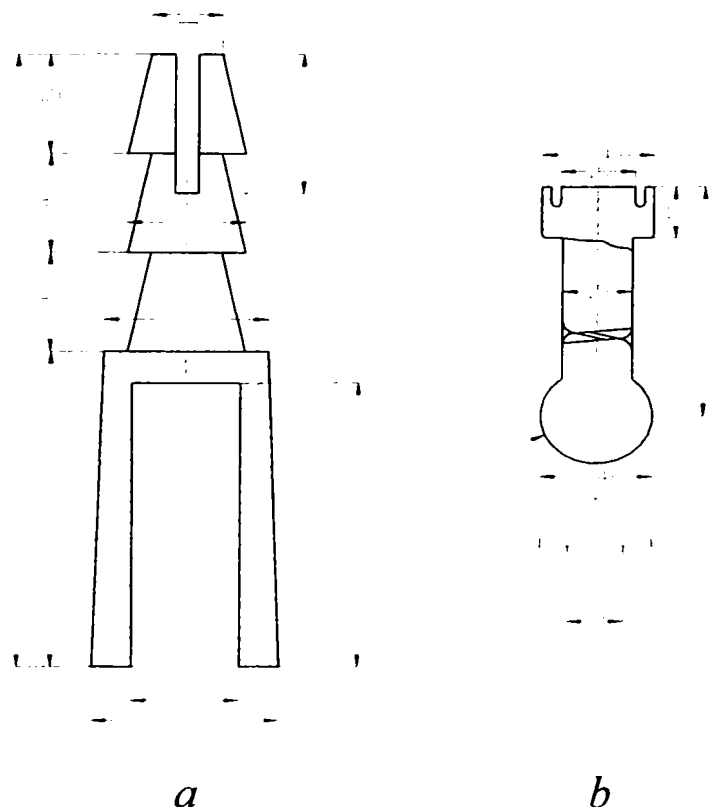
Toate tipurile de reperi folosiți pentru realizarea măsurătorilor topografice specifice urmăririi în timp a construcțiilor se marchează sub forma unor reperi convenționali care respectă normativele din țara noastră în vigoare.

### 2.7.1. MATERIALIZAREA REPERILOR DE CONTROL

Reperii de control se pot marca pe clădiri, pe stânci stabile sau pe pilaștri de beton construiți pe teren. La alegerea clădirilor se ține cont de faptul că acestea trebuie să fie consolidate, să fie exploatate de cel puțin 5 ani și să nu fie expuse diferitelor influențe interioare sau exterioare (trepidații din cauza exploatării, terenuri inundabile). Din acest punct de vedere cel mai bine corespund clădirile publice și reperul se așează în apropierea colțurilor, unde stabilitatea acestora este normală.

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

În țara noastră, normativul elaborat de I.N.C.E.R.C. privind determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61-64, recomandă ca reperii de control montați în pereții construcțiilor stabile, reperul din figura următoare:



*Figura 2.26 – Reperi de control INCERC montați pe construcții în România  
a – Corpul mărcii sau reperului; b – Capac cu bulon sferic al mărcii sau reperului*

Reperii de control fixați pe pământ sunt de două tipuri:

- reperi de suprafață;
- reperi de adâncime.

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

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

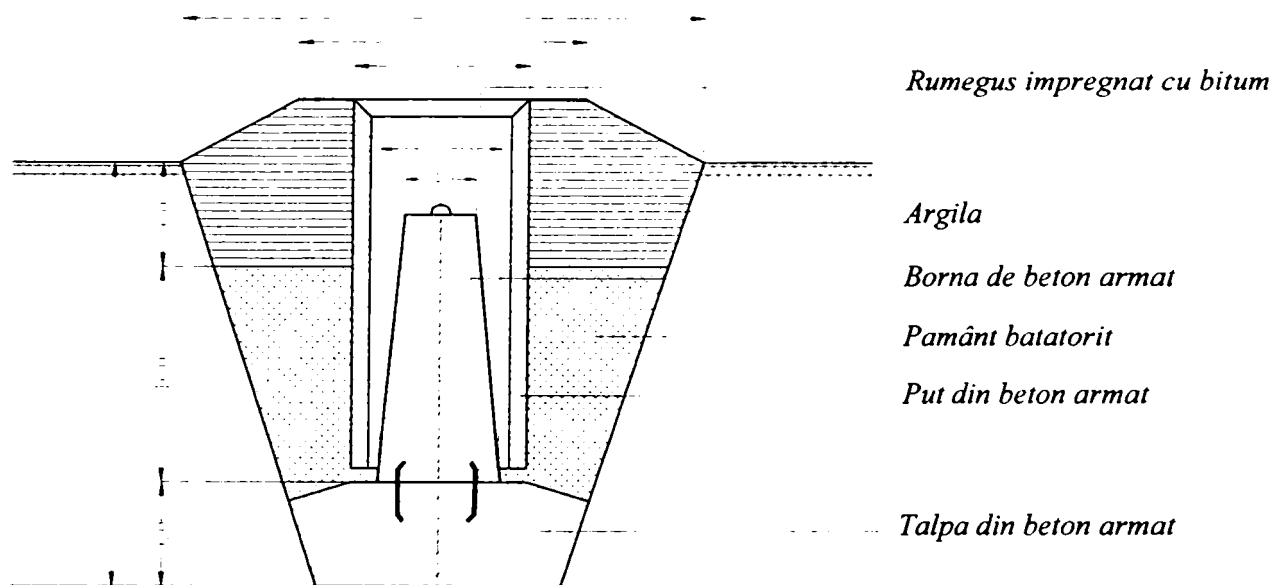


Figura 2.27a - Reperi de control de suprafață – Polonia

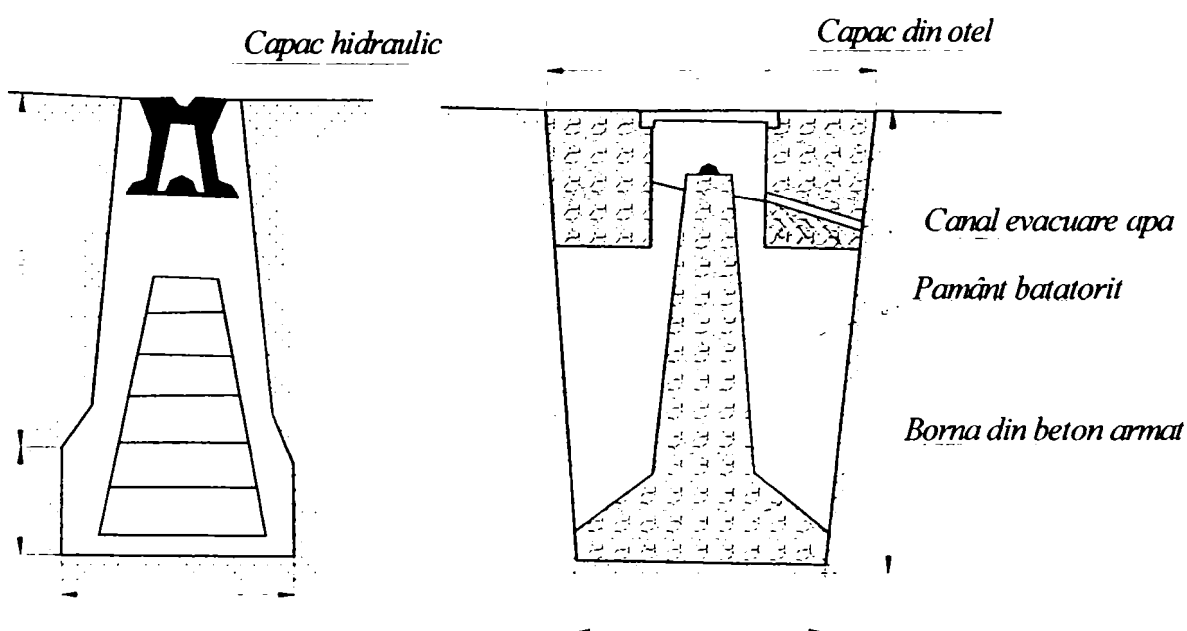


Figura 2.27b - Reperi de control de suprafață – Cehia, Ungaria

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

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

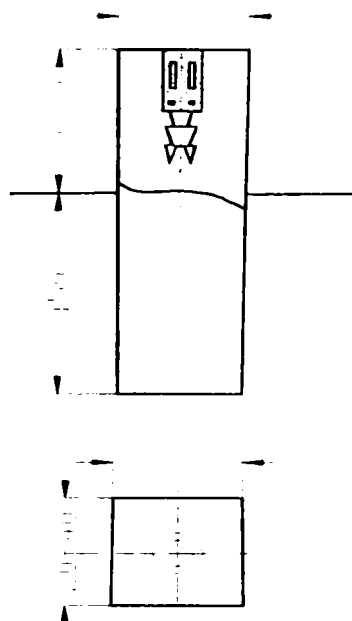


Figura 2.28 - Reperi de control de suprafață în România

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

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

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

Reperul de câmp se compune din două părți distincte:

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

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

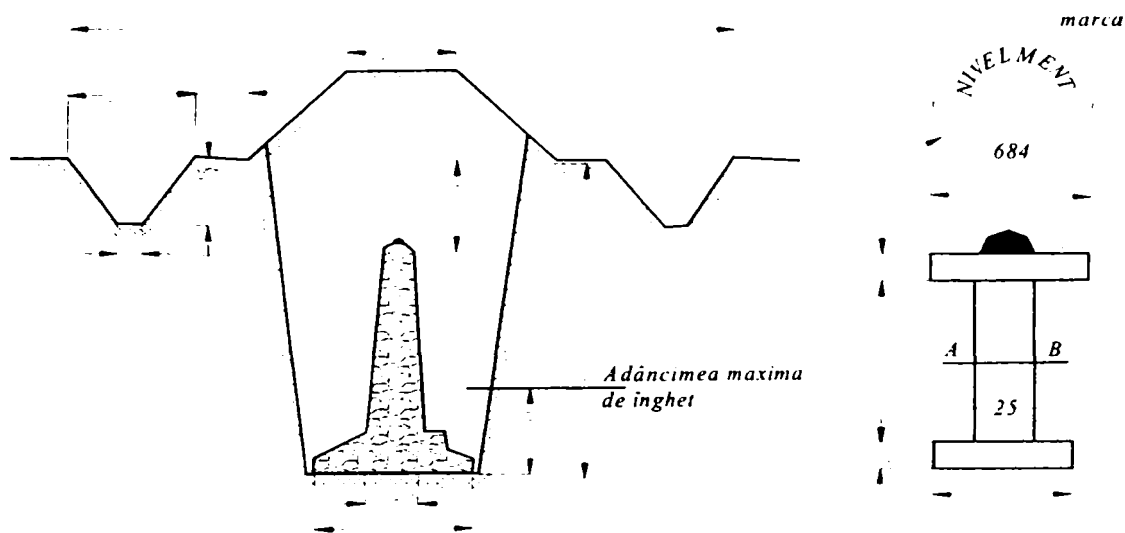


Figura 2.29 - Reperi de câmp în România

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

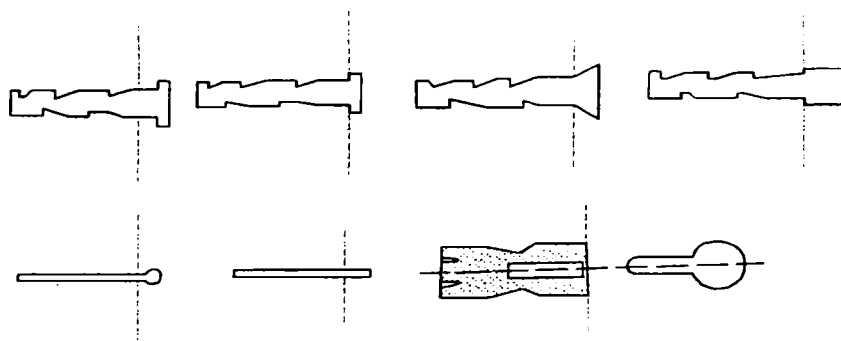


Figura 2.30 - Reperi de nivelment de zidărie în România

În cazul pământurilor moi sau existenței unor straturi moi în adâncime, sau când adâncimea straturilor de pământ macroporic depășește 2 m, este necesar să se folosească repere de adâncime.

Reperii de control de adâncime sunt realizate într-o diversitate de tipuri și care ajung la câteva zeci de metri adâncime. Adaptând tehnologia de executare a acestor tipuri de repere se pot obține rezultate foarte bune pentru observațiile topografice, datorită deplasărilor sau variațiilor foarte reduse ale acestor repere. În funcție de locul amplasamentului, stabilitatea terenului de fundare și condițiile geotehnice locale se poate afirma că aceste repere fundate la adâncime, oferă singuranța că nu se vor deplasa în timp și se pot utiliza la mulți ani de la data materializării efective pe teren.

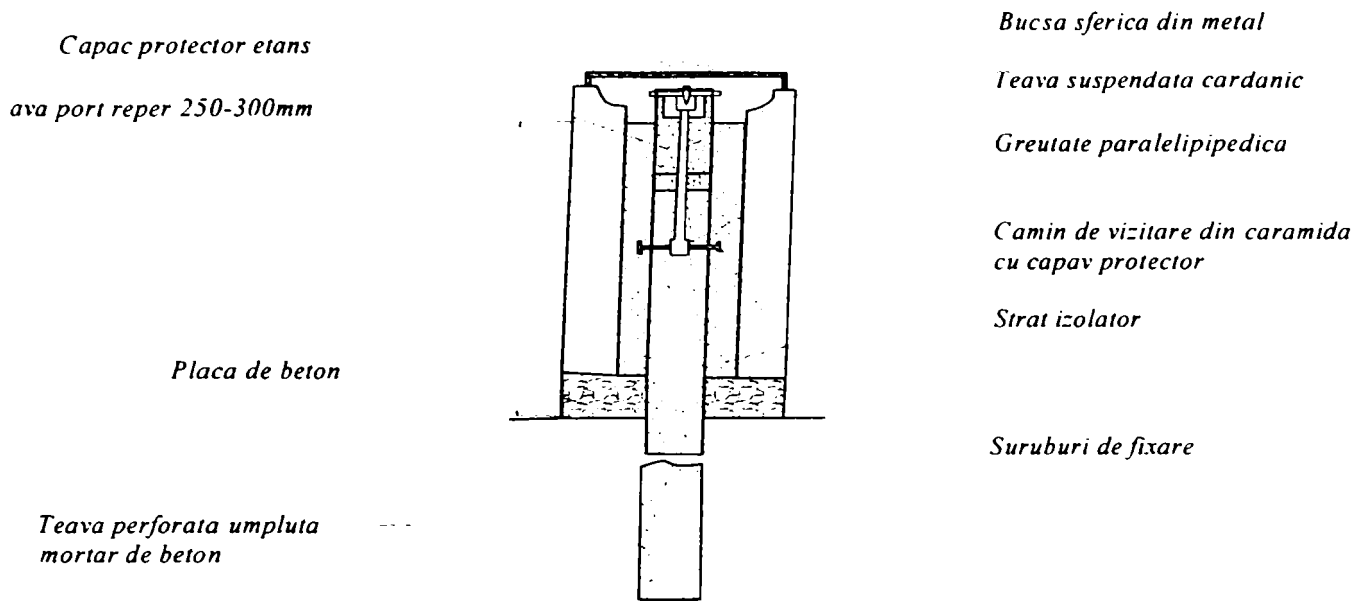


Figura 2.31 - Reper de adâncime tip M.S. Muraviev

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

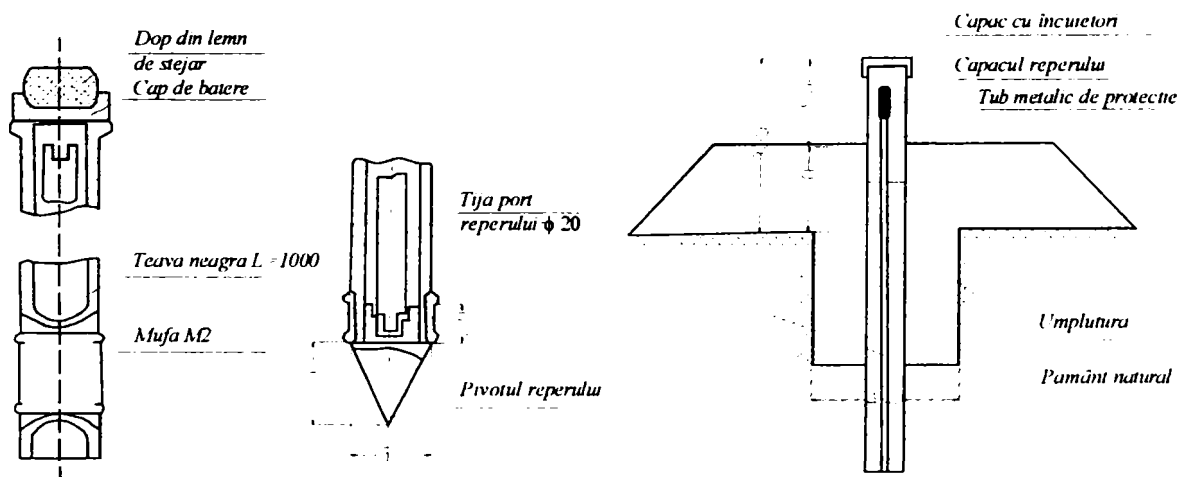


Figura 2.33 – Reper de adâncime INCERC – poziția de batere și poziție definitivă

### 2.7.2. MATERIALIZAREA PUNCTELOR DE NIVELMENT PE OBIECTIVUL EXAMINAT

Materializarea punctele de nivelment marcate pe obiectivul supus observațiilor, se realizează prin intermediu mărcilor de tasare. Mărcile montate pe construcțiile urmărite pot avea forme diferite, fiind confecționate din bare metalice cu cap rotunjit, sau din corniere cu cap semirotund.

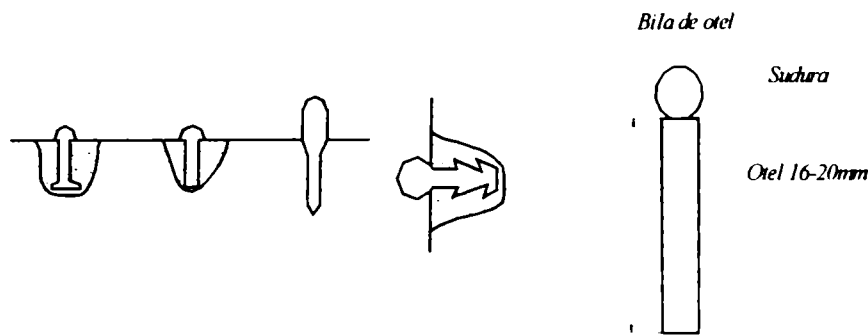


Figura 2.34 – Mărci de nivelment pentru încastrare în construcție

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

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

Pentru măsurarea deplasărilor verticale (tasărilor) ale straturilor de pământ, situate la diferite adâncimi (cazul barajelor de pământ) se folosesc reperi de adâncime (mărci de adâncime).

Construcția acestor reperi – mărci trebuie să asigure o legătură bună între ele și stratul de pământ examinat astfel încât toate mișcările verticale ale acestui strat să poată fi transmise fără deformări, mărcii reperului. Una din principalele părți ale reperului, marca de adâncime, este țeava de protecție care trebuie să izoleze tija reperului de influențele unor eventuale frecări de pământ. În consecință reperul marcă va fi supus influențelor exercitate de mișcările numai aceluia strat de pământ pe care se sprijină piciorul reperului.

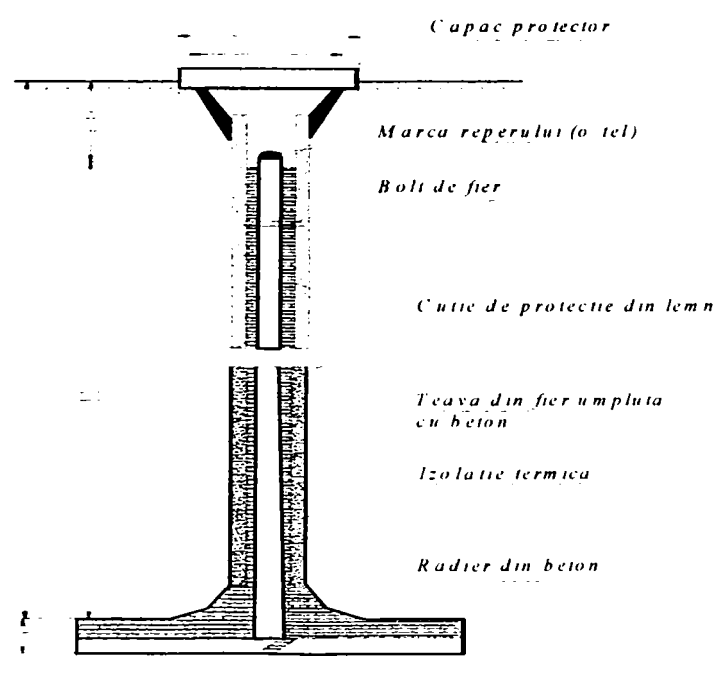


Figura 2.35 – Marcă reper de adâncime T. Lazzarini



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

Forma plată a piciorului permite construirea acestei mărci direct pe teren, în groapa deschisă, care după priza terenului se umple cu pământ. Tasarea stratului de sub picior poate fi sesizată la nivelul mărcii 2.

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

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

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

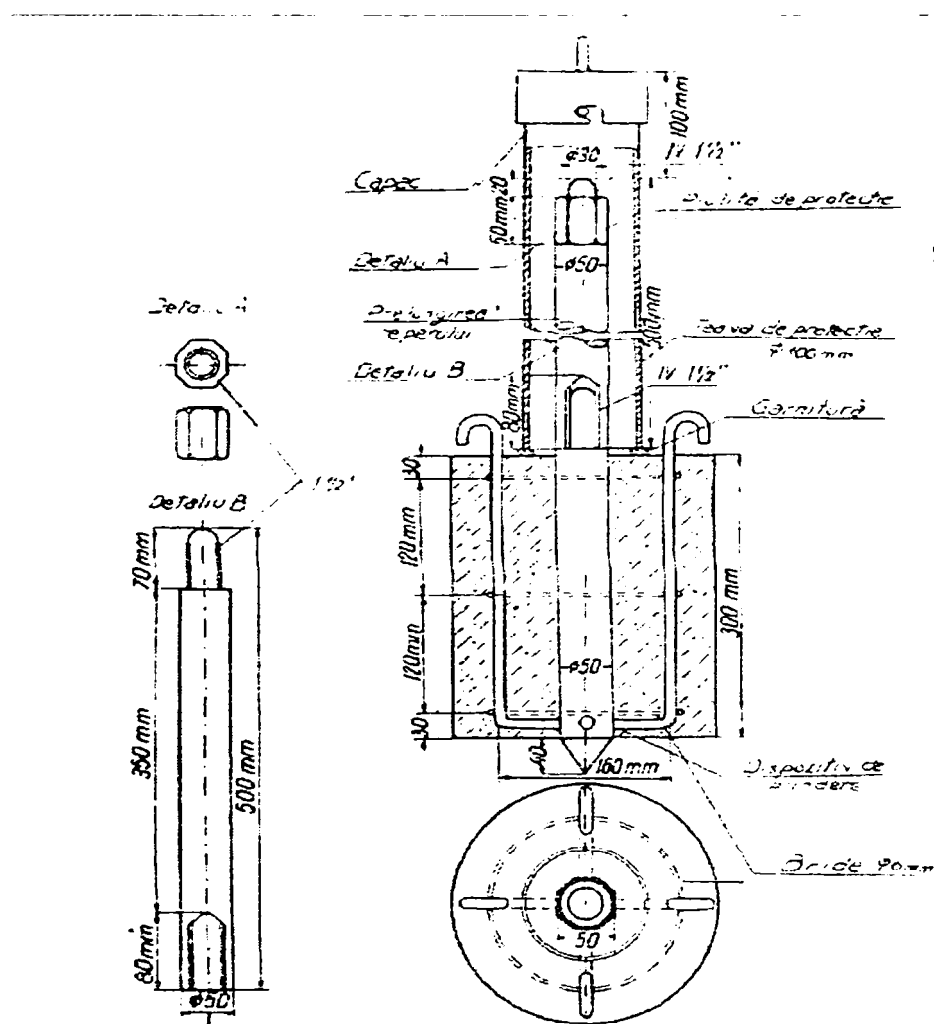


Figura 2.36 - Marcă – reper de adâncime (pentru barajele de pământ)

## 2.8. ERORILE ÎNTÂLNITE ÎN NIVELMENTUL GEOMETRIC PENTRU DETERMINAREA TASĂRILOR ȘI MODUL DE ELIMINARE A ACESTORA

### 2.8.1. NEORIZONTALITATEA 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:

$$m_r = \pm 0,09 \cdot \sqrt{\tau^{cc}} \quad (2.106)$$

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

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

$$m_{\Delta h} = \pm \frac{d \cdot m_r}{\rho^{cc}} \quad (2.107)$$

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

### 2.8.2. NEAPLICAREA CORECȚIEI DE SFERICITATE, REFRACTIE ȘI TEMPERATURĂ

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

$$m_l = \pm l \cdot k_t \cdot m_{\Delta} \quad (2.108)$$

în care:  $k_t$  – coeficientul liniar de dilatație termică a mirei;  
 $m_{\Delta}$  – diferența de temperatură la vizarea înainte și înapoi;  
 $l$  – un sector pe miră.

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

### 2.8.3. NEVERTICALITATEA MIREI ȘI EXCENTRICITATEA BENZII DE INVAR FAȚĂ DE AXA REPERULUI

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

În cazul înclinării mirei cu un unghi  $\varepsilon$ , banda de invar a mirei nu se găsește peste punctul cel mai înalt conform figurei următoare, astfel în loc de valoarea  $l_0$  se va citi valoarea  $l$ , mai mare.

Acestei citiri este necesar să se aplica o corecție:

$$l + \Delta l = l'_0 \quad (2.109)$$

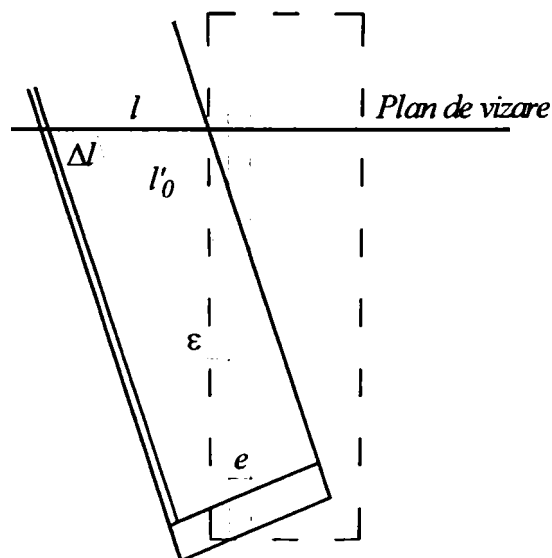


Figura nr.2.37 – Determinarea corecției de excentricitate a benzii de invar

De unde rezultă în continuare:

$$\begin{aligned} \Delta l &= l'_0 - l \\ \Delta l &= l_0 - l \\ \Delta l &= l \cos \varepsilon - l \\ \Delta l &= -l(1 - \cos \varepsilon) \\ \Delta l &= -2l \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} \end{aligned} \quad (2.110)$$

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

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

$$\Delta l = -\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{2} \pm \frac{e_1 \cdot \varepsilon}{\rho}\right) \quad (2.111)$$

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 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.

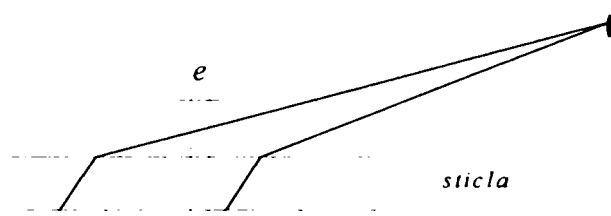


Figura 2.39 - Excentricitate datorată neperpendicularității razei vizuale

În timpul verticalizării mirei cu ajutorul nivelei sferice se poate induce o eroare de  $2 - 10''$ . Mirele Zeiss sunt înzestrate la talpa lor inferioară 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  $\pm 0,05mm$ .

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

## 2.9. 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 cercetate și în special a punctelor îndepărtate și greu accesibile ale construcțiilor înalte.

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

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

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

Măsurarea unghiurilor orizontale și verticale (zenitale) trebuie făcută cu teodolite cu precizie de citire unghiulară de  $\pm 1''$ ,  $\pm 0,5''$ . 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 refracția atmosferică se poate elimina aproape în întregime, prin modul de lucru, respectiv prin diferența măsurătorilor între două cicluri de observații.

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

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

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^n [S_i + (400^g - D_i)]}{2n} \quad (2.112)$$

Eroarea medie pătratică a unui unghi zenital măsurat este:

$$m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2.113)$$

Eroarea medie pătratică a unghiului zenital mediu va fi:

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = \pm \frac{m_{Z_i}}{\sqrt{n}} \quad (2.114)$$

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

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

### 2.9.1. DETERMINAREA RELAȚIILOR DE CALCUL

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.

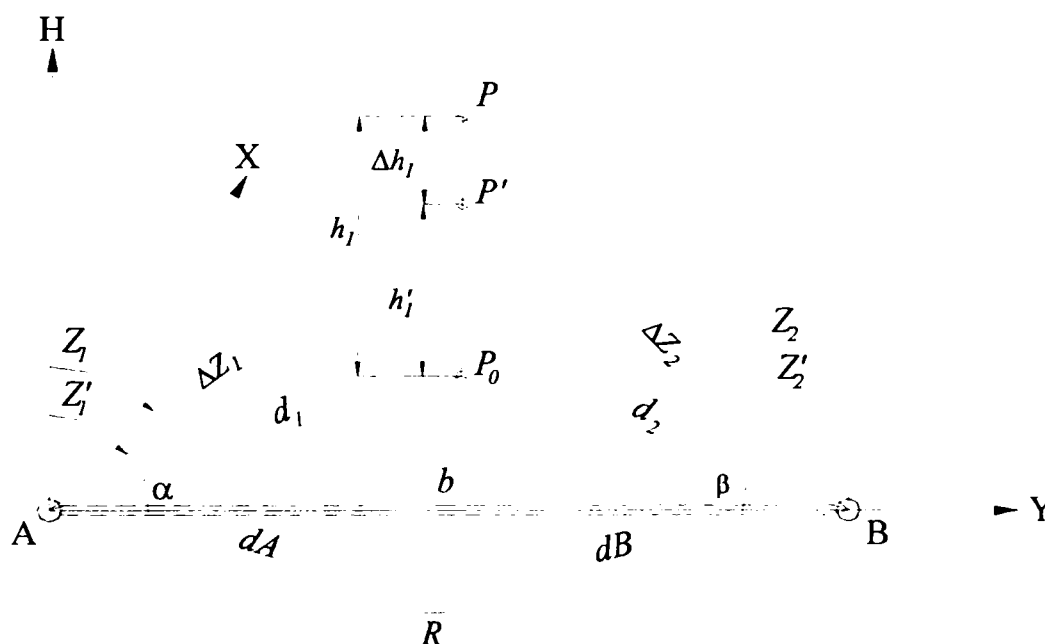


Figura 2.40 - Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

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

$$H_1 = H_A + h_1; \quad (2.115)$$

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:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \operatorname{ctg} Z_A \quad (2.116)$$

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:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \frac{(100^g - Z_A)^{cc}}{\rho^{cc}} \quad (2.117)$$

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

$$h_1 = d_1 \operatorname{ctg} Z_1 \quad (2.118)$$

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:

$$H_1' = H_A' + h_1'; \quad (2.119)$$

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

$$\Delta H_1 = H_1' - H_1 = (H_A' - H_A) + (h_1' - h_1) = \Delta H_A + \Delta h_1 \quad (2.120)$$

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

$$\Delta H_2 = H_2' - H_2 = (H_B' - H_B) + (h_2' - h_2) = \Delta H_B + \Delta h_2 \quad (2.121)$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= H_A' - H_A = d_A (\operatorname{ctg} Z_A - \operatorname{ctg} Z_A') \\ \Delta H_B &= H_B' - H_B = d_B (\operatorname{ctg} Z_B - \operatorname{ctg} Z_B') \end{aligned} \quad (2.122)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} \\ \Delta H_B &= \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} \end{aligned} \quad (2.123)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= \Delta H_A + \Delta h_1 = \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} - \frac{b \sin \beta}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_1} \Delta Z_1^{cc} \\ \Delta H_2 &= \Delta H_B + \Delta h_2 = \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} - \frac{b \sin \alpha}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_2} \Delta Z_2^{cc} \end{aligned} \quad (2.124)$$



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

$$\Delta H_1 = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} \quad (2.125)$$

sau media ponderată a celor două valori:

$$\Delta H_1 = \frac{p_1 \Delta H_1 + p_2 \Delta H_2}{p_1 + p_2} \quad (2.126)$$

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

$$p_1 = \frac{1}{m_{\Delta H_1}^2} \text{ și } p_2 = \frac{1}{m_{\Delta H_2}^2} \quad (2.127)$$

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

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

### 2.9.2. EVALUAREA PRECIZIEI DE DETERMINARE A DEPLASĂRILOR VERTICALE ALE CONSTRUCȚIILOR OBSERVATE

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

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

$$m_{\Delta H_A}^2 = \left[ \frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial d_A} \right]^2 \cdot m_{d_A}^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial Z_A} \right]^2 \left( \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial(\Delta Z_A)} \right]^2 \left( \frac{m_{\Delta Z_A}}{\rho} \right)^2 \quad (2.128)$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \left[ \frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial d_B} \right]^2 \cdot m_{d_B}^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial Z_B} \right]^2 \left( \frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial(\Delta Z_B)} \right]^2 \left( \frac{m_{\Delta Z_B}}{\rho} \right)^2 \quad (2.129)$$

Calculând derivatele parțiale și introducându-le în relațiile de mai sus, se obțin pentru erorile medii pătratice ale diferențelor orizontului instrumentului, formulele:

$$m_{\Delta H_A}^2 = \Delta H_A^2 \left( \frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + 4\Delta H_A^2 \operatorname{ctg}^2 Z_A \left( \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_A}{\Delta Z_A} \right)^2 m_{\Delta Z_A}^2 \quad (2.130)$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \Delta H_B^2 \left( \frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + 4\Delta H_B^2 \operatorname{ctg}^2 Z_B \left( \frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_B}{\Delta Z_B} \right)^2 m_{\Delta Z_B}^2 \quad (2.131)$$

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

$$m_{\Delta H_i}^2 = \left( \frac{\Delta H_A}{2} \right)^2 \left( \frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_B}{2} \right)^2 \left( \frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + (\Delta H_A \operatorname{ctg} Z_A)^2 \left( \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + (\Delta H_B \operatorname{ctg} Z_B)^2 \left( \frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \frac{\Delta H_A^2}{2\Delta Z_A} m_{\Delta Z_A}^2 + \frac{\Delta H_B^2}{2\Delta Z_B} m_{\Delta Z_B}^2 \quad (2.132)$$

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  $m_{d_A} \approx m_{d_B} \approx m_d$ ,  $m_{Z_A} \approx m_{Z_B} \approx m_{Z_i}$ ,  $m_{\Delta Z_A} \approx m_{\Delta Z_B} \approx m_{\Delta Z_i}$ , va rezulta pentru eroarea medie pătratică a valorii medii a deplasării verticale, în funcție de erorile medii pătratice ale diferențelor dintre orizonturile instrumentului din cele două cicluri de observații relația:

$$m_{\Delta H_i} = \left[ \left( \Delta H \frac{m_d}{d} \right)^2 + \left( \sqrt{2} \Delta H \operatorname{ctg} Z_A \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H}{\sqrt{2} \Delta Z_A} m_{\Delta Z_A} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.133)$$

Erorile medii pătratice ale deplasărilor verticale, mai precis ale diferențelor de nivel determinate din cele două puncte de stație, se exprimă cu relațiile (2.134):

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

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

Se calculează mărimile derivatelor parțiale și se introduc în relațiile de mai sus, obținându-se următoarele relații:

$$m_{\Delta h_1}^2 = \Delta h_1^2 \left( \frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_1^2 \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \left( \frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \Delta h_1^2 [\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + 4\Delta h_1^2 \operatorname{ctg}^2 Z_1 \left( \frac{m_{Z_1}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h_1}{\Delta Z_1} \right)^2 m_{\Delta Z_1}^2 \quad (2.135)$$

$$m_{\Delta h_2}^2 = \Delta h_2^2 \left( \frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_2^2 [\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left( \frac{m_a}{\rho} \right)^2 + \Delta h_2^2 \operatorname{ctg}^2(\alpha + \beta) \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + 4\Delta h_2^2 \operatorname{ctg}^2 Z_2 \left( \frac{m_{Z_2}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h_2}{\Delta Z_2} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_2}^2, \quad (2.136)$$

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

## 2.10. METODA NIVELMENTULUI HIDROSTATIC

În anumite situații, măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor studiate se poate efectua prin metoda nivelmentului hidrostatic. Metoda se aplică cu rezultate foarte bune în condiții speciale, în condiții grele de lucru (locuri greu accesibile în interiorul clădirilor, la înălțimi mari) unde metoda nivelmentului geometric de precizie înaltă este dificil sau uneori imposibil de aplicat.

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

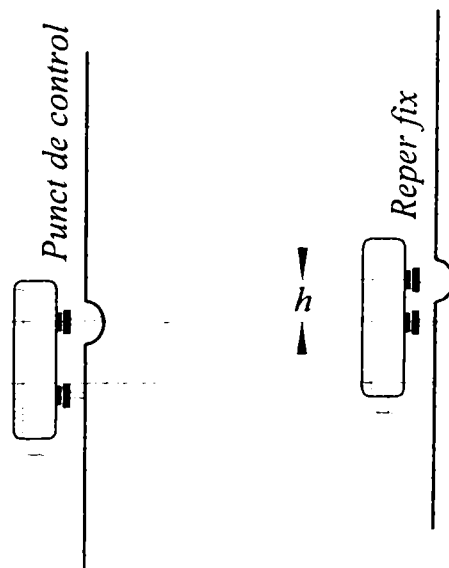


Figura 2.41 Principiul nivelmentului hidrostatic

Față de metoda nivelmentului geometric, metoda nivelmentului hidrostatic prezintă numeroase avantaje, principalele dintre acestea fiind precizia de realizare a lucrărilor și măsurarea nivelitică în același timp a mai multor puncte. Determinarea diferenței de nivel prin nivelment hidrostatic, permite eliminarea unui întreg șir de erori ale aparatului, proprii nivelmentului geometric. La acestea trebuie adăugat faptul că, realizarea nivelmentului geometric de precizie înaltă, pentru cazul studierii unor construcții aflate în execuție sau exploatare, întâmpină foarte multe greutăți. De multe ori nu există posibilitatea instalării aparatului fără dispozitive speciale, nu se poate realiza ținerea mirei în punctele de control de pe construcția observată, nu se poate opri procesul de producție pentru efectuarea măsurătorilor. Toate aceste inconveniente se elimină prin folosirea nivelmentului hidrostatic care se execută mult mai rapid decât nivelmentul geometric de precizie. Aparatura folosită este de construcție simplă, este ieftină și se poate păstra și depozita foarte ușor.

Metoda nivelmentului hidrostatic este fundamentată de principiul vaselor comunicante. În punctele de control, de pe construcția studiată, sunt fixate tuburi gradate, care sunt unite între ele printr-un furtun. Diferența citirilor pe tuburile gradate, corespunzător nivelului apei din tuburi, prezintă diferența de nivel dintre cele două puncte. În sistemul hidrostatic se mai include și un rezervor suplimentar care joacă rol de compensator.

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

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:

$$h = (d_2 - c_2) - (d_1 - c_1) = (d_2 - d_1) - (c_2 - c_1) \quad (2.137)$$

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:

$$h = (d_2 - d_2') - (c_1' - c_2') \quad (2.138)$$

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.

$$K = 0,5[(c_2 - c_1) + (c'_2 - c'_1)] \quad (2.139)$$

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

$$h = 0,5[(c_1 - c_2) + (c'_2 - c'_1)] \quad (2.140)$$

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

$$\Delta H_y = h_{xy}^{r(a)} - h_{xy}^0 \quad (2.140)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dezavantajul sistemelor hidrostatice deschise este legat de evaporarea lichidului. Acestea nu permit folosirea unor lichide ușor volatile, ca de exemplu antigel, care este util a se folosi în

condiții cu temperaturi negative. Pentru asigurarea unei funcționări îndelungate și precizii, părțile componente ale sistemului hidrostatic trebuie să întrunească anumite condiții, acestea rezultând ca urmare a unor perfecționări continue.

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

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

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

## 2.11. METODE GEODEZICE DE DETERMINARE A ÎNCLINĂRII CONSTRUCȚIILOR ÎNALTE

În cazul construcțiilor înalte de tip turn, pile la poduri și viaducte, tasările diferențiate ale fundațiilor, influența încălzirii neuniforme a construcției de către soare, acțiunea vântului, produc înclinări în diferite direcții și cu diferite amplitudini. Din această cauză, în timpul execuției construcției și după darea ei în exploatare, se execută observații asupra verticalității axei geometrice a construcției.

Determinarea înclinării construcțiilor înalte (blocuri turn, turnuri radio și televiziune, coșuri de fum, turnuri de răcire, pile la poduri) este necesară pentru studierea caracterului deformațiilor, explicarea cauzelor care le produc, precum și la căutarea măsurilor ce trebuie luate în vederea asigurării stabilității construcției și a exploatării în condiții de deplină siguranță.

Metodele topo-geodezice au o utilizare largă la determinarea înclinării construcțiilor înalte, deoarece asigură o precizie ridicată. Principalele metode topo-geodezice folosite în acest scop se pot grupa astfel:

- metoda proiectării verticale;
- metoda măsurării unghiurilor orizontale în două sau mai multe puncte de bază;
- 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;

În cadrul acestor metode, se presupune vizarea punctelor de control (mărci de tasare) montate pe construcție și care se înclină împreună cu construcția.

Felul de marcare a punctelor de control, de pe construcția studiată, cât și a punctelor și reperilor fixe, în raport cu care se efectuează urmărirea verticalității axei geometrice a construcției, se face în același mod ca în cazul măsurării deplasărilor și deformațiilor orizontale și verticale.

La amplitudini mai mari de 30 mm, vizarea punctului de control trebuie făcută cu firul reticular simplu la limita din stânga (sau dreapta) a semnalului de control, aflat la depărtare maximă, la stânga și la dreapta față de poziția medie.

Eroarea de determinare a poziției medii a punctului de control crește odată cu creșterea înălțimii de așezare a punctului pe construcție; pentru amplitudini de până la 150 mm, eroarea nu depășește  $e = \pm 5''$ .

### 2.11.1. DETERMINAREA ÎNCLINĂRII CONSTRUCȚIILOR RECTANGULARE ÎNALTE PRIN MĂSURAREA UNGHIURILOR ORIZONTALE

Capetele bazei amplasate în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției observate, sunt puncte de stație, din care se efectuează ciclic măsurări unghiulare asupra punctelor de control, fixate pe construcție.

În faza de teren se aleg două puncte de stație,  $A$  și  $B$  ce definesc o bază de lungime fixă. Punctele se vor lua la distanța de 20...100 m de construcție, în funcție de condițiile concrete ale terenului și de înălțimea construcției studiate. pe construcție se fixează, aproximativ pe verticală, punctele de control (mărcile de vizare)  $P$  și  $Q$ , la baza și respectiv la partea superioară.

Când este necesară cunoașterea înclinării la diferite înălțimi, pe aceeași verticală se fixează și mărci de control 1,2 și 3.

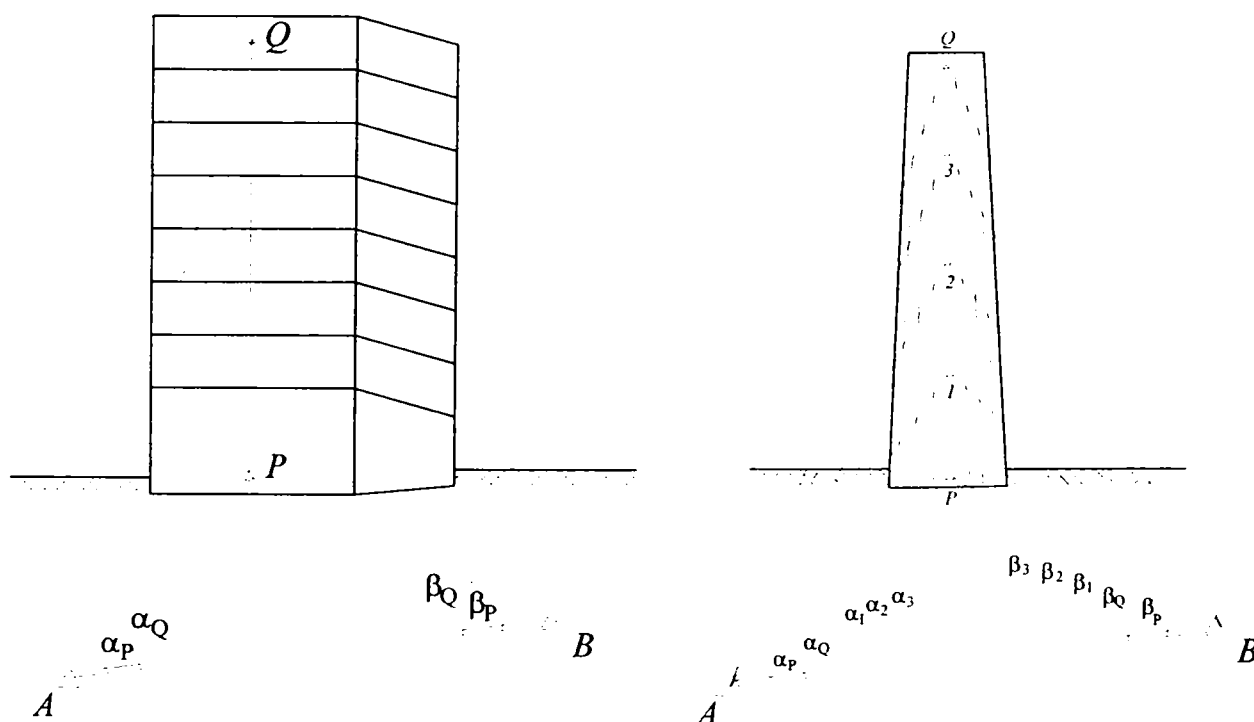


Figura 2.42 - Determinarea înclinării construcției prin măsurarea unghiurilor orizontale

Se alege sistemul rectangular de axe astfel ca punctul de stație  $A$  să fie originea sistemului, iar axa  $Y$  să corespundă cu baza fixă  $AB$ . Pentru determinarea poziției punctelor de control  $P$  și  $Q$ , se măsoară lungimea  $AB=b$  și unghiurile orizontale  $\alpha$ ,  $\alpha_1$  și  $\beta$ ,  $\beta_1$  dintre baza fixă și direcțiile către punctele de control. Se notează cu  $\Delta\alpha$  și  $\Delta\beta$  unghiurile dintre direcțiile către punctele  $P$  și  $Q$  din cele două puncte de stație.

Chiar în cazul construcțiilor de formă paralelipipedică, punctele  $P$  și  $Q$  nu se vor situa riguros pe aceeași verticală și de altfel acest lucru nu este nici necesar. În ciclul inițial de observații se face



determinarea poziției mărcilor de control  $P$  și  $Q$ , eventual și a celorlalte, în sistemul rectangular de axe, cu ajutorul coordonatelor bipolare. Componentele pe cele două axe ale vectorului  $PQ=L$ , reprezentând distanța orizontală dintre verticalele celor două puncte de control, vor fi exprimate de relațiile:

$$\begin{aligned}\Delta X &= X_Q - X_P = K_2 \Delta \alpha^{cc} + L_2 \Delta \beta^{cc} \\ \Delta Y &= Y_Q - Y_P = -K_1 \Delta \alpha^{cc} + L_1 \Delta \beta^{cc}\end{aligned}\quad (2.141)$$

în care s-au făcut notațiile:

$$\begin{aligned}G &= b / \rho^{cc} \sin^2(\alpha + \beta) \\ K_1 &= G \sin \beta \cos \beta, \quad L_1 = G \sin \alpha \cos \alpha ; \\ K_2 &= G \sin^2 \beta, \quad L_2 = G \sin^2 \alpha \\ \Delta \alpha^{cc} &= \alpha_1 - \alpha, \quad \Delta \beta^{cc} = \beta_1 - \beta\end{aligned}\quad (2.142)$$

Mărimile  $K_1, K_2, L_1, L_2$  sunt calculate cu elemente în ciclul inițial și sunt considerate constante pentru toate ciclurile de observații ulterioare.

Mărimea vectorului  $L$  reprezentând distanța orizontală dintre verticalele punctelor de control  $P$  și  $Q$ , precum și orientarea lui sunt exprimate de formulele:

$$L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \quad \theta_L = \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}\quad (2.143)$$

După o perioadă de timp datorită unor cauze diferite, se produce o înclinare a construcției astfel încât punctul de control  $Q$  va ocupa poziția  $Q'$ . Din această cauză, în ciclul actual de observații unghiurile orizontale dintre direcțiile către punctele de control  $P$  și  $Q$  se vor modifica față de cele inițiale rezultând:

$$\begin{aligned}\Delta \alpha^{cc} &= \alpha_2 - \alpha, \\ \Delta \beta^{cc} &= \beta_2 - \beta\end{aligned}\quad (2.144)$$

Componentele pe cele două axe ale vectorului  $Q_0Q_0'=l$ , reprezentând mărimea înclinării construcției, produsă între cele două cicluri de observații, vor fi exprimate în funcție de diferențele unghiulare ale căror valori sunt suficient de mici, de formulele:

$$\begin{aligned}\delta x_1 &= X_{Q'} - X_Q = K_2 \delta \alpha_1^{cc} + L_2 \delta \beta_1^{cc} \\ \delta y_1 &= Y_{Q'} - Y_Q = -K_1 \delta \alpha_1^{cc} + L_1 \delta \beta_1^{cc}\end{aligned}\quad (2.145)$$

În relațiile de mai sus, mărimile  $K_1, K_2, L_1, L_2$  sunt date de relațiile (2.142), iar diferențele unghiulare sunt:

$$\begin{aligned}\delta \alpha_1^{cc} &= \Delta \alpha_1^{cc} - \Delta \alpha^{cc} = \alpha_2 - \alpha_1 \\ \delta \beta_1^{cc} &= \Delta \beta_1^{cc} - \Delta \beta^{cc} = \beta_2 - \beta_1\end{aligned}\quad (2.146)$$

În același mod se procedează pentru determinarea înclinării construcției în toate ciclurile de observații. Începând cu al treilea ciclu de observații, se pot calcula nu numai componentele

vectorilor înclinărilor parțiale, produse între două cicluri de observații, în care diferențele unghiurilor horizontale sunt exprimate de formulele:

$$\begin{aligned} \delta\alpha_i &= \Delta\alpha_i - \Delta\alpha_{i-1} = \alpha_{i+1} - \alpha_i \\ \delta\beta_i &= \Delta\beta_i - \Delta\beta_{i-1} = \beta_{i+1} - \beta_i \end{aligned} \quad (2.147)$$

În aceste relații  $i=1,2,\dots,n$  și componentele vectorului rezultat al înclinării produse între ciclurile de observații respective și ciclul al doilea, se determină cu relațiile:

$$\begin{aligned} \delta\alpha_i &= \Delta\alpha_i - \Delta\alpha = \alpha_{i+1} - \alpha \\ \delta\beta_i &= \Delta\beta_i - \Delta\beta = \beta_{i+1} - \beta \end{aligned} \quad (2.148)$$

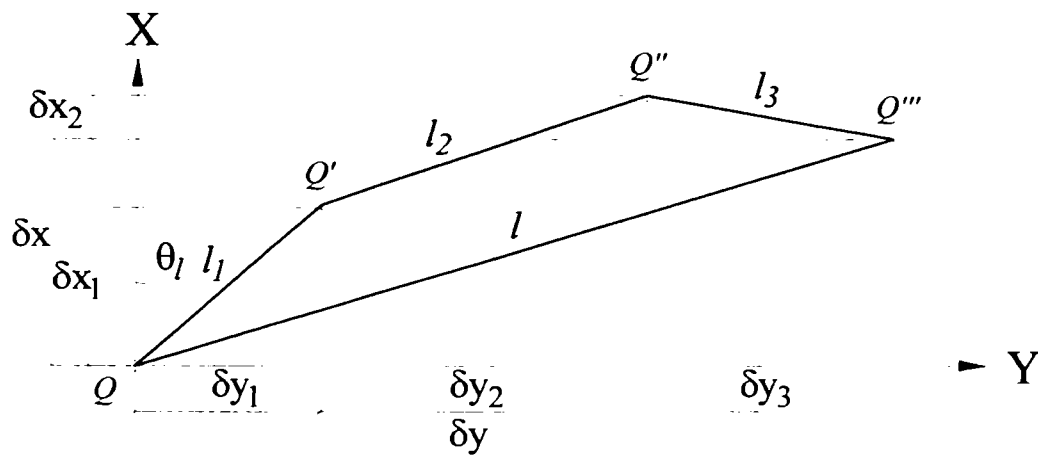


Figura 2.43 Determinarea mărimii și orientării vectorului înclinării punctului Q

Metoda oferă posibilitatea determinării ciclice a înclinării construcțiilor înalte, pe baza unui calcul matematic precis și rapid, funcție directă de diferențele unghiulare  $\delta\alpha_i^{cc}$  și  $\delta\beta_i^{cc}$ , rezultate din măsurarea pe teren a unghiurilor horizontale.

Lungimea bazei fixe  $b$  se va determina prin măsurare directă sau indirectă cu o precizie de 1:1000...1:5000. Deoarece influența fundamentală asupra preciziei rezultatelor o are precizia de măsurare a unghiurilor horizontale, se recomandă utilizarea unui instrument cu precizie ridicată de măsurare a unghiurilor, făcându-se două serii complete.

### 2.11.2. DETERMINAREA ÎNCLINĂRII CONSTRUCȚIILOR CIRCULARE ÎNALTE PRIN MĂSURAREA UNGHIURILOR ORIZONTALE

Construcțiile circulare înalte de tipul turnurilor, coșurilor de fum, a castelelor de apă, rezervoarelor petroliere sau de materiale chimice, turnurilor de răcire industrială prin acțiunea greutatei proprii, a naturii terenului de fundare, a condițiilor atmosferice prezintă în timp înclinații de la axa verticală.

Pentru determinarea înclinării unui astfel de obiectiv, utilizarea tahimetrelor electronice oferă posibilitatea determinărilor riguroase a acestor înclinări de la forma inițială prin utilizarea programelor speciale de calcul încorporate în memoria instrumentului. Pentru urmărirea unei astfel de construcții se stabilesc două puncte de staționare, punctele fiind astfel alese încât direcțiile de vizare către axa verticală a construcției să formeze un unghi de  $100^\circ$ .

Poziționarea punctelor de stație se va face la distanță egală cu cel puțin 1,5 înălțimea obiectivului astfel încât să se evite pe cât posibil înclinarea accentuată a lunetei tahimetrului electronic către partea superioară a construcției.

Din cele două stații se vor realiza succesiv măsurători de direcții orizontale (utilizând metoda seriilor) pentru determinarea unghiurilor orizontale ( $\omega_i$ ), vizându-se construcția la partea inferioară cât și la partea sa superioară.

Din fiecare punct de stație se vor măsura distanțele către construcție, cu specificația că amplasarea prisme tahimetrului electronic se va face la partea exterioară a obiectivului,

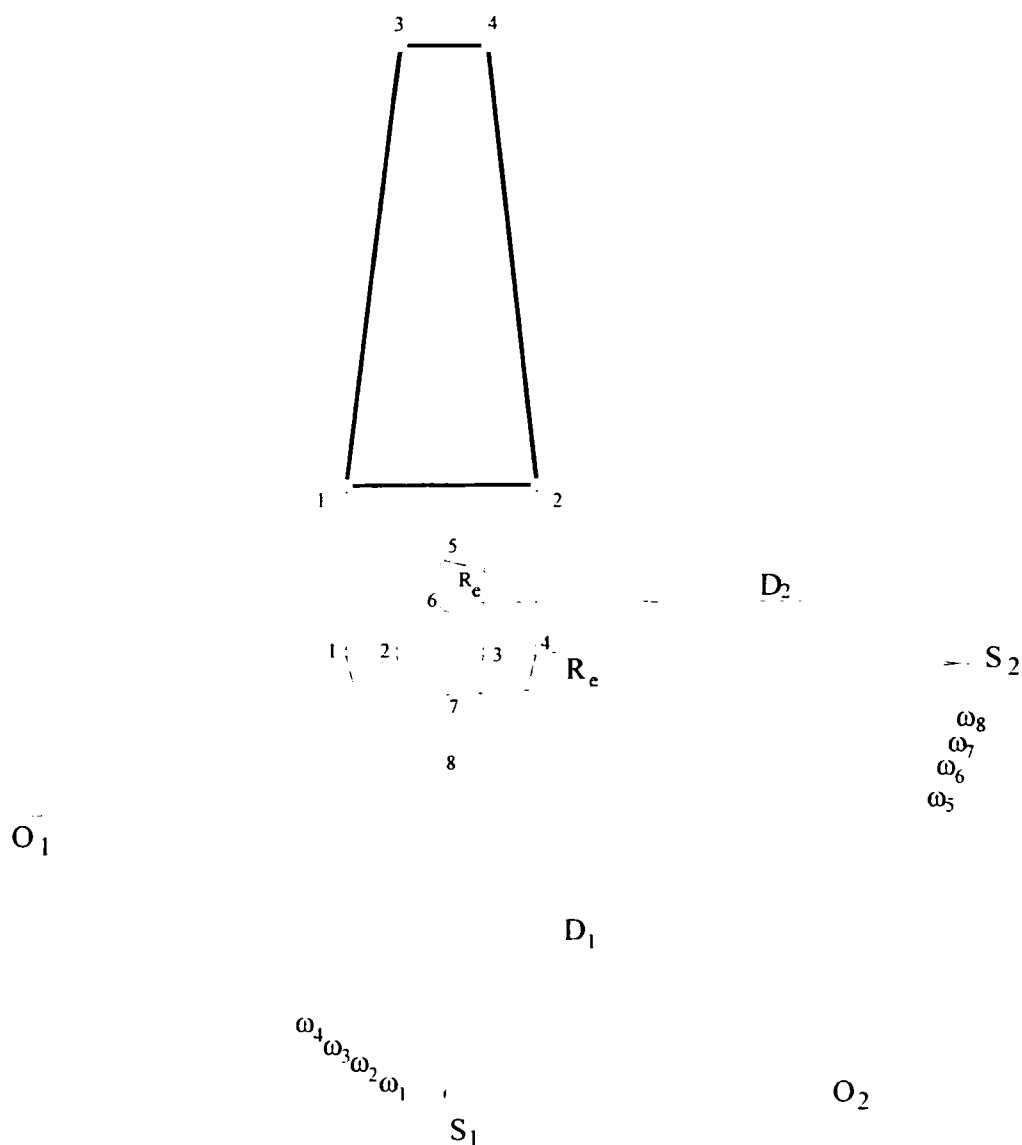


Figura 2.44 - Determinarea înclinării construcțiilor circulare

cunoașterea distanței reală la centrul construcției obținându-se prin adăugarea razei interioare sau exterioare a construcției.

Sucesiunea operațiunilor de măsurare a unghiurilor horizontale din cele două puncte de stație și calculul ulterior al înclinării construcției se realizează după următorul algoritm.

Din stația  $S_1$  se execută măsurători de direcții horizontale (utilizând metoda seriilor) pentru determinarea unghiurilor horizontale  $\omega_1$  și  $\omega_2$  (vize tangente la partea inferioară a construcției în punctele 1 și 2) și unghiurile  $\omega_3$  și  $\omega_4$  (vize tangente la partea superioară a construcției în punctele 3 și 4), față de direcția de referință  $S_1 - O_1$ , dintre punctul de stație și punctul de observație.

Se staționează apoi în punctul de stație  $S_2$  și se obțin unghiurile horizontale  $\omega_5$ ,  $\omega_6$ ,  $\omega_7$ , și  $\omega_8$ , vizând punctele 5,6,7 și 8 la partea inferioară și superioară a construcției, față de direcția de referință  $S_2 - O_2$ .

Determinarea înclinării se face prin calcularea individuală în stația  $S_1$ , respectiv  $S_2$  a următoarelor elemente:

➤ *Stația  $S_1$*

Calcularea unghiurilor horizontale între direcția de referință  $S_1 - O_1$  și axa coșului la bază, respectiv la partea superioară.

$$\begin{aligned}\omega_{jos} &= \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \\ \omega_{sus} &= \frac{\omega_3 + \omega_4}{2}\end{aligned}\tag{2.149}$$

Calculul abaterii unghiulare dintre citirile sus și jos:

$$\Delta' \omega = \omega_{sus} - \omega_{jos}\tag{2.150}$$

Transformarea abaterii unghiulare într-o mărime liniară se face cu ajutorul coeficientului de transformare ( $\rho^{cc} = 636650$ ) și a distanței de la punctele de stație la axa construcției circulare:

$$q_1 = \frac{\Delta' \omega}{\rho} \cdot (D_1 + R_c)\tag{2.151}$$

➤ *Stația  $S_2$*

Calcularea unghiurilor horizontale între direcția de referință  $S_2 - O_2$  și axa coșului la bază, respectiv la partea superioară.

$$\begin{aligned}\omega_{jos} &= \frac{\omega_5 + \omega_6}{2} \\ \omega_{sus} &= \frac{\omega_7 + \omega_8}{2}\end{aligned}\tag{2.152}$$

Calculul abaterii unghiulare dintre citirile sus și jos:

$$\Delta'' \omega = \omega_{sus} - \omega_{jos}\tag{2.153}$$

Transformarea abaterii unghiulare într-o mărime liniară se face cu ajutorul coeficientului de transformare ( $\rho^c = 636650$ ) și a distanței de la punctele de stație la axa construcției circulare:

$$q_2 = \frac{\Delta''}{\rho} \cdot (D_2 + R_c) \quad (2.154)$$

Mărimea și sensul înclinării pe direcția compusă se obține prin compunerea celor doi vectori ai deplasării calculați pentru observațiile realizate din cele două stații:

$$Q = \sqrt{q_1^2 + q_2^2} \quad (2.155)$$

### 2.11.3. METODĂ DE DETERMINARE A ÎNCLINĂRII CONSTRUCȚIILOR ÎNALTE PRIN NIVELMENT GEOMETRIC DE PRECIZIE

În cazul determinării înclinării construcțiilor cu formă cilindrică (genul coșurilor industriale) utilizând metoda nivelmentului geometric de precizie, pentru stabilirea relațiilor de calcul, se consideră un sistem rectangular de axe, a cărei origine coincide cu centrul construcției, iar axele absciselor și ordonatelor coincid cu axele longitudinală și transversală.

Mărcile de tasare se fixează pe construcție, după axele de coordonate într-un singur plan orizontal. Numerotarea lor se începe de la poziția de capăt a axei absciselor, în sens direct acelor de ceasornic. Secțiunea construcției după suprafața de lucru a punctelor se numește secțiune de control. Pentru unul din cazurile generale de înclinare a construcției, poziția pe înălțime a punctelor se găsesc în legătura  $H_{III} < H_{II} < H_{IV} < H_I$ .

Se consideră un punct  $M$ , în poziția cea mai înaltă și  $N$ , punct în poziția cea mai de jos a secțiunii de control. Diferența de nivel dintre aceste două puncte va reprezenta înclinarea maximă a secțiunii de control, iar direcția  $MN$  va constitui direcția înclinării maxime a întregii construcții.

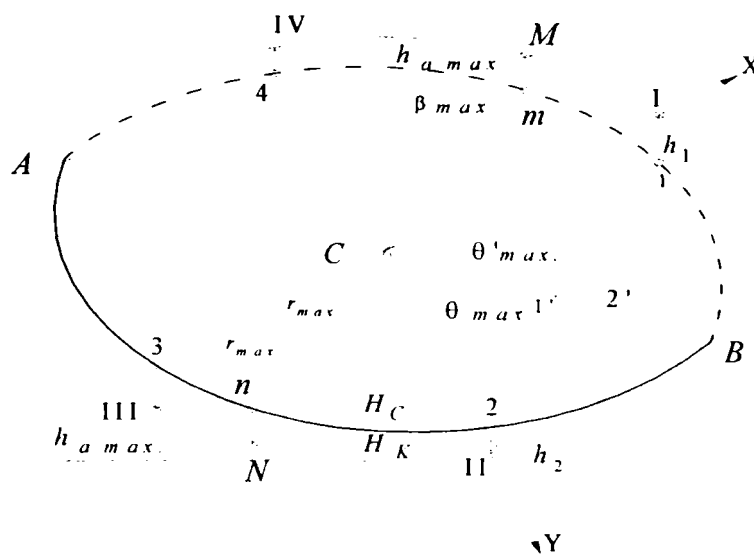


Figura 2.45 – Reprezentarea înclinării pe direcțiile principale

Pe baza notațiilor din figură se pot scrie următoarele relații:

$$\frac{h_1}{h_{a \max}} = \frac{I1'}{MC}, \frac{h_2}{h_{a \max}} = \frac{I2'}{NC} \quad (2.156)$$

Conform relației de mai sus se pot scrie următoarele relații:

$$\frac{h_1}{h_{a \max}} = \cos r'_{\max}, \frac{h_2}{h_{a \max}} = \sin r'_{\max} \quad (2.157)$$

în care:

$$h_1 = H_C - H_I$$

$$h_2 = H_C - H_{II}$$

$h_{a \max}$  - diferența de nivel dintre punctele  $M$  și  $N$  ale secțiunii de control în raport cu planul proiecției  $H_C$ ;

$r'_{\max}$  - unghiul direcției înclinării maxime a construcției în planul secțiunii de control;

Conform expresiilor de mai sus se observă că diferențele de nivel  $h_1$  și  $h_2$  corespund creșterilor de coordonatele rectangulare ale liniei, a cărei lungime și unghi sunt egale cu  $h_{a \max}$  și  $r'_{\max}$ .

Determinarea acestor elemente trebuie să ducă la rezolvarea problemei geodezice inverse. Prin raportul relațiilor de mai sus se obține valoarea expresiei  $h_{a \max}$ :

$$h_{a \max} = \sqrt{h_1^2 + h_2^2} \quad (2.158)$$

Pentru stabilirea schimbărilor mici ale direcției înclinării construcției, trebuie determinată proiecția orizontală  $\theta_{\max}$ , a unghiului de direcție  $\theta'_{\max}$ , după rezultatele observațiilor în diferite cicluri. Pe baza figurii prezentate se pot scrie relațiile:

$$\operatorname{tgr}_{\max} = \frac{C - I'}{I - I'} \quad (2.159)$$

în care:  $C - I' = a \sin r'_{\max}$ ;  $I - I' = \sqrt{a^2 - h_{a \max}^2}$

$a$  - raza exterioară a secțiunii de control.

Ținând cont de raportul dintre  $h_2$  și  $h_1$  se poate exprima valoarea  $r_{\max}$ :

$$\operatorname{tgr}_{\max} = \frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{a}{\sqrt{a^2 - h_{a \max}^2}} \quad (2.160)$$

în care:  $\beta_{\max}$  - mărimea unghiulară a înclinării maxime a construcției și este dată de relația:

$$\beta_{\max} = \arcsin \frac{h_{a \max}}{a} \quad (2.161)$$

Mărimea liniară totală a înclinării secțiunii de control, reprezentată de diferența de nivel dintre punctele de control  $M$  și  $N$ , va fi:

$$h_{d \max} = 2\sqrt{h_1^2 + h_2^2} \quad (2.162)$$

Mărimea liniară a înclinării maxime a construcției se calculează cu formula:

$$L_{\max} = \frac{H}{d} h_{d \max} \quad (2.163)$$

în care:  $H$  – înălțimea construcției deasupra secțiunii de control;

$d$  – diametrul exterior al secțiunii de control.

Evaluarea preciziei privind determinarea înclinării construcțiilor înalte prin nivelment geometric are în vedere calculul unor indici de evaluare. Se diferențează relația înclinării maxime a construcției și se trece la erorile mediei pătratice, obținându-se:

$$m_{L \max}^2 = \frac{H^2}{d^2} m_{h_{d \max}}^2 \quad (2.164)$$

În același mod se procedează și cu expresia lui  $h_{d \max}$  și se obține:

$$m_{h_{d \max}}^2 = \frac{2h_1^2}{h_1^2 + h_2^2} m_{h_1}^2 + \frac{2h_2^2}{h_1^2 + h_2^2} m_{h_2}^2 \quad (2.165)$$

Pentru determinarea înclinării construcției este suficientă cunoașterea pozițiilor relative pe înălțime a punctelor de control. Luându-se ca suprafață de lucru suprafața punctului  $I$ , ca bază pentru calculul cotelor tuturor punctelor de control și notându-se eroarea medie pătratică a diferenței de nivel pentru o singură stație cu  $m_h$ , se obține:

$$m_{H_I}^2 = 0, m_{H_{II}}^2 = m_h^2, m_{H_{III}}^2 = 2m_h^2, m_{H_{IV}}^2 = 3m_h^2 \quad (2.166)$$

Eroarea medie pătratică a înclinării construcției va fi exprimată de relația:

$$m_{L \max} = \frac{\sqrt{2}H}{d} m_h \quad (2.167)$$

Trebuie menționat faptul, ca la încastrarea mărcilor de tasare pe construcție cu toate măsurile de precauție care se iau, suprafața lor de lucru nu se va găsi riguros pe același plan orizontal. De aceea, el trebuie redus prin calcul la planul orizontal, care trece prin suprafața de lucru a punctului  $I$ . În continuare, după fiecare ciclu de observații, trebuie introduse corecții în cotele convenționale ale punctelor de control  $II$ ,  $III$  și  $IV$ .

#### 2.11.4. DETERMINAREA ÎNCLINĂRILOR CONSTRUCȚIILOR ÎNALTE PRIN MĂSURAREA TASĂRII FUNDAȚIEI

Înclinarea construcțiilor înalte se poate determina și prin procedeul determinării tasării fundației prin metoda nivelmentului geometric, care se efectuează pe mărci de tasare, plantate pe fundația construcției pe direcții diametral opuse. Alegând un reper de nivelment  $RN$  în afara zonei de influență construcției și efectuând măsurători nivelitice asupra mărcilor de tasare la diferite perioade de timp se vor determina tasările fundației construcției respective.

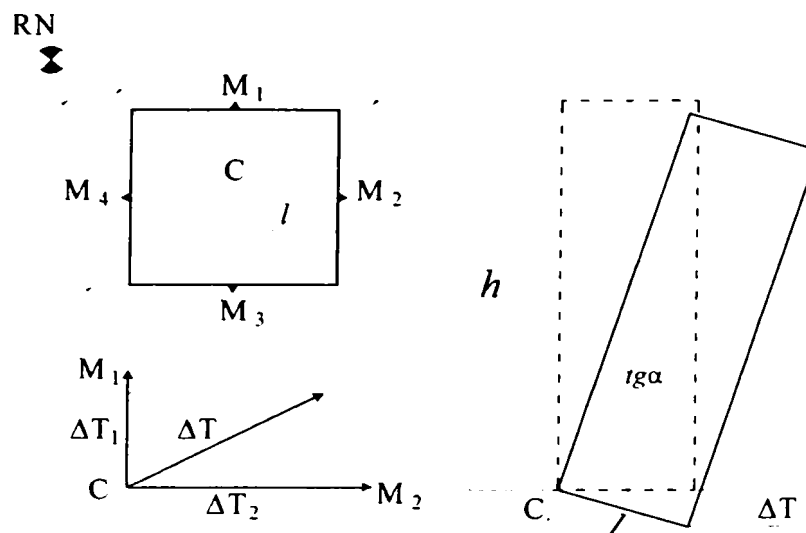


Figura 2.46 – Măsurarea tasărilor fundației prin nivelment geometric

Făcându-se media tasărilor celor 4 mărci, rezultă tasarea centrului construcției C. Dacă tasările mărcilor  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  și  $M_4$  sunt uniforme, nu se poate vorbi de o înclinare a construcției. Dacă tasările sunt neuniforme ca mărime se poate determina înclinarea fundației, funcție de tasările centrului și a două mărci dispuse pe direcții perpendiculare.

Mărimea înclinării fundației rezultă din următoarea relație:

$$\Delta T = \sqrt{\Delta T_1^2 + \Delta T_2^2} \quad (2.168)$$

în care:

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= T_C - T_{M_1} \\ \Delta T_2 &= T_C - T_{M_2} \end{aligned} \quad (2.169)$$

Mărimea înclinației tasărilor ( $q$ ) a construcției la înălțimea  $h$  se determină cu relația:

$$q = \frac{\Delta T}{l} \cdot h \quad (2.170)$$

în care:  $l$  – distanța orizontală între mărcile de tasare aflate pe direcția de înclinare a construcției;

$h$  – înălțimea construcției.

În funcție de mărimile  $\Delta T_1$  și  $\Delta T_2$  se poate obține și direcția înclinării, care se stabilește în funcție de laturile construcției observate:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \quad (2.171)$$

În cazul determinării înclinărilor în raport cu tasările fundațiilor construcțiilor, eroarea în determinarea tasărilor nu trebuie să depășească  $\pm 0,5 \dots 1,0$  mm, datorită faptului aceasta va influența în mod hotărâtor precizia de determinare a înclinărilor la partea superioară a construcției. Din acest motiv pentru construcții înalte de peste 50 m și cu suprafață mică a fundației, această metodă este recomandată a se utiliza doar pentru control.



## **2.12. INFLUENȚA FACTORILOR ATMOSFERICI ASUPRA STABILITĂȚII CONSTRUCȚIILOR ÎNALTE**

În cazul construcțiilor înalte (peste 40-50 m) se fac determinări prin amplasarea mărcilor de tasare-observație la diferite nivele intermediare pentru reprezentarea cât mai fidelă a comportării construcției respective. Repetând măsurătorile și calculele în mod analog la anumite intervale în timp stabilite și raportându-le la mărimile obținute din măsurătorile inițiale, se obține mărimea creșterilor înclinărilor, cu care se poate stabili și viteza acestor deformații.

La construcțiile suple și înalte, trebuie ținut cont însă că acestea sunt puternic influențate de condițiile atmosferice ca: iradierea neuniformă și cu intensitate diferită de către soare sau influența vântului, care pot influența în mod substanțial interpretările măsurătorilor geodezice.

### **2.12.1. INFLUENȚA RADIAȚILOR SOLARE ASUPRA CONSTRUCȚIILOR ÎNALTE**

Datorită încălzirii neuniforme a diferitelor părți ale unei construcții expuse spre soare, aceasta suferă o rotire în plan orizontal, în sens opus rotirii pământului în jurul axei sale. Mișcarea diurnă a construcției, urmărește un traseu eliptic, în funcție de latitudinea geografică și înălțimea construcției. Din punct de vedere teoretic traseul diurn se apropie de o dreaptă la ecuator și devine un cerc la poli.

Rotirile care se produc în plan orizontal se pot determina prin metode topo-geodezice, urmărindu-se mărcile amplasate pe construcție la diferite înălțimi și la diferite ore din zi. Cunoașterea răsucirilor în plan orizontal datorită influenței razelor solare asupra construcției, prezintă interes pentru interpretarea corectă a măsurătorilor, ele de regulă neconstituind un pericol privind stabilitatea și siguranța în exploatare, deși pot atinge pentru turnuri de beton armat la înălțimea de 200m valori până la 20-25 cm pe direcția est-vest și 10-15 cm pe direcția nord-sud.

Diagrama mișcării diurne a centrului unui turn cu o structură din beton armat și a unei mărci de observație de pe anvelopa acestuia, funcție de temperatură și ora locală se poate reprezenta conform figurilor următoare. Urmărind mai multe zile succesive rotirea în plan a construcției se ajunge la o formă de spirală, turnul nerevenind la poziția zilei precedente. Acest lucru se poate constata prin măsurători care se execută pe o durată de mai multe zile, toate însă la aceeași oră. Pe baza observațiilor efectuate se poate urmări mișcarea centrului turnului pe o durată de 30 zile, toate rezultatele putând fi cuprinse din punct de vedere grafic într-o elipsă.

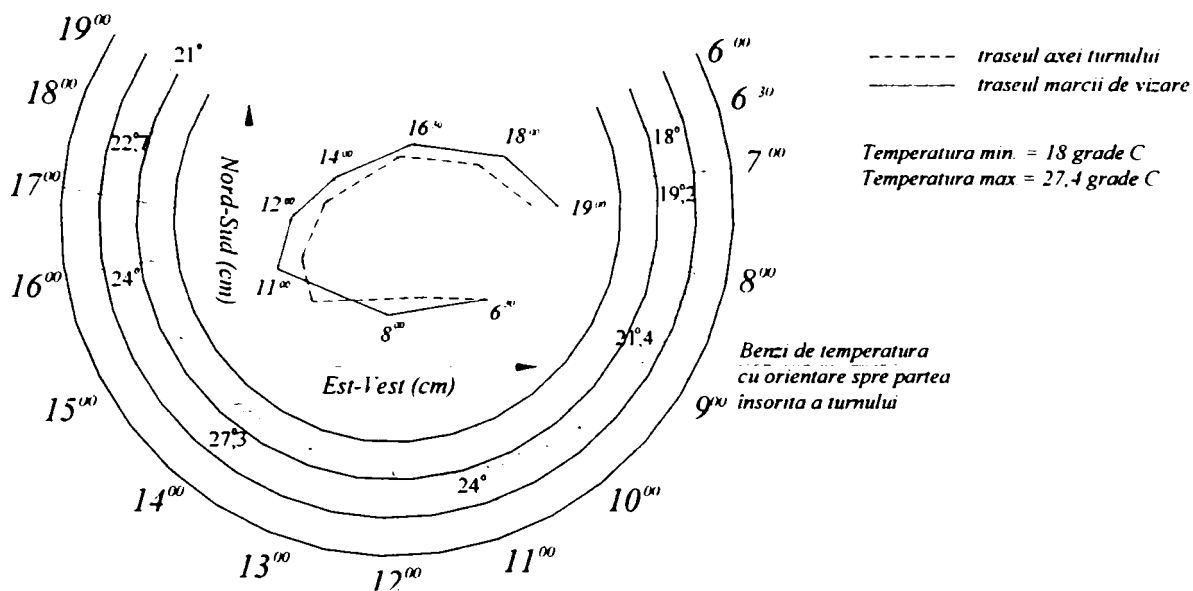


Figura 2.47 – Mișcarea diurnă a unui turn din beton armat

Această constatare ne arată în mod evident, că rezultatele măsurătorilor din diferite perioade, sunt comparabile doar în anumite limite, recomandându-se compararea măsurătorilor care au fost realizate în aceleași condiții sub aspect termic ca de exemplu: ciclurile de vară între ele și ciclurile de iarnă între ele.

De asemenea, trebuie luat în considerare faptul că această mișcare nu este uniformă pentru intervale mai mari de timp, ca putând fi considerată uniformă doar pentru intervale de 3 – 5 minute. Acest lucru este de interes pentru măsurătorile topo-geodezice, întrucât măsurătorile de durată (cu mai multe serii) nu îmbunătățesc cu nimic rezultatul, datorită vitezei de rotire a construcției de aproximativ 2-3 mm/5 minute la o însoțire puternică.

Pentru efectuarea observațiilor azimutale la construcțiile înalte, se recomandă intervalul orar 6-8 dimineața în perioada de vară, perioadă când mișcările zilei precedente s-au amortizat, iar cele ale zilei în curs încă nu s-au declanșat.

### 2.12.2. INFLUENȚA VÂNTURILOR ASUPRA CONSTRUCȚIILOR ÎNALTE

Vibrațiile și oscilațiile construcțiilor înalte sunt generate în special de factori naturali cum sunt vântul și seismele, care în anumite cazuri pot duce la deteriorarea acestora sau chiar distrugerea completă. Seismele au o perioadă de apariție destul de rară, ani sau chiar zeci de ani, și nu influențează practic măsurătorile topo-geodezice ciclice.

Influența vânturilor însă, reprezintă o problemă mult mai interesantă și cu efect direct asupra măsurătorilor geodezice.

În apropierea suprafeței terestre (până la altitudinea de 600-800 m), relevant pentru construcții, vântul apare ca un strat turbulent, a cărui rafale constituie practic solicitări ale acestora.

Pe baza analizei spectrelor energiei a vitezei vântului orizontal, s-au definit 2 domenii clare în care spectrele prezintă valori maxime.

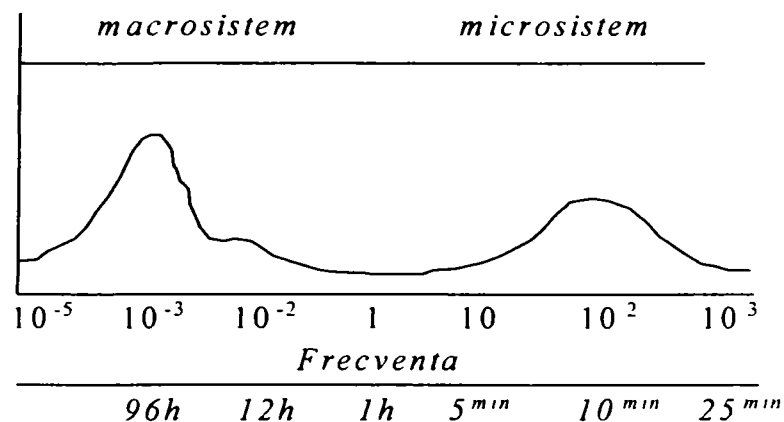


Figura 2.48 – Spectrul de energie al mișcării eoliene

Pentru studiul dinamicii construcțiilor sunt interesante doar frecvențele mai mari de  $10^{-3}$  Hz, iar frecvențele  $f > 1-1,5$  Hz nu sunt relevante pentru factorul de solicitare vânt.

Procedeele pentru măsurarea deformațiilor induse de vânt trebuie să cuprindă în special banda de frecvență  $0,003 < f < 1,5$  Hz. Acest domeniu de frecvență nu poate fi acoperit de metode de măsurare topo-geodezice clasice, acestea desfășurându-se pe perioade lungi de timp și nu pot surprinde cel mai bine influența vânturilor asupra construcțiilor.

La construcțiile înalte și suple rafalele de vânt pot duce la fenomenul de rezonanță, când frecvența proprie a construcției coincide cu frecvența de excitație, fenomen deosebit de perturbator. La construcții cu profil circular, mai apare suplimentar fenomenul de formare a unor curenți turbionari care generează oscilații laterale ale construcției față de direcția vântului, acest fenomen fiind numit *efectul Karman*.

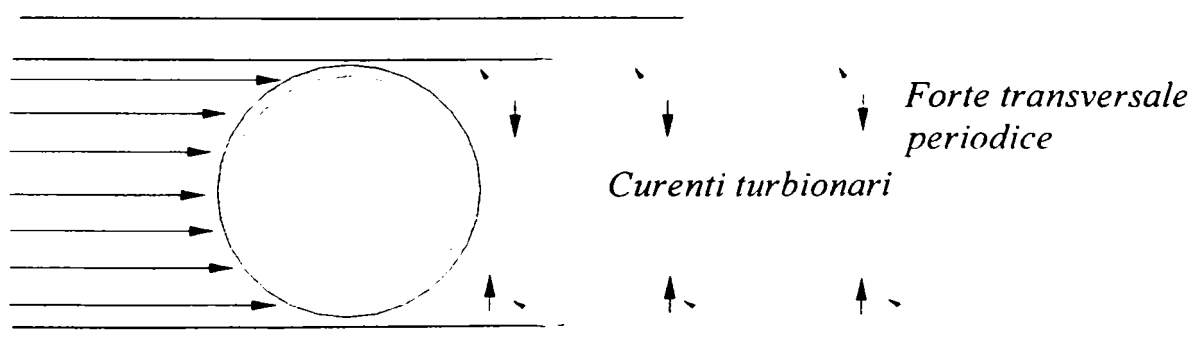


Figura 2.49 – Solicitățile produse de vânt la turnurile înalte – efectul Karman

Când viteza vântului este redusă, oscilațiile laterale ale construcției sunt puternice, raportul dintre aceste oscilații și oscilațiile pe direcția predominantă a vântului fiind aproximativ egală cu 5:1. Când viteza vântului crește, datorită autoreglării traseului Karman a curenților de aer, apare din nou o creștere însemnată a efectului de rezonanță pe direcția vântului, după ce vibrațiile laterale s-au stins. Aceste informații sunt foarte importante pentru specialistul în măsurători topo-geodezice, care poate să-și pregătească sesiunea de lucru și programul de realizare a observațiilor.

## CAPITOLUL 3

### COMPENSAREA ȘI PRELUCRAREA MĂSURĂTORILOR TOPO-GEODEZICE SPECIFICE URMĂRIII CONSTRUCȚIILOR

#### 3.1. ASPECTE GENERALE ÎN STUDIUL TEORIEI ERORILOR DE MĂSURARE

Instrumentul principal de cunoaștere a lumii materiale îl constituie observarea și în cadrul acesteia, măsurarea. Operația de măsurare reprezintă un proces experimental de obținere a informației sub forma unui raport numeric, între valoarea mărimii fizice măsurate și valoarea unei alte mărimi de același gen considerată drept unitate de măsură.

Scopul unei cercetări științifice constă în descoperirea legilor care dirijează fenomenele naturale, spre a fi puse în slujba activității umane. Pentru aceasta, este necesară îmbinarea cercetării științifice cu aplicația tehnică–practică, fără de care orice speculație abstractă devine sterilă. Pentru realizarea acestui deziderat, prima condiție în alegerea mărimilor fizice, înțelegând prin aceasta și mărimile care intervin în tehnică și în practică, este ca ele să fie măsurabile.

Pentru mărimi scalare, operația de măsurare se exprimă matematic prin formula:

$$Q = n \cdot q \quad (3.1)$$

în care :

$Q$  – mărimea fizică măsurată;

$q$  – unitatea de măsură;

$n$  - număr oarecare.

Este de remarcat faptul că membrul al doilea al ecuației denumită uneori și ecuația fundamentală a măsurării, este un produs de doi factori caracteristici distincți: unul cantitativ  $n$ , factor numeric, iar celalalt calitativ  $q$ , care definește natura mărimii rezultante  $Q$ .

Rezultatul măsurării  $Q$  se mai numește măsura sau valoarea mărimii considerate. Este evident că, rezultatul final al operației de măsurare presupune efectuarea măsurării propriu-zise, codificarea și prelucrarea informațiilor de măsurare.

Din punctul de vedere al subordonării metrologice, se deosebesc mijloace de măsurat etalon și de lucru. Etaloanele servesc la reproducerea și păstrarea unităților de măsură, precum și la

verificarea altor mijloace de măsurat. Mijloacele de măsurat de lucru servesc la executarea operațiilor de măsurare în procese tehnologice, în lucrări de laborator.

Se cunoaște faptul că dacă o mărime se măsoară de mai multe ori, de fiecare dată se obține o altă valoare chiar dacă măsurătorile se desfășoară în aceleași condiții, de către același operator și cu instrumente de mare precizie.

Cauza acestor neconcordanțe se datorează erorilor care afectează întotdeauna o măsurătoare, făcând ca valoarea adevărată a mărimii măsurate să nu poată fi cunoscută niciodată. Practic, neputând fi determinată valoarea adevărată a mărimii măsurate, se caută să se determine o valoare apropiată de aceasta într-un grad mai mare sau mai mic funcție de scopul pentru care se execută măsurătorile. Aproximarea mărimii determinate față de valoarea sa adevărată caracterizează precizia măsurătorii.

Ca urmare, prelucrarea măsurătorilor efectuate asupra unei mărimi urmărește obținerea celei mai bune valori a acesteia și a diferenței maxime între valoarea determinată și valoarea adevărată.

### 3.2. IMPORTANȚA TEORIEI ERORILOR DE MĂSURARE

Informațiile, care constituie baza concretă de date necesară rezolvării problemelor geodezice, fotogrammetrice și topografice, provin din observațiile efectuate asupra unor mărimi cu care se lucrează frecvent și care, în principal, sunt reprezentate de măsurătorile de unghiuri și distanțe. *Calitatea* informațiilor obținute din aceste măsurători este funcție directă de *volumul* observațiilor și de *precizia* instrumentelor de măsurat.

Se impune așadar, ca pornind de la scopul pentru care sunt efectuate măsurătorile să se stabilească valorile corespunzătoare ca mărime și precizie, luând în considerare aspectul economic referitor la volumul strict necesar și suficient al observațiilor care se impun. Teoria erorilor de măsurare sau teoria prelucrării măsurătorilor topo-geodezice intervine cu succes și rezolvă favorabil aceste aspecte.

Teoria erorilor de măsurare prezintă o importanță deosebită pentru practica măsurătorilor terestre, datorită volumului impresionant de observații ce trebuie executate, prelucrate și compensate în vederea obținerii valorilor lor celor mai probabile, ca și pentru evaluarea cât mai corectă și mai completă a preciziei.

Cunoscându-se cât mai exact mărimile erorilor medii ale fiecărui argument măsurabil în parte, se poate determina eroarea medie a unei funcții de aceste argumente. În acest fel, se poate rezolva problema inversă a erorilor de măsurare, în cadrul căreia, față de o eroare maximă impusă a priori

unei funcții ce urmează a se determina, se va stabili încă din faza de proiect, care trebuie să fie erorile maxime cu care se vor măsura pe teren argumentele componente.

Aceasta oferă posibilitatea stabilirii preciziei optime de măsurare, cu avantaje economice importante. Astfel, la realizarea unei rețele de triangulație, necesară măsurătorilor topografice, a unei rețele de microtriangulație, necesară pentru urmărirea comportării unei construcții, studiul preciziei de determinare a poziției punctelor rețelei se face încă din faza de proiectare, funcție de configurația rețelei și de precizia cu care se vor executa măsurătorile pe teren. Acest studiu va urmări ca erorile în poziția punctelor, să se încadreze în toleranțele impuse anticipat. La sfârșit, prin compararea erorilor post-compensate cu erorile stabilite anticipat, se va putea aprecia corectitudinea studiului realizat.

Studiul erorilor de măsurare prezintă o importanță cu totul deosebită în acele domenii ale măsurătorilor terestre (geodezie, fotogrammetrie, și topografie aplicată în construcții), în care exigențele impuse în privința preciziei sunt deosebit de ridicate.

Se subliniază faptul că de fiecare dată în practica măsurătorilor terestre trebuie avută în vedere precizia optimă necesară. Aceasta deoarece o precizie exagerată produce cheltuieli inutile de forță de muncă, de mijloace materiale și de timp, iar o precizie insuficientă duce la o calitate slabă a rezultatelor obținute din măsurători.

Introducerea automatizării în prelucrarea observațiilor constituie un salt calitativ important, cu consecințe remarcabile și în domeniul măsurătorilor terestre, ca și în studiul erorilor de măsurare. Teoria matematică a informației formulează legile generale ale comenzii, controlului și comunicațiilor și stabilește principiile de codificare, prelucrare, păstrare și transmitere a informației, asociindu-se cu tehnica de calcul automat. Această nouă direcție constituie o etapă superioară în dezvoltarea metodelor de prelucrare a rezultatelor obținute din măsurători.

### 3.3. MĂSURĂTORI ȘI ERORI DE MĂSURARE

S-a văzut că prin măsurare se înțelege determinarea valorii unei mărimi fizice prin raportarea acesteia la o altă mărime de aceeași natură, adoptată ca unitate, folosind un instrument sau un aparat de măsură.

Toate lucrările de topografie și geodezie se bazează pe măsurători efectuate în scopul determinării poziției diferitelor obiecte și fenomene din spațiul terestru. Aceste măsurători se referă în special la mărimi liniare (lungimi) și la mărimi unghiulare (unghiuri).

Așa cum rezultă din definiție, orice proces de măsurare presupune, în primul rând, existența unei unități de măsură în raport de care să fie exprimată valoarea observată.

De-a lungul timpului s-au utilizat diferite unități de măsură, în prezent, majoritatea țărilor lumii, printre care și România, a adoptat Sistemul Internațional de Unități (SIU).

În urma unei măsurători se obține o valoare măsurată, numită și observație, care nu reprezintă altceva decât raportul dintre mărimea fizică măsurată și unitatea de măsură reprodusă de instrumentul folosit.

### 3.3.1. CLASIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Măsurătorile pot fi clasificate după următoarele criterii:

- *După modul de obținere a mărimii fizice care ne interesează:*

a) *măsurători directe* la care mărimea fizică considerată se compară direct cu unitatea de măsură, fiecare măsurătoare efectuată generând câte o valoare a mărimii măsurate.

Se mai consideră ca măsurători directe și anumite funcții simple de măsurători directe:

-diferența dintre două mărimi măsurate direct (exemplu: diferența de nivel rezultată prin scăderea citirilor pe miră),

-produsul dintre o mărime măsurată și o constantă.

Un caz special al măsurătorilor directe îl constituie *măsurătorile condiționate*, definite ca măsurători directe ce trebuie să satisfacă o serie de condiții geometrice sau analitice.

b) *măsurători indirecte* la care valoarea mărimilor care ne interesează se obține prin intermediul altor mărimi măsurate direct, acestea fiind funcțional dependente între ele.

Sfera măsurătorilor indirecte este mult mai largă decât cea a măsurătorilor directe, primele fiind de multe ori și mult mai simple.

Există și anumite mărimi care practic nici nu pot fi măsurate direct, de exemplu determinarea densității care se face în funcție de volum și masă (mărimi ce se pot măsura direct),  $\delta = \delta(V, M)$  sau determinarea unor constante fizice cum ar fi accelerația gravitațională.

- *După condițiile în care sunt executate:*

a) *măsurători de aceeași precizie*, când se efectuează cu același instrument, de către același operator, prin aceeași metodă de lucru și în aceleași condiții de mediu.

În acest caz se poate considera că tuturor acestor măsurători le putem acorda aceeași încredere.

b) *măsurători de precizii diferite* (ponderate), când unul din factorii de mai sus diferă, deci nu mai putem acorda aceeași încredere tuturor măsurătorilor, unele fiind determinate mai precis decât altele.



- *După legătura dintre ele:*

a) *măsurători dependente* - dacă ansamblul condițiilor în care se efectuează o măsurătoare influențează total sau parțial rezultatul altei măsurători, se spune că acestea sunt dependente între ele.

b) *măsurători independente* - sunt acelea care nu se influențează reciproc.

Corelația sau dependența între mărimi se exprimă cu ajutorul unui coeficient empiric de corelație, dedus experimental pe cale statistică efectuând mai multe măsurători.

- *După numărul lor:*

a) *măsurători necesare* definite prin numărul minim de măsurători, cu ajutorul cărora se poate stabili valoarea mărimii considerate.

b) *măsurători suplimentare* efectuate în vederea ridicării preciziei de măsurare sau a preîntâmpinării eventualelor greșeli ce pot apărea. Aceste măsurători suplimentare determină numărul gradelor de libertate ale rețelei respective.

### 3.3.2. CLASIFICAREA ERORILOR DE MĂSURARE

Se numește *eroare* diferența dintre valoarea măsurată și valoarea adevărată a unei mărimi fizice:

$$e = M - X \quad (3.2)$$

în care, prin  $M$  s-a notat valoarea obținută prin măsurare, iar prin  $X$ , valoarea adevărată

Valoarea reală a unei mărimi nu poate fi determinată niciodată din cauza inexactităților care apar în procesul de măsurare. Această imposibilitate poate fi generată de o serie întreagă de cauze cum ar fi: variația în timp a obiectului măsurat, imperfecțiunea organelor de simț ale operatorului, imperfecțiunea aparaturii și a metodelor de măsurare, influența condițiilor exterioare.

Erorile pot fi clasificate după cum urmează:

- *După modul de alegere a mărimii nominale:*

a) *erori reale (adevărate),  $\varepsilon_i$*  în cazul în care valoarea de referință (nominală) se consideră valoarea reală  $X$  a mărimii respective:

$$\varepsilon_i = M_i - X \quad (3.3)$$

Deoarece valoarea adevărată  $X$  a unei mărimi nu este accesibilă, înseamnă că nici eroarea adevărată  $\varepsilon$  nu poate fi cunoscută.

b) *erori aparente (probabile)*,  $v_i$  în cazul în care se consideră ca valoare de referință, valoarea probabilă a mărimii respective:

$$\pm v_i = M_i - M \quad (3.4)$$

Valoarea probabilă a unei mărimi se consideră a fi media aritmetică în cazul măsurătorilor de aceeași precizie, sau media ponderată în cazul măsurătorilor de precizie diferită (ponderate).

• *După mărimea lor:*

a) *erori evitabile (erori grosolane, greșeli)*

Ele se pot evita printr-o atenție sporită în timpul procesului de măsurare .

Exemplu: erori la metri de măsurare a distanțelor cu ruleta; erori de grade la citirea unghiurilor pe microscopul teodolitului.

Prin urmare, aceste erori grosolane sau greșeli sunt cu un ordin de mărime mai mare decât precizia de măsurare .

Acest tip de eroare se evidențiază imediat într-un șir de măsurători putând fi eliminată cu ușurință pe baza coroborării datelor cu cele de la alte observații.

În calculele de compensare se consideră că măsurătorile nu sunt afectate de erori grosolane.

b) *erori inevitabile* ce nu pot fi eliminate indiferent de metoda folosită sau de gradul de atenție al operatorului, ci doar diminuate.

Aceste erori pot fi clasificate după modul de acționare astfel:

*b.1 erori sistematice* sunt acelea la care se cunosc cauzele care le generează și legile după care acționează. Valoarea lor poate fi deci determinată și în consecință se poate corecta rezultatul obținut din măsurători. Diminuarea erorilor sistematice se poate face prin:

- metoda de măsurare (de exemplu la măsurarea unghiurilor se efectuează determinări în cele două poziții ale lunetei, eliminându-se eroarea de colimație);

- prin calcul, aplicându-se corecții rezultatului (corecția de etalonare, corecția de temperatură, etc. la măsurarea distanțelor cu ruleta);

- printr-o reglare mai bună a aparatelor;

- reducând la minim ponderea observațiilor pentru care nu s-au putut îndepărta erorile sistematice;

Erorile sistematice pot fi la rândul lor *constante* sau *variabile*.

Eroarea sistematică variabilă nu se propagă după legea liniară urmărită de erorile constante, deci ea nu își păstrează tot timpul semnul și valoarea.

b.2 erori întâmplătoare (accidentale) sunt acelea care influențează într-un mod întâmplător, cu cantități mici fiecare, dar apreciabile în total și nu pot fi eliminate.

Erorile întâmplătoare pot fi diminuate prin efectuarea mai multor măsurători. Ele se micșorează de asemenea, prin perfecționarea instrumentelor și a metodelor de lucru.

În studiul teoriei erorilor, se consideră că măsurătorile au fost corectate de toate celelalte erori (greșeli, erori sistematice) și sunt afectate numai de erorile întâmplătoare.

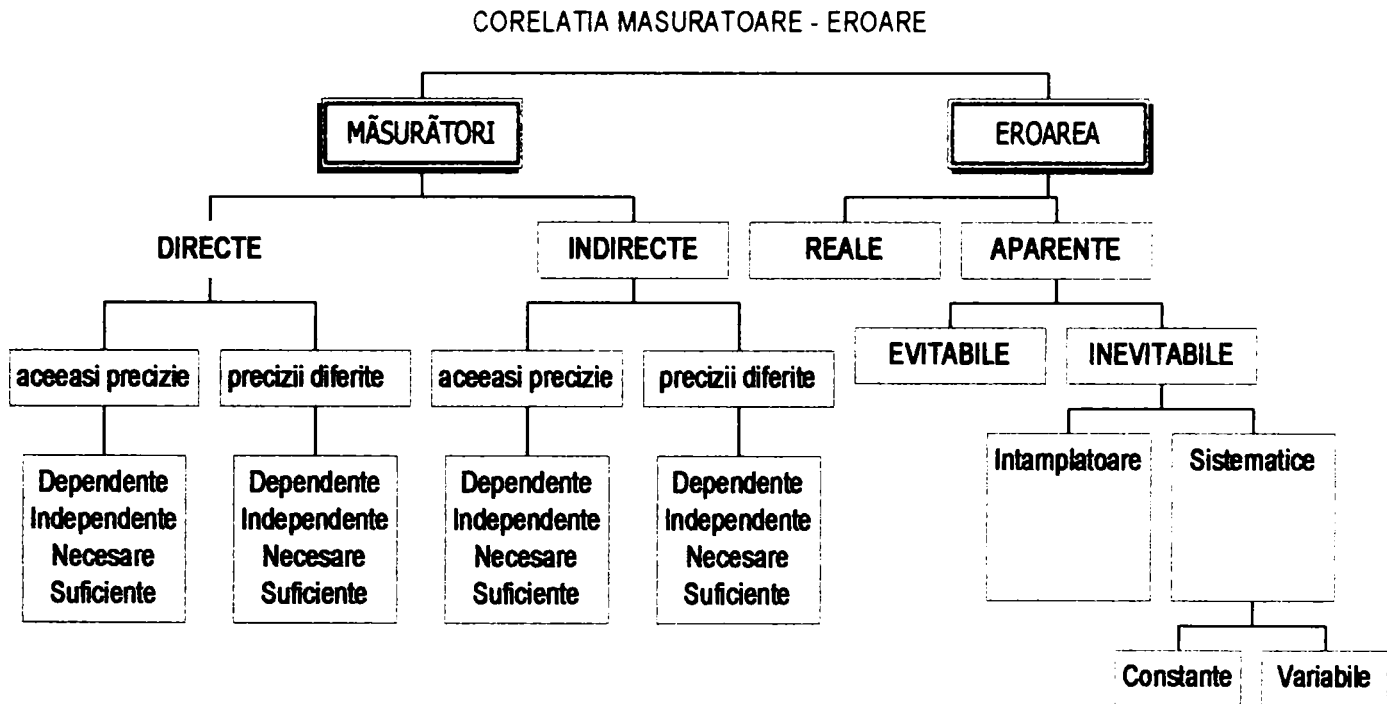


Figura 3.1 – Corelația măsurătoare - eroare

### 3.4. PROPRIETĂȚILE ERORILOR ÎNTÂMPLĂTOARE

Proprietățile erorilor întâmplătoare sunt deduse din practică, ele permițând studierea științifică a erorilor prin aplicarea calculului probabilităților.

Erorile mici, în valoarea absolută, sunt mai frecvente sau mai probabile decât cele mari. Această proprietate determină *principiul casualist*. Deci, avem cazuri mai multe cu erori mici decât cu erori mari. Toate erorile sunt mai mici decât o anumită limită care ar corespunde erorii datorită sumei totale a cauzelor de erori. Prin această proprietate se definește *principiul limitativ*.

Făcând un număr foarte mare de măsurători, rezultă un număr egal de erori pozitive cât și negative, suma lor fiind sensibil egală cu zero. Rezultă astfel *principiul distributiv*.

Probabilitatea ca să avem o anumită eroare este funcție numai de mărimea erorii respective. Este definit astfel *principiul probabilistic*.

Aplicând legile probabilităților matematice, s-a demonstrat că probabilitatea ca o eroare întâmplătoare să fie cuprinsă într-un interval oarecare  $x, x + dx$ , este:

$$P = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} dx \quad (3.5)$$

în care:

- $e$  reprezintă baza logaritmilor naturali;
- $h$  este modulul de precizie, care caracterizează precizia instrumentului utilizat pentru măsurători.

Dacă reprezentăm într-un sistem rectangular de axe  $XOY$  mărimea erorilor  $v$ , pe abscisă, iar pe ordonată frecvența acestora, pentru un număr mare de măsurători, se obține o curbă clopot numita *curba Gauss* simetrică în raport cu axa  $OY$  și asimptotă la axa  $OX$ .

Determinarea erorii medii pătratice a mediei aritmetice ne permite să stabilim intervalul în care cu siguranță se află valoarea reală  $X$ , fără însă a putea preciza valoarea exactă a acesteia.

Dacă curba este alungită înseamnă că avem mai multe erori mici care se grupează în jurul valorii zero; când clopotul este turtit erorile mari predomină.

În concluzie, se poate afirma că o măsurătoare este cu atât mai precisă cu cât clopotul este mai alungit.

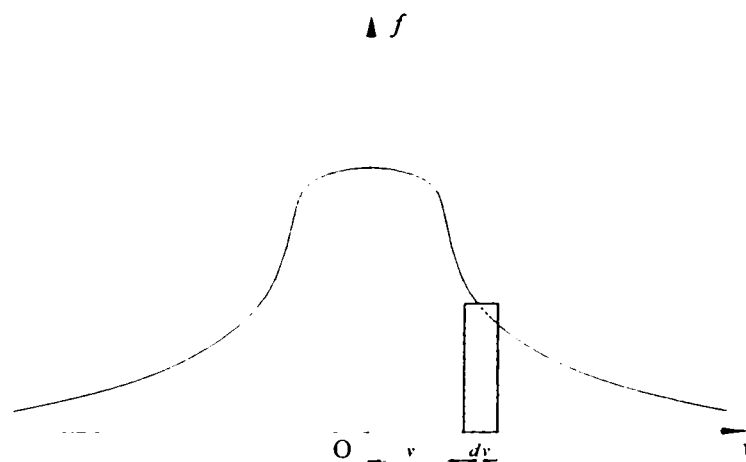


Figura 3.2 - Graficul de distribuție al erorilor - Clopotul Gauss

### 3.4.1. ALTE TIPURI DE ERORI

*Eroarea relativă* sau eroarea pe unitatea de măsură.

$$e_r = \frac{e}{M} \quad (3.6)$$

în care:  $e$  - reprezintă eroarea absolută comisă la măsurarea mărimii  $M$ .

În acest raport, în locul lui "e" se poate introduce eroarea medie pătratică ( $m$ ), eroarea medie pătratică a mediei aritmetice ( $e_r$ ), sau eroarea probabilă ( $e_p$ ).

*Eroarea probabilă* ( $e_p$ ) a unei valori măsurate individual este acea valoare pentru care numărul erorilor mai mari este egal cu cel al erorilor mai mici decât acestea.

$$e_p = \pm \frac{2}{3} m \quad (3.7)$$

$$e_p = \pm \frac{2}{3} e_m$$

în care:  $m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$ ;

$$e_m = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (3.8)$$

Dacă eroarea de măsurare crește cu mărimea măsurată, precizia se exprimă prin eroarea relativă ( $e_r$ ) pusă sub forma:

$$P = \frac{1}{\frac{M}{e}} \quad (3.9)$$

Numitorul expresiei arată de câte ori eroarea comisă la măsurare se cuprinde în mărimea măsurată. Eroarea relativă "e" se poate exprima prin una din erorile:  $m$ ,  $e_m$ ,  $e_p$ .

### 3.5. CONCEPTE STATISTICE ÎN PRELUCRAREA MĂSURĂTORILOR

Se definește noțiunea de probabilitate matematică a unei întâmplări, raportul dintre numărul cazurilor favorabile și numărul cazurilor posibile producerii aceleiași întâmplări sau:

$$P = \frac{\text{nr. cazuri favorabile}}{\text{nr. cazuri posibile}} \quad (3.10)$$

Dacă numărul cazurilor favorabile este mai mic decât numărul celor posibile avem de-a face cu o probabilitate simplă. Dacă numărul de cazuri favorabile este egal cu numărul de cazuri posibile, avem o certitudine matematică sau probabilitate maximă. Probabilitatea minimă va fi atunci când numărul de cazuri favorabile este egal cu zero. În această situație putem afirma că este vorba de o incertitudine matematică.

Obiectivul cercetării statistice îl constituie o mulțime de elemente având caracteristici comune, mulțime numită *populație statistică*.

O submulțime a acesteia, asupra căreia se fac analizele statistice reprezintă *selecția*. Datele măsurate într-o selecție permit să se stabilească o *estimație* a caracteristicii studiate, adică o valoare nici absolut exactă, nici absolut sigură, ci doar "foarte probabilă".

Elementele unei mulțimi statistice pot fi caracterizate printr-o serie de indicatori cantitativi și calitativi. Numărul acestor indicatori trebuie judicios ales, pentru că un număr prea mic, generalizează prea mult fenomenul ales, iar un număr prea mare complică mult calculele.

În urma unor măsurători repetate asupra unei caracteristici se obțin valori diferite ale acesteia datorită caracterului întâmplător (aleator) pe care îl are caracteristica respectivă în cadrul populației.

Pentru studiul matematic al fenomenelor cu caracter întâmplător, se introduce noțiunea de *variabilă aleatoare*, adică o variabilă care în cadrul unei experiențe poate primi oricare dintre valorile posibile, specifice experienței respective. Variabilele aleatoare pot fi *discrete*, adică pot lua doar anumite valori, sau *continue*, adică pot lua orice valoare într-un interval finit sau infinit (de exemplu, rezultatul măsurării unei lungimi).

### 3.5.1. REPARTIȚII DE FRECVENȚE

Diferitele valori ale caracteristicii măsurate au frecvențe diferite, adică unele apar de mai multe ori decât altele. Pentru a putea compara selecții de volume diferite, se folosește noțiunea de frecvență relativă, adică raportul dintre numărul de apariții ale unei valori și numărul total de măsurători.

Fie  $x$  o variabilă aleatoare și  $x_1, x_2, \dots, x_n$  valorile pe care le poate lua aceasta, cu frecvențele relative  $f_1, f_2, \dots, f_n$ .

Mulțimea perechilor ordonate  $(x_i, f_i), i=1, 2, \dots, n$  definește repartiția variabilei aleatoare  $x$ .

Dacă notăm cu  $F_i$  frecvența absolută a valorii  $x_i$  și cu  $N$  numărul total de măsurători (valoarea  $x_i$  apare de  $F_i$  ori în  $N$  experimente repetate), rezultă:

$$f_i = \frac{F_i}{N} \quad (3.11)$$

În cazul populațiilor discrete finite, probabilitatea unui eveniment este egală cu numărul cazurilor favorabile raportat la numărul total al cazurilor posibile.

În cazul unei variabile aleatoare continue, probabilitatea că aceasta să ia o anumită valoare este zero, deoarece numărul total de cazuri posibile este infinit.

### 3.5.2. REPARTIȚIA EMPIRICĂ A ERORILOR ÎNTÂMPLĂTOARE

Deoarece colectivitatea generală include în sine o infinitate de măsurători, singura metodă eficace de analiză a caracteristicilor mărimii fizice supuse măsurătorii este metoda selecției care constă în următoarele:

➤ Efectuându-se un număr de  $N$  măsurători asupra mărimii fizice  $x$ , se obțin rezultatele  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Gruparea acestor rezultate în funcție de valoarea caracteristicilor comune furnizează informații prețioase despre valoarea adevărată a mărimii fizice măsurate. Numărul de măsurători cu aceeași valoare a caracteristicii definește frecvența absolută, iar suma frecvențelor absolute pentru toate grupele studiate formează volumul selecției.

➤ De regulă, pentru a obține o precizie cât mai bună, asupra mărimii fizice considerate se execută mai multe serii de măsurători sau, mai multe selecții. Variațiile rezultatelor de la o selecție la alta se numesc fluctuații de selecție și formează obiectul prelucrării statistice a măsurătorilor.

➤ Deoarece sub forma lor brută rezultatele obținute din măsurători constituie o mulțime dezordonată de valori, pentru o mai ușură interpretare, acestea se reprezintă grafic. Există mai multe metode de reprezentare grafică a rezultatelor obținute din măsurători. Printre acestea se pot menționa histograma și poligonul de frecvențe. Pentru oricare din acestea, intervalul de variație a rezultatelor se împarte în intervale elementare de aceeași lungime, înregistrând numărul de valori corespunzătoare pentru fiecare astfel de interval. Pentru  $N$  rezultate obținute din măsurători se calculează diferența dintre termenul maxim și cel minim. Lungimea intervalului de grupare  $d$  se calculează cu ajutorul formulei lui Sturges :

$$d = \frac{\Delta_{\max} - \Delta_{\min}}{1 + 3.22 \lg N} \quad (3.12)$$

Deoarece în marea majoritate a cazurilor lungimea intervalului  $d$  este un număr zecimal, acesta se rotunjește la un număr întreg care se apropie cel mai mult de valoarea găsită.

### 3.5.3. HISTOGRAMA

O formă des utilizată pentru reprezentarea grafică a repartiției frecvenței este histograma, care se construiește astfel:

-se grupează valorile variabilei în intervale (clase,  $(\Delta_i, \Delta_{i+1})$ );

- se înscriu pe abscisă limitele claselor și pe ordonată frecvențele (absolute sau relative) acestora (numărul de valori cuprinse în fiecare clasă);
- pentru fiecare înălțime se trece frecvența clasei.

Dacă  $F_i$  este frecvența absolută a clasei  $(\Delta_i, \Delta_{i+1})$ , atunci repartiția acestor frecvențe poate fi reprezentată într-un sistem de axe rectangulare, în care un dreptunghi are ca bază clasa  $(\Delta_i, \Delta_{i+1})$ , iar aria este proporțională cu frecvența absolută  $F_i$ . Dacă ariile dreptunghiurilor elementare sunt egale cu frecvențele relative, atunci aria totală a histogramei este egală cu unitatea.

În cazul în care frecvențele absolute sunt prea mari și deci incomod de reprezentat grafic, se trece la frecvențe relative care se calculează cu ajutorul relației :

$$f_i = \frac{F_i}{N} \quad (3.13)$$

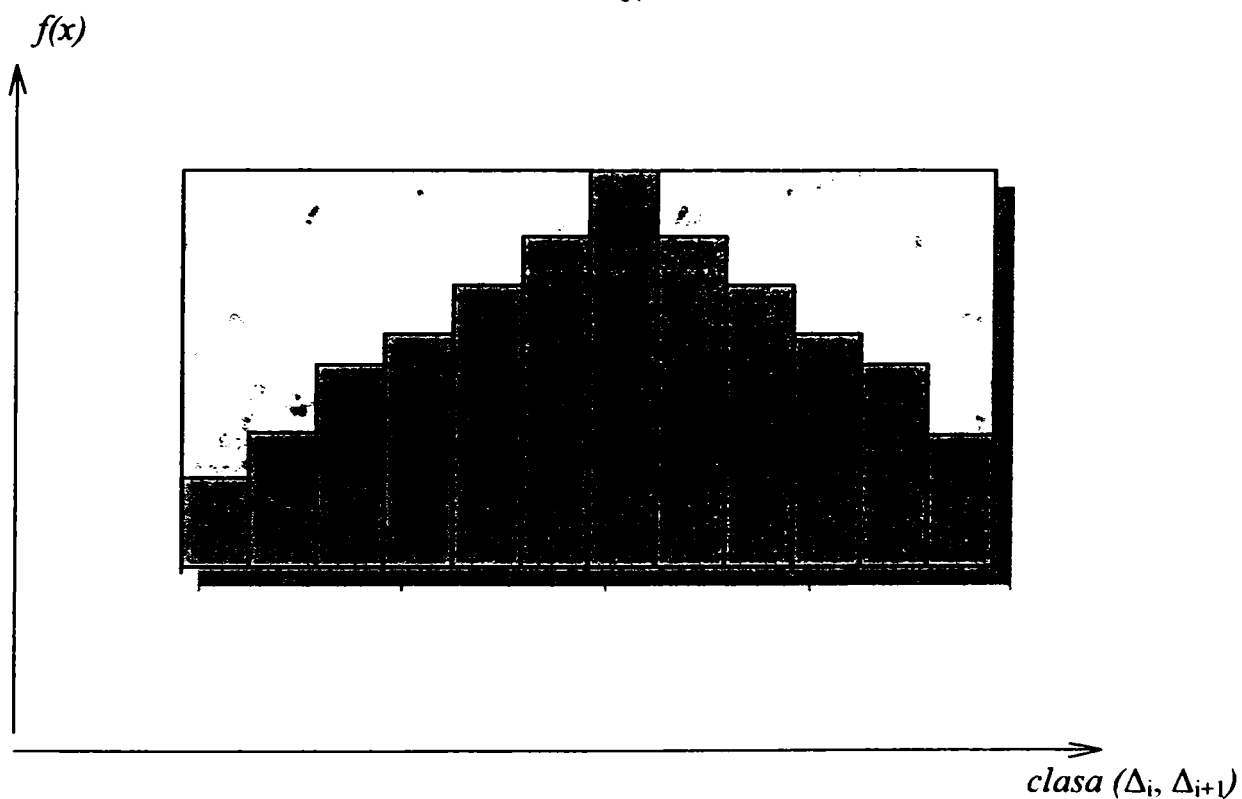


Figura 3.3 – Reprezentarea sub forma histogramei

În anumite situații, când intervalele  $(\Delta_i, \Delta_{i+1})$  sunt mici și numeroase, histograma poate fi înlocuită cu o curbă de frecvență, care se trasează în așa fel încât porțiunile din dreptunghiurile elementare rămase în afara curbei să se compenseze cu cele cuprinse sub curbă, dar care se află în exteriorul histogramei.



### 3.6. STUDIUL REPARTIȚIEI ERORILOR ÎNTÂMPLĂTOARE

#### 3.6.1. VALORI TIPICE FOLOSITE ÎN STUDIUL REPARTIȚIEI TEORETICE A ERORILOR ÎNTÂMPLĂTOARE

Pentru calculul valorilor tipice utilizate la studiul repartiției erorilor întâmplătoare se consideră un câmp unidimensional  $F$  probabilizat, finit sau infinit.

Cu  $X$  se notează abscisa punctului arbitrar  $N$ , iar cu  $\varphi(x)$  și  $F(x)$  densitatea, respectiv funcția de repartiție a variabilei întâmplătoare continue  $X$ .

*Valoarea medie* a variabilei întâmplătoare continue  $X$ , care ia valori în intervalul  $[a, b]$ , este integrala definită de la  $a$  la  $b$  din produsul  $x \cdot \varphi(x)$ , adică :

$$M(X) = \int_a^b x \cdot \varphi(x) dx \quad (3.14)$$

Dacă  $X \in (-\infty, \infty)$ , valoarea medie a variabilei întâmplătoare continue  $X$  se definește astfel :

$$M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot \varphi(x) dx \quad (3.15)$$

*Dispersia* variabilei întâmplătoare continue care ia valori în intervalul  $(-\infty, \infty)$  se definește cu ajutorul integralei :

$$D(X) = M\{X - M(X)\}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \{x - M(x)\}^2 \cdot \varphi(x) dx \quad (3.16)$$

Atât valoarea medie cât și dispersia variabilei întâmplătoare reprezintă numai cazuri particulare ale unor caracteristici mai generale, denumite *momente*. Astfel, momentul de ordin  $k$  al variabilei întâmplătoare continue  $X$  față de constanta  $A$  se definește cu ajutorul expresiei:

$$m_k = \int_{-\infty}^{\infty} (x - A)^k \cdot \varphi(x) dx \quad (3.17)$$

#### 3.6.2. VALORI TIPICE DE SELECȚIE FOLOSITE LA PRELUCRAREA REZULTATELOR OBȚINUTE DIN MĂSURĂTORI

Clasificarea și reprezentarea grafică a unor repartiții constituie prima etapă în analiza preciziei rezultatelor obținute din măsurători. Prelucrarea statistică a observațiilor presupune folosirea unor valori tipice de selecție cum ar fi de exemplu media aritmetică, care dintr-un anumit punct de vedere reprezintă o sinteză a acestor observații.

### 3.6.2.1. Media aritmetică și proprietățile acesteia

Dacă într-un șir de  $n$  măsurători rezultatul  $x_1$  apare de  $n_1$  ori,  $x_2$  de  $n_2$  ori, ...,  $x_k$  de  $n_k$  ori,  $\sum_{i=1}^k n_i = n$ ,

atunci media aritmetică este dată de expresia :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k f_i \cdot x_i \quad (3.18)$$

Dacă în cele  $n$  măsurători fiecare rezultat apare o singură dată,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.19)$$

Media aritmetică are o deosebită importanță în estimarea preciziei măsurătorilor când nu se cunoaște valoarea exactă a mărimii fizice măsurate.

Media aritmetică pentru date grupate are următoarele proprietăți :

➤ Media aritmetică calculată din valori egale este întotdeauna egală cu valoarea acestora:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k f_i \cdot x_0 = x_0 \sum_{i=1}^k f_i = x_0 \quad (3.20)$$

➤ Suma abaterilor valorilor observate de la media aritmetică este egală cu 0:

Întradevăr, dacă se introduce diferența  $v_i = x_i - \bar{x}$ , se obține :

$$\sum_{i=1}^k f_i \cdot v_i = \sum_{i=1}^k f_i \cdot x_i - \bar{x} \sum_{i=1}^k f_i = 0 \quad (3.21)$$

➤ Suma pătratelor abaterilor valorilor observate  $x_i$  față de media aritmetică  $\bar{x}$  este mai mică decât suma pătratelor abaterilor acelorași valori față de orice alt număr (3.22):

$$\sum_{i=1}^k f_i (x_i - x_0)^2 = \sum_{i=1}^k f_i \{ (x_i - \bar{x}) - (x_0 - \bar{x}) \}^2 = \sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x})^2 - 2(x_0 - \bar{x}) \sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x}) + (x_0 - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^k f_i$$

Având în vedere relația de mai sus, ultima expresie devine :

$$\sum_{i=1}^k f_i (x_i - x_0)^2 = \sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x})^2 + (x_0 - \bar{x})^2 \quad (3.23)$$

➤ Condiția  $S = \sum_{i=1}^k f_i (x_i - x_0)^2 = \min$  este satisfăcută pentru  $x_0 = \bar{x}$ .

### 3.6.2.2. Dispersia de selecție

Dacă rezultatele obținute din măsurători sunt afectate numai de erori întâmplătoare atunci se pot scrie relațiile următoare:

$$\begin{aligned}\Delta_i &= x_i - X \\ v_i &= x_i - \bar{x}\end{aligned}\quad (3.24)$$

în care :  $X$  – este valoarea adevărată a mărimii fizice măsurate;

$x_i$  - rezultatul unei măsurători;

$\bar{x}$  - media aritmetică obținută din cele  $n$  rezultate;

$\Delta_i$  – eroarea întâmplătoare adevărată;

$v_i$  – eroarea întâmplătoare aparentă;

Dispersia (varianța) exprimă gradul de împrăștiere a variabilelor aleatoare discrete sub forma unei relații de genul:

$$D^2(x) = \sigma^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} = M \left\{ (x_i - \bar{x})^2 \right\} \quad (3.25)$$

### 3.6.2.3 Abaterea standard și proprietățile acesteia

Abaterea standard reprezintă o eroare cu care sunt determinate valorile mărimilor aleatoare respective:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{D^2} \quad (3.26)$$

Mărimile  $M$ ,  $D^2$  și  $\sigma$  reprezintă parametri statistici care definesc o repartiție. Pentru o variabilă discretă bidimensională există următoarea relație care exprimă covarianța de selecție:

$$\text{cov}(x, y) = \sigma(x, y) = M \left\{ (x - \bar{x})(y - \bar{y}) \right\} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (3.27)$$

iar,

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (3.28)$$

reprezintă coeficientul de corelație:

$$r_{x,y} = \frac{\sigma_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.29)$$

Atunci când variabilele sunt independente, relația devine :

$$r_{x,y} = 0 \quad (3.30)$$

Pentru  $n$  vectori aleatori putem defini varianțele și covarianțele într-un tablou numit matrice de varianță-covarianță.

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdot & \sigma_{2n} \\ & & \cdot & \\ & & & \cdot \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & & \sigma_{nn} \end{pmatrix} \quad (3.31)$$

Pe diagonala principală se găsesc varianțele (dispersiile), iar în restul tabloului se găsesc covarianțele.

### 3.7. CALCULUL TASĂRILOR PE BAZA STABILITĂȚII REPERILOR DE CONTROL

Efectuarea măsurătorilor topografice pentru determinarea variației pe verticală al unui element al construcției sau al întregului ansamblu construit, se realizează sub forma unor cicluri ciclice de observații.

Pe baza datelor obținute și a prelucrării acestora, se vor obține diferențele de nivel dintre reperi de control și mărcile de tasare, urmînd să se calculeze ulteriro tasările absolute ale punctelor marcă de pe construcție. Tasările obținute se pot raporta fie la ciclul de referință, astfel exprimându-se tasarea totală, fie între ciclurile intermediare de măsurători, obținînd astfel tasarea parțială a uneia sau a tuturor mărcilor de tasare.

Determinarea valorilor absolute ale tasărilor unei construcții se poate realiza prin aplicarea procedurii de compensare și calcul al observațiilor condiționate sau indirecte.

#### 3.7.1. CALCULUL TASĂRILOR PRIN METODA MĂSURĂTORILOR CONDIȚIONATE

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

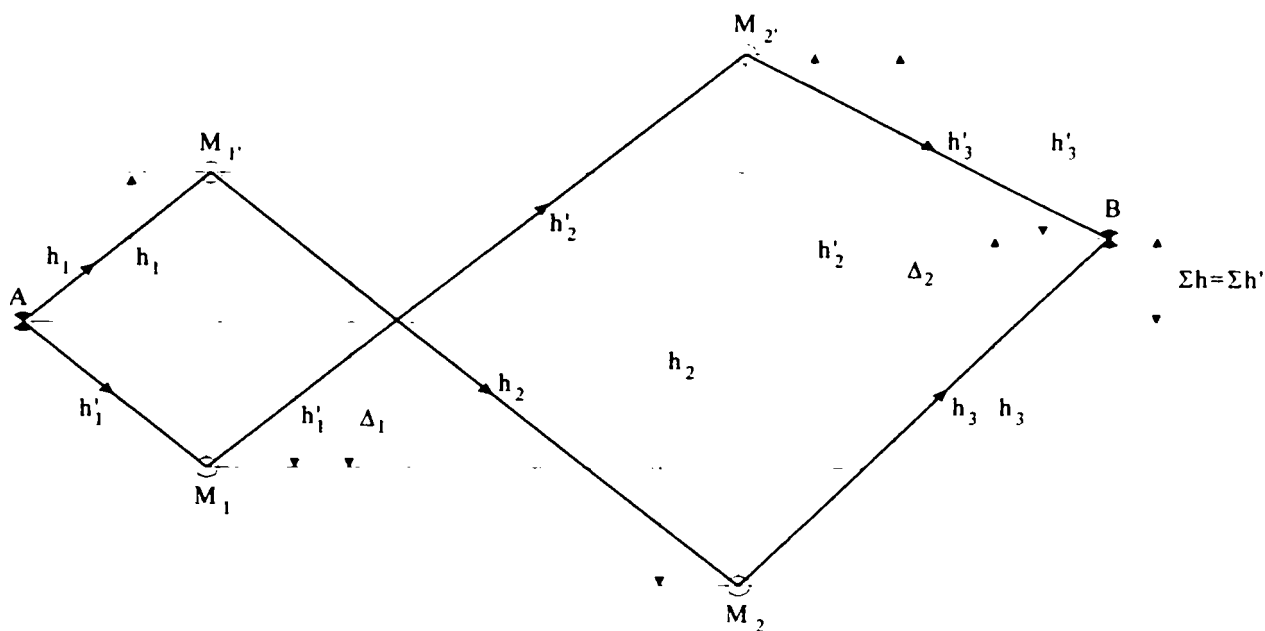


Figura 3.4 – Rețea de nivelment sub formă de drumuire sprijinită la capete

În figură sau folosit următoarele notații:

- $A$  și  $B$  – reperi de control fiși;
- $M_1$  și  $M_2$  – mărcile de tasare de pe construcție în poziția inițială (ciclul I);
- $M_1'$  și  $M_2'$  - mărcile de tasare de pe construcție în poziția actuală (ciclul II);
- $h_1, h_2, h_3$  – diferențele de nivel deduse din observațiile inițiale (ciclul I);
- $h'_1, h'_2, h'_3$  - diferențele de nivel deduse din observațiile actuale (ciclul II);
- $v_1, v_2, v_3$  – corecțiile diferențelor de nivel măsurate inițial;
- $v'_1, v'_2, v'_3$  – corecțiile diferențelor de nivel măsurate actual;
- $\Delta_1, \Delta_2$  – deplasările verticale (tasările) mărcilor 1 și 2 în intervalul dintre cele două cicluri de măsurători.

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

$$\begin{aligned} h_1 + \Delta_1 &= h'_1 \\ h_1 + h_2 + \Delta_2 &= h'_1 + h'_2 \end{aligned} \quad (3.32)$$

Rezultă:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= h'_1 - h_1 \\ \Delta_2 &= (h'_1 + h'_2) - (h_1 + h_2) = \Delta_1 + (h'_2 - h_2) \end{aligned} \quad (3.33)$$

Exprimând relația în general se poate scrie:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} + h'_i - h_i \quad (3.34)$$

Măsurând diferențele de nivel  $h_3$  și  $h'_3$  drumuirea se leagă și de reperul  $B$ , creînd 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:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 \quad (3.35)$$

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

$$v_1 - v'_1 + v_2 - v'_2 + v_3 - v'_3 + w = 0 \quad (3.36)$$

În ecuația de mai sus  $w$  se exprimă sub forma:  $w = \sum (h_i - h'_i)$  (3.37)

Dacă cele două puncte de reper formează o rețea alcătuită din două drumuri de nivelment sprijinite la capete pe aceleași două repere de control  $A$  și  $B$  și notând cu  $M_1, M_2 \dots M_3$  mărcile de tasare de pe obiectivul examinat, iar cu  $h_1, h_2 \dots h_7$  diferențele de nivel măsurate în ciclul I se pot scrie următoarele ecuații:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 \quad (3.38)$$

$$h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_4 + v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \quad (3.39)$$

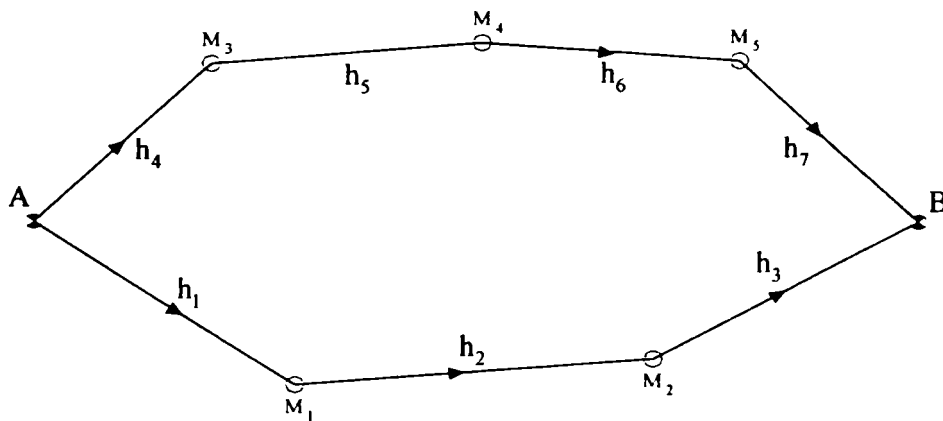


Figura 3.5 – Rețea de nivelment cu două drumuri sprijinite la capete

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:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \quad (3.40)$$

$$h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 = h'_4 + v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \quad (3.41)$$

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 drumuirilor de nivelment.

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

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

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

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

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

$$N = D - M \quad (3.42)$$

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

$M$  – numărul mărcilor mobile.

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

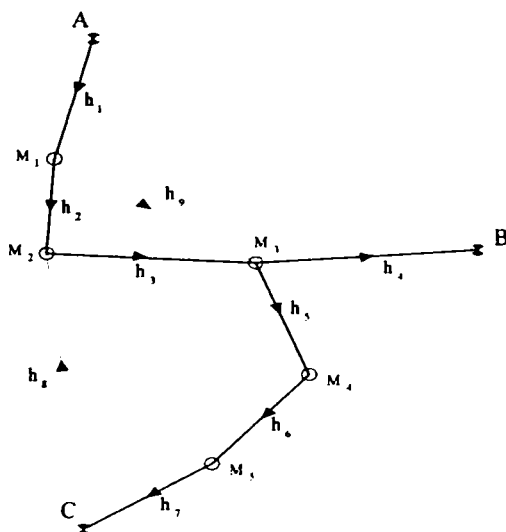


Figura 3.6 – Rețea de nivelment cu 3 repere de sprijin

$$\begin{aligned} h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \\ -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\ h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + \\ + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \end{aligned} \quad (3.43)$$

Se poate observa că suma primelor două ecuații este egală cu ecuația a treia, prin urmare nu există decât două ecuații independente. Același rezultat se obține dacă se aplică relația de mai

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

$$N = D - M + I \quad (3.44)$$

în care:  $I$  reprezintă numărul închiderilor.

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

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

Ecuațiile caracteristice care se scriu pe baza rețelei nivelitice din figura 3.6 sunt:

$$\begin{aligned} 1. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_8 + v_8 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 \\ 2. & h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_4 + v'_4 \\ 3. & h_2 + v_2 + h_3 + v_3 - h_9 - v_9 = 0 \\ 4. & h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 - h'_9 - v'_9 = 0 \\ 5. & h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 - h_8 - v_8 = 0 \\ 6. & h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 - h'_8 - v'_8 = 0 \\ 7. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \quad (3.45) \\ 8. & h_1 + v_1 + h_9 + v_9 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\ 9. & h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \\ & = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\ 10. & -h_8 - v_8 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = -h'_8 - v'_8 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \\ 11. & -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\ 12. & h_2 + v_2 + h_8 + v_8 - h_7 - v_7 - h_6 - v_6 - h_5 - v_5 - h_9 - v_9 = 0 \\ 13. & h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 - h'_7 - v'_7 - h'_6 - v'_6 - h'_5 - v'_5 - h'_9 - v'_9 = 0 \end{aligned}$$

Din ecuațiile (3.45), primele 6 sunt independente, celelalte provenind din combinațiile primelor 6. Alegând din egalitățile de mai sus, oricare 6 ecuații independente le putem transforma în 6 ecuații de condiție independente ale corecțiilor.

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

$$\begin{aligned} a_1 v_1 - a'_1 v'_1 + a_2 v_2 - a'_2 v'_2 + a_8 v_8 - a'_8 v'_8 + w_a &= 0 \\ b_1 v_1 - b'_1 v'_1 + b_4 v_4 - b'_4 v'_4 + b_9 v_9 - b'_9 v'_9 + w_b &= 0 \\ c_2 v_2 + c_3 v_3 - c_9 v_9 + w_c &= 0 \end{aligned} \quad (3.46)$$



$$d'_2 v'_2 + d'_3 v'_3 - d'_9 v'_9 + w_d = 0$$

$$e_3 v_3 + e_5 v_5 + e_6 v_6 + e_7 v_7 - e_8 v_8 + w_e = 0$$

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

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

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

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

$$w_c = (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \tag{3.47}$$

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

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

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

Tabel 3.1 – Coeficienții ecuațiilor de condiție ale corecțiilor

	$v_1$	$v'_1$	$v_2$	$v'_2$	$v_3$	$v'_3$	$v_4$	$v'_4$	$v_5$	$v'_5$	$v_6$	$v'_6$	$v_7$	$v'_7$	$v_8$	$v'_8$	$v_9$	$v'_9$	$w$
$a_i$	+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.

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

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

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

$$\left[ \frac{ad}{p} \right] K_1 + \left[ \frac{bd}{p} \right] K_2 + \dots + \left[ \frac{df}{p} \right] K_6 + w_d = 0 \tag{3.48}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} v_i &= \frac{a_i}{p_i} K_1 + \frac{b_i}{p_i} K_2 + \dots + \frac{f_i}{p_i} K_6 \\ v'_i &= \frac{a'_i}{p'_i} K_1 + \frac{b'_i}{p'_i} K_2 + \dots + \frac{f'_i}{p'_i} K_6 \end{aligned} \quad (3.49)$$

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

$$\begin{aligned} 1. \Delta M_2 &= (h_1^i + v_1^i + h_2^i + v_2^i) - (h_1 + v_1 + h_2 + v_2) \\ 2. \Delta M_2 &= (-h_4^i - v_4^i - h_3^i - v_3^i) - (-h_4 - v_4 - h_3 - v_3) \\ 3. \Delta M_2 &= (-h_8^i - v_8^i) - (-h_8 - v_8) \\ 4. \Delta M_2 &= (h_1^i + v_1^i + h_9^i + v_9^i - h_3^i - v_3^i) - (h_1 + v_1 + h_9 + v_9 - h_3 - v_3) \end{aligned} \quad (3.50)$$

Diferențele care intervin între rezultatele ce se obțin, nu trebuie să depășească 0,01mm, lucru datorat rotunjirilor din calcul.

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

$$\mu_0 = \pm \sqrt{\frac{|p v v| + |p' v' v'|}{N}} \cdot \left( 1 \pm \frac{0,7071}{\sqrt{N}} \right) \quad (3.51)$$

în care:  $N$  – reprezintă numărul ecuațiilor de condiție.

Aprecierea preciziei deplasărilor determinate va consta în calcularea erorilor medii ale acestor deplasări ca erori ale funcțiilor de observații compensate, conform relației:

$$\begin{aligned} \Delta_i &= F_i(h_i^i + v_i^i, h_i + v_i) \\ m_{\Delta_i} &= m_{F_i} = \pm \mu_0 \sqrt{\left[ \frac{\varphi\varphi}{p} \cdot q \right]} \end{aligned} \quad (3.52)$$

în care:  $\varphi$  - derivatele parțiale ale funcției  $F$  în raport de mărimile observate

$$q - \text{numărul succesiv al ultimei reducții a expresiei } \left[ \frac{\varphi\varphi}{p} \right]$$

### 3.7.2. CALCULUL TASĂRIILOR PRIN METODA MĂSURĂTORILOR INDIRECTE

Pentru aplicarea metodei măsurătorilor indirecte, se pornește de la ecuația stabilită în cazul observațiilor condiționate, respectiv:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} + h_i' - h_i \quad (3.53)$$

Se introduc corecțiile observațiilor și se obține:

$$\begin{aligned} -\Delta_{i-1} + \Delta_i + (h_i + v_i - h_i' - v_i') &= 0 \\ v_i - v_i' - \Delta_{i-1} + \Delta_i + (h_i - h_i') &= 0 \end{aligned} \quad (3.54)$$

Se obține o ecuație de condiție pentru diferență de nivel măsurată de două ori, în care  $\Delta_{i-1}$  reprezintă deplasarea reperului din spate, iar  $\Delta_i$  deplasarea reperului din față.

Se poate scrie un sistem de ecuații de tipul celui de mai sus și apoi rezolvat se obțin deplasările diferitelor puncte din rețeaua de nivelment. Această rezolvare poate fi urmărită și în cazul determinării deplasărilor orizontale ale punctelor de observație (stațiilor) ale construcțiilor.

Considerăm că  $M_1^0, M_2^0, \dots, M_n^0$  sunt valori medii ale unor mărimi determinate direct (rezultate din măsurători directe), iar  $x_1, x_2, \dots, x_h$ , mărimi ce urmează a fi determinate indirect.

Presupunem că între mărimile fizice măsurate direct și mărimile determinate, există următoarele relații:

$$\begin{aligned} M_i^0 + v_i &= F_i(x_1, x_2, \dots, x_h) \\ i &= 1, 2, \dots, n \text{ și } n > h \end{aligned} \quad (3.55)$$

Considerația că  $n > h$  (adică numărul ecuațiilor de condiție să fie mai mare decât numărul necunoscutelor) se impune în vederea depistării eventualelor greșeli cât și pentru mărirea preciziei.

Problema care se pune este, ca din sistemul (3.55) să se deducă cele mai bune valori  $x_1, x_2, \dots, x_h$ .

Dacă măsurătorile  $M_i^0$  ar fi perfect riguroase (neafectate de erori), acest sistem s-ar prezenta sub forma:

$$\begin{aligned} M_i^0 &= F_i(x_1, x_2, \dots, x_h) \\ i &= 1, \dots, n \text{ și } n > h \end{aligned} \quad (3.56)$$

Acest sistem ar fi compatibil și rezolvabil, în raport cu necunoscutele  $x_1, x_2, \dots, x_h$ . Deci, operațiile de măsurare s-ar reduce la atâtea măsurători câte necunoscute sunt.

În practică însă, măsurătorile de orice natură sunt afectate în mod inerent de erori.

Datorită acestor erori de măsurare, sistemul (3.55) este incompatibil, de aceea mărimilor măsurate direct trebuie să li se aplice niște corecții “ $v_i$ ” astfel ca sistemul să devină compatibil cu necunoscutele  $x_1, x_2, \dots, x_h$ .

Valorile cele mai probabile ale corecțiilor se determină aplicând metoda celor mai mici pătrate. Deci mărimile “ $v_i$ ” reprezintă corecțiile ce trebuie aplicate mărimilor măsurate direct, pentru a fi satisfăcute toate ecuațiile de tipul (3.56) ce pot fi întocmite pentru rezolvarea unei anumite probleme.

### 3.7.2.1. Liniarizarea ecuațiilor

În majoritatea cazurilor funcțiile  $F_i$  din relația (3.55) nu sunt liniare, compensarea este foarte greoaie. Pentru ușurarea calculelor de compensare, aceste ecuații se aproximează cu ecuații liniare, obținute prin dezvoltare în serie Taylor, în vecinătatea unor valori  $x_i^0$ , apropiate de cele adevărate.

Aceste valori apropiate  $x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0$ , se cunosc fie dintr-o măsurătoare anterioară, fie prin rezolvarea sistemului în care se iau în considerație numai  $h$  ecuații și se consideră  $v_i=0$ .

Valorile probabile ale necunoscutelor vor fi:

$$X_i = x_i^0 + x_i \quad i=1, 2, \dots, h \quad (3.57)$$

în care:  $x_i$  reprezintă corecții ce urmează a fi determinate prin procesul de compensare.

Aceste corecții însă, trebuie să fie suficient de mici, astfel încât în dezvoltarea în serie să putem neglija termenii de ordinul II și mai mari.

Se obține:

$$M_i^0 + v_i = F_i(x_1^0 + x_1, x_2^0 + x_2, \dots, x_h^0 + x_h) \quad (3.58)$$

Deci, corecția:

$$v_i = F_i(x_1^0 + x_1, x_2^0 + x_2, \dots, x_h^0 + x_h) - M_i^0 \quad (3.59)$$

Dezvoltând această expresie în serie Taylor și neglijând termenii de ordinul II și superiori, rezultă:

$$v_i \cong F_i(x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0) - M_i^0 + \left( \frac{\partial F_i}{\partial x_1} \right)_0 x_1 + \left( \frac{\partial F_i}{\partial x_2} \right)_0 x_2 + \dots + \left( \frac{\partial F_i}{\partial x_h} \right)_0 x_h \quad (3.60)$$

$$i=1, \dots, n$$

Se fac următoarele notații:

$$\left( \frac{\partial F_i}{\partial x_1} \right)_0 = a_i,$$

$$\left( \frac{\partial F_i}{\partial x_2} \right)_0 = b_i$$

.....

$$\left( \frac{\partial F_i}{\partial x_h} \right)_0 = h_i$$

$$F_i(x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0) - M_i^0 = l_i \quad (3.61)$$

Cu aceste notații expresia (3.59) devine:

$$v_i = a_i X_1 + b_i X_2 + \dots + h_i X_h + l_i \quad (3.62)$$

$$i=1, \dots, n \text{ și } n > h$$

Această relație poartă denumirea de sistemul liniar al ecuațiilor de corecții.

*Observații:*

1. Fiecare măsurătoare generează câte o ecuație de corecție.
2. Din expresiile coeficienților și a termenului liber se observă că mărimea măsurată direct  $M_i^0$ , deci cea care este afectată de erori intervine numai în termenul liber. Rezultă deci, că eroarea unei ecuații de corecție este egală cu eroarea termenului liber, iar coeficienții  $a_i, b_i, \dots, h_i$  se consideră constante lipsite de erori.
3. Dacă mărimile măsurate direct  $M_i^0$  sunt determinate cu aceeași precizie atunci și ecuațiile sistemului liniar vor fi de aceeași precizie. În caz contrar, vom avea un sistem liniar al ecuațiilor corecțiilor ponderate.
4. Sistemul liniar poate fi înmulțit cu aceeași constantă, rezultatul final rămânând neschimbat. În cazul în care ecuațiile sistemului liniar ar fi înmulțite cu constante diferite, s-ar modifica și ponderile în mod diferit.
5. Sistemele ponderate (de precizii diferite) pot fi reduse la sisteme neponderate, dacă fiecare ecuație se multiplică cu  $\sqrt{p_i}$ , adică:

$$\bar{v}_i = v_i \sqrt{p_i} = a_i \sqrt{p_i} x_1 + b_i \sqrt{p_i} x_2 + \dots + h_i \sqrt{p_i} x_h + l_i \sqrt{p_i} \quad (3.63)$$

6. Din expresia termenului liber:  $l_i = F_i(x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0) - M_i^0$ , rezultă regula practică de calcul a acesteia: termenul liber = valoare calculată – valoare măsurată.
7. Dacă coeficienții unei necunoscute, spre exemplu  $a_i$  sunt mult mai mici sau mai mari decât  $b_i, c_i, \dots, h_i$ , atunci pentru necunoscuta  $x_i$  se poate introduce o necunoscută auxiliară. Pentru a nu se modifica sistemul liniar al ecuațiilor de corecție, se va împărți coeficientul  $a_i$  cu  $10^n$ , rezultând relația:

$$v_i = \frac{a_i}{10^n} X_1^* + b_i X_2 + c_i X_3 + \dots + h_i X_h + l_i \quad (3.64)$$

Din rezolvarea sistemului normal va rezulta  $X_1$ , apoi deducem relația:

$$X_1 = X_1^* \cdot 10^n \quad (3.65)$$

**3.7.2.2. Obținerea sistemului normal în cazul măsurătorilor indirecte de aceeași precizie**

Din sistemul liniar al ecuațiilor de corecții în care presupunem că toate ecuațiile au aceeași pondere, valorile cele mai probabile ale corecțiilor se deduc utilizând metoda celor mai mici pătrate, adică:

$$[vv] = \min. \tag{3.66}$$

Dacă în acest sistem înlocuim valorile corecțiilor  $v_i$  obținem:

$$\begin{aligned} [vv] = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = & + (a_1x_1 + b_1x_2 + \dots + h_1x_h + l_1)^2 + \\ & + (a_2x_1 + b_2x_2 + \dots + h_2x_h + l_2)^2 + \\ & + \dots + \\ & + (a_nx_1 + b_nx_2 + \dots + h_nx_h + l_n)^2 = \min \end{aligned} \tag{3.67}$$

Aceasta reprezintă o funcție de  $x$ , adică:

$$[vv] = F(x_1, x_2, \dots, x_h) \tag{3.68}$$

Pentru determinarea minimumului acestei funcții de mai multe variabile, trebuie ca derivatele parțiale de ordinul întâi ale funcției în raport cu fiecare din necunoscute să fie zero.

Efectuând aceste derivate obținem:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x_1} = & 2a_1(a_1x_1 + b_1x_2 + \dots + h_1x_h + l_1) + \\ & + 2a_2(a_2x_1 + b_2x_2 + \dots + h_2x_h + l_2) + \\ & + \dots + \\ & 2a_n(a_nx_1 + b_nx_2 + \dots + h_nx_h + l_n) = 0. \end{aligned} \tag{3.69}$$

Această derivată parțială se mai poate scrie și sub forma:

$$[av] = 0 \tag{3.70}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x_2} = & 2b_1(a_1x_1 + b_1x_2 + \dots + h_1x_h + l_1) + \\ & + 2b_2(a_2x_1 + b_2x_2 + \dots + h_2x_h + l_2) + \\ & + \dots + \\ & 2b_n(a_nx_1 + b_nx_2 + \dots + h_nx_h + l_n) = 0 \end{aligned} \tag{3.71}$$

sau:  $[bv] = 0 \tag{3.72}$

Analog se calculează și celelalte derivate, ultima fiind:



Tabel 3.3 - Tabloul coeficienților ecuațiilor normale

$[aa]$	$[ab]$	.....	$[ah]$	$[al]$	$[as]$	Control
	$[bl]$	.....	$[bh]$	$[bl]$	$[bs]$	
		.....	.....	.....	.....	.....
			$[hh]$	$[hl]$	$[hs]$	
				$[ll]$	$[ls]$	

Pentru calculul corect al coeficienților sistemului normal se fac următoarele controale: în tabloul coeficienților ecuațiilor de corecție, se fac sumele atât pe orizontală (pentru fiecare ecuație) cât și pe verticală, sumele generate  $[S]$  și  $\Sigma_i$  trebuind să fie identice.

**3.7.2.3. Rezolvarea sistemelor de ecuații normale**

Metodele de rezolvare a sistemelor liniare se împart în două grupe:

1. *Metode exacte*, care dau un algoritm finit pentru calculul soluției (exemplu: regula lui Cramer, metoda eliminării succesive a lui Gauss).

2. *Metode iterative*, care permit găsirea soluției cu o eroare oricât de mică dar nenulă printr-un proces unic numit proces de iterație.

Metodele iterative sunt simple și comode în cazul în care se folosesc calculatoarele electronice.

*Rezolvarea sistemelor de ecuații normale prin metoda eliminării a lui Gauss.*

Considerăm un sistem normal de 3 ecuații:

$$\begin{aligned}
 [aa]x_1 + [ab]x_2 + [ac]x_3 + [al] &= 0 \\
 [ab]x_1 + [bb]x_2 + [bc]x_3 + [bl] &= 0 \\
 [ac]x_1 + [bc]x_2 + [cc]x_3 + [cl] &= 0
 \end{aligned}
 \tag{3.77}$$

Metoda de rezolvare constă din reducerea de necunoscute, prin eliminări succesive:

Din prima ecuație a sistemului se scoate necunoscuta “ $x_1$ ” și se introduce în celelalte două:

$$x_1 = -\frac{[ab]}{[aa]}x_2 - \frac{[ac]}{[aa]}x_3 - \frac{[al]}{[aa]}
 \tag{3.78}$$



$$\begin{aligned}
& [ab] \left( -\frac{[ab]}{[aa]} x_2 - \frac{[ac]}{[aa]} x_3 - \frac{[al]}{[aa]} \right) + [bb]x_2 + [bc]x_3 + [bl] = 0 \\
& -\frac{[ab]^2}{[aa]} x_2 - \frac{[ab][ac]}{[aa]} x_3 - \frac{[ab][al]}{[aa]} + [bb]x_2 + [bc]x_3 + [bl] = 0 \\
& \left\{ [bb] - \frac{[ab]^2}{[aa]} \right\} x_2 + \left\{ [bc] - \frac{[ab][ac]}{[aa]} \right\} x_3 + \left\{ [bl] - \frac{[ab][al]}{[aa]} \right\} = 0
\end{aligned} \tag{3.79}$$

În cea de-a treia ecuație vom obține:

$$\begin{aligned}
& [ac] \left( -\frac{[ab]}{[aa]} x_2 - \frac{[ac]}{[aa]} x_3 - \frac{[al]}{[aa]} \right) + [bc]x_2 + [cc]x_3 + [cl] = 0 \\
& -\frac{[ab][ac]}{[aa]} x_2 - \frac{[ac]^2}{[aa]} x_3 - \frac{[ac][al]}{[aa]} + [bc]x_2 + [cc]x_3 + [cl] = 0 \\
& \left\{ [bc] - \frac{[ab][ac]}{[aa]} \right\} x_2 + \left\{ [cc] - \frac{[ac]^2}{[aa]} \right\} x_3 + [cl] - \frac{[ac][al]}{[aa]} = 0
\end{aligned} \tag{3.80}$$

Notăm:

$$\begin{aligned}
& [bb] - \frac{[ab]^2}{[aa]} = [bb.1] \\
& [bc] - \frac{[ab][ac]}{[aa]} = [bc.1] \\
& [bl] - \frac{[ab][al]}{[aa]} = [bl.1] \\
& [cc] - \frac{[ac][ac]}{[aa]} = [cc.1]; \\
& [cl] - \frac{[ac][al]}{[aa]} = [cl.1]
\end{aligned} \tag{3.81}$$

Aceste expresii poartă denumirea de *algoritmii Gauss* de ordinul I. Cu ajutorul lor, ecuațiile se vor scrie:

$$\begin{aligned}
& [bb.1]x_2 + [bc.1]x_3 + [bl.1] = 0 \\
& [bc.1]x_2 + [cc.1]x_3 + [cl.1] = 0
\end{aligned} \tag{3.82}$$

În continuare, vom elimina necunoscuta  $x_2$  procedând analog: din prima ecuație scoatem  $x_2$  și înlocuim în cea de-a doua:

$$x_2 = -\frac{[bc.1]}{[bb.1]}x_3 - \frac{[bl.1]}{[bb.1]} \quad (3.83)$$

Rezultă:

$$\begin{aligned} [bc.1] \left( -\frac{[bc.1]}{[bb.1]}x_3 - \frac{[bl.1]}{[bb.1]} \right) + [cc.1]x_3 + [cl.1] &= 0 \\ -\frac{[bc.1]^2}{[bb.1]}x_3 - \frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]} + [cc.1]x_3 + [cl.1] &= 0 \\ \left\{ [cc.1] - \frac{[bc.1]^2}{[bb.1]} \right\} x_3 + \left\{ [cl.1] - \frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]} \right\} &= 0 \end{aligned} \quad (3.84)$$

Adoptând următoarele notații:

$$\begin{aligned} [cc.1] - \frac{[bc.1]^2}{[bb.1]} &= [cc.2] \\ [cl.1] - \frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]} &= [cl.2] \end{aligned} \quad (3.85)$$

care poartă denumirea de *algoritmi Gauss* de ordinul II, ecuația finală va fi:

$$[cc.2]x_3 + [cl.2] = 0 \quad (3.86)$$

$$\text{Rezultă: } x_3 = -\frac{[cl.2]}{[cc.2]} \quad (3.87)$$

Prin eliminări succesive am reușit să aducem sistemul la o formă triunghiulară.

Pornind în ordine inversă, se determină apoi  $x_2$  și  $x_1$ .

Toate calculele se fac într-un tabel numit *schema lui Gauss-Doolittle*.

Tabel 3.4 - Schema lui Gauss-Doolittle redusă

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$L$	$S$	Control
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$[aa]$	$[ab]$	$[ac]$	$[al]$	$[as]$	--
-1	$-\frac{[ab]}{[aa]}$	$-\frac{[ac]}{[aa]}$	$-\frac{[al]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	Se adună coloanele 1+2+3+4=5
	$[bb]$	$[bc]$	$[bl]$	$[bs]$	--
	$[bb.1]$	$[bc.1]$	$[bl.1]$	$[bs.1]$	Se adună coloanele 2+3+4=5
	-1	$-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	Se adună coloanele 2+3+4=5
		$[cc]$	$[cl]$	$[cs]$	--
		$[cc.2]$	$[cl.2]$	$[cs.2]$	Se adună coloanele 3+4=5
		-1	$-\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	Se adună coloanele 3+4=5

Relația de verificare a soluțiilor obținute:

$$[(S - L)x_i] = -[L] \quad (3.88)$$

Soluțiile se mai pot verifica introducându-le în toate ecuațiile, pe care trebuie să le satisfacă. Această verificare va fi satisfăcută în limita preciziei de calcul - precizie care depinde de numărul de cifre utilizat în calcule, de numărul ecuațiilor și mai ales de conformarea sistemului.

Se prezintă mai jos modul de calcul în schema Gauss-Doolittle:

- se înscriu coeficienții ecuațiilor normale în liniile:

- pentru ecuația I în linia (1)
- pentru ecuația II în linia (3)
- pentru ecuația III în linia (6)

Datorită faptului că sistemul este simetric este suficient să se înscrie coeficienții de pe diagonală și cei de deasupra.

- Se împarte linia (1) cu coeficientul  $[aa]$ , obținându-se linia (2) care nu reprezintă altceva decât prima ecuație eliminatorie.

- Linia (4), care reprezintă ecuația sistemului redus odată, se obține astfel:

-se ia drept *PIVOT* elementul din linia (2) coloana (2), adică  $-\frac{[ab]}{[aa]}$ , se înmulțește succesiv cu

elementele din linia (1), iar la aceste valori se adaugă coeficienții din linia (3).

- Linia (5) rezultă din linia (4), care se împarte cu  $-[bb.1]$  și reprezintă ecuația eliminatorie.

- Pentru deducerea algoritmilor Gauss de ordinul III din linia (7) -linie ce reprezintă ecuația redusă de două ori, se procedează astfel:

-se vor considera doi pivoți și anume:

elementul din linia (2) coloana (3), adică  $-\frac{[ac]}{[aa]}$  și  $-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}$ . Acești pivoți se înmulțesc

succesiv cu elementele din linia de deasupra lor, se adună aceste produse și apoi se însumează și cu elementele corespunzătoare din linia (6).

$$[cl.2] = -\frac{[ac]}{[aa]} \times [al] + \left\{ -\frac{[bc.1]}{[bb.1]} \times [bl.1] \right\} + [cl] \quad (3.89)$$

Controlul obligatoriu al acestei linii (7) este:

$$[cc.2] + [cl.2] = [cs.2] \quad (3.90)$$

- Linia (8) se deduce din (7), împărțind-o pe aceasta cu  $-[cc.2]$ .

- Se deduc necunoscutele în următoarea ordine:

- din linia (8) rezultă direct  $x_3 = -\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$  (3.91)

- din linia (5) se deduce  $x_2$ , iar din linia (2) se determină și  $x_1$ .

### 3.8. EVALUAREA PRECIZIEI MĂSURĂTORILOR CU AJUTORUL ELIPSEI ERORILOR

La măsurătorile de precizie, pe lângă valorile probabile ale mărimilor măsurate sau deduse indirect ne interesează și precizia acestora. Această problemă se pune deci și în cazul rețelelor geodezice.

Poziția planimetrică a unui punct în urma compensării depinde de doi parametri:  $X$  și  $Y$ , deci avem de-a face cu un sistem bidimensional de încredere care reprezintă o *elipsă*.

Erorile medii pătratice  $m_x$  și  $m_y$  calculate în urma compensării își schimbă însă valorile la o rotație a axelor de coordonate ceea ce produce o neuniformitate în aprecierea preciziei.

În acest caz este necesar să se construiască elipsa erorilor, care este independentă de sistemul de axe ales. Cu ajutorul elipsei erorilor putem determina erorile în poziția punctelor pentru orice direcție (deci și pentru direcția axelor de coordonate) cât și direcțiile pentru care erorile sunt maxime sau minime.

Semiaxele elipsei și unghiurile acestora cu axele de coordonate se pot determina cu ajutorul unui sistem rectangular  $u, v$ , rotit cu unghiul  $\varphi$  față de sistemul inițial  $XY$ .

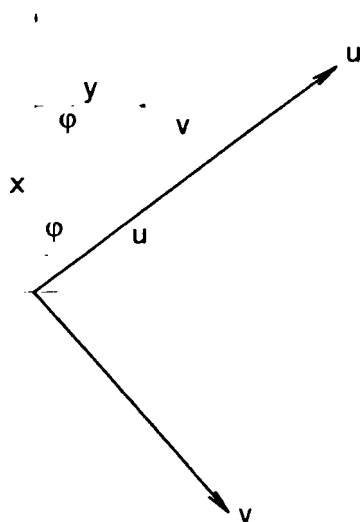


Figura 3.6 – Elementele elipsei erorilor

Coordonatele unui punct  $P$  în sistemul  $uv$  în funcție de coordonatele  $XY$  vor fi:

$$u = X \cos \varphi + Y \sin \varphi$$

$$v = -X \sin \varphi + Y \cos \varphi \quad (3.92)$$

Se observă că  $u$  este o funcție liniară de  $X$  și  $Y$ , mărimi determinate indirect.

Pentru determinarea erorii lui  $u$  se aplică formula erorii unei funcții de mărimi determinate indirect. Se obține:

$$Q_{uu} = Q_{xx} \cos^2 \varphi + 2Q_{xy} \sin \varphi \cos \varphi + Q_{yy} \sin^2 \varphi \quad (3.93)$$

iar eroarea medie:  $m_u = \pm m \sqrt{Q_{uu}}$

Valorile maxime sau minime ale funcției se obțin pentru  $\frac{\partial Q_{uu}}{\partial \varphi} = 0$

Relația mai poate fi scrisă și sub forma:

$$Q_{uu} = \frac{Q_{xx} + Q_{yy}}{2} (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) + \frac{Q_{xx} - Q_{yy}}{2} (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) + Q_{xy} \sin 2\varphi \quad (3.94)$$

$$Q_{uu} = \frac{Q_{xx} + Q_{yy}}{2} + \frac{Q_{xx} - Q_{yy}}{2} \cos 2\varphi + Q_{xy} \sin 2\varphi$$

Calculând derivata în raport cu  $\varphi$  se obține:

$$\frac{\partial Q_{uu}}{\partial \varphi} = -(Q_{xx} - Q_{yy}) \sin 2\varphi + 2Q_{xy} \cos 2\varphi = 0 \quad (3.95)$$

de unde rezultă:  $tg 2\varphi = \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}}$  (3.96)

Cele două direcții obținute sunt ortogonale:  $(\varphi)$  reprezintă unghiul format de axa  $OX$  cu direcția semiaxe mari a elipsei;  $(\varphi + \frac{\pi}{2})$  dă valoarea minimă, adică unghiul format de axa  $OX$  cu semiaxa mică. Elipsa erorilor reprezintă un invariant al erorilor în poziția planimetrică a unui punct. Având construită elipsa erorilor într-un punct putem determina eroarea pe orice direcție pe cale grafică astfel:

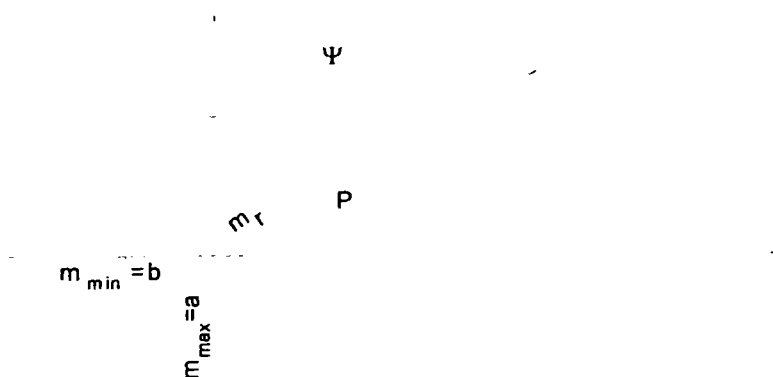


Figura 3.7 – Reprezentarea grafică a elipsei erorilor

Se coboară o perpendiculară pe direcția  $r$  tangentă la elipsă, mărimea erorii  $m_r$  fiind egală cu segmentul cuprins între centrul elipsei și piciorul perpendicularei ( $OP$ ).

Analitic, acest segment are valoarea dată de:

$$\begin{aligned} m_r^2 &= a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi \\ m_r^2 &= m_{\max}^2 \cos^2 \varphi + m_{\min}^2 \sin^2 \varphi \end{aligned} \quad (3.97)$$

Un caz particular al acestei relații avem când: ....  $\varphi = 0$ , rezultă  $m_r = m_x$

$$\varphi = 90^\circ, \text{ rezultă } m_r = m_y$$

adică proiecțiile elipsei pe direcția  $X$  și  $Y$ .

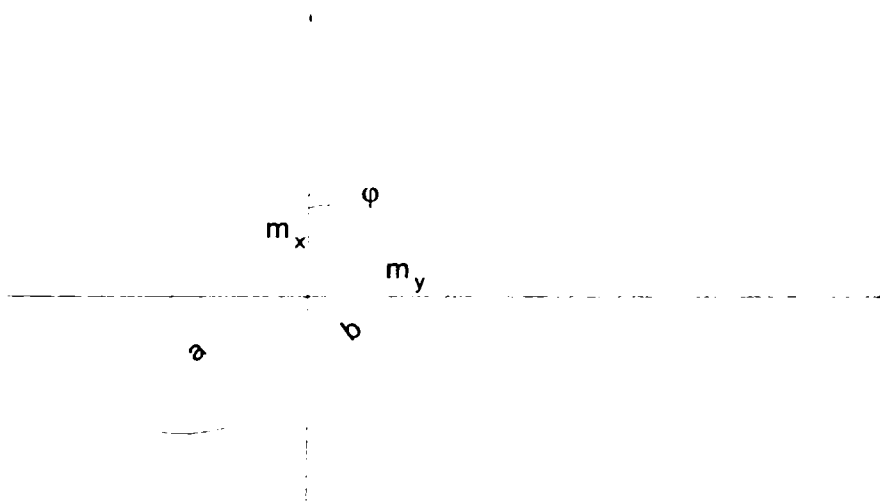


Figura 3.8 – Unghiul de rotație al elipsei erorilor

Forma generală a unei conice este dată de ecuația algebrică de gradul II:

$$f(xy) = a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0 \quad (3.98)$$

Eroarea pe o direcție care face unghiul  $\varphi$  cu axele de coordonate s-a văzut că este:

$$Q_{uu} = Q_{xx} \cos^2 \varphi + 2Q_{xy} \sin \varphi \cos \varphi + Q_{yy} \sin^2 \varphi \quad (3.99)$$

Din comparația celor două relații rezultă:

$$x = \cos \varphi$$

$$y = \sin \varphi \quad (3.100)$$

Invariantii ortogonali ai conice sunt:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}; \quad \delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}, \quad \eta = a_{11} + a_{22} \quad (3.101)$$

În cazul exemplificat:

$$\Delta = \begin{vmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & 0 \\ Q_{xy} & Q_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad \delta = \begin{vmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} \\ Q_{xy} & Q_{yy} \end{vmatrix} \quad \eta = Q_{xx} + Q_{yy} \quad (3.102)$$

Deoarece  $Q_{xy} = Q_{yx}$  și  $a_{13} = a_{23} = a_{33} = 0$

se obține:

$$\Delta = \delta = \begin{vmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} \\ Q_{xy} & Q_{yy} \end{vmatrix} = Q_{xx}Q_{yy} - Q_{xy}^2 \quad (3.103)$$

$$\eta = Q_{xx} + Q_{yy}$$

$$\Delta \neq 0$$

$$\eta\delta < 0 \Rightarrow \text{elipsa reală}$$

Forma canonică a unei conice este:

$$S_1X^2 + S_2Y^2 - \frac{\Delta}{\delta} = 0 \quad (3.104)$$

unde  $S_1$  și  $S_2$  sunt valorile proprii obținute ca soluții ale ecuației caracteristice:

$$\begin{vmatrix} a_{11} - S & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - S \end{vmatrix} = 0 \quad \text{sau:} \quad S^2 - \eta S + \delta = 0 \quad (3.105)$$

Pentru cazul exemplificat avem următoarea ecuație:

$$S^2 - (Q_{xx} + Q_{yy})S + Q_{xx}Q_{yy} - Q_{xy}^2 = 0 \quad (3.106)$$

Această ecuație are soluțiile:

$$S_{1,2} = \frac{Q_{xx} + Q_{yy}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(Q_{xx} + Q_{yy})^2 - 4(Q_{xx}Q_{yy} - Q_{xy}^2)}$$

$$S_{1,2} = \frac{Q_{xx} + Q_{yy}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2} \quad (3.107)$$

$S_1$  reprezintă  $Q_{uu}$  maxim

$S_2$  reprezintă  $Q_{uu}$  minim

Relațiile de mai sus ne permit să determinăm semiaxele elipsei și anume:

$$a = \sigma_0 \sqrt{Q_{uu}(\max)}$$

$$b = \sigma_0 \sqrt{Q_{uu}(\min)} \quad (3.108)$$

Soluțiile ecuației  $S^2 - (Q_{xx} + Q_{yy})S + Q_{xx}Q_{yy} - Q_{xy}^2 = 0$  sunt întotdeauna reale și pentru

că  $\Delta = \delta$ , ecuația canonică se va scrie sub forma:  $S_1X^2 + S_2Y^2 - 1 = 0$ .



## CAPITOLUL 4

# INSTRUMENTE ȘI TEHNOLOGII TOPO-GEODEZICE MODERNE CU APLICABILITATE LA STUDIUL COMPORTĂRII CONSTRUCȚIILOR

### 4.1. TEODOLITE (TAHIMETRE) ELECTRONICE

Măsurătorile geodezice prin unde, reprezintă o nouă ramură a științei măsurătorilor terestre, care se bazează pe folosirea fenomenelor electromagnetice ondulatorii, din domeniul microundelor radar și a undelor de lumină. Radiațiile din domeniul spectrului undelor electromagnetice constituie mijlocul purtător al informației de măsurare a distanțelor terestre sau cosmice, a direcțiilor orizontale sau verticale, a diferențelor de nivel, dintre punctul de staționare, care reprezintă sursa emițătoare a semnalului și punctele de detaliu definite prin amplasarea reflectorilor de unde electromagnetice.

Valorile mărimilor căutate rezultă prin intermediul timpilor de propagare necesari semnalelor de măsurare să parcurgă spațiul dintre capetele distanței ce urmează a fi măsurată. Prin dezvoltarea domeniului electronicii aplicate la realizarea instrumentelor topografice cu unde electromagnetice, a făcut posibilă crearea de aparate electronice de măsurat care permit determinarea elementelor necesare cu precizii milimetrice sau submilimetrice în rezoluția distanțelor, mărimilor liniare și a preciziilor subsecundare (zecimi, sutimi și miimi de secundă) în cazul mărimilor unghiulare.

Folosindu-se proprietățile microundelor radar din domeniul centimetric și milimetric precum și a radiațiilor luminoase din domeniul vizibil și invizibil al spectrului undelor electromagnetice, s-au dezvoltat noi tehnologii optico-electronice pentru măsurători de distanțe și unghiulare cu mare rapiditate și precizie care să satisfacă cerințele impuse de lucrările cu caracter topografic, topografic-ingineresc și geodezic.

Această dezvoltare continuă a tehnologiilor optico-electronice de măsurare a distanțelor și valorilor unghiulare, conduce astăzi la formarea și dezvoltarea unor noi concepte în modul de construcție, exploatare și interpretare a rețelelor geodezice cu aplicabilitate dintre cele mai variate scopuri și particularități:

- crearea rețelelor de trilateratie – prin realizarea exclusivă a măsurătorilor liniare și determinarea poziției punctelor pe suprafața terestră în anumite sisteme de referință pe baza măsurătorilor de distanțe;
- crearea și exploatarea în timp a rețelelor cu caracter ingineresc, cu aplicabilitate directă la studiul comportării în timp a construcțiilor, posibilitatea urmăririi, măsurării și interpretării rezultatelor în diverse moduri;
- crearea rețelelor de triangulație – prin realizarea măsurătorilor unghiulare și îndesirea succesivă a rețelelor de ordin superior.

Aplicabilitatea tehnicilor și măsurătorilor electronice prin unde se întâlnesc într-o gamă foarte mare de domenii, noile tehnologii răspunzând cerințelor impuse de calitate și preciziei conferite măsurătorilor efectuate după cum urmează:

- realizarea de măsuratori în condiții de laborator și cu caracter industrial: poziționare axe turbine, determinarea deformațiilor unor piese componente a utilajelor de exploatare;
- montarea liniilor tehnologice moderne de înaltă precizie;
- construcția și urmărirea centralelor nucleare;
- montarea agregatelor termoelectrice și hidroenergetice de mare putere;
- studii asupra alunecărilor de teren și deplasărilor tectonice ale scoarței terestre;
- cercetări geodezice asupra formei și dimensiunilor Pământului.

Instrumentele care folosesc în determinarea valorilor căutate undele electromagnetice, poartă denumirea de tahimetre electrooptice sau tahimetre electronice.

Dezvoltarea continuă a tehnologiei privind construcția și funcționarea acestor instrumente a făcut ca tahimetrele electronice să reprezinte astăzi instrumentele geodezice cele mai des folosite în practica curentă.

Evoluția acestora, în special a părții electronice, a condus în timp la utilizarea denumirii de *stație totală*, care pe lângă funcția de măsurare a elementelor caracteristice (distanțe, direcții orizontale, unghiuri verticale, diferențe de nivel), oferă o serie de caracteristici care au definit-o sub conceptul de stație totală, și anume:

- oferă o serie de controale și calcule realizabile direct pe teren (avertizarea automată atunci când instrumentul se decalează, prelucrarea și afișarea coordonatelor punctelor supuse ridicării topografice, prelucrarea automată a măsurătorilor și oferirea unor mărimi determinate în mod indirect);
- stocarea automată a datelor măsurate în memoria internă proprie a instrumentului;
- transferul automat al inventarului de date în unitățile periferice (calculatoare) de prelucrare;

- dotarea cu diferite programe de calcul specifice unor tipuri de lucrări din domeniul topografiei, topografiei inginerești;
- prelucrarea automată a datelor măsurate și afișarea valorilor cele mai probabile a mărimilor căutate cât și mărimea erorilor maxime admisibile în determinările realizate;
- transformarea și afișarea datelor prelucrate în format grafic (CAD) prin poziționarea și reprezentarea într-un sistem de proiecție a punctelor ce definesc detaliile din teren.

Un instrument tip stație totală, este din punct de vedere constructiv, identic cu un teodolit clasic, pe suprastructura s-a fiind încorporată unitatea electronică cu emițătorul de unde electromagnetice, și este alcătuit din:

- *Infrastructura* – partea fixă a instrumentului:

- ambaza – care permite fixarea pe trepied;
- șuruburi de ajustare a nivelei sferice și nivelei torice;
- clema de fixare în ambaza a instrumentului;
- nivela sferică.

- *Suprastructura* – partea mobilă a instrumentului care se poate roti în jurul axei principale (verticale) a instrumentului:

- conectorul interfaței electronice;
- panoul de comandă al instrumentului – partea electronică constituită din tastatură cu funcții numerice și alfanumere și display-ul (ecranul) de vizualizare a elementelor măsurate;
- nivela torică a instrumentului;
- șurub pentru mișcarea fină pe orizontală și verticală;
- șurub pentru blocarea mișcării pe orizontală și verticală a instrumentului;
- marcajul ce indică punctul central de intersecție al axelor – verticală cu cea orizontală;
- luneta stației totale.

Procedeu de lucru cu tahimetrul electronic impune realizarea și urmarea următorului procedeu de lucru:

- conectarea bateriei la aparat;
- centrarea instrumentului pe punctul de stație;
- calarea grosieră cu nivela sferică și calarea fină a aparatului cu ajutorul nivelei torice;
- măsurarea înălțimii instrumentului în punctul de stație;
- punerea în funcțiune a tahimetrului electronic prin comutarea tastei ON.

Un echipament complet al unui tahimetru electronic se compune din următoarele elemente:

- stația totală propriu-zisă;
- reflectorul (sistemul de prisme) – dispozitivul care se amplasează în punctul ce se dorește a fi determinat și are rolul de a întoarce (reflecta) undele electromagnetice în unitatea emitentă;
- trepiedul;
- bastoane gradate culisabile – permite montarea prisme la înălțimea dorită.



Figura 4.1 – Tipuri de reflectoare optice

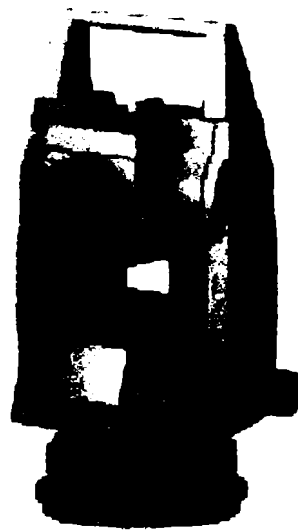
Tahimetrele electronice permit rezolvarea unor game foarte diverse de aplicații topografice. În cazul urmăririi și măsurării în timp a comportării unei construcții, stațiile totale rezolvă cu precizii ridicate problemele legate de crearea și verificarea periodică a variației și deplasărilor verticale și orizontale a punctelor de staționare care definesc rețeaua de sprijin a obiectivului supus observării. Caracteristicile principale ale tahimetrelor electronice se pot rezuma după cum urmează în tabelul 4.1:

Tabel 4.1 – Caracteristici tahimetre (teodolite) electronice

CARACTERISTICI TAHIMETRE ELECTRONICE	SERIA ELTA ZEISS JENA	SERIA GTS TOPCON	SERIA TCR LEICA	SERIA S GEODIMETER
Precizia de măsurare a distanței	2 – 5 mm ± 2 ppm	2-3 mm ± 2 ppm	2 – 3 mm ± 2 ppm	3 – 5 mm ± 2 ppm
Precizia de măsurare a direcțiilor	3 – 5 <sup>cc</sup>	5-15 <sup>cc</sup>	2 – 10 <sup>cc</sup>	3 – 5 <sup>cc</sup>
Domeniul de măsurare	până la 2,5 km	până la 3,2 km	până la 5,5 km	până la 3,2 km
Puterea de rezoluție a lunetei	30-32x	26-30x	30-35x	26-30x
Distanța minimă de vizare	1,20 m	0,90 m	1,20m	1,50 m
Durata unei măsurători	2 – 5 sec	2 - 3 sec	3 – 5 sec	3 – 5 sec
Intervalul de temperatură	- 20 + 50°C	- 20 - + 50°C	- 20 - + 50°C	- 20 - + 50°C
Greutate stație totală	3,6 – 6,8 kg	4,9 – 6,9 kg	5,6 – 6,2 kg	6,3 – 7,2 kg



*Figura 4.2 - Tahimetru electronic TOPCON –Seria GTS*



*Figura 4.3 - Tahimetru electronic LEICA –Seria TCR*



*Figura 4.4 - Tahimetru electronic CarlZeiss – seria ELTA 13C*

## 4.2. NIVELE DIGITALE

Măsurarea periodică, în așa numitele cicluri periodice de observații, a valorilor ce prin prelucrarea ulterioară conduc la determinarea mărimilor tasărilor, deplasărilor orizontale sau a înclinărilor construcției, se realizează și prin utilizarea instrumentelor de nivelment geometric automate digitale.

Nivelele digitale au integrat un sensor electronic dirijat de un microprocesor care interpretează cu o precizie ridicată imaginea unei mire digitale speciale.

Aceste instrumente oferă un randament de lucru foarte ridicat pe teren în prisma faptului că permit înregistrarea automată a citirilor și realizării unor controale și calcule intermediare pe teren cu posibilitatea înregistrării automate a tuturor măsurătorilor efectuate în memoria internă a aparatului sub formă unor linii de informații.

Caracteristicile principale ale nivelelor digitale se pot rezuma după cum urmează în tabelul 4.2:

Tabel 4.2 – Caracteristici nivele digitale

CARACTERISTICI NIVELE DIGITALE	SERIA DINI ZEISS JENA	SERIA NA LEICA	SERIA DL TOPCON
Precizia de măsurare a diferențelor de nivel	± 0,3 mm	± 1,5 mm	± 1 mm
Domeniul de lucru	până la 150 m	până la 120 m	până la 200 m
Puterea de rezoluție a lunetei	32x	24x	32x
Distanța minimă de vizare	1,5 m	1,8 m	2,0 m
Durata unei măsurători	3 sec	4 sec	4 sec
Intervalul de temperatură	- 10 - + 40°C	- 10 - + 40°C	- 10 - + 40°C
Greutate nivelă digitală	3,1 kg	2,5 kg	2,8 kg

Figura 4.5 - Nivelă digitală Sprinter și Leica DiNi 10



Din punct de vedere al timpului de staționare în teren și al numărului de persoane care participă la măsurătorile de profil utilizând tahimetrele electronice sau nivele digitale, utilizarea stațiilor totale solicită un efort minim pentru culegerea rapidă în timp real și precisă a datelor, înregistrarea și memorarea acestora în unitatea de memorie a instrumentului prin participarea unei echipe de lucru formată din 2 persoane, existând însă și tahimetre electronice motorizate, cu fascicule laser și sistem de servodirecție ce implică un singur utilizator care se deplasează cu reflectorul în punctele din teren ce urmează a fi determinate.

### 4.3. RECEPTOARE GPS

Diversitatea lucrărilor de măsurători terestre a făcut necesară dezvoltarea unor tehnologii noi de măsurare, tehnologii care să răspundă cerințelor de calitate și precizie, și care să elimine inconvenientele și dezavantajele pe care le ridică utilizarea stațiilor totale sau a nivelelor digitale:

- existența vizibilității între punctele rețelei de sprijin și punctele de detaliu;
- existența punctelor de ordin superior din rețea geodezică națională în vecinătatea obiectivului aflat în studiu;
- variația parametrilor atmosferici.

În acest sens ultimele două decenii ale secolului XX, a constituit momentul lansării unei noi tehnologii de lucru, cu aplicabilitate în foarte multe ramuri ale măsurătorilor terestre, noua tehnică numindu-se *tehnologii geodezice spațiale*, prin crearea unor metode de lucru sub denumirea de *sisteme de poziționare globală* și a unor instrumente numite *receptoare GPS*.

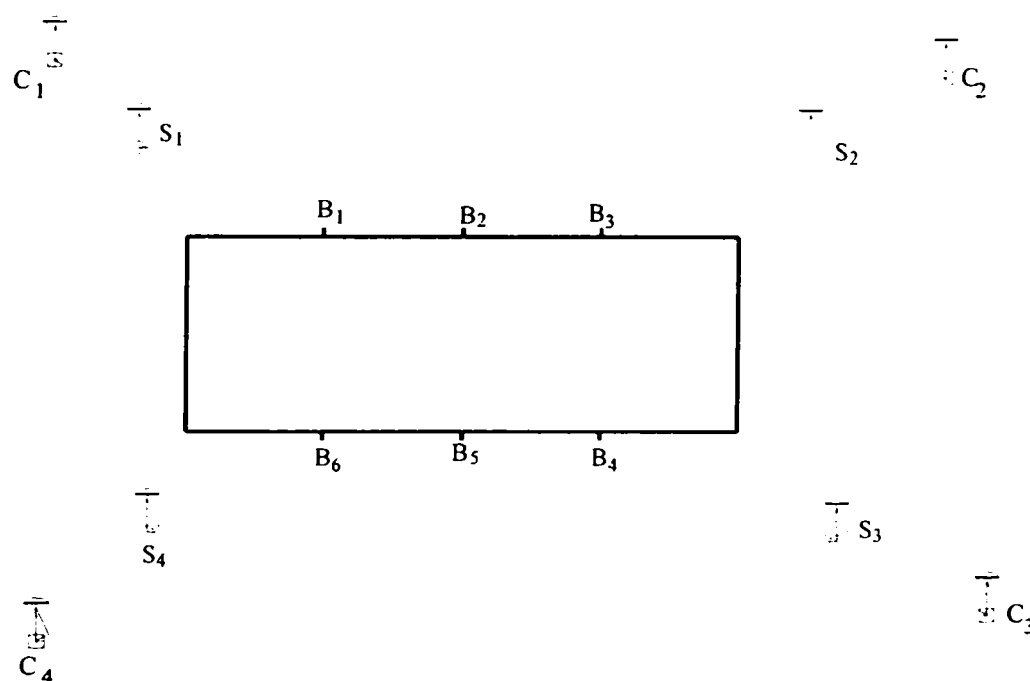
Sistemul de poziționare globală asigură acoperirea întregii suprafețe a Pământului reprezentând astfel un sistem de referință unitar. Aplicabilitatea tehnologiei de poziționare globală se realizează în diferite domenii de activitate ce implică măsurători terestre:

- geodezie, geofizică și geodinamică;
- aplicabilitatea tehnologiei GPS la studiul și urmărirea construcțiilor;
- transporturi;
- teledetecție și aplicații de tip militar.

Sistemele de poziționare globală, oferă utilizatorului, date referitoare la poziția unui punct pe suprafața terestră sau pe obiectul examinat în cazul măsurătorilor topografice speciale inginerești atât din punct de vedere planimetric (coordonate rectangulare  $X, Y$ ) cât și altimetric (cota  $H$ ).

Rețelele determinate cu ajutorul receptoarelor GPS, nu sunt constrânse de anumite aspecte întâlnite în cazul măsurătorilor cu tahimetre electronice sau cu nivele digitale, cum ar fi:

- nu este necesară vizibilitatea între punctele rețelei de sprijin, punctele rețelelor de microtriangulație sau rețelelor de trilateratie;
- permite amplasarea receptoarelor la distanțe mari între puncte;
- operațiile de teren se pot executa în orice sezon, condițiile atmosferice neinfluențând rezultatele obținute în determinările efectuate;
- determinările pot fi realizate atât ziua cât și noaptea.



*Figura 4.6 – Poziționarea receptoarelor GPS în rețelele de sprijin pentru urmărirea construcțiilor*

Utilizarea metodei de poziționare globală implică două aspecte distincte:

- preluarea datelor în teren folosind receptorul GPS pentru culegerea informațiilor de la sateliți;
- prelucrarea datelor automat folosind programe de calcul specializate în acest sens.

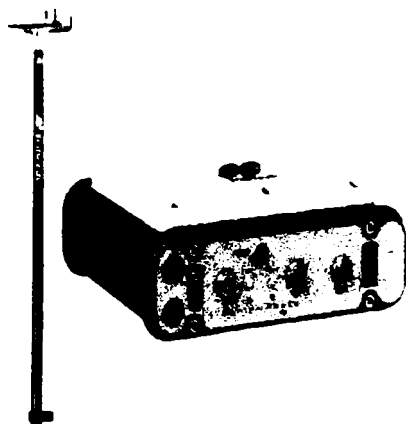
Sistemele de navigație cu sateliți prezintă marele avantaj de a asigura o navigație globală continuă cu un grad de precizie înalt. Dezavantajul sistemelor de poziționare globală îl constituie faptul că puterea semnalului emis de către receptor scade odată cu distanța dintre emițător și receptorul semnalului (cazul măsurătorilor geodezice). Compensarea acestui aspect se realizează prin sincronizarea în timp foarte precisă și alegerea riguroasă a perioadei sesiunii de lucru.

Receptoarele GPS sunt componente principale ale segmentului utilizator și cuprind următoarele piese:

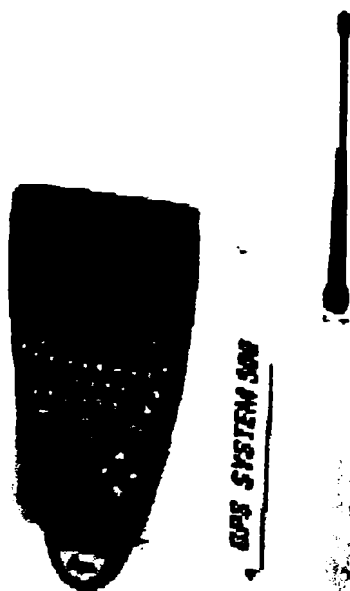
- receptorul GPS propriu-zis;
- antenele receptorului;



- antenele monopoli;
- antene helix;
- antene spiral-helix;
- antene microstrip;
- cablu conector;
- cabluri cu lungimi de 10, 20, 30 m;
- baterie internă și/sau externă.



*Figura 4.7 - Receptor GPS -- seria TOPCON*



*Figura 4.8 - Receptor GPS SYSTEM 500 -- seria LEICA*

*SISTEM DISPONIBIL PE CLĂDIREA FACULTĂȚII DE CONSTRUCȚII DIN TIMIȘOARA  
CU STAȚIE PERMANENTĂ DE ÎNREGISTRARE DATE SATELITARE*

#### 4.4. CONSTELAȚIA GPS

Sistemul GPS a cunoscut trei faze în dezvoltarea sa, după cum urmează:

- *FAZA 1* – Programul de validare a conceptului, perioada 1974-1978;
- *FAZA 2* – Dezvoltarea completă și testarea sistemului în perioada 1978-1992;
- *FAZA 3* – Capacitate operațională deplină după anul 1992.

Perioada fazei 1 a sistemului GPS, a reprezentat-o testarea și verificarea sateliților din Blocul I, experimentali, care au fost înlocuiți în timp, progresiv de sateliții operaționali ai Blocului II, în timpul fazei a doua de dezvoltare a constelației satelitare.

Începând cu anul 1992, sistemul a fost format din 18 sateliți, dispuși în șase planuri orbitale, la o altitudine de 20200 km, asigurându-se astfel vizibilitate la cel puțin 4 sateliți simultan, în orice moment al zilei, în orice punct de pe suprafața terestră.

După lansarea sateliților din Blocul II, sateliții Blocului I au fost dezafecți, la sfârșitul anului 1992 constelația cuprinzând un număr de 21 de sateliți operaționali, în 24 de poziții cu 4 sateliți pe orbite înclinate la  $55^{\circ}$  între ele.

Constelația actuală este formată dintr-un număr de 24 de sateliți operaționali, durata unei revoluții complete fiind de 11 h 58 min.

Apariția tehnologiei GPS a dus și la necesitatea creării în România a unei rețele geodezice de referință GPS, de înaltă precizie, ale cărei puncte să fie determinate și incluse în rețeaua geodezică GPS europeană.



*Figura 4.9 - Dispunerea sateliților pe planuri orbitale*

În cadrul lucrărilor de proiectare și de recunoaștere a terenului, s-a urmărit ca punctele ce vor fi incluse în rețea, să respecte o serie de criterii de favorabilitate pentru determinările în rețele GPS:

- materializarea punctelor să asigure stabilitatea și conservarea în timp a acestora;
- punctele să nu fie materializate cu piramide metalice cu poduri;
- punctele să dispună de un orizont liber și să nu aibă în jurul lor obstrucții mai mari de  $15^{\circ}$ ;
- alegerea poziției punctelor să nu se ridice probleme în utilizarea lor, oricând și de către orice utilizator, din cauza proprietarului terenului pe care acestea sunt amplasate;
- să fie sau să poată fi cotate prin nivelment geometric de precizie, din liniile de nivelment geometric de ordin I-III în plan de referință Marea Neagră 1975, de cote normale.

Realizarea rețelei de îndesire de ordinul B, rețea proiectată pe puncte comune cu rețeaua clasică, cu o densitate de un punct comun la  $1000 \text{ km}^2$ , va crea posibilitatea determinării în condiții de precizie ridicată a coeficienților de transformare între două datumuri.

#### 4.5. PRINCIPII UTILIZATE LA MĂSURĂTORILE ELECTRONICE PRIN UNDE

Măsurătorile electronice prin unde electromagnetice sunt generate de un element oscilant. Rezultatul acestei oscilații îl reprezintă o undă electromagnetică definită sub forma raportului dintre viteza luminii cu care se propagă și frecvența acesteia și exprimă lungimea de undă:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.1)$$

Dacă se compară unda electromagnetică cu o undă sinusoidală, care se poate exprima matematic în funcție de timp și spațiu de propagare se poate scrie relația:

$$y = A \sin\left(2\pi f\left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \quad (4.2)$$

în care:  $f$  – frecvența;

$t$  – timpul;

$x$  – spațiu de propagare;

$A$  – amplitudinea.

Amplitudinea  $A$  este o măsură pentru puterea semnalului electromagnetic. Viteza de propagare depinde de mediul în care se propagă unda și de lungimea de undă, fiind exprimată prin raportul dintre viteza luminii în vid ( $c_0$ ) și indicele de refracție ( $n$ ):

$$c = \frac{c_0}{n} \quad (4.3)$$

în care:  $c_0$  – viteza luminii în vid ( $c_0 = 299\,792\,458$  m/s).

Relația dintre cele două viteze este descrisă de indicele de refracție ca raportul între viteza luminii în vid și viteza luminii în orice alt mediu.

În măsurătorile electronice, undele electromagnetice se propagă prin atmosferă, indicele de refracție fiind o funcție dependentă de următoarele caracteristici:

$$n = n(p, t, e, \lambda) \quad (4.4)$$

în care:  $p$  – presiunea atmosferică;

$t$  – temperatura mediului de propagare;

$e$  - presiunea vaporilor de apă;

$\lambda$  - lungimea de undă.

Undele electromagnetice care străbat atmosfera sunt supuse așa numitului *fenomen de dispersie* datorat impurităților din atmosferă (praf, molecule de gaz, picături de apă). Spectrul radiației electromagnetice acoperă domeniul de la radiațiile cosmice cu lungimi de undă extrem de scurte, până la undele radio cu lungimi de undă de ordinul kilometrilor.

Semnalele folosite la măsurarea distanțelor și a celorlalte elemente de interes (direcții orizontale și verticale, diferențe de nivel), sunt cu lungime de undă mare și se află în domeniul metrilor sau kilometrilor. Aceste semnale trebuie modulate pe semnale cu lungime de undă mică. Semnalele cu lungime de undă mică se folosesc ca unde purtătoare pentru semnalele cu lungime de undă mare pe care se realizează măsurătorile.

În măsurătorile electronice se folosește modulația amplitudinii. Unda purtătoare nemodulată poate fi exprimată prin relația:

$$y_p = A_p \sin(2\pi f_p t) \quad (4.5)$$

Iar unda modulată:

$$y_M = A_M \sin(2\pi f_M t) \quad (4.6)$$

Unda purtătoare supusă modulației de amplitudine se poate reprezenta prin relația:

$$Y_A = (A_p + A_M \sin 2\pi f_M t) \sin(2\pi f_p t) \quad (4.7)$$

Unda purtătoare este doar mijlocul de transport al informației pentru unda pe care se realizează măsurătorile. Lungimea până la care se poate măsura, viteza de propagare și divergența semnalului depind numai de unda purtătoare.

Principiul de măsurare cu unde electromagnetice cuprinde mai multe procedee de măsurare care folosesc unda emisă ca semnal pe care se fac măsurătorile cât și un procedeu de măsurare prin care se realizează o modulare a undei emise prin suprapunerea acesteia unui alt semnal pe care se execută măsurătoarea.

## 4.6. PROCEDEE DE MĂSURARE CU UNDE ELECTROMAGNETICE

Procedeele utilizate de instrumentele topografice care folosesc unde electromagnetice pot fi grupate după cum urmează:

- *Procedeul cu impulsuri* – emițătorul emite în intervale foarte scurte de timp semnale, iar fascicolul servește și la măsurarea distanței;
- *Procedeul prin interferență* – în care semnalul emis este folosit și ca semnal pe care se face măsurătoarea;
- *Procedeul fazic* – în care semnalului continuu emis i se modulează un semnal pe care se face măsurătoarea.

### 4.6.1. PROCEDEUL CU IMPULSURI

Măsurarea distanțelor cu ajutorul procedeeului cu impulsuri se bazează pe determinarea timpului de propagare. Dacă se măsoară timpul de propagare al unui impuls, care străbate distanța emițător reflector și înapoi, se poate obține relația de calcul pentru distanța cautată cu relația:

$$D = \frac{c_0}{2n} t \quad (4.8)$$

în care:  $t$  – timpul de propagare;

$c_0$  – viteza luminii în vid;

$n$  – indicele de refracție al atmosferei.

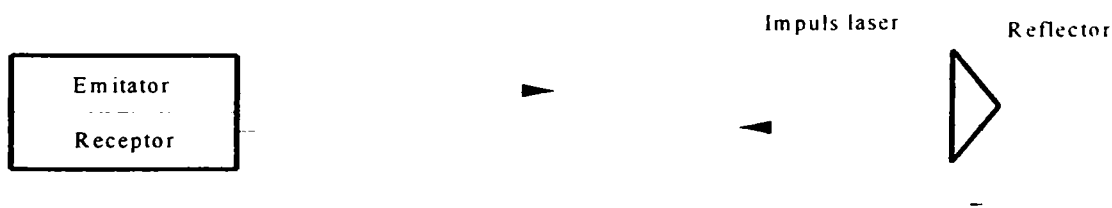


Figura 4.10 – Procedeul cu impulsuri

Dacă se ține cont că măsurătorile electronice care se execută în atmosfera terestră sunt influențate de fenomenul de dispersie, iar lumina străbate mediul atmosferic terestru care

prezintă presiune, temperatură și umiditate variată, cunoscând că viteza luminii se poate exprima ca raport între viteza luminii în vid și indicele de refracție atmosferic, relația de calcul pentru distanța cautată devine:

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \quad (4.9)$$

Impulsurile sunt generate de emițătorul instrumentului și au o durată foarte scurtă de 10 ns. Măsurarea timpului de propagare se realizează cu ajutorul unui contor electronic care înregistrează atâta timp până când semnalul reflectat de reflector (prismă) stopează înregistrarea.



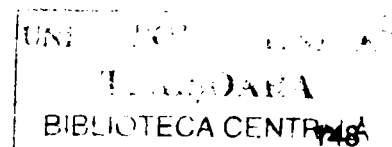
Figura 4.11 – Contorizarea impulsurilor

Datorită faptului că viteza luminii are o valoare foarte mare trebuie puse condiții deosebite la precizia cu care trebuie măsurat timpul de propagare. Cunoscând relația de calcul a distanței, rezultă pentru precizia măsurării timpului  $s_t$  la o precizie pentru măsurarea distanțelor  $s_D$ , dată de relația:

$$s_t = \frac{2}{c} s_D \quad (4.10)$$

Respectarea cerințelor de precizie foarte ridicate pentru măsurarea timpului de propagare, la instrumentele geodezice se folosesc două procedee:

- Procedeele digital;
  - Procedeele analog-digital..
- La aparatele cu *măsurare digitală* a timpului de propagare se folosesc oscilatoare cu frecvență foarte mare de 300 MHz. Impulsul emis (impulsul de start) pornește oscilatorul care contorizează tactul până când impulsul reflectat (impulsul de stop) de reflector închide (oprește contorizarea). Oscilațiile contorizate pe durata timpului de propagare corespund distanței parcurse de undă. Prin repetarea măsurătorilor și efectuarea mediilor valorilor obținute, potențialul de precizie al procedeelelor digital crește până la domeniul milimetric.
- La aparatele cu *măsurare analog-digitală* a timpului, măsuratoarea se realizează cu un oscilator cu o frecvență de 15 MHz. Pe durata timpului de propagare sunt contorizate numărul "n" al oscilațiilor complete.



Procedeul analogic-digital permite o rezoluție milimetrică obținută după executarea unei singure măsurători. Și în acest caz pentru creșterea rezoluției, sunt generate și prelucrate un număr mare de impulsuri într-un interval de timp. Pentru executarea unei măsurători univoce este necesar ca impulsul emis să fie recepționat și prelucrat, înainte de emiterea unui nou impuls.

✓Avantajele procedurii cu impulsuri sunt:

- pot fi realizate măsurători univoce cu rezoluții foarte mari în intervale de timp scurte;
- pot fi măsurate distanțe mari întrucât impulsurile au o energie ridicată;
- energia impulsurilor fiind ridicată există posibilitatea măsurării unor distanțe reduse fără reflector special;

↓Dezavantajele utilizării procedurii cu impulsuri se rezumă la:

- energia impulsului nu poate fi mărită peste limitele admisibile;
- sunt necesare realizări tehnice deosebite, pentru a putea cuprinde efectul perturbator al parametrilor atmosferici asupra impulsului.

#### 4.6.2. PROCEDEUL CU INTERFERENȚĂ

Metoda procedurii cu interferență presupune suprapunerea a două unde luminoase de aceeași lungime de undă. Generarea celor două unde luminoase este realizată prin intermediul unui laser, a cărei radiație este descompusă de un interferometru în două raze de aceeași intensitate.

Dacă aceste două raze parcurg drumuri optice diferite și sunt suprapuse ulterior, acestea se vor amplifica sau diminua în funcție de diferența de fază dintre ele. Dacă ambele semnale sunt de aceeași fază se obține cea mai mare amplificare, iar dacă acestea sunt defazate cu jumătate din lungimea de undă, ele se anulează.

Această diferență de fază depinde de drumul optic parcurs de cele două raze. Dacă ambele raze sunt direcționate spre un fotodetector și se variază continuu, drumul optic al uneia dintre raze, fotodetectorul va înregistra o serie de alternanțe în spectrul întunecat – luminos. Numărul alternanțelor întunecat-luminos reprezintă o măsură pentru variația distanței.

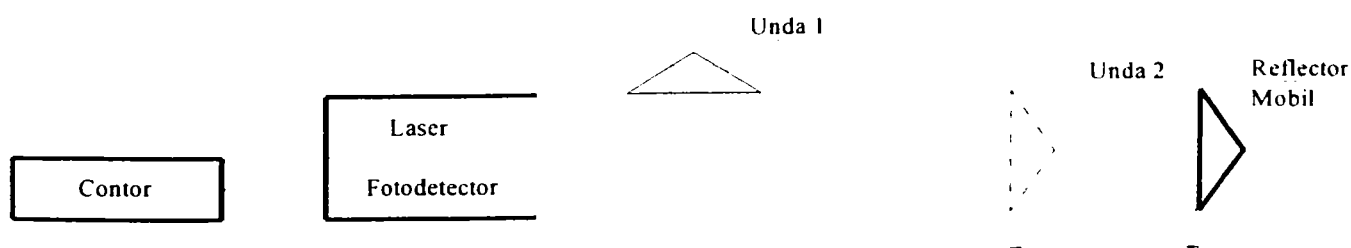


Figura 4.12 – Procedul cu interferență

Compunerea celor două semnale în fotodetector va genera o anulare a semnalului compus, datorită faptului că cele două semnale sunt defazate cu jumătatea lungimii de undă. Prin deplasarea reflectorului cu  $\lambda/4$  va apărea un maxim al luminozității și de tensiune. Dacă aceste variații de maxime  $N$  sunt contorizate, rezultă pentru deplasarea totală a reflectorului mobil relația de calcul a distanței:

$$D = N \frac{\lambda}{2} \quad (4.11)$$

Acest principiu de deplasare a reflectorului cu un sfert din lungimea de undă prezintă în practică două mari dezavantaje, și anume:

- pentru realizarea interferenței sunt necesare reglaje de precizie deosebit de ridicate;
- la acest procedeu nu se obțin informații referitoare la direcția de deplasare a reflectorului

Aceste dezavantaje pot fi eliminate dacă sunt emise două semnale de frecvențe diferite ( $f_1$  și  $f_2$ ), respectiv cu lungimile de undă  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$ . Prin suprapunerea frecvențelor se formează diferența acestora, diferență contorizată de un contor. Semnalul de frecvența  $f_1$  este dirijat spre o prismă fixă, iar semnalul  $f_2$  este dirijat spre o prismă mobilă. Cele două semnale ajung în interferometru unde sunt compuse și dirijate spre un fotodetector care oferă rezultatul diferenței celor două frecvențe.

✓ Avantajele procedurii interferometric sunt:

- este metoda cea mai precisă pentru măsurarea distanțelor;
- este metoda cu rezoluția cea mai ridicată pentru măsurarea distanțelor.

↓ Dezavantajele procedurii interferometric cuprind următoarele:

- necesită aparatură foarte costisitoare;
- măsurătoarea în sine se realizează printr-un procedeu foarte laborios;
- procedeu se poate utiliza doar dacă reflectorul mobil se deplasează riguros în lungul axei optice a laserului;
- procedeu se poate aplica rațional până la distanțe ce nu depășesc 100 până la 120 m.

Procedeu cu interferență este puțin utilizat la determinările topografice și geodezice, fiind preferat în măsurătorile cu caracter special de tip laborator în calibrarea și etalonarea instrumentală și tehnologică.

### 4.6.3. PROCEDEUL FAZIC

Utilizarea procedurii fazic la determinarea distanțelor prin unde electromagnetice presupune ca undă purtătoare să fie modulată sub forma unui semnal sinusoidal. Semnalul astfel modulată



servește la măsurarea distanțelor. Frecvența de modulare este considerată stabilă, astfel încât lungimea de undă a semnalului modulat va fi dat de relația:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{4.12}$$

Unda modulată este emisă spre reflector, care reflectă semnalul înapoi la un receptor. După parcurgerea distanței dus-întors, unda va fi defazată față de cea emisă.

Dublul distanței, obținut prin parcurgerea traseului dus și întors va fi compusă dintr-un multiplu  $N$  de lungimi de undă  $\lambda$  a unei modulate și diferența de fază  $\Delta\lambda$ :

$$2D = N\lambda + \Delta\lambda \tag{4.13}$$

sau:

$$D = N \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\lambda}{2} \tag{4.14}$$

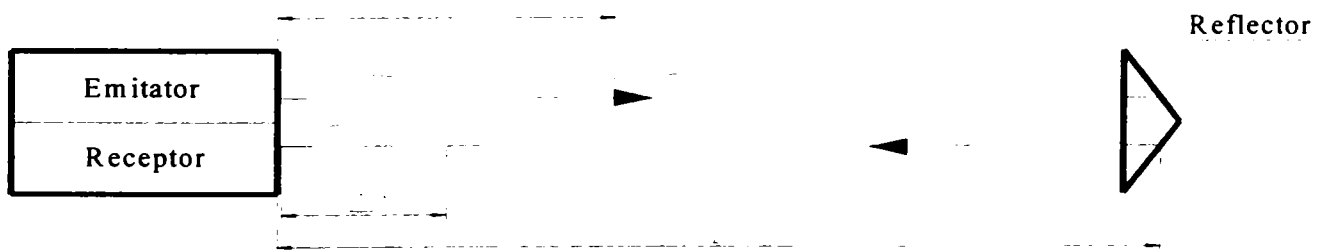


Figura 4.13 – Procedul fazic

Numarul total de lungimi de undă și fracțiunile de lungime de undă trebuie determinate. Această determinare se realizează într-o primă fază asupra lungimii de undă  $\Delta\lambda$  prin măsurarea diferenței de fază dintre semnalul emis și semnalul reflectat.

Semnalul emis are forma:

$$y_A = A \sin \omega t \tag{4.15}$$

Semnalul recepționat are forma:

$$Y_R = A \sin (\omega t + \varphi_{2D}) \tag{4.16}$$

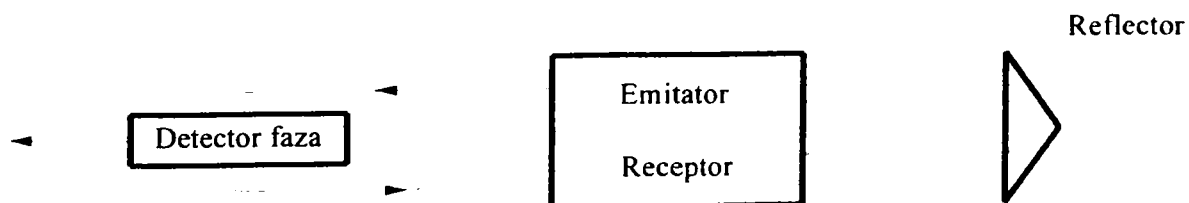


Figura 4.14 - Emisia și recepția semnalului

Semnalul recepționat este defazat față de cel emis cu o valoare egală cu:

$$\varphi_{2D} = N 2\pi + \Delta\varphi \quad (4.17)$$

Detectorul de fază poate determina din diferența de fază  $\varphi_{2D}$  doar componenta  $\Delta\varphi$ . Cu aceasta se poate calcula mărimea lungimii de undă cu relația:

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda \quad (4.18)$$

Prin determinarea fracțiunii de lungime de undă, măsurătoarea nu este încheiată, datorită faptului că în relația de calcul a distanței intervine numărul întreg de lungimi de undă  $N$  care nu este cunoscut. Determinarea numărului întreg de lungimi de undă se va scrie sub forma diferenței dintre rezoluțiile semnalului emis și celui recepționat.

Cunoscând că  $2D = N\lambda + \Delta\lambda$  și  $2D \approx \Delta\lambda_2$ , rezultă mărimea numărului întreg de lungimi de undă cu relația:

$$N = \frac{\Delta\lambda_2 - \Delta\lambda_1}{\lambda_1} \quad (4.19)$$

Pentru determinarea diferenței de fază sunt utilizate în prezent trei tehnici diferite și anume:

- măsurarea analogică a fazei;
- măsurarea fazei cu frecvență de modulație variabilă;
- măsurarea digitală a fazei.

✓ Avantajele procedurii fazice sunt:

- este procedeul utilizat astăzi cel mai des în construcția tahimetrelor și nivelelor digitale;
- sistemul se livrează la un preț accesibil;
- procedeul nu prezintă sensibilitatea la întreruperea temporară a unde.

↓ Dezavantajele procedurii fazice cuprind următoarele aspecte:

- o măsurătoare univocă nu este posibilă cu un singur semnal, fiind nevoie de două lungimi de undă care produc un defazaj;
- spre deosebire de celelalte procedee este nevoie de o optică complexă și sofisticată;
- alimentarea instrumentelor necesită baterii puternice și durabile.

Aplicarea celor trei procedee în construcția instrumentelor electronice, a făcut ca în timp gama tahimetrelor electronice și a nivelelor digitale să se dezvolte foarte mult. În prezent pe plan mondial există un număr mare de companii care oferă o gamă diversificată de produse cu unde electromagnetice. În funcție de scopul, precizia și condițiile impuse, utilizatorii din domeniul măsurătorilor topo-geodezice dispun de posibilitatea de a alege instrumentul care răspunde cel mai bine cerințelor întâlnite în realizarea unei măsurători și aplicând aceste tehnologii moderne în diferite situații ingineresti.

## 4.7. PRINCIPIUL MĂSURĂTORILOR TOPO-GEODEZICE UTILIZÂND TEHNOLOGII GEODEZICE SPAȚIALE

Receptorul GPS măsoară timpul necesar unui semnal pentru a se propaga de la satelit la receptor. Distanța *satelit – receptor* o putem determina înmulțind acest timp cu viteza luminii ( $c$ ).

$$\rho = \tau \cdot c \quad (4.20)$$

în care:

$\rho$  = distanța;

$c$  = viteza luminii;

$\tau$  = întârzierea dintre codul generat și codul recepționat;

Măsurătorile de distanțe pe care receptorul le face sunt afectate de către eroarea de ceas a satelitului și a receptorului, de aceea acestea sunt denumite *pseudodistanțe*. Utilizând ceasuri sincronizate și în absența altor influențe perturbatoare măsurând o singură distanță spre satelit putem determina poziția receptorului undeva pe o sferă centrată pe satelit având raza egală cu distanța măsurată. Efectuând măsurători simultane spre cei doi sateliți, poziția receptorului va fi pe un cerc care reprezintă locul de intersecție al celor două sfere centrate pe acești sateliți. Efectuând o a treia măsurătoare simultană de distanță, rezultă o a treia sferă care intersectează pe celelalte două numai în două puncte. Unul dintre aceste puncte poate fi eliminat imediat ca fiind poziția receptorului, deoarece el se va găsi undeva departe în spațiu.

În principiu, determinările simultane de distanțe spre trei sateliți asigură suficiente informații pentru a putea determina o poziție fixă în trei dimensiuni.

Dacă presupunem existența erorii ceasului receptor  $\Delta t$  și considerând că ceasul receptorului nu este sincronizat cu ceasul satelitului în timp GPS, atunci nu este matematic posibil să se determine în mod unic valorile celor 4 parametri ( $x, y, z, \Delta t$ ) dându-se numai trei măsurători. Aceasta implică faptul că trebuie să măsurăm simultan o pseudodistanță adițională spre al patrulea satelit presupunând că eroarea de ceas a satelitului a fost eliminată.

Observatorul Naval al SUA urmărește ceasul sateliților GPS și determină abaterile (erorile) față de timpul GPS. Acești parametri sunt actualizați în memoria sateliților și transmiși ca parte a mesajului de navigație difuzat de sateliți.

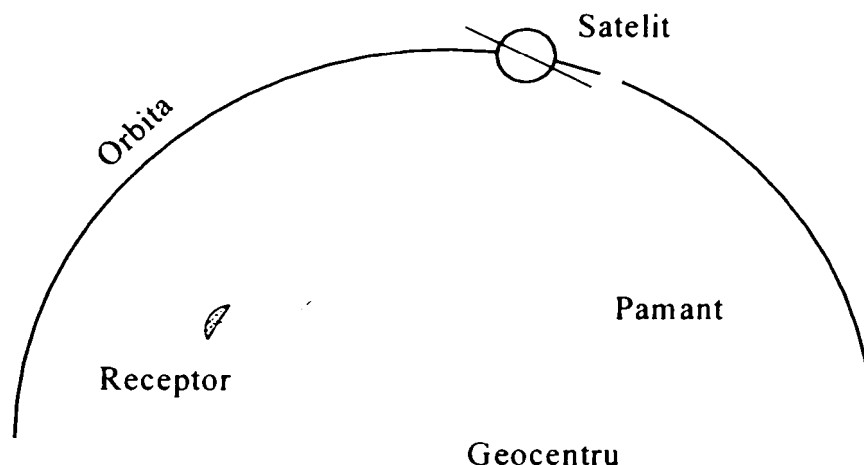


Figura 4.15 - Principiul măsurătorilor GPS

Receptorul GPS utilizează valorile acestor corecții ale ceasului satelitului pentru a corecta pseudodistanța măsurată.

Ecuția observației va fi:

$$\rho_r^s = |x^s - x_r| + \Delta t_r c \quad (4.21)$$

în care:

$x^s$  = definește coordonatele satelitului;

$x_r$  = definește coordonatele (necunoscute) receptorului;

$\Delta t_r$  = eroarea ceasului receptorului;

$c$  = viteza luminii.

Dacă una sau mai multe coordonate ale receptorului sunt deja precis cunoscute, atunci celelalte coordonate și corecția ceasului receptorului pot fi determinate utilizând mai puțin de patru pseudodistanțe.

#### 4.8. TIPURI DE MĂSURĂTORI GPS

Măsurătorile GPS pot fi clasificate în funcție de tipul semnalului utilizat astfel:

- Măsurători ale fazei codurilor
- Măsurători ale fazei purtătoare
- *Măsurători ale fazei codurilor (măsurarea pseudodistanțelor)*

Măsurătorile folosind codurile sunt denumite măsurători de *pseudodistanțe* și se bazează pe codurile *P* sau *C/A*. Pseudodistanța reprezintă produsul dintre timpul de propagare a semnalului satelitar și viteza luminii.

În acest caz se măsoară diferența de timp dintre momentul de emisie al semnalului din satelit și cel de recepție în receptor. Datorită faptului că timpul este măsurat în receptor cu un ceas intern, a cărei funcționare nu corespunde cu ceasul din satelit și datorită faptului că unda străbate straturile atmosferice și nu vidul, produsul dintre diferența de timp și viteza luminii nu oferă distanța de la satelit la receptor ci o pseudodistanță.

Dacă se cunoaște timpul satelitului la momentul ( $a$ ) când un semnal este emis și timpul receptorului la momentul ( $b$ ) când semnalul este recepționat, se poate calcula pseudodistanța cu relația următoare:

$$p_j^i = c \cdot [T_j(b) - t^i(a)] \quad (4.22)$$

în care:  $i$  – numărul satelitului;

$j$  – număr receptor;

$c$  – viteza luminii;

$T_j$  – timpul de recepție semnal;

$t^i$  – timpul de emisie satelit.

Receptoarele GPS pentru navigație utilizează acest tip de măsurători pentru a realiza poziționarea în timp real, pseudodistanța fiind afectată de eroarea de timp (defazajul) dintre ceasurile satelitului și receptorului terestru.

- **Măsurători utilizând faza purtătoare**

Faza purtătoare sau *faza oscilației purtătoare* reprezintă diferența dintre faza semnalului emis de către satelit (supus fenomenului Doppler) și faza unui semnal generat de oscilatorul receptorului. Pseudodistanțele prezintă variații datorită timpului de propagare satelit-receptor și sunt afectate de către erorile de ceas ale satelitului și ale receptorului terestru.

Precizia măsurătorilor de pseudodistanțe depinde de precizia cu care semnalul recepționat este corelat cu semnalul emis. O eroare în corelare la nivelul nanosecundelor corespunde unui nivel al rezoluției distanței de aproximativ 1 m.

## 4.9. METODE DE MĂSURARE GPS

Metodele de măsurare GPS se împart în patru grupe:

- Metoda de măsurare statică*
- Metoda de măsurare cinematică*
- Metoda de măsurare pseudocinematică*
- Metoda de măsurare combinată*

*a. Metoda de măsurare statică*

Metoda de măsurare statică este cea mai frecventă metodă de măsurare GPS. În cadrul acestei metode receptoarele ocupă punctele de stație pentru intervale de timp (sesiuni) cu durata de 45 de minute până la câteva zile, funcție de lungimea bazei.

*b. Metoda de măsurare cinematică*

În metoda de măsurare cinematică vectorii (bazele) dintre 2 receptoare, care se pot afla în mișcare relativă pot fi determinați precis și rapid dacă fiecare receptor recepționează continuu faza purtătoare de la cel puțin aceiași 4 sateliți. Este cea mai eficientă metodă de determinare a poziției punctelor. În același timp este cea mai sensibilă și cu o încredere mai slabă față de alte metode.

*c. Metoda de măsurare pseudo-cinematică*

Această metodă este similară cu cea cinematică în efectuarea observațiilor și similară cu cea statică în prelucrare. Observațiile în punctele necunoscute sunt identice cu cele cinematice cu excepția că fiecare măsurătoare durează aproximativ 5 minute și că fiecare punct este măsurat încă 5 minute la un interval de cel puțin 1 oră față de primele 5 minute de observare. Nu este necesară o inițializare specială și menținerea legăturii la sateliți între observații ca în cazul măsurătorilor combinate.

*d. Metoda de măsurare combinată*

Combinarea primelor trei metode poate asigura executarea oricărui proiect oricât de amplu, cu condiția cunoașterii și aprecierii corecte a locului și momentului unde se pretează a fi utilizată fiecare metodă. Rolul impactului planificării lucrărilor se va evidenția în acest caz în mod deosebit. Pozițiile diferitelor puncte de pe suprafața terestră pot fi determinate utilizând tehnici și tehnologii multiple de măsurare. Astfel, poziționarea se poate face în raport cu un anumit sistem de coordonate care se alege de obicei ca fiind geocentric în raport cu un alt punct determinat anterior sau, în contextul existenței unei rețele de puncte predeterminate. Determinările pot fi făcute relativ la un sistem de coordonate bine definit, de regulă tridimensional, la care originea o constituie chiar centrul de masă al Pământului, fie în raport cu un alt punct ce reprezintă originea unui sistem de coordonate locale, diferit de centrul de masă al Pământului și stabilit conform scopului și destinației urmărite. Astfel, în cadrul determinărilor în spațiu deosebit două tehnici de poziționare:

- *poziționare relativă*
- *poziționare absolută*

## 4.10. TEHNICI DE POZIȚIONARE GPS

### 4.10.1. POZIȚIONAREA RELATIVĂ

Prin poziționare relativă se înțelege determinarea pozițiilor obiectelor mobile sau statice în raport cu un alt punct ce reprezintă originea unui sistem de coordonate locale, diferit de centrul de masă al Pământului și stabilit funcție de scopul urmărit.

Poziționarea relativă care folosește tehnicile de măsurare terestre este mai simplă decât poziționarea absolută, în special dacă între cele două puncte există vizibilitate. Orice sistem de coordonate locale poate fi folosit pentru poziționarea relativă, pentru poziționare folosindu-se sistemul astronomic local, prezentat în figura de mai jos.

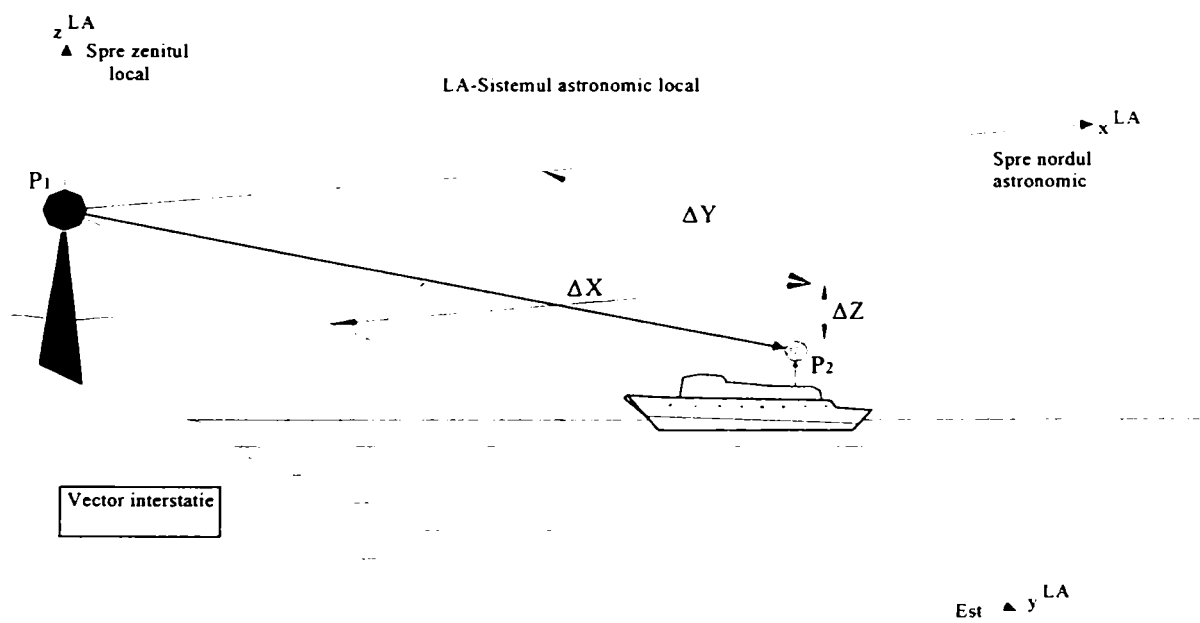


Figura 4.16 - Poziționarea relativă

Presupunând că poziția  $R_1$  a punctului  $P_1$  este cunoscută în sistemul de coordonate considerat și că între stații vectorul  $\Delta R_{12}(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$  este determinat în același sistem de coordonate, rezultă că ecuația vectorială:

$$R_2 = R_1 + \Delta R_{12} \quad (4.23)$$

Oferă poziția  $R_2$  a punctului  $P_2$  dacă  $\Delta R_{12}$  a fost determinat într-un alt sistem de coordonate, ulterior trebuie să fie transformat în același sistem de coordonate ca  $R_1$  folosind următoarea transformare:

$$\Delta R_{12} = R(\omega_x, \omega_y, \omega_z) \Delta R_{12} \quad (4.24)$$

în care:  $R$  este o matrice de rotație;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$  sunt unghiurile formate de axele celor două sisteme

Se observă că dacă acest model este folosit pentru poziționarea cinematică, atât  $\Delta R_{12}$  cât și  $R_2$  sunt funcții ale timpului.

#### 4.10.2. POZIȚIONAREA ABSOLUTĂ

Prin poziționare absolută se înțelege determinarea pozițiilor obiectelor mobile sau statice în raport cu un sistem tridimensional de coordonate, (originea constituind-o chiar centrul Pământului).

$$R_i = r^j - e_i^j \times \rho_i^j \quad (4.25)$$

în care:  $R_i$  – vectorul de poziție al antenei i;

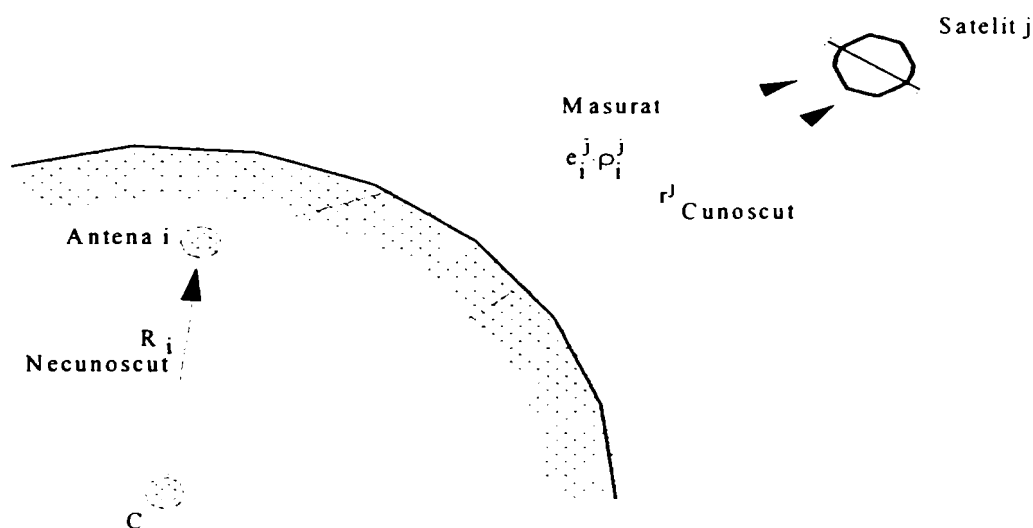


Figura 4.17 - Poziționarea absolută

Prin poziționare absolută se înțelege determinarea pozițiilor obiectelor mobile sau statice în raport cu un sistem tridimensional de coordonate, (originea constituind-o chiar centrul Pământului).

$$R_i = r^j - e_i^j \times \rho_i^j \quad (4.25)$$

în care:  $R_i$  – vectorul de poziție al antenei i;

$r^j$  – vectorul de poziție al satelitului j;

$e_i^j \times \rho_i^j$  – vectorul distanței dintre satelit și antenă.

Funcție de starea obiectului ce trebuie poziționat se deosebesc următoarele tipuri de poziționare absolută:

- poziționarea statică – în cazul obiectelor fixe;
- poziționare cinematică – în cazul obiectelor mobile.



## 4.11. STRUCTURA SISTEMULUI GPS

Sistemul de poziționare globală este conceput din 3 segmente principale:

- *segmentul spațial*
- *segmentul de control*
- *segmentul utilizator*

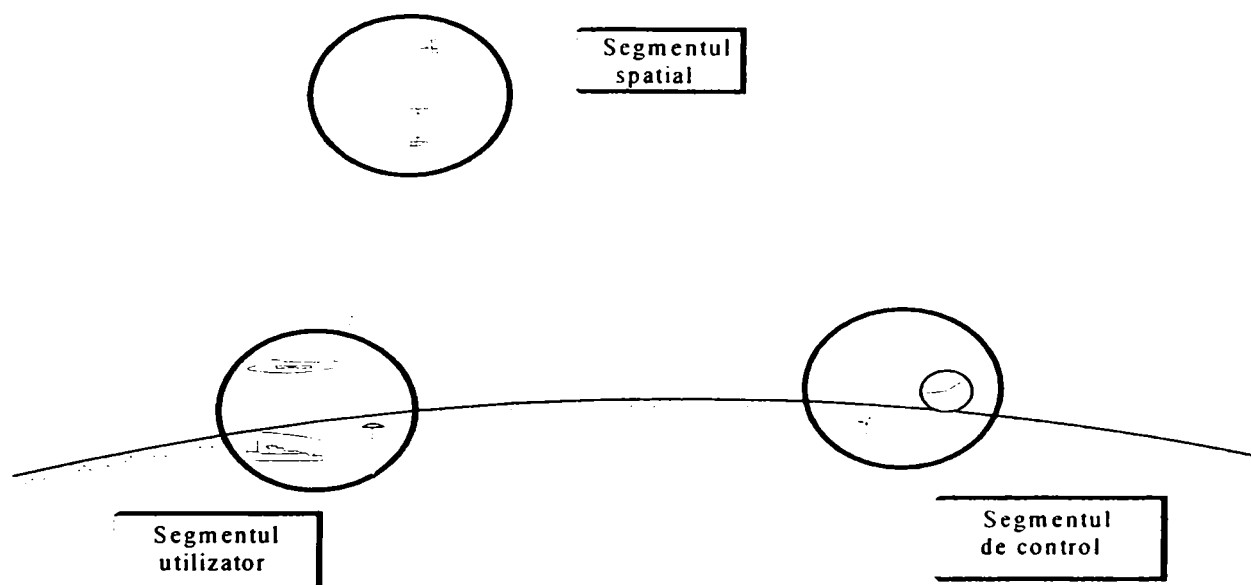


Figura 4.18 - Segmentele sistemului GPS

Primele două segmente se află în exclusivitate sub controlul realizatorului sistemului (*DoD* – Department of Defense – Departamentul Apărării – USA).

### 4.11.1. SEGMENTUL SPAȚIAL

Sateliții NAVSTAR- GPS transmit semnale de timp sincronizate pe două frecvențe purtătoare, parametri de poziție ai sateliților și informații adiționale cum ar fi starea sateliților.

Această constelație de sateliți garantează vizibilitatea simultană spre cel puțin 4 sateliți, din orice punct de pe Pământ, iar dacă satelitul trece prin zenitul observatorului, atunci acel satelit va fi vizibil pentru aproximativ 5 ore.

#### ➤ *Structura semnalului GPS*

Satelitul GPS are un oscilator de înaltă precizie cu frecvența fundamentală de 10.23Mhz (banda L de frecvențe).

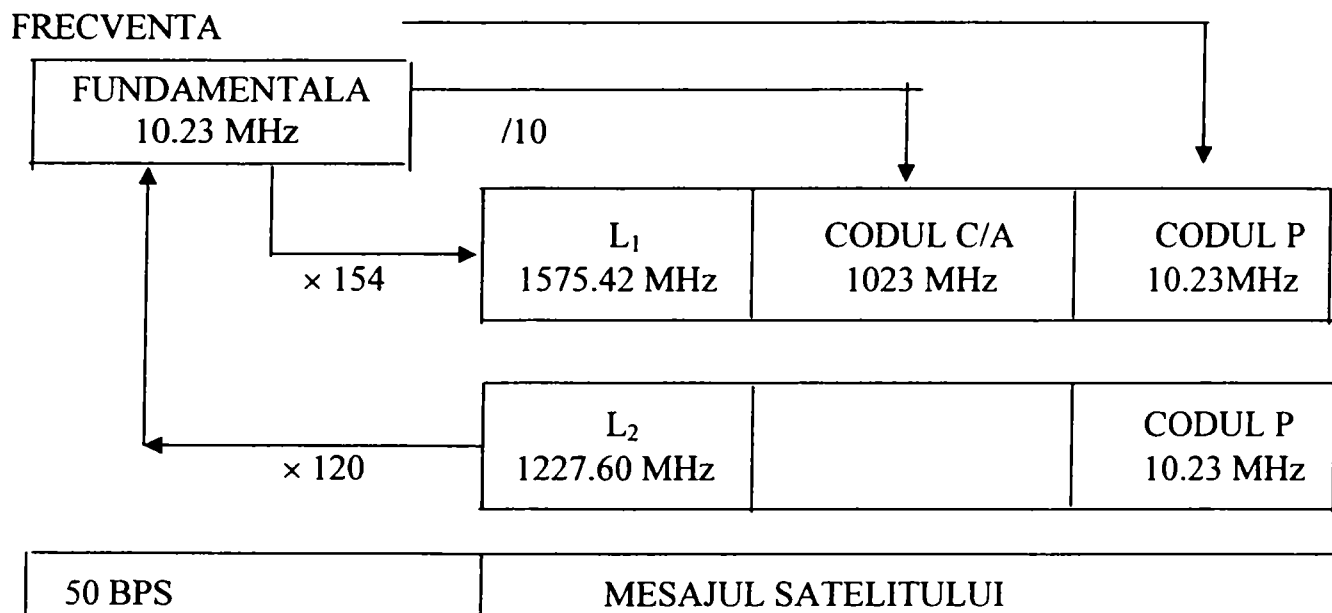


Figura 4.19 - Structura semnalului GPS

Toate celelalte frecvențe derivă din aceasta:

$$L_1 \text{ la } 1575.42 \text{ MHz} \quad \lambda = 19 \text{ cm}$$

$$L_2 \text{ la } 1227.60 \text{ MHz} \quad \lambda = 24 \text{ cm}$$

Semnalul de navigație actual constă în: unda purtătoare din banda  $L$  modulată cu codul  $P$  sau cu codul  $C/A(S)$  și mesajul de navigație. Codul are caracteristicile unui zgomot aleator, dar este de fapt un cod binar generat cu algoritm matematic și de aceea este denumit zgomot pseudoaleator ( $PRN$ ). Codul  $P$  și codul  $C/A$  sunt defazate cu  $90^\circ$  unul față de celălalt.

Codul  $C/A$  se repetă la fiecare 1 ms, pe când codul  $P$  are o perioadă de 267 zile. Această frecvență de 267 zile este divizată astfel încât fiecărui satelit îi este asociată o porțiune unică de o săptămână din cod, care nu se suprapune cu nici o altă secvență a altui satelit. Pentru măsurarea precisă a timpului, fiecare satelit conține câteva oscilatoare de înaltă precizie, cu un grad de stabilitate de ordinul  $10^{-14}$ .

Tabel 4.3 - Oscilatoare de înaltă precizie

CEAS	$\Delta f / f$
Rubidiu	$10^{-11} - 10^{-12}$
Cesiu	$10^{-12} - 10^{-13}$
Hidrogen	$10^{-14} - 10^{-15}$

Codul  $P$  este generat la frecvența ceasului GPS-ului de 10.23 MHz (Mbps).

De aceea o secvență de cod corespunde la un interval de timp de aproximativ 100ns, ceea ce este echivalent cu o distanță de 50 m. Rezoluția poate fi îmbunătățită prin interpolare (sub 1 m).

Codul *C/A* nu este atât de complex. El reprezintă o secvență de cod cu frecvența de 1.023 MHz, corespunând la o rezoluție în distanță de aproximativ 300 m.

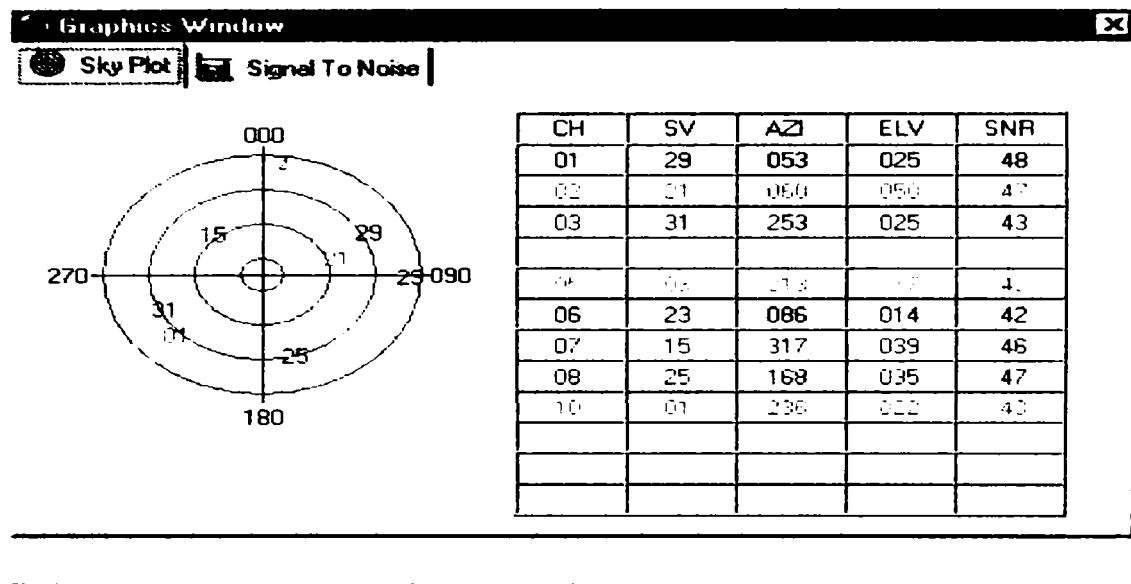


Figura 4.20 - Numărul sateliților disponibili

În prezent purtătoarea *L1* este modulată cu ambele coduri (*P* și *C/A*), pe când purtătoarea *L2* este modulată numai pe codul *P*. Mesajul este divizat în 5 subfragmente, fiecare constând în 10 cuvinte, fiecare cuvânt având 30 de biți.

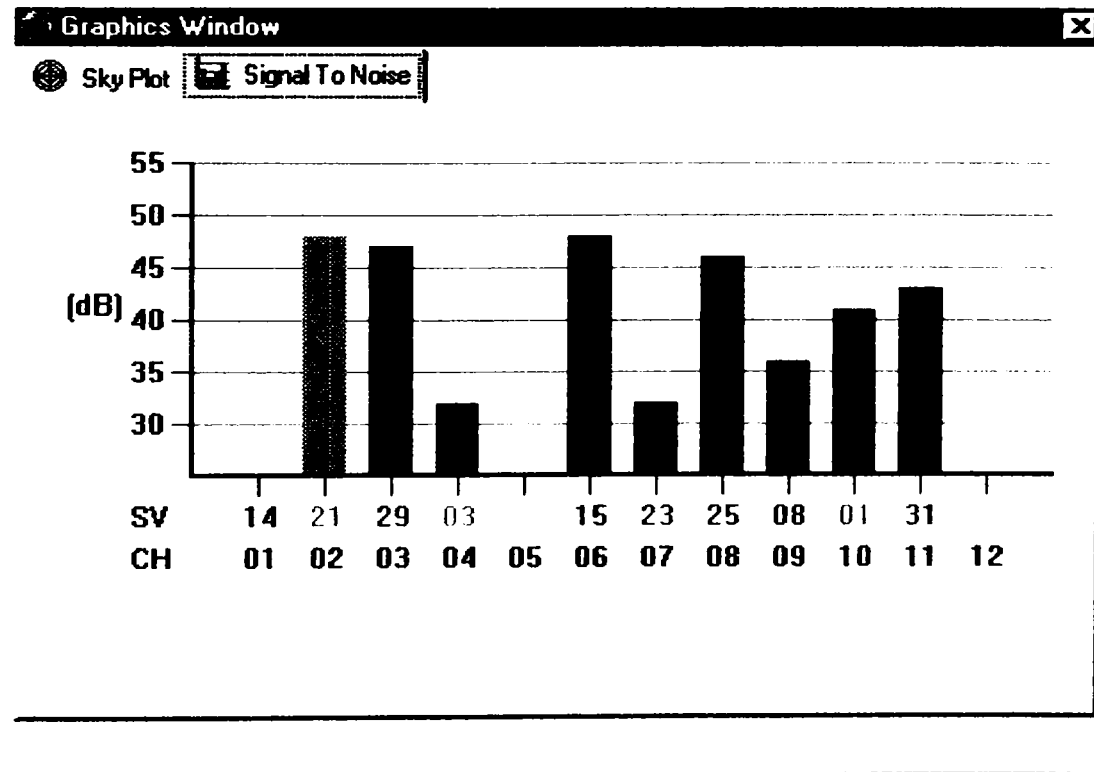


Figura 4.21 - Frecvența semnalului emis de către sateliți

Codurile sunt mărci precise de timp care permit procesorului intern al receptorului să calculeze momentul transmisiei semnalului satelitului.

➤ *Subsegmentul 1*

Conține parametri de corecție de ceas pentru a da utilizatorului informații despre corecția de timp GPS și coeficienții unui model de propagare prin ionosfera pentru utilizatori monofrecvență.

➤ *Subsegmentul 2-3*

Conține efemeridele satelitului precalculate din informațiile stațiilor terestre de urmărire. Pe baza acestor parametri se poate calcula poziția satelitului, într-un sistem geocentric de coordonate.

➤ *Subsegmentul 4*

Este rezervat pentru mesaje alfanumerice ale unor aplicații viitoare.

➤ *Subsegmentul 5*

Conține datele de almanah pentru un satelit. Acest subsegment conține în mod succesiv almanahul a 24 de sateliți. Culegerea unui almanah complet necesită maximum 12,5 minute.

Prin măsurători simultane de distanțe spre trei sateliți, poziția utilizatorului poate fi definită prin intersecția a trei sfere de rază cunoscută, centrate pe fiecare satelit, ale cărui coordonate sunt furnizate în mesajul de navigație. Receptoarele GPS sunt echipate cu ceasuri cu cristal care nu pot stabiliza timpul ca și ceasurile stabile ale satelitului.

În acest sens distanța măsurată va fi afectată de eroarea de ceas a receptorului.

Această cantitate măsurată poartă denumirea de *pseudodistanță* și în acest sens utilizatorul trebuie să urmărească un număr de 4 sateliți activi și să rezolve 4 ecuații cu 4 necunoscute, adică:

- componentele preciziei tridimensionale (x, y, z);
- corecția de ceas a receptorului ( $dT$ ).

#### 4.11.2. SEGMENTUL DE CONTROL

Segmentul de control are următoarele funcții:

- de urmărire a sateliților;
- de efectuare a calculelor;
- de transmitere a datelor și supervizare necesară controlului zilnic al tuturor sateliților sistemului.

Datele de la stațiile de urmărire (stații monitor), a căror poziții sunt bine cunoscute, sunt transmise stației master.

Aici, orbitele sateliților sunt precalculate împreună cu corecțiile de ceas ale sateliților.

Aceste date sunt apoi transmise sateliților corespunzători formând o parte esențială a mesajului satelitului. Sincronizarea timpului satelitar este una din funcțiile cele mai importante ale segmentului de control. De aceea, stația master este conectată direct cu timpul standard al Observatorului Naval al USA din Washington D.C. Defense Mapping Agency (D.M.A.) este serviciul care furnizează efemeride precise pentru sateliții sistemului GPS pe o bază de calcul săptămânală.

D.M.A operează cu 5 stații monitor distribuite global pentru a întări acoperirea sateliților furnizată de către cele 5 stații monitor ale Forțelor Aeriene (U.S.A.F.)

Sistemul de control include:

- stațiile monitor care recepționează mesajul de navigație;
- stațiile master (de control) care prelucrează datele brute pentru a furniza pozițiile precise ale sateliților și corecțiile de ceas;
- stațiile care sunt folosite pentru actualizarea memoriei sateliților și retransmiterea a datelor de la satelit la utilizator.

Rețeaua de 5 stații de urmărire furnizează observații pe care D.M.A. le utilizează în calculul orbitelor GPS. Datele de la cele 5 stații monitor ale U.S.A.F. sunt combinate cu datele de la cele 5 stații monitor ale D.M.A.

Amplasarea acestor stații monitor a ținut cont de:

- asigurarea acoperirii la latitudini mari în nordul și sudul celor două emisfere;
- asigurarea vizibilității spre orice satelit de la cel puțin 2 stații monitor în orice moment;
- asigurarea accesului în stație pentru operare continuă și întreținerea echipamentului

Vizibilitatea simultană a satelitului din două sau mai multe stații asigură urmărirea continuă a acestuia chiar dacă una sau mai multe stații nu funcționează corespunzător. În același timp, aceste observații asigură formarea diferențelor simple sau duble pentru prelucrarea datelor. Toate stațiile master au fost poziționate în sistemul de coordonate WGS84 cu ajutorul măsurătorilor Transit (Doppler).

Datumul sateliților este definit prin:

➤ Modele fizice (dinamice), cum este modelul adoptat al câmpului gravitațional terestru, modele pentru forțele ce perturbă mișcarea sateliților și constante fundamentale ca: viteza de rotație a Pământului, viteza luminii;

➤ Modele geometrice, cum sunt coordonatele adoptate ale stațiilor de urmărire a sateliților utilizate în determinarea orbitelor și modele ce descriu precesia, nutația, mișcarea polilor.

Datumul sateliților este menținut prin efemeridele acestora (coordonatele sateliților la un moment dat), exprimate într-un sistem de referință terestru.

Există un număr de datumuri ale sateliților reflectând diferite combinații ale modelelor câmpului gravitațional (constante geodezice asociate), modele ale mișcării de rotație a Pământului sau coordonatele stațiilor monitor care sunt utilizate. Fiecare datum poate să difere de sistemul de referință terestru convențional (CTRS) în orientare, în localizarea originii și în scară.

#### 4.11.3. SEGMENTUL UTILIZATOR

Segmentul utilizator include diferite tipuri de receptoare și echipamente periferice, necesare pentru operațiile de teren ale receptoarelor GPS și pentru prelucrarea datelor cu Programul de postprocesare GPS (GPPS).

### 4.12. PLANIFICAREA MĂSURĂTORILOR GPS PENTRU CREAREA REȚELELOR DE SPRIJIN NECESARE URMĂRIRII CONSTRUCȚIILOR

Atunci când o anumită determinare se realizează prin intermediul tehnologiei GPS, asigurarea vizibilității dintre receptoare nu constituie o cerință a măsurătorii datorită faptului că receptoarele nu transmit și nu recepționează semnale între ele, ci le primesc de la sateliții care gravitează în jurul Pământului.

Condiția obligatorie ce trebuie îndeplinită este ca pentru a recepționa semnal de la satelit avem nevoie de un orizont liber spre cer.

Semnalele emise de sateliții GPS sunt asemenea razelor solare, astfel încât, orice obstacol aflat pe traiectoria acestora reduce considerabil intensitatea semnalului putând chiar împiedica recepționarea lui.

Prima fază a planificării măsurătorilor GPS se referă la alegerea unei perioade pentru efectuarea măsurătorilor, perioadă care se va divide sub forma sesiunilor de lucru. Perioada optimă este caracterizată printr-un număr suficient de mare de sateliți vizibili și o valoare PDOP cât se poate de mică (între 1 și 5).

PDOP-ul reprezintă un indicator de precizie și poate fi de mai multe tipuri. Contribuția erorilor induse de geometria sateliților în calculul poziției cunoscută sub denumirea de DOP (Dilution of Precision – diminuarea preciziei), are un efect multiplicativ asupra abaterii standard a unității de pondere privind măsura erorii distanței spre unul din sateliții constelației GPS, fiind exprimat ca jumătatea erorii individuale.

Geometria sateliților reprezintă modul de dispunere spațială a sateliților de la care sunt

recepționate semnalele GPS și de aici, unghiurile între direcțiile de propagare a semnalelor.

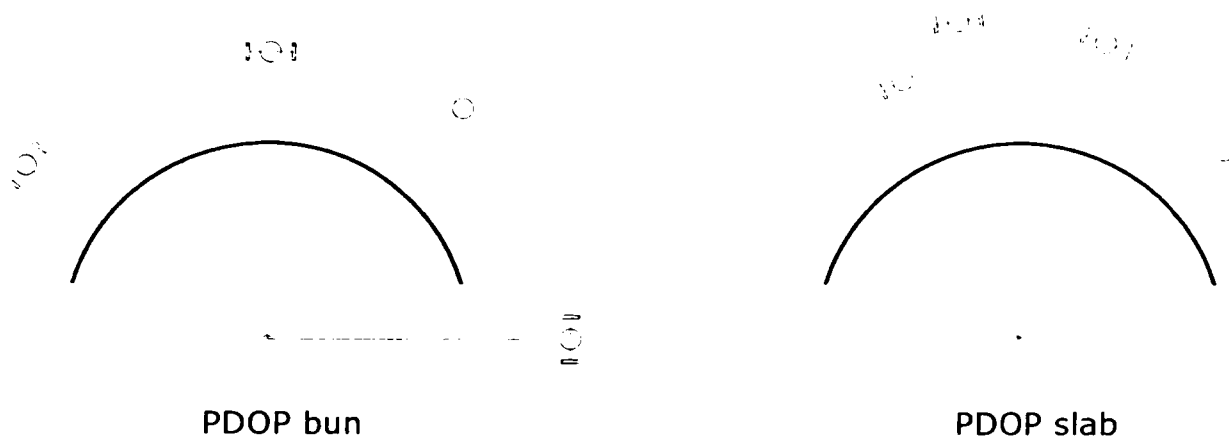


Figura 4.22 - Geometria sateliților

Indicatorii DOP se pot clasifica astfel:

- PDOP (Poziția DOP) – abaterea standard apriorică a poziției și se poate exprima prin relația:

$$PDOP = ([VV]_x + [VV]_y + [VV]_z)^{1/2} \quad (4.26)$$

PDOP reprezintă totodată o funcție matematică de coordonate relative ale receptorului și sateliților și poate fi calculată ușor pentru o geometrie particulară a sateliților și receptorului.

- HDOP (DOP Orizontal) – abaterea standard apriorică a poziției planimetrice și se exprimă cu relația:

$$HDOP = ([VV]_x + [VV]_y)^{1/2}$$

- VDOP (DOP Vertical) – abaterea standard apriorică în plan vertical;
- TDOP (DOP-ul timpului) – abaterea standard apriorică datorită asincronismului;
- GDOP (DOP-ul geometriei) – este indicatorul care reunește efectele geometriei sateliților și receptorului cu efectele asincronismului, se exprimă cu relația:

$$GDOP = (q_x^2 + q_y^2 + q_z^2 + q_T^2)^{1/2} \quad (4.27)$$

Precizia poziției va fi dată de următoarele relații:

$$\begin{aligned} s_{x,y,z} &= s_0 \cdot PDOP \\ s_T &= s_0 \cdot TDOP \\ s_{x,y,z,T} &= s_0 \cdot GDOP \end{aligned} \quad (4.28)$$

în care  $s_0$  este abaterea standard a unității de pondere.

Un alt criteriu pentru alegerea znei perioade optime de lucru se referă la influența refracției atmosferice, care, noaptea este mult mai redusă decât ziua. La stabilirea sesiunii de lucru în poziționarea relativă trebuie luați în considerare patru factori, și anume:

- lungimea bazei sau lungimea laturilor între punctele rețelei;
- numărul sateliților vizibili;
- geometria constelației satelitare;
- raportul semnal/zgomot pentru semnalul satelitar.

Stabilirea amplasamentului viitoarelor puncte de control pentru o rețea de urmărire a construcțiilor determinată prin măsurătorile GPS, este indicat să nu fie obstrucționate din punct de vedere al vizibilității peste elevația de 15-20 grade. Vegetația prea densă poate crea probleme de vizibilitate pentru sateliții GPS, în același timp se va evita amplasarea stațiilor în apropierea clădirilor înalte sau a pereților verticali ce pot interfera cu semnalul recepționat, cât și a emițătorilor de înaltă putere (antene TV).

În această fază se întocmește o diagramă de obstrucție sau o diagramă polară, în vederea determinării perioadei optime de staționare pe punct, atunci când vizibilitatea sateliților este cea mai bună. Vizibilitatea stațiilor se face în mod obligatoriu pentru fiecare punct ce urmează a fi staționat, înainte de începerea efectivă a proiectului de măsurători. Pe baza recunoașterii terenului se pot determina cu precizie următoarele aspecte:

- accesul cel mai comod la punct;
- schița completă cu indicarea direcțiilor de acces;
- modul de marcare pentru identificarea ușoară a reperului.

Pe tot parcursul identificării stațiilor, se va ține cont de condițiile meteorologice, care nu afectează sistemul GPS sau receptoarele, dar în schimb poate afecta accesibilitatea la stație. Punctele de control ale rețelei se determină concomitent atât planimetric cât și altimetric.

### 4.12.1. PLANIFICAREA UNEI SESIUNI DE MĂSURĂTORI

Sesiunea de măsurători se definește ca fiind perioada când două sau mai multe receptoare colectează simultan datele furnizate de sateliți. Începutul aceste sesiuni depinde de mai mulți factori, cel mai important fiind legat de disponibilitatea satelitelui, adică de perioada lui optimă de emisie. Pentru obținerea unor rezultate bune ale determinărilor trebuie să se țină cont de următoarele aspecte:

- selectarea corectă a perioadelor de observații, aceasta însemnând ca 4 sau mai mulți sateliți să poată fi exploatați simultan;
- verificarea constelațiilor sateliților (dacă o constelație a fost modificată, satelitul respectiv devine indisponibil și nu emite semnal);
- verificarea PDOP-ului ca parametru al geometriei satelitelui – pentru determinări statice un PDOP<5 indicând o bună geometrie satelitară și evitarea unui PDOP>7;



- perioada sesiunilor depinde de distanțele; cu cât aceste distanțe între punctele ce alcătuiesc rețeaua de observații sunt mai mari, perioada sesiunii crește; pentru distanțele mici sub 10 km sesiunea de lucru poate fi cuprinsă între 30 și 60 de minute, iar la distanțe mai mari sesiunile pot depăși 1,5 ore sau chiar mai mult;
- identificarea sesiunii se face prin numerotarea zilelor în care se execută. Această zi se definește în raport cu 1 Inuarie adică: 30 ianuarie – a 30-a zi Juliană, 17 mai – a 137 – a zi Juliană.

Sesiunea de măsurători se încheie atunci când au fost preluate toate datele necesare pentru stația respectivă și înregistrate pe suport magnetic pentru prelucrarea ulterioară de birou.

#### 4.12.2. PRELUCRAREA MĂSURĂTORILOR GPS

Metodele de prelucrare a datelor GPS pot fi clasificate funcție de observațiile de fază astfel:

1. Cu faza observațiilor nediferențiată (diferența zero – între faze observații fără cod);
2. Cu diferențe de fază între receptoare, sateliți, epoci.

##### 4.12.2.1. Observații de fază one-way (directă, nediferențiată)

Faza oscilației  $\Phi_{i-j}$  în stația  $j$ , pentru satelitul  $i$  poate fi scrisă sub forma următoare:

$$\Phi_{i-j}(t_{i-j}) = \Phi_{rij}(t_j) - \Phi_{LOj}(t_j) + \lambda \cdot n_{ij} + \Phi_{zgomot} \quad (4.29)$$

în care:

- unitățile de măsură pentru  $\Phi$  sunt cicli (lungimi de undă);
- $t_j$  – momentul recepției semnalului în stația  $j$ ;
- $r_{ij}$  – faza purtătoare recepționată în stația  $j$  de la satelitul  $i$ ;
- $\Phi_{LOj}$  - faza oscilatorului local (faza oscilației receptorului);
- $\Phi_{zgomot}$  - zgomotul aleator al măsurătorii;
- $n_{ij}$  – număr întreg de cicli în observația de fază.

##### 4.12.2.2. Prelucrarea observațiilor de fază diferențiate

###### 1. Diferența simplă

Aceasta reprezintă diferența formată prin scăderea măsurătorilor simultane (cod, fază) a două receptoare GPS la același satelit. Prin această metodă erorile de ceas ale satelitului se elimină.

Ecuția fazei se poate scrie:

$$\Delta\Phi_i = \Phi_{i,2}(t_2) - \Phi_{i,1}(t_1) \quad (4.30)$$

în care:  $i$  – număr satelit;

1,2 – număr stație.

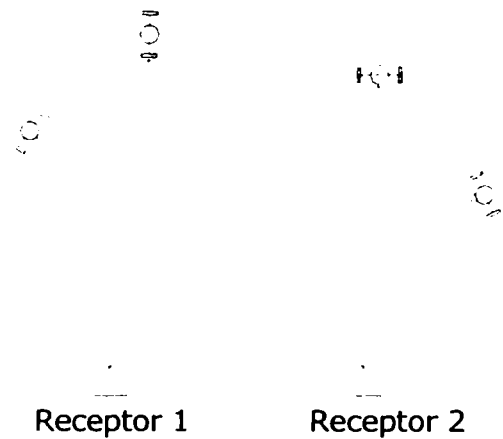


Figura 4.23 – Diferența simplă

### 2. Diferența dublă de fază

Diferența dublă este formată din măsurătorile simultane a două receptoare GPS la doi sateliți.

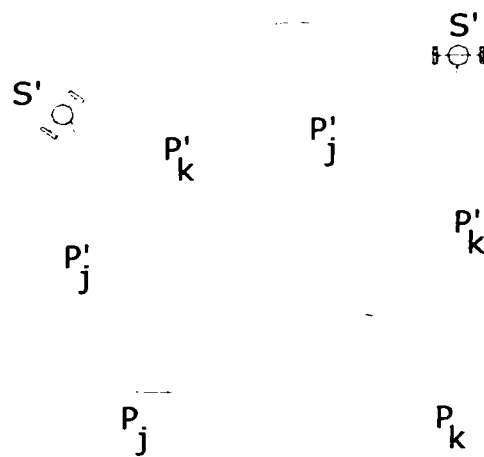


Figura 4.24 – Diferența dublă

Este metoda cea mai utilizată în prelucrările măsurătorilor de teren, deoarece elimină erorile de ceas ale satelitului și ale receptorului și diminuează erorile de modelare.

### 3. Diferența triplă de fază

În acest caz, unele din informațiile conținute sunt îndepărtate din datele rezultate, ceea ce duce la estimarea mai puțin precisă a pozițiilor relative decât în cazul altor diferențe

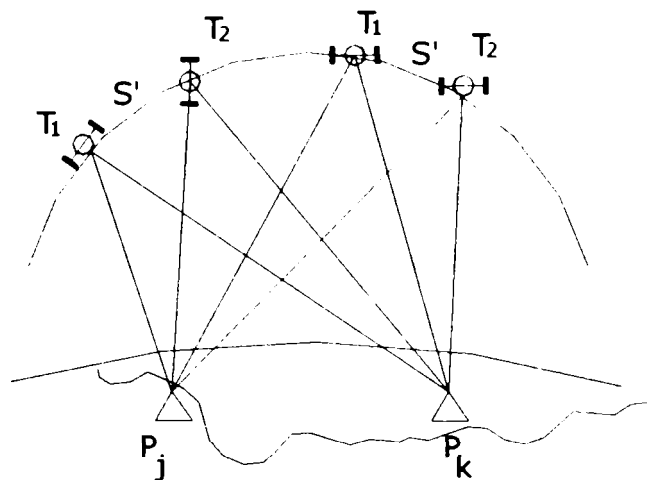


Figura 4.25– Diferența triplă

Diferența funcție de timp ( $T_1, T_2$ ) formată din diferențe duble, elimină interpretarea multiplă a ciclurilor, dar reduce precizia prelucrării datorită corelației puternice a diferențelor triple.

**4.12.2.3. Etapele unui program de prelucrare a observațiilor GPS**

⇒ Pregătirea datelor din teren – se stabilește disponibilitatea sateliților pentru o fereastră de timp dată și poziția lor în sistemul terestru.

Sunt calculate poziții preliminare în datumul sateliților cu ajutorul parametrilor cunoscuți datumului și sistemului de proiecție.

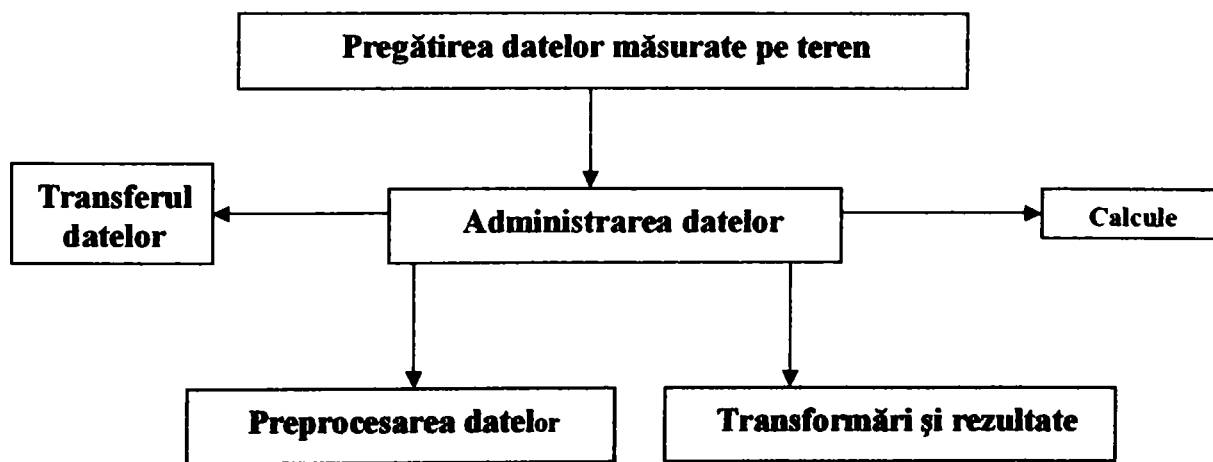


Figura 4.26 – Schemă privind pregătirea observațiilor GPS

⇒ *Transferul datelor* – permite transportul sau tranferul ușor și rapid al fișierelor de date la o unitate centrală de prelucrare.

⇒ *Preprocesarea datelor* – identifică datele orbitale pertinente, calculează poziția independentă a punctelor, definește bazele și verifică măsurătorile acestor baze.

⇒ *Administrarea datelor* – operațiune importantă din momentul în care datele de teren au fost stocate în memoria calculatorului. Această capacitate este utilă pentru obținerea lator informații cum sunt: coordonate apriorice, date despre rotația Pământului și mișcarea polilor, efemeride, dat meteorologice înregistrate.

⇒ *Calcul* – algoritm matematic de compensare a rețelei de urmărire a construcției determinată pe baza relațiilor teroriei de prelucrare a măsurătorilor topo-geodezice având la bază pricipiul celor mai mici pătrate.

⇒ *Transformări și rezultate* – coordonatele punctelor rezultate din măsurătorile GPS sunt obținute în datumul sateliților. Pentru compensarea acestor coordonate cu coordonatele deja cunoscute se impune efectuarea unei transformări dintr-un datum în altul.

Această transformare se face cu ajutorul a 7 parametri (3 translații, 3 rotații și 1 factor de scară). Cele două seturi de coordonate (în sistemul local și în sistemul sateliților) sunt apoi utilizate pentru a determina parametri de transformare prin metoda celor mai mici pătrate, cologație sau alte metode. Pentru zone mici este suficientă o transformare utilizând numai parametri de translație și eventual factorul de scară, deoarece parametri de rotație vor fi în acest caz puternic corelați cu primii.

Un algoritm specific de prelucrare a datelor măsurate cu receptoarele GPS se poate sintetiza sub forma unei scheme privind programul de postprocesare, conform schemei următoare.

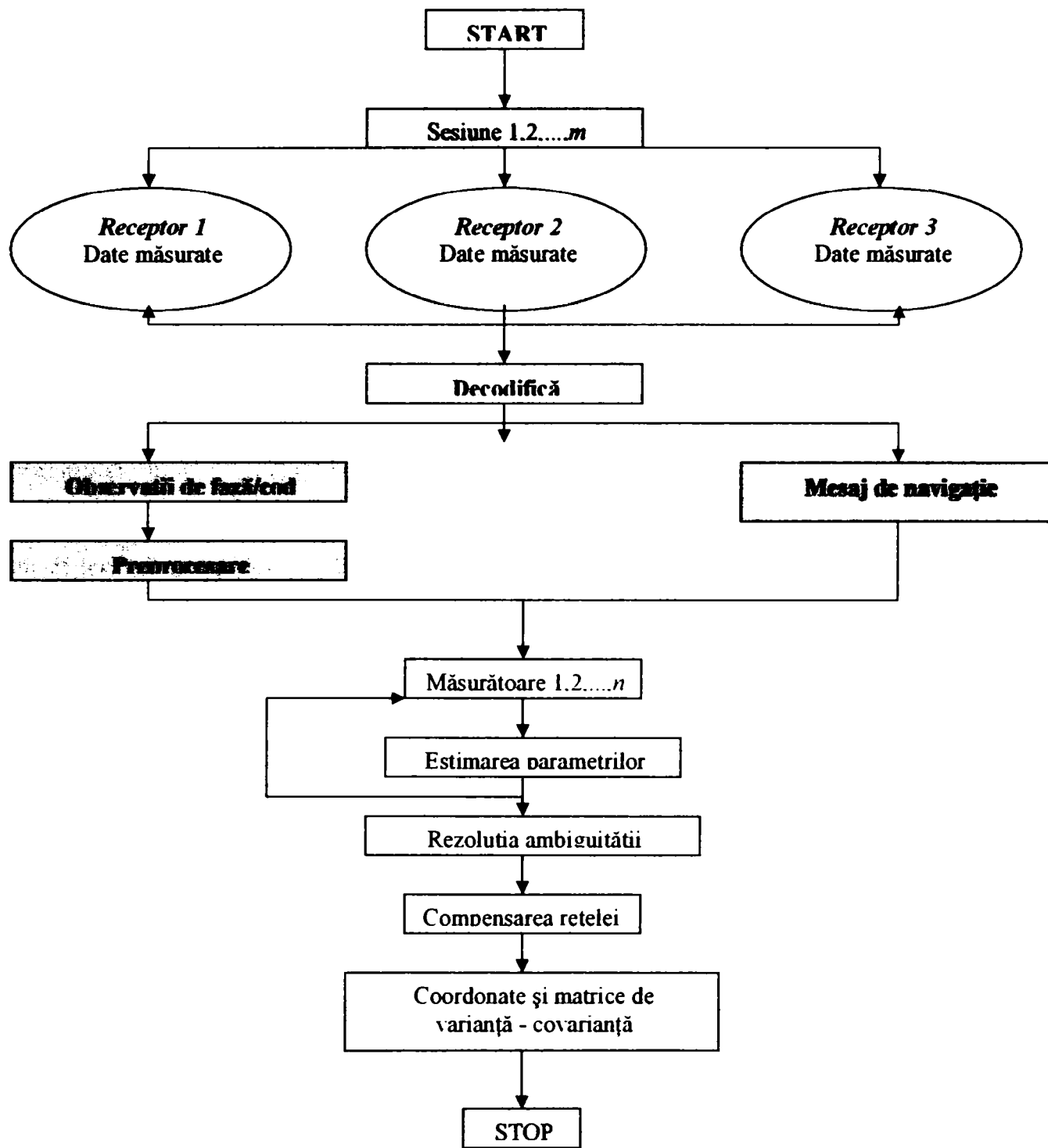


Figura 4.27 – Schemă privind prelucrarea observațiilor GPS

## CAPITOLUL 5 – STUDIU DE CAZ

### URMĂRIREA COMPORTĂRII ÎN TIMP A SĂLII POLIVALENTE DIN MUNICIPIUL CRAIOVA

#### 5.1 DATE GENERALE - SCURT ISTORIC

Clădirea veche a sălii polivalente din Craiova, proiectată în anul 1973, a fost distrusă parțial în urma incendiului din 19 noiembrie 1994.

Refacerea și modernizarea sălii polivalente, include tribuna veche, care urmează a fi consolidată, suprafața de joc, cât și construirea integrală a unei noi tribune, capacitatea finală ajungând astfel la 4000 locuri.

Noua construcție, se compune din două cadre longitudinale, cu o lungime de 72 m și o distanță între ele de 51 m, care formează astfel structura acoperișului.

Fundațiile existente sunt realizate pe piloți prefabricați cu secțiunea de 30 × 30 cm și lungimea de 7,20 m. Radierile piloților au cota superioară la – 4,10 m. Refacerea și modernizarea sălii polivalente include tribuna și terenul de joc de la vechea sală. Structura pentru susținerea acoperișului din metal și tribuna nouă sunt realizate din cadre de beton armat fundate pe piloți de diametru mare (80 cm) și lungimea de 8,40 m. La partea superioară piloții se leagă între ei prin intermediul unor grinzi de fundare longitudinale și transversale. Acestea se realizează din beton armat și au secțiunea de 1,60 m × 1,50 m, cota superioară este prevăzută a se realiza la – 2,00 m.

#### 5.2 DATE ASUPRA TERENULUI DE FUNDARE

Studiul geotehnic nr.6403/1996 a evidențiat următoarea stratificație a solului:

- umpluturi neomogene din pământ slab coeziv amestecat cu moloz, având grosimi cuprinse între 2,70 m și 4,20 m;
- praf nisipos, negricios, cu rădăcini de plante și cochilii de melci având grosimi cuprinse între 2,90 m și 3,80 m;
- nisip mijlociu – mare cu pietriș – cenușiu, îndesat cu grosimi de 1,60 m și 2,90 m;
- pietriș și bolovăniș înglobat într-o masă de nisip cenușiu, cu grosimi variind între 2,50 m și 3,40 m, ales ca suport al fundațiilor pe piloți;

- urmează o succesiune de profiluri argiloase și argile prăfoase consolidate.

Straturile slabe alcătuite din umpluturi neomogene și prafuri nisipoase este de circa 8 metri față de nivelul terenului actual, straturi evidențiate de forajele efectuate.

Nivelul hidrostatic s-a interceptat la  $-0,90$  m măsurat de la cota terenului actual, nivel mai ridicat cu până la 1 metru față de anii anteriori.

Din punct de vedere chimic, apa subterană prezintă agresivitate sulfatică intensă față de betonul din fundații.

Amplasamentul construcției se află în zona D de intensitate seismică, conform normativului P100-92, caracterizată prin coeficientul seismic  $k_s = 0,16$  și perioadă de colț  $T_c = 1,5s$  (echivalentului gradului 8 MSK). Clasa de importanță a construcției – clasa II.

### 5.3 PROGRAMUL PRIVIND MĂSURAREA TASĂRILOR

În proiectul lucrării de refacere și modernizare a sălii polivalente, constructorul a prevăzut un capitol dedicat măsurătorilor cu profil topografic în vederea determinării tasărilor absolute care survin în urma construirii noului edificiu.

Urmărirea comportării construcției în timpul execuției și la începutul exploatării acesteia se va face pe baza măsurătorilor de tasări prin metode topografice conform STAS 2745-90.

În acest scop pe elevația stâlpilor structurii de rezistență s-au montat 16 mărci (reperi) de tasare, realizate conform STAS 10493-76

Fixarea mărcilor de tasare s-a făcut la înălțimea de 0,5m față de cota  $\pm 0,00$  m a construcției.

Șase mărci de tasare sunt prevăzute pe câte un stâlp de la cadrele spațiale (stâlpii rotunzi de 120 cm diametru), patru pe stâlpii dreptunghiului de la anexe a căror dimensiuni sunt de  $60 \times 80$  cm (pe intervalele dintre cadrele spațiale), două în fațadele principale pe stâlpii de  $120 \times 120$  cm și două pe stâlpii tribunei noi și încă două pe stâlpii tribunei vechi.

Programul s-a desfășurat în două etape, după cum urmează:

- Etapa I – prevede realizarea unui număr de 4 cicluri de măsuratori, realizând măsurătoarea de referință “ZERO” la cota construcției de  $+ 2,75$  m, iar apoi 4 cicluri de măsuratori la cota construcției:  $+ 7,15$  m;  $+ 10,55$  m;  $+ 14,15$  m;  $+ 19,74$  m – înălțimea maximă înainte de montarea acoperișului;
- Etapa a II-a – constă în realizarea unui program de urmărire după montarea acoperișului, prevăzut inițial în anul 2001, și urmărirea trimestrială în primii 3 ani de la darea în folosință, apoi semestrială în următorii 5 ani.

Prelucrarea grafică a rezultatelor cuprinde reprezentarea pentru fiecare marcă de tasare a unei diagrame de evoluție în timp a tasării, în corelare cu creșterea în timp a încărcării transmise terenului de către construcție, conform STAS 2745-90.

În contextul actual, menționez faptul că până în momentul de față nu s-a putut respecta programul primei etape, datorită activității de șantier discontinue, astfel măsurătorile topo-geodezice eșalonându-se după cum urmează:

- măsurătoarea de referință “ZERO” realizată la data de 11 mai 2001;
- ciclu I realizat pe data de 28 octombrie 2001;
- ciclul II realizat pe 8 august 2002;
- ciclul III realizat la data de 10 mai 2003;
- ciclul IV realizat la data de 2 septembrie 2004.

În prezent, lucrările la sala polivalentă se află în faza finalizării construirii cadrelor longitudinale care formează noua construcție și a tribunelor, urmând ca în cel mai scurt timp posibil să se monteze acoperișul metalic al sălii și continuarea programului de urmărire și determinare a tasărilor pe o perioadă de cel puțin 3 ani.

## 5.4 CREAREA REȚELEI DE URMĂRIRE TOPOGRAFICĂ PENTRU STUDIUL COMPORTĂRII CONSTRUCȚIEI

Rețeaua de reperi de nivelment și puncte ale rețelei de urmărire, este formată din 4 puncte, numerotate *RN1*, *RN2*, *RN3* și *RN4*, care sunt dispuși conform normativelor în vigoare la o distanță:

$$D = (1,8 \dots 2,2) h_{max\text{ construcție}} \quad [m]$$

Motivația faptului că s-au ales un număr de 4 reperi de urmărire a fost impusă din considerente de măsurători cu profil topografic, pentru a avea o cât mai bună determinare asupra mărcilor de tasare încastrate pe construcție, urmând ca apoi în compensarea măsurătorilor să se poată folosi principiul de compensare al celor mai mici pătrate, utilizând metoda observațiilor indirecte.

Înălțimea finală construcției va fi de 22,50 m, fapt ce a condus la poziționarea reperilor de nivelment de control la o distanță de aproximativ 40 m de amplasamentul construcției, dispunerea realizându-se pe direcția colțurilor clădirii din următoarele motive:

- fiecare reper de nivelment se sprijină pe două din celelalte puncte de nivelment ale rețelei, obținându-se astfel o dublă determinare a stabilității în timp a acestora;

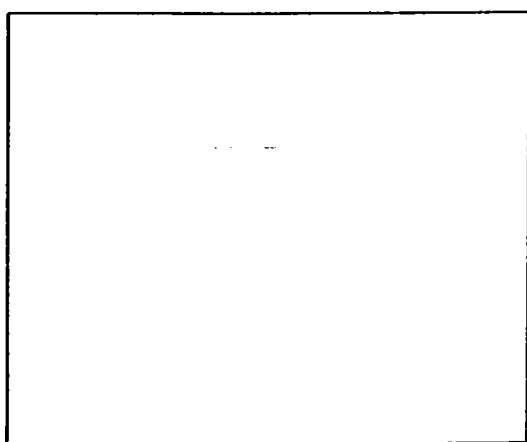
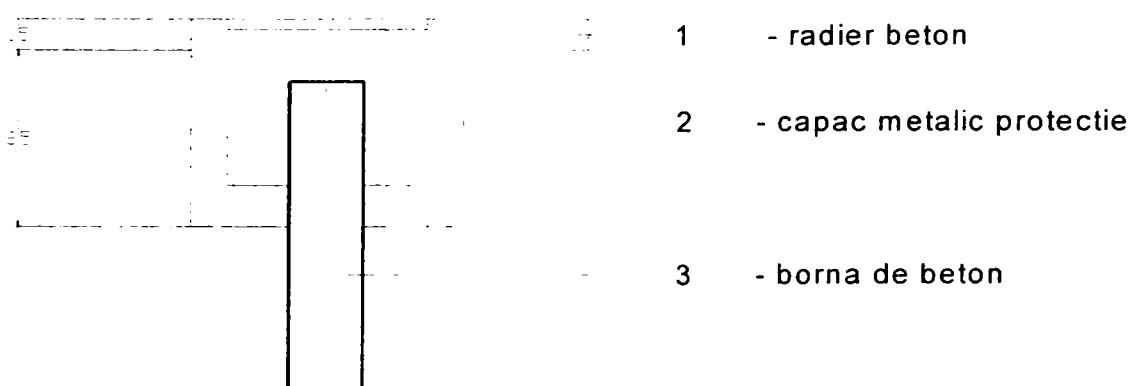


- punctele de stație amplasate în vecinătatea construcției se pot sprijini pe 3 reperi de nivelment, din fiecare punct de stație realizând măsurători pe două laturi ale construcției.

Reperii de nivelment s-au poziționat la adâncimea de  $- 1.80$  m de la nivelul terenului, constituindu-se dintr-o bornă de beton armat, fixată prin intermediul unui radier de beton, atât borna cât și radierul fiind protejați printr-un puț din beton prevăzut la partea superioară cu un capac metalic ce asigură etanșeitaea și portejarea căminului de vizitare. Borna de beton este prevăzută la partea superioară cu o placă metalică având marcat punctul matematic al reperului de nivelment printr-o pastilă semisferică din oțel.

Toți reperii de nivelment se află poziționați în teren stabil care nu prezintă pericol de surpare sau alunecare, nu există căi de comunicație cu trafic sporit în zonă.

### REPERI DE NIVELMENT DE CONTROL SALA POLIVALENTĂ CRAIOVA



*Figura 5.1 – Reper de nivelment de control- Sala polivalentă Craiova*

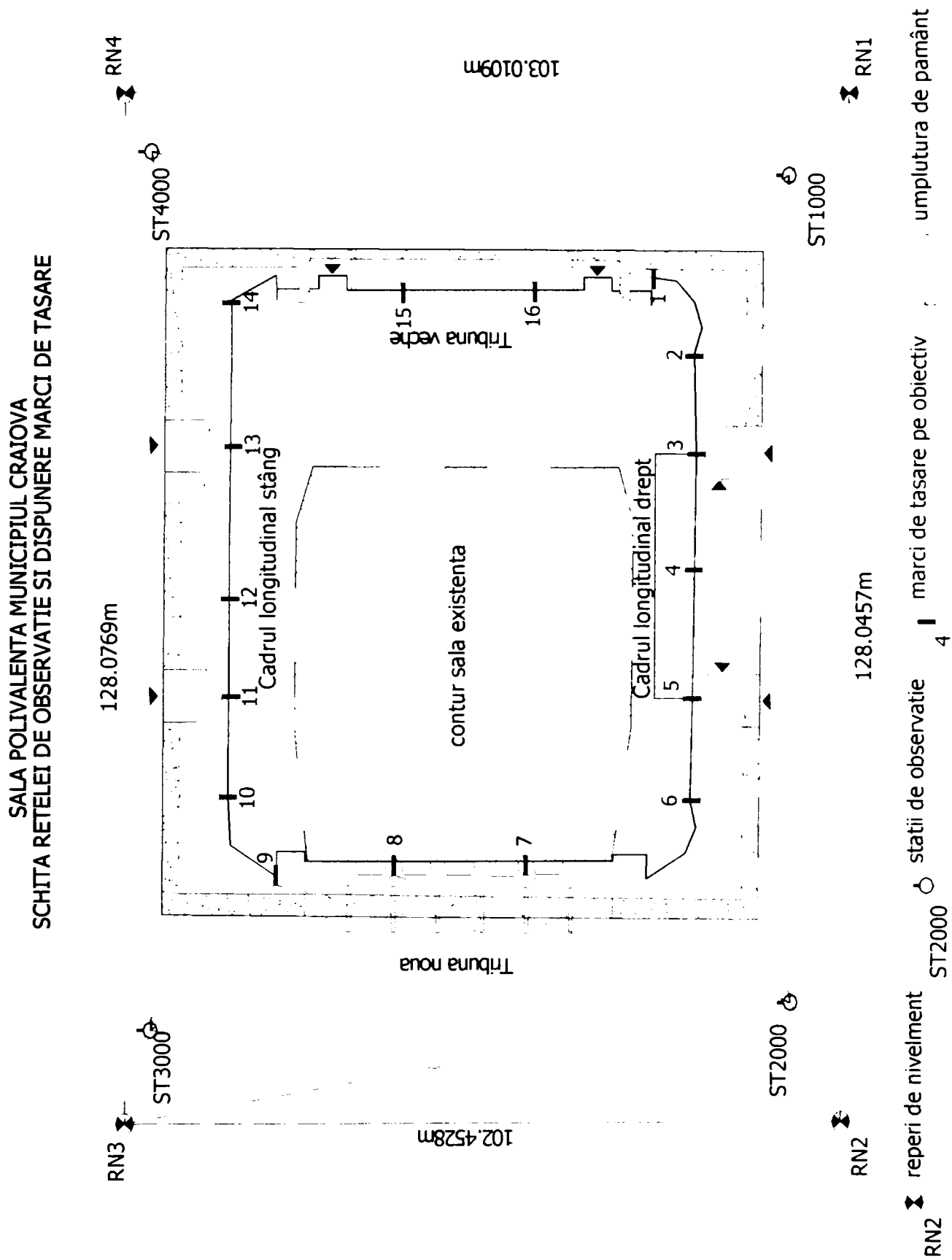


Figura 5.2 - Sala Polivalentă Craiova -Dispunerea rețelei de sprijin și a mărcilor de tasare

## 5.5 LUCRĂRI DE TEREN CORELATE CU MĂSURĂTORI TOPOGRAFICE

Piloții supuși încărcărilor au fost executați în centrul unui pătrat cu latura de 6,00 m, în fiecare colț al acestuia fiind executați piloți de ancoraj.

Încărcarea piloților de probă s-a realizat în trepte stabilizate de câte 30 tone fiecare. În vederea aplicării unor încărcări cât mai centrice, între capul pilotului și grinda principală s-a interpus un sistem cu bilă. Tasarea corespunzătoare capacității portante de calcul a piloților acceptată în urma încercărilor de probă “in situ” s-a stabilit de 25 mm.

Măsurarea deplasărilor pe verticală a piloților încercați s-a făcut atât cu microcomparatoare cu precizia de 0,01mm, cât și pe cale optică (măsurători de nivelment). Totodată s-au executat măsurători de nivelment și asupra piloților de ancoraj pentru a urmări modul de mobilizare al acestora în cadrul încercării.

Încărcarea de probă cu sarcini statice verticale a pilotului nr.257, pilot cu diametrul de 80cm, atestă că în timpul încărcării, pe măsura creșterii sarcinii aplicate, pilotul a parcurs mai multe etape după cum urmează:

- o primă etapă, până în jurul valorii de 60 tone când s-a produs mobilizarea frecării pe suprafața laterală;
- a doua etapă, până în jurul valorii de 180 tone, în cuprinsul căreia pilotul începe să lucreze și pe vârf înregistrând tasări progresive funcție de sarcina aplicată, sub sarcina maximă aplicată de 300 tone – pilotul înregistrează o tasare stabilizată de 75,12 mm.

*Tabel 4.1. - ÎNCĂRCARE PILOT DE PROBĂ NR.257 - SALA POLIVALENTĂ CRAIOVA*

<i>Încărcarea (tone)</i>	<i>Timp de stabilizare (ore)</i>	<i>Tasarea (mm)</i>
30	3,0	0,22
60	6,0	1,59
90	5,0	7,96
120	7,5	16,18
150	6,5	24,51
180	4,5	32,53
210	12,0	49,09
240	6,0	56,03
270	5,0	65,28
300	8,5	75,12
240	1,0	71,90
180	1,0	71,57
120	1,0	70,65
60	1,0	68,70

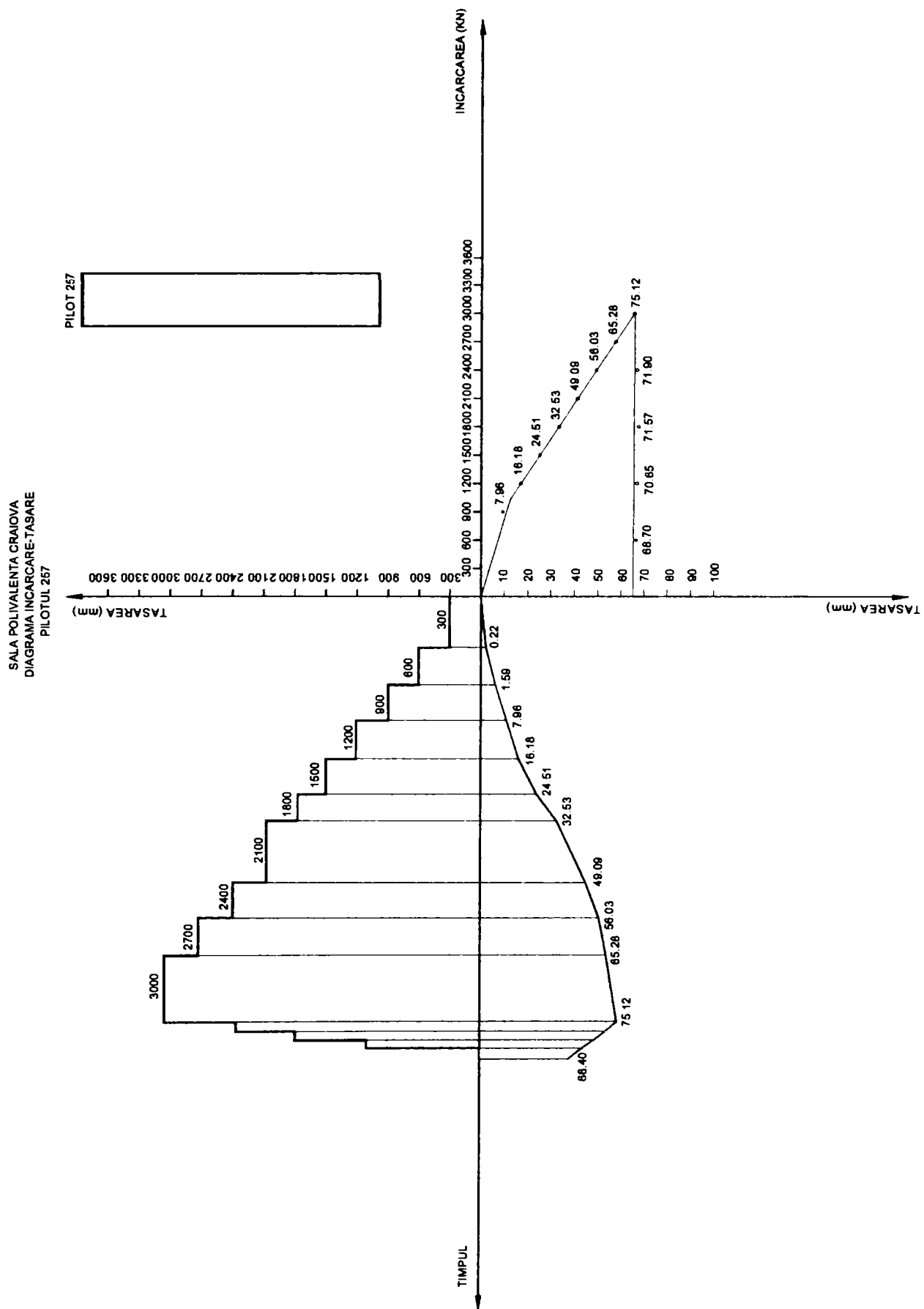


Figura 5.3 - Sala Polivalentă Craiova –Diagrama încărcare – tasare pilot 257

Măsurătorile topografice s-au realizat cu următoarea aparatură:

- Stație totală REC-ELTA 13C, Zeiss – Jena;
- Precizia de măsurare a direcțiilor unghiulare:  $p = \pm 3''$ ;
- Precizia de măsurare a lungimilor și diferențelor: zecime de milimetru;

Pentru determinarea diferențelor de nivel care interesează la calculul tasărilor s-a folosit urmatorul procedeu:

⇒ MENU PRINCIPAL

- Programul MĂSURARE
  - subprogramul E – Hz – h
  - D – Hz – V

în care: E – distanța orizontală

D- distanța înclinată

Hz – unghi orizontal

h- diferența de nivel

V- unghi vertical

Pentru fiecare ciclu de măsurători s-au introdus în aparat următoarele date:

- înălțimea instrumentului (mm);
- înălțimea reflectorului (mm);
- constanta adițională  $K = 35$  mm;
- setarea diviziunilor în fracțiuni de secundă și submilimetrică.

Ca metodă topografică s-a folosit metoda nivelmentului trigonometric, prin măsurarea pe teren a direcțiilor unghiulare, a distanțelor și diferențelor de nivel astfel:

- din punctele de stație s-au citit către 3 reperi de nivelment:
  - distanța orizontală
  - distanța înclinată;
  - diferența de nivel;
  - unghi orizontal și vertical;
- din fiecare punct de stație s-au măsurat pe mărcile de tasare:
  - diferențele de nivel și distanțe;
  - unghiuri orizontale și verticale;

Stabilitatea rețelei s-a efectuat la fiecare ciclu de măsurare, prin executarea ridicării topografice, în sistem de referință local.

## 5.6 PRELUCRAREA DATELOR MĂSURATE

După transferul datelor din aparat în calculator, elementele măsurate trebuie prelucrate pentru a obține direcții, distanțe și diferențe de nivel corectate. În prelucrarea datelor măsurate s-a folosit principiul celor mai mici pătrate, cazul observațiilor indirecte, prin obținerea sistemelor de ecuații normale, având un număr de 8 necunoscute (numărul reperilor de nivelment și stațiilor de observație), cu rezolvarea acestora prin schema Gauss-Doolittle extinsă cu coeficienții de pondere compuși și calculul coeficienților de pondere micști care au folosit la calculul elementelor elipsei erorilor în punctele amintite.

Evaluarea preciziei măsurătorilor executate și rezultatelor obținute, se va face pe baza unor indici de calitate cum sunt: eroarea medie pătratică a necunoscutelor  $dx$  și  $dy$ , iar în final, elementele elipselor erorilor, pentru punctele rețelei de urmărire.

- Eroarea medie pătratică a unității de pondere  $\delta^0$
- Eroarea medie a poziționării planimetrice
- Eroarea medie pătratică maximă este în reperul de nivelment 3
- Elementele elipselor erorilor: semiaxa mare, semiaxa mică și unghiul de orientare.

### CICLUL DE REFERINȚĂ – MĂSURĂTOAREA „ZERO” DISTANȚE CORECTATE

<i>De la</i>	<i>La</i>	<i>Distanța măsurată D' (m)</i>	<i>Pondere (p)</i>	<i>Termen liber (mm)</i>	<i>Corecția v (mm)</i>	<i>Distanțe corectate D (m)</i>
1	2	3	4	5	6	7
RN 1	RN 2	128,0674	1,00	-45,5	-45,5	128,0219
RN 2	RN 3	102,4458	1,00	-25,5	-25,5	102,4203
RN 3	RN 4	128,0661	1,00	-44,2	9,7	128,0219
RN 4	RN 1	103,0145	1,00	11,6	11,6	103,0029
RN 2	RN 1	128,0684	1,00	-26,6	-26,6	128,0219
RN 3	RN 2	102,4462	1,00	-34,9	-34,9	102,4203
RN 4	RN 3	128,0651	1,00	26,6	26,6	128,0219
RN 4	RN 1	103,0153	1,00	17,2	17,2	103,0029

*Lungimea drumuirii planimetrice și de nivelment D=461,4670m*

**CICLU DE MĂSURĂTOARE NR.1  
DISTANȚE CORECTATE**

<i>De la</i>	<i>La</i>	<i>Distanța măsurată D (m)</i>	<i>Pondere (p)</i>	<i>Termen liber (mm)</i>	<i>Corecția v (mm)</i>	<i>Distanțe corectate D (m)</i>	<i>Vectorul deplasării ciclul "0" (mm)</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
RN 1	RN 2	128,0684	1,00	-35,2	-35,2	128,0332	1.13
RN 2	RN 3	102,4510	1,00	-21,7	-21,7	102,4259	0.56
RN 3	RN 4	128,0673	1,00	-40,2	-40,2	128,0271	0.52
RN 4	RN 1	103,0149	1,00	12,6	12,6	103,0275	2.46
RN 2	RN 1	128,0675	1,00	21,3	21,3	128,0332	1.13
RN 3	RN 2	102,4518	1,00	-30,1	-30,1	102,4259	0.56
RN 4	RN 3	128,0684	1,00	22,9	22,9	128,0271	0.52
RN 4	RN 1	103,0165	1,00	14,4	14,4	103,0275	2.46
<i>Lungimea drumuirii planimetrice și de nivelment D=461,5137m</i>							

**CICLUL DE MĂSURĂTOARE NR.2  
DISTANȚE CORECTATE**

<i>De la</i>	<i>La</i>	<i>Distanța măsurată D (m)</i>	<i>Pondere (p)</i>	<i>Termen liber (mm)</i>	<i>Corecția v (mm)</i>	<i>Distanțe corectate D (m)</i>	<i>Vectorul deplasării ciclul "0" (mm)</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
RN 1	RN 2	128,0591	1,00	-17,5	-17,5	128,0416	1.97
RN 2	RN 3	102,4522	1,00	-22,4	-22,4	102,4298	0.95
RN 3	RN 4	128,0658	1,00	-25,8	-25,8	128,0400	1.81
RN 4	RN 1	103,0170	1,00	8,8	8,8	103,0258	2.29
RN 2	RN 1	128,0608	1,00	-19,2	-19,2	128,0416	1.97
RN 3	RN 2	102,4534	1,00	-23,6	-23,6	102,4298	0.95
RN 4	RN 3	128,0647	1,00	24,7	24,7	128,0400	1.81
RN 4	RN 1	103,0181	1,00	-7,7	-7,7	103,0258	2.29
<i>Lungimea drumuirii planimetrice și de nivelment D=461,5372m</i>							

**CICLUL DE MĂSURĂTOARE NR.3  
DISTANȚE CORECTATE**

<i>De la</i>	<i>La</i>	<i>Distanța măsurată D (m)</i>	<i>Pondere (p)</i>	<i>Termen liber (mm)</i>	<i>Corecția v (mm)</i>	<i>Distanțe corectate D (m)</i>	<i>Vectorul deplasării ciclul "0" (mm)</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
RN 1	RN 2	128,0541	1,00	-23,1	-23,1	128,0310	0,91
RN 2	RN 3	102,4561	1,00	-14,9	-14,9	102,4412	2,09
RN 3	RN 4	128,0633	1,00	21,1	21,1	128,0844	6,25
RN 4	RN 1	103,0197	1,00	-14,3	-14,3	103,0054	0,25
RN 2	RN 1	128,0622	1,00	-31,2	-31,2	128,0310	0,91
RN 3	RN 2	102,4507	1,00	9,5	9,5	102,4412	2,09
RN 4	RN 3	128,0681	1,00	-16,3	-16,3	128,0844	6,25
RN 4	RN 1	103,0156	1,00	10,2	10,2	103,0054	0,25
<i>Lungimea drumuirii planimetrice și de nivelment D=461,5620m</i>							

**CICLUL DE MĂSURĂTOARE NR.4  
DISTANȚE CORECTATE**

<i>De la</i>	<i>La</i>	<i>Distanța măsurată D (m)</i>	<i>Pondere (p)</i>	<i>Termen liber (mm)</i>	<i>Corecția v (mm)</i>	<i>Distanțe corectate D (m)</i>	<i>Vectorul deplasării ciclul "0" (mm)</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
RN 1	RN 2	128,0538	1,00	-8,1	-8,1	128,0457	2,38
RN 2	RN 3	102,4564	1,00	-3,6	-3,6	102,4528	3,25
RN 3	RN 4	128,0638	1,00	13,1	13,1	128,0769	5,50
RN 4	RN 1	103,0192	1,00	-8,3	-8,3	103,0109	0,80
RN 2	RN 1	128,0572	1,00	-11,5	-11,5	128,0457	2,38
RN 3	RN 2	102,4554	1,00	-26,0	-26,0	102,4528	3,25
RN 4	RN 3	128,0640	1,00	12,9	12,9	128,0769	5,50
RN 4	RN 1	103,0187	1,00	-7,8	-7,8	103,0109	0,80
<i>Lungimea drumuirii planimetrice și de nivelment D=461,5863m</i>							



**CICLUL DE REFERINȚĂ – MĂSURĂTOAREA ZERO  
DIRECȚII CORECTATE**

Stația 1000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN1	76.71550	26.67193	98.95643	-9.2	1.00	-9.2	76.71458	26.67194
RN2	180.68900	130.64727	98.95827	9.2	1.00	9.2	180.6899	130.6472

Stația 2000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN1	291.03700	330.64727	99.61027	-15.1	1.00	15.1	291.0354	330.6472
RN2	382.52300	22.13707	99.61407	22.8	1.00	22.9	382.5252	22.13705
RN3	133.56600	173.18180	99.61580	40.2	1.00	-40.2	133.5700	173.1818

Stația 3000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN2	290.71400	238.98805	99.27405	2.9	1.00	2.9	290.71429	238.9880
RN3	325.40250	273.67892	99.27642	26.6	1.00	26.6	325.40516	273.6789
RN4	24.91100	373.18180	99.27080	-29.6	1.00	-29.6	24.90804	373.1818

Stația 4000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN1	223.98900	226.67193	99.68293	-4.6	1.00	-4.6	223.98854	226.6719
RN4	128.69100	131.37305	99.68205	-13.4	1.00	13.4	128.68966	131.3730
RN3	128.27600	130.96119	99.68519	17.9	1.00	18.0	128.27780	130.9612

## CICLUL DE REFERINȚĂ – MĂSURĂTOAREA „ZERO”

## COORDONATELE PUNCTELOR DE CONTROL ȘI STAȚIILOR DE OBSERVAȚIE

Denumire punct	X[m]	Y[m]
Punct control 1 – RN 1	15000.000	12000.000
Punct control 1 – RN 2	14872.0803	12000.4655
Punct control 1 – RN 3	14872.0021	12102.9182
Punct control 1 – RN 4	15000.0790	12103.0109
Stația 1000	14989.7729	12008.5311
Stația 2000	14887.0303	12007.7874
Stația 3000	14883.6800	12099.2524
Stația 4000	14992.7510	12099.2524

CICLUL DE MĂSURĂTOARE NR.4  
DIRECȚII CORECTATE

## Stația 1000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN1	81.47.32	31.55.91	98.95.41	-7.2	1.00	-7.2	81.47.392	31.55.838
RN2	185.44.67	135.53.44	98.9503	7.2	1.00	7.2	185.44.742	135.53.512

## Stația 2000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN1	291.03700	330.64727	99.61027	-15.1	1.00	15.1	291.0354	330.6472
RN2	382.52300	22.13707	99.61407	22.8	1.00	22.9	382.5252	22.13705
RN3	133.56600	173.18180	99.61580	40.2	1.00	-40.2	133.5700	173.1818

## Stația 3000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN2	290.71400	238.98805	99.27405	2.9	1.00	2.9	290.71429	238.9880
RN3	325.40250	273.67892	99.27642	26.6	1.00	26.6	325.40516	273.6789
RN4	24.91100	373.18180	99.27080	-29.6	1.00	-29.6	24.90804	373.1818

Stația 4000

Viza	Mărimi măsurate / provizorii			Termen liber l (cc)	p	v (cc)	Mărimi compensate	
	$\alpha$	$\theta$	z				$\alpha$	$\theta$
RN1	223.98900	226.67193	99.68293	-4.6	1.00	-4.6	223.98854	226.6719
RN4	128.69100	131.37305	99.68205	-13.4	1.00	13.4	128.68966	131.3730
RN3	128.27600	130.96119	99.68519	17.9	1.00	18.0	128.27780	130.9612

#### CICLUL DE MĂSURĂTOARE NR.4

#### COORDONATELE PUNCTELOR DE CONTROL ȘI STAȚILOR DE OBSERVAȚIE

Denumire punct	X[m]	Y[m]
Punct control 1 – RN 1	15000.0000	12000.0000
Punct control 1 – RN 2	14872.0883	12000.4695
Punct control 1 – RN 3	14872.0101	12102.9222
Punct control 1 – RN 4	15000.0870	12103.0149
Stația 1000	14989.7809	12008.5351
Stația 2000	14887.0383	14887.0383
Stația 3000	14883.6880	12099.2564
Stația 4000	14992.7590	12099.2564

#### CALCULUL VECTORULUI DEPLASĂRII PUNCTELOR DE CONTROL ȘI DE OBSERVAȚIE

Denumire punct	$\Delta X^{II'-0''}$ (mm)	$\Delta Y^{II'-0''}$ (mm)	Vectorul deplasării "L"(mm)
Punct control 1 – RN 1	<i>admis stabil</i>	<i>admis stabil</i>	--
Punct control 1 – RN 2	1.2	2.1	2.41
Punct control 1 – RN 3	0.8	2.4	2.53
Punct control 1 – RN 4	1.4	2.3	2.69
Stația 1000	0.7	0.2	0.73
Stația 2000	0.7	1.1	1.30
Stația 3000	1.2	2.3	2.59
Stația 4000	1.5	2.4	2.83

**EVALUAREA PRECIZIEI ȘI ELEMENTELE ELIPSELOR ERORILOR  
CICLU DE REFERINȚĂ „ZERO”**

Pct.	Eroarea medie pătratică		Abaterea medie totală	Elipsele erorilor		
	$\pm m_x (mm)$	$\pm m_y (mm)$		$a (mm)$	$b (mm)$	$\theta$
RN1	27.17	26.60	38.02	27.88	25.86	90.8735
RN2	23.78	21.24	31.89	23.84	21.17	59.4866
RN3	16.59	17.76	24.30	21.37	11.58	196.0084
RN4	27.64	28.76	39.89	28.92	27.48	171.5408
St1000	27.45	24.22	36.61	27.54	24.12	39.3109
St2000	34.01	33.61	47.81	39.29	27.24	98.9336
St3000	44.10	39.19	59.01	50.29	30.86	8.3591
St4000	25.94	24.22	35.49	26.96	23.07	14.5415

**EVALUAREA PRECIZIEI ȘI ELEMENTELE ELIPSELOR ERORILOR  
CICLU DE MĂSURĂTOARE NR.4**

Pct.	Eroarea medie pătratică		Abaterea medie totală	Elipsele erorilor		
	$\pm m_x (mm)$	$\pm m_y (mm)$		$a (mm)$	$b (mm)$	$\theta$
RN1	27.46	26.09	38.54	4.65	4.21	90.1743
RN2	23.07	21.48	31.27	4.25	4.04	59.0436
RN3	16.11	17.15	24.06	6.47	5.62	196.0174
RN4	27.09	28.22	39.18	5.87	5.03	171.2417
St1000	27.02	24.55	36.24	6.54	5.74	39.3409
St2000	34.47	33.27	47.33	7.29	5.88	98.9351
St3000	43.55	39.81	59.48	5.29	5.04	8.3371
St4000	25.64	24.36	35.14	8.96	7.24	14.5172

## FIȘA DE TASARE – CICLUL 1

*OBIECTIV: Sala Polivalentă**LOCALITATEA: Craiova**DATA MASURATORILOR: 28.10.2001**Tasarea probabilă calculată:  $s_m = 25 \text{ mm}$* 

<i>REPERI NIVELMENT ȘI MĂRCI TASARE</i>	<i>COTA (m)</i>		<i>TASAREA (mm)</i>
	<i>ZERO</i>	<i>CICLUL 1</i>	
M1	2,1684	2,1637	- 4.7
M2	2,1649	2,1623	- 2.6
M3	2,1602	2,1556	- 0.6
M4	2,1661	2,1617	- 4.4
M5	2,1663	2,1625	- 3.6
M6	2,1645	2,1605	- 0.4
M7	2,1650	2,1625	- 2.5
M8	2,1606	2,1586	- 2.0
M9	2,1678	2,1621	- 5.7
M10	2,1653	2,1618	- 3.5
M11	2,1651	2,1617	- 3.4
M12	2,1606	2,1590	- 1.6
M13	2,1689	2,1637	- 5.2
M14	2,1664	2,1615	- 4.9
M15	2,1633	2,1606	- 2.7
M16	2,1634	2,1599	- 3.5
RN 1	85,000	84,998	- 2.0
RN 2	85,276	85,276	- 0.0
RN 3	85,310	85,311	+1.0
RN 4	85,108	85,107	- 1.0
<b>Data</b>	<b>11.05.2001</b>	<b>28.10.2001</b>	

*Intervalul dintre ciclul de referință și ciclul 1 - 167 zile**Temperatura mediului ambiant 19<sup>0</sup>C**Sesiune de lucru – 8 ore*

## FIȘA DE TASARE – CICLUL 2

*OBIECTIV: Sala Polivalentă**LOCALITATEA: Craiova**DATA MASURATORILOR: 08.08.2002**Tasarea probabilă calculată:  $s_m = 25 \text{ mm}$* 

REPERI NIVELMENT ȘI MĂRCI TASARE	COTA (m)		TASAREA (mm)
	ZERO	CICLUL 2	
M1	2,1684	2,1630	- 5.4
M2	2,1649	2,1617	- 3.2
M3	2,1602	2,1552	- 1.0
M4	2,1661	2,1610	- 5.1
M5	2,1663	2,1605	- 5.6
M6	2,1645	2,1590	- 5.5
M7	2,1650	2,1615	- 3,5
M8	2,1606	2,1576	- 3,0
M9	2,1678	2,1601	- 7,7
M10	2,1653	2,1610	- 4.3
M11	2,1651	2,1602	- 4.9
M12	2,1606	2,1557	- 4.9
M13	2,1689	2,1615	- 7.4
M14	2,1664	2,1601	- 6.3
M15	2,1633	2,1577	- 7.6
M16	2,1634	2,1589	- 4.5
RN 1	85,000	84,995	- 5.0
RN 2	85,276	85,276	- 0.0
RN 3	85,310	85,311	+1.0
RN 4	85,108	85,105	- 3.0
<b>Data</b>	<b>11.05.2001</b>	<b>08.08.2002</b>	

*Intervalul dintre ciclul de referință și ciclul 2 - 452 zile**Temperatura mediului ambiant  $30^{\circ}\text{C}$* *Sesiune de lucru - 8 ore**Tasarea probabilă calculată:  $s_m = 25 \text{ mm}$*

## FIȘA DE TASARE – CICLUL 3

*OBIECTIV: Sala Polivalentă**LOCALITATEA: Craiova**DATA MASURATORILOR: 10.05.2003**Tasarea probabilă calculată:  $s_m = 25 \text{ mm}$* 

<i>REPERI NIVELMENT ȘI MĂRCI TASARE</i>	<i>COTA (m)</i>		<i>TASAREA (mm)</i>
	<i>ZERO</i>	<i>CICLUL 3</i>	
M1	2,1684	2,1610	- 7.4
M2	2,1649	2,1568	- 8.1
M3	2,1602	2,1533	- 6.9
M4	2,1661	2,1588	- 7.3
M5	2,1663	2,1581	- 8.2
M6	2,1645	2,1570	- 7.5
M7	2,1650	2,1585	- 6.5
M8	2,1606	2,1551	- 5.5
M9	2,1678	2,1592	- 8.6
M10	2,1653	2,1598	- 5.5
M11	2,1651	2,1590	- 6.1
M12	2,1606	2,1527	- 7.9
M13	2,1689	2,1601	- 8.8
M14	2,1664	2,1590	- 7.4
M15	2,1633	2,1565	- 8.8
M16	2,1634	2,1575	- 5.9
RN 1	85,000	84,995	- 5.0
RN 2	85,276	85,274	- 2.0
RN 3	85,310	85,312	+2.0
RN 4	85,108	85,105	- 3.0
<b>Data</b>	<b>11.05.2001</b>	<b>10.05.2003</b>	

*Intervalul dintre ciclul de referință și ciclul 3 - 730 zile**Temperatura mediului ambiant  $24^{\circ}\text{C}$* *Sesiune de lucru - 8 ore*

## FIȘA DE TASARE – CICLUL 4

*OBIECTIV: Sala Polivalentă**LOCALITATEA: Craiova**DATA MASURATORILOR: 02.09.2004**Tasarea probabilă calculată:  $s_m = 25 \text{ mm}$* 

REPERI NIVELMENT ȘI MĂRCI TASARE	COTA (m)		TASAREA (mm)
	ZERO	CICLUL 4	
M1	2,1684	2,1608	- 7.6
M2	2,1649	2,1565	- 8.4
M3	2,1602	2,1528	- 7.4
M4	2,1661	2,1585	- 7.6
M5	2,1663	2,1578	- 8.5
M6	2,1645	2,1568	- 7.7
M7	2,1650	2,1580	- 7.0
M8	2,1606	2,1547	- 5.9
M9	2,1678	2,1590	- 8.8
M10	2,1653	2,1592	- 6.2
M11	2,1651	2,1586	- 6.5
M12	2,1606	2,1523	- 8.3
M13	2,1689	2,1560	- 8.9
M14	2,1664	2,1585	- 7.9
M15	2,1633	2,1563	- 9.0
M16	2,1634	2,1571	- 6.3
RN 1	85,000	84,995	- 5.0
RN 2	85,276	85,274	- 2.0
RN 3	85,310	85,308	- 2.0
RN 4	85,108	85,105	- 3.0
<b>Data</b>	<b>11.05.2001</b>	<b>02.09.2004</b>	

*Intervalul dintre ciclul de referință și ciclul 4 - 1180 zile**Temperatura mediului ambiant  $30^{\circ}\text{C}$* *Sesiune de lucru - 8 ore*



## 5.7 PREZENTAREA REZULTATELOR ȘI PRELUCRĂRILOR MĂSURĂTORILOR ASUPRA SĂLII POLIVALENTE CRAIOVA

Programul de urmărire a comportării în timp a sălii polivalente din municipiul Craiova, s-a desfășurat până în prezent pe parcursul a cinci cicluri de măsurători topografice, din care primul l-a constituit ciclul de referință.

Ultima măsurătoare efectuată a avut loc în luna septembrie a anului 2004, atunci când cele 2 cadre longitudinale ale construcției alături de tribuna nouă erau în faza de finalizare. De la momentul respectiv până în prezent (februarie 2006), datorită stagnării lucrărilor de construcții din diferite motive, nu s-au mai executat măsurători cu caracter topografic de urmărire a evoluției construcției.

Următoarea etapă privind continuarea programului de urmărire a comportării în timp, se va realiza în momentul în care se va monta acoperișul construcției, fapt ce va duce astfel la creșterea încărcărilor asupra structurii. Montarea acoperișului se va realiza, probabil, pe parcursul anului 2006, ceea ce va impune continuarea ciclurilor de măsurători, cel puțin 2, până la finalizarea tuturor lucrărilor exterioare și interioare și darea spre exploatare a sălii polivalente.

Măsurarea tasărilor în timpul execuției construcției prezintă următoarele avantaje:

- posibilitatea de apreciere a terenului de fundare, datorită faptului că măsurătorile de tasări în acest caz pot fi reprezentate la scară naturală, astfel se elimină cauzele care generează neconcordanța dintre tasările calculate probabile, cauze ce se pot explica prin: perturbarea probei de pământ, diferența dintre presiunea apei din pori și aparatul de încercare, viteza de încărcare din teren și aparatul de încercare;
- posibilitatea comparării tasărilor evaluate și cele măsurate;
- conduce la micșorarea factorului de nesiguranță pentru constructor.

Măsurătorile topografice a tasărilor, efectuate sistematic, pe baza unui program de urmărire prestabilit, redau cel mai fidel caracterul absolut al valorilor mărimilor tasărilor realizate. Acest lucru trebuie completat cu o corectă proiectare a formei rețelei de urmărire, cu materializarea fermă a reperilor de control și a mărcilor de tasare pe obiectivul studiat.

Astfel, problema urmăririi și evaluării tasărilor poate fi considerată o problemă de mare importanță tehnico-economică, contribuind decisiv la eficientizarea și asigurarea unei bune desfășurări a activităților de șantier cu reducerea semnificativă în unele cazuri a costurilor posibile datorate unor evenimente speciale în comportarea evoluției în timp a edificiului.

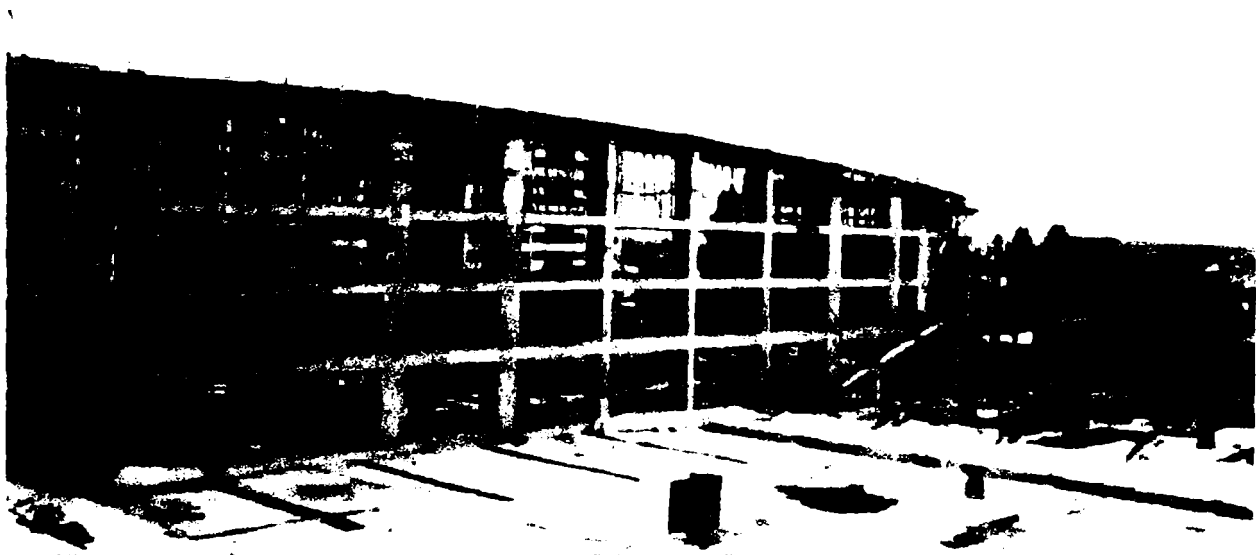
**SALA POLIVALENTĂ MUNICIPIUL CRAIOVA  
REFACERE CADRE LONGITUDINALE ȘI TRIBUNA NOUĂ**

*Ansamblu cadru longitudinal stâng cu poziționare marcă de tasare*



*Cadru longitudinal stâng finalizat – mai 2002*

---

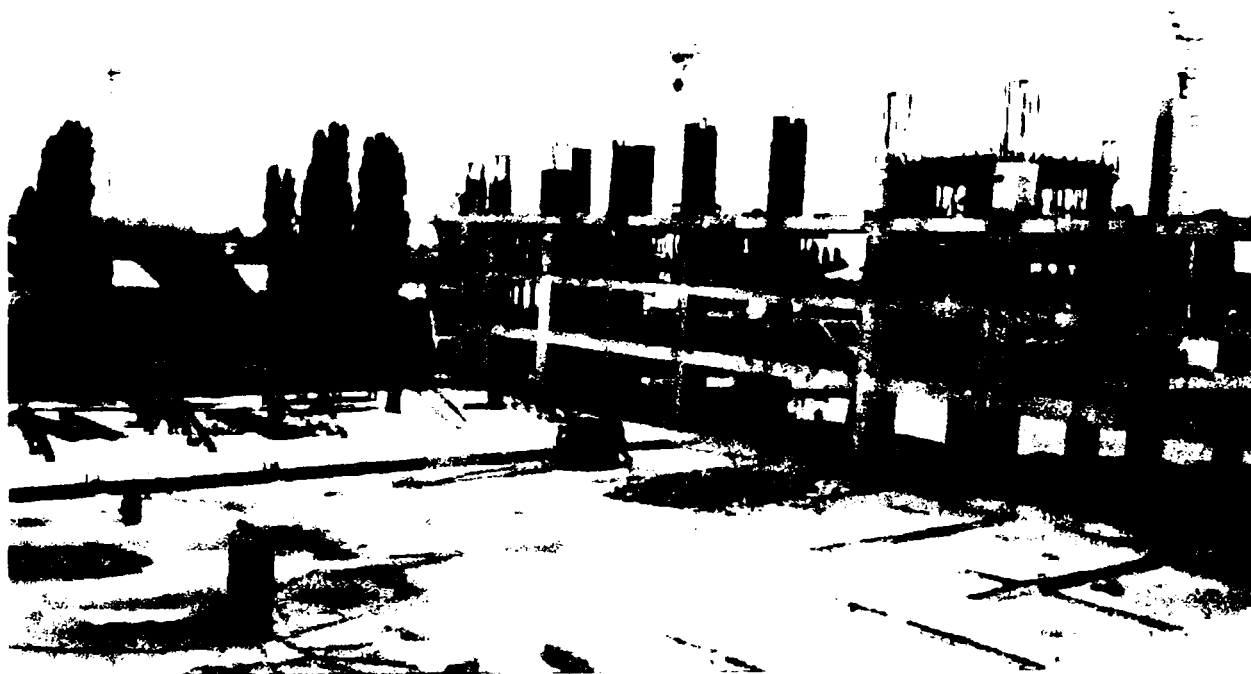


**SALA POLIVALENTĂ MUNICIPIUL CRAIOVA  
REFACERE CADRE LONGITUDINALE ȘI TRIBUNA NOUĂ**

*Dispunere mărci de tasare pe tribuna nouă    capacitate 2000 locuri*

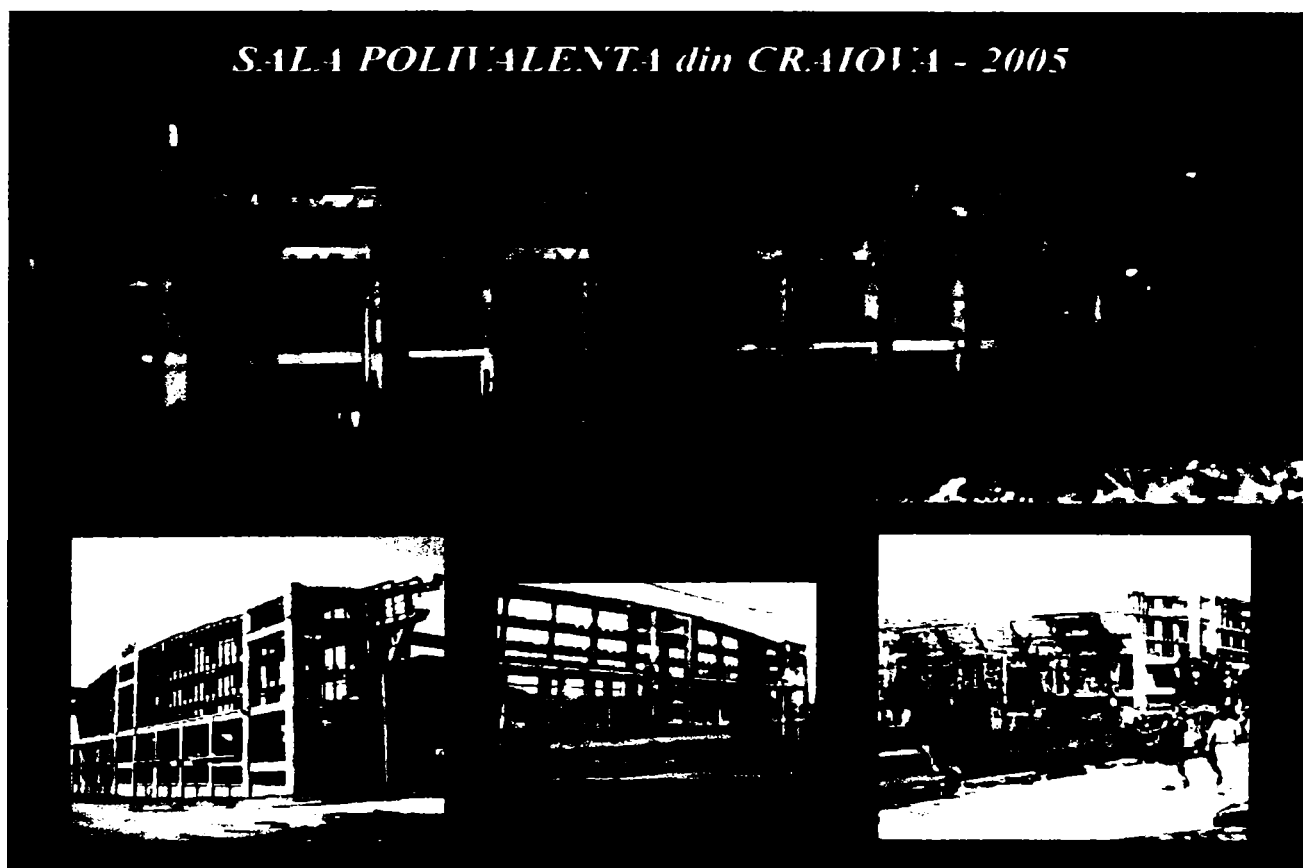


*Cadru longitudinal drept – august 2001*



**SALA POLIVALENTĂ MUNICIPIUL CRAIOVA**  
**SITUAȚIA EXISTENTĂ – FINALIZARE CONSTRUIRE STRUCTURĂ**

*Sala polivalentă la finalizarea cadrelor longitudinale*



*Sala polivalentă în prezent*

## 5.8 EVOLUȚIA COMPORTĂRII MĂRCILOR DE TASARE ÎN TIMP

### FIȘA DE TASARE CU COTE ABSOLUTE PENTRU MĂRCILE DE TASARE

<i>MĂRCI TASARE</i>	<i>CICLUL DE REFERINȚĂ</i>	<i>CICLUL 1</i>	<i>CICLUL 2</i>	<i>CICLUL 3</i>	<i>CICLUL 4</i>	<i>TASAREA TOTALĂ (mm)</i>
<i>COTE ABSOLUTE (m)</i>						
<b>M1</b>	<b>2,1684</b>	2,1637	2,1630	2,1610	2,1608	- 7.6
<b>M2</b>	<b>2,1649</b>	2,1623	2,1617	2,1568	2,1565	- 8.4
<b>M3</b>	<b>2,1602</b>	2,1556	2,1552	2,1533	2,1528	- 7.4
<b>M4</b>	<b>2,1661</b>	2,1617	2,1610	2,1588	2,1585	- 7.6
<b>M5</b>	<b>2,1663</b>	2,1625	2,1605	2,1581	2,1578	- 8.5
<b>M6</b>	<b>2,1645</b>	2,1605	2,1590	2,1570	2,1568	- 7.7
<b>M7</b>	<b>2,1650</b>	2,1625	2,1615	2,1585	2,1580	- 7.0
<b>M8</b>	<b>2,1606</b>	2,1586	2,1576	2,1551	2,1547	- 5.9
<b>M9</b>	<b>2,1678</b>	2,1621	2,1601	2,1592	2,1590	- 8.8
<b>M10</b>	<b>2,1653</b>	2,1618	2,1610	2,1598	2,1592	- 6.2
<b>M11</b>	<b>2,1651</b>	2,1617	2,1602	2,1590	2,1586	- 6.5
<b>M12</b>	<b>2,1606</b>	2,1590	2,1557	2,1527	2,1523	- 8.3
<b>M13</b>	<b>2,1689</b>	2,1637	2,1615	2,1601	2,1600	- 8.9
<b>M14</b>	<b>2,1664</b>	2,1615	2,1601	2,1590	2,1585	- 7.9
<b>M15</b>	<b>2,1633</b>	2,1606	2,1577	2,1565	2,1563	- 9.0
<b>M16</b>	<b>2,1634</b>	2,1599	2,1589	2,1575	2,1571	- 6.3
<b>Data</b>	<b>11.05.2001</b>	<b>28.10.2001</b>	<b>08.08.2002</b>	<b>10.05.2003</b>	<b>02.09.2004</b>	

#### Concluzii:

- tasarea probabilă acceptată este de 25 mm;
- tasarea maximă se înregistrează pentru marca de tasare M15 = - 9,0 mm;
- tasarea minimă se înregistrează pentru marca de tasare M8 = - 5.9 mm;
- tasarea medie = - 7.625mm.

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.1

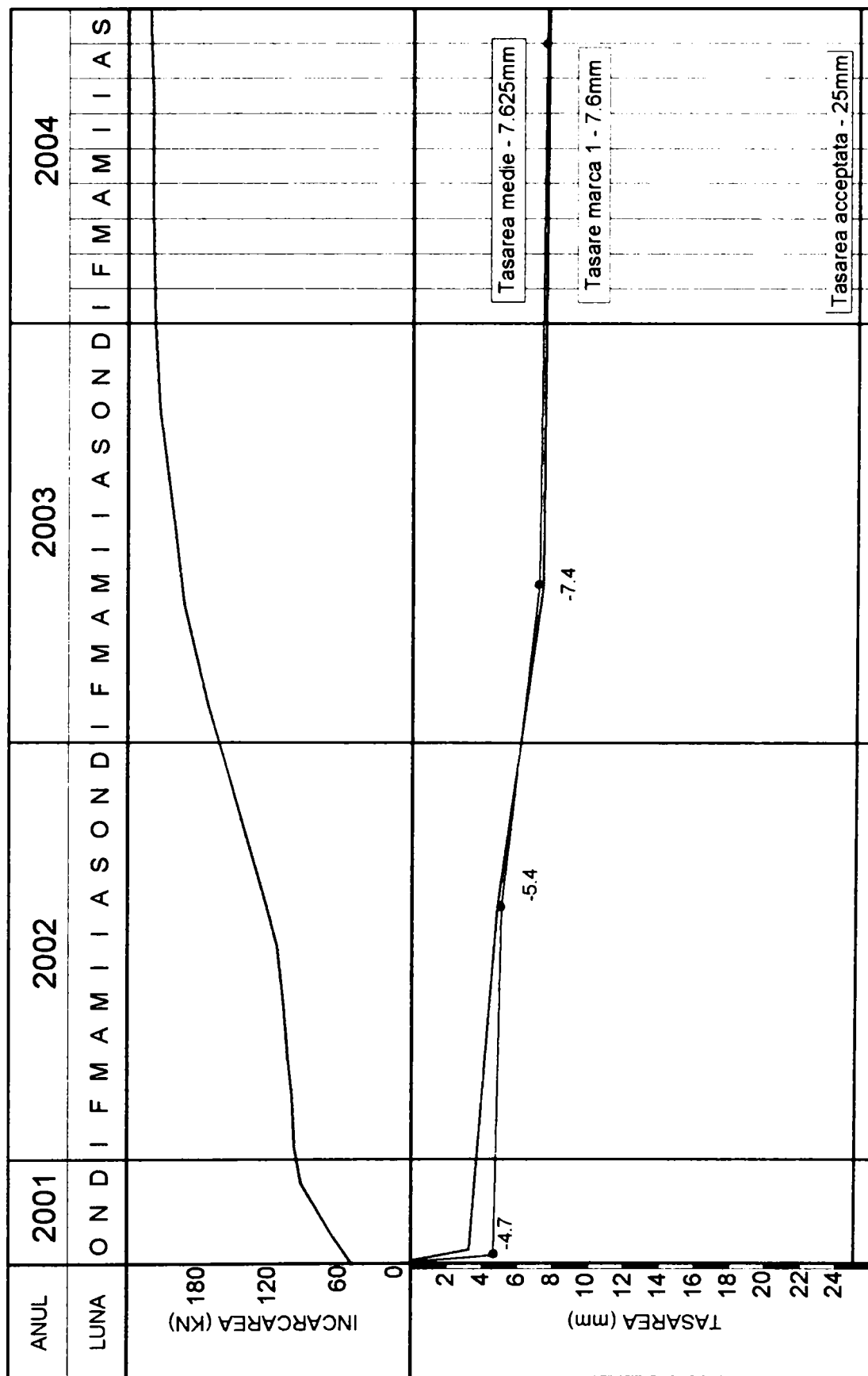


Diagrama 1 - Evoluția mărcii de tasare 1

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.2

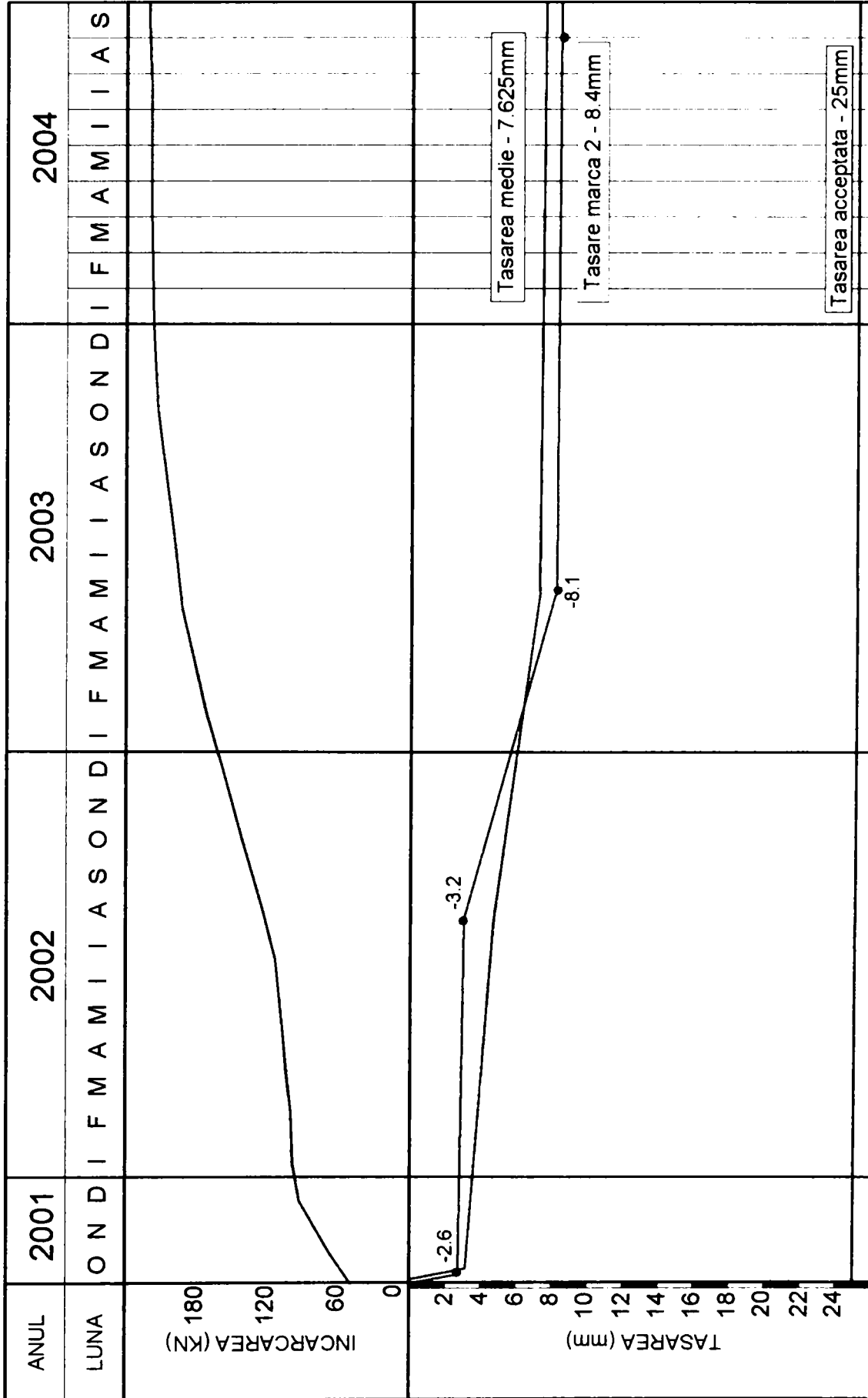


Diagrama 2 - Evoluția mărcii de tasare 2

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.3

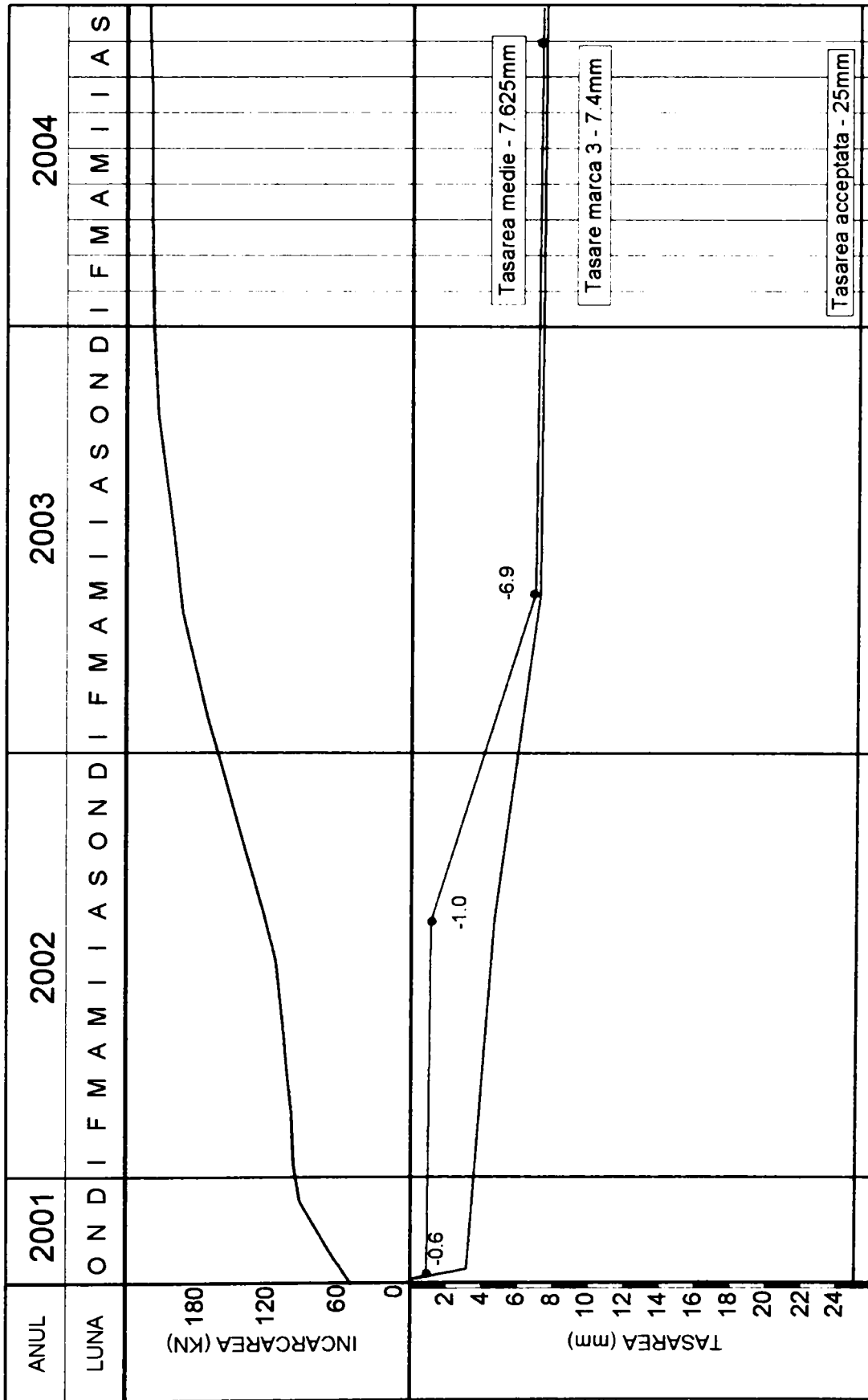


Diagrama 3 - Evoluția mărcii de tasare 3



DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.4

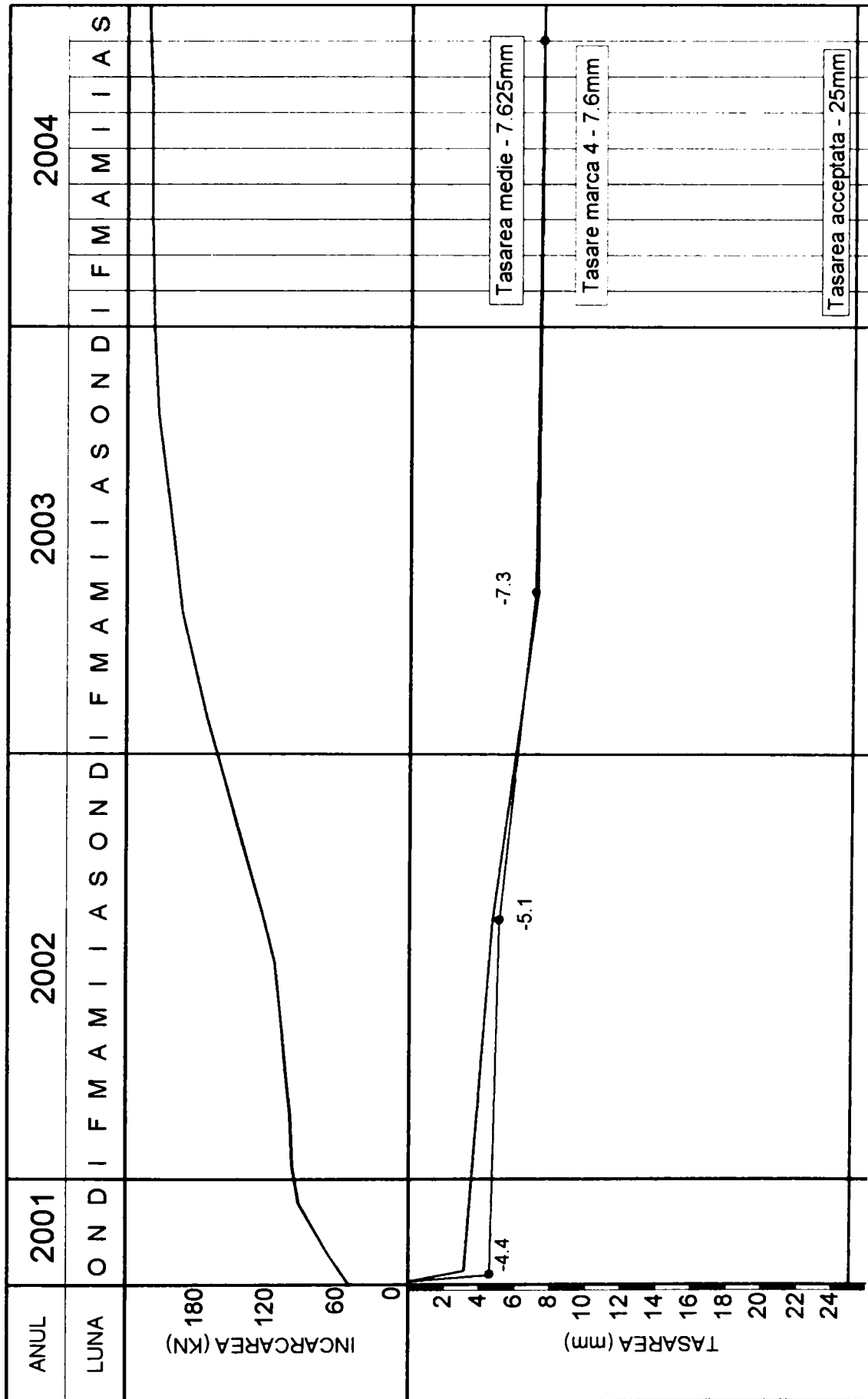


Diagrama 4 - Evoluția mărcii de tasare 4

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.5

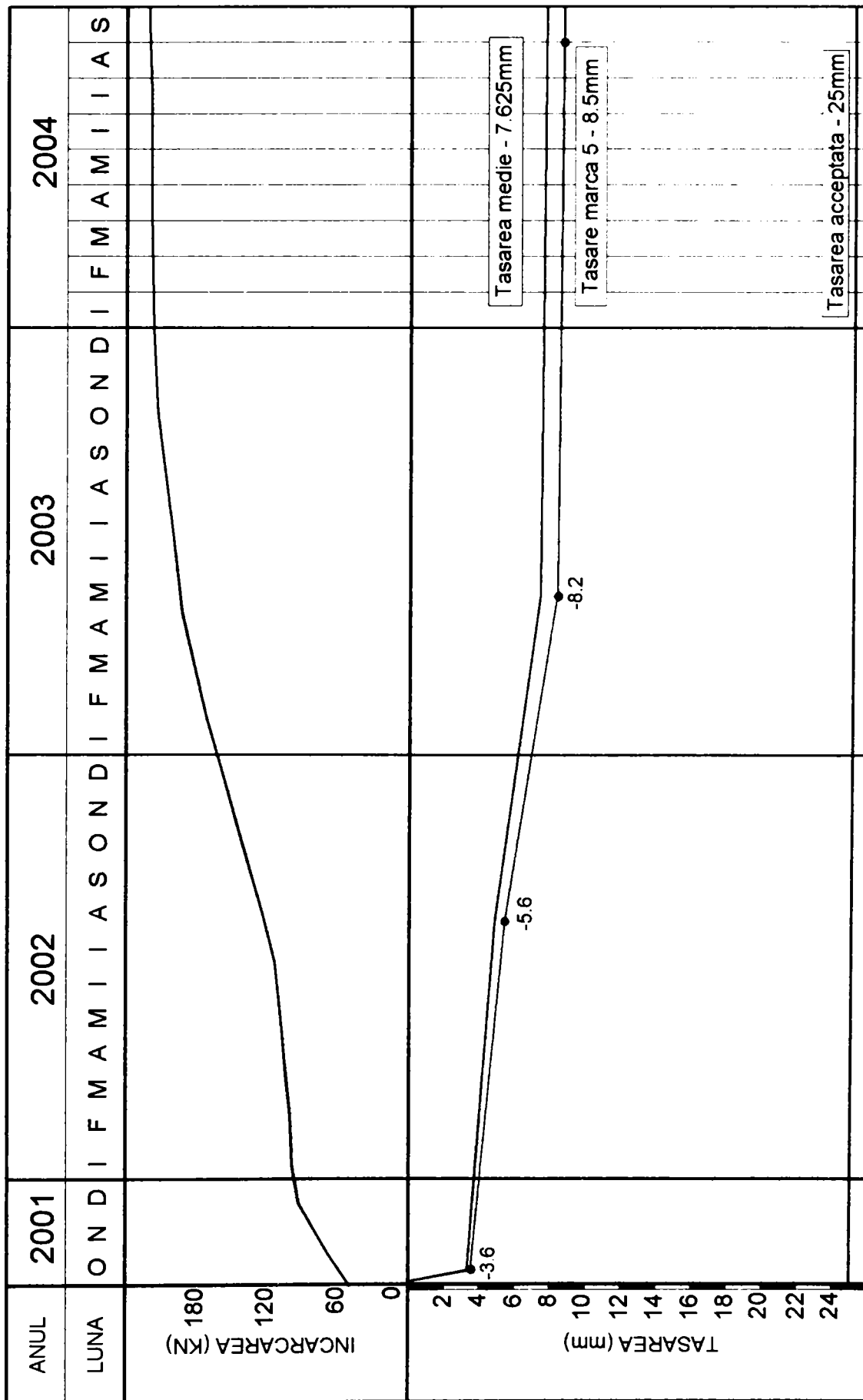


Diagrama 5 - Evoluția mărcii de tasare 5

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.6

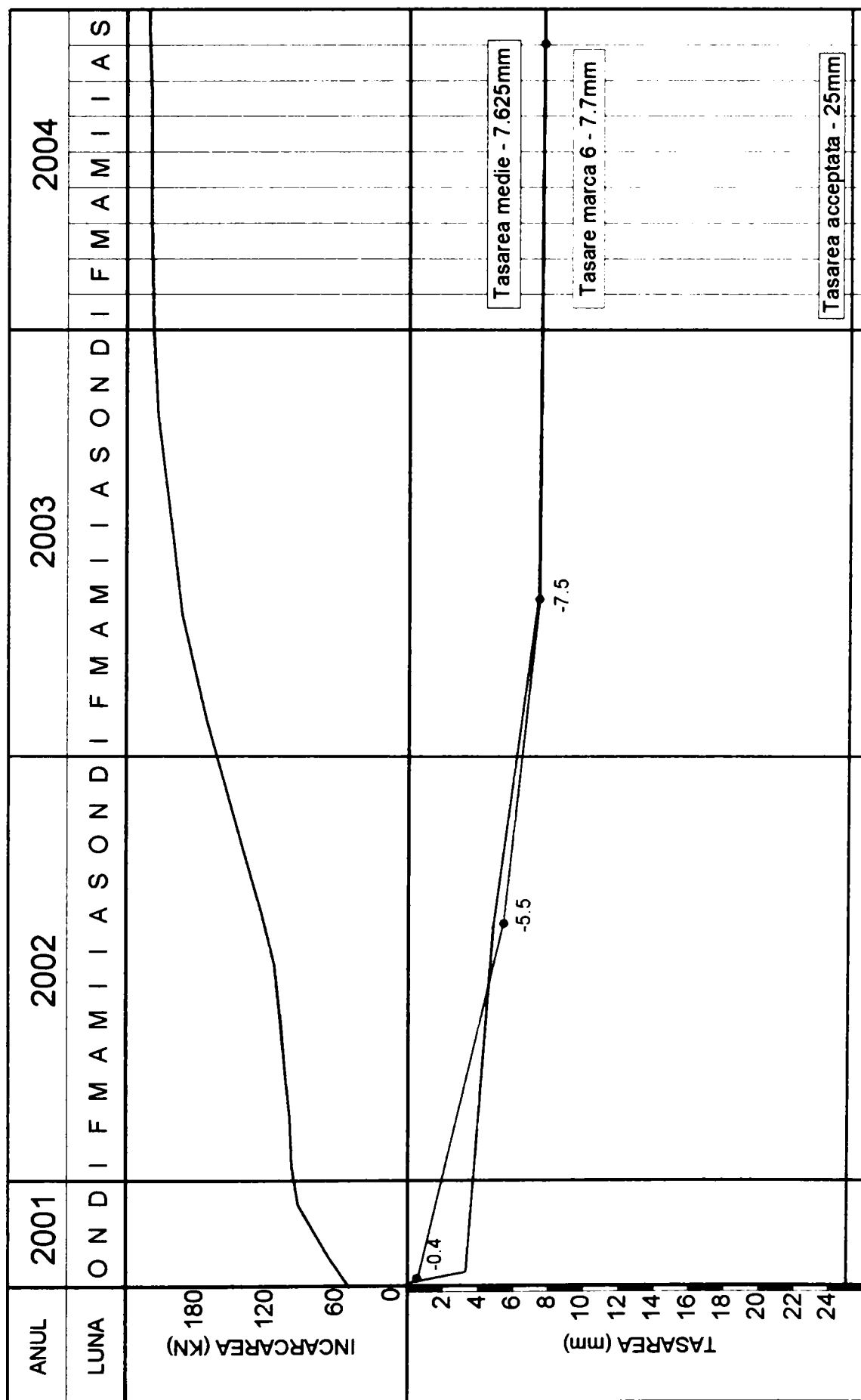


Diagrama 6 - Evoluția mărcii de tasare 6

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.7

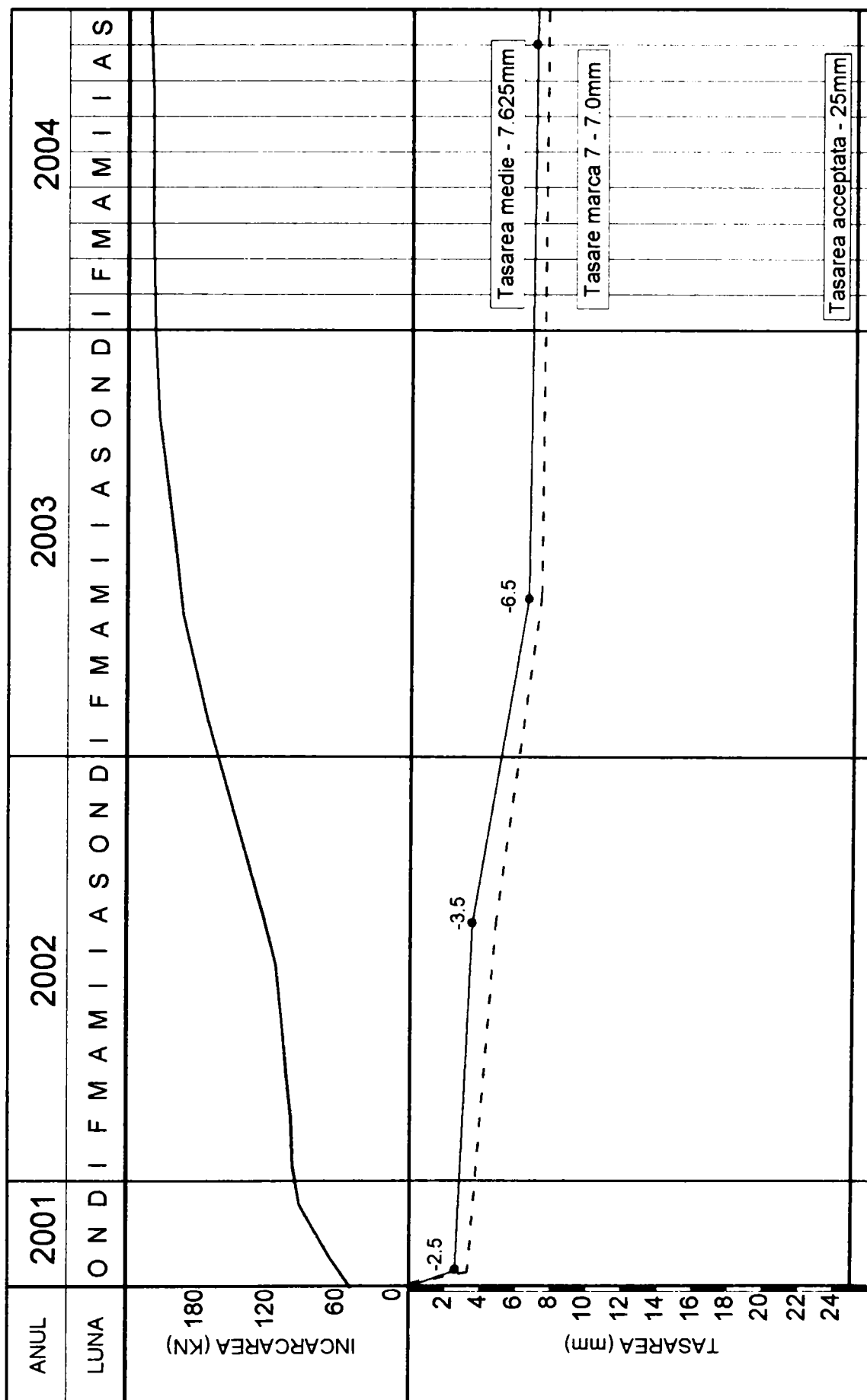


Diagrama 7 - Evoluția mărcii de tasare 7

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.8

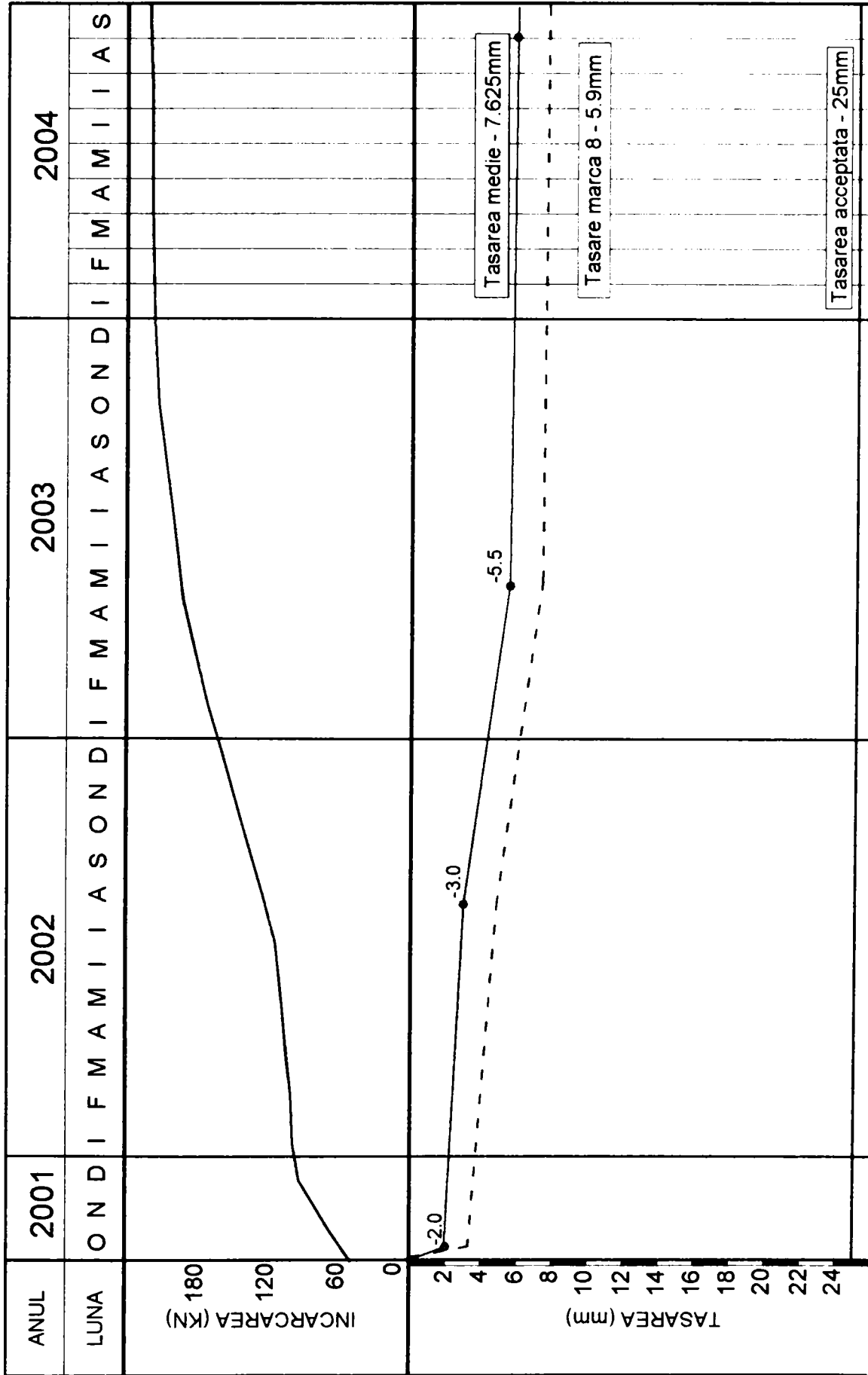


Diagrama 8 - Evoluția mărcii de tasare 8

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.9

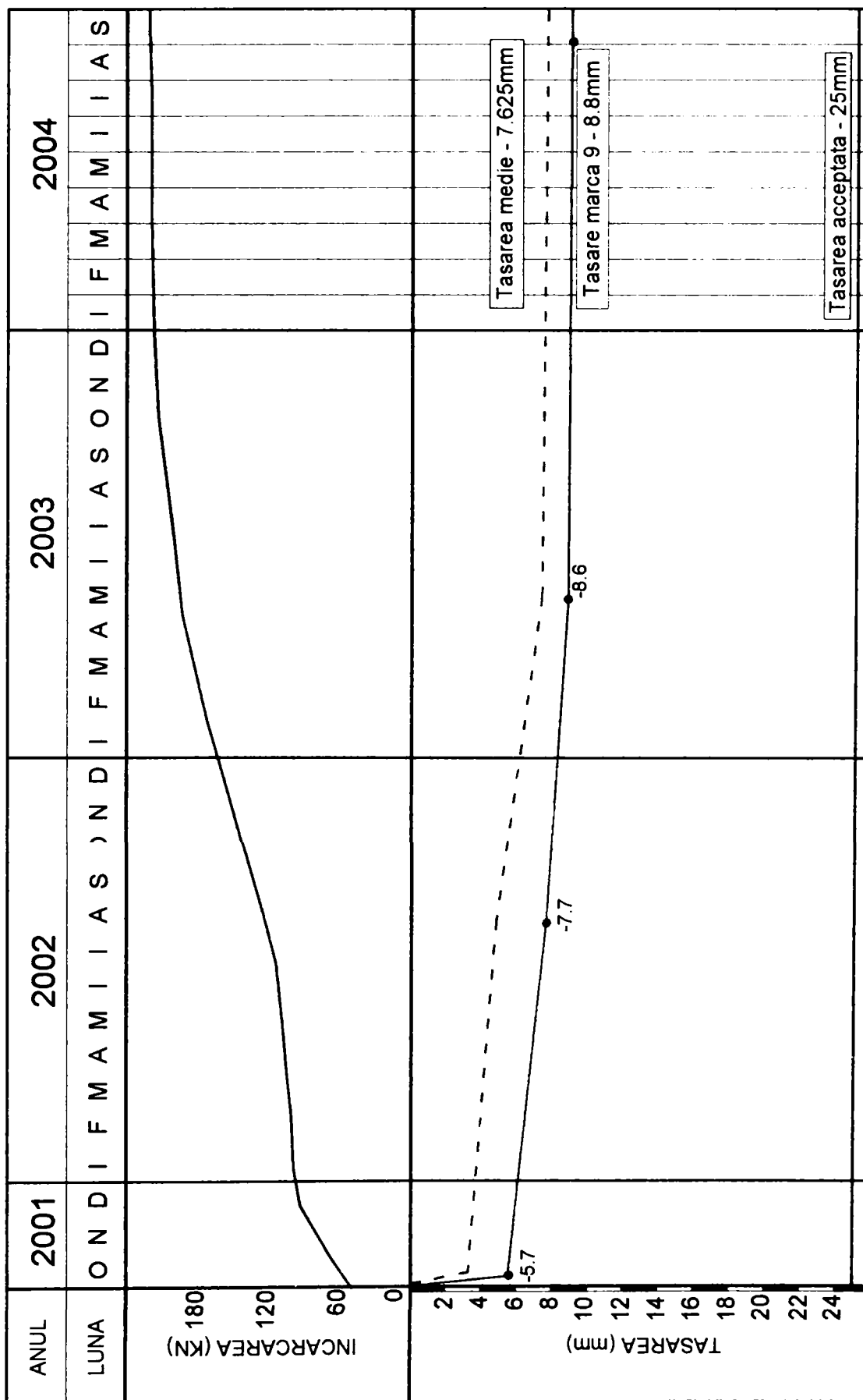


Diagrama 9 - Evoluția mărcii de tasare 9

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.10

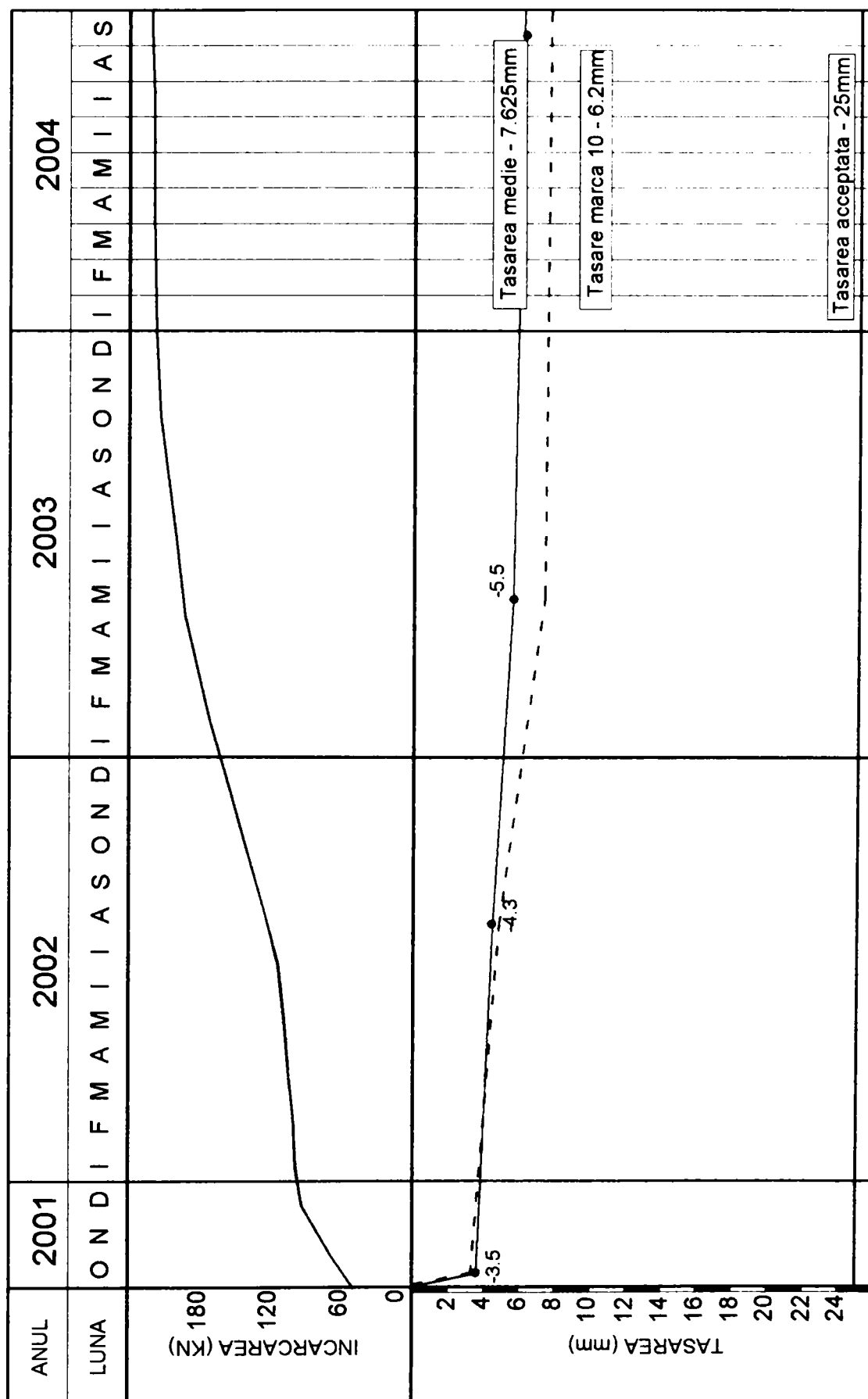


Diagrama 10 - Evoluția mărcii de tasare 10

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.11

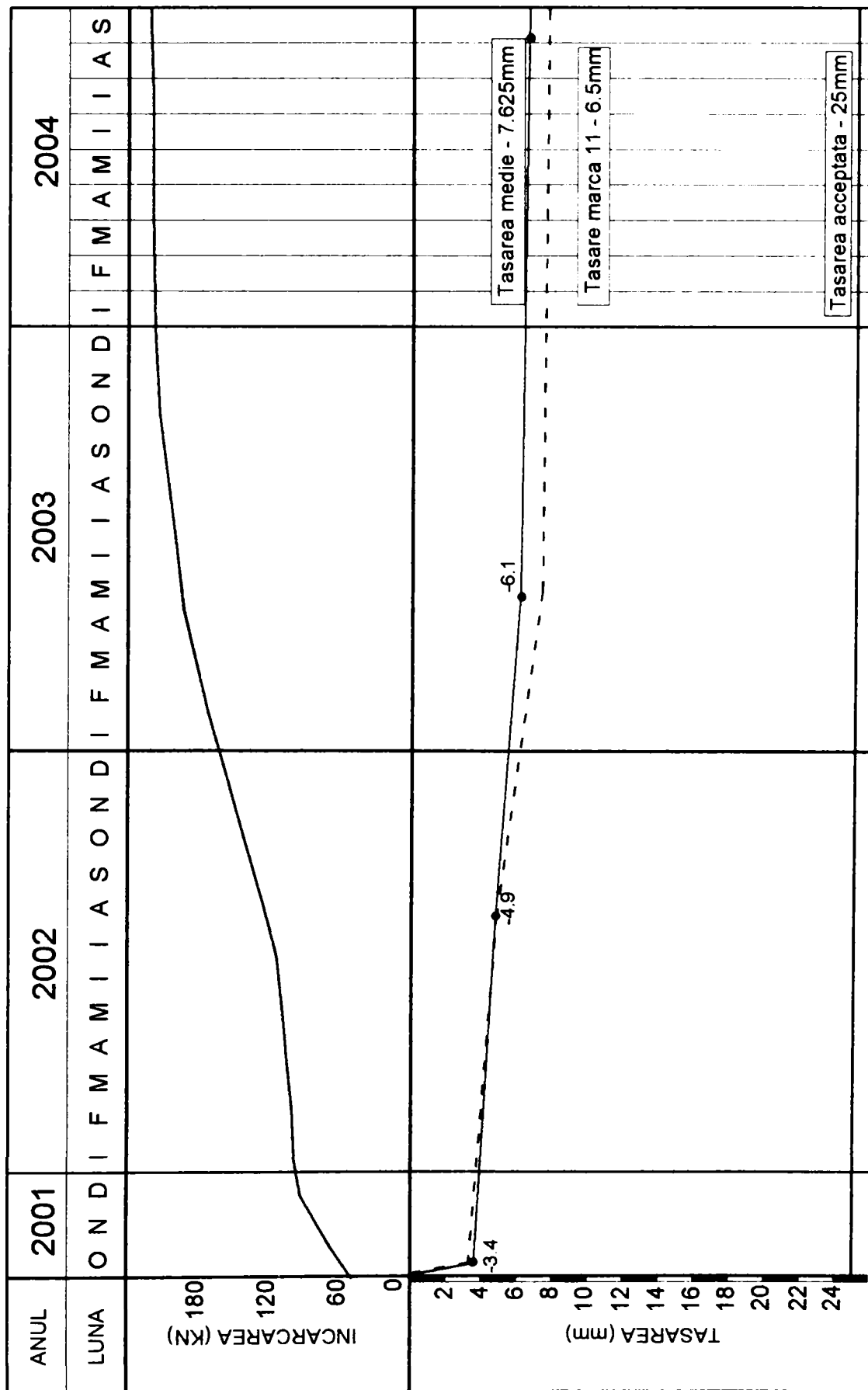


Diagrama 11 - Evoluția mărcii de tasare 11



DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.12

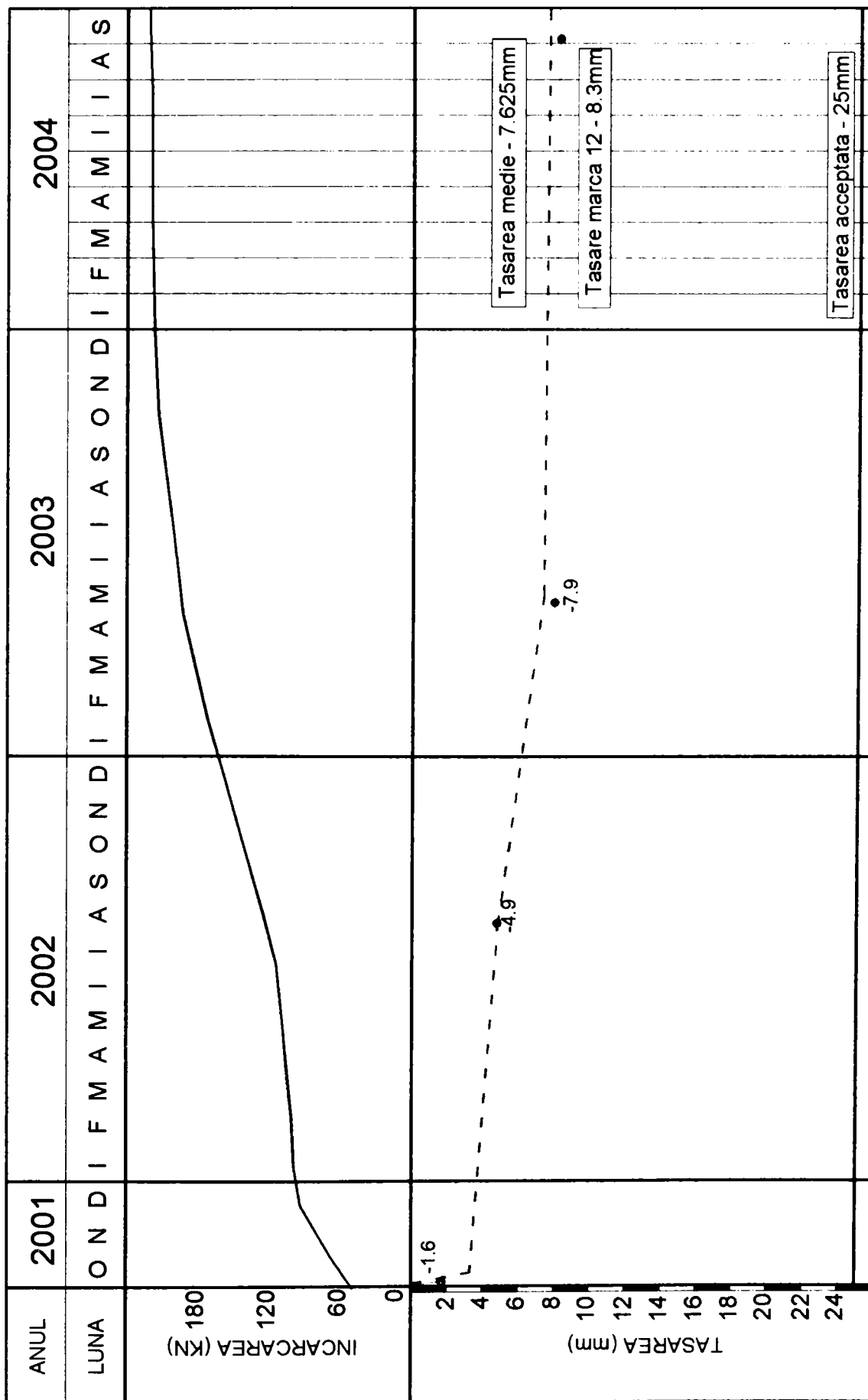


Diagrama 12 - Evoluția mărcii de tasare 12

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.13

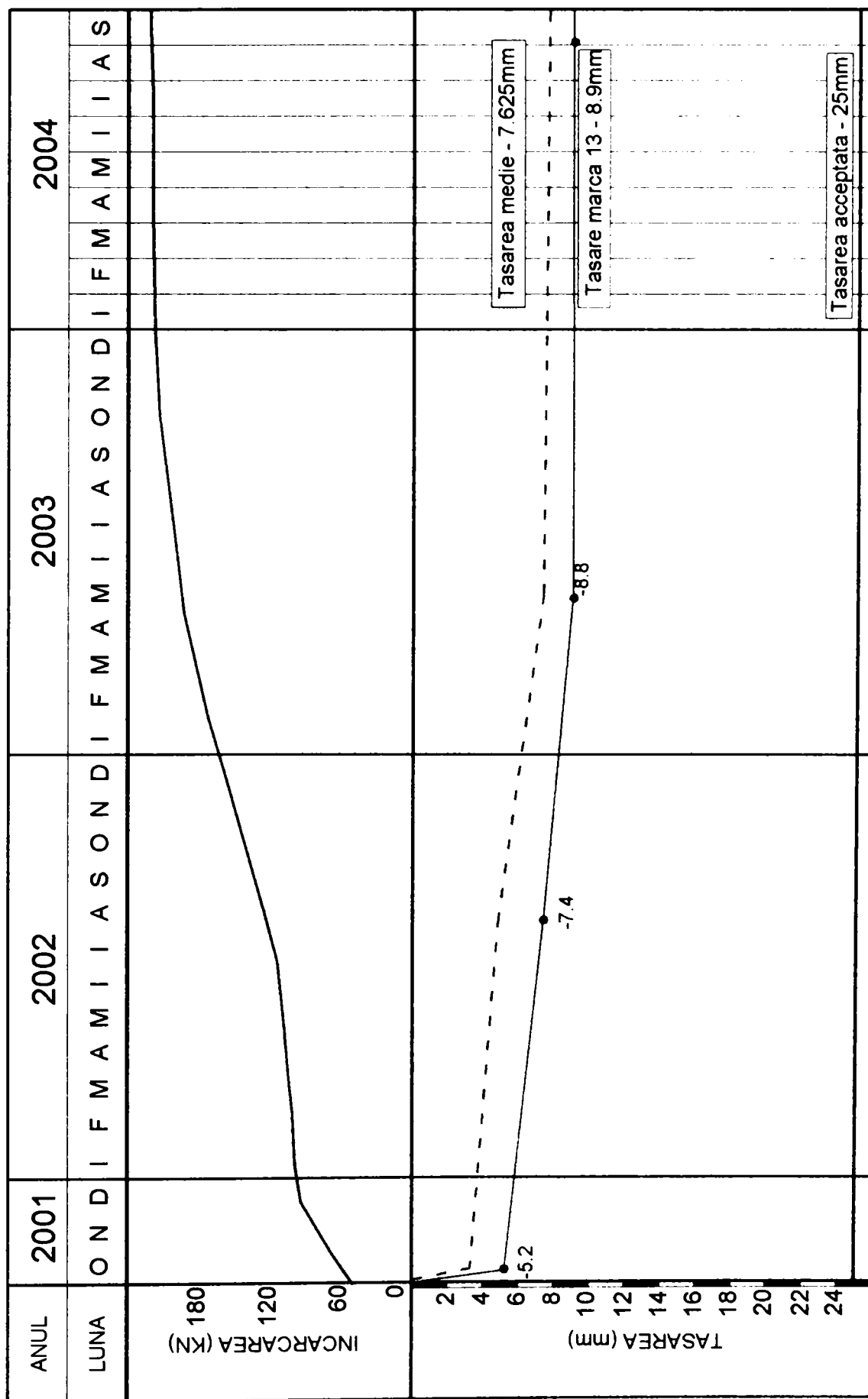


Diagrama 13 - Evoluția mărcii de tasare 13

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.14

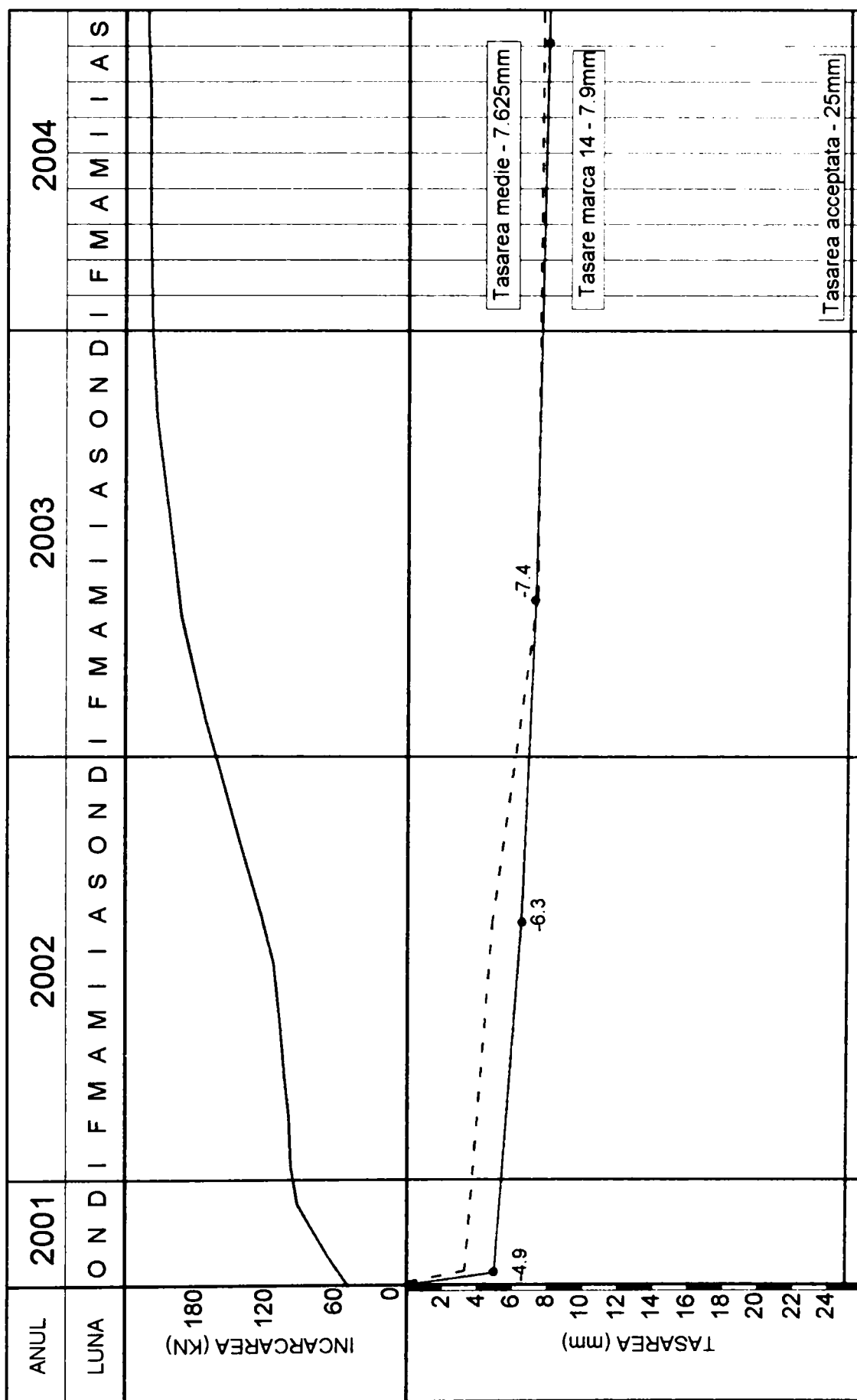


Diagrama 14 - Evoluția mărcii de tasare 14

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.15

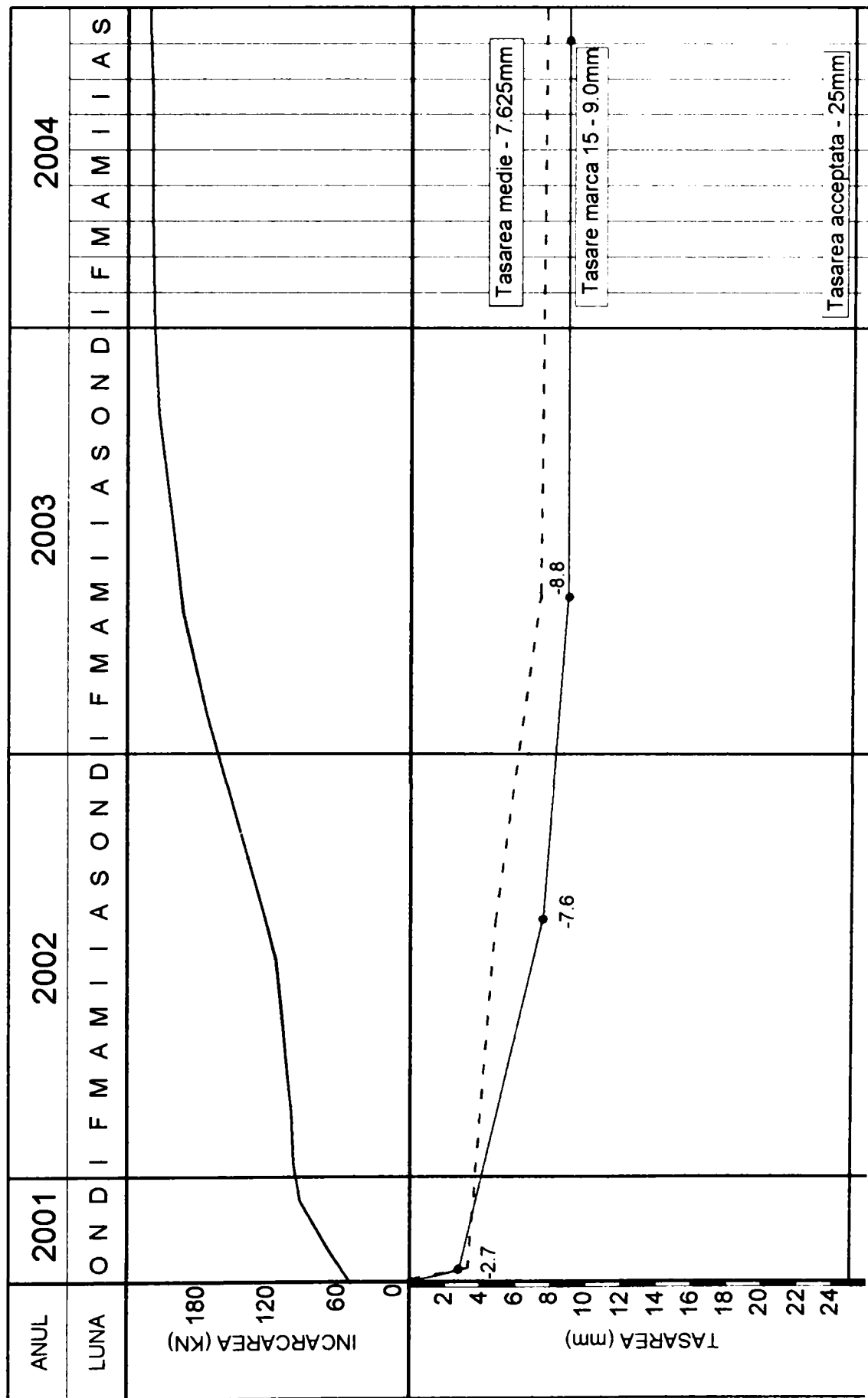


Diagrama 15 - Evoluția mărcii de tasare 15

DIAGRAMA DE TASARE - MARCA NR.16

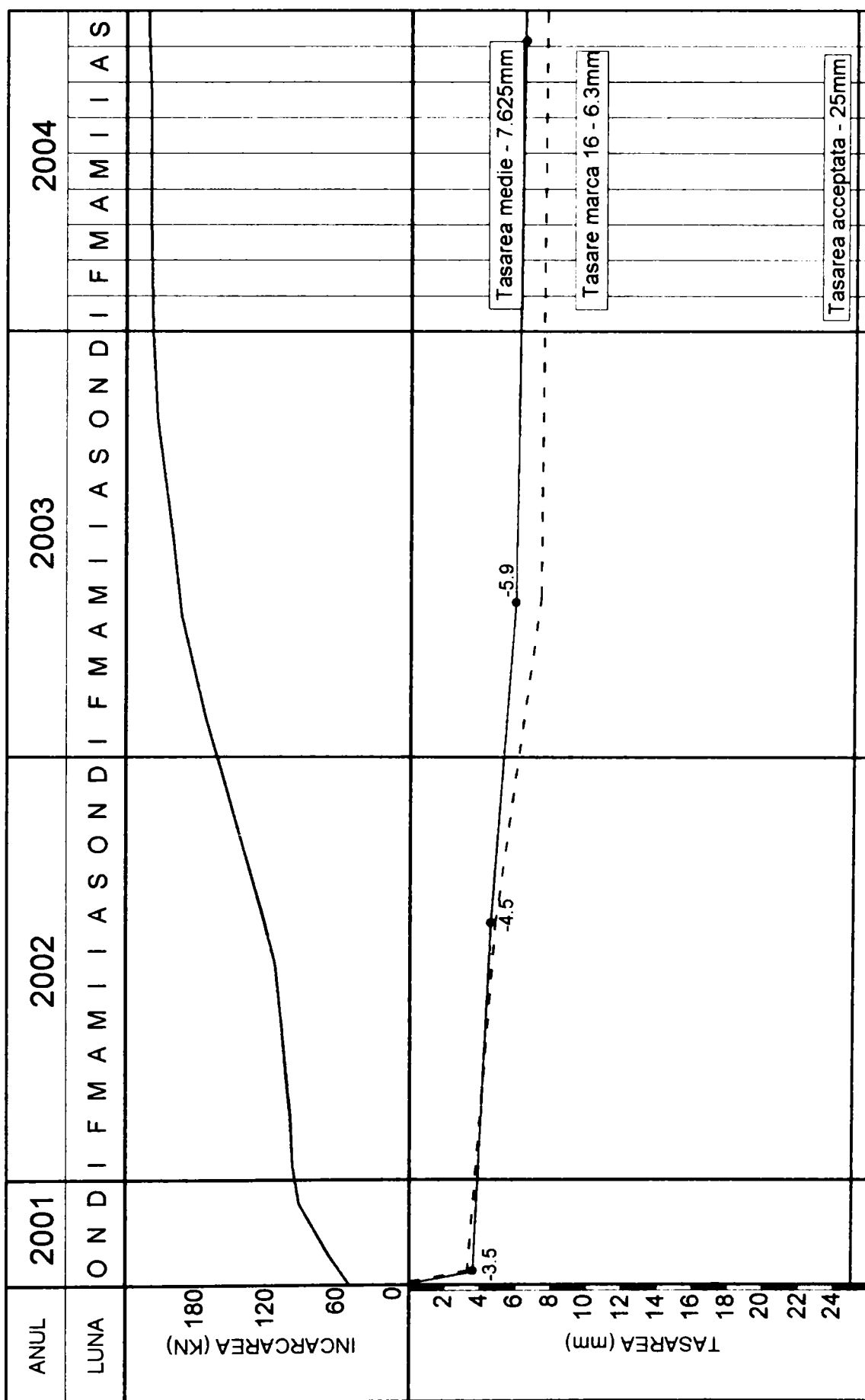
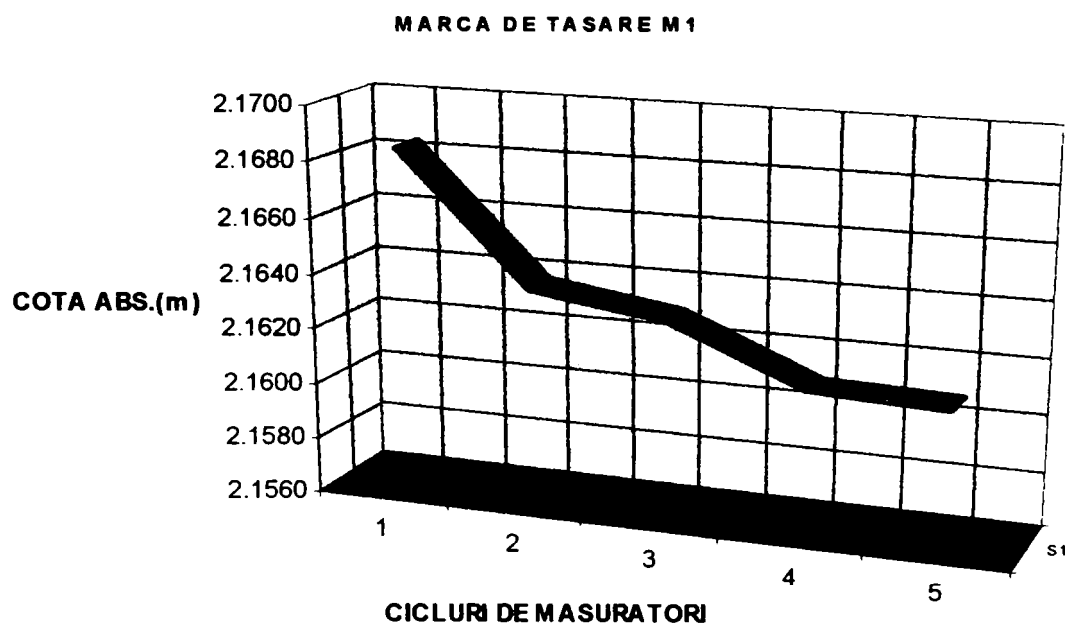
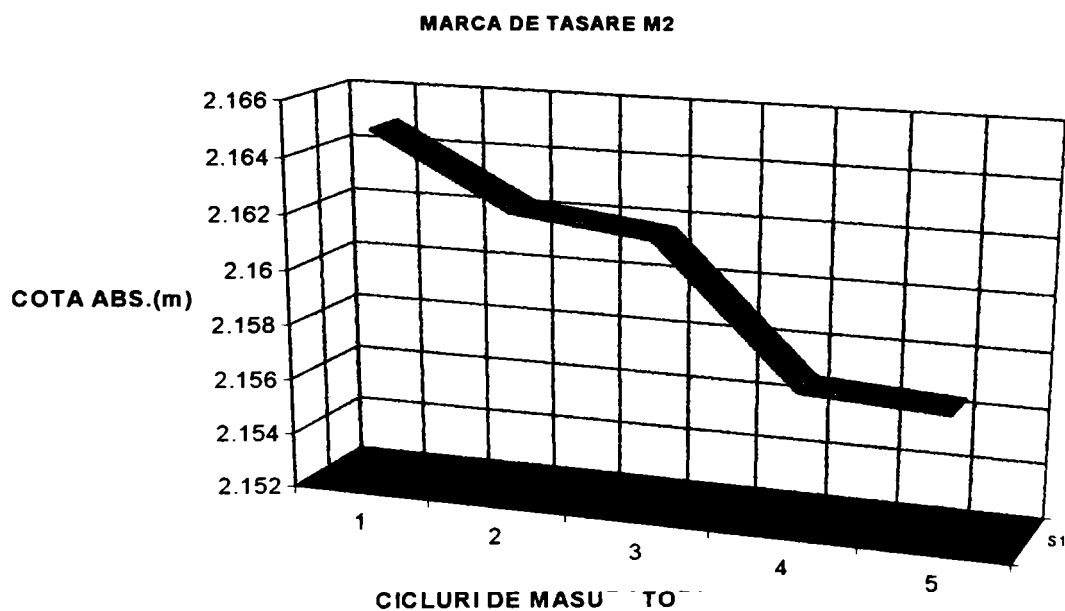


Diagrama 16 - Evoluția mărcii de tasare 16

**REPREZENTAREA EVOLUȚIEI MĂRCILOR DE TASARE ÎN FUNCȚIE DE VARIAȚIA COTELOR ABSOLUTE**

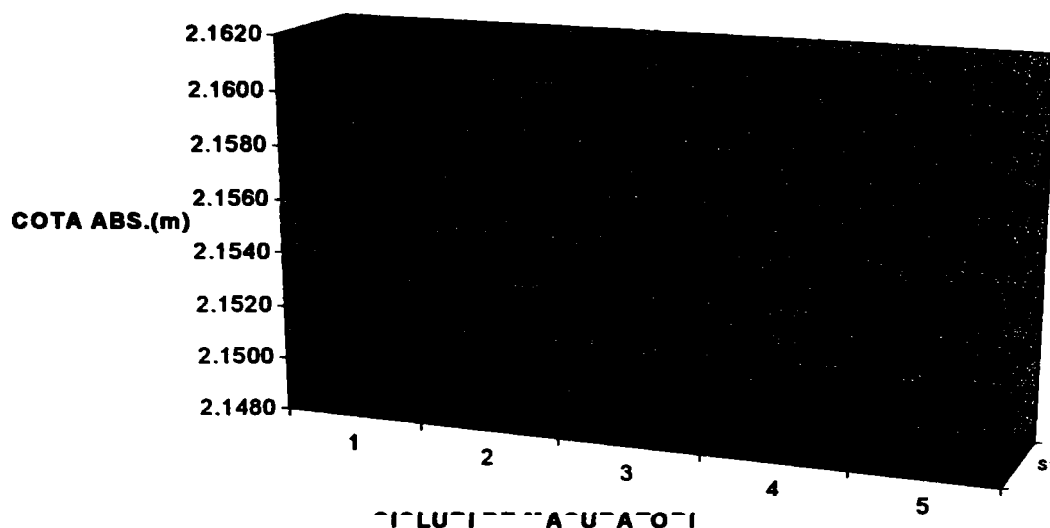


Marca de tasare M1	Ciclu „0”	Ciclu 1	Ciclu 2	Ciclu 3	Ciclu 4
Tasarea totală (mm)	0	-4,7	-5,4	-7,4	-7,6
Cota absolută (m)	2.1684	2.1637	2.1630	2.1610	2.1608



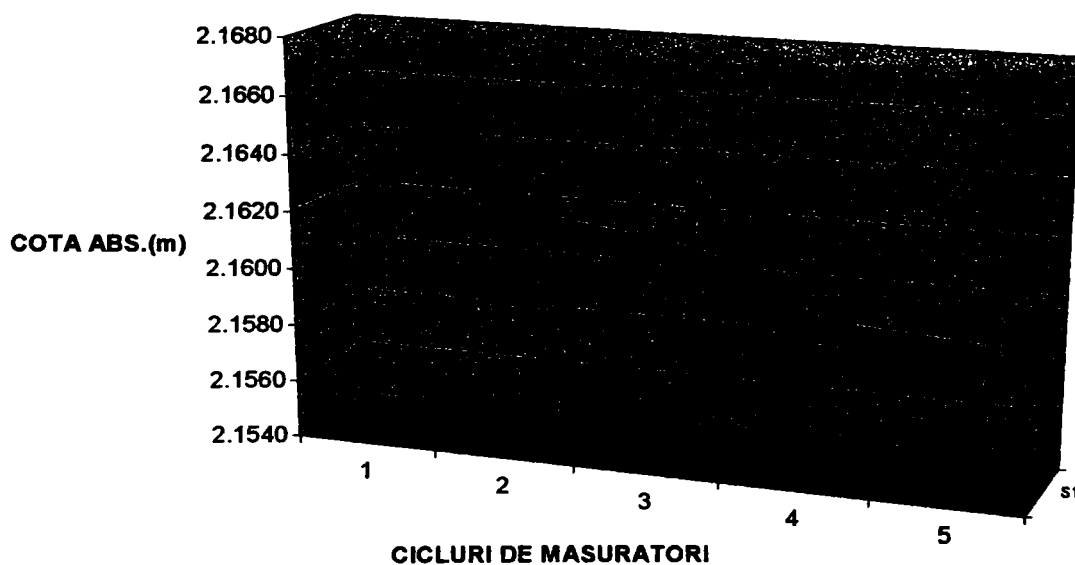
Marca de tasare M2	Ciclu „0”	Ciclu 1	Ciclu 2	Ciclu 3	Ciclu 4
Tasarea totală (mm)	0	-2,6	-3,2	-8,1	-8,4
Cota absolută (m)	2,1649	2,1623	2,1617	2,1568	2,1565

MARCA DE TASARE M3



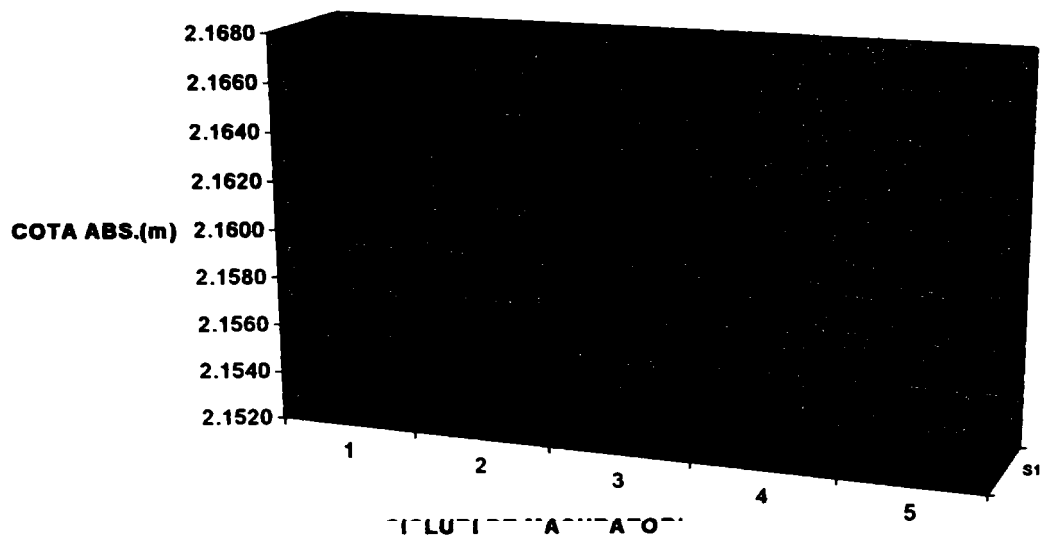
Marca de tasare M3	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-4.6	-5.0	-6.9	-7.4
Cota absolută (m)	2.1602	2.1556	2.1552	2.1533	2.1528

MARCA DE TASARE M4



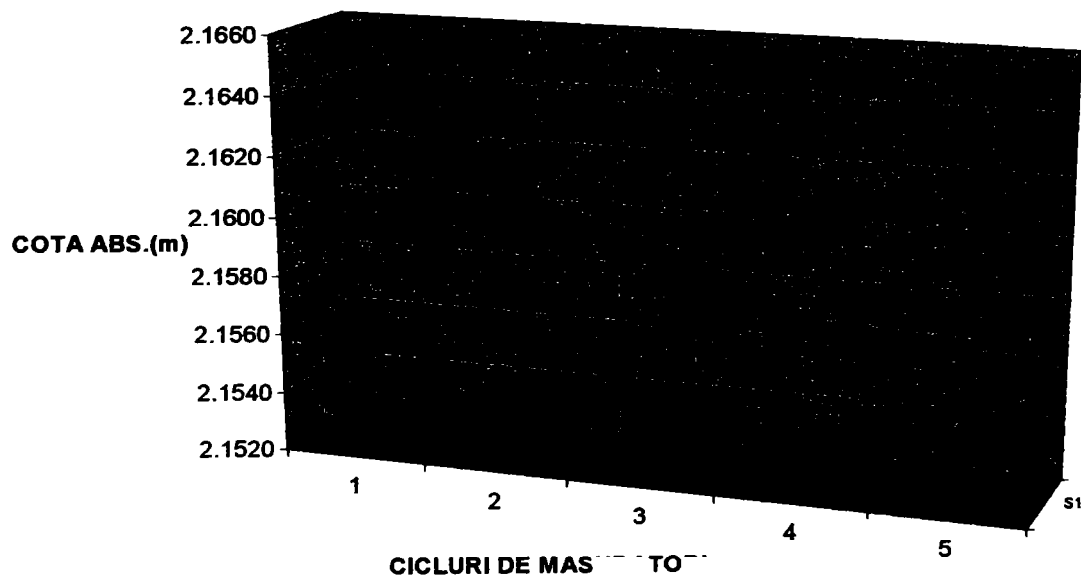
Marca de tasare M4	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-4.4	-5.1	-7.3	-7.6
Cota absolută (m)	2.1661	2.1617	2.1610	2.1588	2.1585

**MARCA DE TASARE M5**



<i>Marca de tasare M5</i>	<i>Ciclul „0”</i>	<i>Ciclul 1</i>	<i>Ciclul 2</i>	<i>Ciclul 3</i>	<i>Ciclul 4</i>
<i>Tasarea totală (mm)</i>	0	-3,8	-5,8	-8,2	-8,5
<i>Cota absolută (m)</i>	2.1663	2.1625	2.1605	2.1581	2.1578

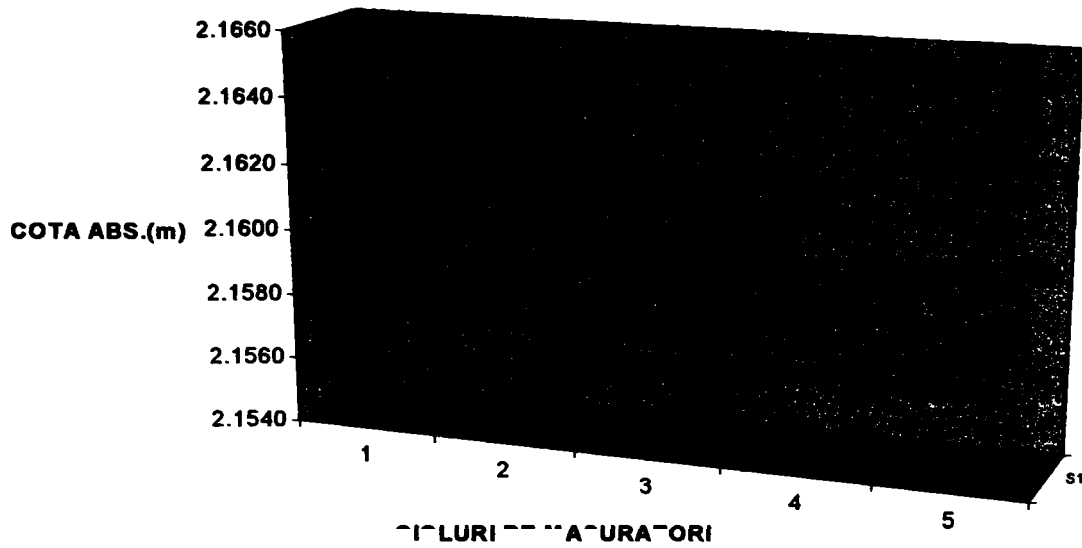
**MARCA DE TASARE M6**



<i>Marca de tasare M6</i>	<i>Ciclul „0”</i>	<i>Ciclul 1</i>	<i>Ciclul 2</i>	<i>Ciclul 3</i>	<i>Ciclul 4</i>
<i>Tasarea totală (mm)</i>	0	-3,8	-5,8	-7,5	-7,7
<i>Cota absolută (m)</i>	2.1645	2.1605	2.1590	2.1570	2.1568

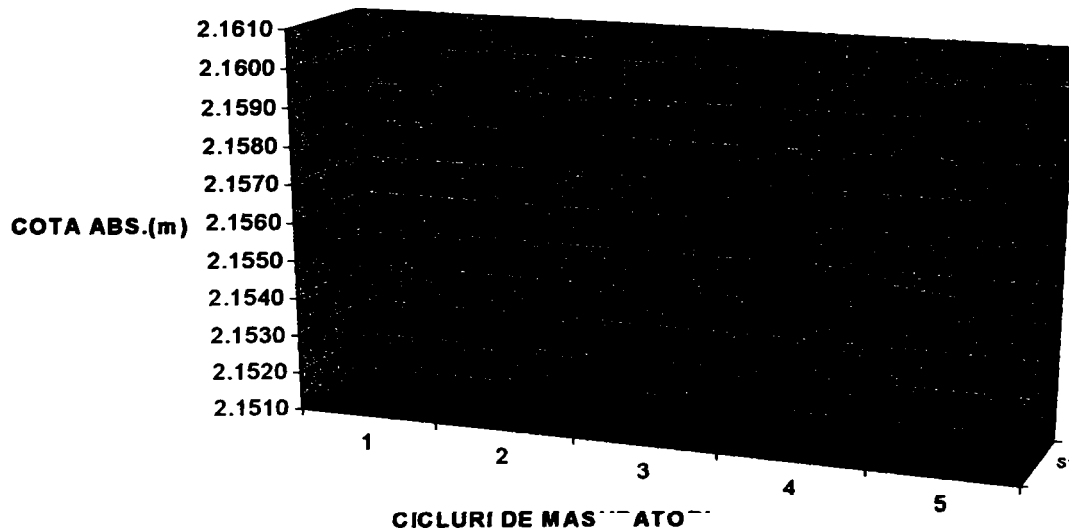


**MARCA DE TASARE M7**



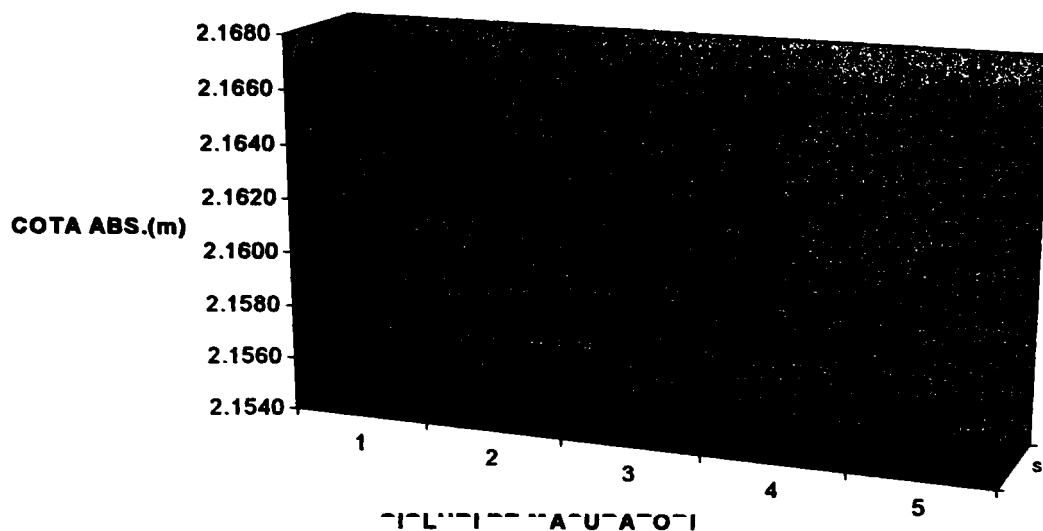
Marca de tasare M7	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-2.5	-3.5	-6.5	-7.0
Cota absolută (m)	2.1650	2.1625	2.1615	2.1585	2.1580

**MARCA DE TASARE M8**



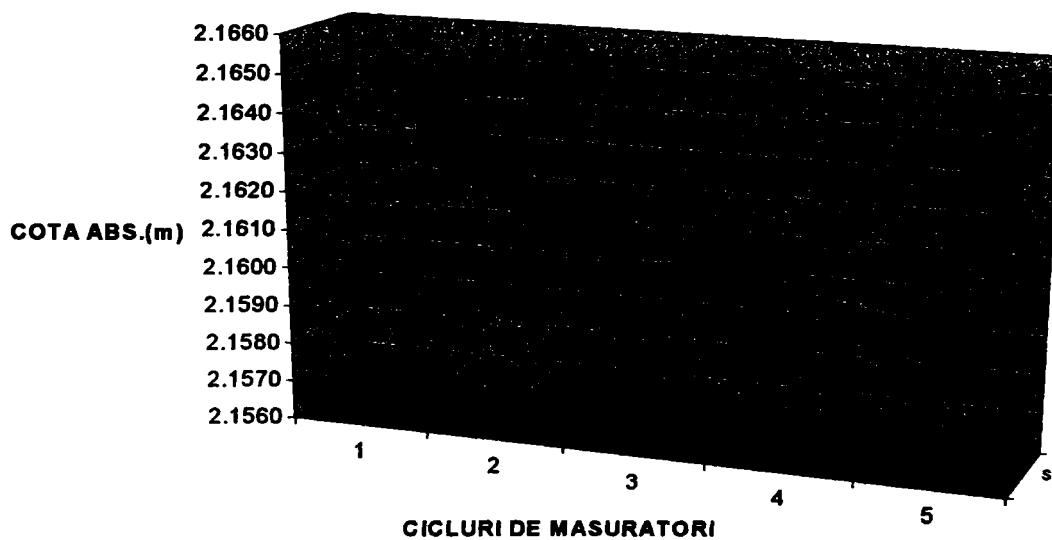
Marca de tasare M8	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-2.0	-3.0	-5.5	-5.9
Cota absolută (m)	2.1606	2.1586	2.1576	2.1551	2.1547

MARCA DE TASARE M9



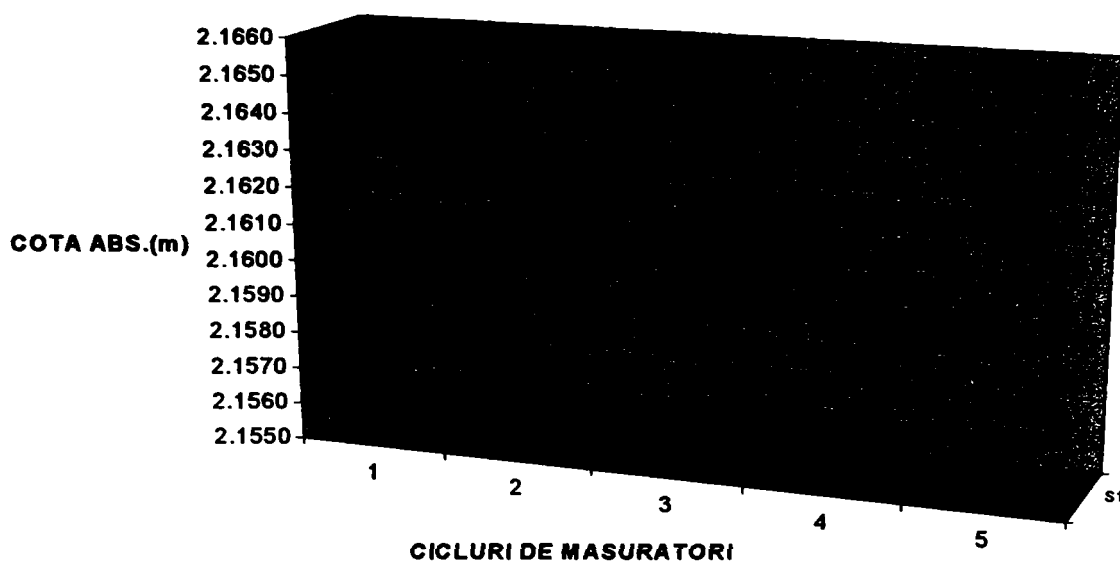
Marca de tasare M9	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-5.7	-7.7	-8.6	-8.8
Cota absolută (m)	2,1678	2,1621	2,1601	2,1592	2,1590

MARCA DE TASARE M10



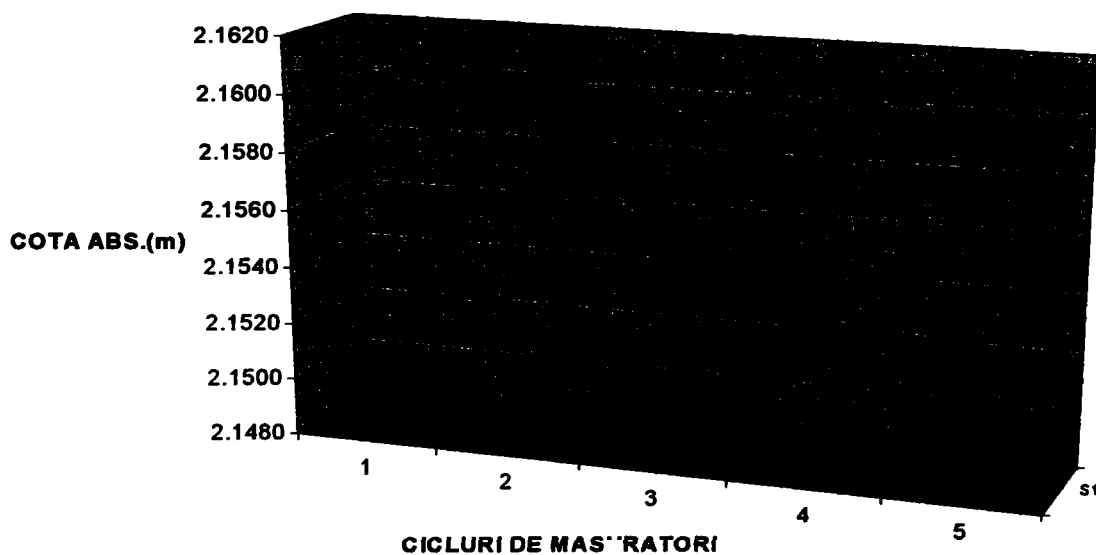
Marca de tasare M10	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-3.5	-4.3	-5.5	-6.2
Cota absolută (m)	2.1653	2.1618	2.1610	2.1598	2.1592

MARCA DE TASARE M11



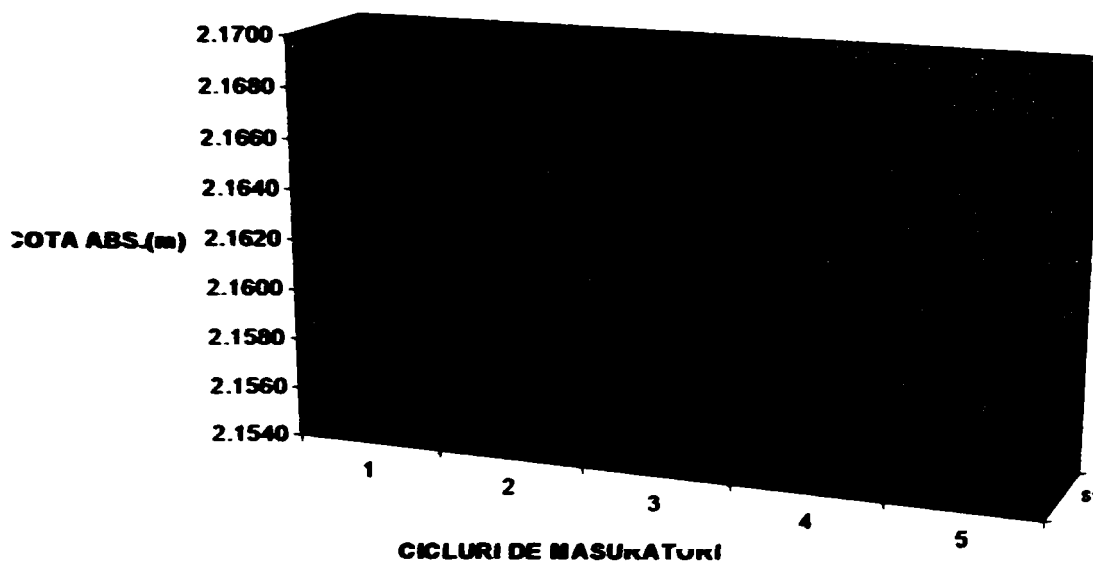
Marca de tasare M11	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-3,4	-4,9	-6,1	-6,5
Cota absolută (m)	2.1651	2.1617	2.1602	2.1590	2.1586

MARCA DE TASARE M12



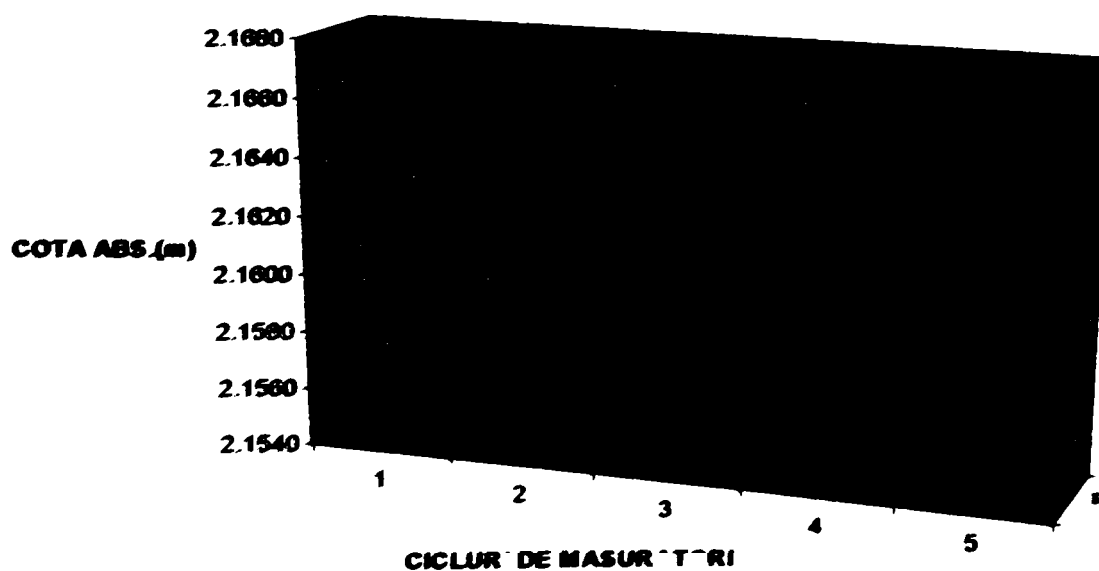
Marca de tasare M12	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-0,1	-4,9	-7,9	-8,3
Cota absolută (m)	2.1606	2.1605	2.1557	2.1527	2.1523

MARCA DE TASARE M13



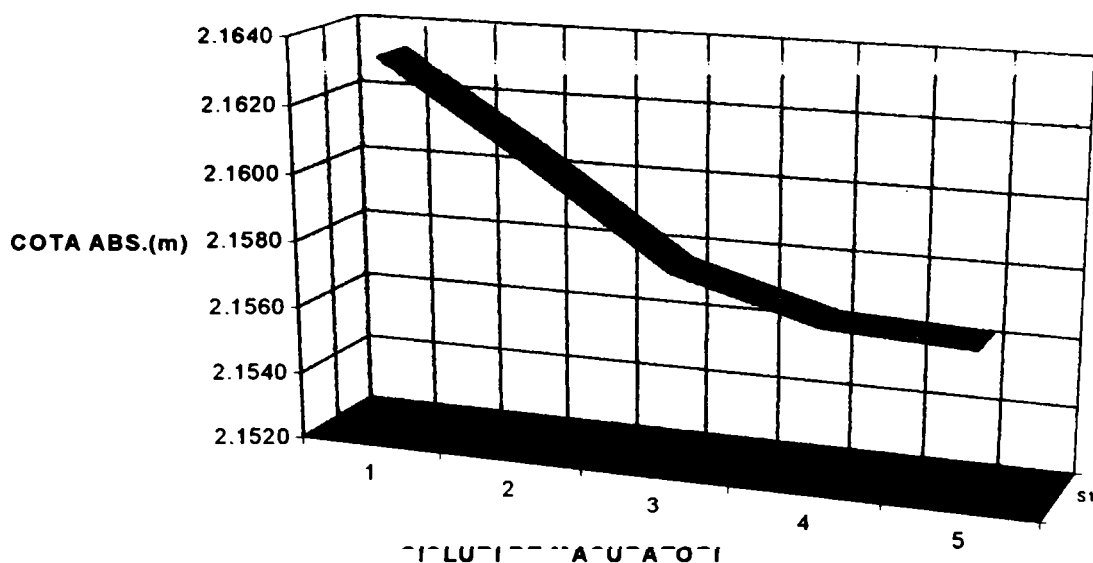
Marca de tasare M13	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-5.2	-7.4	-8.8	-8.9
Cota absolută (m)	2.1689	2.1637	2.1615	2.1601	2.1600

MARCA DE TASARE M14



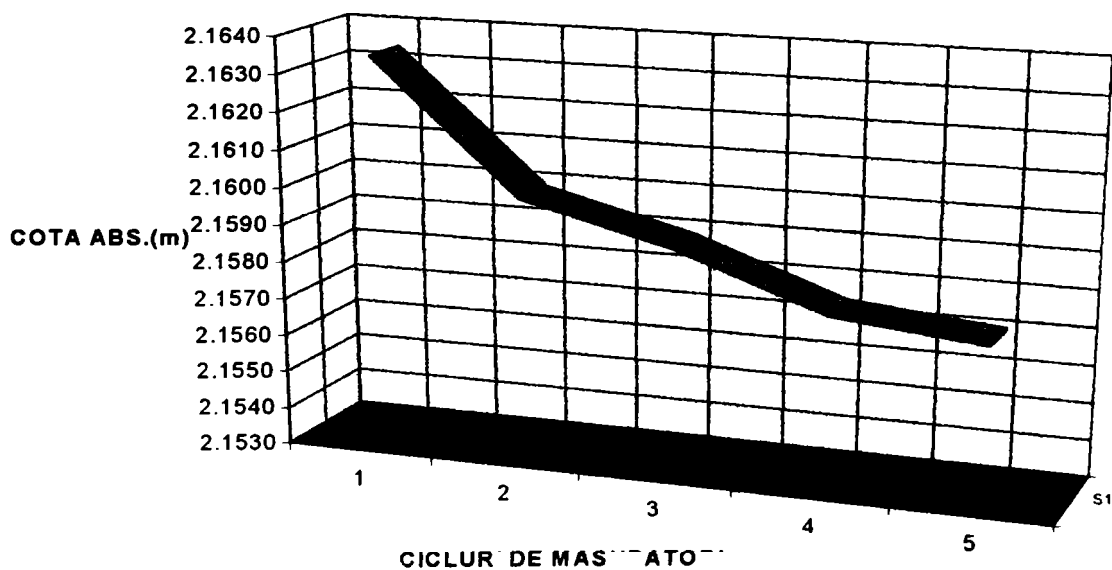
Marca de tasare M14	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-4.9	-6.3	-7.4	-7.9
Cota absolută (m)	2.1664	2.1615	2.1601	2.1590	2.1585

MARCA DE TASARE M15

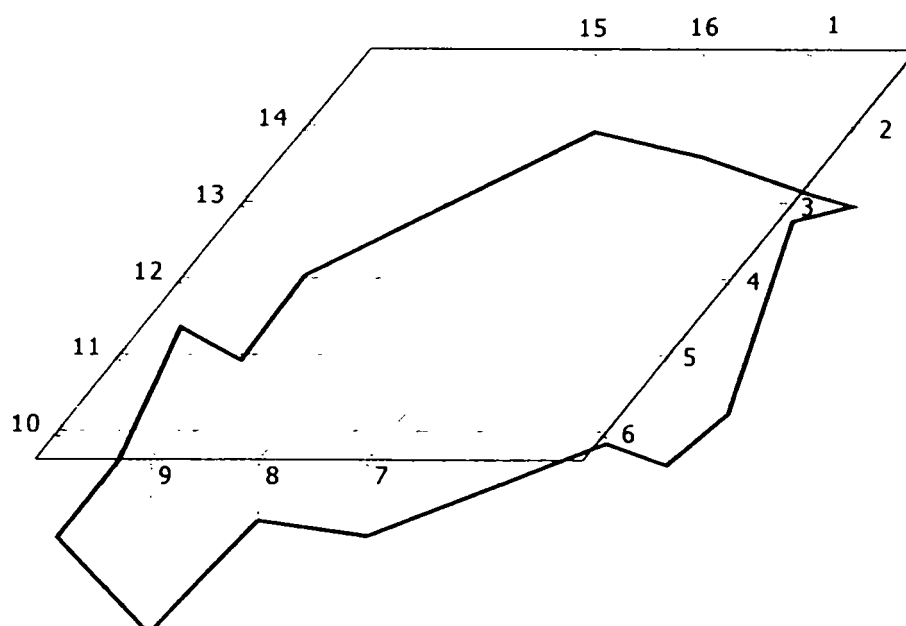


Marca de tasare M15	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-2.7	-5.6	-8.8	-9.0
Cota absolută (m)	2.1633	2.1606	2.1577	2.1565	2.1563

MARCA DE TASARE M16



Marca de tasare M16	Ciclul „0”	Ciclul 1	Ciclul 2	Ciclul 3	Ciclul 4
Tasarea totală (mm)	0	-3.5	-4.5	-5.9	-6.3
Cota absolută (m)	2.1634	2.1599	2.1589	2.1575	2.1571

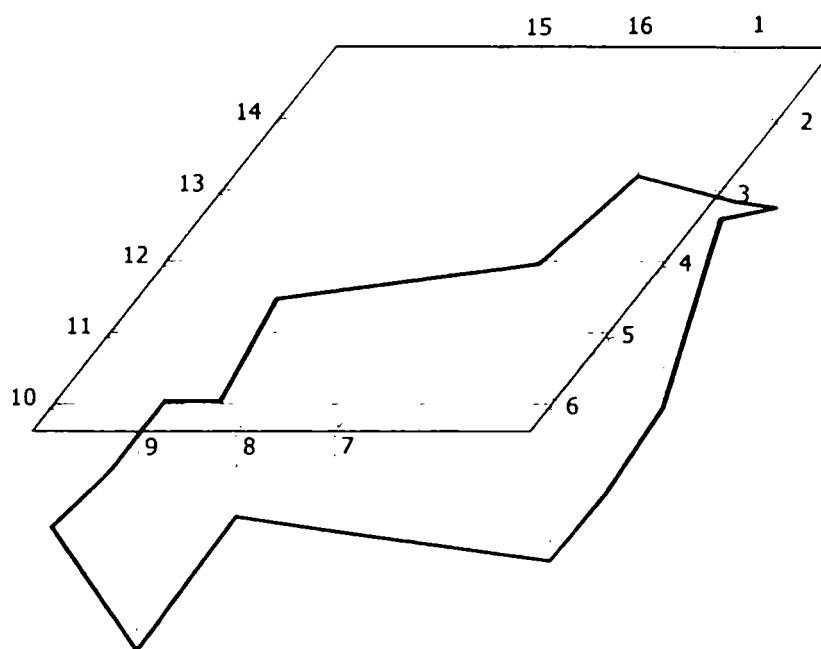


TASARILE MARCILOR ÎN CICLUL I (mm)															
NUMAR DE MARCA															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-4,7	-2,6	-0,6	-4,4	-3,6	-0,4	-2,5	-2,0	-5,7	-3,5	-3,4	-1,6	-5,2	-4,9	-2,7	-3,5

Figura 5.21 – Reprezentarea spațială a tasărilor mărcilor în ciclul 1

Tabel 4.2 – Neuniformitatea tasărilor și tasarea ciclul 1

Latura observată	Număr marcă	Tasarea totală (mm)	Neuniformitatea tasării (mm)	Tasarea medie (mm)	Procent al neuniform.
Cadrul long.drept	2	2,6	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 4,0$	2,32	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 172,41
	3	0,6			
	4	4,4			
	5	3,6			
	6	0,4			
Tribuna nouă	7	2,5	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 3,7$	3,40	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 108,82
	8	2,0			
	9	5,7			
Cadrul long.stâng	10	3,5	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 3,6$	3,72	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 96,77
	11	3,4			
	12	1,6			
	13	5,2			
	14	4,9			
Tribuna veche	15	2,7	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 2,0$	3,63	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 55,09
	16	3,5			
	1	4,7			

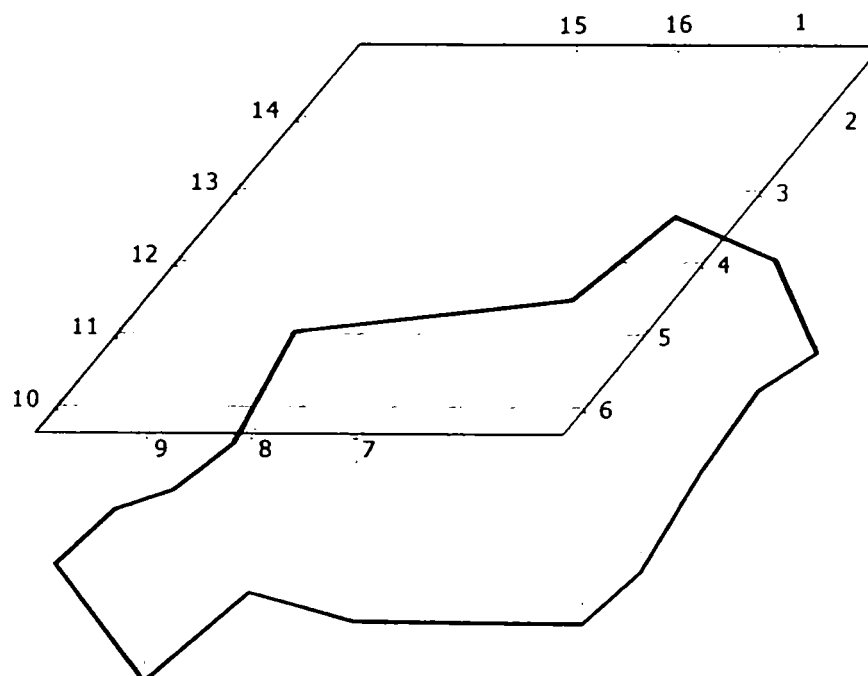


TASARILE MARCILOR ÎN CICLUL II (mm)															
NUMAR DE MARCA															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-5,4	-3,2	-1,0	-5,1	-5,6	-5,5	-3,5	-3,0	-7,7	-4,3	-4,9	-4,9	-7,4	-6,3	-7,6	-4,5

Figura 5.22 – Reprezentarea spațială a tasărilor mărcilor în ciclul 2

Tabel 4.3 – Neuniformitatea tasărilor și tasarea ciclul 2

Latura observată	Număr marcă	Tasarea totală (mm)	Neuniformitatea tasării (mm)	Tasarea medie (mm)	Procent al neuniform.
Cadrul long.drept	2	3,2	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 4,6$	4,10	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 112,19
	3	1,0			
	4	5,1			
	5	5,6			
	6	5,6			
Tribuna nouă	7	3,5	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 4,7$	4,73	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 99,36
	8	3,0			
	9	7,7			
Cadrul long.stâng	10	4,3	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 3,1$	5,56	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 55,75
	11	4,9			
	12	4,9			
	13	7,4			
	14	6,3			
Tribuna veche	15	7,6	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 3,1$	5,83	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 55,09
	16	4,5			
	1	5,4			



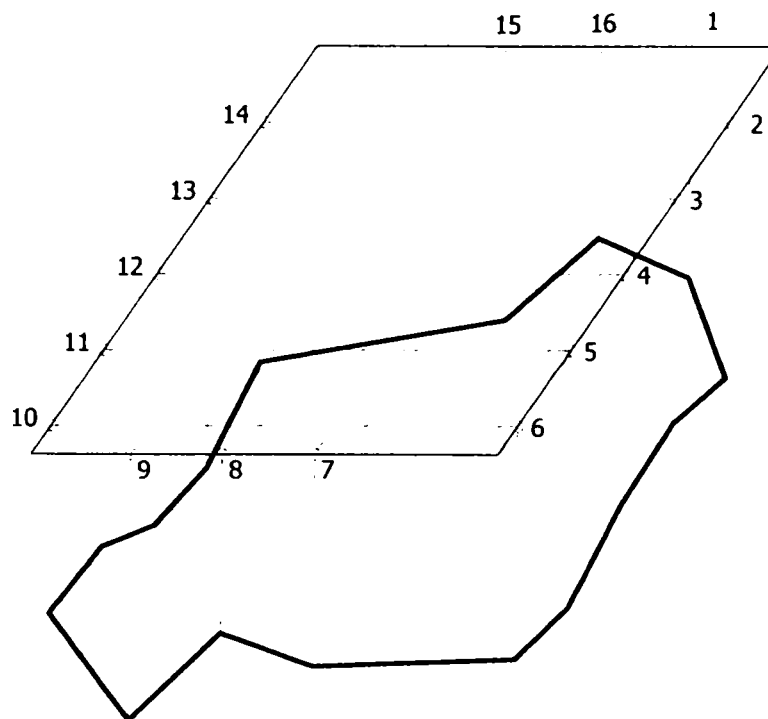
TASARILE MARCILOR ÎN CICLUL III (mm)															
NUMAR DE MARCA															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-7,4	-8,1	-6,9	-7,3	-8,2	-7,5	-6,5	-5,5	-8,6	-5,5	-6,1	-7,9	-8,8	-7,4	-8,8	-5,9

Figura 5.23 – Reprezentarea spațială a tasărilor mărcilor în ciclul 3

Tabel 4.4 – Neuniformitatea tasărilor și tasarea ciclul 3

Latura observată	Număr marcă	Tasarea totală (mm)	Neuniformitatea tasării (mm)	Tasarea medie (mm)	Procent al neuniform.
Cadrul long.drept	2	8,1	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 1,3$	7,60	$p_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 17,10
	3	6,9			
	4	7,3			
	5	8,2			
	6	7,5			
Tribuna nouă	7	6,5	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 3,1$	6,86	$p_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 45,19
	8	5,5			
	9	8,6			
Cadrul long.stâng	10	5,5	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 3,3$	7,14	$p_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 46,22
	11	6,1			
	12	7,9			
	13	8,8			
	14	7,4			
Tribuna veche	15	8,8	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 2,9$	7,36	$p_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 39,40
	16	5,9			
	1	7,4			



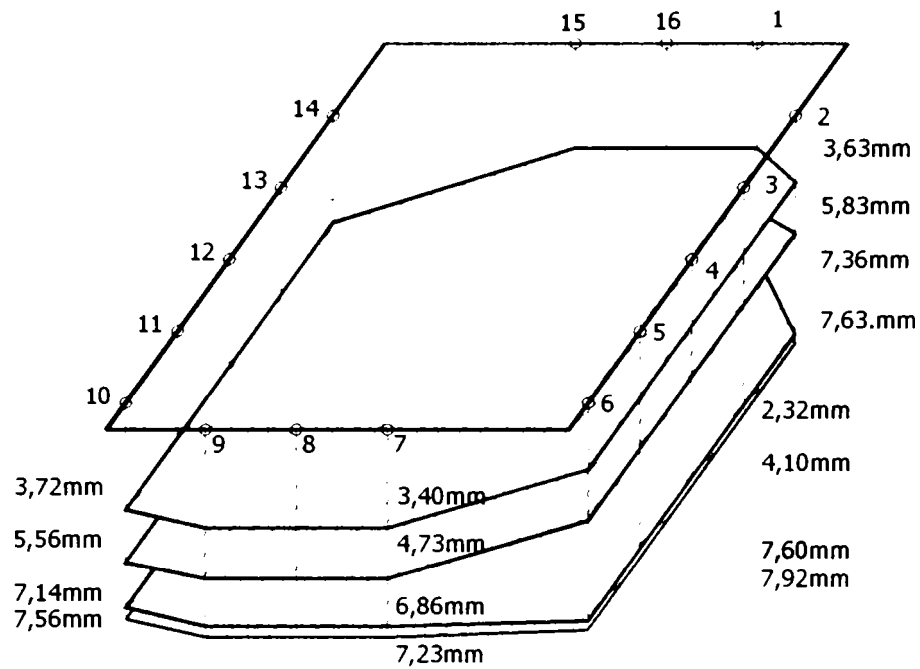


TASARILE MARCILOR ÎN CICLUL IV (mm)															
NUMAR DE MARCA															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-7,6	-8,4	-7,4	-7,6	-8,5	-7,7	-7,0	-5,9	-8,8	-6,2	-6,5	-8,3	-8,9	-7,9	-9,0	-6,3

Figura 5.23 – Reprezentarea spațială a tasărilor mărcilor în ciclul 4

Tabel 4.5 – Neuniformitatea tasărilor și tasarea ciclul 4

Latura observată	Număr marcă	Tasarea totală (mm)	Neuniformitatea tasării (mm)	Tasarea medie (mm)	Procent al neuniform.
Cadrul long.drept	2	8,4	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 1,1$	7,92	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 13,88
	3	7,4			
	4	7,6			
	5	8,5			
	6	7,7			
Tribuna nouă	7	7,0	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 2,9$	7,23	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 40,11
	8	5,9			
	9	8,8			
Cadrul long.stâng	10	6,2	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 2,7$	7,56	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 35,71
	11	6,5			
	12	8,3			
	13	8,9			
	14	7,9			
Tribuna veche	15	9,0	$n_{\Delta h} = \Delta h^{\max} - \Delta h^{\min}$ $n_{\Delta h} = 2,7$	7,63	$P_{nf} = \frac{n_{\Delta h}}{\Delta h_{med}}$ 35,39
	16	6,3			
	1	7,6			



Sectiune	Ciclul			
	I	II	III	IV
Profil long.drept	2,32 mm	4,10 mm	7,60 mm	7,92 mm
Tribuna noua	3,40 mm	4,73 mm	6,86 mm	7,23 mm
Profil long.stâng	3,72 mm	5,56 mm	7,14 mm	7,56 mm
Tribuna veche	3,63 mm	5,83 mm	7,36 mm	7,63 mm

Figura 5.24 -- Reprezentarea spațială a tasărilor medii în fiecare ciclu de măsurare

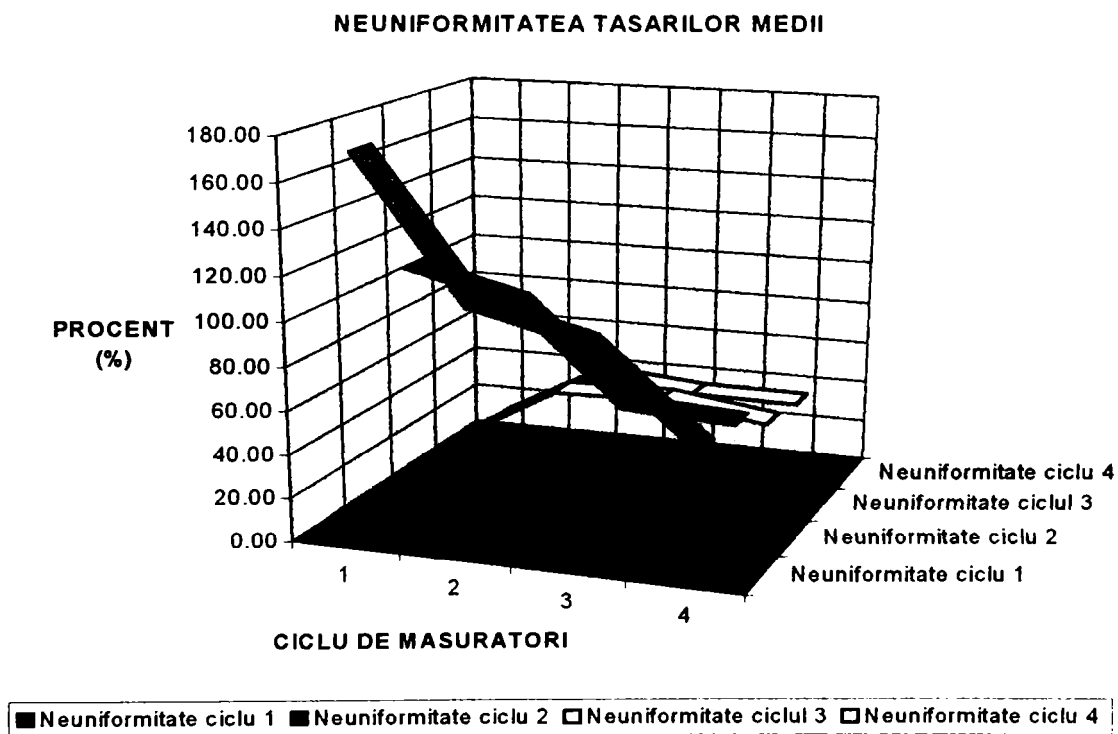


Figura 5.25 – Evoluția neuniformității mărcilor de tasare în ciclurile măsurate

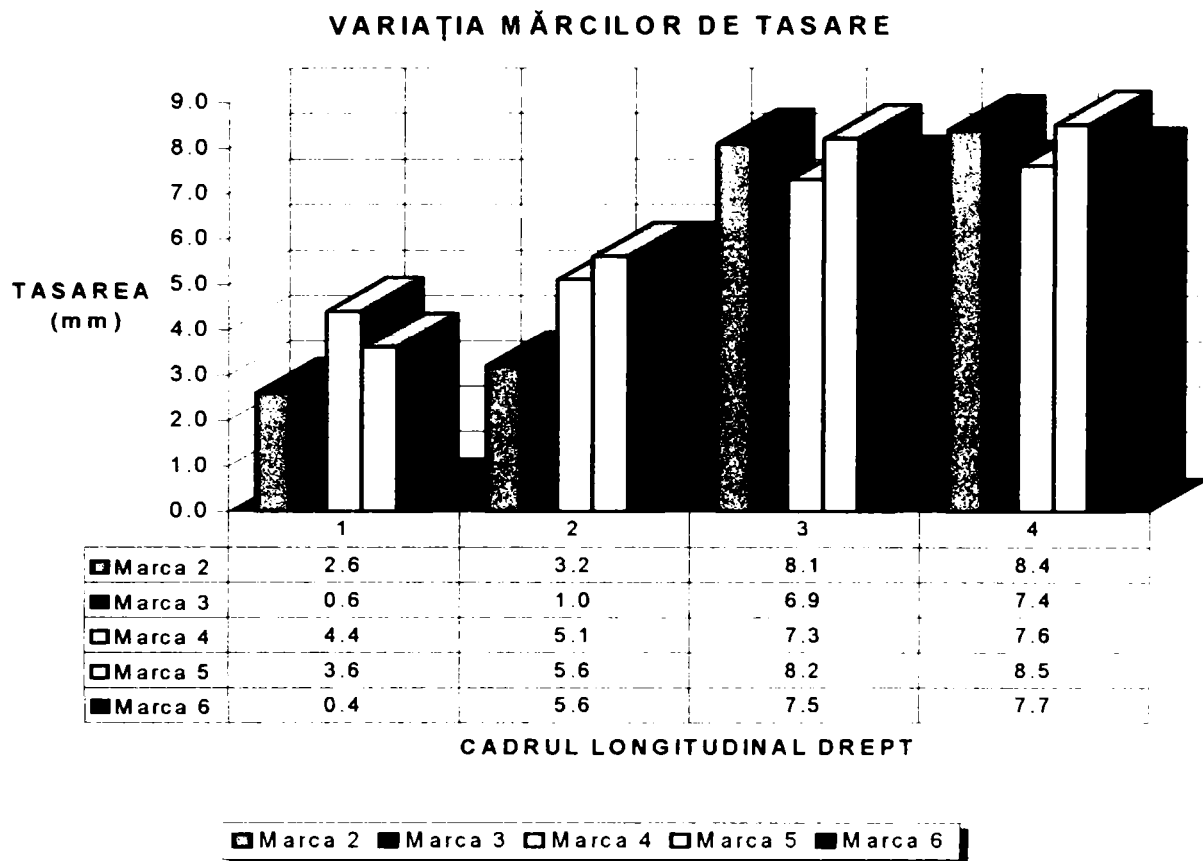


Figura 5.26 – Variația mărcilor de tasare pentru cadrul longitudinal drept

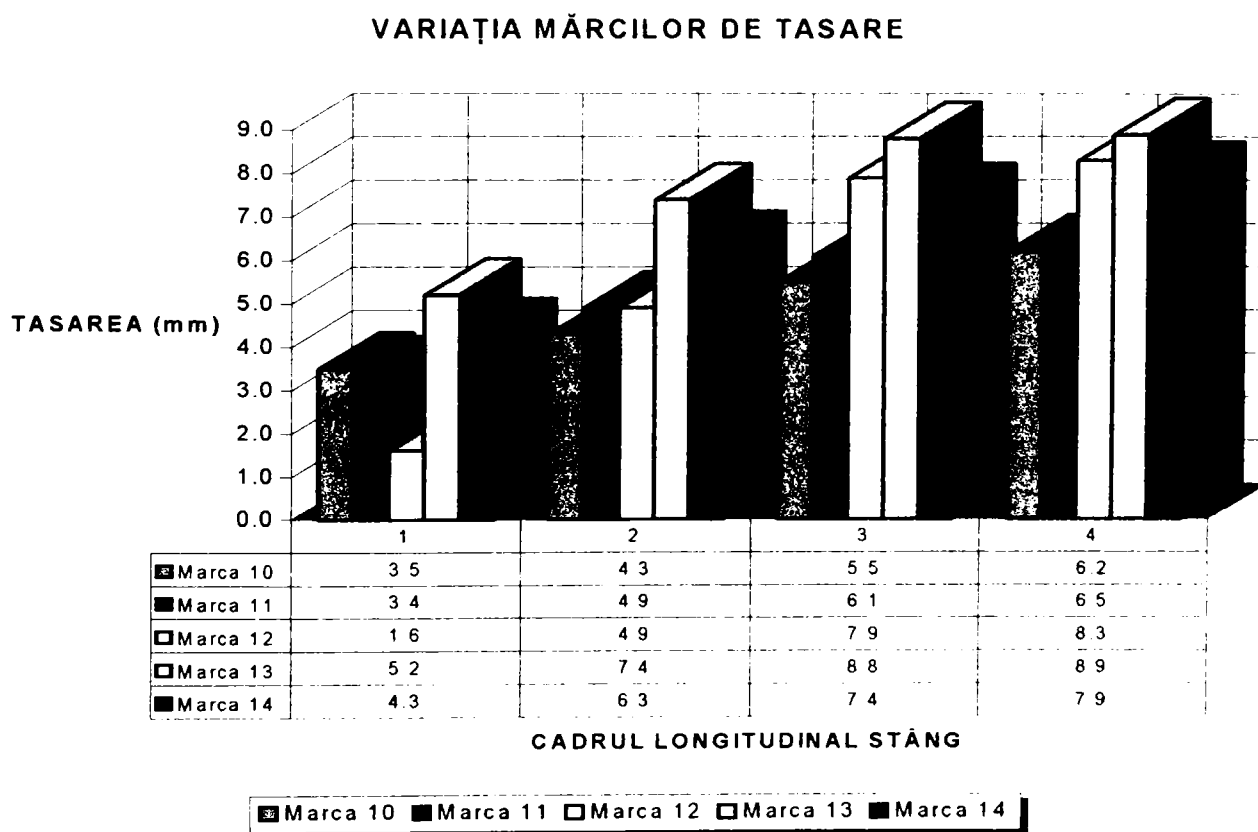


Figura 5.27 – Variația mărcilor de tasare pentru cadrul longitudinal stâng

VARIAȚIA MĂRCILOR DE TASARE

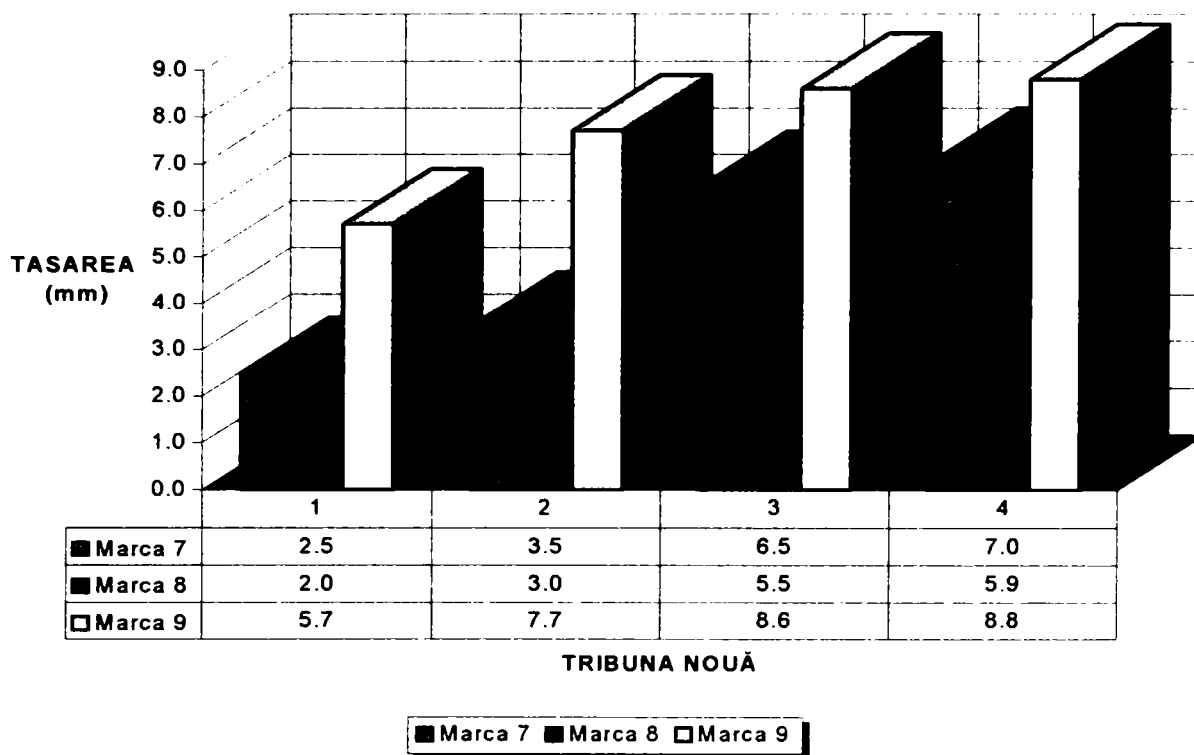


Figura 5.28– Variația mărcilor de tasare pentru tribuna nouă

VARIAȚIA MĂRCILOR DE TASARE

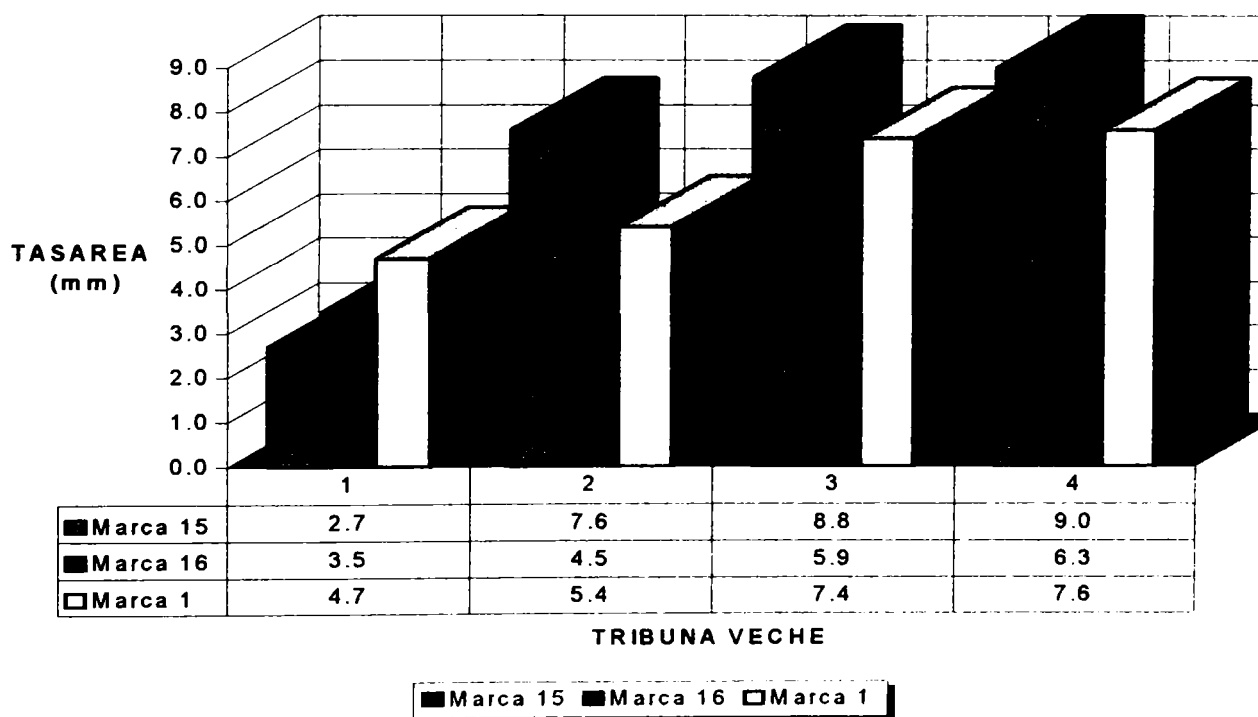


Figura 5.29– Variația mărcilor de tasare pentru tribuna veche

## **CAPITOLUL 6**

### **CONTRIBUȚII PERSONALE , OBSERVAȚII ȘI CONCLUZII FINALE**

#### **6.1. OBSERVAȚII ȘI CONCLUZII FINALE**

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.

Măsurarea, prelucrarea, calcularea și reprezentarea tasărilor, deplasărilor orizontale sau a înclinărilor construcțiilor înalte, poate fi făcută azi cu ajutorul tehnologiilor topo-geodezice moderne, automatizate, care asociate cu aplicarea corectă a unor metode specifice, conferă garanția unei evidențieri corecte a fenomenelor de instabilitate a clădirilor.

Producerea unor tasări sau deplasări orizontale uniforme, ce implică variația verticală sau în plan al întregului ansamblu, nu reprezintă un semnal de alarmă pentru stabilitatea clădirii, decât atunci când valorile observate pe baza măsurătorilor ciclice, egalează sau depășesc valoarea tasărilor probabile calculate apriori, depășirile semnificative constituind un semnal de alarmă atât pentru constructor cât și pentru specialistul în măsurătorile topo-geodezice.

În schimb, tasările neuniforme ale construcțiilor, contribuie la crearea unor deformații și eforturi suplimentare în elementele structurilor, favorizând astfel apariția fisurilor și ulterior la crăpăturilor în elementele de zidărie sau de beton armat, respectiv rotirea, sau încovoierea elementelor structurilor metalice afectate.

În ceea ce privește asigurarea funcțiilor pentru care a fost proiectată o construcție, fie că este o clădire de locuit, socială sau o construcție industrială, asocierea unui program de urmărire a tasărilor este imperios necesară pentru garantarea unei funcționări optime și îndelungate în timp a ansamblului respectiv.

Materialul bibliografic studiat, 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 ingineresti.

Astfel, pe baza studiului realizat și a rezultatelor concrete obținute în diferitele etape ale studiului de caz , am constatat că alegerea unei metode corecte și a tehnologiei corespunzătoare, reprezintă

certitudinea unei interpretări corecte a valorilor măsurate și prelucrate ulterior pe baza tehnologiilor de calcul sprijinite pe conceptele de prelucrare a observațiilor din teoria erorilor de măsurare.

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.

Pe baza evaluărilor teoretice efectuate în cazul tezei propuse, am realizat o corelație între cauzele ce produc fenomenele de instabilitate care contribuie la deformarea construcțiilor și necesitatea aplicării metodelor topo-geodezice pentru determinarea acestora. În acest sens, cauzele care determină urmărirea tasărilor sunt:

- Combinarea diferitelor tipuri de structuri și materiale, obținându-se în ultimul timp construcții monumentale ca întindere, volum și greutate (Clădirea Parlamentului din București) prin folosirea betonului, metalului sau sticlei ca elemente constituente ale clădirii.
- Creșterea înălțimilor clădirilor de locuit sau a clădirilor tip birouri și hoteluri, peste P+10E, ajungându-se la caracteristicile de sol ale României la clădiri P+18E (bloc locuințe – Cartierul Militari din București) până la P+22E (Clădire birouri București).
- Prin alegerea unor structuri complexe, care complică astfel sistemele statice, prezentând însă avantaje economice, dar fiind sensibile față de tasările necuprinse în calcul.
- Dezvoltarea în ultimii 10 ani a tehnologiilor de măsurare topografice moderne, cu ajutorul nivelelor sau stațiilor totale cu unde laser sau electromagnetice, cu o precizie de măsurare liniară și unghiulară de 1:10.000 până la 1:100.000.
- Amplasarea de multe ori a construcțiilor cu înălțime mare, peste 30 m, în imediata vecinătate a unor construcții inferioare ca înălțime.

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 obiectivului studiat.

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.

În ceea ce privește programul de urmărire a comportării construcțiilor, am propus următoarele etape:

- Etapa măsurării tasărilor și deplasărilor în faza de turnare a fundațiilor prin încastrarea mărcilor de tasare în corpul acestora, măsurătoare care va constitui punctul de plecare – ciclul de referință – măsurătoarea “zero”, la care ulterior se vor raporta următoarele determinări.
- Etapa măsurării comportării construcției pe parcursul execuției edificiului, etapă constituită din cel puțin patru cicluri de măsurători. Stabilirea numărului ciclurilor de măsurători se va face printr-o analiză, a previziunii de comportament a structurii, împreună cu inginerul de structuri și geotehnicianul. Ciclurile de măsurători vor fi programate obligatoriu la intervale de timp fixe, săptămâni sau luni de zile, sau la momentul la care construcția atinge anumite cote proiectate.
- Etapa sau faza exploatării construcției efective, perioadă în care ciclurile de măsurare se pot desfășura la perioade de timp mai îndelungate, bianuale sau trimestriale, pe parcursul a minim 3 ani după darea în folosință.

Este evident faptul, că atunci când situația din teren se deosebește față de previziunile din proiectare și când se constată că într-un timp relativ scurt tasările sau deplasările construcției tind să egalizeze valorile probabile sau să le depășească, ciclicitatea măsurătorilor crește în raport cu fazele derulării activității de șantier și a comportamentului structurii.

Măsurarea tasărilor în timpul execuției construcției prezintă o serie de avantaje:

- oferă posibilitatea reală de apreciere a valorilor absolute ale tasărilor măsurate și compararea directă cu mărimile probabile estimate în faza de proiectare a structurii;
- pe baza măsurătorilor topografice se elimină cauzele care generează neconcordanțele dintre tasările evaluate cu cele măsurate, cauze ce se pot datora: perturbării probelor de pământ, sau diferenței între presiunea apei din pori terenului și aparatul de compresiune.

Un alt obiectiv urmărit în teza de doctorat se referă la realizarea analizelor statistice pentru creșterea preciziei de măsurare a tasărilor și deplasărilor orizontale. În acest context am apreciat valorile măsurate pe baza indicilor specifici de evaluare a preciziei cum ar fi: eroarea medie pătratică a unității de pondere, eroarea medie pătratică a mediei, abaterea medie totală, coeficienții de pondere și elementele specifice elipselor erorilor în punctele de control ale rețelei de observație. Obținerea unor valori infime a erorilor de măsurare are în vedere și alegerea unui număr optim de reperi, care în cazul practic studiat este de 4, în cadrul dezvoltării drumurilor de nivelment geometric.

O rețea corect proiectată din punct de vedere geodezic oferă următoarele avantaje:

- micșorarea timpului necesar executării măsurătorilor de teren;
- accesul ușor și rapid la punctele de stație și de control;

- repartiția erorilor de măsurare se realizează în cantități egale pentru fiecare punct și latură a rețelei;
- asigură aplicarea metodei de măsurare cu aceeași pondere pentru fiecare traseu.

De asemenea, dispunerea punctelor rețelei de urmărire este recomandat a se realiza compact pentru a putea desfășura o sesiune de lucru care începe și se termină în aceeași zi de lucru. Prelungirea timpului de măsurare pe sesiune, nu este recomandabil în principal din cauza modificării factorilor externi, aspect care poate induce modificări substanțiale ale valorilor erorilor de măsurare.

Referindu-mă la obiectivul studiat, sala polivalentă din municipiul Craiova, pot menționa următoarele aspecte privind structura clădirii:

- Noua clădire, se compune din două cadre longitudinale, cu o lungime de 72 m și o distanță între ele de 51 m, care formează astfel structura acoperișului.
- Fundațiile existente sunt realizate pe piloți prefabricați cu secțiunea de 30 × 30 cm și lungimea de 7,20 m. Radierile piloților au cota superioară la - 4,10 m.
- Structura pentru susținerea acoperișului din metal și tribuna nouă sunt realizate din cadre de beton armat fundate pe piloți de diametru mare (80 cm) și lungimea de 8,40 m.

Urmărirea comportării în timp a construcției am realizat-o prin intermediul a 16 mărci de tasare, observate din 4 stații de observații sprijinite pe 4 repri de control, iar programul de urmărire l-am eșalonat în 3 etape, primele 2 fiind deja finalizate, iar cea de-a treia urmând a se realiza după montarea acoperișului și încheierea lucrărilor de construcții. Astfel, etapele pe care le-am menționate sunt:

- Etapa I – realizarea măsurătorii de referință “ZERO” la cota construcției de + 2,75m;
- Etapa a II-a, constituită din 4 cicluri de măsurători la cota construcției: + 7,15 m; + 10,55 m; + 14,15 m; + 19,74 m – înălțimea maximă înainte de montarea acoperișului;
- Etapa a III-a, constă în realizarea unui program de urmărire după montarea acoperișului, prevazut inițial în anul 2001, și urmărirea trimestrială în primii 3 ani de la darea în folosință, apoi semestrială în următorii 5 ani.

În contextul actual, menționez faptul că până în momentul de față nu s-a putut respecta în totalitate programul propus, astfel măsurătorile eșalonându-se după cum urmează:

- măsurătoarea de referință “ZERO” la data de 11 mai 2001;
- ciclu I realizat pe data de 28 octombrie 2001;
- ciclul II realizat pe 8 august 2002;
- ciclul III realizat la data de 10 mai 2003;
- ciclul IV realizat la data de 2 septembrie 2004.



Menționez faptul, că din anul 2003 și până în prezent lucrările la sala polivalentă din municipiul Craiova au stagnat. În acest sens, în luna septembrie 2004, am realizat un ciclu suplimentar de măsurători topo-geodezice, la momentul finalizării cadrelor longitudinale și a construirii tribunei noi și consolidării tribunei vechi.

Prelucrarea datelor provenite din măsurătorile de teren, s-a realizat prin intermediul unor extensii de programe care ulterior au fost asimilate unor programe de genul *Toposys* și simulatoare grafice *CAD*, de genul *AutoCAD 2002*, respectiv versiunea *2004*. Pe baza acestor modele de programare, am putut reprezenta rezultatele obținute sub forma de diagrame de tasare, grafice și simulări statistice pe baza utilizării programelor *Excel 2004*.

În prezent, construcția sălii polivalente se află la faza finalizării construirii cadrelor longitudinale care formează noua construcție și a tribunelor, urmând ca în anul 2006 să se monteze acoperișul metalic al sălii și continuarea programului de urmărire și determinare a tasărilor.

Pe baza ciclurilor de măsurători executate în acest context prezint următoarele concluzii:

- Nerespectarea programului inițial privind ciclicitatea măsurătorilor a dus la construirea diferențiată și în etape a cadrelor longitudinale și tribunelor, ceea ce a condus la obținerea unor tasări inegale pentru fiecare element construit;

- Variația tasărilor fiind una inegală, în continuare prezint valorile obținute, după cum urmează:

- Cadrul longitudinal drept – prezintă tasări variabile oscilând între 0,6 – 4,4 mm în ciclul I, între 1,0 – 5,6 mm în ciclul II între 6,9 - 8,2 mm după executarea măsurătorilor ciclului III, ajungând la 8,5 mm după cilul IV.
- Cadrul longitudinal stâng – prezintă tasări variabile oscilând între 1,6 – 5,2 mm în ciclul I, între 4,3 – 7,4 mm în ciclul II, între 5,5 - 8,8 mm după executarea măsurătorilor ciclului III, ajungând la 8,9 mm la sfârșitul ciclului IV.
- Tribuna nouă - prezintă tasări variabile oscilând între 2,0 – 5,7 mm în ciclul I, între 3,0 – 7,7 mm în ciclul II, între 5,5 – 8,6 mm în ciclul III și ajungând la 8,8 mm după executarea măsurătorilor ciclului IV;
- Tribuna veche - prezintă tasări variabile oscilând între 2,7 – 4,7 mm în ciclul I, între 4,5 – 7,6 mm în ciclul II, între 5,9 – 8,8 mm și ajungând la 9.0 mm după executarea măsurătorilor ciclului IV, valoare ce constituie tasarea maximă măsurate până în acest moment;

- Tasarea medie calculată pentru fiecare element al construcției este cuprinsă între 2,32 – 7,625 mm. Comparând valorile cele mai probabile ale tasărilor măsurate cu tasarea acceptată probabilă, egală cu 25 mm, se poate afirma că până la terminarea cadrelor longitudinale și consolidării tribunei vechi și ridicării trbunei noi, tasarea maximă măsurată este de 9.0 mm, ceea ce reprezintă un consum al valorii maxime admisibile de 36,0%.

- Din punct de vedere al stabilității reperilor de control ce formează rețeaua de sprijin elipsele erorilor variază într-un ecart de 10-40 mm pe ciclu de măsurare cu deplasare în plan orizontal de cuprinse între 0.83 mm în stația 1000 și 2.83 mm în punctul de stație 4000.
- Gradul de neuniformitate, definit prin diferența dintre valoarea tasării maxime și minime dintr-un ciclu al măsurătorilor se situează între 1,1– 4,7 mm, definind comportamentul neuniform al întregii structuri.
- Studiul efectuat și prezentat în teza de doctorat, reprezintă o etapă intermediară în procesul de determinare a tasărilor și deplasărilor orizontale ale obiectivului amintit. Programul de urmărire a comportării clădirii sălii polivalente din municipiul Craiova va continua în principal după următorul program care propune:
  - efectuarea unui ciclu de măsurători înaintea montării acoperișului;
  - după montarea acoperișului, la intervale de timp de 3 luni, se vor realiza 4 cicluri de observații;
  - după finalizarea construcției și darea în folosință, pentru primii 3 ani observațiile se vor executa semestrial.
- 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 inginerească 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.

## 6.2. CONTRIBUȚII PERSONALE

Dintre contribuțiile personale aduse de către autor, tematicii studiate, menționez următoarele repere:

- Sinteza cauzelor care produc fenomene de instabilitate asupra terenurilor de fundare și a construcțiilor;
- 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;
- Evidențierea și exemplificarea diferitelor moduri de marcarea a punctelor de control, a stațiilor de observare și a mărcilor de tasare pentru diferite construcții civile, industriale, căi de comunicație terestră și lucrări de artă;
- Sinteza tipurilor de reperi de teren și modul de materializare a acestora pentru România cât și câteva modele referitoare la materializarea punctelor de observații din literatura internațională;
- Sinteza metodelor de compensare și prelucrare a observațiilor topo-geodezice, privite sub aspectul prelucrărilor observațiilor prin metoda măsurătorilor condiționate și indirecte;
- Sinteza prelucrărilor statistice a observațiilor topo-geodezice și schematizarea elementelor de evaluare a preciziilor;
- Sinteza tehnologiilor topo-geodezice moderne, cu exemplificarea tehnologiilor de măsurare prin unde electromagnetice, a instrumentelor de măsurare automate și sistemelor de poziționare globală satelitară;
- Concretizarea conceptelor teoretice sub forma unui studiu de caz, asupra unui obiectiv de importanță deosebită, Sala polivalentă din municipiul Craiova;
- Crearea unui program de urmărire specială a comportării în timp a construcției observate pe baza ciclurilor de măsurare executate de către autor;
- Completarea și crearea rețelei de sprijin pentru urmărirea sălii polivalente;
- Măsurarea, inventarierea, stocarea, prelucrarea, gestiunea datelor măsurate pe baza unor programe de compensare a măsurătorilor topo-geodezice;
- Reprezentarea datelor obținute prin crearea unor diagrame de urmărire a tasărilor celor 16 mărci de tasare ale obiectivului;
- Prelucrarea statistică și evidențierea valorilor absolute ale tasărilor, a neuniformității tasărilor cilurilor de măsurători, a tasărilor medii ale structurii prin reprezentări tabelare și statistice;
- Propunerea continuării programului de urmărire elaborat de autor pentru următorii 5 ani, pe baza eșalonării unor noi cicluri de observații după finalizarea și darea în exploatare a obiectivului.

**ANEXA**

CICLU DE MĂSURARE NR.1  
SALA POLIVALENTĂ CRAIOVA

INVENTAR DATE MĂSURATE – CODIFICARE ELTA 13C CARL ZEISS JENA

387 VAL.INTRODUSE	/PR	1.000000 m	1.000000 th	1.9000 ih	1.6640
388 VAL.INTROD.	T_	11 P	762 A	0.0000	
389	st100				
390	MASURARE/				
393	MASURARE/				
394	ml	D	36.3141 Hz	39.07450 V1100.36952	
395	ml	E	36.3135 Hz	39.07450 h -0.4467	
396	m3	D	107.5014 Hz	350.51498 V1100.65809	
397	m3	E	107.4956 Hz	350.51498 h -1.3465	
425	ml	D	36.2271 Hz	39.06482 V1100.37997	
426	ml	E	36.2265 Hz	39.06482 h -0.4521	
427	ml	D	36.2301 Hz	39.06480 V1100.38053	
428	ml	E	36.2295 Hz	39.06480 h -0.4525	
429	ml	D	36.2281 Hz	39.06499 V1100.38103	
430	ml	E	36.2275 Hz	39.06499 h -0.4527	
431	ml	D	36.2341 Hz	39.06479 V1100.38148	
432	ml	E	36.2335 Hz	39.06479 h -0.4530	
433	ml	D	36.2281 Hz	39.06499 V1100.38177	
434	ml	E	36.2275 Hz	39.06499 h -0.4532	
435	ml	D	36.2351 Hz	39.06518 V1100.38228	
436	ml	E	36.2345 Hz	39.06518 h -0.4535	
437	ml	D	36.2371 Hz	39.06499 V1100.38263	
438	ml	E	36.2365 Hz	39.06499 h -0.4537	
439	ml	D	36.2321 Hz	39.06480 V1100.38294	
440	ml	E	36.2315 Hz	39.06480 h -0.4539	
441	ml	D	36.2331 Hz	39.06499 V1100.38325	
442	ml	E	36.2325 Hz	39.06499 h -0.4540	
460	ml	D	63.5224 Hz	231.61399 V1 99.98272	
461	ml	E	63.5224 Hz	231.61399 h -0.2185	
462	ml	D	63.5214 Hz	231.61380 V1 99.98304	
463	ml	E	63.5214 Hz	231.61380 h -0.2188	
464	ml	D	63.5214 Hz	231.61399 V1 99.98312	
465	ml	E	63.5214 Hz	231.61399 h -0.2189	
466	ml	D	63.5214 Hz	231.61380 V1 99.98320	
467	ml	E	63.5214 Hz	231.61380 h -0.2190	
468	ml	D	63.5234 Hz	231.61399 V1 99.98326	
469	ml	E	63.5234 Hz	231.61399 h -0.2190	
470	ml	D	63.5234 Hz	231.61399 V1 99.98334	
471	ml	E	63.5234 Hz	231.61399 h -0.2191	
472	ml	D	63.5224 Hz	231.61399 V1 99.98337	
473	ml	E	63.5224 Hz	231.61399 h -0.2191	
474	ml	D	63.5244 Hz	231.61399 V1 99.98348	
475	ml	E	63.5244 Hz	231.61399 h -0.2192	
476	ml	D	63.5234 Hz	231.61399 V1 99.98348	
477	ml	E	63.5234 Hz	231.61399 h -0.2192	
478	m2	D	47.5818 Hz	237.68139 V1100.26333	

479 m2	E	47.5814 Hz	237.68139 h	-0.4327
480 m2	D	47.5808 Hz	237.68139 V1100.26336	
481 m2	E	47.5804 Hz	237.68139 h	-0.4327
482 m2	D	47.5808 Hz	237.68119 V1100.26319	
483 m2	E	47.5804 Hz	237.68119 h	-0.4326
484 m2	D	47.5788 Hz	237.68119 V1100.26325	
485 m2	E	47.5784 Hz	237.68119 h	-0.4326
486 m2	D	47.5808 Hz	237.68119 V1100.26336	
487 m2	E	47.5804 Hz	237.68119 h	-0.4327
488 m2	D	47.5808 Hz	237.68139 V1100.26355	
489 m2	E	47.5804 Hz	237.68139 h	-0.4328
490 m2	D	47.5808 Hz	237.68139 V1100.26365	
491 m2	E	47.5804 Hz	237.68139 h	-0.4329
492 m2	D	47.5748 Hz	237.68100 V1100.26368	
493 m2	E	47.5744 Hz	237.68100 h	-0.4329
494 m2	D	47.5758 Hz	237.68100 V1100.26366	
495 m2	E	47.5754 Hz	237.68100 h	-0.4329
496 m3	D	30.3983 Hz	246.28319 V1100.56762	
497 m3	E	30.3970 Hz	246.28319 h	-0.5070
498 m3	D	30.3973 Hz	246.28300 V1100.56814	
499 m3	E	30.3960 Hz	246.28300 h	-0.5072
500 m3	D	30.3983 Hz	246.28300 V1100.56832	
501 m3	E	30.3970 Hz	246.28300 h	-0.5073
502 m3	D	30.3983 Hz	246.28319 V1100.56819	
503 m3	E	30.3970 Hz	246.28319 h	-0.5072
504 m3	D	30.3973 Hz	246.28300 V1100.56821	
505 m3	E	30.3960 Hz	246.28300 h	-0.5072
506 m3	D	30.3983 Hz	246.28300 V1100.56829	
507 m3	E	30.3970 Hz	246.28300 h	-0.5073
508 m3	D	30.3903 Hz	246.28300 V1100.56856	
509 m3	E	30.3890 Hz	246.28300 h	-0.5073
510 m3	D	30.3963 Hz	246.28281 V1100.56859	
511 m3	E	30.3950 Hz	246.28281 h	-0.5074
512 m4	D	19.0735 Hz	305.20191 V1 99.89022	
513 m4	E	19.0735 Hz	305.20191 h	-0.2031
514 m4	D	19.0745 Hz	305.20191 V1 99.89023	
515 m4	E	19.0745 Hz	305.20191 h	-0.2031
516 m4	D	19.0725 Hz	305.20210 V1 99.89006	
517 m4	E	19.0725 Hz	305.20210 h	-0.2030
518 m4	D	19.0765 Hz	305.20229 V1 99.89010	
519 m4	E	19.0765 Hz	305.20229 h	-0.2030
520 m4	D	19.0735 Hz	305.20191 V1 99.89001	
521 m4	E	19.0735 Hz	305.20191 h	-0.2030
522 m4	D	19.0745 Hz	305.20229 V1 99.88996	
523 m4	E	19.0745 Hz	305.20229 h	-0.2030
524 m4	D	19.0745 Hz	305.20210 V1 99.88988	
525 m4	E	19.0745 Hz	305.20210 h	-0.2030
526 m4	D	19.0735 Hz	305.20210 V1 99.88988	
527 m4	E	19.0735 Hz	305.20210 h	-0.2030
528 m5	D	30.7432 Hz	311.65751 V1 99.96808	
529 m5	E	30.7432 Hz	311.65751 h	-0.2205
530 m5	D	30.7432 Hz	311.65751 V1 99.96843	

531 m5	E	30.7432 Hz	311.65751 h	-0.2207
532 m5	D	30.7412 Hz	311.65751 V1	99.96843
533 m5	E	30.7412 Hz	311.65751 h	-0.2207
534 m5	D	30.7432 Hz	311.65732 V1	99.96855
535 m5	E	30.7432 Hz	311.65732 h	-0.2208
536 m5	D	30.7392 Hz	311.65693 V1	99.96848
537 m5	E	30.7392 Hz	311.65693 h	-0.2207
538 m5	D	30.7392 Hz	311.65732 V1	99.96848
539 m5	E	30.7392 Hz	311.65732 h	-0.2207
540 m5	D	30.7402 Hz	311.65751 V1	99.96840
541 m5	E	30.7402 Hz	311.65751 h	-0.2207
542 m5	D	30.7422 Hz	311.65751 V1	99.96835
543 m5	E	30.7422 Hz	311.65751 h	-0.2207
544 m5	D	30.7412 Hz	311.65732 V1	99.96837
545 m5	E	30.7412 Hz	311.65732 h	-0.2207
546 m5	D	48.5538 Hz	316.06702 V1	99.96919
547 m5	E	48.5538 Hz	316.06702 h	-0.2123
548 m6	D	48.5548 Hz	316.06721 V1	99.96933
549 m6	E	48.5548 Hz	316.06721 h	-0.2125
550 m6	D	48.5538 Hz	316.06663 V1	99.96932
551 m6	E	48.5538 Hz	316.06663 h	-0.2124
552 m6	D	48.5558 Hz	316.06721 V1	99.96933
553 m6	E	48.5558 Hz	316.06721 h	-0.2125
554 m6	D	48.5528 Hz	316.06702 V1	99.96936
555 m6	E	48.5528 Hz	316.06702 h	-0.2125
556 m6	D	48.5548 Hz	316.06721 V1	99.96947
557 m6	E	48.5548 Hz	316.06721 h	-0.2126
558 m6	D	48.5558 Hz	316.06702 V1	99.96945
559 m6	E	48.5558 Hz	316.06702 h	-0.2125
560 m6	D	48.5588 Hz	316.06683 V1	99.96935
561 m6	E	48.5588 Hz	316.06683 h	-0.2125
562 m6	D	48.5598 Hz	316.06702 V1	99.96920
563 m6	E	48.5598 Hz	316.06702 h	-0.2123
564 m6	D	48.5588 Hz	316.06721 V1	99.96918
565 m6	E	48.5588 Hz	316.06721 h	-0.2123
566 m7	D	60.4745 Hz	317.21941 V1	99.96934
567 m7	E	60.4745 Hz	317.21941 h	-0.2066
568 m7	D	60.4725 Hz	317.21941 V1	99.96941
569 m7	E	60.4725 Hz	317.21941 h	-0.2067
570 m7	D	60.4745 Hz	317.21970 V1	99.96946
571 m7	E	60.4745 Hz	317.21970 h	-0.2067
572 m7	D	60.4705 Hz	317.21941 V1	99.96959
573 m7	E	60.4705 Hz	317.21941 h	-0.2069
574 m7	D	60.4745 Hz	317.21921 V1	99.96964
575 m7	E	60.4745 Hz	317.21921 h	-0.2069
576 m7	D	60.4765 Hz	317.21970 V1	99.96964
577 m7	E	60.4765 Hz	317.21970 h	-0.2069
578 m7	D	60.4755 Hz	317.21941 V1	99.96942
579 m7	E	60.4755 Hz	317.21941 h	-0.2067
580 m7	D	60.4775 Hz	317.21941 V1	99.96937
581 m7	E	60.4775 Hz	317.21941 h	-0.2067
582 m7	D	60.4795 Hz	317.21921 V1	99.96924

583 m7	E	60.4795 Hz	317.21921 h	-0.2065
584 m8	D	72.4612 Hz	318.36552 V1	99.94448
585 m8	E	72.4612 Hz	318.36552 h	-0.1725
586 m8	D	72.4602 Hz	318.36572 V1	99.94451
587 m8	E	72.4602 Hz	318.36572 h	-0.1725
588 m8	D	72.4622 Hz	318.36552 V1	99.94448
589 m8	E	72.4622 Hz	318.36552 h	-0.1725
590 m8	D	72.4622 Hz	318.36552 V1	99.94453
591 m8	E	72.4622 Hz	318.36552 h	-0.1725
592 m8	D	72.4622 Hz	318.36552 V1	99.94463
593 m8	E	72.4622 Hz	318.36552 h	-0.1726
594 m8	D	72.4602 Hz	318.36552 V1	99.94463
595 m8	E	72.4602 Hz	318.36552 h	-0.1726
596 m8	D	72.4612 Hz	318.36572 V1	99.94463
597 m8	E	72.4612 Hz	318.36572 h	-0.1726
598 m8	D	72.4622 Hz	318.36552 V1	99.94463
599 m8	E	72.4622 Hz	318.36552 h	-0.1726
600 m8	D	72.4612 Hz	318.36552 V1	99.94447
601 m8	E	72.4612 Hz	318.36552 h	-0.1724

602 VAL.INTRODUSE /PR 1.000000 m 1.000000 th 1.9000 ih 1.6140

603 VAL.INTROD. T\_ 18 P 1002 A 0.0000

604 ps101

605 MASURARE/

626 m3	D	37.5773 Hz	399.41293 V1	98.76635
627 m3	E	37.5703 Hz	399.41293 h	0.4422
628 m3	D	37.5883 Hz	399.41293 V1	98.76625
629 m3	E	37.5813 Hz	399.41293 h	0.4425
630 m3	D	37.5773 Hz	399.41293 V1	98.76622
631 m3	E	37.5703 Hz	399.41293 h	0.4423
632 m3	D	37.5723 Hz	399.41274 V1	98.76622
633 m3	E	37.5653 Hz	399.41274 h	0.4422
634 m3	D	37.5753 Hz	399.41293 V1	98.76622
635 m3	E	37.5683 Hz	399.41293 h	0.4423
636 m3	D	37.5753 Hz	399.41292 V1	98.76624
637 m3	E	37.5683 Hz	399.41292 h	0.4423
638 m3	D	37.5703 Hz	399.41312 V1	98.76627
639 m3	E	37.5633 Hz	399.41312 h	0.4421
640 m3	D	37.5853 Hz	399.41293 V1	98.76630
641 m3	E	37.5783 Hz	399.41293 h	0.4424
642 m3	D	37.5763 Hz	399.41274 V1	98.76620
643 m3	E	37.5693 Hz	399.41274 h	0.4423
644 m3	D	37.5743 Hz	399.41293 V1	98.76612
645 m3	E	37.5673 Hz	399.41293 h	0.4423
668 m4	D	75.0367 Hz	119.81284 V1	98.78908
669 m4	E	75.0231 Hz	119.81284 h	1.1416
670 m4	D	75.0337 Hz	119.81254 V1	98.78955
671 m4	E	75.0201 Hz	119.81254 h	1.1410
672 m4	D	75.0337 Hz	119.81303 V1	98.78924
673 m4	E	75.0201 Hz	119.81303 h	1.1413
674 m4	D	75.0347 Hz	119.81283 V1	98.78938
675 m4	E	75.0211 Hz	119.81283 h	1.1412



676 m4	D	75.0287 Hz	119.81283 V1	98.78979
677 m4	E	75.0151 Hz	119.81283 h	1.1406
678 m4	D	75.0267 Hz	119.81302 V1	98.78952
679 m4	E	75.0131 Hz	119.81302 h	1.1409
680 m4	D	75.0277 Hz	119.81302 V1	98.78955
681 m4	E	75.0141 Hz	119.81302 h	1.1408
682 m4	D	75.0267 Hz	119.81302 V1	98.78951
683 m4	E	75.0131 Hz	119.81302 h	1.1409
684 m5	D	63.3709 Hz	122.08905 V1	98.57769
685 m5	E	63.3551 Hz	122.08905 h	1.1300
686 m5	D	63.3709 Hz	122.09773 V1	98.57731
687 m5	E	63.3550 Hz	122.09773 h	1.1303
688 m5	D	63.3739 Hz	122.09725 V1	98.57728
689 m5	E	63.3580 Hz	122.09725 h	1.1304
690 m5	D	63.3709 Hz	122.09744 V1	98.57731
691 m5	E	63.3550 Hz	122.09744 h	1.1303
692 m5	D	63.3679 Hz	122.09744 V1	98.57735
693 m5	E	63.3520 Hz	122.09744 h	1.1302
694 m5	D	63.3679 Hz	122.09744 V1	98.57740
695 m5	E	63.3520 Hz	122.09744 h	1.1302
696 m5	D	63.3669 Hz	122.09744 V1	98.57748
697 m5	E	63.3511 Hz	122.09744 h	1.1301
698 m5	D	63.3659 Hz	122.09744 V1	98.57751
699 m5	E	63.3501 Hz	122.09744 h	1.1300
700 m6	D	45.8802 Hz	127.11028 V1	98.00310
701 m6	E	45.8576 Hz	127.11028 h	1.1530
702 m6	D	45.8792 Hz	127.11028 V1	98.00326
703 m6	E	45.8566 Hz	127.11028 h	1.1529
704 m6	D	45.8772 Hz	127.11008 V1	98.00327
705 m6	E	45.8546 Hz	127.11008 h	1.1528
706 m6	D	45.8752 Hz	127.10979 V1	98.00333
707 m6	E	45.8526 Hz	127.10979 h	1.1527
708 m6	D	45.8742 Hz	127.11009 V1	98.00333
709 m6	E	45.8516 Hz	127.11009 h	1.1527
710 m6	D	45.8752 Hz	127.11009 V1	98.00328
711 m6	E	45.8526 Hz	127.11009 h	1.1528
712 m6	D	45.8772 Hz	127.11009 V1	98.00336
713 m6	E	45.8546 Hz	127.11009 h	1.1528
714 m6	D	45.8772 Hz	127.10633 V1	98.00326
715 m6	E	45.8546 Hz	127.10633 h	1.1528
716 m6	D	45.8752 Hz	127.10681 V1	98.00320
717 m6	E	45.8526 Hz	127.10681 h	1.1528
718 m7	D	34.6704 Hz	133.75886 V1	97.34084
719 m7	E	34.6401 Hz	133.75886 h	1.1618
720 m7	D	34.6694 Hz	133.75858 V1	97.34084
721 m7	E	34.6391 Hz	133.75858 h	1.1618
722 m7	D	34.6704 Hz	133.75800 V1	97.34084
723 m7	E	34.6401 Hz	133.75800 h	1.1618
724 m7	D	34.6694 Hz	133.75876 V1	97.34106
725 m7	E	34.6391 Hz	133.75876 h	1.1617
726 m7	D	34.6704 Hz	133.75886 V1	97.34117
727 m7	E	34.6402 Hz	133.75886 h	1.1617

728 m7	D	34.6724 Hz	133.75857 V1	97.34134
729 m7	E	34.6422 Hz	133.75857 h	1.1617
730 m7	D	34.6714 Hz	133.75876 V1	97.34140
731 m7	E	34.6412 Hz	133.75876 h	1.1616
732 m7	D	34.6724 Hz	133.75877 V1	97.34148
733 m7	E	34.6422 Hz	133.75877 h	1.1616
734 m7	D	34.6744 Hz	133.75877 V1	97.34146
735 m7	E	34.6442 Hz	133.75877 h	1.1617
736 m8	D	23.9266 Hz	145.72242 V1	96.01078
737 m8	E	23.8796 Hz	145.72242 h	1.2124
738 m8	D	23.9286 Hz	145.72242 V1	96.01079
739 m8	E	23.8816 Hz	145.72242 h	1.2125
740 m8	D	23.9286 Hz	145.72204 V1	96.01082
741 m8	E	23.8816 Hz	145.72204 h	1.2125
742 m8	D	23.9266 Hz	145.72223 V1	96.01093
743 m8	E	23.8796 Hz	145.72223 h	1.2123
744 m8	D	23.9266 Hz	145.72262 V1	96.01106
745 m8	E	23.8796 Hz	145.72262 h	1.2123
746 m8	D	23.9246 Hz	145.72264 V1	96.01092
747 m8	E	23.8776 Hz	145.72264 h	1.2122
748 m8	D	23.9246 Hz	145.72264 V1	96.01090
749 m8	E	23.8776 Hz	145.72264 h	1.2122
750 m8	D	23.9256 Hz	145.72264 V1	96.01090
751 m8	E	23.8786 Hz	145.72264 h	1.2123
752 m9	D	22.3376 Hz	178.10385 V1	95.78163
753 m9	E	22.2886 Hz	178.10385 h	1.1931
754 m9	D	22.3366 Hz	178.10346 V1	95.78199
755 m9	E	22.2876 Hz	178.10346 h	1.1929
756 m9	D	22.3386 Hz	178.10384 V1	95.78189
757 m9	E	22.2896 Hz	178.10384 h	1.1931
758 m9	D	22.3386 Hz	178.10384 V1	95.78184
759 m9	E	22.2896 Hz	178.10384 h	1.1931
760 m9	D	22.3346 Hz	178.10364 V1	95.78175
761 m9	E	22.2856 Hz	178.10364 h	1.1928
762 m9	D	22.3366 Hz	178.10382 V1	95.78167
763 m9	E	22.2876 Hz	178.10382 h	1.1930
764 m9	D	22.3376 Hz	178.10363 V1	95.78164
765 m9	E	22.2886 Hz	178.10363 h	1.1931
766 m9	D	22.3356 Hz	178.10400 V1	95.78169
767 m9	E	22.2866 Hz	178.10400 h	1.1929
768 m9	D	22.3376 Hz	178.10399 V1	95.78179
769 m9	E	22.2886 Hz	178.10399 h	1.1930
770 m10	D	38.3433 Hz	187.60783 V1	97.57361
771 m10	E	38.3155 Hz	187.60783 h	1.1751
772 m10	D	38.3443 Hz	187.60783 V1	97.57356
773 m10	E	38.3165 Hz	187.60783 h	1.1752
774 m10	D	38.3443 Hz	187.60754 V1	97.57356
775 m10	E	38.3165 Hz	187.60754 h	1.1752
776 m10	D	38.3463 Hz	187.60802 V1	97.57358
777 m10	E	38.3185 Hz	187.60802 h	1.1753
778 m10	D	38.3463 Hz	187.60782 V1	97.57357
779 m10	E	38.3185 Hz	187.60782 h	1.1753

780 m10	D	38.3503 Hz	187.60782 V1	97.57353
781 m10	E	38.3225 Hz	187.60782 h	1.1755
782 m10	D	38.3503 Hz	187.60752 V1	97.57337
783 m10	E	38.3225 Hz	187.60752 h	1.1756
784 m10	D	38.3513 Hz	187.60761 V1	97.57326
785 m10	E	38.3235 Hz	187.60761 h	1.1757
786 m11	D	55.7010 Hz	194.42040 V1	98.35257
787 m11	E	55.6824 Hz	194.42040 h	1.1555
788 m11	D	55.7020 Hz	194.42040 V1	98.35301
789 m11	E	55.6834 Hz	194.42040 h	1.1551
790 m11	D	55.7000 Hz	194.42011 V1	98.35257
791 m11	E	55.6814 Hz	194.42011 h	1.1554
792 m11	D	55.7020 Hz	194.42030 V1	98.35240
793 m11	E	55.6834 Hz	194.42030 h	1.1556
794 m11	D	55.7010 Hz	194.42010 V1	98.35219
795 m11	E	55.6823 Hz	194.42010 h	1.1558
796 m11	D	55.6990 Hz	194.42057 V1	98.35194
797 m11	E	55.6803 Hz	194.42057 h	1.1560
798 m11	D	55.7000 Hz	194.42037 V1	98.35201
799 m11	E	55.6813 Hz	194.42037 h	1.1559
800 m11	D	55.6970 Hz	194.42027 V1	98.35201
801 m11	E	55.6783 Hz	194.42027 h	1.1559
802 m11	D	55.6980 Hz	194.42037 V1	98.35214
803 m11	E	55.6793 Hz	194.42037 h	1.1558
804 m11	D	55.6980 Hz	194.42028 V1	98.35222
805 m11	E	55.6793 Hz	194.42028 h	1.1557
806 VAL.INTRODUSE	/PR	1.000000 m	1.000000 th	1.9000 ih 1.6130
807 ps102	T	22 P	1002 A	0.0000
825 m4	D	27.5525 Hz	312.55998 V1	97.27283
826 m4	E	27.5272 Hz	312.55998 h	0.8930
827 m4	D	27.5495 Hz	312.57078 V1	97.27288
828 m4	E	27.5242 Hz	312.57078 h	0.8928
829 m4	D	27.5475 Hz	312.57058 V1	97.27278
830 m4	E	27.5222 Hz	312.57058 h	0.8928
831 m4	D	27.5495 Hz	312.57056 V1	97.27252
832 m4	E	27.5242 Hz	312.57056 h	0.8930
833 m4	D	27.5345 Hz	312.57036 V1	97.27202
834 m4	E	27.5092 Hz	312.57036 h	0.8926
835 m4	D	27.5375 Hz	312.57055 V1	97.27178
836 m4	E	27.5122 Hz	312.57055 h	0.8928
837 m1	D	113.9130 Hz	151.96552 V1	99.64797
838 m1	E	113.9112 Hz	151.96552 h	0.3438
839 m1	D	113.9130 Hz	151.96532 V1	99.64784
840 m1	E	113.9112 Hz	151.96532 h	0.3440
841 m1	D	113.9170 Hz	151.96551 V1	99.64759
842 m1	E	113.9152 Hz	151.96551 h	0.3445
843 m1	D	113.9110 Hz	151.96513 V1	99.64736
844 m1	E	113.9092 Hz	151.96513 h	0.3449
845 m1	D	113.9100 Hz	151.96513 V1	99.64721
846 m1	E	113.9082 Hz	151.96513 h	0.3451
847 m1	D	113.9170 Hz	151.96513 V1	99.64716
848 m1	E	113.9152 Hz	151.96513 h	0.3453

849 m1	D	113.9230 Hz	151.96552 V1	99.64740
850 m1	E	113.9212 Hz	151.96552 h	0.3449
851 m1	D	113.9290 Hz	151.96532 V1	99.64760
852 m1	E	113.9272 Hz	151.96532 h	0.3445
863 m9	D	72.3257 Hz	55.47007 V1	99.55887
864 m9	E	72.3240 Hz	55.47007 h	0.2145
865 m9	D	72.3237 Hz	55.47007 V1	99.55926
866 m9	E	72.3220 Hz	55.47007 h	0.2141
867 m9	D	72.3197 Hz	55.47026 V1	99.55930
868 m9	E	72.3180 Hz	55.47026 h	0.2140
869 m9	D	72.3187 Hz	55.47007 V1	99.55941
870 m9	E	72.3170 Hz	55.47007 h	0.2138
871 m9	D	72.3197 Hz	55.47027 V1	99.55910
872 m9	E	72.3180 Hz	55.47027 h	0.2142
873 m9	D	72.3157 Hz	55.47056 V1	99.55927
874 m9	E	72.3140 Hz	55.47056 h	0.2140
875 m9	D	72.3177 Hz	55.47027 V1	99.55931
876 m9	E	72.3160 Hz	55.47027 h	0.2140
877 m9	D	72.3167 Hz	55.47027 V1	99.55935
878 m9	E	72.3150 Hz	55.47027 h	0.2139
879 m10	D	56.4840 Hz	60.33349 V1	99.44767
880 m10	E	56.4819 Hz	60.33349 h	0.2033
881 m10	D	56.4880 Hz	60.33329 V1	99.44781
882 m10	E	56.4859 Hz	60.33329 h	0.2032
883 m10	D	56.4850 Hz	60.33348 V1	99.44718
884 m10	E	56.4829 Hz	60.33348 h	0.2037
885 m10	D	56.4850 Hz	60.33348 V1	99.44745
886 m10	E	56.4829 Hz	60.33348 h	0.2035
887 m10	D	56.4860 Hz	60.33348 V1	99.44768
888 m10	E	56.4839 Hz	60.33348 h	0.2033
889 m10	D	56.4780 Hz	60.33367 V1	99.44789
890 m10	E	56.4759 Hz	60.33367 h	0.2030
891 m10	D	56.4770 Hz	60.33367 V1	99.44806
892 m10	E	56.4749 Hz	60.33367 h	0.2029
893 m10	D	56.4770 Hz	60.33367 V1	99.44803
894 m10	E	56.4749 Hz	60.33367 h	0.2029
895 m11	D	38.9543 Hz	66.33957 V1	99.20517
896 m11	E	38.9513 Hz	66.33957 h	0.1994
897 m11	D	38.9533 Hz	66.33976 V1	99.20534
898 m11	E	38.9503 Hz	66.33976 h	0.1993
899 m11	D	38.9533 Hz	66.33977 V1	99.20559
900 m11	E	38.9503 Hz	66.33977 h	0.1992
901 m11	D	38.9543 Hz	66.33958 V1	99.20529
902 m11	E	38.9513 Hz	66.33958 h	0.1994
903 m11	D	38.9533 Hz	66.33938 V1	99.20537
904 m11	E	38.9503 Hz	66.33938 h	0.1993
905 m11	D	38.9553 Hz	66.33958 V1	99.20531
906 m11	E	38.9523 Hz	66.33958 h	0.1994
907 m11	D	38.9533 Hz	66.33977 V1	99.20537
908 m11	E	38.9503 Hz	66.33977 h	0.1993
909 m11	D	38.9543 Hz	66.33938 V1	99.20545
910 m11	E	38.9513 Hz	66.33938 h	0.1993

911 m11	D	38.9543 Hz	66.33958 V1	99.20553
912 m11	E	38.9513 Hz	66.33958 h	0.1992
913 m12	D	19.3707 Hz	95.36042 V1	98.13968
914 m12	E	19.3624 Hz	95.36042 h	0.2790
915 m12	D	19.3697 Hz	95.36041 V1	98.13987
916 m12	E	19.3614 Hz	95.36041 h	0.2789
917 m12	D	19.3727 Hz	95.36040 V1	98.14006
918 m12	E	19.3644 Hz	95.36040 h	0.2789
919 m12	D	19.3697 Hz	95.36020 V1	98.14032
920 m12	E	19.3614 Hz	95.36020 h	0.2788
921 m12	D	19.3697 Hz	95.36039 V1	98.14041
922 m12	E	19.3614 Hz	95.36039 h	0.2787
923 m12	D	19.3677 Hz	95.36038 V1	98.14045
924 m12	E	19.3594 Hz	95.36038 h	0.2787
925 m12	D	19.3687 Hz	95.36038 V1	98.14045
926 m12	E	19.3604 Hz	95.36038 h	0.2787
927 m12	D	19.3717 Hz	95.36038 V1	98.14043
928 m12	E	19.3634 Hz	95.36038 h	0.2788
929 m13	D	34.3884 Hz	119.81548 V1	98.90837
930 m13	E	34.3833 Hz	119.81548 h	0.3027
931 m13	D	34.3874 Hz	119.81510 V1	98.90873
932 m13	E	34.3823 Hz	119.81510 h	0.3025
933 m13	D	34.3884 Hz	119.81529 V1	98.90846
934 m13	E	34.3833 Hz	119.81529 h	0.3027
935 m13	D	34.3894 Hz	119.81558 V1	98.90789
936 m13	E	34.3843 Hz	119.81558 h	0.3030
937 m13	D	34.3894 Hz	119.81528 V1	98.90740
938 m13	E	34.3843 Hz	119.81528 h	0.3033
939 m13	D	34.3904 Hz	119.81508 V1	98.90694
940 m13	E	34.3853 Hz	119.81508 h	0.3035
941 m13	D	34.3884 Hz	119.81546 V1	98.90668
942 m13	E	34.3833 Hz	119.81546 h	0.3036
943 m13	D	34.3884 Hz	119.81546 V1	98.90654
944 m13	E	34.3833 Hz	119.81546 h	0.3037
945 m14	D	51.1971 Hz	129.29769 V1	99.46083
946 m14	E	51.1953 Hz	129.29769 h	0.1468
947 m14	D	51.1981 Hz	129.29731 V1	99.46094
948 m14	E	51.1963 Hz	129.29731 h	0.1467
949 m14	D	51.1991 Hz	129.29750 V1	99.46098
950 m14	E	51.1973 Hz	129.29750 h	0.1467
951 m14	D	51.1991 Hz	129.29750 V1	99.46148
952 m14	E	51.1973 Hz	129.29750 h	0.1463
953 m14	D	51.1991 Hz	129.29750 V1	99.46159
954 m14	E	51.1973 Hz	129.29750 h	0.1462
955 m14	D	51.1971 Hz	129.29750 V1	99.46171
956 m14	E	51.1953 Hz	129.29750 h	0.1461
957 m14	D	51.1981 Hz	129.29750 V1	99.46177
958 m14	E	51.1963 Hz	129.29750 h	0.1460
959 m14	D	51.2001 Hz	129.29731 V1	99.46199
960 m14	E	51.1983 Hz	129.29731 h	0.1459
961 m15	D	62.9069 Hz	132.43079 V1	99.51009
962 m15	E	62.9050 Hz	132.43079 h	0.1974

963 m15	D	62.9079 Hz	132.43080 V1	99.51044
964 m15	E	62.9060 Hz	132.43080 h	0.1970
965 m15	D	62.9099 Hz	132.43060 V1	99.51079
966 m15	E	62.9080 Hz	132.43060 h	0.1967
967 m15	D	62.9059 Hz	132.43080 V1	99.51088
968 m15	E	62.9040 Hz	132.43080 h	0.1966
969 m15	D	62.9079 Hz	132.43080 V1	99.51100
970 m15	E	62.9060 Hz	132.43080 h	0.1965
971 m15	D	62.9079 Hz	132.43080 V1	99.51108
972 m15	E	62.9060 Hz	132.43080 h	0.1964
973 m15	D	62.9059 Hz	132.43080 V1	99.51097
974 m15	E	62.9040 Hz	132.43080 h	0.1965
975 m15	D	62.9059 Hz	132.43080 V1	99.51113
976 m15	E	62.9040 Hz	132.43080 h	0.1963
977 m15	D	62.9069 Hz	132.43080 V1	99.51124
978 m15	E	62.9050 Hz	132.43080 h	0.1962
979 m16	D	74.6447 Hz	134.89783 V1	99.61169
980 m16	E	74.6433 Hz	134.89783 h	0.1687
981 m16	D	74.6427 Hz	134.89802 V1	99.61195
982 m16	E	74.6413 Hz	134.89802 h	0.1684
983 m16	D	74.6427 Hz	134.89782 V1	99.61209
984 m16	E	74.6413 Hz	134.89782 h	0.1682
985 m16	D	74.6467 Hz	134.89831 V1	99.61255
986 m16	E	74.6453 Hz	134.89831 h	0.1677
987 m16	D	74.6507 Hz	134.89802 V1	99.61300
988 m16	E	74.6493 Hz	134.89802 h	0.1672
989 m16	D	74.6467 Hz	134.89802 V1	99.61295
990 m16	E	74.6453 Hz	134.89802 h	0.1672
991 m16	D	74.6497 Hz	134.89802 V1	99.61266
992 m16	E	74.6483 Hz	134.89802 h	0.1676
993 m16	D	74.6497 Hz	134.89801 V1	99.61285
994 m16	E	74.6483 Hz	134.89801 h	0.1674
995 m16	D	74.6497 Hz	134.89801 V1	99.61282
996 m16	E	74.6483 Hz	134.89801 h	0.1674
997 VAL.INTRODUSE	/PR	1.000000 m	1.000000 th	1.9000 ih 1.6380
998 VAL.INTROD.	T_	21 P	1002 A	0.0000
999 st103				
1000 MASURARE/				
1001 m2	D	125.2421 Hz	234.75843 V1	99.57113
1002 m2	E	125.2393 Hz	234.75843 h	0.5828
1003 m2	D	125.2101 Hz	234.75785 V1	99.57115
1004 m2	E	125.2073 Hz	234.75785 h	0.5825
1005 m2	D	125.2151 Hz	234.75805 V1	99.57107
1006 m2	E	125.2123 Hz	234.75805 h	0.5827
1007 m2	D	125.2151 Hz	234.75785 V1	99.57105
1008 m2	E	125.2123 Hz	234.75785 h	0.5828
1009 m2	D	125.2281 Hz	234.75805 V1	99.57089
1010 m2	E	125.2253 Hz	234.75805 h	0.5832
1011 m2	D	125.2361 Hz	234.75785 V1	99.57081
1012 m2	E	125.2333 Hz	234.75785 h	0.5834
1013 m2	D	125.2451 Hz	234.75805 V1	99.57105
1014 m2	E	125.2423 Hz	234.75805 h	0.5830

1049 ml	D	16.2588 Hz	343.02275 V	1100.04341
1050 ml	E	16.2588 Hz	343.02275 h	-0.2731
1051 ml	D	16.2598 Hz	343.02275 V	1100.04363
1052 ml	E	16.2598 Hz	343.02275 h	-0.2731
1053 ml	D	16.2578 Hz	343.02275 V	1100.04371
1054 ml	E	16.2578 Hz	343.02275 h	-0.2731
1055 ml	D	16.2668 Hz	343.02256 V	1100.04379
1056 ml	E	16.2668 Hz	343.02256 h	-0.2732
1057 ml	D	16.2628 Hz	343.02275 V	1100.04387
1058 ml	E	16.2628 Hz	343.02275 h	-0.2732
1059 ml	D	16.2608 Hz	343.02275 V	1100.04382
1060 ml	E	16.2608 Hz	343.02275 h	-0.2732
1061 ml	D	16.2528 Hz	343.02275 V	1100.04428
1062 ml	E	16.2528 Hz	343.02275 h	-0.2733
1063 ml	D	16.2578 Hz	343.02256 V	1100.04407
1064 ml	E	16.2578 Hz	343.02256 h	-0.2732
1065 ml2	D	86.6147 Hz	148.39527 V	99.76245
1066 ml2	E	86.6141 Hz	148.39527 h	0.0617
1067 ml2	D	86.6147 Hz	148.39527 V	99.76250
1068 ml2	E	86.6141 Hz	148.39527 h	0.0616
1069 ml2	D	86.6157 Hz	148.39517 V	99.76265
1070 ml2	E	86.6151 Hz	148.39517 h	0.0614
1071 ml2	D	86.6167 Hz	148.39517 V	99.76257
1072 ml2	E	86.6161 Hz	148.39517 h	0.0615
1073 ml2	D	86.6167 Hz	148.39498 V	99.76260
1074 ml2	E	86.6161 Hz	148.39498 h	0.0615
1075 ml2	D	86.6187 Hz	148.39517 V	99.76260
1076 ml2	E	86.6181 Hz	148.39517 h	0.0615
1077 ml2	D	86.6167 Hz	148.39527 V	99.76265
1078 ml2	E	86.6161 Hz	148.39527 h	0.0614
1079 ml2	D	86.6187 Hz	148.39546 V	99.76270
1080 ml2	E	86.6181 Hz	148.39546 h	0.0614
1081 ml3	D	69.3630 Hz	152.46993 V	99.68620
1082 ml3	E	69.3621 Hz	152.46993 h	0.0802
1083 ml3	D	69.3620 Hz	152.47041 V	99.68350
1084 ml3	E	69.3611 Hz	152.47041 h	0.0832
1085 ml3	D	69.3630 Hz	152.46993 V	99.68346
1086 ml3	E	69.3621 Hz	152.46993 h	0.0832
1087 ml3	D	69.3650 Hz	152.47002 V	99.68329
1088 ml3	E	69.3641 Hz	152.47002 h	0.0834
1089 ml3	D	69.3670 Hz	152.47002 V	99.68330
1090 ml3	E	69.3661 Hz	152.47002 h	0.0834
1091 ml3	D	69.3690 Hz	152.47002 V	99.68314
1092 ml3	E	69.3681 Hz	152.47002 h	0.0836
1093 ml3	D	69.3690 Hz	152.47002 V	99.68314
1094 ml3	E	69.3681 Hz	152.47002 h	0.0836
1095 ml3	D	69.3670 Hz	152.47002 V	99.68317
1096 ml3	E	69.3661 Hz	152.47002 h	0.0835
1097 ml4	D	52.4342 Hz	158.74685 V	99.76720
1098 ml4	E	52.4339 Hz	158.74685 h	-0.0701
1099 ml4	D	52.4312 Hz	158.74685 V	99.76740
1100 ml4	E	52.4309 Hz	158.74685 h	-0.0702

1101 m14	D	52.4332 Hz	158.74666 V1 99.76763
1102 m14	E	52.4329 Hz	158.74666 h -0.0704
1103 m14	D	52.4312 Hz	158.74637 V1 99.76778
1104 m14	E	52.4309 Hz	158.74637 h -0.0706
1105 m14	D	52.4322 Hz	158.74656 V1 99.76779
1106 m14	E	52.4319 Hz	158.74656 h -0.0706
1107 m14	D	52.4312 Hz	158.74685 V1 99.76771
1108 m14	E	52.4309 Hz	158.74685 h -0.0705
1109 m14	D	52.4302 Hz	158.74666 V1 99.76766
1110 m14	E	52.4299 Hz	158.74666 h -0.0705
1111 m14	D	52.4312 Hz	158.74666 V1 99.76758
1112 m14	E	52.4309 Hz	158.74666 h -0.0704
1113 m14	D	52.4302 Hz	158.74685 V1 99.76766
1114 m14	E	52.4299 Hz	158.74685 h -0.0705
1115 m15	D	41.7254 Hz	166.22947 V1 99.63521
1116 m15	E	41.7247 Hz	166.22947 h -0.0228
1117 m15	D	41.7294 Hz	166.22976 V1 99.63529
1118 m15	E	41.7287 Hz	166.22976 h -0.0228
1119 m15	D	41.7274 Hz	166.22976 V1 99.63567
1120 m15	E	41.7267 Hz	166.22976 h -0.0231
1121 m15	D	41.7274 Hz	166.22976 V1 99.63573
1122 m15	E	41.7267 Hz	166.22976 h -0.0231
1123 m15	D	41.7294 Hz	166.22976 V1 99.63591
1124 m15	E	41.7287 Hz	166.22976 h -0.0232
1125 m15	D	41.7294 Hz	166.22976 V1 99.63585
1126 m15	E	41.7287 Hz	166.22976 h -0.0232
1127 m15	D	41.7294 Hz	166.22976 V1 99.63588
1128 m15	E	41.7287 Hz	166.22976 h -0.0232
1129 m15	D	41.7294 Hz	166.22975 V1 99.63582
1130 m15	E	41.7287 Hz	166.22975 h -0.0232
1131 m15	D	41.7314 Hz	166.22976 V1 99.63574
1132 m15	E	41.7307 Hz	166.22976 h -0.0231
1133 m16	D	31.7385 Hz	177.97617 V1 99.58078
1134 m16	E	31.7378 Hz	177.97617 h -0.0529
1135 m16	D	31.7345 Hz	177.97617 V1 99.58081
1136 m16	E	31.7338 Hz	177.97617 h -0.0530
1137 m16	D	31.7325 Hz	177.97568 V1 99.58106
1138 m16	E	31.7318 Hz	177.97568 h -0.0531
1139 m16	D	31.7335 Hz	177.97636 V1 99.58070
1140 m16	E	31.7328 Hz	177.97636 h -0.0529
1141 m16	D	31.7285 Hz	177.97568 V1 99.58073
1142 m16	E	31.7278 Hz	177.97568 h -0.0530
1143 m16	D	31.7305 Hz	177.97588 V1 99.58068
1144 m16	E	31.7298 Hz	177.97588 h -0.0529
1145 m16	D	31.7295 Hz	177.97549 V1 99.58069
1146 m16	E	31.7288 Hz	177.97549 h -0.0529
1147 m16	D	31.7295 Hz	177.97617 V1 99.58074
1148 m16	E	31.7288 Hz	177.97617 h -0.0530
1149 m16	D	31.7275 Hz	177.97607 V1 99.58072
1150 m16	E	31.7268 Hz	177.97607 h -0.0530
1151 m16	D	31.7285 Hz	177.97617 V1 99.58064
1152 m16	E	31.7278 Hz	177.97617 h -0.0529



ANEXĂ

1153 ml	D	30.7825 Hz	201.91034 V1	99.55585
1154 ml	E	30.7818 Hz	201.91034 h	-0.0472
1155 ml	D	30.7805 Hz	201.91015 V1	99.55561
1156 ml	E	30.7798 Hz	201.91015 h	-0.0471
1157 ml	D	30.7795 Hz	201.91063 V1	99.55566
1158 ml	E	30.7788 Hz	201.91063 h	-0.0471
1159 ml	D	30.7815 Hz	201.91034 V1	99.55590
1160 ml	E	30.7808 Hz	201.91034 h	-0.0472
1161 ml	D	30.7815 Hz	201.91034 V1	99.55601
1162 ml	E	30.7808 Hz	201.91034 h	-0.0473
1163 ml	D	30.7805 Hz	201.91015 V1	99.55614
1164 ml	E	30.7798 Hz	201.91015 h	-0.0473
1165 ml	D	30.7795 Hz	201.91034 V1	99.55617
1166 ml	E	30.7788 Hz	201.91034 h	-0.0474
1167 ml	D	30.7795 Hz	201.90986 V1	99.55622
1168 ml	E	30.7788 Hz	201.90986 h	-0.0474
1169 ml	D	30.7785 Hz	201.91034 V1	99.55604
1170 ml	E	30.7778 Hz	201.91034 h	-0.0473

END

**BIBLIOGRAFIE**

1. Ackroyd, N., Lorimer R., - *Global navigation – a GPS user's guide*, Lloyd's of London, 1990
2. Astasenkov, G. – *Deformations messungen an Fundamenten und Laufrigen von Drehofen – Verm. – Tech., 5, 1974*
3. Atudorei, M. – *Măsurători geodezice prin unde*, Institutul de Construcții București, 1981
4. Atudorei, M. – *Astronomie, partea I-a*, Institutul de Construcții București, 1983
5. Botez, M. – *Teoria erorilor și metoda celor mai mici pătrate*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1961
6. Botez, P.M., Ghițau, 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 inginerească*, Editura Matrix Rom, București, 2003
15. Cristescu, N., Taub-Sebastian M., - *Curs de topografie inginerească*, Institutul de Construcții București, 1970
16. Cristescu, N. – *Topografie inginerească*, 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. V. Doandș – *Topografie generală și inginerească*, Editura Politehnica, 2000
20. V. Doandș – *Topografie aplicată*, Editura Politehnica, 2005
21. Filimon, R., Botez, P.M., Costăchel, A., Russu, A., - *Topografie generală*. Editura Tehnică București, 1958

22. Fotescu, N – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate, Institutul de Construcții București, 1975*
23. Fotescu N., Săvulescu, C. – *Îndrumător pentru lucrări practice în teoria erorilor, Universitatea Tehnică de Construcții București, 1975*
24. Ghițău, D. – *Geodezie – Triangulație – Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973*
25. Grafarend, E.W., Sanso, F. – *Optimisation and design of geodetic networks, Springer Verlag, 1985*
26. Grecea, C., Arcereanu, G. – *Instrumente topografice pentru cadastru, Universitatea Politehnica din Timișoara, 1995*
27. Grecea, C. – *Introducere în geodezia satelitară, Editura Mirton, Timișoara, 1999*
28. Grecea, C. – *Geodezie, Editura Mirton, Timișoara, 2005*
29. Haida, V., Marin M. – *Geotehnică, Universitatea Tehnică Timișoara, 1994*
30. Haida, V., Marin M., Mirea, M. – *Mecanica pământurilor, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004*
31. Hoffmann – Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. – *GPS – Theory and practice, third revised edition, Springer – Verlag Wien, 1994*
32. Hoffmann – Wellenhof, B., Kienast, G., Lichtenegger, H. – *GPS in der Praxis, Springer, Wien, New York, 1994*
33. Ingensand, M., Kyle, S. – *Modern survey technics, Leica Heerbrugg, 1994*
34. Jackson, P. – *Instruments Wild measures optiques, Wild Heerbrugg, 1994*
35. Kennedy, J.B., Neville, A.M. – *Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists, New York, 1976*
36. Klinger, I. – *Triangulație geodezică, Institutul de Construcții București, 1958*
37. Koch, K.R., - *Distributions of probabilities for statistical reviews of adjustment results, Bonn, 1975*
38. Leick, A. – *GPS Satellite Surveying, John WILEY & Sons Inc. USA, 1990*
39. Leoveanu, G. – *Metode topogeodezice de calcul pentru urmărirea stabilității construcțiilor, Rd GOT, 3, 1967*
40. Moldoveanu, C. – *Geodezie, Editura Matrix Rom, București, 2002*
41. Montgomery, H. – *GPS – the next generation, GPS World, 2, 1991*
42. Mușat, C. – *Tehnici și măsurători electronice pentru urmărirea și interpretarea deformațiilor construcțiilor, Referat doctorat, 2002*
43. Mușat, C. – *Considerații privind tipurile de rețele de microtriangulație particularizate la studiul deplasărilor în construcții, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2003*

44. Mușat, C. – *Sisteme de calcul automat a măsurătorilor deformațiilor construcțiilor, Referat doctorat, 2004*
45. Mușat, C. – *Prelucrarea și interpretarea măsurătorilor deformațiilor unor construcții urmărite în timp, Referat doctorat, 2004*
46. Mușat, C. – *Determinarea deplasărilor și deformațiilor rețelelor geodezice pentru lucrări hidrotehnice, Buletinul Științific al Universității Politehnice din Timișoara, Tomul 49 (63), Fascicola 1, 2005*
47. Mușat, C. – *Aplicarea metodei elementelor finite în cazul măsurării și urmăririi deformațiilor construcțiilor și terenului, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2005*
48. Mușat, C. – *Determinarea ciclică a înclinării construcțiilor înalte prin măsurarea unghiurilor orizontale, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2005*
49. Neamțu, M. – *Determinarea deplasărilor orizontale al construcțiilor prin metode geodezice – Referat doctorat, 1971*
50. Neamțu, M., – *Complemente de topografie inginerească, Institutul de Construcții București, 1973*
51. 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*
52. Neamțu, M. – *Instrumente topografice și geodezice, Editura Tehnică București, 1982*
53. Neamțu, M., Onose, D., Neuner, J. – *Măsurarea topografică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Institutul de Construcții București, 1988*
54. Nistor, Gh. – *Geodezie aplicată la studiul construcțiilor, Editura Gh. Asachi, Iași, 1993*
55. Peltzer, H. – *Criteria for the reliability and geodetic networks, Budapest, 1979*
56. Plăcinteanu, I. – *Teoria erorilor de măsurare, București, 1980*
57. Ruland, R., Leick, A. – *Application of GPS to a High – Precision Engineering Survey Network, Proceedings: Washington D.C., National Geodetic Information Center, 1985*
58. Rumșiski, L.Z. – *Prelucrarea matematică a datelor experimentale, Editura Tehnică București, 1974.*
59. Russu, A. – *Topografie cu elemente de geodezie și fotogrammetrie, Editura Ceres, București, 1968*
60. Seeber, G. – *Satellite Geodesy, Walter de Gruyter & Co. Berlin, 1993*
61. Tiron, M. – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate, Editura Tehnică București, 1972*
62. Tiron, M. – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate, București, 1973*

63. Tiron, M. – *Metode clasice și moderne utilizate în prelucrarea matematică a observațiilor geodezice*, București, 1975
64. Ursea, V. – *Topografie aplicată în construcții*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974
65. Ursea, V., Mihăilă, M. – *Manualul inginerului geodez, volumul III, Secțiunea XII, Geodezie aplicată*, Editura Tehnică București, 1974
66. Willian, I. – *Surveying for Construction, 4th edition, MCGraw-Hill Book Company Europe, England, 1995*
67. Wolf, H. – *Geometrie Connections and Re-Orientation of Three – Dimensional Triangulation Nets*, *Bulletin Geodesique*, 68, 1963
68. \*\*\* - Normativ I.N.C.E.R.C. – *Normativ pentru determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61-64*
69. \*\*\* - STAS 2745 – 69 – *Urmărirea tasării construcțiilor prin metode topografice*
- 70.\*\*\* - *Perfecționarea metodelor de lucru și a tehnologiilor în topografia inginerească*, București, 1979
71. \*\*\* GPS – *A Guide to the Next Utility – Trimble Navigation, 1989*
72. \*\*\* GPS – *Surveyor's Field Guide, Trimble Navigation Ltd. USA, 1991*
73. \*\*\* GPS – *A field Guidebook for Dynamic Surveying, Trimble, 1992*
74. \*\*\* *Măsurători terestre – fundamente, volumul I, Modulul B și C, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002*
75. \*\*\* *Măsurători terestre – fundamente, volumul II, Modulul D și F, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002*
76. \*\*\* *Măsurători terestre – fundamente, volumul III, Modulul G, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002*
77. \*\*\* - *Caiet de sarcini pentru urmărire specială – Refacere și modernizare sala polivalentă municipiul Craiova, 1999*
78. \*\*\* [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)
79. \*\*\* [www.trimble-navigation.com](http://www.trimble-navigation.com)
80. \*\*\* [www.geoline.com](http://www.geoline.com)
81. \*\*\* [www.ave.nikon.co.jp](http://www.ave.nikon.co.jp)