

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII
BUCUREȘTI

RAPORT DE CERCETARE NUMĂRUL 2

METODE MODERNE DE MONITORIZARE
A CONSTRUCȚIILOR ȘI UTILAJELOR CU
CARACTER SPECIAL

Student doctorand,

Ing. Mircea-Emil NAP

Profesor Coordonator,

Prof. Univ. Dr. Ing. Petre Iuliu DRAGOMIR

BUCUREȘTI

2021

CUPRINS

1.INTRODUCERE	4
1.1.Cadrul legislativ	5
1.2.Noțiuni de bază	6
2.METODE CLASICE DE URMĂRIRE ÎN TIMP A CONSTRUCȚIILOR ȘI UTILAJELOR ..	10
2.1.Metode geodezice de măsurare pentru determinarea deplasărilor orizontale	10
2.1.1.Metoda trigonometrică	10
a)Microtriangulația	10
b)Mircotrilaterăția	10
2.1.2.Metoda aliniamentelor	12
a)Procedeul vizării în lungul aliniamentului	12
b)Procedeul unghiurilor paralactice	13
c) Erori în cadrul procedeeleor de aliniament optic	14
d)Verificarea aliniamentului la o piesă	17
e)Metoda colimației	18
2.1.3.Metoda poligonometrică	21
2.2.Metode geodezice de măsurare utilizate la determinarea deplasărilor verticale	22
2.2.1.Metoda nivelmentului geometric	22
a)Modul general	22
b)Nivelmentul geometric în industrie	23
2.2.2.Metoda nivelmentului trigonometric	23
2.2.3.Metoda nivelmentului hidrostatic	24
a)Modul general	24
b)Utilizarea în domeniul industrial	25
3.METODE MODERNE DE MONITORIZARE A CONSTRUCȚIILOR ȘI UTILAJELOR	29
3.1.Metode fotogrammetrice.....	29
3.1.1.DJI Phantom 4 RTK	29
3.1.2.Monitorizarea haldelor de steril [12]	31
3.1.3 Albiile de scufundare	31
3.2.Determinări GNSS.....	31
3.2.1.Utilizarea GNSS pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor orizontale	32
3.2.2.Utilizarea GNSS pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor verticale	32
3.2.3.Utilizarea tehnologiei GNSS la determinarea deplasărilor spațiale.....	33
3.3.Metoda Reflectorless	33
3.3.1.Principiul metodei	34
3.3.2.Condiții de utilizare	36
3.4.Interferometria Radar	36

3.4.1. IDS GeoRadar IBIS-FS	36
3.5. Aliniamente laser de precizie.....	39
3.6. Metoda autocolimației.....	40
3.6.1. Luneta autocolimatoare	40
3.6.2. Ocular autocolimator	41
3.6.3. Verificarea rectiliniarității	42
3.7. Măsurători cu fire de invar	43
3.7.1. Distometrul ISETH	43
3.7.2. Distinvar.....	44
3.8. Senzori din fibră optică.....	44
3.8.1. Extensometrul optic	45
3.8.2. Senzor cu răspuns DA sau NU	45
3.8.3. Surveillance d’Ouvrage par Fiber Optique (SOFO)	45
3.9. Clinometre și nivele electronice.....	46
3.9.1. Clinometre	46
3.9.2. Nivele electronice	48
3.10. Senzori de înclinare	48
3.11. Măsurarea crăpăturilor	49
4. CONCLUZII.....	51
BIBLIOGRAFIE	53

1. INTRODUCERE

Raportul de cercetare va aborda aspecte legate de monitorizarea-urmărirea în timp a construcțiilor și a utilajelor, atât cu ajutorul metodelor și aparaturii clasice, sau moderne, geodezice, dar și prin intermediul senzorilor negeodezici, a așa numitei aparaturi de măsură și control, termenul de utilaj urmând a fi utilizat cu sensul de ansamblu de sisteme tehnice sau instalații.

Tratarea implementării metodelor de măsurare în vederea executării lucrărilor de monitorizare a comportamentului structurilor în timp se încadrează în activitățile actuale din domeniu, atât pe teritoriul țării noastre, dar și internațional, la nivel industrial, urban (construcții), cât și la nivel de terenuri cu destinații speciale, problema fiind de o importanță semnificativă.[2]

Definiție: Urmărirea comportării în timp a construcțiilor este o activitate ce constă în măsurarea, înregistrarea, prelucrarea și interpretarea sistematică a valorilor parametrilor ce definesc măsura în care construcțiile își mențin cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate. Totodată, urmărirea în timp a comportării construcțiilor se referă la schimbările de poziție și de formă ale ansamblului sau ale unor elemente ale sale, precum și la sesizarea apariției unor fenomene de evoluție care vor putea afecta siguranța construcției, astfel existând posibilitatea de a fi luate măsuri timpurii în vederea prevenirii accidentelor și catastrofelor. [2], [6], [10], [11], [12], [15]

Schimbările menționate anterior sunt întâlnite în literatura de specialitate cu denumirile de *deplasare* și *deformație*, unde *deplasarea* definește modificarea poziției în spațiu a unui punct situat pe o structură (construcție) sau suprafață de teren supusă solicitărilor, iar *deformația* reprezintă modificarea formei unui obiectiv prin mărirea sau micșorarea distanței dintre punctele specifice ale acelui obiectiv. [13], [15]

Măsurătorile executate în vederea determinării deformațiilor se deosebesc de majoritatea celorlalte tipuri de măsurători geodezice prin necesitatea atingerii unor precizii mai ridicate, prin obligativitatea de a efectua măsurători de tip repetitiv (în mai multe stagii, la diferite perioade) și prin modul unic de integrare a diferitor sisteme de observație pentru rezultate cu date cât mai cuprinzătoare. [2], [10], [12]

Construcțiile au posibilitatea de a fi clasificate în trei grupe de precizie, luând în calcul mărimea deplasărilor/unitatea de timp și necesitățile reale de precizie care ajută la definirea valorilor deplasărilor și clasa de importanță a construcțiilor conform STAS 4273-83. [12]

Pașii de urmat pentru executarea monitorizării structurilor sunt, efectuarea rețelei geodezice de urmărire, măsurarea efectivă pentru deducerea deplasărilor, prelucrarea măsurătorilor, analiza și prezentarea datelor. [12]

Pentru ca rezultatele să fie cele scontate, și anume, ca mărimile măsurate, să evidențieze deplasările și deformațiile și totodată dispozițiile evolutive, va fi nevoie de un plan, elaborat anterior începerii lucrărilor de urmărire în timp. Acest plan va cuprinde în principiu date despre intervalele de

timp la care se vor efectua măsurătorile, precizia necesară în funcție de obiectivul urmărit, punctele rețelei geodezice de urmărire (categorie, număr, poziționare), metodele de măsurare și instrumentele ce se impun a fi utilizate pentru atingerea preciziei stabilite și în final, mențiuni despre tipurile de metode de procesare a informațiilor, analizare și expunere. [10], [11], [12], [13]

1.1.Cadrul legislativ

Pe plan național, importanța urmăririi comportării în timp a construcțiilor și terenurilor este pusă în evidență prin legi, hotărâri guvernamentale, normative și stasuri dintre care se notează:

- Stas 10493-76 din 1 Ianuarie 1976 – „Marcarea și semnalizarea punctelor pentru supravegherea tasării și deplasării construcțiilor și terenurilor”; [29]
- Legea nr. 8 din Iulie 1977 - „Asigurarea durabilității, siguranței în exploatare, funcționalității și calității construcțiilor” care a fost concepută după cutremurul din luna Martie a aceluiași an și a avut în vedere reglementarea durabilității, a siguranței în exploatare, a funcționalității construcțiilor, stabilind astfel obligativitatea urmăririi în timp a construcțiilor, cadrul de desfășurare al acestor lucrări fiind detaliat de normele metodologice de aplicare a legii și de normele legate de cuprinsul și modul de întocmire, completare și păstrare a detaliilor tehnice ale construcțiilor. Organizarea lucrărilor este astfel structurată ca „*urmărire curentă* a tuturor construcțiilor din țară, prin grija beneficiarilor acestora, cu mijloace de observare sau măsurare de uz curent pe toată durata lor de existență” și „*urmărire specială* a unor construcții selectate pe anumite criterii, în execuția unor specialiști, cu mijloace tehnice sofisticate, pe durate de timp determinate de atingerea obiectivelor”; [30]
- Stas 2745-90 din 1 Martie 1990 - „Urmărirea tasărilor construcțiilor prin metode topografice” , care a înlocuit Stasul 2745-69; [31]
- Ordonanța Guvernamentală nr. 25 din 24 August 1992 care a precizat că urmărirea comportării în timp a construcțiilor este obligatorie pentru toate construcțiile, în special pentru cele amplasate pe terenuri slabe și instabile sau pe terenuri îmbunătățite artificial; [32]
- Legea nr. 10/1995 consolidată în 2007 privind calitatea în construcții a înlocuit Legea nr. 8 din 1977, care are stipulat că : „Art. 18. - Urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor se face pe toată durata de existență a acestora și cuprinde ansamblul de activități privind examinarea directă sau investigarea cu mijloace de observare și măsurare specifice, în scopul menținerii cerințelor.”; [33]
- Hotărârea de Guvern nr. 766 din 21 Noiembrie 1997 publicată în Monitorul oficial nr. 352 din 10 Decembrie 1997 – Regulament privind urmărirea comportării în exploatare, intervențiile și post-utilizarea construcțiilor, care la Art. 5 spune : „Urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor se face prin : urmărirea curentă, urmărirea specială. Modalitățile

de efectuare a urmăririi curente sau a urmăririi speciale – perioade, metode, caracteristici și parametri urmăriți – se stabilesc de către proiectant sau expert, în funcție de categoria de importanță a construcțiilor și de alte caracteristici ale acestora și se includ în cartea tehnică a construcțiilor, care va cuprinde de asemenea și rezultate consemnate ale acestor activități.”; [34]

- Stas 016-97 a înlocuit Stas 2745-90 și fixează metodologia de determinare a deformațiilor terenurilor de fundare unor construcții, în timpul execuției și exploatării acestora prin metode topogeodezice. Cele 6 capitole ale stasului sunt: Generalități, Domeniul de aplicare, Repere de referință și mărci de tasare, Efectuarea măsurătorilor, Înregistrarea, prelucrarea și interpretarea observațiilor, Dosarul deplasărilor construcțiilor; [35]
- Normativul P 130-1999 privind activitatea de urmărire a comportării în timp a construcțiilor, normativ ce răspunde prevederilor Legii nr. 10/1995 și care este structurat astfel: Prevederi generale, Terminologie, Urmărirea curentă a comportării construcțiilor, Urmărirea specială a comportării construcțiilor, Obligații și răspunderi privind urmărirea comportării construcțiilor, Prevedere finală, Anexa 1-Reglementări tehnice românești în vigoare privind urmărirea comportării construcțiilor, Anexa 2-Criterii orientative pentru aprecierea stării construcțiilor, Anexa 3-Lista orientativă de fenomene care trebuie avute în vedere în cursul urmăririi curente; [36]
- Legea nr. 123 din 5 Mai 2007 pentru modificarea Legii nr. 10/1995 privind calitatea în construcții; [37]
- Hotărârea de Guvern nr. 1231 din 2008 care înlocuiește Hotărârea de Guvern 766/1997 pentru aprobarea unor regulamente privind calitatea în construcții. [38]

1.2.Noțiuni de bază

Deplasările și/sau deformațiile pe care o construcție le poate dezvolta pot fi liniare, unghiulare sau specifice, termenul de construcție fiind utilizat atât cu sensul sugestiv al cuvântului și anume, pentru clădiri, poduri, etc. cât și pentru echipamente sau utilaje. [2], [12]

Grupele deformațiilor și deplasărilor *liniare* sunt:

- Tasările – sunt cauzate de infiltrații, sau de greșeli de proiectare, sau de încărcări ale construcțiilor și reprezintă deplasarea de sus în jos pe verticală a unei fundații și a terenului de fundare; [12]
- Săgețile – sunt reprezentate de încovoieri ale unor componente (stâlpi, grinzi, plăci) apărute din pricina unor solicitări pe verticală sau orizontală;
- Bombările – fenomenul opus tasărilor, reprezentat de deplasări pe verticală de jos în sus a fundațiilor și terenurilor de fundare; [12], [15]

- Crăpăturile/fisurile – se formează datorită unor deplasări sau deformații neuniforme și sunt rupturi în plan;
- Înclinările liniare – nu sunt dăunătoare structurii, și sunt produse de solicitări cu distribuție neuniformă;
- Deplasări pe orizontală – fenomenele care duc la apariția acestora sunt alunecările de teren și mai pot fi influențate de asemenea și de apele subterane sau supraterane, fiind caracterizate de schimbarea poziției pe direcție orizontală a construcției sau doar ale unor ansambluri ale acesteia; [2], [12], [15]

Deplasările și deformațiile *unghiulare* sunt cauzate de solicitări, infiltrații sau alunecări de teren și se definesc ca rotații pe verticală, numite înclinări unghiulare și pe orizontală cunoscute ca răsuciri. [2], [6]

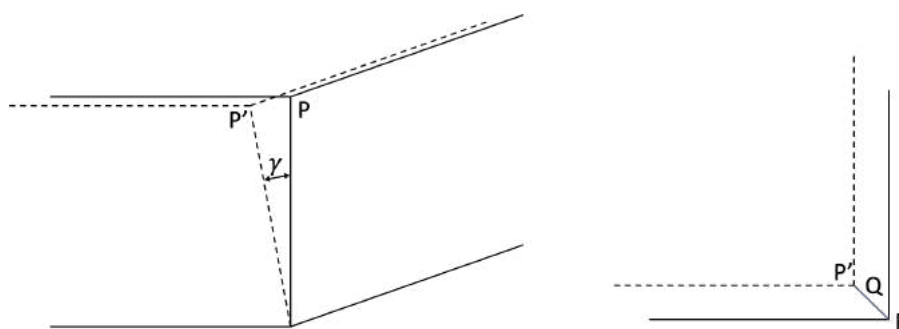


Figura 1.1 (stânga) Înclinare unghiulară , (dreapta) Înclinare liniară

Deformațiile specifice sunt efectul unor forțe externe (tensionări sau comprimări) și se definesc ca alungiri sau scurtări ale unor elemente ale construcțiilor.

Alte moduri de a clasifica deformațiile și/sau deplasările sunt după durata apariției fenomenului, aici clasele fiind:

- Oscilațiile – timpul pe parcursul căruia se desfășoară este extrem de redus, cuprins între 1-10 secunde la construcții și 0,01-1 secundă pentru diferite utilaje.
- Mișcările de scurtă durată – se încadrează în intervalul 10 secunde – 10 zile
- Mișcările de lungă durată – 10 zile – 10 ani (mișcările scoarței terestre pot prelungi această perioadă până la 100 ani) [12]

De asemenea, deplasările și deformațiile pot fi aflate cu ajutorul a două tipuri de măsurători, și anume, măsurători relative, sau absolute. Atunci când se determină deplasări între puncte specifice ale structurilor, cu instrumente montate pe structura în sine, care se deplasează odată cu construcția, dar fără să se utilizeze referințe exterioare, numim măsurătorile, relative; în schimb dacă mișcările punctelor definitorii ale construcției sunt determinate cu ajutorul instrumentelor staționate în exteriorul construcției, care se raportează la rețele ale căror puncte nu sunt poziționate în zone de influență a diferitor intemperii la care sunt supuse atât construcția dar și terenul, măsurătorile se descriu ca absolute. [2], [10], [12]

Pentru a putea atinge țelul de bază al monitorizării construcțiilor și utilajelor, este nevoie ca aceste lucrări să fie executate în cadrul unor rețele geodezice cu caracter particular corespunzător nevoilor acestei activități (urmărire). Acest tip de rețea va trebui să respecte câteva principii fundamentale, cum ar fi faptul că forma rețelei va fi definită de poziția punctelor care o alcătuiesc, sau că poziționarea punctelor se va executa în cadrul fiecărei epoci de măsurare după o compensare riguroasă în bloc. [12], [15]

Componentele principale ale unei rețele geodezice de urmărire sunt:

- mărcile de urmărire, care au ca scop redarea fidelă a valorilor și direcțiilor de deplasare a structurilor pe care sunt montate;
- stațiile de observație, materializate cu ajutorul unor pilaștri cu fundații adânci confecționați din beton armat și echipați cu elemente de centrare, aceste stații având rolul a facilita instalarea precisă a instrumentelor pentru observații fiind confecționate în exteriorul zonei de influență a factorilor ce supun construcția la solicitări; [12]
- punctele de control, care se regăsesc la 200-300 m depărtare față de construcție, fără să fie influențate de aceasta și ajută la stabilirea unor potențiale deplasări ale stațiilor de observație;
- punctele de orientare, care asigură o precizie ridicată de orientare atât din punctele de control cât și din stațiile de observație, fiind și ele fixate în afara zonei de influență. [6], [12], [15]

După modul de determinare al poziției punctelor, rețelele de urmărire se împart în:

- Rețele planimetrice, unde punctele se vor determina doar în plan orizontal într-un sistem de coordonate cu două dimensiuni (x, y); [12], [15]
- Rețele altimetrice, unde se utilizează o poziționare a punctelor cu ajutorul unei singure coordonate (z), însă deși cu o precizie mai mică, pentru punctele acestui tip de rețea se va defini și poziția planimetrică; [12], [15]
- Rețele tridimensionale, la care se utilizează sisteme de coordonate rectangulare (x, y, z);

O altă clasificare a rețelelor de urmărire s-a efectuat în funcție de natura observațiilor executate în interiorul lor, astfel există *rețele de triangulație*, pentru măsurători de unghiuri, *rețele de trilateratie*, pentru lucrări de măsurare a distanțelor și *rețele combinate*. [11], [15]

Rețelele de monitorizare sunt formate din mai multe tipuri de puncte, astfel se formează 3 tipuri de rețele denumite:

- Rețele complete, care au în componență toate punctele enumerate anterior, iar între punctele de control și stațiile de observație sunt asigurate vize reciproce, în timp ce către mărcile de urmărire nestaționabile de pe obiectiv se pot efectua vizări de pe stațiile de observație (pentru monitorizarea structurilor din ordinul I de precizie); [11], [12]

- Rețele incomplete, în cadrul cărora punctele montate pe obiectiv sunt staționabile, dar nu se pot efectua vizări reciproce între punctele de control și stațiile de observație (cuprind de asemenea toate tipurile de puncte);
- Rețele superficiale, utilizate pentru monitorizarea unor terenuri supuse alunecărilor de teren sau a unor construcții care oferă un acces ușor (stațiile de observație înlocuiesc mărcile de urmărire de obicei, iar în plus mai au în componență puncte de control și de observație); [12]

După stabilirea problemelor de monitorizat, se vor forma rețele cu laturi de lungime medie de până la 10 km, sau rețele locale de urmărire, cu laturi de 50 m – 1,5 km.

Cunoștințele asupra unei stări inițiale sunt imperative când se discută despre determinarea deplasărilor și deformațiilor, iar aceste valori sunt aflate printr-o primă serie de lucrări, definite ca *epoca de măsurare inițială (măsurătoare de bază)*, care necesită a fi structurată în așa fel încât măsurătorile să poată fi repetate, la perioade stabilite de timp, acest lucru presupunând menținerea punctelor caracteristice. Așadar, la intervalele stabilite, se vor efectua noi epoci de măsurare, pentru a fi puse în balanță cu măsurătoarea de bază și/sau între ele, aceste momente trebuind să fie alese cu o atenție sporită pentru a înregistra cât mai exact orice diferență. [2], [12], [15]

2.METODE CLASICE DE URMĂRIRE ÎN TIMP A CONSTRUCȚIILOR ȘI UTILAJELOR

2.1.Metode geodezice de măsurare pentru determinarea deplasărilor orizontale

Metodele principale utilizate la monitorizarea deplasărilor în plan orizontal sunt *metoda trigonometrică, metoda aliniamentelor și metoda poligonometrică*.

2.1.1.Metoda trigonometrică

a)Microtriangulația

Așa cum s-a menționat anterior, deoarece există mai multe feluri de elemente măsurate, rețelele geodezice planimetrice se împart în 3 categorii după cum urmează:

- Rețele de triangulație (numai pentru măsurarea direcțiilor unghiulare planimetrice);
- Rețele de trilateratie (numai pentru definirea distanțelor);
- Rețele de triangulație-trilateratie (măsurători combinate de distanțe și unghiuri orizontale)[12]

Metoda este recomandată pentru rețele cu întindere mică, din pricina inconvenientelor create de condițiile atmosferice, iar punctele rețelei trebuie reprezentate conform unui plan de proiecție, ceea ce înseamnă că și observațiile necesită reducerea la acel sistem. Precedent apariției instrumentelor de tip electro-optic pentru măsurarea distanțelor, pe această tehnică se baza realizarea rețelelor geodezice de monitorizare locale. [5], [9]

Este aplicabilă la determinarea mărimii deplasărilor și/sau deformațiilor planimetrice ale mărcilor de urmărire montate riguros pe obiectiv, în raport cu un sistem de referință. [12], [15]

Cea mai importantă etapă din cadrul unei lucrări de monitorizare executate cu ajutorul acestei tehnici, pe lângă proiectarea și determinarea rețelei geodezice de urmărire și efectuarea măsurărilor în fiecare epocă de măsurare, constă în *compensarea*, sau prelucrarea riguroasă a observațiilor efectuate. [4], [5], [10], [12]

b)Microtrilaterația

Metodă care este recomandată pentru rețele geodezice de urmărire de întindere medie, fiind utilizată mai des după apariția instrumentelor de măsurare a distanțelor prin unde electromagnetice. De asemenea înainte de compensare, distanțele trebuie să fie reduse fizic, geometric, la planul de proiecție, pentru aceasta fiind de nevoie de aflarea temperaturii și presiunii, atât din punctul vizat, cât și din punctul de stație și cotele punctelor împreună cu altitudinea elipsoidală. [12], [15]

Distanțele reduse fizic și la cotele bornelor, pot fi introduse direct în compensare, la rețelele geodezice de urmărire locale, fără să mai trebuiască reduse la suprafața elipsoidului și la planul de proiecție. [15]

La fel ca în cazul microtriangulației vom avea un model funcțional-stohastic, cu ecuații de corecție asemănătoare:

- Ecuație de corecție pentru o distanță măsurată între două puncte noi i și j :

$$v_{ij}^D = A_{ij}dx_j + B_{ij}dy_j - A_{ij}dx_i - B_{ij}dy_i + l_{ij}^D$$

- Ecuație de corecție pentru o distanță măsurată între un punct vechi i și un punct nou j :

$$v_{ij}^D = A_{ij}dx_j + B_{ij}dy_j + l_{ij}^D$$

- Ecuație de corecție pentru o distanță măsurată între un punct nou i și un punct vechi j :

$$v_{ij}^D = -A_{ij}dx_i - B_{ij}dy_i + l_{ij}^D$$

A_{ij}, B_{ij} – coeficienți de distanțe (calculați din coordonatele provizorii)

$$A_{ij} = \frac{\Delta x_{ij}^0}{D_{ij}^0} = \cos\theta_{ij}^0$$

$$B_{ij} = \frac{\Delta y_{ij}^0}{D_{ij}^0} = \sin\theta_{ij}^0$$

$$l_{ij}^D = D_{ij}^0 - D_{ij}^*$$

l_{ij}^D – termenul liber, D_{ij}^0 – distanța calculată din coordonate, D_{ij}^* - distanța măsurată

La fel ca în cazul microtriangulației, fiecărei ecuații de corecție i se poate adăuga o pondere:

$$P_{ij}^D = \frac{1}{(S'_{ij}^D)^2};$$

S'_{ij}^D – abaterea standard

$$S'_{ij}^D = a + b \cdot D_{ij} [km]$$

Noțiunile referitoare la precizie se vor aplica și pentru Microtrilaterație, și pentru Microtriangulație, astfel:

- Abaterea standard a unității de pondere:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{m - n}}$$

m – numărul de distanțe/direcții azimutale măsurate

n – numărul de necunoscute noi

- Abaterea standard a unei măsurători individuale:

$$\sigma_i = \pm \frac{\sigma_0}{\sqrt{P_i}}$$

- Abaterea standard a necunoscutelor:

$$\sigma_{xi} = \pm \sigma_0 \sqrt{N_{ii}^{-1}}$$

- Abaterea standard totală a unui punct:

$$\sigma_t = \pm \sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{yi}^2}$$

- Abaterea standard medie a rețelei:

$$\sigma_{rețea} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^2 \sigma_{ti}^2}$$

[4], [5], [9], [15]

2.1.2. Metoda aliniamentelor

Această tehnică are în vedere poziționarea la nivel planimetric a unui aliniament de mărci de urmărire, montate pe o construcție cu o configurație liniară, aceste tipuri de structuri permițând montarea punctelor pe același aliniament. Pentru aceasta, va fi nevoie ca pe lângă punctele fixate pe obiectiv, să existe și puncte de capăt fixate în afara zonei de influență a construcției, principul acestei tehnici constând în determinarea schimbărilor de poziție ale unor puncte în raport cu un plan vertical.[10], [12]

Având în vedere caracterul simplu al acestei metode, acest fapt permite utilizarea ei pentru proiecte care necesită repetări ale măsurărilor la intervale mici de timp. [12]

În cazul în care condițiile nu permit montarea punctelor de bază pe terenuri stabile, ele vor putea fi amplasate și pe terenuri cu o stabilitate precară, sau chiar pe construcție, acest lucru însă obligând la combinarea metodei atât cu microtriangulația, dar și cu microtrilaterația, abaterea fiecărui punct fiind determinată în funcție de deplasarea punctelor de bază ale aliniamentului. [10], [12]

Fie că determinarea deplasărilor planimetrice se efectuează prin observarea unui singur aliniament pe întreaga lungime, sau prin observarea pe secțiuni ale aceluiași aliniament sau prin observarea unor aliniamente multiple, sau fie că modificările de poziție determinate vor fi relative sau absolute, există mai multe procedee sau tehnici care se utilizează în domenii de distanțe diferite, de la centimetri la sute de metri, cu precizii cuprinse între un milimetru și câțiva micrometri. [10], [12], [13]

a)Procedeul vizării în lungul aliniamentului

Instrumentația de bază utilizată în cadrul acestui procedeu constă în lunete de aliniament cu mărimi de până la 60x și o sensibilitate de 10" dotate cu nivele de calare demontabile și care se deplasează doar pe verticală, nefiind dotate cu vreun cerc grad (orizontal/vertical), iar ca elemente anexe se vor utiliza mărci de vizare mobile, cu disc fix, dotate cu șuruburi micrometrice pentru mișcarea fină, 100mm fiind deplasarea maximă pe care o pot atinge. [6], [12]

De asemenea există și posibilitatea utilizării unor lunete de aliniament dotate cu micrometre, astfel fiind posibilă mișcarea în ambele direcții (orizontală și verticală).



Figura 2.1 Lunetă de aliniament cu micrometre

Se va efectua un aliniament pe axul central longitudinal al structurilor, sau paralel cu acesta, care va fi materializat cu câte doi pilaștri din beton la fiecare capăt, în exteriorul zonei de influență, dotați cu dispozitive de centrare forțată, iar țintele mobile vor fi așezate în punctele urmărite, operatorul urmând să regleze “0” de pe rigla gradată, în aliniament, cu ajutorul șurubului micrometric. Se va înregistra deplasarea de minim 3 ori, pentru fiecare punct din aliniament, valorile citirilor trebuind să se încadreze într-o toleranță de 0,3 mm. Se vor executa cel puțin câte 3 serii de determinări în cadrul fiecărei epoci de măsurare, observațiile fiind făcute din ambele capete, media valorilor fiind calculată pentru fiecare epocă. Deplasarea orizontală δ corespunzătoare fiecărei mărci de urmărire se calculează cu relația: $\delta = a_{total}^j - a_{total}^0$, unde a_{total} reprezintă media tuturor observațiilor efectuate în epoca de măsurare curentă. [12]

O analiză a stabilității pilaștrilor va fi efectuată în cadrul fiecărui ciclu de măsurători prin raportarea lor la o rețea geodezică de urmărire, astfel că dacă se confirmă existența unor modificări ale pozițiilor punctelor de sprijin, măsurătorile ulterioare vor fi reduse și centrate în consecință.

Prin acest procedeu al metodei aliniamentului se pot determina doar deplasări transversale.

b)Procedeu unghiurilor paralactice

Este util pentru determinarea deplasărilor transversale ale punctelor de monitorizare aferente aliniamentului și presupune utilizarea unor instrumente de precizie ridicată pentru măsurarea unghiurilor paralactice dintre direcțiile ce pornesc din capetele aliniamentului spre mărcile montate pe obiectiv și aliniamentul principal. [6], [12], [13]

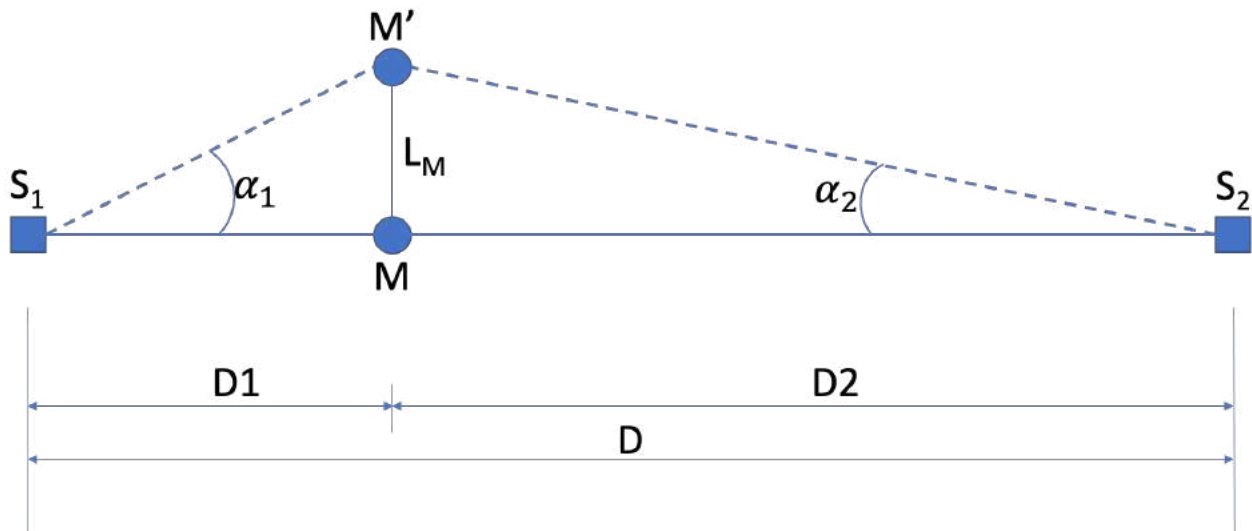


Figura 2.2 Procedul unghiurilor paralactice

Valorile abaterii mărcii de monitorizare M din epoca inițială se vor calcula în funcție de relațiile următoare, după ce au fost determinate din ambele puncte de capăt:

$$l'_M = \frac{\alpha_1}{\rho^{cc}} D_1$$

$$l''_M = \frac{\alpha_2}{\rho^{cc}} D_2$$

α_1, α_2 – unghiurile paralactice

D_1, D_2 – distanțele de la punctul de control la capăt [12], [15]

Pentru epoca inițială de măsurare, valoarea definitivă a abaterii punctului va fi calculată utilizând media aritmetică:

$$L_M^0 = \frac{l'_M + l''_M}{2}$$

Mărimea abaterii mărcii de urmărire aferentă epocii curente de măsurare L'_M se va calcula analog.

Deplasarea planimetrică a mărcii de urmărire se calculează conform diferenței:

$$\Delta L_M = L'_M - L_M^0$$

[10]

c) Erori în cadrul procedeelor de aliniament optic

1) Linia de bază prea scurtă:

La distanța de 2 m față de luneta de aliniament se vizează o țintă cu o toleranță de 0,005 mm, de unde rezultă o eroare maximă introdusă de 0,005 mm. Următoarea măsurătoare va avea loc la distanța de 10 m de exemplu, utilizând această bază, atunci eroarea introdusă va crește de 5 ori în raport cu toleranța țintei de vizare, ajungând la 0,025 mm. [3], [11]

Utilizarea corectă a acestei tehnici este astfel stabilită ca fiind în sens invers și anume, plasarea unei ținte de vizare la distanța cea mai mare față de lunetă, în acest caz 10 m, eroarea introdusă fiind

egală cu toleranța țintei de vizare (0,005 mm) și abia apoi determinându-se modificări ale poziției unor puncte mai apropiate, în exemplul dat, la o distanță de 2 m, în acest caz eroarea introdusă scăzând proporțional până la 0,001 mm. [3], [11], [12]

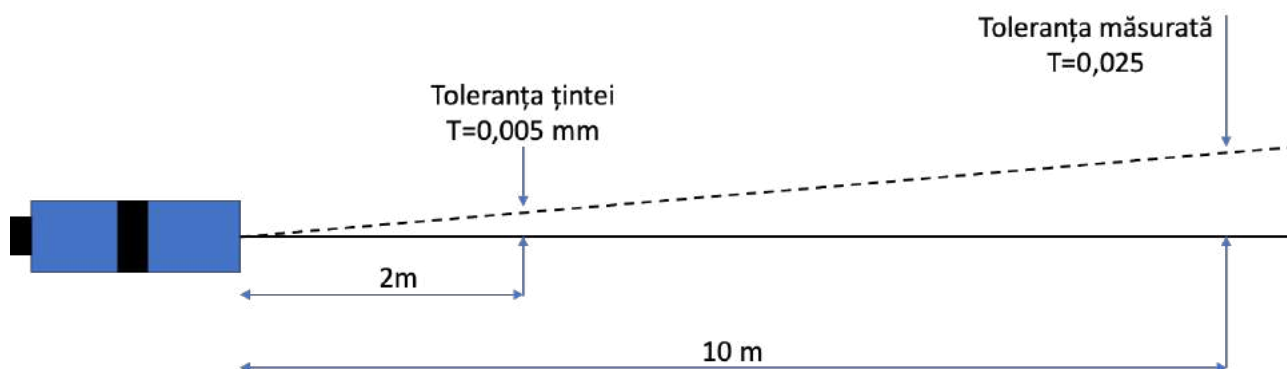


Figura 2.3 Linia de vizare stabilită pe o țintă la 2 m de lunetă și determinare la 10 m

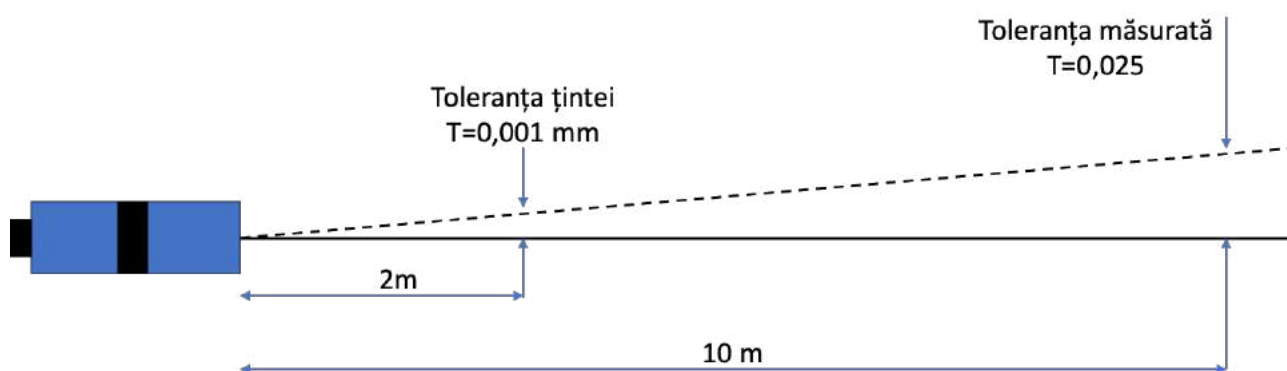


Figura 2.4 Linia de vizare stabilită pe o țintă la 9 m de lunetă și determinare la 2 m

2) Refracția atmosferică și curbura pământului:

Momentul în care efectul produs de curbura pământului se consideră de luat în calcul este atunci când la distanțe lungi, se compară o suprafață orizontală stabilită cu o nivelă și o linie de vizare verificată cu o lunetă, astfel că, dacă suprafața va fi stabilită cu un instrument cu gravitate controlată, aceasta va fi curbată, iar dacă suprafața respectivă va fi verificată cu o lunetă, din prelucrarea măsurărilor asupra țintelor va rezulta că suprafața nu este orizontală, existând însă și problema refracției atmosferice, ca face ca linia de vizare a lunetei să devieze de la linia corectă. [3]

La diferite înălțimi apar schimbări ale densității din pricina modificărilor de temperatură a straturilor de aer. Dacă aceste modificări sunt graduale, iar în final constante, o țintă care pare a fi în punctul *A*, va fi așezată defapt în punctul *B* pentru că linia de vizare prin atmosferă va fi o curbă lină.

Conform acestor date, o suprafață de nivel va devia de la adevărata tangentă la suprafața terestră, într-un mod constant și calculabil, iar o linie de vizare stabilită cu o lunetă, fiind expusă unor variații cauzate de refracția atmosferică va suferi o deviație pentru care se pot obține doar valori medii.[3]

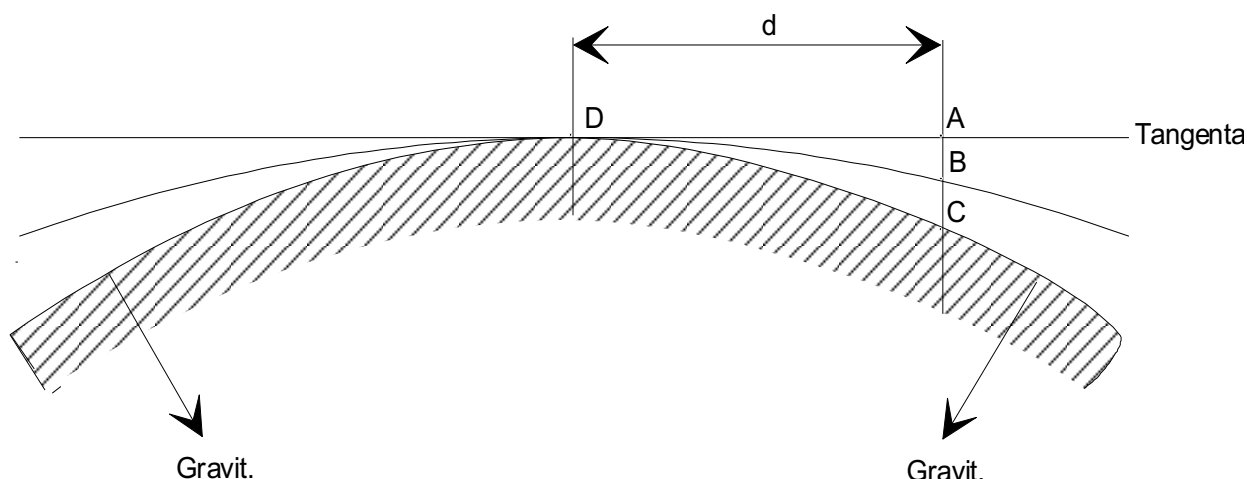


Figura 2.5 Efectul refracției atmosferice și al curburii pământului [3]

Unde DA – linia de vizare stabilită de o lunetă în condiții ideale (în vid)

DB – linia de vizare stabilită de o lunetă prin aer (variație constantă de temperatură)

DC – suprafața realizată cu un instrument cu gravitate controlată

DISTANȚA [mm]	A - B [mm]	B - C [mm]	A - C [mm]
2,50	0.000075	0.0049	0.00056
5	0.00030	0.0020	0.0023
10	0.0012	0.0078	0.009
25	0.0074	0.049	0.056
50	0.030	0.20	0.23
75	0.067	0.44	0.51
100	0.12	0.78	0.90

Tabel 2.1 Valori ale deviației la diferite distanțe

Unde A-B – deviația de la tangentă a unei linii de vizare realizate cu luneta (numai valori medii)

B-C – deviația unei linii stabilită cu o nivelă de la linia de vizare determinată cu o lunetă (numai valori medii)

A-C – deviația unei linii de vizare verificată cu o nivelă de la tangentă la suprafața terestră (exactă)

[3]

3) Structuri instabile:

Mici abateri în cadrul unei structuri pot apărea din diferite motive precum instabilitatea fundației, sau din pricina mutărilor unor sarcini în lungul suportului, dar cea mai întâlnită cauză este variația de temperatură dintre plafon și pardoseală, efectul acestuia, deși de multe ori neobservat, cauzează erori semnificative. Așadar la o diferență de temperatură de 5°C între baza și latura de sus a unui calibrator, care în teorie sunt egale, va apărea o alungire cu 0,38 mm a laturii de sus, ceea ce determină o deplasare de 20^{cc} a laturilor laterale. [3]

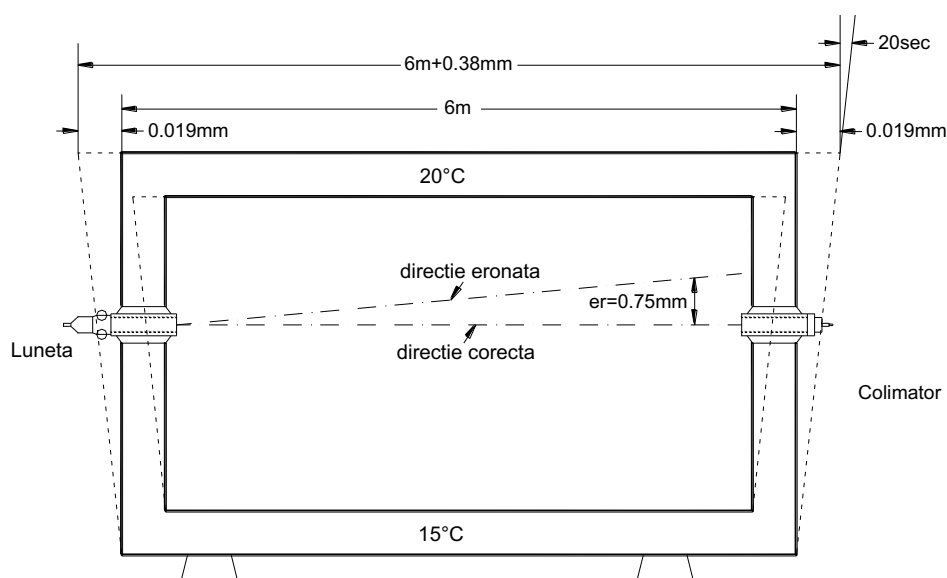


Figura 2.6 Efectul de alungire

Eroarea de vizare în cadrul aliniamentului optic are cea mai mare influență în ceea ce privește precizia de determinare a abaterilor transversal a punctelor intermediare, astfel că în teorie, erorile de centrare sunt reduse la $5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ dacă se utilizează bușe reglate și dispozitive cu centrare sferică.

Lungimea unui aliniament nu poate trece de 50 m deoarece, în condiții favorabile, eroarea de vizare poate fi $\pm 1,5''$, corespunzătoare unei erori transversale de $\pm 0,4\text{ mm}$. [3]

d) Verificarea aliniamentului la o piesă

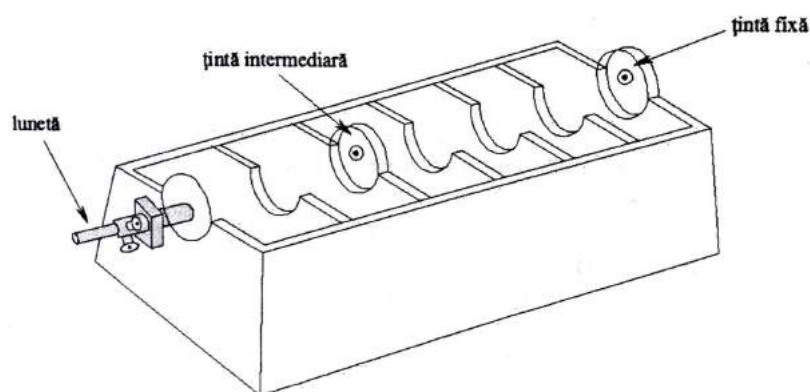


Figura 2.7 Metoda de verificare a aliniamentului unei serii de orificii ale unei piese [3]

Luneta de aliniament se fixează în lagărul A prin intermediul unei flanșe, în așa fel încât axa de vizare să coincidă cu axa orificiilor, în ultimul dintre acestea (G) fiind montată o șaibă cu țintă de vizare inclusă. Odată cu efectuarea vizării țintei A se determină axa teoretică a întregului ansamblu. Toate țintele de vizare intermediare vor fi măsurate în toate lagărele, urmând ca din valorile obținute (unghiuri și distanțe) să se calculeze valorile pentru ajustare. [3]

În cazul în care, de exemplu o piesă este prea scurtă pentru o verificare clasică, luneta de aliniament va fi montată separat de aceasta, urmând ca pe echipament să fie instalate două ținte coliniare cu luneta și de înălțimi egale. Există situații când pentru o ușurare a lucrului și pentru

obținerea unei linii de vizare fără obstacole, se folosesc standuri speciale atât pentru lunetă cât și pentru ținte. [3]

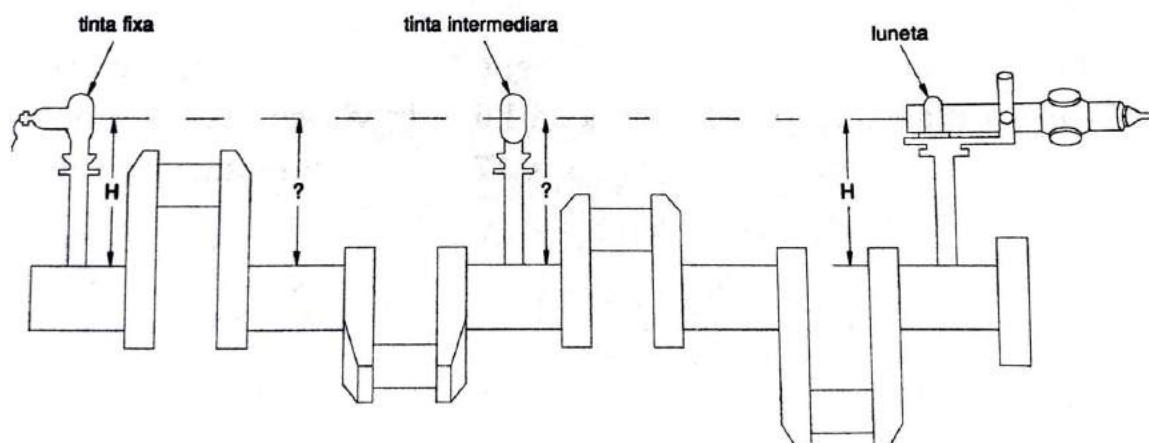


Figura 2.8 Verificarea aliniamentului palierelor unui arbore cotit fără demontarea motorului[3]

În concluzie luneta de aliniament poate fi utilizată atât la lucrări clasice de urmărire a construcțiilor, dar în special se regăsește în alinierea și verificarea ghidajelor mai lungi în construcția de mașini, la măsurători de liniaritate și/sau curbura în construcția de aparatură, la verificarea liniarității ghidajelor în domeniul construcției de ascensoare și la verificarea încărcării sau planimetriei a fundațiilor din industria constructoare de mașini.

e)Metoda colimației

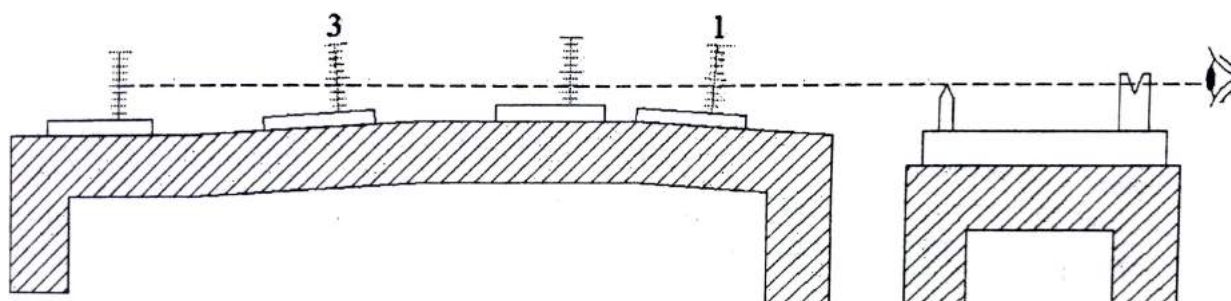


Figura 2.9 Verificarea suprafeței unui echipament [3]

Axa de vizare în exemplul prezentat mai sus (Fig. 2.9) a fost stabilită prin intersecția firelor reticulare și centrul unei mirete din capătul aliniamentului. Se observă că suprafața nu este paralelă cu axa de vizare deși în punctele de 1 și 3 înălțimea măsurată dintre piesă și axă este aceeași. Din acest considerent, pentru stabilirea paralelismului dintre suprafața obiectivului și axa de vizare, va fi nevoie de utilizarea unui procedeu numit colimație, care se bazează pe un principiu simplu, și anume, alinierea a două lunete focusate la infinit la care imaginea reticulului se materializează în spațiul obiect, astfel încât axele lor optice să fie paralele. Sursele de lumină din spatele mărcilor se vor înlocui cu un colimator, care proiectează imaginea reticulului la infinit, acesta fiind așezat așadar, în planul de focalizare al obiectivului. [3]

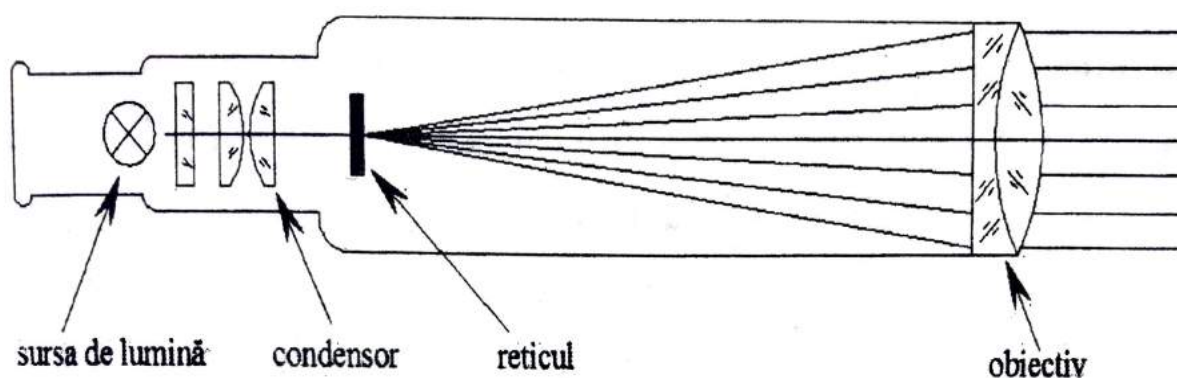


Figura 2.10 Colimator [3]

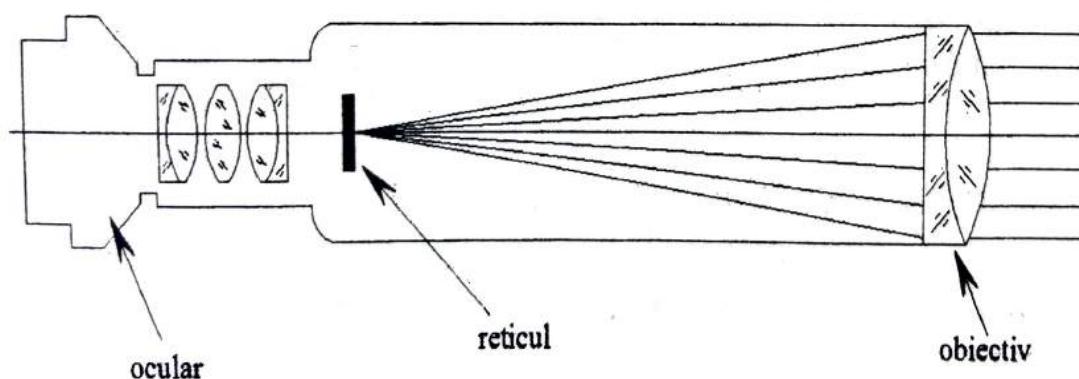


Figura 2.11 Lunetă [3]

Ca principiu optic, la un colimator, prin focarul sistemului trec raze de lumină, care intră în lentile și ies din obiectiv ca fascicul de raze paralele cu axa principală.

Utilizarea combinată a unui colimator, împreună cu o lunetă focusată la infinit este modul în care se măsoară diferențele de direcție dintre lunetă și colimator.

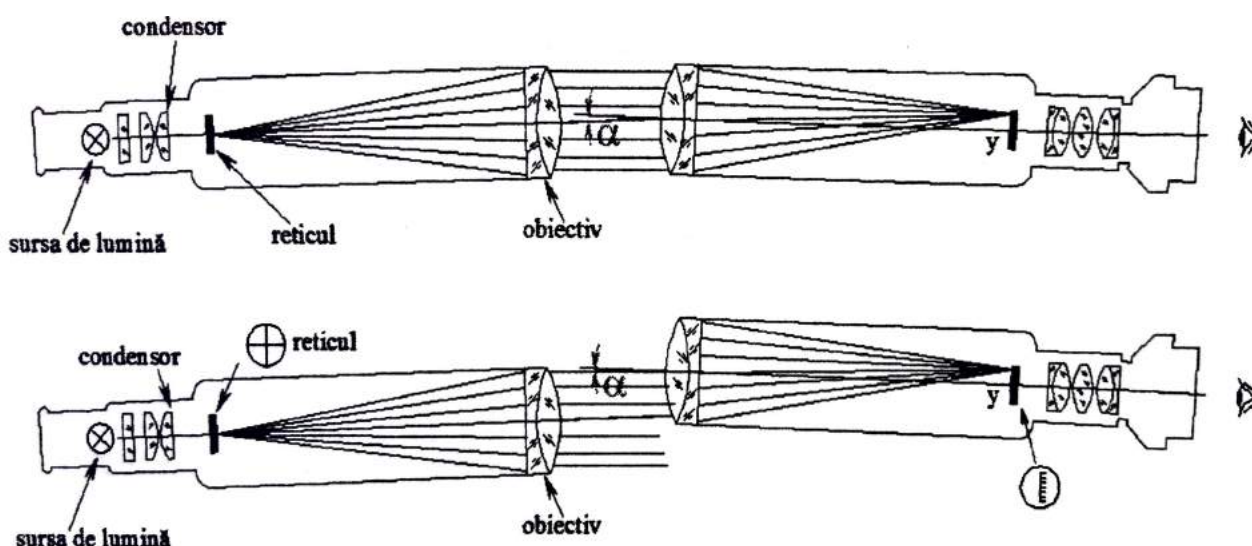


Figura 2.12 Colimator+lunetă [3]

În momentul în care se descoperă un unghi (α) între cele două axe, imaginea trăsăturilor plăcii reticulare a colimatorului, va fi deplasată cu y față de punctul central al reticulului din lunetă.

Dacă în schimb, axele sunt paralele, trăsăturile reticulului colimatorului sunt considerate ca fiind așezate central față de reticulul lunetei, însă aceasta nu face ca și axa colimatorului să fie așezată central în mod concret, urmând ca pentru a stabili acest lucru, luneta să fie focusată pe o țintă, care va fi montată pe obiectivul colimatorului, astfel putându-se detecta abaterea, iar dacă acea deviere este 0 atât pe orizontală cât și pe verticală și dacă pe reticulul colimatorului citirea a fost pe centru, atunci axele celor două instrumente sunt și paralele și centrate. [3]

Deplasarea unghiulară θ care va facilita calculul valorii mărimii liniare q (abaterea axei colimatorului în raport cu direcția axei de vizare fixă a lunetei) se va măsura cu micrometrul ocular 2:

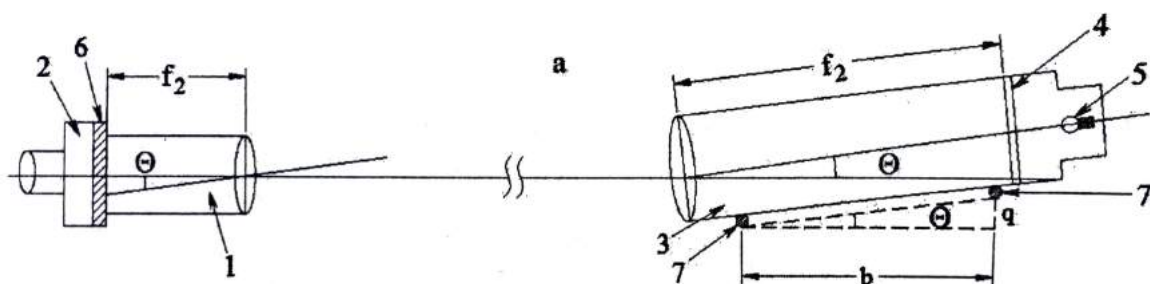


Figura 2.13 Utilizarea lunetei și a colimatorului [3]

Unde 1 – luneta, 2 – micrometrul ocular, 3 – colimator, 4 – reticulul colimator, 5 – sursa de lumină, 6 – reticulul lunetei, 7 – reazemele colimatorului

$$q = b \cdot \frac{\theta''}{\rho''}$$

$$\theta'' = d'' \cdot n$$

$$q = b \cdot \frac{d'' \cdot n}{\rho''} = k \cdot n$$

$$k = \frac{b \cdot d''}{\rho''}$$

Unde b – baza aparatului, d'' – valoarea unei diviziuni a tamburului micrometrului, n – numărul de diviziuni

În ceea ce privește precizia, abaterea standard σq , care ajută la aflarea deplasărilor transversale q , se calculează astfel:

$$\sigma = \left(b \cdot \frac{\sigma_{\theta''}}{\rho''} \right)^2 + \left(\frac{\theta}{\rho} \cdot \sigma_L \right)^1 = \left(b \cdot \frac{\sigma_{\theta''}}{\rho''} \right)^2 + \left(\frac{q}{b} \cdot \sigma_b \right)^1$$

Unde σ_{θ} – abaterea standard de măsurare a unghiului θ , σ_b – abaterea standard de cunoaștere a bazei

Având în vedere că b se cunoaște cu o precizie ridicată și q are valori mici se consideră că:

$$\sigma = b \cdot \frac{\sigma_{\theta}}{\rho}$$

Deși precizia cu care se află q nu depinde de distanță, pentru lungimi mari există erori la determinarea θ , astfel $\sigma_\theta = 0,5'' \dots 0,8''$ pentru $d < 400$ m.

[3]

2.1.3. Metoda poligonometrică

Se utilizează pentru determinarea deplasărilor planimetrice ale unor construcții cu suprafețe mari și forme curbate, fără vizibilitate și totodată când aplicarea metodelor trigonometrice prezentate anterior ar fi imposibilă. Se mai folosește de asemenea cu o eficiență ridicată în cazul alunecărilor de teren, unde nu este necesară o precizie atât de mare, iar deplasările au valori ridicate. [12]

Se va constitui o rețea poligonometrică, după verificarea stabilității punctelor de referință din cadrul rețelei de urmărire, care va avea în componență unele puncte de referință din cadrul rețelei geodezice și mărcile de urmărire fixate pe construcția sau terenul urmărit. [10], [12]

Deoarece metoda se bazează pe operațiuni desfășurate ciclic, pentru determinarea unghiurilor și laturilor drumurii cu precizie, notațiile mărimilor vor fi de forma:

β_i – unghiurile măsurate în epoca inițială

β'_i – unghiurile măsurate în epoca curentă

D_i – distanțe măsurate în epoca inițială

D'_i – distanțe măsurate în epoca curentă

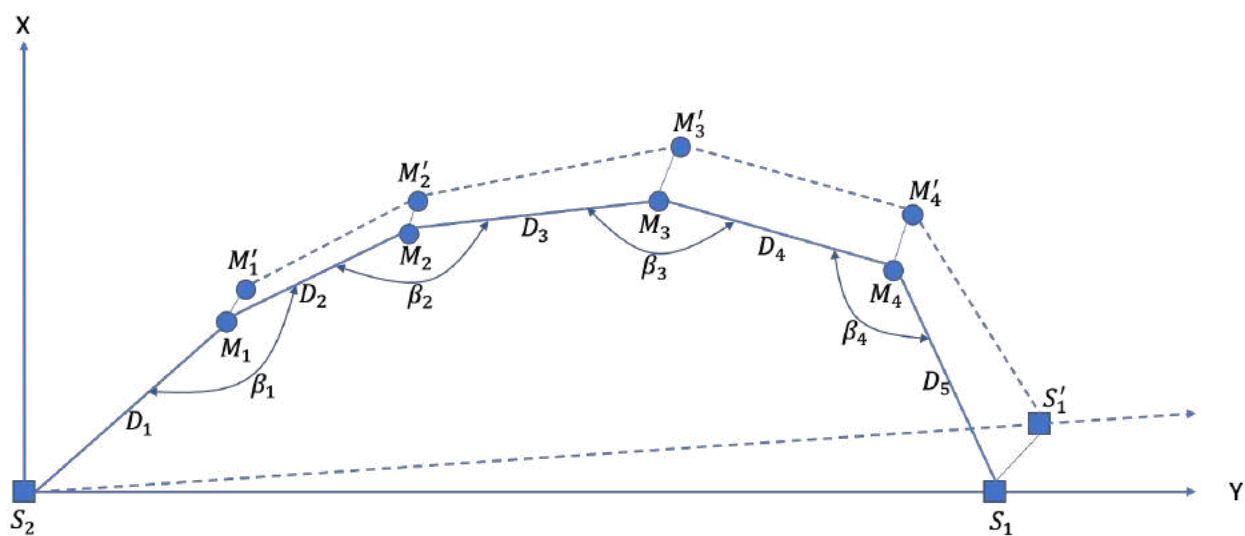


Figura 2.14 Metoda poligonometrică

Prima fază a rezolvării, constă în compensarea orientărilor care au fost calculate cu ajutorul valorilor unghiurilor orizontale măsurate, urmată de calculul neînchiderii pe orientări și aplicarea corecției unitare. [4], [6], [12]

A doua etapă constă în calcularea valorilor coordonatelor punctelor din cadrul traseului, calculul neînchiderii pe coordonate și se încheie cu scrierea sistemului de ecuații din rezolvarea căruia vor rezulta valorile coordonatelor punctelor de pe traseul poligonometric. [4], [6], [12]

Recomandarea, în vederea obținerii rezultatelor dorite, este ca liniile poligonale să aibă direcții pe cât posibil perpendiculare pe direcția principală a eventualelor deplasări.

2.2. Metode geodezice de măsurare utilizate la determinarea deplasărilor verticale

2.2.1. Metoda nivelmentului geometric

a) Modul general

Este cea mai utilizată tehnică în monitorizarea construcțiilor speciale cum ar fi viaductele, ecluzele, reactoarele nucleare etc.

La fel precum în cazul majorității metodelor de urmărire și această tehnică necesită elaborarea unei rețele geodezice de urmărire în funcție de mărimea sau forma obiectivului. Această rețea va conține *puncte de control* reprezentate de mărcile de tasare montate pe structură și *puncte de referință* (repere fixe) materializate în exteriorul zonei de influență a construcției. [6], [10], [12]

Mărcile de tasare vor fi repartizate în principiu de-a lungul axelor fundațiilor, în vederea aflării direcțiilor, la rosturile de dilatație, unde ar fi cele mai precare condiții geologice. Un amănunt important de care trebuie să se țină cont la materializarea acestora este acela că fixarea în componentele de rezistență ale construcției trebuie făcută în așa fel încât mirele de nivelment să poată fi staționate în poziție verticală. [11], [12]

În același timp cu materializarea mărcilor de tasare, vor fi realizate și reperele de referință, cu minim trei luni anterior începerii lucrărilor, cu scopul de a atinge stabilitatea maximă, tot în această etapă realizându-se și punctele de stație astfel încât atât poziția dar și numărul acestora să poată rămâne identice la fiecare epocă de măsurători. [12]

Precizia impusă pentru definirea deformațiilor și deplasărilor este elementul care impune practic utilizarea unui anumit tip de instrument și bineînțeles, a unei anumite tehnici.

Rețeaua de nivelment geometric, compusă din repere la nivelul cărora se execută măsurători în scopul aflării diferențelor de nivel și totodată a lungimilor traseelor, va trebui să fie ulterior compensată riguros, iar pentru aceasta, datele necesare sunt:

- Distanțele parcurse în vederea determinării diferențelor de altitudine;
- Diferențele de nivel determinate cu ajutorul nivelmentului geometric, numărul lor fiind mai mare decât cel al necunoscutelor din model, concret mai mare decât numărul reperilor care nu prezintă altitudini cunoscute;
- Cotele (H_i) mai multor sau cel puțin a unui reper de nivelment;
- Cotele provizorii (H_i^0) ale reperelor noi;
- Orice alte detalii folosite la realizarea matricii ponderilor observațiilor și implicit a modelului funcțional-stohastic. [12], [15]

Compensarea riguroasă efectuată folosind aceste noțiuni va avea ca rezultate, valorile absolute calculate în funcție de noțiunile cunoscute ale cotelor punctelor în sistemul ales, valorile compensate ale diferențelor de altitudine de pe traseul de măsurare și precizia de determinare din cadrul procesului de prelucrare.

b) Nivelmentul geometric în industrie

Tehnicile clasice de executare a lucrărilor de nivelment, au nevoie de completări când vine vorba de utilizarea lor în domeniul industrial, pentru ca acestea să nu prezinte erori mai mari de 0,2 mm. La instalațiile de precizie actuale, una dintre cele mai întâlnite metode este cea a nivelmentului geometric de precizie cu distanțe scurte de vizare. [3]

Variația de temperatură în plan vertical afectează în mod frecvent măsurătorile, iar în domeniul industrial, apar și limitări care țin de condițiile locale, unde o abordare clasică a determinării de diferențe de cote ar fi imposibil de executat, astfel că se procedează la modul următor [3]:

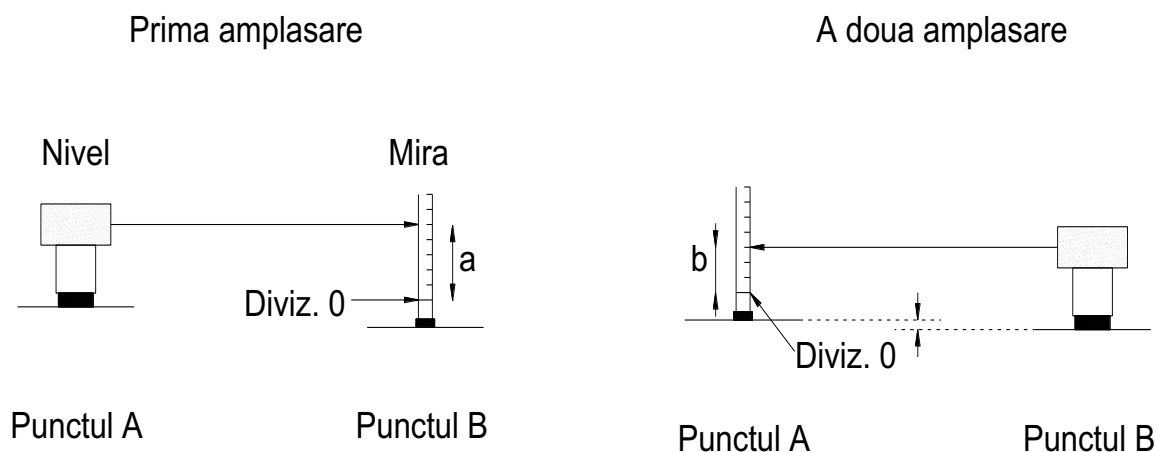


Figura 2.15 Determinarea directă a diferențelor de nivel la componentele utilajelor [3]

- avem punctele A și B care se regăsesc pe suprafața orizontalizată a utilajului pentru care se dorește determinarea diferențelor de nivel
- aparatul se ajustează orizontal pe punctul A după montarea în stație
- se efectuează o lectură în punctul B pe o miră de nivelment (nu există o constrângere ca diviziunea 0 să fie pe suprafața obiectului)
- se procedează la schimbul de locuri dintre instrument și miră, executându-se vizări în punctul A de această dată
- diferența de nivel de determinat va fi dată de jumătatea diferenței dintre cele două lecturi.

La distanțe de 10 până la maxim 15 m, procedeul face posibilă determinarea diferențelor de cotă cu erori de maxim 0,05 mm. [3]

2.2.2. Metoda nivelmentului trigonometric

Dezavantajul major al acestei metode constă în efectul pe care îl are refracția atmosferică asupra unghiurilor zenitale, acest lucru fiind motivul pentru este foarte puțin folosită la determinarea

tasărilor, fiind cu preponderență utilizată pentru urmărirea terenurilor, nu și a construcțiilor. În vederea diminuării acestui efect al refracției, se recomandă să fie măsurate ambele unghiuri zenitale prin observații reciproce și bineînțeles aceste observații să se execute concomitent. De cele mai multe ori însă, măsurătorile unghiulare sunt unilaterale în practica curentă, astfel efectul refracției atmosferice fiind unul însemnat. [10], [12], [15]

Pentru calculul diferenței de nivel se folosesc, unghiul de pantă și distanța dintre cele două puncte:

$$\Delta h = D \cdot tg\alpha$$

sau

$$\Delta h = D \cdot ctg\varphi$$

(dacă aparatul măsoară complementul lui α, φ)

Formulele prezentate anterior sunt valabile atunci când se practică nivelmentul trigonometric la distanțe mici, pentru situațiile în care distanța dintre puncte este mare fiind nevoie de:

$$\Delta h = D \cdot tg\alpha + I - S$$

Unde I – înălțimea instrumentului, S – cota de viză pe miră

[3], [10], [12]

Corecția pentru efectul refracției atmosferice și totodată pentru efectul curburii pământului, trebuie să fie luată în considerare în momentul în care vizele depășesc 300-400 m. [15]

$$\Delta h = D \cdot tg\alpha + I - S + C$$

Unde C – corecția de sfericitate și refracție

$$C = D^2 \frac{1 - K}{2R}$$

Unde R – raza medie de curbura, K – coeficient de refracție

La crearea rețelei de nivelment în vederea urmăririi comportării în timp a diferitor obiective se ia în considerare metoda nivelmentului geometric, astfel încât precizia necesară să poată fi obținută, urmând ca într-adevăr măsurătorile efective să fie executate prin nivelment trigonometric unde este cazul. [12]

Corecțiile atât pentru valorile măsurate, cât și pentru refracție și cotele punctelor noi, vor rezulta după scrierea sistemului liniar de ecuații de corecție, normalizarea acestuia și rezolvarea sistemului normal de ecuații, ceea ce va conduce la calcularea în final a valorilor celor mai probabile pentru ambele mărimi, lucrările fiind închise de calculul elementelor de precizie. [6], [12], [15]

2.2.3. Metoda nivelmentului hidrostatic

a) Modul general

Tehnica urmăririi comportării în timp a construcțiilor prin nivelment hidrostatic are ca bază principiul vaselor comunicante, fiind utilizată atunci când locurile în care se doresc a fi executate

măsurători sunt inaccesibile altor modele de instrumente (ex.: interiorul construcțiilor), având posibilitatea atingerii unor precizii ridicate. [3]

În modul de utilizare standard al tehnicii, sunt fixate tuburi gradate pe obiectiv, în punctele de monitorizare, care sunt unite între ele printr-un furtun, diferența de nivel rezultând din diferența dintre citirile de pe tuburi, iar în cazul circuitului dublu, pe unul dintre trasee, lichidul circulă liber, în timp ce al doilea traseu conține aer în vederea egalizării presiunii, iar nivelul este definit cu ajutorul unui senzor capacitiv.[3]

Ecuția simplificată a lui Bernoulli:

$$p + \rho \cdot g \cdot h = \text{const}$$

Unde p – presiunea atmosferică

ρ – densitatea lichidului

g – accelerația gravitațională

h – înălțimea coloanei de lichid

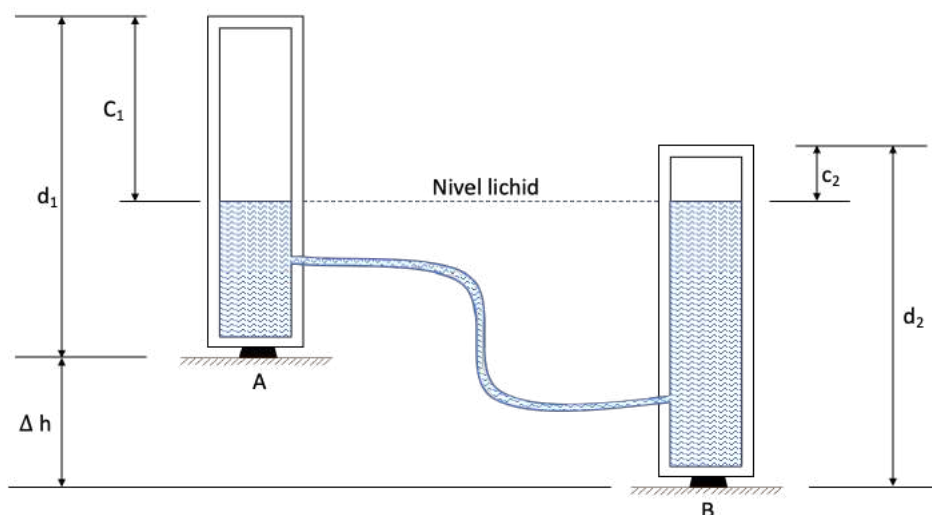


Figura 2.16 Nivelment hidrostatic

b)Utilizarea în domeniul industrial

Deoarece nivelmentul geometric prezintă dificultăți la automatizarea proceselor de măsurare și la transmiterea informațiilor, fiindcă în multe situații nu pot fi folosite nivele automate, măsurătorile care se desfășoară spre exemplu în cadrul centralelor nucleare în zone cu radiații mari, se pot executa doar în momentele în care au loc lucrări de întreținere, astfel epocile de măsurare sunt stabilite la intervale prea lungi de timp, selecția datelor concludente făcându-se greoi. În aceste situații se pretează utilizarea nivelmentului hidrostatic cu ajutorul diferitor sisteme. [1], [3]

Sistemele hidrostatice se pretează de asemenea la urmărirea elementelor utilajelor din punct de vedere al pozițiilor reciproce în înălțime, punctele în care se efectuează observații transmițând informații unei unități de procesare care poate fi setată să indice o poziție sau chiar să transmită un semnal de alarmă dacă există modificări de poziție semnificative. [1], [3]

În domeniul apropiat, de până la 50 mm, prin dezvoltarea unor tehnici electrice sau electro-optice, în vederea atât a automatizării lucrărilor, cât și a atingerii unor precizii extrem de ridicate, s-a ajuns la valori ale nesiguranțelor de măsurare de câțiva micrometri în ceea ce privește stabilirea cotei de umplere a coloanei față de o referință. Cele 3 mari tipuri de măsurători hidrostatice sunt [1], [3]:

1) Măsurători care se pretează la evidențierea modificărilor de altitudini lente, principiul de funcționare constând în măsurarea mișcării ascendente a unui plutitor, mișcare necesară atingerii suprafeței cu un vârf de atingere. [3]

Instrumentele pentru acest tip de măsurătoare sunt foarte rar produse în serie, unul dintre ele fiind Nivelul Hidrostatic Meisser:

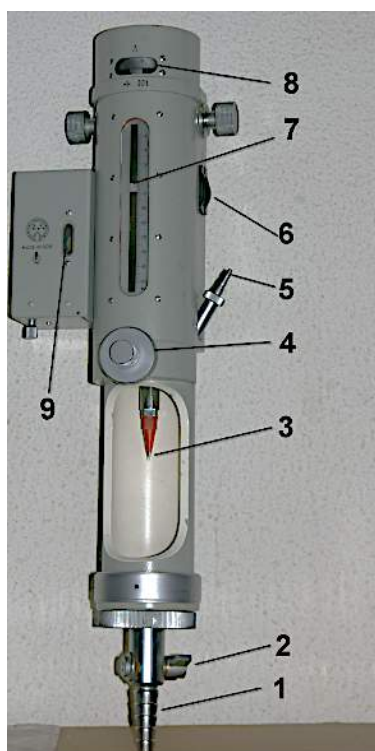


Figura 2.17 Nivelă hidrostatică Meisser [3]

Unde 1 - dispozitiv de conectare la furtun; 2 - robinet; 3 - vârf de măsurare; 4 - șurub de antrenare a dispozitivului micrometric; 5 - dispozitiv pentru conectarea furtunului de presiune; 6 - comutator pentru aprinderea becului; 7 - scală divizată milimetric; 8 - tambur; 9 - bec ce indică atingerea oglinzii apei de către vârful de măsurare.

Prin acționarea manuală a unui șurub micrometric, un vârf de măsurare atinge nivelul lichidului, contactul dintre acestea fiind anunțat prin stingerea unui bec. Scala de lungime este divizată millimetric, cursa vârfului fiind o diviziune. Citirile se fac pe tamburul micrometrului, fiind posibile lecturi de 10^{-2} mm și aproximări de 10^{-3} mm, iar pentru aplicarea corecțiilor pentru diferențele de temperatură din cilindri, există termometre interconectate.

Din pricina distanțelor inegale dintre punctul zero al scalei și punctul de atârănare al instrumentului apare așa numita eroare de punct zero, astfel constanta de corecție K necesitând a fi

aplicată diferențelor de cotă observate simplu. Totuși, prin interschimbarea sistemelor de măsurare se poate elimina această eroare de punct zero. [3]

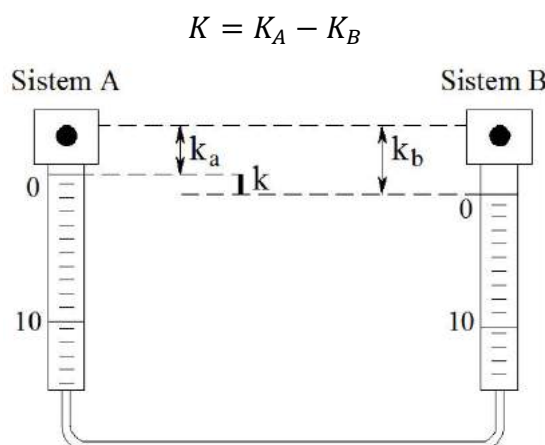


Figura 2.18 Stabilirea constantei K

2)Procedeul de măsurare a distanțelor fără contact între marcă și suprafață face posibile observațiile extrem de precise (câțiva micrometri) pentru curse de măsurare foarte mici, sau ajustarea unor suprafețe vibrante. [3]

Un exemplu de aparatură dezvoltată pe baza acestui principiu este HLS (High-Precision Levelling System) al ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), cu măsurare capacitivă a distanței dintre oglinda lichidului și senzorul poziționat deasupra acesteia. Vasele sistemului sunt confecționate dintr-un material conductor bun, oțel inoxidabil, pentru ca temperatura lor să fie aceeași cu cea a coloanelor de lichid, a căror nivel este de aproximativ 30 mm. Datorită montării cât se poate de orizontal a furtunurilor de legătură dintre racorduri, modificările de înălțime a coloanelor de lichid cauzate de diferențele de temperatură se observă la nivelul de $1\mu\text{m}$. Pe lângă precizia foarte ridicată de determinare, un alt avantaj al sistemului este verificarea rapidă a tuturor punctelor de măsurare.

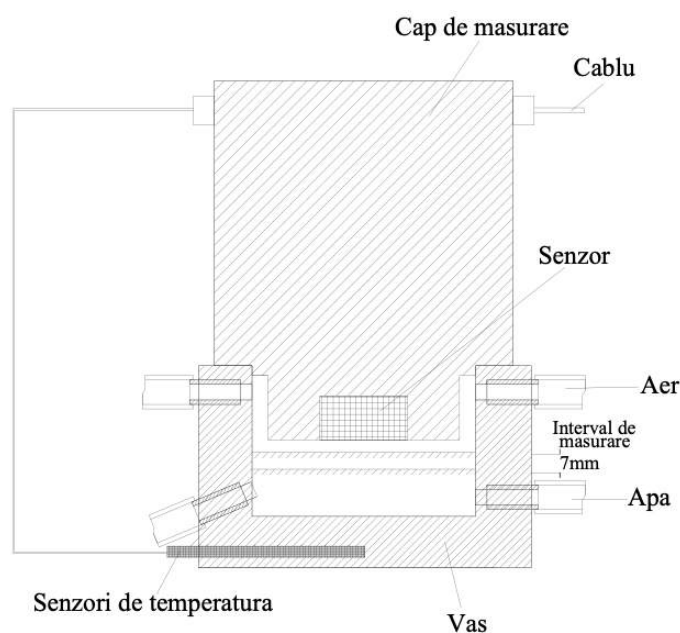


Figura 2.19 Principiul tubului orizontal HLS al ESRF [1], [3]

3)Procedeul de măsurare al presiunii unui corp ascendent sau al presiunii de fund a coloanei de lichid asigură atingerea unor precizii doar la nivel submilimetric, însă instrumentele dezvoltate pe acest principiu sunt deosebit de rezistente și oferă oportunități de măsurare într-un domeniu mai extins.

Vasele obișnuite cu lichid sunt înlocuite cu vase de presiune, iar tot sistemul este umplut complet și închis etanș, diferențele de nivel fiind rezultate din măsurarea presiunii prin intermediul traductoarelor de presiune. Ca operațiune specială în ceea ce privește sistemele mobile față de cele statice, se notează determinarea corecției punctului zero al vaselor. [1], [3]

3.METODE MODERNE DE MONITORIZARE A CONSTRUCȚIILOR ȘI UTILAJELOR

Pe baza principiilor clasice ale tehnicilor și tehnologiilor de monitorizare a construcțiilor sau utilajelor, s-au dezvoltat noi metode și instrumente utilizate la verificarea pozițiilor diferitor structuri. Desigur, în sprijinul aparaturii geodezice pentru urmărirea comportării în timp a construcțiilor sau utilajelor, vin așa numitele aparate de măsură și control fără caracter geodezic, care pot fi utilizate independent în operațiunile de monitorizare, dar cel mai bun randament îl arată în cazurile în care sunt operate simultan cu instrumentația geodezică, completând-o în acest mod. [7]

3.1.Metode fotogrammetrice

În timpul realizării unei operațiuni fotogrammetrice se vor înregistra toate datele într-o serie de coordonate tridimensionale, sub formă grafică.

Această tehnică a fost dezvoltată inițial pentru a ajuta la crearea planurilor sau hărților prin intermediul imaginilor aeriene sau terestre, preluate și mai apoi prelucrate, însă în timp aplicabilitatea acesteia s-a extins inclusiv la crearea de modele tridimensionale, având astfel un spectru larg în ceea ce privește domeniile de activitate. [7], [12]

Odată cu trecerea anilor și cu dezvoltarea tehnologică, sistemele fotogrammetrice au suferit modificări, ajungând să fie din ce în ce mai precise și mai performante, dar și mult mai accesibile, acest aspect din urmă rezultând în urma trecerii în proporție mare de la camere fixate pe aeronave de mari sau mici dimensiuni, la camere ultraperformante regăsite pe vehicule aeriene telecomandate (UAV-Unmanned Aerial Vehicle). [7]

Există mai multe tipuri de clasificări ale dronelor (UAV), cele mai importante fiind însă în funcție de tipul motorului: electric sau cu combustie (piston, turbină) și în funcție de caracteristicile de proiectare: cu aripă fixă (decolare orizontală) sau tip elicopter cu o elice sau multirotor (decolare verticală).

Senzorii care ating precizii ridicate au greutatea de minim 300g, astfel că modelele alese pentru lucrări de urmărire ar trebui să fie capabile să transporte greutatea mai mari de atât. [28]

3.1.1.DJI Phantom 4 RTK

Un model foarte des întâlnit la măsurătorile de tip fotogrametric cu ajutorul dronelor, este produs de DJI și se numește Phantom 4 RTK. Acest UAV de tip multirotor electric are integrat un modul RTK (Real Time Kinematic) oferind astfel date despre poziționare în timp real la precizii de nivelul centimetrelor. [22]

În ceea ce privește siguranța de măsurare din timpul zborului (colectarea datelor), acest model are capacitatea de a stoca observațiile satelitare, pentru ca acestea să poată fi utilizate la PPK (Post Process Kinematic), în cadrul DJI Cloud PPK Service. [22]

O altă calitate din punct de vedere al preciziei, este reprezentată de posibilitatea acestui sistem de poziționare de a fi conectat prin WiFi sau 4G la o stație de tip D-RTK 2, stație GNSS mobilă de înaltă precizie, funcție care oferă aparatului de zbor date diferențiale în timp real, fiind practic utilizată ca rover RTK. [22]

Controllerul, camera și modulul RTK sunt sincronizate prin intermediul TimeSync care se asigură că fiecare fotografie folosește cele mai exacte metadate și fixează informațiile despre poziționare în centrul optic al obiectivului, astfel rezultând o optimizare a rezultatelor. [22]

La acest model, controller-ul poate fi de două feluri, și anume: cu ecran integrat sau cu posibilitate de conectare a unui dispozitiv cu sistem IOS sau Android.

Camera din cadrul acestui sistem dispune de un senzor CMOS de 1 inch și 20 megapixeli. Un senzor CMOS, diferă puțin de un senzor CCD (Charged Coupled Device), din punct de vedere al principiului de funcționare, deși sunt inspirați de aceștia și este un cip electronic care convertește fotonii (lumina) în electroni (semnale electrice) pentru procesare digitală. Senzorii CMOS (complementary metal oxide semiconductor - semiconductori complementari de oxid de metal) sunt utilizați pentru a crea imagini în camere digitale, camere video digitale și camere digitale CCTV. Diferența notabilă între CMOS și CCD este aceea a momentului în care este efectuată procesarea fotocelulelor, deoarece la senzorii CDD acestea sunt pasive, iar procesarea este executată după stocare, iar la senzorii CMOS, acestea sunt active și pot executa procesarea pe loc înainte de stocare. [22]



Figura 3.1 Drona DJI Phantom 4 RTK (sus dreapta), controller-ul acesteia cu ecran încorporat (jos dreapta), stația GNSS mobilă de înaltă precizie D-RTK 2 (stânga) [22]

Două dintre aplicațiile din domeniul urmăririi comportării în timp la care se pretează cel mai bine tehnica fotogrametrică, sunt monitorizarea haldelor de steril, sau a albiilor de scufundare.

3.1.2. Monitorizarea haldelor de steril [12]

Se realizează o rețea geodezică pentru monitorizare și un plan topografic, pe baza căruia se vor urmări atât modul de depozitare cât și diferite unghiuri.

Volumul de material depozitat este determinat cu ajutorul procedurii secțiunilor sau al rețelei orizontale.

Întreaga operațiune constă în măsurarea influenței pe care o are halda de steril asupra terenului din jurul ei și a taluzelor deformate, iar în acest scop, în apropierea obiectivului dar și în exteriorul zonei de influență, se materializează puncte de referință care se determină prin operațiuni riguroase, de natura topografică sau fotogrametrică. [12]

Situația privind deplasările haldei sau a terenului din jur va putea fi aflată se vor în funcție de unghiurile de taluz și diferențele coordonatelor punctelor, astfel fiind posibilă calcularea vectorilor de deplasare. [12]

3.1.3 Albiile de scufundare

Determinarea deplasărilor rocilor, ca efect al lucrărilor miniere este obiectivul principal al acestui tip de monitorizare.

Albiile de scufundare sunt deosebit de active în zonele exploatărilor subterane care funcționează pe baza metodei subetajelor cu surparea acoperșului sau a camerelor direcționale cu surparea acoperișului, fenomenul fiind denumit prăbușire. [12]

Elementele caracteristice urmărite în acest studiu al deplasărilor rocilor sunt, scufundarea și viteza acesteia, vectorii de deplasare, raportul dintre volumul de creștere al albiei de scufundare și volumul exploatat în subteran, coeficientul de tasare, unghiurile de rupere și unghiurile limită.

Utilizarea metodelor fotogrametrice în vederea urmăririi comportării în timp a acesui tip de obiective se recomandă din pricina tiparului pe care îl prezintă, cu pante neuniforme și mari, cu crăpături adânci și largi și cu pereți verticali sau abrupti. În acest sens rețeaua de monitorizare este poziționată în profile ce trec cu mult peste limitele albiei, punctele acesteia fiind determinate topografic și semnalizate cu panouri de reper. [12]

3.2. Determinări GNSS

Datorită avantajelor deosebit de importante pe care le are în comparație cu metodele clasice, tehnologia GNSS (Global Navigation Satellite System) s-a impus evident și în domeniul monitorizării, atât a terenurilor cât și a construcțiilor. Eficiența imbatabilă este dată de randamentul extraordinar arătat în realizarea rețelelor geodezice, în acest caz, de urmărire, cu întinderi enorme, de până la câteva mii de kilometri. Punctele din cadrul acestor rețele sunt determinate cu precizie constantă, fără ca vizibilitatea dintre ele să joace vreun rol în atingerea acesteia. [15]

Urmărirea comportării în timp a construcțiilor și terenurilor executată cu ajutorul tehnologiei GNSS se împarte în 3 categorii mari, în funcție de natura deplasărilor și/sau deformațiilor care urmează a fi măsurate, astfel:

3.2.1.Utilizarea GNSS pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor orizontale

Există două moduri în care deplasările planimetrice pot fi determinate cu ajutorul tehnologiei GNSS, și anume:

- prin metoda trilaterăției
- utilizând coordonatele relative ale vectorilor, în analiză fiind luate în calcul doar noțiunile planimetrice [15]

În cazul primei opțiuni, bineînțeles că distanțele vor fi măsurate prin intermediul tehnologiei GNSS, iar folosirea metodei presupune câteva măsuri suplimentare referitoare la geometria rețelei de urmărire pentru atingerea preciziei necesare la determinarea poziției planimetrice a punctelor.

Indicațiile adiționale pentru realizarea rețelei de urmărire sunt ca minim trei vectori să converge spre fiecare punct al rețelei în parte și ca precizia cu care sunt determinate diferențele de nivel și distanțele înclinate prin intermediul GNSS să fie ridicată. [15]

Coordonatele obținute prin transcalcul vor fi utilizate drept coordonate provizorii pentru reducerea distanțelor la planul de proiecție, iar distanțele înclinate vor fi reduse la orizontală, urmând ca ecuațiile de corecție să fie scrise folosind distanțele orizontale, coordonatele cele mai probabile fiind obținute ulterior rezolvării sistemului normal, deplasările rezultând din diferențele dintre cel puțin două epoci de măsurători.

Dacă în schimb se optează pentru a doua variantă, de determinare a deplasărilor plane, se va constata că este mai indicată comparativ cu trilaterăția, deoarece coordonatele relative ale vectorilor sunt determinate cu precizie de nivel milimetric.[15]

3.2.2.Utilizarea GNSS pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor verticale

Asemănător situației descrise anterior și în cazul definirii deplasărilor și/sau deformațiilor nivelitice prin intermediul tehnologiei GNSS se pot folosi două procedee:

- folosirea distanțelor și diferențelor de cotă elipsoidale, rezultate din rapoartele de compensare a vectorilor
- folosirea coordonatelor relative ale vectorilor, în analiză intrând doar elementele verticale

Există și momente când tehnologia GNSS apare și la urmărirea deplasărilor și deformațiilor verticale, deși în domeniul monitorizării este întâlnită mai des în cazul lucrărilor pentru deplasări planimetrice. [15]

Deoarece precizia de determinare a vectorilor este de ordinul centimetrilor sau chiar a milimetrilor, principiul poziționării relative pune la dispoziție pentru determinarea punctelor rețelei,

bune rezultate, modul de funcționare al acestuia fiind determinarea poziției unui punct nou în funcție de un punct cunoscut, ulterior fiind determinat vectorul dintre cele două puncte denumit bază. [15]

Totodată însă dacă se ia în discuție al doilea procedeu, principiul acestuia se bazează pe rapoartele de compensare generate de diferite soft-uri de prelucrare a informațiilor preluate cu tehnologii de tip GNSS, pentru fiecare vector din rețea. Va fi concretizată o compensare asemenea celei din cadrul metodei nivelmentului geometric asupra noțiunilor elipsoidale (distanțe, diferențe de nivel) extrase din rapoarte.[15]

Din punct de vedere al preciziilor atinse, utilizarea tehnologiei GNSS la acest tip de lucrări se clasează pe aceeași treaptă cu cea a metodei nivelmentului trigonometric, fiind clar inferioară nivelmentului geometric.

3.2.3.Utilizarea tehnologiei GNSS la determinarea deplasărilor spațiale

În această situație se folosesc două moduri de compensare a măsurătorilor, în funcție de raportarea acestora, ori într-un sistem de referință cartesian geocentric tridimensional (X,Y,Z), ori pe un elipsoid de referință (B, L, h). Exemplul din urmă este destul de rar întâlnit din pricina implementării greoaie utilizând valori relative, acestea fiind mai degrabă transformate în echivalente cum ar fi ds (distanța pe elipsoid), dA (azimut geodezic) sau dh (diferențe de nivel pe elipsoid). Cea mai ușor de realizat și totodată cea mai răspândită alegere pentru compensare este cea în care măsurătorile au fost efectuate într-un sistem de referință cartesian tridimensional, pentru simplitatea din cadrul ecuațiilor de corecție, mărimile măsurate fiind vectorii care se formează între punctele rețelei (valori relative ΔX_{ij} , ΔY_{ij} , ΔZ_{ij}). [15]

3.3.Metoda Reflectorless

Datorită dezvoltării tehnologiei reflectorless, adică a măsurătorilor fără reflector, în prezent producătorii de aparatură reușesc să pună la dispoziție stații totale care ajung la precizii în determinarea distanței în modul reflectorless de 2mm+2ppm. Ținând cont de precizia ridicată în determinarea distanțelor și de preciziile unghiulare mari de 0,5", 1", 2", cât și de faptul că anumite modele de stații totale permit colectarea automată sau semiautomată a măsurătorilor, monitorizarea comportării în timp a construcțiilor utilizând măsurători fără prismă devine posibilă.[15]

Tehnologiile disponibile actualmente permit monitorizarea automată sau semiautomată, utilizând stații totale motorizate spre exemplu.

Unele dintre dezavantajele metodelor clasice de urmărire cu ajutorul prismelor sunt reprezentate de costurile de achiziție, timpul necesar efectuării măsurătorilor în cazul în care acestea sunt îndeplinite semiautomat, dificultatea poziționării sau imposibilitatea poziționării prismelor necesare pe construcție din diferite motive și nu în ultimul rând, datorită timpului îndelungat de

desfășurare al lucrărilor, prismele își pierd reflectivitatea datorită condensului care se creează sau a acoperii cu praf. [15]

3.3.1.Principiul metodei

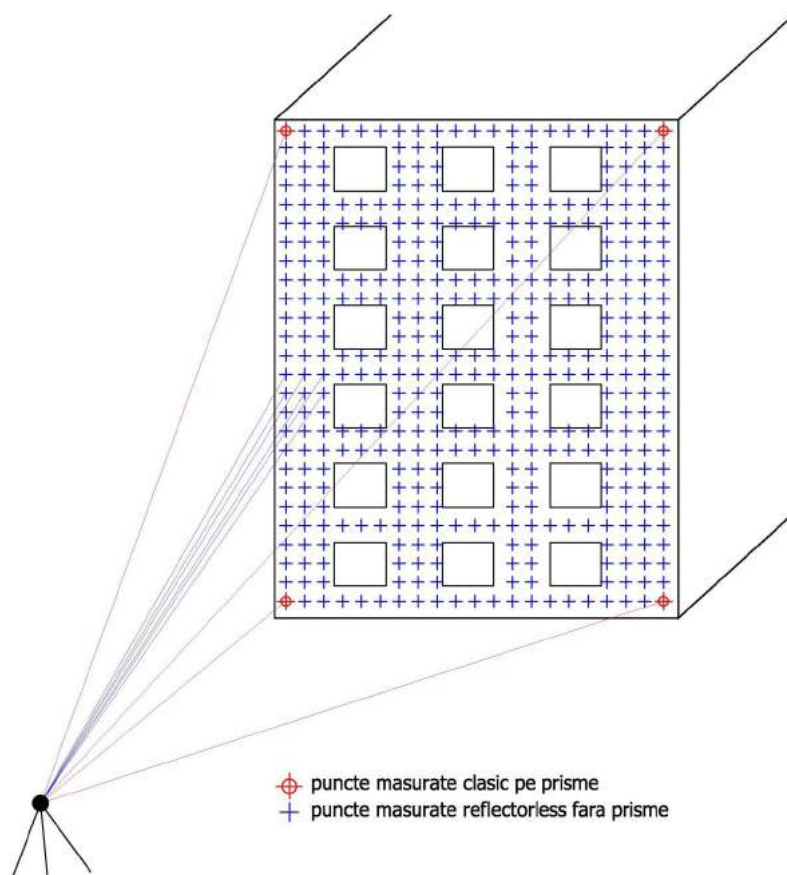


Figura 3.2 Principiul metodelor clasice de urmărire cu ajutorul prismelor și principiul de monitorizare fără ajutorul reflectoarelor[15]

Se pornește de la faptul că punctele obiect nu sunt materializate pe obiectiv, așadar deplasarea poate fi determinată doar pe o anumită direcție.

Punctele obiect sunt măsurate în epoca de bază de măsurători, coordonatele acestora fiind determinate cu ajutorul observațiilor : distanțe înclinate L_{ij} , direcții azimutale/orientări θ_{ij} și direcții zenitale ζ_{ij} . [15]

Coordonatele punctelor urmărite “j” sunt calculate în funcție de coordonatele punctelor de stație “i” și a elementelor măsurate:

$$X_j = X_i + D_{ij} \cos \theta_{ij}$$

$$Y_j = Y_i + D_{ij} \sin \theta_{ij}$$

$$Z_j = Z_i + L_{ij} \cos \zeta_{ij}$$

$$\text{Unde } D_{ij} = L_{ij} \sin \zeta_{ij}$$

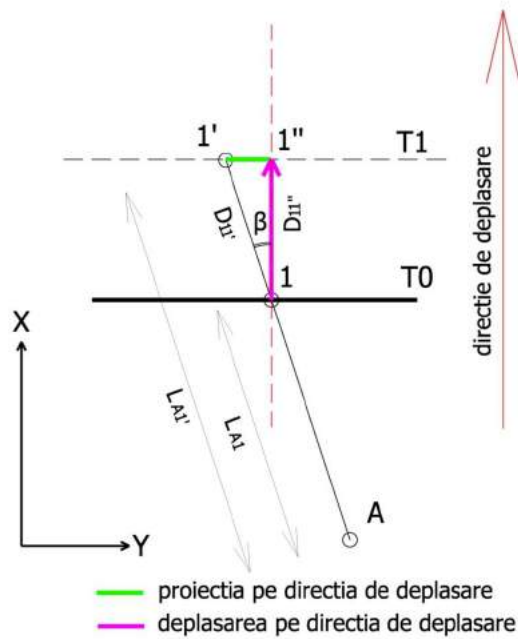


Figura 3.3 Principiul metodei Reflectorless[15]

Dacă în epoca inițială de măsurători se măsoară elementele menționate anterior, în următorul ciclu se vor efectua aceleași tipuri de observații spre aceleași puncte determinate în epoca de bază, urmând ca noțiunile necesare poziționării unghiulare să fie calculate de instrument (stație totală servomotorizată) pornind de la coordonatele cunoscute ale punctului de stație.

$$\theta_{A1} = \arctg \frac{X_1 - X_A}{Y_1 - Y_A}$$

$$\zeta_{A1} = \arccos \frac{H_1 - H_A}{L_{A1}}$$

$$\text{Unde } L_{A1} = \sqrt{(X_1 - X_A)^2 + (Y_1 - Y_A)^2 + (H_1 - H_A)^2}$$

ζ_{A1} – unghiul zenital redus la cotele punctelor

Deoarece observațiile sunt efectuate de la înălțimea h a instrumentului, vom avea unghiul zenital final corectat astfel: $\zeta_{A1}^* = \arctg \frac{(H_1 - H_A) - h}{L_{ij}}$, pentru că înălțimea semnalului s este 0 în cadrul acestei tehnici de monitorizare. [15]

Unghiurile orizontal și vertical de orientare, sunt calculate automat pe baza orientării θ_{A1} și a unghiului zenital corectat ζ_{A1}^* , pentru îndreptarea instrumentului spre punctul de interes de pe obiectiv măsurat în epoca inițială.

Distanța înclinată care va fi utilizată la calculul coordonatelor punctului urmărit, în acest exemplu, punctul 1', va fi măsurată după securizarea poziției instrumentului pe direcția teoretică a punctului 1. [15]

$$X_{1'} = X_A + L_{A1}' \sin \zeta_{A1}^* \cos \theta_{A1}$$

$$Y_{1'} = Y_A + L_{A1}' \sin \zeta_{A1}^* \sin \theta_{A1}$$

$$Z_{1'} = Z_A + L_{A1}' \cos \zeta_{A1}^* + h$$

Deplasarea orizontală $D_{11''}$ se va calcula în funcție de mai mulți factori, astfel va trebui să se cunoască direcția de deplasare caracteristică și variația distanței $D_{11'}$, care se calculează în lungul axei de viză, aceasta din urmă fiind reprezentată de pozițiile punctului 1 și a punctului de stație din epoca de bază. [15]

$$D_{11'} = \sqrt{(X_{1'} - X_1)^2 + (Y_{1'} - Y_1)^2} = D_{1'} - D_1$$

3.3.2. Condiții de utilizare

Poziționarea stației totale la nivel unghiular pe direcția punctelor urmărite în epoca de bază și compararea distanțelor măsurate către obiectiv sunt principii care stau la baza metodei, astfel rezultând câteva mențiuni care necesită a fi respectate pentru utilizarea metodei în condiții normale. Este imperativă utilizarea unor instrumente (stații totale) capabile de precizii foarte mari, dacă este posibil și robotizate, apoi selectarea cu atenție a punctelor urmărite în epoca inițială de măsurare, micșorarea efectului de reflectivitate, aplicarea de corecții atmosferice în ceea ce privește măsurătorile de distanțe și diminuarea erorilor sistematice. [15]

3.4. Interferometria Radar

3.4.1. IDS GeoRadar IBIS-FS

În acest sens notăm că sistemele de interferometrie radar terestră pot determina extrem de precis oscilațiile sau deformațiile obiectivelor cercetate. Sistemele dezvoltate de IDS Georadar și denumite IBIS (Image by Interferometric Survey) sunt disponibile în diferite configurații și pot urmări static sau dinamic diferite tipuri de construcții sau zone. [14]



Figura 3.4 Sistemul IDS GeoRadar IBIS-FS Plus [23]

Instrumentul este un interferometru cu microunde și este format din :

- modul sensor
- calculator
- unitate de alimentare

Modulul sensor este un radar care păstrează informația de fază a semnalului și care generează, transmite și recepționează semnalele electromagnetice care urmează să fie procesate pentru a furniza măsurătorile de deformații și vibrații. [14], [23]

Acesta se instalează pe un trepied cu cap rotativ, capabil să îi susțină greutatea de circa 12 kg.

În vederea măsurării deformațiilor, unitatea transmite o undă continuă cu schimbarea treptată a frecvenței, care se reflectă din ținte naturale sau artificiale, dar pentru a identifica o țintă, intensitatea semnalului trebuie să fie mai mare decât zgomotul din jur.

Un aspect important pentru o bună reflectare a semnalului este constituit de către reflectoarele de tip corner (colt de cub). Acestea pot exista deja pe construcția cercetată ca părți ale acesteia, fără a mai fi necesară montarea celor artificiale. Reflectoarele de tip corner se folosesc mai ales dacă obiectul măsurat este construit dintr-un material care nu reflectă microundele, acestea ajutând la identificarea unor puncte caracteristice ale construcției.[14], 23]



Figura 3.5 Reflector de tip corner [24]

Aparatul, detectează diferența de fază a semnalului reflectat de elementele specifice al structurii, de la un moment în timp la altul, care este dată de relația : $d = \varphi_2 - \varphi_1$, iar măsurarea deplasării și măsurarea variației fazelor sunt legate de relația: $d = -\lambda/4\pi \cdot \Delta\varphi$ unde „d” reprezintă deplasarea, „ λ ” este lungimea de undă, iar $\Delta\varphi$ este diferența de fază. [14]

Ca particularitate, se menționează că sistemul IBIS măsoară simultan deplasarea tuturor pixelilor sau a câmpurilor din zona iluminată cu microunde, acesta generând semnalul de măsurare, utilizând antenele transmițător-receptor, mai apoi primind semnalul reflectat.[23]

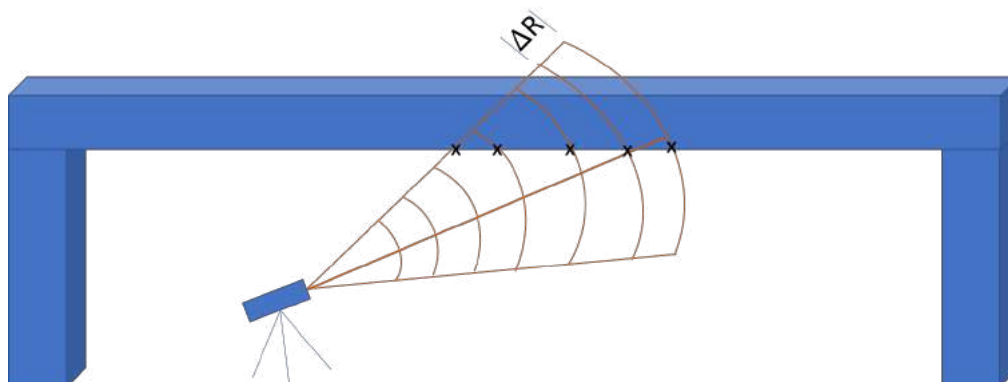


Figura 3.6 Măsurare sistem IBIS

În prima etapă, radarul detectează elementele obiectivului, urmând să determine distanța acestora față de el.

După cum se poate observa în figura de mai jos, sistemul măsoară deplasarea radială (d_p) din care se poate obține deplasarea efectivă (d) a punctului prin luarea în considerare a geometriei de poziționare a instrumentului față de obiectul cercetat:

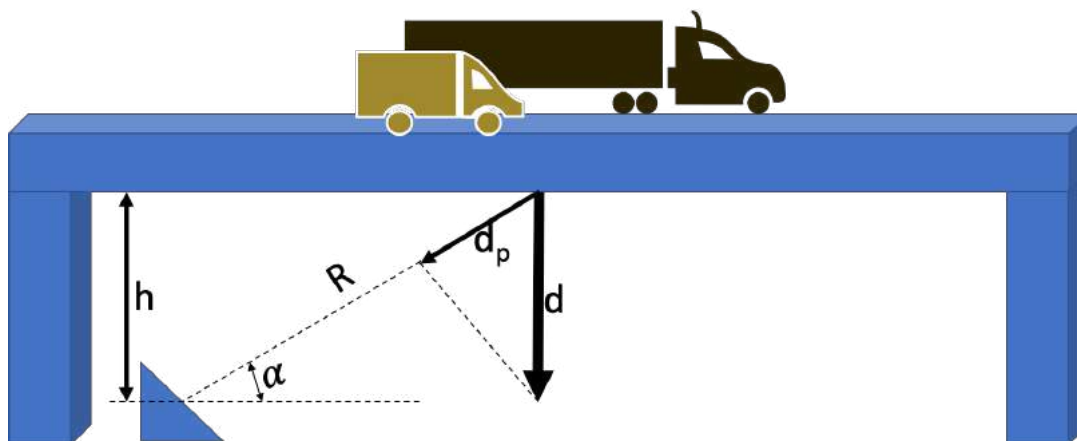


Figura 3.7 Măsurarea deplasării d

Rezoluția este dimensiunea “ ΔR ”, care reprezintă cel mai mic interval de distanță în care se poate distinge un singur punct observant. În funcție de frecvența folosită, rezoluția maximă este cuprinsă între 0,5-0,75 m. [14]

$$d = \frac{d_p}{\sin \alpha} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{h}{R} \Rightarrow d = d_p \cdot \frac{R}{h}$$

Precizia valorii de deplasare măsurate prin această tehnică interferometrică (se compară fazele a două imagini distincte) depinde de intensitatea ecoului radar înregistrat și de raportul semnal-zgomot (SNR) al punctului urmărit. Un SNR (raport semnal-zgomot) înalt constituie o bază în selectarea punctelor de urmărire de pe construcție. [14]

În practică, se poate atinge o precizie de 0,1 mm, deși în ceea ce privește precizia teoretică a instrumentului aceasta este în jurul valorii de 0,01 mm.

Pentru monitorizarea statică și dinamică a diferitor construcții sistemul poate fi utilizat doar 1D, având o rază de acțiune de 1 km și putând monitoriza mai multe puncte deodată la frecvențe de până la 200 Hz.

După fixarea pe trepied și orientarea către construcția cercetată, se ajustează direcția orizontală și înclinarea unității de emisie recepție. Ulterior se conectează calculatorul de teren, după care se setează geometria instrumentului în raport cu obiectivul. [14]

Legat de utilizarea software-ului în vederea achiziționării de date, acesta prezintă diferite ferestre, și anume :

- Fereastra de selectare a modului de achiziție: static (intervalul de timp de preluare a datelor se poate seta între 0,1 și 10000000,0 sec) și dinamic (cu frecvența de eșantionare între 10Hz și 200Hz);
- Fereastra de setare a parametrilor instrumentali: permite setarea parametrilor de achiziție (distanța maximă, rezoluția, tipul de antenă, frecvența de eșantionare și durata de măsurare);
- Fereastra de setare a geometriei: permite setarea geometriei de achiziție (poziția instrumentului în raport cu obiectul investigat și a unghiului de înclinare al instrumentului);
- Fereastra de selectare a misiunilor: permite stabilirea numelor misiunilor de achiziție a datelor;
- Fereastra de gestionare a timpului: permite ca achiziția să fie pornită și oprită și permite utilizatorului să vizualizeze datele achiziționate în timp real;
- Fereastra de prelucrare a măsurătorilor: permite analizarea datelor achiziționate cu diferite tipuri de procesare, în funcție de tipul de achiziție selectat. Această fereastră rămâne activă chiar și atunci când instrumentul nu este conectat la PC.
- Butonul Opțiuni de proiecție permite utilizatorului să treacă de la vizualizarea deplasării radiale (None) la deplasarea ortogonală, longitudinală, verticală sau orizontală (calculată utilizând parametrii stabiliți în fereastra de configurare a geometriei). [14], [23]

3.5. Aliniamente laser de precizie

În cadrul acestui procedeu, se folosește o rază laser ca direcție de referință optică. Toate abaterile de la acest aliniament vor fi investigate optic sau electro-optic. [1], [3]

Elementele care duc la mărirea nesiguranței de măsurare sunt deplasarea razelor care ies din emițător, modificări ale direcțiilor razelor laser pricinuite de temperatură sau a poziționării componentelor emițătorului, variația intensității spotului și deformarea spotului cauzată de refracția atmosferică. Aceste aspecte care pot influența precizia se pot ameliora prin observarea simultană a unei linii de referință la instalarea senzorului de referință, conform principiului de măsurare. [1], [3]

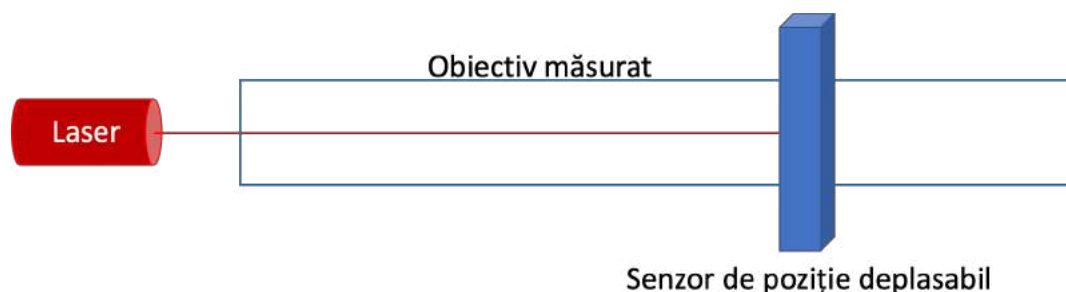


Figura 3.8 Măsurarea liniarității cu raze laser și senzori de poziție

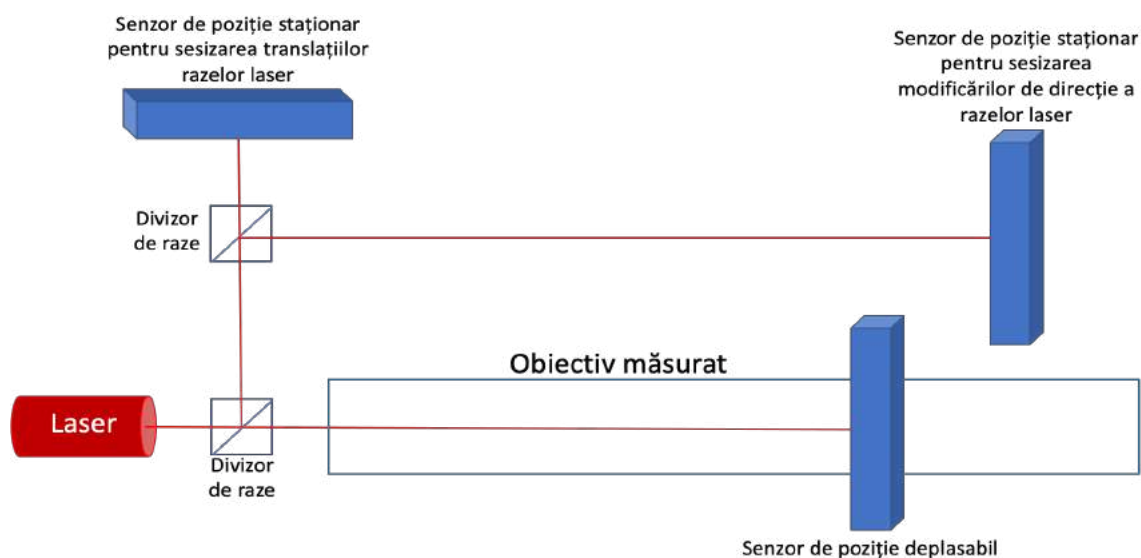


Figura 3.9 Observarea influențelor sistematice

Pentru sistemele dezvoltate pe baza principiului din figura 3.9, dar la care se utilizează un sistem optic pentru proiectare razei pe senzor, axa longitudinală a sistemului de senzori, la măsurare, trebuie să fie paralelă obligatoriu, pentru a nu se sesiza alterări de distanțe inexistente. [3]

Intervalul de precizii posibil de obținut în funcție de tipul tehnologiei bazate pe aceste principii la distanțe de până la 30 m este de 0,01 mm – 0,1 mm.

3.6. Metoda autocolimației

A fost elaborată în special pentru utilizarea în domeniul industrial la controlul direcțiilor și cercetarea unor modificări de unghiuri, tehnologia de bază fiind luneta autocolimatoare și aparatură geodezică îmbunătățită cu accesorii precum ocularele cu autocolimație cu oglindă plană sau prisme cu autocolimație. [3]

3.6.1. Luneta autocolimatoare

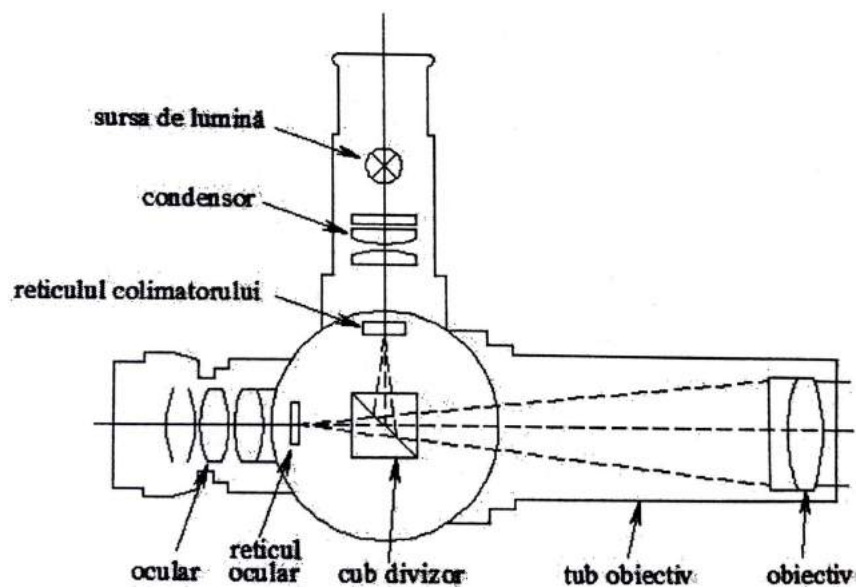


Figura 3.10 Luneta autocolimatoare[3]

Imaginea de autocolimație se realizează prin proiectarea de către lunetă a unei imagini a reticulului pe direcția razelor paralele, pe o oglindă care va reflecta înapoi în colimator fasciculul luminos. Reticulul se poate observa prin ocular în focarul obiectivului dacă oglinda este perpendiculară pe axa fasciculului, astfel acesta reflectându-se pe el. Imaginea reticulului proiectat va fi observată ca fiind deplasată în planul focal ($s = f \cdot 2tg\varphi$) dacă oglinda nu respectă perpendicularitatea descrisă anterior, apărând o înclinare φ , rezultând astfel o deviere a razelor egală cu 2φ . [3]

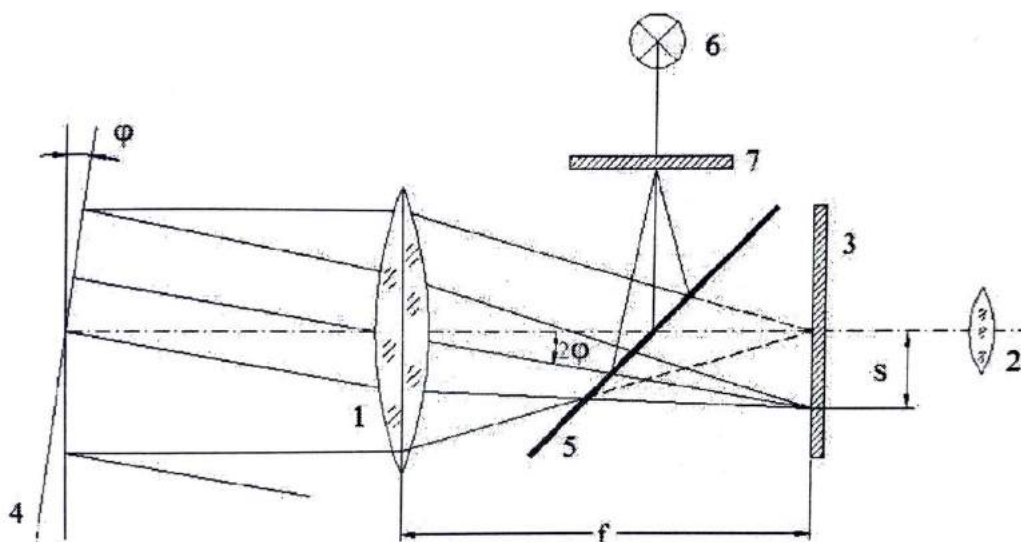


Figura 3.11 Traseul razelor în luneta autocolimatoare[3]

Unde 1 – obiectiv, 2 – ocular, 3 – reticulul ocularului, 4 – oglindă deplasabilă, 5 – oglindă semipermeabilă, 6 – sursa de lumină, 7 – fire reticulare

Calculul rotației oglinzii și cercetarea deplasării imaginii s sunt posibile doar dacă luneta are în componență un micrometru ocular, sau dacă reticulul prezintă o scală orizontală/verticală:

$$\varphi = \frac{s}{2f}$$

Unde φ – unghiul de rotație al oglinzii (radiani)

s – deplasarea imaginii reticulului proiectat față de reticulul lunetei

f – distanța focală a obiectivului

[3]

Există acum autocolimatoare moderne, electronice, care pentru determinarea poziției imaginii reticulului iluminat utilizează un senzor liniar CCD (Charged Coupled Device).[3]

În funcție de precizia de măsurare a deplasării imaginii și de distanța focală a lunetei se va determina precizia de măsurare cu ajutorul acestui tip de tehnologie.

3.6.2. Ocular autocolimator

Se utilizează la proiectarea imaginii la lunetele autocolimatoare în locul reticulului lunetei, fiind fixate direct pe aceasta.

Ca principiu de funcționare, imaginea este direcționată cu ajutorul unui divizor de raze, pe direcția razelor lunetei, astfel că razele întoarse de la oglindă se vor proiecta în planul reticulului, adică în planul focal al obiectivului. [3]

La nivele sau teodolite, echiparea cu ocular autocolimator este considerat un avantaj deosebit la lucrările de măsurători din diferite industrii, domeniul de măsurare fiind extins puternic față de cel al lunetei datorită cercurilor orizontal și/sau vertical. [3]

3.6.3. Verificarea rectiliniarității

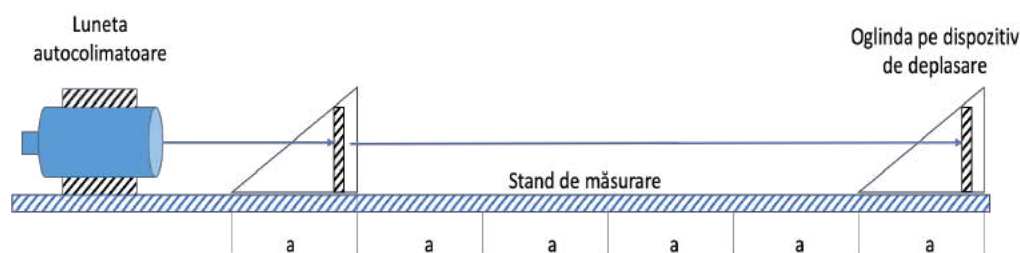


Figura 3.12 a) Verificarea liniarității cu luneta autocolimatoare

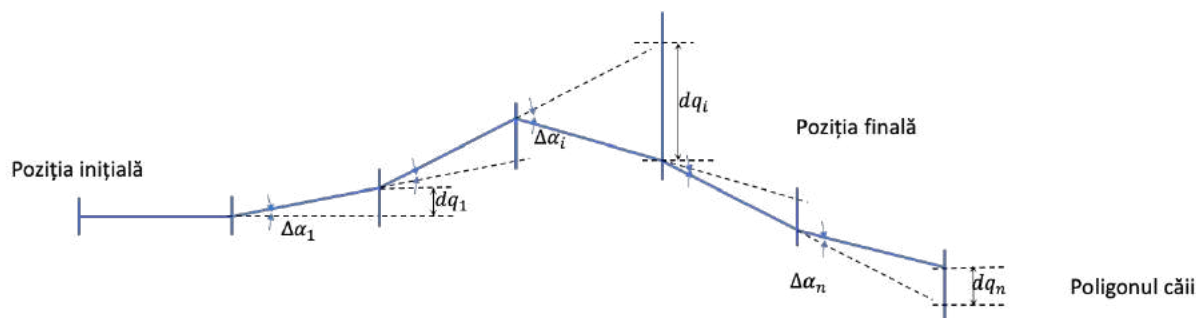


Figura 3.12 b) Verificarea liniarității cu luneta autocolimatoare

Liniaritatea unui stand de măsurare se controlează prin deplasarea unei oglinzi, doar în lungul standului, la distanțe prestabilite, astfel fiind nevoie ca oglinda să fie fixată pe un dispozitiv care determină poziționarea altimetrică cu ajutorul a trei puncte, dintre care două se vor poziționa pe direcția de măsurare la distanța a . Unghiurile orizontale și verticale (α_0) de rotire a normalei la oglindă față de axa lunetei se măsoară în poziția inițială a oglinzii, urmând ca unghiurile $\alpha_i \dots \alpha_n$ să fie măsurate în lungul standului în fiecare poziție prestabilită, inclusiv în poziția finală. [3]

Modificările de direcții în lungul căii de măsurare sunt stabilite cu ajutorul modificărilor unghiulare $\Delta\alpha_i = (\alpha_i - \alpha_{i-1})$. Aceste modificări de direcții în lungul căii de măsurare, prin intermediul distanței a dintre punctele de sprijin vor fi transformate în modificări de formă. Conform figurii prezentate, devierile de poziție succesive ale dispozitivului: $dq = a \cdot \Delta\alpha$. [3]

3.6.4. Studiul perpendicularității a două suprafețe

Sistemul cu prismă pentagonală prezentat în Figura 3.13 se utilizează în situațiile când se impune cercetarea caracterului rectiliniu a două suprafețe dispuse una față de alta într-un unghi de 90° și bineînțeles, a exactității aceluia unghi.

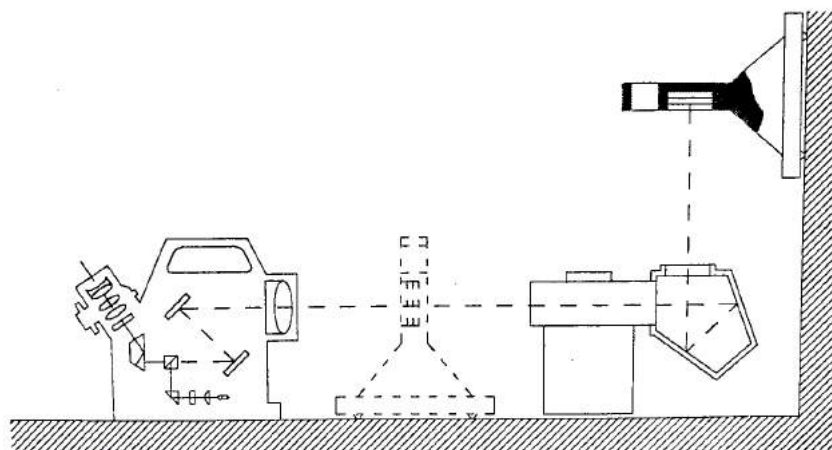


Figura 3.13 Verificarea perpendicularității a două suprafețe cu ajutorul prisme pentagonale[3]

Prima acțiune la care se procedează, este verificarea caracterului rectiliniu al suprafeței orizontale, aceasta excutându-se în mod normal cu o oglindă palpatoare, citirile fiind continuate fără deplasarea autocolimatorului, inclusiv pe partea verticală, prin interpunerea în colțul format de cele două suprafețe a unei prisme pentagonale, măsurătorile având loc la fel ca în cazul suprafețelor orizontale.[3]

3.7.Măsurători cu fire de invar

Măsurătorile efectuate utilizând fire de invar, se pretează la determinarea modificărilor relative ale lungimilor din domeniul metrilor dintre două puncte.

Două dintre cele mai importante și relevante tehnologii din acest domeniu care au la bază acest principiu sunt:

3.7.1.Distometrul ISETH

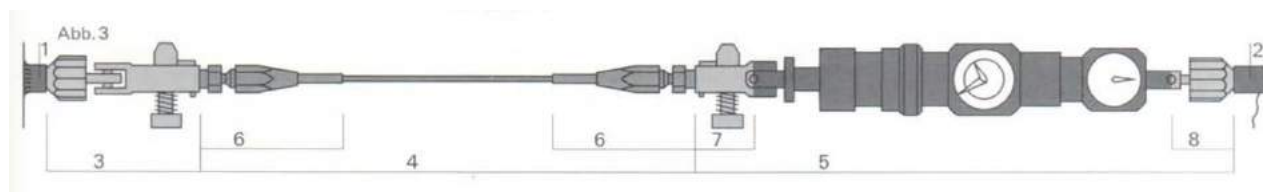


Figura 3.14 Componentele sistemului [17]

Unde 1 – Bolț de măsurare sudat, 2 – Bolț de măsurare betonat, 3 – Articulație de racordare cu șurub opritor pentru cuplarea firului de invar, 4 – Fir invar, 5 – Distometru, 6 – Racord fir invar, 7 – Șurub opritor pentru cuplarea firului la distometru, 8 – Racord distometru

Acest instrument este produs de Kern Aarau (Swiss), iar ceasul de măsurare al instrumentului se pretează pentru domenii de măsurare mici. Aparatul se utilizează și solitar, însă este foarte întâlnit ca o componentă a altor sisteme. [3], [17]

Date tehnice esențiale:

- Lungime fir invar: 1-50 m
- Lungimea maximă măsurabilă a modificării lungimilor: 100 mm

- Precizia:

- Fir ≤ 20 m : 0,02 mm
- Fir > 20 m : $1 \cdot 10^{-6} \cdot l$, unde l – lungimea firului

3.7.2. Distinvar

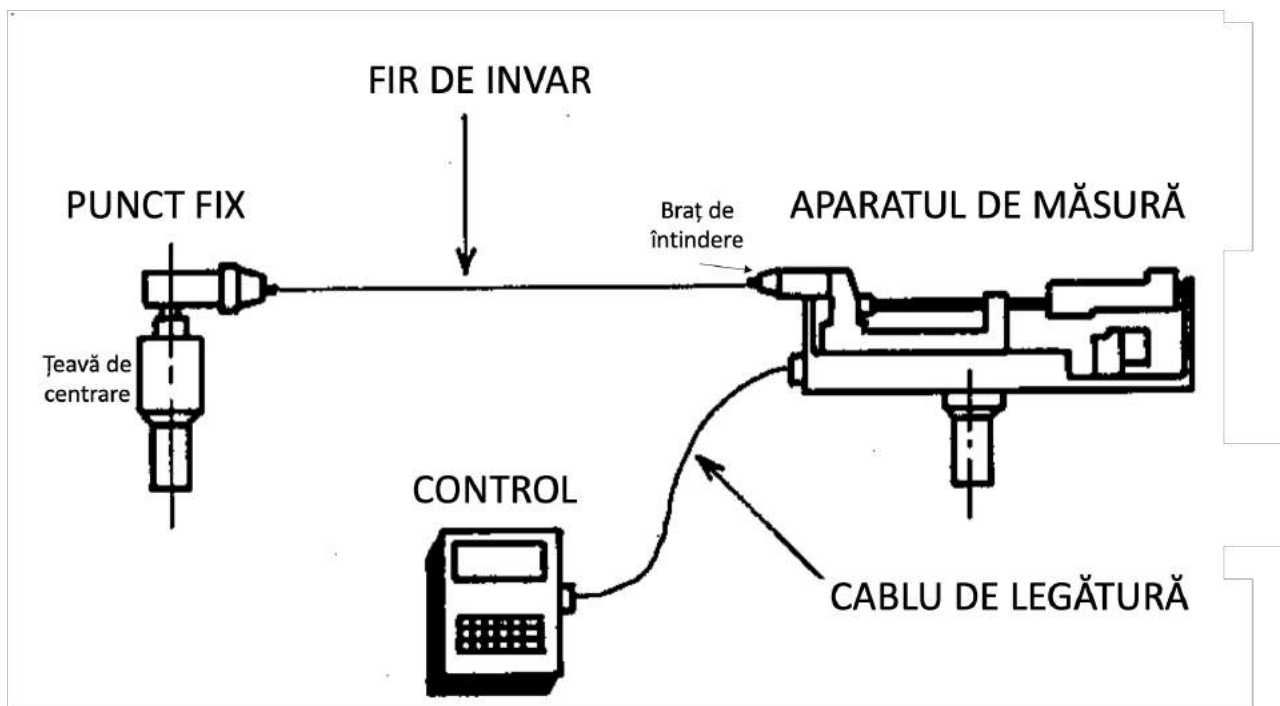


Figura 3.15 Principiul de măsurare cu Distinvar [18]

În cadrul acestei tehnologii produse de CERN (Geneva), dispozitivul este montat într-o țeavă de centrare în loc de bolț, iar tensiunea de întindere este produsă de un braț. De asemenea poziția aceluia braț este definită foto-electric, în timp ce întregul aparat este coordonat pe baza structurii sale într-un interval de 50 mm de un servo-motor, astfel încât să se obțină cea mai optimă poziționare a brațului.[3], [18]

Ca dezavantaj în comparație cu distometrul prezentat anterior, tehnologia se pretează doar la măsurători orizontale sau foarte apropiate de orizontală.

În schimb diferența majoră și totodată avantajul semnificativ comparativ cu tehnologia ISETH de mai sus, constă în posibilitatea automatizării măsurărilor (lucrărilor) datorită principiului constructiv, cu acționare electrică. [3], [18]

Precizia, este superioară instrumentului ISETH prezentat anterior, fiind cu 0,02 mm mai mare.

3.8. Senzori din fibră optică

Utilizarea acestora este întâlnită la mai toate lucrările de urmărire a comportării în timp a structurilor care necesită precizii deosebit de ridicate la execuție. Există mai multe tipuri de senzori.

3.8.1. Extensometrul optic

Modurile în care este folosit sunt diverse, putând fi montat de exemplu pe structuri din lemn, sau din metal, sau poate fi aplicat în domeniul înregistrărilor statice sau dinamice, sau la înregistrarea crăpăturilor.

Transformarea variațiilor mecanice înregistrate de instrument, în semnale optice se realizează prin intermediul unui senzor, lucru care permite astfel ca măsurătorile să se desfășoare atât în regim dinamic cât și static. [7]

3.8.2. Senzor cu răspuns DA sau NU

Se regăsește la măsurătorile de control asupra fisurilor de maxim 4 mm, fiind întâlnit însă și în cazul supravegherii bombărilor sau săgeților. [7]

Modificările distanțelor dintre două puncte sunt semnalate doar în momentul în care limita setată este depășită, de aici primind și numele (Da sau Nu).



Figura 3.16 Senzor DA sau NU[7]

3.8.3. Surveillance d'Ouvrage par Fiber Optique (SOFO)

Dezvoltat pentru a servi la monitorizarea structurilor din beton/beton armat, încă din primele ore de după turnare.

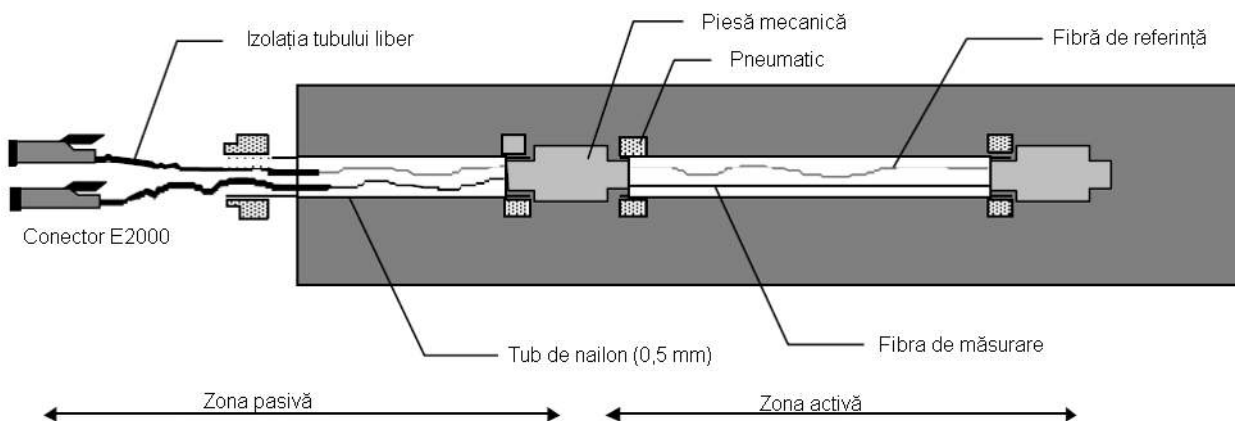


Figura 3.17 Schema funcțională a senzorului [16]

Principiul de construire al senzorului a fost gândit în așa fel încât să permită fixarea cât mai rapidă pe obiectiv, pentru determinarea deplasărilor dintre două puncte. Pentru acest lucru, senzorul prezintă o pereche de fibre monomodale, dintre care una pretensionată între punctele de ancorare în vederea definirii alungirii (scurtării) și una liberă. Acestea sunt montate pe obiectiv, una în contact direct cu structura (fibra de măsurare) și cealaltă montată paralel (fibra de referință). Un tub de nailon le asigură protecția, la unul dintre capete prezentând fațete argintate, iar la celălalt, conectori pentru unitatea de legătură. [16]

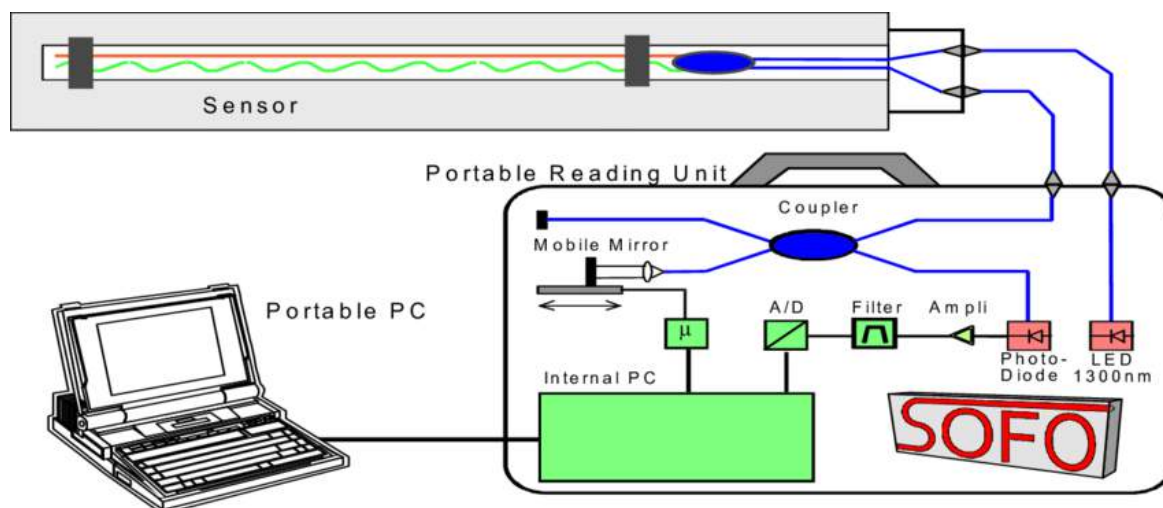


Figura 3.18 Principiul de funcționare al Sistemului [16]

Prin utilizarea unui interferometru dublu Michelson, cu primul interferometru montat pe obiectiv și al doilea fixat în unitatea de citire portabilă, se vor putea calcula deformațiile și/sau deplasările construcției conform diferenței dintre lungimile celor două fibre optice, astfel fiind posibilă citirea mai multor perechi de fibre montate pe diferite construcții folosind o singură unitate de citire. [16]

3.9.Clinometre și nivele electronice

Parametri precum planeitatea, rectiliniaritatea, unghiuri, sau diferențe de nivel pot fi determinați cu precizii diferite în funcție de domeniu de utilizare (atât în industria civilă sau maritimă, cât și în inginerie de producție) sau sistemul utilizat prin intermediul nivelelor electronice sau a clinometrelor.

3.9.1.Clinometre

Principiile de construire diferă în funcție de domeniul de utilizare, sau, în cazul pieselor utilajelor chiar și în funcție de dimensiunile pieselor pentru care se determină măsurile unghiurilor.

Dacă discutăm despre măsurători de unghiuri ale unor piese de mici dimensiuni, se va utiliza de exemplu un clinometru micro-optic de precizie ridicată precum TB100, care prezintă un cerc de sticlă cu diviziuni, fixat pe un ax legat la un rulment de precizie. Pentru referința orizontală, o nivelă torică a fost încorporată la capătul axului. Precizia pentru citirile directe este de $10''$, în timp ce pentru citiri cu micrometru poate ajunge și la $2''$. [7]



Figura 3.19 Micrometrul TB100

În timp, tehnologia a evoluat, astfel au apărut clinometrele digitale, care sunt utile la măsurarea unghiurilor la suprefețe extinse cu precizii ridicate. Acestea sunt construite astfel încât să ofere valori relative sau absolute, având un soft încorporat pentru calibrare care face posibilă citirea directă de până la 4^{cc} a unghiurilor între -45^g și $+45^g$



Figura 3.20 Clinometru digital[19]

Un instrument de tip clinometru utilizat în domenii mari de măsurători, la construcții precum baraje sau diguri, este cel introdus în tuburi montate pe obiectiv sau în interiorul acestuia.

Principiul de măsurare constă în lansarea clinometrului în tub, urmând ca pe parcursul extragerii să se execute citiri la poziții stabilite anterior, valorile mărimilor unghiulare determinate precis fiind transformate în mărimi liniare. [7]



Figura 3.21 Clinometru Digitilt

3.9.2. Nivele electronice

Un model reprezentativ și actual de nivelă electronică este produsă de compania Taylor Hobson și se intitulează Talyvel 6.

Aceasta își găsește întrebuințare la studiul planeității (ex: mese de măsurare), la verificarea rectiliniarității (ex: căi de rulare a roboților industriali) și la monitorizarea cotelor absolute ale unor suporturi (detectarea deplasărilor de la nivelul de referință) [20], [21]



Figura 3.22 Nivelă electronică Talyvel (Taylor Hobson) [21]

3.10. Senzori de înclinare

Există senzori optici, mecanici sau electronici de înclinare, utilizați la urmărirea comportării în timp a structurilor înalte și nu în ultimul rând la verificarea pilaștrilor pentru măsurători.

Dintre multiplele companii care produc astfel de senzori, unul dintre cele mai răspândite modele aparține firmei Leica fiind numit simplu Nivel220. [26]

Modelul face parte din cea mai nouă categorie de senzori, care îmbină două moduri de construire, fiind dezvoltat pe principiul optico-electronic.

Și acest model, dar și la mod general, tipul acesta de senzori ating precizii extrem de ridicate, cu o rezoluție de până la 0,001 mrad în vederea măsurării direcției de înclinare, a înclinării în două direcții sau a temperaturii, un avantaj major pe lângă acestea fiind reprezentat și de modul de transmitere a datelor, în timp real, către un instrument care utilizează tehnologia GNSS sau către un software de prelucrare a observațiilor de monitorizare. [7], [26]



Figura 3.23 Leica Nivel220 [26]

3.11. Măsurarea crăpăturilor

Echipantele tehnologice care pot fi utilizate la monitorizarea crăpăturilor sau fisurilor sunt:

- Lupe pentru măsurarea fisurilor



Figura 3.24 Lupa cu iluminare Elcometer 137 [25]

- Riglă mobilă pentru măsurarea crăpăturilor: Acest dispozitiv reprezintă varianta economică la microscopul pentru determinarea lărimii crăpăturilor din beton sau alte materiale de construcții. De dimensiunea unui card de credit, acest dispozitiv transparent este marcat cu o scală gradată. Fiecare linie reprezintă o anumită lățime a unei crăpături. [7]



Figura 3.25 Riglă mobilă Elcometer 143 [7], 27]

- Rigle fixe montate cu adezivi pe zona afectată

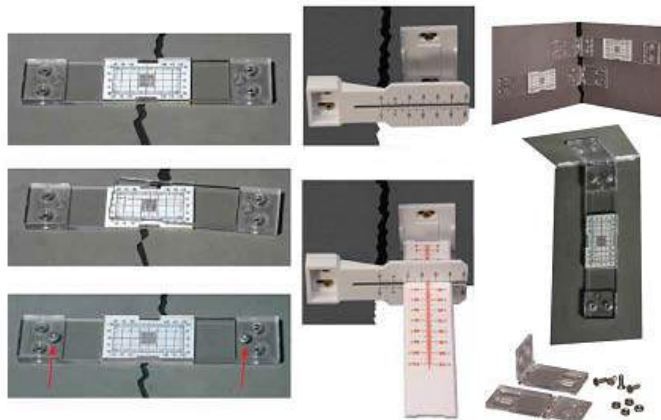


Figura 3.26 Rigle fixe [7]

4.CONCLUZII

În acest raport, s-a urmărit cercetarea unor aspecte legate de evoluția tehnicilor utilizate la monitorizarea construcțiilor și utilajelor, acestea din urmă fiind definite în partea introductivă a lucrării.

Așadar, în prima parte, după încadrarea temei în domeniul legislativ și definirea noțiunilor de bază, s-au abordat tehnicile clasice de urmărire a comportării în timp a construcțiilor și/sau utilajelor.

După cum se poate observa, în capitolul secund, metodele clasice de măsurare a deplasărilor și/sau deformațiilor, sunt clasificate în funcție de natura modificărilor de poziție urmărite, astfel se constată că deplasările sau deformațiile orizontale sunt cercetate folosind în general trei tehnici.

În primă fază s-a discutat despre metoda trigonometrică, urmată de tehnica măsurătorilor în aliniament, aici fiind atinse și noțiuni referitoare la domeniul apropiat, subcapitolul fiind încheiat de metoda poligonometrică.

Sesizarea modificărilor de poziție în plan vertical, a scos în evidență utilizarea unor tehnici diferite, aici cercetându-se metodele de nivelment, trigonometric, geometric și hidrostatic.

În cadrul capitolului al treilea, s-a propus un studiu asupra evoluției atât a tehnologiilor, cât și a tehnicilor pentru monitorizare, astfel au fost evidențiate metoda fotogrametrică, determinările GNSS, metoda Reflectorless, interferometria RADAR, aliniamentele LASER de precizie, metoda autocolimației, măsurătorile cu fire de invar, senzorii din fibră optică, clinometrele, nivelele electronice, senzorii de înclinare și aparatura simplă pentru măsurarea crăpăturilor.

Efectuând atât o examinare retrospectivă punctuală, dar și un studiu comparativ asupra metodelor analizate, se constată următoarele:

- Metoda fotogrametrică, deși odată cu evoluția tehnologiei a ajuns să ofere precizii satisfăcătoare în poziționarea tridimensională, totodată devenind și mult mai accesibilă față de anii de început, pusă în balanță cu metodele terestre utilizate la monitorizare, prezintă minusuri substanțiale, astfel fiind indicată mai mult urmării obiectivelor cu suprafețe mari, la care nesiguranța în măsurare nu este atât de strictă.
- Măsurarea modificărilor de poziție ale punctelor de urmărit cu ajutorul tehnologiei GNSS intră în comparație directă cu metodele clasice de determinare a deplasărilor orizontale, verticale sau spațiale; concluziile care se trag din această comparație, fiind că, pentru monitorizarea planimetrică, cele două abordări, se regăsesc în același domeniu de precizie dacă se procedează la urmărirea construcțiilor, fiind astfel clară opțiunea alegerii tehnicii care utilizează tehnologia GNSS datorită timpului de lucru mult mai scăzut atât în ceea ce privește achiziția datelor, dar și în prelucrarea acestora. În schimb, în cadrul lucrărilor de verificare a deplasărilor verticale la construcții, nivelul de precizie atins de aparatura GNSS este net

inferior celui geometric fiind aproximativ același cu cel al metodei nivelmentului trigonometric.

- Pentru deplasările în plan vertical este așadar recomandat, conform celor notate mai sus, a fi cercetate, în special în domeniul industrial, prin intermediul nivelmentului geometric, care pune la dispoziție precizii de până la 0,05 mm la o distanță de maxim 15 m, sau cu ajutorul nivelmentului hidrostatic, avantajul major pe care acesta îl posedă comparativ cu cel geometric constând în posibilitatea automatizării lucrărilor, apărută odată cu dezvoltarea unor tehnici electro-optice, fiind în domeniul apropiat și mult mai exact, având precizii încadrate în domeniul micrometrilor.
- Pe de altă parte, referitor la concluziile prezentate anterior, pentru monitorizarea și verificarea sistematică a deplasărilor în plan orizontal a utilajelor (în industrie), cele mai frecvent întâlnite metode, sunt cele care au la bază aliniamentele, astfel că instrumentele clasice precum luneta de aliniament, se pretează foarte bine și la alinierea și verificarea sistematică a ghidajelor, la măsurători de liniaritate în industria constructoare de aparatură, sau la cercetarea încărcării fundațiilor din construcția de mașini. Se poate spune însă, că poate cele mai echilibrate și moderne sisteme care se pot utiliza la aliniamentele de precizie sunt cele LASER care pun la dispoziție mijloace de observare sistematică rapide, portabile, precizii de ordinul micronilor și probabil cel mai important aspect, adaptabilitate crescută la mediul de lucru, utilizarea acestora fiind extrem de puțin influențată de diferențele de temperatură de pe obiectiv sau din atmosferă.
- Metoda Reflectorless prezintă numeroase avantaje față de metodele clasice de verificare a alterării pozițiilor punctelor specifice ale unei structuri, avantaje semnificative cum ar fi: costurile micșorate substanțial datorită neimpunerii utilizării țintelor, timpul de măsurare redus considerabil odată cu automatizarea procesului de vizare, posibilitatea observării unor puncte inaccesibile montării prismelor și evitarea problemelor de reflectivitate a țintelor care apar datorită perioadelor lungi pe parcursul cărora se defășoară măsurătorile. Condiționarea deosebit de importantă care apare în cadrul acestui procedeu este reprezentată de cunoașterea anterior măsurătorilor a direcțiilor de deplasare. Sunt definite ca mărimi determinabile, deplasările pe axa X , în lungul axei de vizare, astfel, impunându-se în cazul în care deplasarea punctului se petrece și pe axa Y (perpendicular pe axa de vizare), ori folosirea unei metode clasice simultan cu cea fără reflector, ori măsurarea din două stații, care vor înregistra separat modificări de poziție pe direcția X , respectiv Y .
- Pentru determinarea extraordinar de precisă (în domeniul submilimetric) a oscilațiilor sau deformațiilor unor obiective, opțiunea cea mai recomandată este interferometria RADAR, cu mențiunea că sistemul prezentat, deși se situează în vârful ierarhiei producătorilor, datorită

principiului constructiv se poate utiliza la monitorizarea statică sau dinamică doar 1D (1 dimensiune), pe distanțe ce nu depășesc 1 km; în schimb un plus al acestuia este constituit de posibilitatea urmăririi unei multitudini de puncte, simultan, cu frecvențe de până la 200 Hz.

- Nu în ultimul rând se menționează că aparatura de măsură și control, nu doar că vine în sprijinul instrumentelor și tehnicilor de bază, ci uneori o poate și înlocui, astfel că, senzorii din fibră optică precum extensometrele optice, sau întregul sistem SOFO, senzorii de înclinare, măsurătorile cu fire de invar, clinometrele, nivelele electronice, sau poate chiar și aparatura simplistă de definire a crăpăturilor, se utilizează cu rezultate deosebit de bune în multe lucrări de monitorizare, oferind în funcție de principiul constructiv al fiecărei tehnologii, opțiunea de automatizare și nesiguranțe de măsurare mici, ceea ce duce la un timp și volum de muncă scăzut, păstrându-se totodată calitatea lucrului.

BIBLIOGRAFIE

- 1) **Coșarcă C.** – „Sisteme de măsurare în industrie” – Editura Conspress, București, 2009

- 2) **Dabija A.** – „Contribuții privind analiza deformațiilor” – Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2018
- 3) **Dragomir P. I. , Clinci T. S.** – „Tehnici de măsurare și poziționare în domeniul apropiat” – Editura Conspress, București, 2014
- 4) **Ghițău D.** – „Geodezie și gravimetrie geodezică” – Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
- 5) **Moldoveanu C.** – „Geodezie. Noțiuni de geodezie fizică și elipsoidală, poziționare” – Editura MatrixRom, București, 2002
- 6) **Neamțu M. , Neuner J. , Onose D.** – „Măsurarea topografică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor” – Institutul de Construcții București, 1988
- 7) **Negrilă A.** – „Contribuții la perfecționarea tehnologiilor geodezice de achiziție, prelucrare și interpretare a datelor spațiale în zone de hazard și risc” – Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2013
- 8) **Neuner J.** – „Senzori - Tehnici de măsurare și prelucrare” – Note de curs, Facultatea de Geodezie, Universitatea Tehnică de Construcții București
- 9) **Nistor G.** – „Geodezie aplicată la studiul construcțiilor” – Editura Gheorghe Asachi, Iași, 1993
- 10) **Onose D.** – „Urmărirea comportării construcțiilor” - Note de curs, Facultatea de Geodezie, Universitatea Tehnică de Construcții București
- 11) **Ortelecan M. , Pop N.** – „Metode topografice de urmărire a comportării construcțiilor și terenurilor înconjurătoare” – Editura AcademicPres, Cluj-Napoca, 2005
- 12) **Palamariu M. , Popa A.** – „Urmărirea comportării terenurilor și construcțiilor” – Editura Risoprint, Cluj-Napoca, 2009
- 13) **Rădulescu A. T. G. M. , Rădulescu G. M. T.** – „Urmărirea comportării terenurilor și a construcțiilor, Metode, Tehnologii și Instrumente” – Editura UTPress, Cluj-Napoca, 2017
- 14) **Sărăcin A. , Negrilă A. , Clinci T.** – „Posibilități de monitorizare a construcțiilor, utilizând interferometria radar terestră”
- 15) **Trifan A.** – „Contribuții în domeniul analizei deformațiilor și deplasărilor construcțiilor și terenurilor” – Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2014
- 16) **Inaudi D., Casanova N., Vurpillot S., Kronenberg P., Martinola G., Steinmann G., Mathier.** – „SOFO:Structural Monitoring with Fiber Optic Sensors” – FIB, „Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures”, Vienna, Austria, 12-13.12.1999

Web:

- 17) https://www.kern-aarau.ch/fileadmin/user_upload/Aldo/Prospekte/Distometer_ISETH.pdf

- 18) <https://lib-extopc.kek.jp/preprints/PDF/1984/8409/8409279.pdf>
- 19) https://www.hahn-kolb.net/Toate-categoriile/Clinometru-electronic/5521CL04_0316150403.cyid/5521.cgid/ro/RO/EUR/
- 20) <https://pdf.directindustry.com/pdf/taylor-hobson/talyvel-5-electronic-levels/7159-390745.html>
- 21) <https://www.taylor-hobson.com/products/alignment-level/electronic-levels-and-clinometers/talyvel-6-electronic-levels>
- 22) <https://www.dji.com/phantom-4-rtk/info#specs>
- 23) <https://idsgeoradar.com/products/interferometric-radar/ibis-fs>
- 24) <https://www.datrex.com/product/echomax-trihedral-corner-reflector/>
- 25) <https://roctest.com/wp-content/uploads/2017/01/c33.pdf>
- 26) https://leica-geosystems.com/products/levels/leica-nivel210_220
- 27) <https://www.elcometer.com/en>
- 28) <https://wingtra.com/fixed-wing-drones-the-evolution/>

Legislație:

- 29) Stas 10493-76 din 1 Ianuarie 1976
- 30) Legea nr. 8 din Iulie 1977
- 31) Stas 2745-90 din 1 Martie 1990
- 32) Ordonanța Guvernamentală nr. 25 din 24 August 1992
- 33) Legea nr. 10/1995 consolidată în 2007
- 34) Hotărârea de Guvern nr. 766 din 21 Noiembrie 1997
- 35) Stas 016-97
- 36) Normativ P 130-1999
- 37) Legea nr. 123 din 5 Mai 2007
- 38) Hotărârea de Guvern nr. 1231 din 2008