



Adrian Traian G.M. Rădulescu
Gheorghe M.T. Rădulescu

URMĂRIREA COMPORTARII TERENURILOR ȘI A CONSTRUCȚIILOR

Metode, Tehnologii și Instrumente

UTPRESS
Cluj-Napoca, 2017

ISBN 978-606-737-238-0



Editura U.T.PRESS
Str.Observatorului nr. 34
C.P.42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca
Tel.:0264-401.999 / Fax: 0264 - 430.408
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
www.utcluj.ro/editura

Director: Ing. Călin D. Câmpean

Recenzia: Prof.dr.ing. Mircea Ortelecan
Conf.dr.ing. Ovidiu Ștefan

Copyright © 2017 Editura U.T.PRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-238-0

URMĂRIREA COMPORTĂRII TERENURILOR ȘI A CONSTRUCȚIILOR

Metode, Tehnologii și Instrumente

Prefață

Prezenta lucrare are la bază tezele de doctorat ale celor doi autori, realizate în domeniul urmării comportării în timp a terenurilor și a construcțiilor, cu particularizare pentru primul autor în domeniul monitorizării fenomenului de subsidență și a construcțiilor foarte înalte pentru cel de al doilea autor.

Pornind de la aceste materiale, autorii au consultat o mare parte din lucrările definitorii din domeniu, realizate la nivel mondial și național având ca autori cei mai consacrați autori, respectiv W. Aziz, M. Celebi, A. Chrzanowski, P. Cross, B. Glisic, D. Inaudi, S. Miloshev, C. Ogaja, G.W. Roberst, C. Tarnovschi, W. Zill, sau M.A. Zulkarnain sau din țară H. Bendea, C. Coșarcă, N. Cristescu, N. Dima, P.I. Dragomir, D. Ghițău, C. Grecea, O. Herbei, M. Neamțu, J. Neuner, G. Nistor, D. Onose, M. Ortelecan, N. Pop, C. Păunescu, V. Ursea, E. Ulea sau I. Vereș. Autorii au valorificat, în cadrul acestui manuscris și lucrările publicate la diferite conferințe desfășurate în țară sau străinătate sau în diferite publicații de specialitate.

A rezultat un manual universitar actual și extrem de documentat, care acoperă partea de metode, tehnologii și instrumente a cursului Urmărirea comportării terenurilor și a construcțiilor predat studenților anului IV ai specializării Măsurători terestre și Cadastru, Facultatea de Construcții din cadrul Universității Tehnice din Cluj Napoca.

Manualul poate fi util și studenților de la alte specializări ale facultății care doresc să se informeze sau să se specializeze în domeniul monitorizării structurale completând astfel partea de structură a domeniului Structural Health Monitoring cu partea geometrică acoperită parțial (metode, tehnologii și instrumente) de această lucrare.

Manualul poate fi utilizat și de toți cei care activează în domeniile Monitorizării structurale, aducând o actualizare a informațiilor privind disponibilitățile metodologice și instrumentale existente în prezent la nivel mondial în domeniu.

O parte din lucrările trecute în bibliografie au fost citate direct în lucrare, prin citarea numărului referinței bibliografice, deoarece citarea numelor autorilor și a anului publicării ar fi ocupat un spațiu important, mai ales în cazul paragrafelor care au la baza informații preluate de la mai mulți autori, de exemplu subcapitolul 6.9. a rezultat prin documentarea având la origine peste 25 de lucrări.

O parte din lucrările citate în bibliografie nu au fost citate direct, consultarea acestora, autorii fiind cei mai recunoscuți specialiști din domeniu, menționați anterior, a avut ca rezultat modalitatea de structurare a lucrării și de abordare a conținutului acesteia, fiind extrem de dificil de cuantificat în ce măsură o lucrare a influențat mai mult sau mai puțin în construcția prezentului manual.

Autorii au folosit de asemenea informații furnizate de prospectele de producător sau operator ale celor mai importanți competitori din domeniu.

Autorii

dr.ing. Adrian Traian G.M. Rădulescu

dr.ing.mat. Gheorghe M.T. Rădulescu, profesor emerit

CUPRINS

| | Pag. |
|---|-------------|
| 1. Noțiuni de bază în urmărirea comportării în timp a construcțiilor și a terenurilor | 1 |
| 1.1. Cadrul general în care se desfășoară activitatea de urmărire și analiză a deformațiilor terenurilor și a construcțiilor | 1 |
| 1.2. Principalele reglementări din domeniu, sinteze ale paragrafelor semnificative | 1 |
| 1.3. Bazele teoretice și practice ale Urmăririi comportării în timp a construcțiilor | 3 |
| 1.4. Organizarea lucrărilor topografice la urmărirea comportării în timp a construcțiilor | 5 |
| 1.5. Condiții pentru realizarea cu precizie a măsurătorilor topografice pentru deformare | 7 |
| 1.6. Considerații asupra proiectului topografic al urmăririi comportării în timp | 8 |
| 1.7. Proiectarea schemelor de măsurare | 12 |
| 1.8. Fiabilitatea măsurătorilor | 13 |
| 1.9. Frecvența măsurătorilor | 13 |
| 1.10. Concluzii | 14 |
| 2. Metode clasice utilizate la urmărirea comportării în timp a construcțiilor | 15 |
| 2.1. Observații asupra tasărilor prin metoda nivelmentului geometric | 15 |
| 2.2. Realizarea observațiilor la urmărirea deplasărilor orizontale | 20 |
| 2.3. Instrumente utilizate la măsurătorile de distanțe și unghiuri | 22 |
| 2.4. Sisteme de aliniament cu laser | 26 |
| 2.5. Tehnologia optică la monitorizarea structurilor | 28 |
| 2.6. Măsurători de extensie și de deformație | 29 |
| 2.7. Măsurători de înclinare și de deviere | 30 |
| 2.8. Limitele fotogrammetriei terestre de tip clasic | 31 |
| 2.9. Monitorizarea și vizualizarea deplasărilor de tip “subsidență” prin utilizarea fotogrammetriei digitale terestre | 34 |
| 2.10. Sisteme existente de monitorizare a deformărilor construcțiilor miniere de la suprafață și din subteran, analiză sintetică | 35 |
| 2.11. Concluzii | 37 |
| 3. Metode moderne, măsurători în regim cvasidinamic și dinamic la urmărirea comportării în timp a construcțiilor și a terenurilor situate în perimetrele miniere | 38 |
| 3.1. Topografia cinematică-cel mai nou capitol al topografiei | 38 |
| 3.2. Elemente care au stat la baza dezvoltării noilor metode de monitorizare | 43 |
| 3.3. Noi tehnici, aparate, sisteme manager de monitorizare a structurilor în regim dinamic | 44 |
| 3.4. Exemple de sisteme manager de monitorizare a deformațiilor structurilor | 65 |
| 3.5. Concluzii | 67 |
| 4. SOFTWARE-Metode matematice de prelucrare a datelor experimentale, posibilități de interpretare a datelor | 68 |
| 4.1. Softrock solutions - software de monitorizare a alunecărilor de teren sau deplasărilor în plan și de monitorizare pentru industriile minieră și de construcții | 68 |
| 4.2. Sistemul automatizat de monitorizare Softrock | 69 |
| 4.3. Softuri recente de monitorizare a structurilor | 70 |
| 4.4. Aplicații de tip GTILT PLUS | 73 |
| 4.5. Software de comunicare Loggernet | 75 |

| | |
|---|------------|
| 4.6. ESQC Pro | 79 |
| 4.7. Leica Geo Office Software de Supraveghere și Inginerie | 80 |
| 4.8. Conceptul de monitorizare al elementelor structurale finite | 81 |
| 4.9. Concluzii și recomandări privind capitolul 4 | 88 |
| 5. Monitorizarea deformărilor structurale utilizând sisteme de poziționare globală | 89 |
| 5.1. Utilizarea tehnologiei G.N.S.S. la urmărirea comportării în timp a construcțiilor în regim static și cinematic | 89 |
| 5.2. Structura sistemului G.N.S.S. | 91 |
| 5.3. Receptorii G.N.S.S. privind măsurătorile în timp real | 93 |
| 5.4. Proiectarea sistemelor de monitorizare a structurilor prin tehnologie G.N.S.S. | 94 |
| 5.5. Monitorizarea instantanee cu ajutorul G.N.S.S. și analiza deformațiilor pentru înregistrarea comportării structurilor. Modele de măsurare G.N.S.S. | 95 |
| 5.6. Utilizarea G.N.S.S. pentru monitorizarea și măsurarea deplasărilor tridimensionale pe structuri mari | 97 |
| 5.7. O privire de ansamblu asupra software-ului de procesare a datelor G.N.S.S. | 109 |
| 6. Utilizarea fibrelor optice la monitorizarea în regim continuu a structurilor | 111 |
| 6.1. Considerații asupra necesității monitorizării structurilor în timpul nașterii, vieții și morții acestora | 111 |
| 6.2. Structuri noi, construcție și testare; introducerea senzorilor în viața construcțiilor | 112 |
| 6.3. Nevoi noi de monitorizare, înlocuirea sau îmbunătățirea instrumentației convenționale | 113 |
| 6.4. Instrumentație de validare | 114 |
| 6.5. Sensori cu fibre optice Mărimi măsurabile prin metode optice | 115 |
| 6.6. Monitorizarea statică și dinamică a structurilor combinată cu senzori din fibră optică | 121 |
| 6.7. Detectarea inteligentă cu fibre optice | 127 |
| 6.8. Selecția tehnologiei senzoriale | 137 |
| 6.9. Fibre Optice ca senzori intrinseci | 139 |
| 6.10. Evoluția senzorilor de cuplaj local pentru sistemul SOFO de la prima aplicație la producția industrială | 151 |
| 6.11. Analizorul | 155 |
| 6.12. Software FORMOS- SOFO | 155 |
| 6.13. Arhitectura multiplexing | 158 |
| 6.14. Cele mai importante aplicații din cadrul proiectului SAFO | 159 |
| Bibliografie | 167 |

1. Noțiuni de bază în urmărirea comportării în timp a construcțiilor și a terenurilor

1.1. Cadrul general în care se desfășoară activitatea de urmărire și analiză a deformațiilor terenurilor și a construcțiilor (130, 131, 135)

Se constată, că odată intrată în folosință, fiecare structură e supusă tiparelor evolutive de încărcări și alte acțiuni, intensitatea și tipul de solicitare pot fi diferite de cele luate în calcul în faza de proiectare și în multe cazuri pot fi necunoscute atât natura, cât și dimensiunea lor.

Urmărirea comportării în timp a construcțiilor are ca scop furnizarea de informații despre starea reală a unei structuri, observarea evoluției ei și detectarea apariției unor noi degradări.

Urmărirea comportării în timp a terenurilor are ca scop furnizarea de informații despre starea reală a unei suprafețe de teren, observarea evoluției acesteia în plan și spațiu și detectarea apariției unor noi deplasări.

Metodologia de urmărire a comportării actuală, scoasă în evidență de lucrare, permite ca prin tehnologii considerate în prezent clasice, de natură geomatică sau/și prin instalarea unui număr de senzori, măsurarea parametrilor relevanți pentru condițiile structurale sau ale terenurilor și a altor parametri importanți din mediu, e posibil să obținem o imagine a stării și evoluției structurii sau a terenurilor.

Este interesant de constatat că urmărirea tasărilor cu precizii milimetrice se făcea în Canada acum mai bine de o sută de ani, astfel că acum se pot compara rezultatele de atunci cu cele obținute în vremuri mai apropiate. Până în anii 1975 urmărirea deplasării terenului se făcea doar prin metode geodezice convenționale cu măsurarea unghiului și distanței. În această perioadă se introduc senzorii în măsurare. Ideea era că având în vedere condițiile extrem de severe (temperaturi sub minus 40 de grade, vânturi puternice, precipitații) măsurătorile clasice pe de o parte erau foarte greu de efectuat, pe de altă parte având în vedere condițiile în care s-au efectuat rezultatele erau irelevante, sau cel puțin trebuiau certificate prin metode mai puțin dependente de condițiile climatice. Anii 1990 aduc în discuție utilizarea sistemelor GPS, primele aplicații în minerit fiind tot în Canada.

Specialistul care răspunde de urmărirea construcțiilor și a terenurilor trebuie să cunoască predicțiile privind viitorul mișcărilor suprafeței datorită efectului factorilor de acțiune. Astfel, pe de o parte va putea valida rezultatele obținute iar pe de altă parte poate semnală eventualele abateri de la regulile de deplasare prognozate.

Urmărirea curentă este o activitate de monitorizare a comportării construcțiilor care constă din observarea și înregistrarea unor aspecte, fenomene și parametri ce pot semnală modificări ale capacității construcției de a îndeplini cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate stabilite prin proiecte.

Urmărirea specială, este o activitate de urmărire a comportării construcțiilor care constă din măsurarea, înregistrarea, prelucrarea și interpretarea sistematică a valorilor parametrilor ce definesc măsura în care construcțiile își mențin cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate stabilite prin proiecte.

1.2. Principalele reglementări din domeniu, sinteze ale paragrafelor semnificative

a. Legea nr. 8/1977, Legea 8/1977 transformată în Legea 10/1995 privind calitatea în construcții (187).

Legea nr. 8/1977 apărută după catastrofalul cutremur care a avut loc în țara noastră în data de 4 martie 1977, privind durabilitatea, siguranța în exploatare, funcționabilitatea construcțiilor stabile, printre altele, obligativitatea urmăririi comportării construcțiilor, iar normele metodologice de aplicare a legii și normele privind cuprinsul și modul de întocmire, completare și păstrare a cărții tehnice a construcțiilor detaliau cadrul de desfășurare al acestei activități. Astfel, urmărirea comportării construcțiilor îmbracă două forme organizatorice:

- **urmărirea curentă** a tuturor construcțiilor din țară, prin grija beneficiarilor acestora, cu mijloace de observare/măsurare de uz curent, pe toată durata lor de existență;
- **urmărirea specială** a unor construcții selectate pe anumite criterii, în execuția unor specialiști,

cu mijloace tehnice sofisticate, pe durate de timp determinate de atingerea obiectivelor (187).

b. Prevederile Codului Construcțiilor privind urmărirea comportării în timp a construcțiilor (173)

CAPITOLUL III, Urmărirea comportării în exploatare și intervențiile în timp asupra construcțiilor SECȚIUNEA 1, Dispoziții generale

Art. 278. – Obiectul urmăririi comportării în exploatare a construcțiilor și al intervențiilor în timp este evaluarea stării tehnice a construcțiilor și menținerea aptitudinii la exploatare pe toată durata de existență a acestora.

Art. 279. – Dispozițiile prezentului capitol referitoare la desfășurarea activităților privind urmărirea comportării în exploatare, intervențiile în timp și post-utilizarea construcțiilor, se aplică tuturor categoriilor de construcții și este obligatoriu pentru toate persoanele juridice și persoanele fizice implicate: investitori, proiectanți, executanți, proprietari, administratori, utilizatori.

Art. 280. - Urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor și intervențiile în timp asupra construcțiilor reprezintă acțiuni distincte, complementare, realizate prin grija proprietarului, astfel:

- a) urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor se face în vederea depistării din timp a unor degradări care conduc la diminuarea aptitudinii la exploatare;
- b) intervențiile în timp asupra construcțiilor se fac pentru menținerea sau îmbunătățirea aptitudinii la exploatare.

SECȚIUNEA a 2-a, Urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor

Art. 281. – (1) Urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor cuprinde: urmărirea curentă și urmărirea specială.

(2) 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 rezultatele consemnate ale acestor activități.

Art. 282. - (1) Urmărirea curentă este o activitate sistematică de observare a stării tehnice a construcțiilor, care, corelată cu activitatea de întreținere, are scopul de a menține aptitudinea la exploatare a acestora.

(2) Urmărirea curentă se efectuează, pe toată durata de existență, asupra tuturor construcțiilor.

Art. 283. - (1) Urmărirea curentă se realizează prin examinare vizuală directă și cu mijloace simple de măsurare, în conformitate cu prevederile din cartea tehnică și din reglementările tehnice specifice, pe categorii de lucrări și de construcții.

(2) Activitățile de urmărire curentă se efectuează de către personal propriu sau prin contract cu persoane fizice având pregătire tehnică în construcții, cel puțin de nivel mediu.

Art. 284. - (1) Urmărirea specială cuprinde investigații specifice regulate, periodice, asupra unor parametri ce caracterizează construcția sau anumite părți ale ei, stabiliți din faza de proiectare sau în urma unei expertizări tehnice, precum și pentru construcții aflate în exploatare, cu evoluție periculoasă sau care se află în situații deosebite din punct de vedere al siguranței.

(2) Urmărirea specială se instituie la cererea proprietarului sau a Inspectoratului de Stat în Construcții.

Art. 285. - (1) Urmărirea specială se realizează, pe o perioadă stabilită, pe baza unui proiect sau a unei proceduri specifice, de către personal tehnic de specialitate atestat.

(2) Urmărirea specială nu conduce la întreruperea efectuării urmăririi curente.

Art. 286. - La constatarea, în cursul activităților de urmărire curentă sau specială, a unor situații care depășesc limitele stabilite sau se consideră că pot afecta exploatarea în condiții de siguranță a construcției, proprietarul este obligat să solicite expertizarea tehnică (173).

c. Prevederile Normativului privind activitatea de urmărire a comportării în timp a construcțiilor care răspunde prevederilor Legii nr. 10/1995 privind calitatea construcțiilor și ale regulamentului privind urmărirea comportării în exploatare, intervențiile în timp și postutilizarea construcțiilor, aprobat prin HGR nr. 766/1997 (195)

Este o componentă a sistemului calității în construcții, cuprinzând următoarele prevederi importante:

- Urmărirea comportării în timp a construcțiilor se desfășoară pe toată perioada de viață a construcției începând cu execuția ei și este o activitate sistematică de culegere și valorificare (prin următoarele modalități: interpretare, avertizare sau alarmare, prevenirea avariilor etc.) a informațiilor rezultate din observare și măsurători asupra unor fenomene și mărimi ce caracterizează proprietățile construcțiilor în procesul de interacțiune cu mediul ambiant și tehnologic.
- Scopul urmăririi comportării în timp a construcțiilor este de a obține informații în vederea asigurării aptitudinii construcțiilor pentru o exploatare normală, evaluarea condițiilor pentru prevenirea incidentelor, accidentelor și avariilor, respectiv diminuarea pagubelor materiale, de pierderi de vieți și de degradare a mediului (natural, social, cultural) cât și obținerea de informații necesare perfecționării activității în construcții(195).

1.3. Bazele teoretice și practice ale urmăririi comportării în timp a construcțiilor (130, 131, 135)

1.3.1. Noțiuni generale

- Sub acțiunea forțelor de greutate a clădirii, din cauza schimbării umidității și temperaturii solului terenului de fundație, cât și din alte cauze, are loc deplasarea particulelor solului.
- Ca rezultat terenul de fundație al construcțiilor se tasează (compactarea solului fără schimbarea structurii), se umflă, se așează (coborîrea straturilor de sol în locurile goale ale rocilor) și se deplasează în direcția orizontală (alunecarea).
- Corespunzător au loc deplasări ale fundațiilor și părților terestre ale clădirilor.
- Deplasările construcțiilor pot fi în plan și pe altitudine.
- Deplasările construcțiilor pe altitudine se numesc tasări, iar în plan alunecări.
- Dacă deplasările diferitor puncte ale construcțiilor sunt egale după mărime și direcție, ele se numesc uniforme, în caz contrar, neuniforme.
- Deplasările neuniforme ale punctelor duc la schimbarea formei și dimensiunilor construcției, deci la deformarea lor.
- Experiența a arătat, că toate clădirile și construcțiile sunt supuse deplasărilor și deformărilor.
- Provoacă deformații și sarcinile variabile, ce acționează asupra, construcțiilor.
- În scopul preîntâmpinării la timp a accidentelor și studierii mai detaliate a cauzelor calității nesatisfăcătoare a construcțiilor, se efectuează observații sistematice asupra deformațiilor și deplasărilor construcțiilor. Pentru atingerea acestui scop în structurile construcțiilor se amplasează aparate și instalații speciale pentru înregistrarea tensiunilor și deplasărilor reciproce ale punctelor construcțiilor.

1.3.2. Clasificarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor

- Deplasarea reprezintă schimbarea poziției unui punct al construcției supusă solicitărilor.
- Deformația reprezintă schimbarea distanței relative dintre punctele construcției supusă solicitărilor.
- Măsurarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor poate avea un caracter relativ sau un caracter absolut.
- Caracterul relativ al măsurătorilor corespunde situației când se măsoară apropierea sau depărtarea a două sau mai multe puncte ale construcției supusă observației.

- Caracterul absolut al măsurătorilor corespunde situației când deplasările punctelor construcției se măsoară în raport cu o serie de repere fixe, amplasate în afara zonei de influență a deformațiilor construcției și terenului de fundare, formînd așa numitul sistem general de referință.
- O construcție supusă unui regim de solicitare determinat de condițiile sale funcționale, poate suferi deplasări și deformații liniare, unghiulare și specifice.

a. Deplasările și deformațiile liniare

- Tasările – deplasările pe verticală în jos ale fundațiilor și al terenului de fundație al construcției. Tasările pot fi – uniforme sau neuniforme – când punctele fundației construcției se deplasează cu valori diferite. Această categorie de deformații nu sunt însoțite de o modificare radicală a structurii terenului.
- Lăsările de teren – aceste deformații au caracter de prăbușire și sunt provocate de modificarea radicală a structurii terenului.
- Bombările sau ridicările care reprezintă deplasări pe verticală în sus ale fundațiilor construcțiilor sau ale fundului gropii săpate pentru fundația unei construcții, ca urmare a modificării echilibrului presiunilor în structura terenului de fundare;
- Săgețile unor elemente de construcții ca: grinzi, stâlpi, plăci, supuse unor încărcări verticale sau orizontale care provoacă încovoierea acestora, axa mediană a pieselor respective îndepărtîndu-se în zona centrală față de poziția inițială cu o valoare maximă denumită săgeată;
- Înclinările se datoresc tasărilor inegale fără violarea integrității construcțiilor și a elementelor geometrice componente ale acestora. În practică se cunoaște o înclinare a construcției și o înclinare a fundației. Înclinarea construcției se caracterizează prin deviația axului ei de la linia verticală și se exprimă prin valoarea liniară, unghiulară sau relativă. Înclinarea fundației reprezintă deviația suprafeței plane a tălpii acesteia de la orizont și se exprimă printr-o mărime liniară sau relativă.
- Denivelările construcțiilor măsurate prin diferențele maxime ale tasărilor neuniforme a câte două reazime vecine raportate la distanța dintre ele.
- Crăpăturile și fisurile care reprezintă rupturi în plane sau în părți separate ale construcției, ca urmare a tasărilor neuniforme și apariției tensiunilor suplimentare;
- Deplasările pe orizontală ale unor elemente ale construcției sau în ansamblul ei, datorită cel mai adesea unor forțe orizontale (împingerea pămîntului, împingerea apei) sau modificării echilibrului terenului de fundare a construcției.

Deformația cea mai frecventă a construcțiilor este tasarea.

- Tasarea uniformă nu influențează asupra stabilității și rigidității construcțiilor, dar atunci când aceste valori sunt importante adică depășesc tasarea finală totală, calculată la proiectarea sau tasarea la un anumit timp, pot să provoace complicații la exploatarea construcției și să contribuie la apariția altor deformații.
- Tasările neuniforme sunt mai periculoase decît cele uniforme și au repercursiuni importante asupra integrității și stabilității construcției.

b. Deplasările și deformațiile unghiulare

- Sunt rotirile elementelor de fundație ale construcțiilor (radiere, blocuri de fundație etc), datorită acțiunii solicitărilor și modificării echilibrului terenului de fundare.
- Aceste rotiri pot avea loc în plan orizontal (răsuciri ale construcției) sau în plan vertical (înclinări ale construcției).
- Determinarea mărimii acestor rotiri se face cu instrumente, aparate și dispozitive avînd o precizie corespunzătoare amplitudinii probabile ale acestora și pot da două categorii de date.
- Mărimi liniare al căror raport permite determinarea tangentei unghiului de rotire.
- Mărimi unghiulare care exprimă unghiul de rotire al elementului de construcție observat.

c. Deformațiile specifice

- Deformațiile specifice sunt alungirile sau scurtările unui element de construcție (piesă de beton armat, armături dintr-o piesă de beton armat, bară metalică etc) sub efectul tensionării sau comprimării elementului respectiv.

1.4. Organizarea lucrărilor topografice la urmărirea comportării în timp a construcțiilor (130, 131, 135)

1.4.1. Principii generale

a. Deformarea structurală.

- Monitorizarea atentă a solicitărilor asupra structurii și a răspunsului primit pot ajuta la determinarea comportamentului anormal al structurii.
- În general, monitorizarea constă din măsurători și inspecții vizuale sau instrumentale conform unui proiect.
- Pentru a facilita monitorizarea structurilor, acestea ar trebui dotate permanent cu instrumentație potrivită și/sau puncte monitorizante conform scopurilor observației, tipului și mărimii structurii și condițiilor de amplasament.

b. Monitorizarea deformărilor pe termen scurt.

- Deformările și observațiile periodice pot varia conform tipului structurii.
- Diferențele dintre materialele de construcție influențează mult modul prin care se deformează structura.
- Deformația permanentă a structurii poate uneori apărea deoarece subsolul se adaptează greutateilor, îmbătrânirii (învechirii) reperului, slăbirii fundației. Asemenea deformări nu sunt considerate nesigure dacă nu depășesc valoarea critică predeterminată. Astfel, observațiile periodice sunt configurate tipic pentru observarea tendințelor de mișcare relative, pentru a include reasezări necorespunzătoare, mișcări verticale sau laterale.
- Metodele convenționale de măsurători clasice topografice (examinare, observație) sau geodezice de la punctele externe și o acuratețe la nivel de $\pm 0,5-2$ mm sunt suficiente pentru a monitoriza aceste tendințe. Stabilirea devierilor relative între blocurile monolit pot include măsurători de fisuri de un nivel de precizie ridicată, de ± 0.25 mm.

c. Monitorizarea deformărilor pe termen lung.

- În funcție de tipul și condiția structurii, sistemele de monitorizare trebuie să fie capabile să măsoare tendințele de mișcare pe termen lung și deformările pe termen scurt.
- Măsurătorile pe termen lung sunt mai complexe datorită caracteristicii lor externe.
- Monitorizarea pe termen lung a unei mișcări a structurii cere în mod normal observații pentru monitorizarea punctelor structurii în raport de puncte de referință externe, denumite în mod curent reperi fiși.
- Aceste puncte de referință externe sunt stabilite într-o zonă stabilă în afara zonei de influență a construcției (construcțiilor) aflate în proces de monitorizare .
- Aceste puncte de referință externe sunt interconectate și au denumirea de rețea de referință (o astfel de rețea este prezentată și în studiul de caz).
- Rețeaua de referință trebuie să fie monitorizată la intervale frecvente pentru a se asigura că aceste puncte nu se deplasează relativ sau absolut (prezentată și în studiul de caz).
- Instrumentele și tehnicile tradiționale de măsurători geodezice pot fi utilizate în monitorizarea stabilității punctelor de referință a rețelei, dar tendința este de a fi înlocuite cu mijloace moderne care operează de la caz la caz , în regim static sau dinamic.

1.4.2. Urmărirea curentă a comportării construcțiilor

- Urmărirea curentă este o activitate de urmărire a comportării construcțiilor care constă din observarea și înregistrarea unor aspecte, fenomene și parametri ce pot semnaliza modificări ale capacității construcției de a îndeplini cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate stabilite prin proiecte.
- Urmărirea curentă a construcțiilor se aplică tuturor construcțiilor de orice categorie sau clasă de importanță și formă de proprietate de pe teritoriul României, cu excepția clădirilor pentru

locuințe cu parter și parter plus un etaj și anexele gospodărești situate în mediul rural și în satele ce aparțin orașelor, precum și construcțiilor provizorii (187) și are un caracter permanent, durata ei coincide cu durata de existență fizică a construcției respective.

- Urmărirea curentă a comportării construcțiilor se efectuează prin examinare vizuală directă și dacă este cazul cu mijloace de măsurare de uz curent permanent sau temporare.
- Urmărirea curentă a comportării construcțiilor se efectuează în conformitate cu instrucțiunile de urmărire curentă a construcțiilor prevăzute în proiectele de execuție.

Instrucțiunile de urmărire curentă a comportării vor cuprinde, în mod obligatoriu, următoarele:

- a. fenomene urmărite prin observații vizuale sau cu dispozitive simple de măsurare;
- b. zonele de observație și punctele de măsurare;
- c. amenajările necesare pentru dispozitivele de măsurare sau observații (nișe, scări de acces, balustrade, platforme etc);
- d. programul de măsurători, prelucrări, interpretări, inclusiv cazurile în care observațiile sau măsurările se fac în afara periodicității stabilite;
- e. modul de înregistrare și păstrare a datelor (ex. fișe, dischete de calculator etc);
- f. modul de prelucrare primară;
- g. modalități de transmitere a datelor pentru interpretarea și luarea de decizii;
- h. responsabilitatea luării de decizii de intervenție;
- i. procedura de atenționare și alarmare a populației susceptibilă de alertată în cazul constatării posibilității sau iminenței producerii unei avarii.

Urmărirea curentă se va efectua la intervale de timp prevăzute prin instrucțiunile de urmărire curentă, dar nu mai rar de o dată pe an și în mod obligatoriu după producerea de evenimente deosebite (seism, inundații, incendii, explozii, alunecări de teren etc).

În cadrul urmăririi curente a construcțiilor, la apariția unor deteriorări ce se consideră că pot afecta rezistența, stabilitatea și durabilitatea construcției proprietarul sau utilizatorul va comanda o inspectare extinsă asupra construcției respective urmată dacă este cazul de o expertiză tehnică.

1.4.3. Urmărirea specială a comportării construcțiilor

Urmărirea specială este o activitate de urmărire a comportării construcțiilor care constă din măsurarea, înregistrarea, prelucrarea și interpretarea sistematică a valorilor parametrilor ce definesc măsura în care construcțiile își mențin cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate stabilite prin proiecte.

Urmărirea specială a comportării construcțiilor se instituie la:

- a) construcții noi de importanță deosebită sau excepțională stabilită prin proiect;
- b) construcții în exploatare cu evoluție periculoasă, recomandată de rezultatele unei expertize tehnice sau a unei inspectări extinse;
- c) cererea proprietarului, a Inspecției de Stat în Construcții sau a organismelor recunoscute de acesta pe domenii de specialitate.

În momentul instituirii urmăririi speciale a comportării construcțiilor aceasta va îngloba și urmărirea curentă. Urmărirea specială a comportării construcțiilor se efectuează cu mijloace de observare și măsurare complexe și specializate, adaptate obiectivelor specifice ale fiecărui caz în parte și ținând seama de prevederile reglementărilor tehnice în vigoare, standarde, normative, instrucțiuni tehnice, ghiduri tehnice. Urmărirea specială a comportării construcțiilor poate fi de scurtă durată sau de lungă durată.

Obiectivele urmăririi speciale a comportării construcțiilor sunt:

- a) asigurarea siguranței și durabilității construcției, prin depistarea la timp a fenomenelor periculoase și a zonelor unde apar;
- b) supravegherea evoluției unor fenomene previzibile, cu posibile efecte nefavorabile asupra aptitudinii în exploatare;

- c) semnalarea operativă a atingerii criteriilor de avertizare sau a valorilor limită date de aparatura de măsură și control;
- d) verificarea eficienței tuturor măsurilor de intervenție aplicate;
- e) verificarea impactului construcției asupra mediului înconjurător;
- f) asigurarea unui volum mare de date sigure și prelucrabile statistic (bancă de date) necesar pentru stabilirea intervalelor valorilor corespunzătoare unei exploatare normale și sigure, în toate situațiile prin care trece construcția, în decursul vieții sale, atât din punct de vedere al solicitărilor cât și al influenței mediului.

Urmărirea specială se efectuează pe baza unui proiect de urmărire specială care va cuprinde următoarele:

- a) denumirea și amplasarea obiectului de construcție;
- b) motivele instituirii urmării speciale;
- c) descrierea lucrării pe scurt (tip de construcție, caracteristici geofolosite, dimensiuni, caracteristici ale condițiilor de fundație și ale mediului etc);
- d) obiectivele urmării speciale (proprietăți), fenomene, mărimi, criterii de apreciere, condiții de calitate, limite de atenționare, avertizare și alarmare etc);
- e) metode de măsurare/determinare și aparatura necesară;
- f) stabilirea concretă a punctelor de măsură, respectiv locul de montaj al aparatelor, plan de amplasare cu cotele de montaj;
- g) condiții de recepție, verificare, depozitare a aparaturii;
- h) stabilirea modului de arhivare a datelor (tabele tip, programe calculator etc) acordându-se mare importanță păstrării și accesibilității datelor;
- i) indicarea modului de prelucrare primară și de comparare cu valori prestabile (normale, de atenție, avertizare, alarmare) cât și responsabilitățile în luarea de decizii în aceste cazuri;
- j) programul măsurărilor, corelat cu fazele de execuție sau exploatare, cât și măsurile recomandate, la apariția unor evenimente legate de factori de risc; grafice de eșalonare a operațiilor de montaj al aparatelor, corelat cu graficul general de execuție al construcției.

1.5. Condiții pentru realizarea cu precizie a măsurătorilor topografice pentru deformare (130, 131, 135, 198)

Printre cele mai elaborate și complete materiale de profil, Reglementările Corpului Inginerilor din U.S. Army (198) privind inspectarea periodică a structurilor ER 1110-2-100, sunt foarte amănunțite asigurând toate condițiile unei urmăriri de calitate care să acopere toate cazurile posibil studiate. Dintre cele mai importante specificații tehnice, se amintesc:

- a. Realizarea cu precizie a măsurătorilor topografice pentru deformare se va face în conformitate cu datele prezentate în următorul tabel.
- b. Precizia cu care rețeaua externă de referință este realizată și monitorizată periodic pentru stabilitate trebuie să întreacă aceste precizii.
- c. Multe sisteme topografice moderne (de exemplu stațiile electronice totale, nivelurile digitale, GPS etc) sunt capabile cu ușurință să întrunească sau să întreacă preciziile prezentate în tabelul 1.
- d. Cu toate acestea, este important ca, preciziile să fie definite relativ conform cerințelor structurii particulare, nu conform capacităților instrumentelor topografice

Tabelul 1. Precizii cerute la urmărirea mărcilor mobile amplasate în structurile urmărite (ER 1110-2-100) (SURSA: 198, US Geological Survey Project No: 7460-09690 ,2003)

| Structuri din beton | Precizia |
|---|-----------------|
| Urmăriri pe termen lung | ±1-5 mm |
| Urmărirea deformațiilor relative, de termen scurt, de același ciclu | ±0,1-0,2 mm |
| Stabilitatea verticală | ±0,1-1 mm |
| Urmărire teren | |
| Urmărire alunecări | ±10-30 mm |
| Urmărire în aliniament | ±10-30 mm |
| Măsurători relative, de termen scurt, de același ciclu | ±1-10 mm |
| Controlul structurii | |
| Efecte secundare(îmbătrânirea materialului) | ±0,01-1 mm |

1.6. Considerații asupra proiectului topografic al urmării comportării în timp

Urmărirea comportării în timp, partea care se referă la geometria construcțiilor sau a terenurilor este o activitate de natură topografică, pentru construcții încadrându-se în ansamblul de lucrări de Topografie generală și inginerească care preced, însoțesc și urmează activitatea de construcții (figura 1). Fiecare structură monitorizată trebuie să aibă un raport tehnic de proiectare privind instrumentația și schema topografică de documentare a planului de monitorizare și a performanței propuse (206).

1. Proiectul sistemului topografic. Deși criteriile de precizie și sensibilitate trebuie să se diferențieze considerabil între aplicații de monitorizare variate, principiile de bază ale proiectului schemelor de monitorizare și analiza geometrică rămân aceleași. De exemplu, un studiu al stabilității unei piese metalice înglobate ar avea nevoie de o determinare a deplasărilor relative cu o precizie de ± 0.05 mm în timp ce un studiu asupra tasării a unui element structural din reper ar putea avea nevoie de o precizie de $\pm 1-2$ mm.

(a) Proiectul de amplasare a mărcilor mobile conține proceduri și descrieri pentru:

- echipament necesar, materiale,
- tipul structurilor urmărite, funcții și principii de operare,
- locația și punctele de monitorizare alese,
- detalii privind întreținerea și inspecția rețelei de monitorizare.

(b) Schema măsurătorilor topografice trebuie să includă analiza și specificația pentru:

- precizia măsurătorilor,
- precizia poziționării,
- numărul și tipul de măsurători,
- selecția de tipuri de instrumente și precizie,
- colectarea de date și proceduri de pe teren,
- reducerea de date și procedurilor de procesare,
- reportarea de standarde și formate,
- managementul proiectelor și stocarea datelor în arhive.

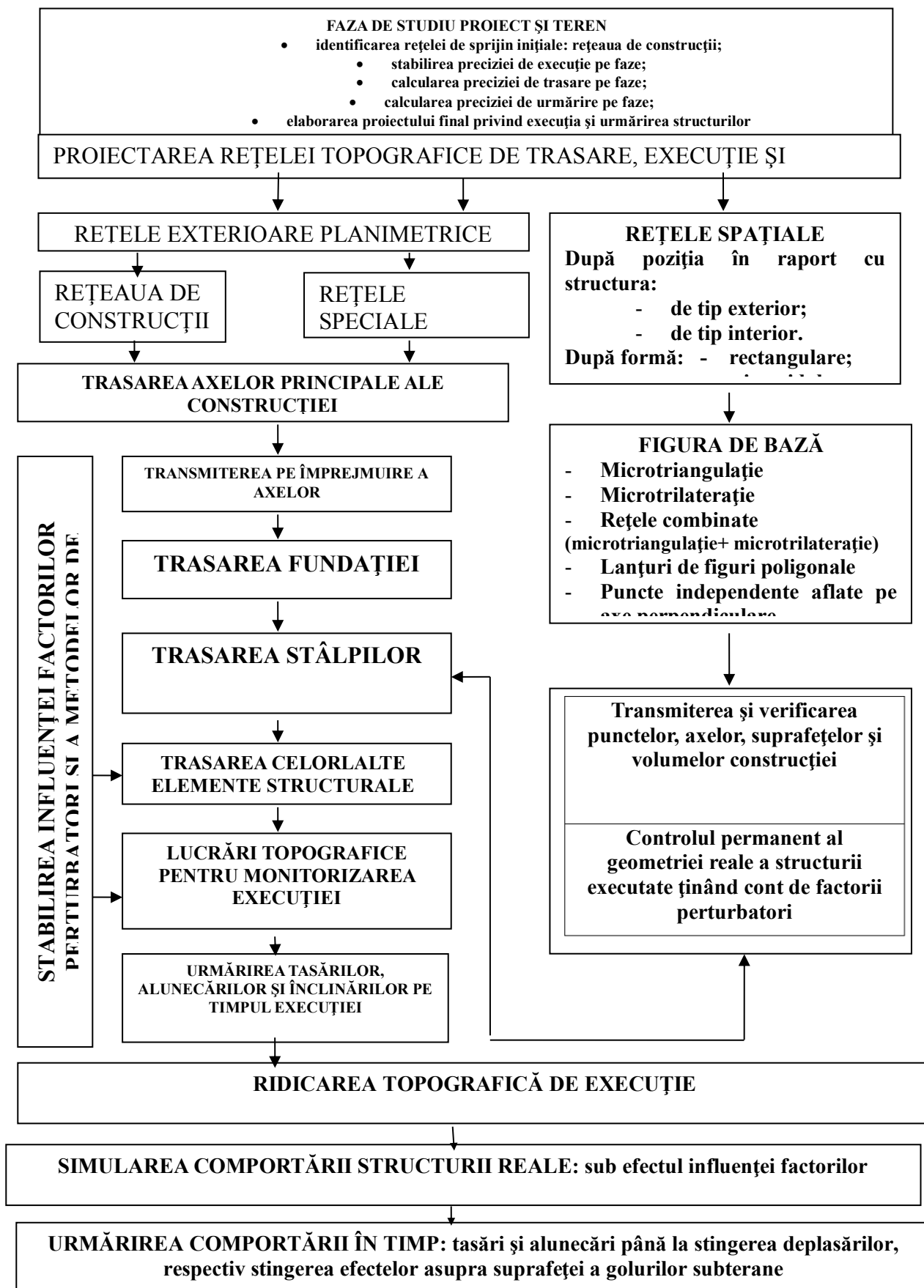


Figura 1. Încadrarea urmăririi comportării în timp în ansamblul de lucrări de Topografie inginerască

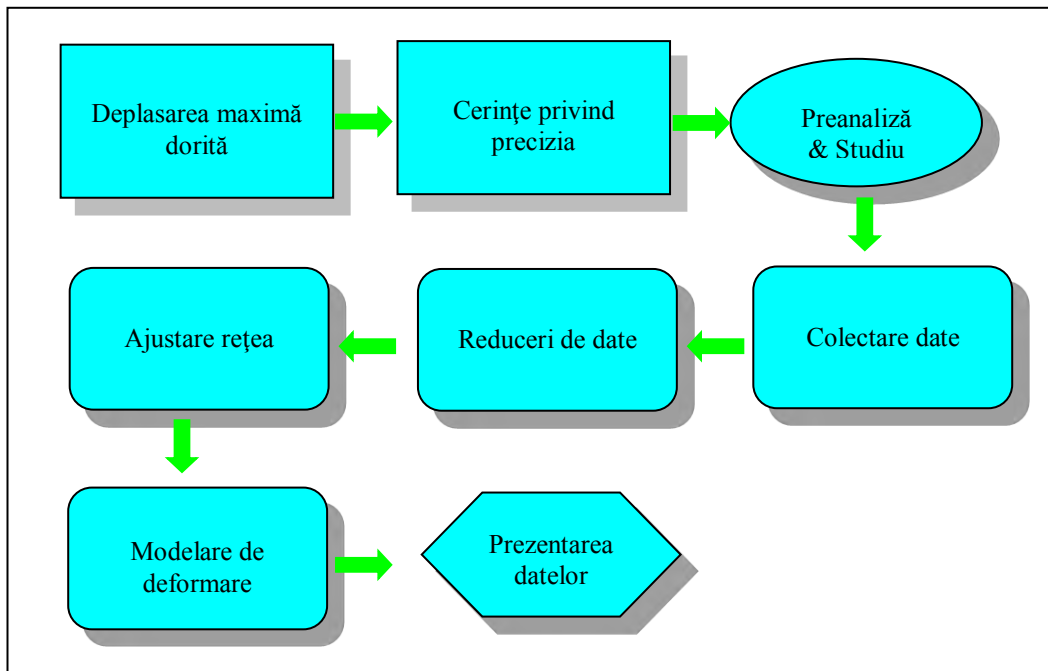


Figura 2. Fluxul informațiilor la urmărirea deformațiilor (205)

Tehnica principală utilizată pentru a proiecta și evalua schemele de măsurat de precizie este cunoscută sub numele de pre-analiza rețelei (figura 2).

2. Colectarea datelor cerute la un proiect topografic este prescrisă specific de către rezultatele unei psihanalize ale rețelei. Schema colectării datelor trebuie să ofere o precizie și siguranță capabile să asigure acceptarea datelor neprelucrate.

(a) Precizie. Realizarea exactității cerute pentru măsurătorile topografice monitorizate se bazează pe performanța instrumentului și pe procedurile de observare. Rezoluția minimă a instrumentului, opțiunile de colectare a datelor și instrucțiunile de operare potrivite sunt determinate de specificațiile producătorului. Colectarea datelor este executată conform rezultatelor psihanalizei de rețea astfel încât calitatea rezultatelor poate fi verificată în timpul procesării datelor și post analizei adaptării rețelei.

(b) Fiabilitatea. Fiabilitatea în măsurătorile neprelucrate necesită un sistem de măsurători suplimentare, închidere geometrică suficientă, rezistență în configurația rețelei. Metodele topografico-geodezice pot oferi siguranță în proiectarea schemei de colectare a datelor.

3. Procesarea informațiilor. Datele topografice neprelucrate trebuie convertite în valori inginerești în timpul stadiului procesării datelor. Câteva categorii de reducere a datelor sunt:

- aplicarea de valori etalonate predeterminate măsurătorilor neprelucrate,
- găsirea de valori medii pentru măsurătorile repetate de la același instrument observabil,
- evaluarea calității datelor și testarea statistică în timpul ajustării ultimelor careuri ale rețelei,
- detectarea măsurătorilor ce trebuie eliminate și sortarea datelor înainte de ajustarea finală.

Procedurile pentru reducerea datelor trebuie bazate pe cele mai riguroase formule și pe tehnicile valabile de procesare a datelor. Aceste proceduri sunt aplicate la fiecare acțiune topografică de monitorizare pentru a asigura rezultate comparabile. Software-ul pentru ajustarea rețelei bazat pe tehnicile celor mai mici pătrate este recomandat pentru procesarea datelor. Tehnicile de ajustare specifice acestei metode sunt utilizate pentru a calcula precizia coordonatelor și precizia topografică pentru fiecare punct din rețeaua de monitorizare. Procesul de ajustare a rețelei identifică erorile testând statistic reziduurile de observare.

4. Analiza datelor. Modelarea geometrică analizează deplasările spațiale. Tendințele de mișcare generale sunt descrise utilizând un număr suficient de puncte discrete de deplasare.

Deplasările punctului sunt calculate prin diferențierea coordonatelor ajustate pentru majoritatea campaniilor (ciclurilor) topografice (f), de la coordonatele obișnuit la un anumit timp de referință (i), de exemplu:

$\Delta x_{if} = x_f - x_i$ este coordonata de deplasare X,

$\Delta y_{if} = y_f - y_i$ este coordonata de deplasare Y,

$\Delta z_{if} = z_f - z_i$ este coordonata de deplasare Z,

$\Delta t_{if} = t_f - t_i$ este diferența de timp dintre măsurătorile topografice.

Fiecare vector de mișcare are magnitudinea și direcția exprimată ca diferențe de coordonate în deplasarea punctului. Colectiv, acești vectori descriu câmpul de deplasare pe un interval de timp dat. Deplasările care întrec cantitatea de mișcare presupusă sub condiții de operare normale vor indica un posibil comportament anormal.

5. Prezentare de date. Rapoartele măsurătorilor topografice pentru proiectele de monitorizare ar trebui să aibă un format standardizat. În anexe se prezintă propuneri pentru aceste formulare. Rapoartele ar trebui să conțină un sumar al rezultatelor în forme tabulare și grafice. Toate informațiile ajutoare, analizele, datele, concluziile și recomandările ar trebui prezentate într-un sumar executiv.

6. Managementul datelor. Datele topografice și rezultatele procesate ar trebui arhivate, indexate și raportate la înregistrările de performanțe structurale existente. Acestea ar trebui localizate cu grijă și extrase oricând este nevoie.

7. Plan de management. Administrarea și execuția stabilă, logică a programului de monitorizare este o parte integrală a procesului de inspecție periodic. Personalul implicat în monitorizare ar trebui să mențină o interacțiune regulată cu managerul senior al programului. Monitorizarea structurală cuprinde o serie de sarcini realizate de către specialiști în diverse zone funcționale. Siguranța structurii cere considerarea mai multor factori pe lângă factorii tehnici.

8. Parametrii de deformare. Scopul principal pentru monitorizarea și analiza deformărilor structurale este de a verifica dacă comportamentul obiectului investigat și mediul urmează modelul propus astfel încât orice deformări neprevăzute să fie detectate din timp, în caz de comportament anormal, să descrie cât mai exact posibil statusul de deformare care ar putea fi utilizat pentru determinarea factorilor cauzativi care declanșează deformarea.

9. Locația punctelor monitorizate

a. Condiții normale. Schemele de monitorizare includ măsurători la punctele unde deformările maxime au fost înregistrate plus câteva observabile la punctele care, depinzând de experiența anterioară, ar putea semnaliza orice comportament neprevăzut, în special la interfața dintre structură și materialul înconjurător.

b. Condiții neobișnuite. Odată ce deformările anormale sunt observate, apoi sunt adăugate observabile adiționale la locațiile indicate de către analizele preliminare din măsurătorile topografice monitorizate, acestea fiind cele mai sensibile la identificarea factorilor cauzativi.

c. Monitorizarea pe termen lung. Distribuția spațială a reperilor ficși ar trebui să ofere o acoperire completă a acțiunii de monitorizare a structurii, extinzându-se la zonele stabile ale proiectului, dacă este posibil. Sunt recomandate minimum 4 puncte de monitorizare la comportamentul model dintr-o secțiune plană (înclinare, subsidență etc).

10. Proiectarea rețelei de urmărire.

a. Generalități. Având multiple stații de control, rețeaua de urmărire este critică pentru îmbunătățirea măsurătorilor topografice de deformare, și pentru investigațiile de stabilitate a reperilor ficși de referință de-a lungul timpului. Fiecare stație de control din rețeaua de urmărire ar trebui să fie intervizibilă până la un număr maxim de numere de puncte de monitorizare structurale (plasate în structură) și cel puțin doi reperi ficși de referință. Numărul punctelor de referință pentru control vertical ar trebui să fie nu mai puțin de trei și preferabil un al patrulea pentru cote.

b. Selecția datelor. Datele proiectului pentru proiecte de monitorizare mari ar trebui bazate pe coordonate geodezice WGS84, transcalculate în sistem național. Un sistem de coordonate geodezic este recomandat deoarece poziționarea poate fi relaționată cu elipsoidul de referință,

standard. Softwareul de procesare a ajustării rețelei cere des definirea datelor proiectului în coordonate geodezice. Coordonatele geodezice sunt compatibile cu formule standard utilizate pentru a transforma pozițiile 3D în proiecții plane dimensionale și pot încorpora date din măsurătorile topografice ale Sistemului de poziționare global (GPS).

- c. Coordonatele stației de referință.** Coordonatele sunt stabilite inițial la cel puțin una sau două stații în rețeaua de referință+urmărire din reperele de control din Sistemul Național de Referință Geodezic Stereo 70. Coordonatele sunt transferate prin măsurători directe stațiilor care rămân în rețeaua de referință înainte de prima monitorizare topografică. Coordonatele 3D ar trebui stabilite pe toate punctele de control ale structurii și stațiilor de referință pentru proiecte care combină măsurători topografice poziționate vertical și orizontal.
- d. Coordonatele punctelor de monitorizare.** Sistemele de coordonare plane sau geodezice sunt recomandate pentru rețelele de monitorizare deoarece proiectarea cartografiei standard va oferi consistență în transformarea coordonatelor.
- e. Stabilitatea rețelei de referință.** Stațiile de rețea de referință pot fi măsurate independent utilizând metode de topografie cu precizie mare față de cele utilizate la rețeaua de monitorizare generală. Măsurătorile topografice ale rețelei de referință sunt de asemenea analizate într-o reglare de rețea separată pentru a verifica orice schimbări în coordonatele stației de referință între campanile de monitorizare.
- f. Reperarea punctului de referință.** Un reper utilizat pentru monitorizarea deformărilor este orice structură sau aparat care definește un punct în rețeaua topografică. Reperele pot fi clasificate ca puncte de referință sau ca puncte de monitorizare. Un punct de referință este localizat tipic departe de structură, în timp ce punctul monitorizat (sau obiectul) este localizat direct pe structură și se monitorizează în timpul măsurătorilor topografice. Fiecare trebuie să aibă o stabilitate pe termen lung de mai puțin de 0.5 mm pe orizontală și verticală cu respect față de zona care o împrejmuiește.
- g. Reper de punct referențial.** Punctele referențiale pot fi piloți tubulari de oțel sau piloți de reper armat. Dacă un pilot tubular este utilizat, diametrul nominal va fi de mai puțin de 20 de cm, în timp ce grosimea peretelui va fi de cel puțin greutatea pilotului.
- h. Instalarea de puncte referențiale.** Punctul de referință se extinde deasupra nivelului solului la o înălțime convenabilă (1.5 m) unde echipamentul poate fi centrat în forță. La noi s-a experimentat metodă în 1976, la monitorizarea obiectivelor platformei Năvodari.

1.7. Proiectarea schemelor de măsurare (130, 131, 135)

- a. Metode de design optim.** Optimizarea rețelelor de poziționare geodezică se ocupă cu acuratețea, siguranța și economia schemelor topografice ca criteriu de proiect. Designul schemelor de monitorizare a deformărilor este mai complex și diferă în multe feluri față de designul rețelelor de poziționare simple.
- b. Limita mișcării așteptate.** Designul măsurătorilor topografice de deformare de la criteriile de poziționare exacte, simple cere cunoașterea deplasării maxime ale punctelor de monitorizare pe structură. Cantitatea de deformări este prevăzută utilizând modelarea deterministă (prin metode de elemente limitate sau finite) sau prin modele de previziune empirică (statistice).
- c. Condiții de precizie.** Precizia poziționării condiționată pentru fiecare punct monitorizat este relaționată direct cu deplasarea prevăzută maxim, manifestându-se sub condiții de operare normale. Condițiile de precizie sunt calculate prin punerea în ecuație a erorilor de poziționare maxime cu o porțiune a mișcării totale de magnitudine care este prevăzută la fiecare punct.
- d. Bugetul de erori topografice.** Bază pentru calcularea unui buget permis de erori topografice este: precizia ar trebui să fie mai mică decât o treime din valoarea prevăzută pentru deplasarea maximă prevăzută în intervalul de timp dintre cele două măsurături topografice.
- e. Preanaliza rețelei.** Două tehnici apropiate pentru procesarea datelor topografice sunt preanaliza și ajustarea rețelelor geodezice.

- Preanaliza este o tehnică de proiectare a măsurătorilor utilizată pentru a verifica statistic dacă măsurătorile topografice monitorizate propuse întrunesc cerințele presetate de precizie. Aceasta cere ca utilizatorul să aleagă coordonate aproximative pentru fiecare punct topografic, să planifice o configurație de măsurători și să stabilească o deviere standard pentru fiecare măsurătoare bazată pe specificațiile instrumentului.
- Ajustarea cere utilizatorului să proceseze datele topografice actuale. Datele normale sunt colectate conform aceleiași scheme de măsurători care se dezvoltă din preanaliză.
- Preanaliza și ajustarea utilizează același model matematic pentru a produce rezultatele.

1.8. Fiabilitatea măsurătorilor (130, 131, 135)

- a. Generalități.** Fiabilitatea se adresează forței geometrice a schemei de observare, redundanței măsurătorilor și tehnicilor pentru minimalizarea erorilor de măsurare. Metodele statistice pot determina nivelul maxim de erori sistematice nedetectate utilizând detectarea selecțiilor cu valori excepționale. Unii dintre factorii de fiabilitate sunt:
- măsurători repetate,
 - verificări externe ale validității datelor,
 - calibrări de instrument,
 - analiza stabilității rețelei de referință,
 - tehnici de procesare a datelor,
 - conexiuni multiple între stații.
- b. Siguranță.** Surse multiple ale datelor monitorizate (instrumente și observații) permit verificarea consistenței măsurătorilor topografice de deformare.
- c. Etalonarea instrumentelor.** Etalonarea instrumentelor topografice este standardizată și este esențială pentru rezultatele valide, pe când diferențierea coordonatelor este utilizată pentru a calcula deplasările.
- d. Analiza punctelor stabile.** Precizia în măsurarea deplasărilor depinde de stabilitatea rețelei stațiilor de referință. Topografia rețelei de referință este analizată separat pentru a detecta stațiile de referință instabile în monitorizarea rețelei.
- e. Procesarea riguroasă a datelor.** Majoritatea observațiilor topografice necesită post-procesarea înainte de a fi utilizate în ajustarea rețelei sau, în calcularea unor deplasări finale și în managementul reducerilor de date și transformări.
- f. Scheme complexe de monitorizare.** Rețelele topografice pot fi împărțite în mai multe subrețele pentru a obține informații specializate despre deformare, unde fiecare piesă mică poate fi analizată în rețele separate de ajustare, sau, în așa fel încât măsurătorile realizate pe un element structural izolat să poată fi conectate la un întreg.

1.9. Frecvența măsurătorilor

- a. Generalități.** Măsurătorile topografice de monitorizare geodezică pentru inspecții periodice sunt realizate la intervale de timp regulate sau prin măsurători continue tipice, pentru structuri automatizate și instrumentație geotehnică. Intervalele de timp dintre măsurătorile topografice de deformare vor varia conform scopului monitorizării, dar sunt în general corelate cu tipul structurii.
- b. Monitorizare continuă.** Prin achiziția datelor automate cu ajutorul sistemelor senzoriale sau cu stații robotizate total, frecvența măsurătorilor nu impune probleme, deoarece datele pot fi decodate la un interval de timp preprogramat fără dificultate și fără diferențe de cost față de procesul de monitorizare.
- c. Criterii bazate pe vechime.** Cele mai competente date le furnizează “Comitetul internațional de analiză a subsidenței” care face precizări în ceea ce privește un program bazat pe vechimea structurii.

d. Criterii bazate pe hazard. Frecvența pentru efectuarea măsurătorilor topografice de monitorizare se relaționează cu clasificarea riscului structurii la efectele de tip “hazard”.

Clasa I: Structuri de risc mare. Riscul mare al structurilor din clasa I solicită o monitorizare continuă a structurii.

Tipul A: Eșec potențial iminent. Date preluate prudent. Datele sunt valoroase pentru analiza de mai târziu, ceea ce va motiva, în caz de nevoie, eșecul structurii. Se utilizează orice metodă valabilă pentru a aduna informații fără riscuri sau fără a interveni în proces pentru a salva structura sau pentru a alerta populația aflată în risc.

Tipul B: Suspectarea prăbușirii potențiale. Structura se va monitoriza continuu. După ce se va încerca o soluție potențială pentru a salva structura, se va monitoriza în continuare în mod continuu până ce se va determina faptul că structura este stabilizată.

Clasa II: Structuri de risc mediu. Asemenea structuri sunt de o categorie de risc la care monitorizarea se va face periodic (de la caz la caz lunar, trimestrial). Structurile din această categorie sunt stabile, dar prăbușirea ar afecta zona populată, ca rezultat fiind pierderea de proprietăți din zonă, cauză a întreruperii devastatoare a serviciilor oferite de structură.

Clasa III: Structuri de risc scăzut. Asemenea structuri cer monitorizarea an de an. Structurile din această categorie sunt stabile, dar prăbușirea nu ar afecta zona populată.

e. Criteriul de acordare a riscului. Condițiile care indică o probabilitate crescută de prăbușire, precum frecvența și magnitudinea cutremurului istoric, prăbușiri ale suprafeței situate deasupra golurilor miniere, stadii maxime prevăzute de viituri, inundații, frecvente, proiectele structurii, combinate cu cunoștințele despre impactul asupra vieților și proprietăților din aval pot fi utilizate pentru a acorda riscul relativ la un anumit proiect dat. Această informație poate ajuta în determinarea frecvenței măsurătorilor topografice de monitorizare, în special la structurile care au un design inovativ sau specializat.

1.10. Concluzii (130, 131, 135)

1. Activitatea de monitorizare a evoluției terenurilor și construcțiilor sub efectul unor factori de solicitare este indispensabilă procesului de validare a soluțiilor de proiectare a investiției a cărei evoluție în timp se urmărește.
2. Subsidența este un fenomen, datorat efectului golurilor subterane asupra suprafeței, terenuri și construcții care poate fi inclus în activitatea anterior conturată.
3. Istoricul activității de urmărire a comportării sub efectul exploatării structurilor este de peste 150 de ani, evoluția calitativă a metodelor a fost lentă până la apariția de aproximativ 20 de ani a metodelor de înregistrare în regim continuu sau/și cinematic.
4. Legislația din domeniu, din țara noastră este completă, explicită și fără lacune, rămâne doar să fie respectată în spiritul impus, la acest capitol existând în prezent extrem de grave lacune.

2. Metode clasice utilizate la urmărirea comportării în timp a construcțiilor

Cunoașterea metodelor care au fost utilizate de-a lungul timpului pentru monitorizarea comportării în timp a construcțiilor și a terenurilor este fundamentală în demersul de definire completă a domeniului (130, 131, 135).

Capitolul descrie tehnicile și echipamentele diferite utilizate pentru măsurarea deformărilor structurale externe ale construcțiilor și terenurilor în regim static și cvasistatic. Tehnicile de măsurare și instrumentare pentru monitorizarea în regim static și cvasistatic a deformărilor au fost categorizate tradițional în două grupuri conform disciplinelor profesioniștilor care utilizează aceste tehnici:

- **Măsurători topografo-geodezice**, care includ metodele considerate convenționale (tehnologii topografice terestre de nivelment sau planimetrie), metode fotogrametrice, unele tehnici considerate neconvenționale (instrumentația laser, nivelmentul hidrostatic, metoda aliniamentului) și metode satelitare din categoria GPS.
- **Metode structurale și geologice de investigare**, care vizează în special mecanica terenurilor și procesele distructive produse în timp în structura de rezistență a construcțiilor monitorizate, acestea neintrând în tematica prezentei lucrări.

Măsurătorile topografo-geodezice oferă informația globală asupra comportamentului structurii deformabile, în timp ce măsurătorile geotehnice oferă informații localizate și informații susceptibile, cu verificare doar prin comparare cu alte măsurători.

Prima parte a capitolului are în vedere studiul tasărilor prin metoda nivelmentului geometric de mijloc. Se abordează apoi, tema realizării observațiilor la urmărirea deplasărilor orizontale, tehnica laser de aliniere studiată în contextul capitolului, iar în finalul capitolului se fac referiri asupra utilizării metodelor fotogrametrice, tehnici stereoscopice, la urmărirea comportării în timp a construcțiilor.

Este posibil ca o mare parte din aceste metode să intre acum în istoria de specialitate, datorită apariției și mai ales extinderii utilizării metodelor senzoriale de urmărire a deplasărilor sub configurația unor sisteme manager de monitorizare.

Datorită recente dezvoltări tehnologice în instrumentația geodezică se poate realiza aproape orice rezoluție instrumentală necesară, automatizarea completă și procesarea virtuală de date în timp real. Astfel, varietatea de tipuri de instrumente valabile pentru studiul deformărilor s-a extins semnificativ în ultimii ani. Aceasta creează o nouă provocare pentru proiectanții măsurătorilor topografice de monitorizare: ce instrumente să aleagă, unde să le localizeze, cum să le combine într-o monitorizare integrată, într-un sistem manager, în care măsurătorile geodezice și geotehnice structurale să se completeze reciproc. Aspectele menționate sunt abordate în capitolele următoare.

2.1. Observații asupra tasărilor prin metoda nivelmentului geometric

2.1.1 Date generale-scopul măsurătorilor

Urmărirea deformațiilor pe verticală a terenului de fundare, în baza programelor specializate, au drept scop (135, 156):

- a) determinarea valorilor tasărilor absolute și relative și compararea acestora cu cele calculate;
- b) explicarea cauzelor apariției deformațiilor și gradului de pericolozitate al acestora;
- c) obținerea caracteristicilor necesare de stabilitate a terenului de fundare și a fundațiilor;
- d) precizarea valorilor de calcul ale caracteristicilor fizico-mecanice ale solului de fundare;
- e) perfecționarea metodelor de calcul și stabilirea valorilor limită admisibile ale deformațiilor pentru diferite tipuri de soluri și construcții;
- f) determinarea influenței tasărilor asupra verticalității construcției.

2.1.2. Reper utilizate la urmărirea comportării în timp a construcțiilor

a. Reperele de bază-reperele fixe

Ca bază altimetrică pentru determinarea cotelor servesc reperele de bază, instalate în afara zonei tasărilor. Pentru construcțiile industriale și locative, reperele de bază se instalează la distanța mai mare de 100 m de clădire, iar pentru construcțiile de mari dimensiuni-la distanța de până la 1 km. Pentru verificarea stabilității reperele se amplasează în grupuri a câte trei la o distanță mică unul de altul (după modelul grupei de puncte tari, din subteran). Măsurând dintr-o poziție a nivelei diferența de nivel dintre ele și comparând rezultatele măsurărilor diferitelor cicluri, se determină reperul cel mai stabil. Acest reper este luat drept reper-fundamental la efectuarea observațiilor asupra tasărilor.

b. Mărcile de tasare

Servesc la redarea cât mai fidelă a componentei verticale a deplasărilor construcției studiate. Se instalează, de regulă, în construcțiile fundațiilor portante, care ies la suprafața terestră. Locurile de instalare a semnalelor se determină în dependență de cerințele față de observații. Pentru clădirile industriale și civile tipice ele se amplasează pe perimetrul elementelor portante din exteriorul clădirilor și pe ambele părți ale rosturilor de tasare.

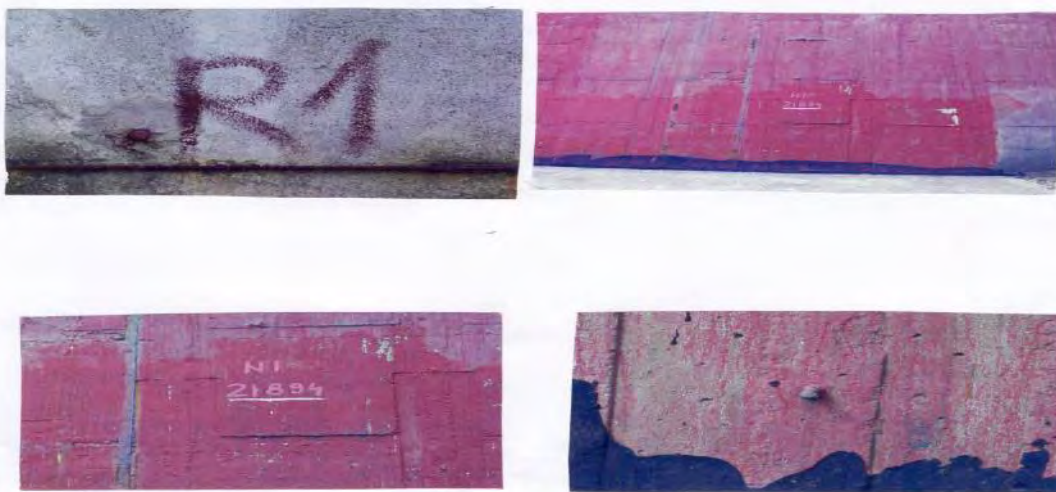


Figura 3. Exemple de mărci de tasare montate pe socul construcției, în cadrul contractelor UNBM (125, 128, 135, 137, 138)

2.1.3. Observațiile ciclice asupra tasărilor și deformărilor

Observațiile asupra tasărilor se efectuează în cicluri, începând cu ciclul zero. Ciclurile sunt legate de etapele de aplicare ale sarcinilor pe terenurile de fundație. După terminarea construcției termenele observațiilor se stabilesc în dependență de mărimea și viteza tasărilor, de regulă de 2-3 ori pe an, până la stingerea definitivă a tasărilor. Pentru determinarea cotelor mărcilor de tasare se execută drumuri de nivelment geometric de mijloc, de înaltă precizie cu vize scurte. O parte din mărcile de tasare sunt incluse în drumuire în calitate de puncte intermediare. După determinarea diferențelor de nivel din drumuri se calculează cotele mărcilor de tasare pentru ciclul de măsurare dat și se înregistrează în carnetul de calculare a tasărilor. Pentru proiectarea vizuală a procesului de tasare a clădirii se construiește un grafic, pe care se arată mărimile tasărilor reperelor în timp. Precizia determinării tasărilor depinde de caracteristici (viteza și uniformitatea apariției), de schema constructivă a clădirii și rigiditatea structurii (156).

2.1.4. Alegerea metodei de lucru

Recomandabil este să se utilizeze metoda nivelmentului geometric de precizie repetat. Instrumentele de măsurare sunt nivele de înaltă precizie ($\pm 0,5$ mm pe kilometrul dublu de nivelment), cu vizare pe mire de invar de 3 m. Rezultatele cele mai bune, pentru acest gen de măsurători se obțin prin organizarea lucrărilor sub forma unor poligoane de nivelment geometric de mijloc (135).



Figura 4. Aparate utilizate la nivelmentul geometric de mijloc de precizie (197)

2.1.5. Studiul preciziei nivelmentului geometric de precizie ridicată

În tabelul nr. 2.1 se dau semnificația și formulele de lucru pentru erori. Eroarea medie pătratică de citire pe miră este (135):

$$m_M = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2 + m_6^2 + m_7^2 + m_8^2} \approx \pm 0,09 \text{ mm} \quad (1)$$

Cum citirile pe miră s-au executat după două diviziuni vecine și din citirile vecine s-a făcut media, rezultă:

$$m'_M = \frac{m_M}{\sqrt{2}} = \pm \frac{0,09}{\sqrt{2}} = \pm 0,064 \text{ mm}, \quad (2)$$

iar eroarea medie pătratică a diferenței de nivel m_h se va obține ca o diferență a două citiri, rezultă:

$$m_h = m'_M \cdot \sqrt{2} = 0,014 \text{ mm}. \quad (3)$$

Deoarece s-a lucrat cu două planuri de vizare, eroarea totală a diferenței de nivel va fi:

$$m_{h(t)} = \pm \frac{m_h}{\sqrt{2}} = \pm 0,064 \text{ mm} \quad (4)$$

Stabilirea ciclurilor de observare. Pe parcursul execuției lucrării și ulterior se execută un număr de cicluri de observații.

2.1.6. Executarea observațiilor

Se recomandă ca:

- măsurătorile din toate ciclurile de observații să se realizeze în condiții atmosferice favorabile (primăvară, toamnă; cer înnorat, temperaturi de cca. 20 grade),
- să se lucreze prin metoda drumirii în sens direct, la fiecare nivelment observațiile făcându-se cu cel puțin două planuri de vizare. S-au utilizat, de fiecare dată aceleași mire (înainte-înapoi) pentru toate ciclurile de observații,
- să se facă direct pe teren verificările specifice privind controlul citirilor și ne-închiderile de poligoane.

Tabelul 2. Erori în nivelmentul geometric de precizie ridicată (135)

| N | Eroarea | simbol | Formula de determinare a erorii | Explicații |
|---|--|--------|--|--|
| 1 | Eroarea de coincidență a imaginii nivelei (a capetelor bulei) | m_1 | $m_1 = \pm(0,14 + 0,12) \frac{d}{\rho}$ | τ - sensibilitatea nivelei $\tau = 10$ m d - distanța de la aparat la miră; $\rho^{cc} = 636620$ |
| 2 | Eroarea de neparalelism a axei de vizare față de axa nivelei | m_2 | $m_2 = \pm \frac{0,04\sqrt{t}\sqrt{d}}{M}$ | t - grosimea diviziunii mici M - puterea de mărire |
| 3 | Eroarea de citire pe tamburul micrometric | m_3 | $m_3 = \pm m_t n$ | m_t - eroarea de dest. a val. intervalului pe tambur n număr de citiri |
| 4 | Eroarea de înclinare a mirei | m_4 | $m_4 = -\frac{b\tau^2}{a\rho^2}$ | b - citirea pe miră în mm τ - sensibilitatea nivelei sferice |
| 5 | Eroarea de transmitere a diviziunilor mirei | m_5 | $m_5 = \pm\sqrt{m_{dm}^2 + m_{cm}^2 + m_{nm}^2}$ | $(m_5 = \pm 0,15\Delta H)$ mm H - mărimea medie de schimbare a planului de vizare |
| 6 | Eroarea de asucere a bisectoarei pe trăsăturile mirei de încadrare | m_6 | $m_6 = \pm M^n \frac{di}{\rho}$ | M^n - eroarea de încadrare a gradației în secunde |
| 7 | Eroarea datorită perpendicularității suprafeței tălpii mirei pe axa ei longitudinală | m_7 | $m_7 = \pm 0,05$ mm | |
| 8 | Eroarea de excentricitate a mirei pe reper | m_8 | $m_8 = \pm e_1 \frac{\varepsilon}{\rho} = 0,06$ | e_1 excentricitatea mirei ε înclinarea mirei $\varepsilon = 10'$, |

2.1.7. Prelucrarea datelor și calculul tasărilor (135)

Se începe chiar în timpul observațiilor de teren, calculându-se diferențele de nivel pe fiecare, niveleu între cele două orizonturi ale aparatului și apoi neînchiderile pe fiecare poligon. Evaluarea preciziei nivelmentului se face după datele obținute înainte și după compensare. Înainte de compensare pentru fiecare ciclu s-a calculat eroarea accidentală medie pătratică de nivelment, cu relația:

$$\mu_{i_{st}} = \pm \sqrt{\frac{\frac{e_h^2}{n}}{N}} \quad (5)$$

la un km de drumuire,

$$\mu_{1_{km}} = \pm \mu_{i_{st}} \sqrt{\frac{[n]}{[L]}}, \quad (6)$$

în care:

e_h : neînchiderea poligonului, în mm;

n : numărul de stații din poligon (3; 4);

N : numărul poligoanelor (6);

L : lungimea totală a poligoanelor, în km.

După compensare s-a calculat eroarea medie pătratică la 1 km de drumuire cu relația:

$$\mu'_{1_{km}} = \pm \sqrt{\frac{[p \delta^2]}{N - r}} \leq 1 \text{ mm}, \quad (7)$$

în care:

r : numărul punctelor principale;

δ : corecția poligonului;

p : ponderea.

2.1.8. Nivele digitale

Sistemele digitale, automate de nivelment dezvoltate recent, Leica DNA03 și NA3000 (figura 5 a, b) aparat de citire a distanței și înălțimii din mirele de nivelment codate au crescut considerabil viteza nivelmentului (cu aproximativ 30%). Sistemul compensator este dependent, însă, de starea atmosferică, îndeosebi de vânt și, astfel, deocamdată aparatul nu poate fi clasificat ca un nivel de precizie mare, doar dacă unele îmbunătățiri, la acest capitol, vor fi introduse de către producător. Se pare că în acest an (2016) producătorul leica a reușit să creeze un aparat digital care să ofere o precizie cel puțin egală cu cea oferită de aparatura cu calare clasică, prin instrumentele Leica LS15 & LS10 Digital Levels (figura 5 c) (197).

2.1.9. Nivelmentul trigonometric cu Stații topografice totale (197)

a. Metoda unghiului zenital. Teodolitele electronice de precizie mare și echipamentul EDM (Electronic Distances Meters) permit înlocuirea nivelmentului geometric cu cel trigonometric, considerat mai economic. O precizie de mai mult de 1 mm poate fi realizată în determinarea diferențelor de înălțime dintre cele două ținte cu depărtarea de cel mult 200 de metri, utilizând teodolite electronice de precizie pentru măsurători de unghi vertical și instrumentul EDM/stații totale.

b. Precizia măsurătorilor. Precizia înălțimii unghiului de zenit este practic independentă de diferențele de înălțime și este mai economic decât nivelmentul geometric în teren deluros, și în toate situațiile unde diferențele de înălțime mari dintre stațiile topografice sunt implicate. Eroarea de refracție este o problemă majoră în creșterea preciziei nivelmentului trigonometric.

Precizare: sistemul nu poate fi utilizat decât în cazul stabilirii simultane a deplasărilor unor mărci, cu precizie redusă, aplicabil terenurilor sau construcțiilor mari, gen baraje.

2.2. Realizarea observațiilor la urmărirea deplasărilor orizontale

2.2.1. Clasificări

Măsurătorile topografice din stația de observație se pot grupa, în funcție de evoluția normală a fenomenului de deplasare, în:

- **Măsurători pentru rețeaua de sprijin**, care constau în realizarea rețelei generale de sprijin a stației, prin poligonometrie de precizie și microtriangulație, situată astfel ca să încadreze stația cu puncte stabile și suficiente ca număr pentru a se lega cu punctele de sprijin ce materializează profilele. Rețeaua de sprijin a stației se încadrează în rețeaua de sprijin a ridicărilor topografice din bazin.
- **Măsurători primare**, în cazul monitorizării terenurilor, care constau în încadrarea punctelor de sprijin ale profilelor în rețeaua stației, și în determinarea poziției reperelor de lucru, înainte de a se manifesta fenomenele de deplasare.

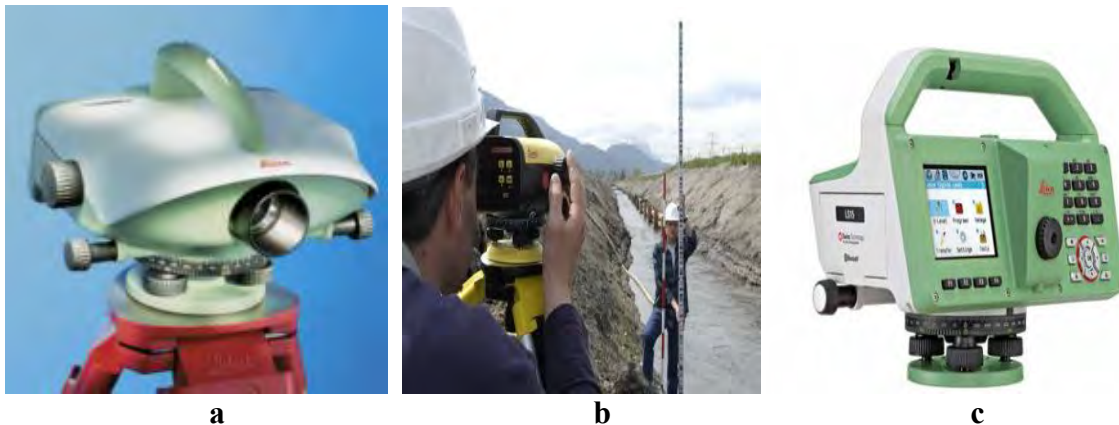


Figura 5. Nivele digitale a. Leica DNA03, b. Leica Sprinter 150M, c. Leica LS15 & LS10 (197)

- **Măsurători de gardă**, care se execută în apropierea frontului de lucru de zona marginală, atât pentru construcții cât și pentru terenuri, cu scopul de a se prinde momentul când începe manifestarea fenomenului la suprafață. Pentru aceasta măsurătorile se execută la intervale scurte (câteva zile) și constau în general numai în nivelmentul reperelor din zona marginală și determinări privind apariția fenomenului de alunecare, pentru că observațiile să nu ceară un timp îndelungat.
- **Măsurători de observație curentă**, începând cu primele deplasări observate prin măsurători de gardă, se trece la determinarea deplasărilor complete (deplasări orizontale și scufundări) ale reperelor de lucru, prin măsurători periodice, și la calculul deplasărilor față de poziția determinată prin măsurători primare, practic prin ciclul inițial de măsurători.
- **Măsurătorile repetate**, se execută în același mod ca și măsurătorile primare.

Acestea se referă la:

1. distanța dintre reperate profilului, care se măsoară în mod direct cu ajutorul unor panglici etalonate cu diviziuni milimetrice, întinsă cu ajutorul unui dinamometru. Eroarea de măsurare nu trebuie să depășească $1/10\ 000$ din distanța dintre reperate;
2. cota reperelor, care se determină prin nivelment geometric în circuit închis, pe punctele de sprijin ale profilului, controlate la rândul lor, prin nivelment geometric față de punctele din rețeaua de sprijin a stației;
3. abaterea transversală sau distanța reperului față de planul vertical al profilului, numită și ordonată de profil a reperului, se determină prin măsurători directe sau metode trigonometrice.

2.2.2. Determinarea abaterilor cu ajutorul riglelor de măsurat

În cazul acestei metode se folosesc rigle de măsurat speciale cu diviziuni milimetrice (figura 6). Rigla se fixează pe cadrul 2, echipat cu suport special introdus în urechile 1 ale mărcii de deformare. Rigla fixată pe marcă ia poziția orizontală. Deplasările horizontale A ale mărcilor de deformare se calculează ca diferența abaterilor de la aliniament în ciclul zero și ciclurile următoare (210). Pentru al doilea și următoarele cicluri, programul măsurărilor rămâne neschimbat, ceea ce dă posibilitatea de a exclude din rezultatele măsurărilor un șir de erori sistematice.

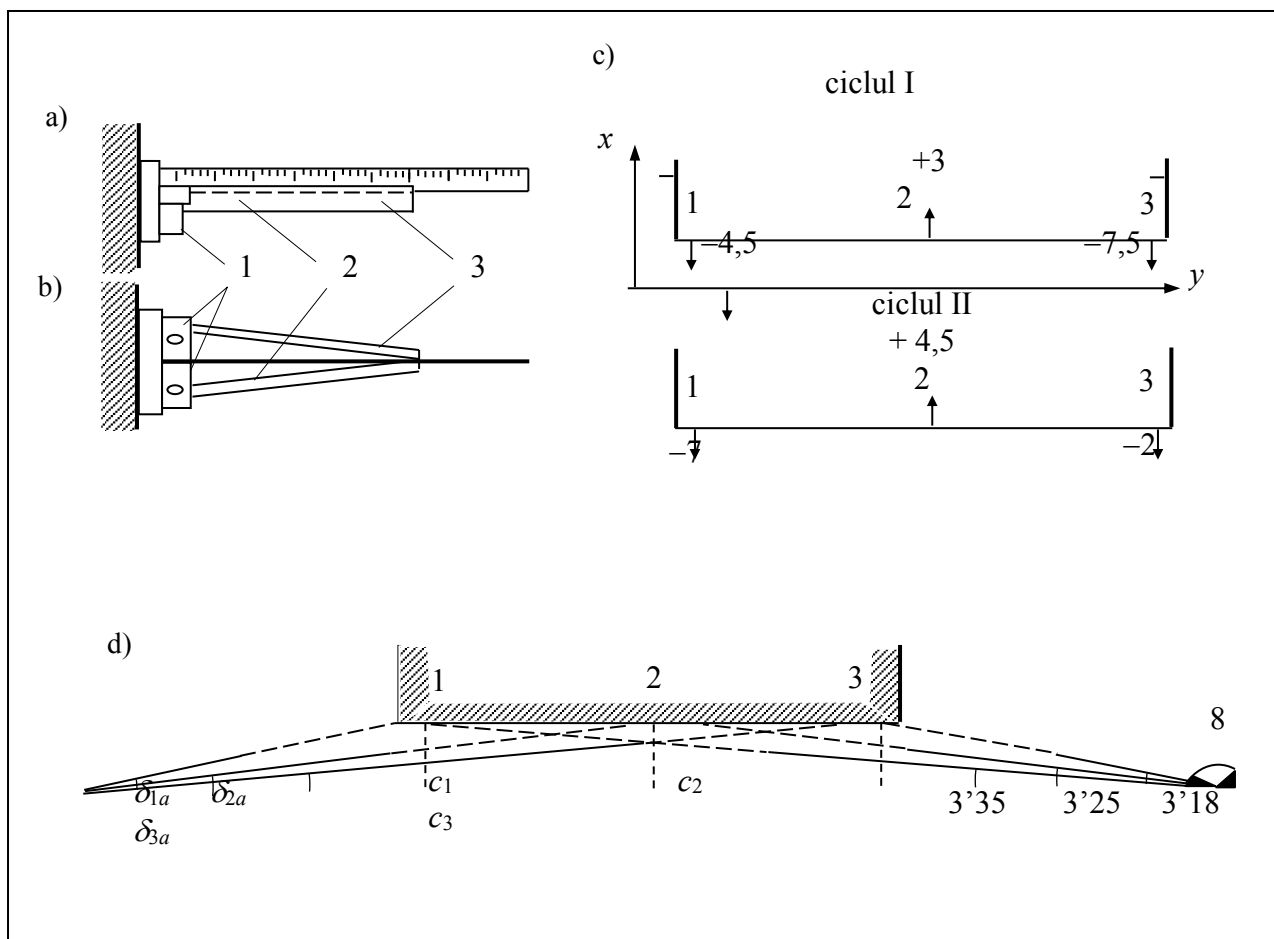


Figura 6. Metoda observațiilor în aliniament la urmărirea deplasărilor orizontale (135, 156)
a) determinarea abaterii de la aliniament cu ajutorul riglelor de măsurare; b) rigla de măsurare; c) schema deplasării punctului; d) determinarea abaterii de la aliniament prin măsurarea unghiurilor paralaxee.

2.2.3. Determinarea abaterilor prin metoda triangulației

Pentru această metodă, reperii de bază A și B (figura 7) sunt amplasați în sol stabil la o distanță destul de mare de obiectul de observație, iar pe construcție, se instalează mărci de observație I, II, III și periodic (în cicluri) prin metoda triangulației se determină coordonatele lor plane. În acest scop se determină cu o precizie foarte înaltă, de exemplu cu stația totală de 2'' lungimea bazei AB și se măsoară unghiurile tuturor triunghiurilor. În urma prelucrării datelor pentru fiecare ciclu se obțin coordonatele curente ale mărcilor și apoi deplasările în plan orizontal (figura 7.a), o altă variantă fiind trasarea poziției inițiale a mărcilor și stabilirea deplasărilor produse între cicluri prin măsurarea cu rigla a acestora (figura 7.b), se poate lucra numai din unghiurile orizontale stabilind proiecțiile liniare corespunzătoare abaterilor unghiulare (figura 7.c), o metodă mai puțin utilizată constă în crearea unor aliniamente în apropierea mărcilor urmărite, reetalonate la fiecare nou ciclu de măsurare, în raport de

care se determină poziția liniară a mărcilor și apoi deplasarea (figura 7.d), în acest caz se pot utiliza metode clasice (măsurători directe cu rigle, rulete, fire de invar) sau moderne (electronice, tensiometre, laser, fire pretensionate sau tehnologii de prelucrare optică) elementele măsurate fiind prezentate în (figura 7.e).

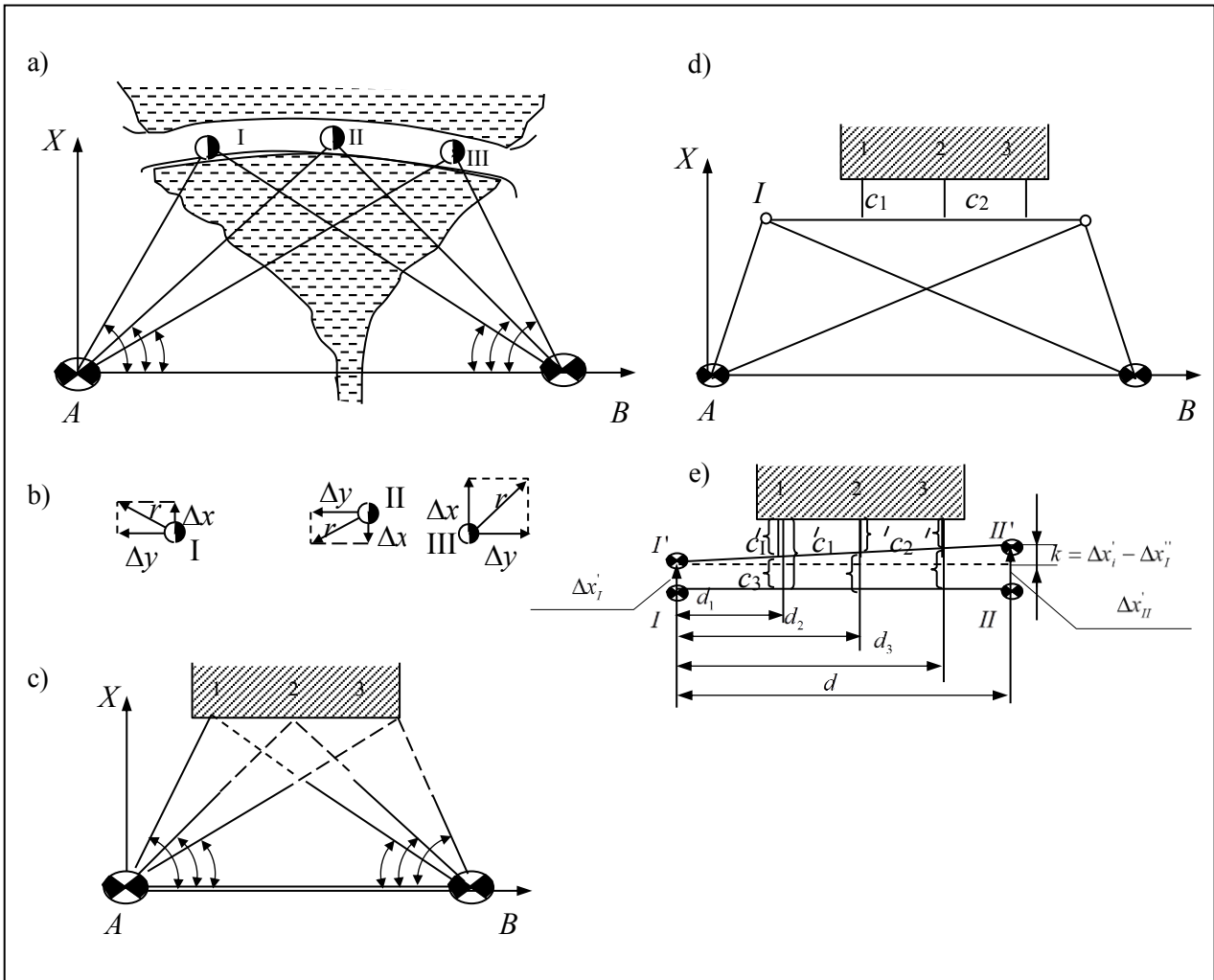


Figura 7. Metoda triangulației (135, 156)

2.3. Instrumente utilizate la măsurătorile de distanțe și unghiuri

Teodolitele operate manual au fost utilizate în mod tradițional pentru măsurătorile de unghi în măsurarea topografică a deformațiilor structurale. Distanțele au fost măsurate utilizând lanțuri topografice precise (benzi) sau sisteme de măsurat distanța electronice, operate manual (EDM) (figura 8).



Figura 8. Primul EDM produs în serie de AGA Suedia, NASM-2A, în anii 1950+(197)

Sistemele stațiilor totale electronice au înlocuit în mare măsură instrumentele și tehnicile vechi. În categoria aparatelor electronice de măsurători de unghiuri și distanțe s-au înscris:

a. Teodolitele electronice. În ultimele patru decenii, progresul tehnologic în măsurarea unghiului a fost realizat în principal în automatizarea sistemelor de citire a cercurilor orizontale și verticale ale teodolitelor. Din punct de vedere al exactității, teodolitele electronice nu au adus îmbunătățiri substanțiale în comparație cu teodolitele optice de precizie.



Figura 9. Prima Stație Topografică totală produsă în serie de Topcon SUA+Japonia, Topcon ET-1, în anii 1980+(197)

Unele dintre teodolitele electronice de precizie, precum Kern E2 (producere discontinuă), Leica (WILD) T2002 și T3000, și alte câteva, sunt dotate cu senzori biaxiali controlați de un microprocesor (tiltmetri electronici) care pot simți înclinarea teodolitelor și pot corecta automat nu numai citirea verticală dar și cea orizontală.



a.



b.



c.

Figura 10. Primele teodolite electronice performante a. WILD T2002, b. Kern E2, c. Leica T3000 (197)

b. Sisteme de coordonare tridimensionale. Două sau mai multe teodolite electronice legate de un microcomputer creează un sistem de coordonare tridimensional cu calcule ale coordonatelor în timp real. Sistemele sunt utilizate pentru precizie mare, pentru poziționare și monitorizarea deformării pe zone mai mici, limitate, de exemplu: Leica (Wild) TMS și UPM400 (Geotronics). Dacă devierile standard ale unghiurilor orizontale și verticale măsurate simultan nu depășesc o secundă, atunci pozițiile (x,y,z) țintelor la distanțe de până la zece metri depărtare pot fi determinate cu devierile standard mai mici de 0.05 mm.

c. Măsurători de distanțe electronice (EDM). Instrumente electro-optice EDM cu radiații vizibile sau infraroșii continue sunt utilizate larg în măsurarea topografică. La precizia cea mai mare a instrumentelor EDM, precum Kern ME5000, Geomensor CR234 (Com- Rd, U.K.) și Tellurometer (MA200, Tellumat, Uk) precizia este între 0.2 mm și 0.5 mm, bazată pe frecvența modulației înalte și rezoluția înaltă a măsurătorilor fazei. Un instrument recent dezvoltat este Leica (Wild) DI2002 care oferă deviația standard de 1 mm la distanțe scurte.



a.



b.



c.

Figura 11. Instrumente EDM, a. Kern ME5000, b. Geomensor CR234 (Com- Rad, U.K.) și c. Tellurometer (MA200, Tellumat, Uk) (197)

d. Măsurături de tipul Puls. Aceste instrumente, având un semnal transmis de energie înaltă, pot fi utilizate fără reflectoare pentru a măsura distanțele scurte (până la 200 de metri) direct pe pereți sau pe suprafețele naturale plane cu o precizie de aproximativ 10 milimetri, această precizie făcându-le utilizabile doar la monitorizarea terenurilor. Exemple sunt Pulsar 500 (Renel, Germania) și Leica DIOR 3002.

e. Instrumente de frecvență duală. Numai câteva unități ale unui instrument de frecvență duală sunt valabile în prezent, în lume (Terrameter LDM2 produs de Terra Technology). Acestea sunt dificile în utilizare dar precise, astfel se poate realiza cu acestea o deviere standard de $\pm 0.1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ ppm}$. Datorită unei cereri mici, producția sa a fost discontinuă. Cercetarea în dezvoltarea instrumentelor de frecvență duală este totuși în progres.

f. Stații totale. Orice teodolit electronic legat de un instrument EDM la un calculator creează o stație topografică totală care permite măsurarea simultană a trei parametri de poziționare de bază, a distanței, direcției orizontale și unghiului vertical, de unde pozițiile verticale și orizontale ale punctelor observate pot fi determinate direct pe teren. Mai mulți producători ai acestor sisteme topografice produc stații integrate în care sunt încorporate sisteme EDM și sisteme de măsurare a unghiului electronic, precum este ilustrat în figura 12. Diverse modele ale stațiilor totale variază în precizie, varietate, sofisticare a colecției de date automate și în posibilitățile de procesare a datelor on-line.

g. Stația totală automatizată coaxială theomat (TCA). Leica Company Inc. produce stații totale automatizate TC2003 (figura 12.d) create pentru măsurătorile topografice de monitorizare a deformărilor. Colectarea datelor se realizează via PCMCIA tipul 1 S RAM cu carduri colectoare de date care au capacitatea de 2-4 MB (aproximativ 8000 de măsurători) care pot fi downloadate la un PC dotate cu drivere port pentru comunicație.

- h. Recunoașterea Țintei Automate (ATR).** Sistemele de vizare automatizată au fost instalate în teodolitele de precizie în anii 1980 (252). Componentele de operare constau dintr-un sistem de imagine cu video cameră externă și o comandă prin servomotor separate. Un semnal IR emis este transmis prisme care reflectă pasiv semnul înapoi la instrument.
- i. Comunicații ale datelor și software.** Datele înregistrate pot fi descărcate într-un fișier extern sau comunicare automat via RS-232, prin radio UHF, radio cu spectru propagator sau cu modem radio pentru până la un km. Aplicațiile software pentru sisteme de la scrierea de fișiere de ieșire ASCII la software de analiză (APS Win) pentru urmărirea și monitorizarea schimbărilor în măsurători sunt în prezent puse la punct.
- j. Roboți topografici.** Pentru măsurători de deformare frecvente sau continui, a fost dezvoltat un sistem automat bazat pe stații computerizate și pe stații totale. Primul sistem comercial a fost Georobot. Sistemele avansate recent includ de exemplu, Geodimetru 140 Sms (sistemul de monitorizare a pantei), Leica (Wild) APS și sistemele Georobot III bazate pe serii monitorizate TM 300+ ale teodolitelor electronice Leica (Wild) legați de orice serie Leica DI de EDM. Acestea pot fi programate pentru punctare secvențială pentru a seta țintele prisme la intervale de timp predeterminate, pot măsura distanțele și unghiurile orizontale și verticale și pot transmite datele la calculatorul de la birou. Sistemele robotice au găsit multe aplicații, mai ales în monitorizarea pereților înalți în cariere sau în studiile de stabilitate.



Figura 12. a. Leica (Wild) TC2002 , b. TCRA 1325, c. Leica (Wild) DI2002, d. De la teodolit electronic+EDM la stație totală Leica TC2003 Total Station (197)

2.4. Sisteme de aliniament cu laser

2.4.1. Generalități

a. Scurt istoric. Primele sisteme de aliniament cu laser au apărut în 1961, imediat după inventarea laserului cu neon-heliu. Fizica propagării razelor laserului dictează faptul că mărirea diametrului inițial a razei va diminua dispersarea spotului luminos. Țintele sensibile ale poziției, care pot intercepta raza laserului în locuri variate, de-a lungul căii razei asigură măsurători cu caracter drept și un concept simplu pentru verificarea unui aliniament.

b. Sistemele de semnalizare de aliniament. Primele ținte sensibile de poziție 2D apărute în anii 1970 au constat inițial din patru fotodectoare pătrate într-un aranjament de 2 x 2 numită celulă pătrat. Un dezavantaj în această metodă este faptul că măsurătoarea este proporțională cu puterea laserului.

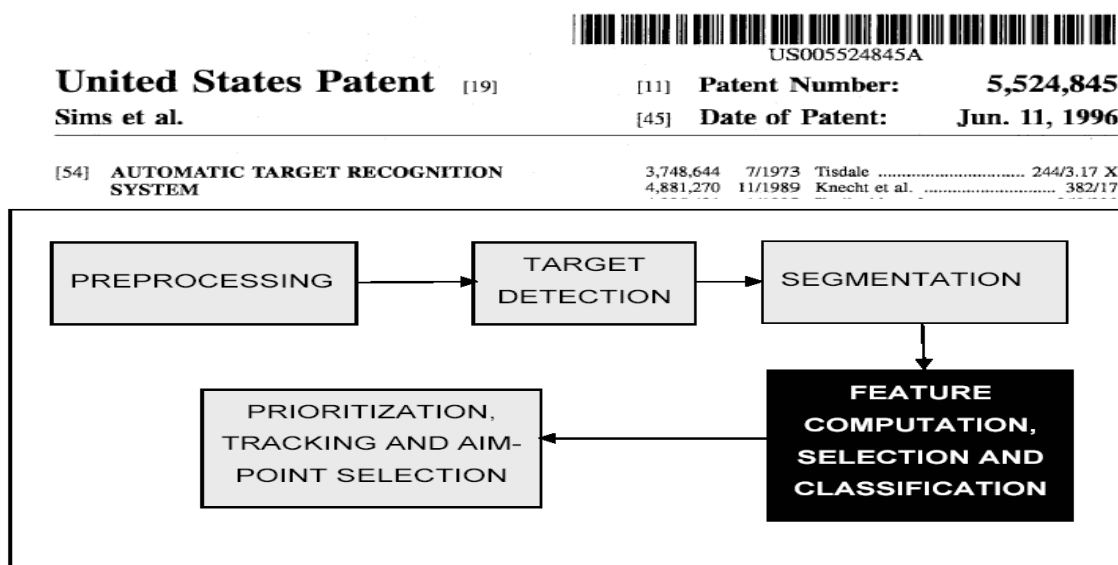


Figura 13. Sistemele de vizare automatizată, invenție USArmy (SURSA, US Geological Survey Project No: 7460-09690, DEFORMATION,2003) (206)

Următoarea dezvoltare în tehnologia țintei a apărut la mijlocul anilor 1970 pentru a îmbunătăți procesarea semnalului și pentru a produce semnalul de deplasare care a fost independent de puterea laserului. Aceasta s-a realizat utilizând un circuit integrat numit divizor analog. Divizorii analogi au fost instrumente mari, montate pe trepid care au fost reduse drastic în măsură și cost la un circuit singular integrat odată cu apariția microelectronicii. Semnalul de măsurare a fost calculat prin divizarea diferenței semnalului sumei, proporțional cu puterea laserului, divizând rezultatele într-un semnal care nu depindea de puterea laserului incident, și astfel măsura cu adevărat poziția proiecția razei laserului de pe țintă, diametru mare.

Microprocesoarele au apărut în anii 1980 și au permis o flexibilitate mai mare și o procesare a semnalelor. Acum sistemul este aproape în întregime digital. Acesta le permite să fie conectate la rețele și să transmită datele pe distanțe mari.

În anii 1990, primele componente de laser vizibil au fost introduse pentru utilizarea surselor colimatoare. Lumina dintr-o diodă a laserului tipic este emisă dintr-o deschizătură rectangulară mică de o mărime de 3 micrometri. Din cauza deschiderii mici, raza de lumina devine difuză și se mărește în diametru neuniform, cu distanța, are de asemenea două unghiuri de împrăștiere diferite deoarece deschizătura este rectangulară. Dacă o lentilă de calitate bună este plasată în așa fel încât lungimea focală coincide cu suprafața de emisie a diodei laserului, raza produsă va fi eliptică în secțiune și va suferi de o deformare. Deformarea este o consecință a deschizăturii și rezultă într-o rază care totdeauna va avea două linii centrale în loc de una. Este nevoie de mult efort pentru a transforma

lumina dintr-o diodă de laser într-o rază colimată de calitate bună, potrivită sistemului de aliniament de precizie.

2.4.2. Tehnici de aliniament cu laser. Aliniament cu laser pentru ținte singulare

Pentru măsurătorile topografice cu țintă singulară, laserul sursă trebuie fixat cu grijă spre centrul țintei, apoi operatorul va muta ținta de la poziția de referință pentru a o utiliza la locații intermediare. Această metodă este folosită numai pentru detectarea variațiilor lente în poziția razei laserului la stația de referință, de exemplu, cauzată de dereglări termice din structură care se aliniază, sau instabilități pe termen lung (geologic) la locația laserului sursă. Dacă se utilizează două ținte, atunci măsurătorile devin mai exacte deoarece ținta intermediară utilizată de operator trebuie să permită trecerea luminii pentru a ajunge la ținta de referință. În această metodă, două metode de compensare punctuală diferită sunt utilizate cu ținte transparente, adică sisteme pasive și active.

2.4.3. Surse de erori de aliniament ale laserului

Orice sistem de aliniament al laserului a fost asociat cu erori de măsurare. Precizia sistemului depinde de drumul razei într-o linie dreaptă de la laser, prin ținte transparente (posibil mai multe) și în final spre țintele de referință. Ținta transparentă va avea de obicei: un despărțitor de țintă și ferestre la capătul fiecăreia. Fiecare fereastră și despărțitor de rază va avea o mică eroare de aliniere care acționează pentru a nu mișca raza. Deși eroarea de aliniere a acestor componente este de obicei mică (zeci de milisecunde), la distanțe lungi, eroarea de deplasare poate deveni mare. Există două tipuri de erori care pot fi inserate în ecuația de compensare a erorii, una datorită mișcării razei laserului prin ținta transparentă (eroare de unghi) și cealaltă datorată țintei care este răsturnată (eroare de deviere).

- **Erorile de unghi.** Ajustarea rotației prismelor wedge pe ținte transparente permite erorii refractive să fie ajustată mai puțin de o milisecundă. Ținta de aliniament este prezentată cu erori în raport de raza condusă de laserul de incident față de LOS. Raza de laser lovește suprafața țintei de referință la distanța de centrul ei.
- **Devierea țintei.** O altă sursă de erori se datorează răsturnării țintei, cauzând o deviere a razei laserului, în timp ce trece prin fereastră sau prin despărțitorul de raze. Această grosime reprezintă grosimea ferestrelor și despărțitorului de raze într-o țintă transparentă.

2.4.4. Propagarea razei laser

O rază de laser propagată nu rămâne paralelă, după cum se presupune frecvent. Chiar cu o optică de proiecție perfectă, raza laserului se supune legilor fizicii, legea dominantă fiind difracția. Toate razele laser urmăresc o caracteristică de propagare prescrisă care depinde de două condiții prima controlabilă, a doua nu:

- (1) cum a fost lansată raza și,
- (2) ce tip de distorsiuni va întâlni în cale.

Cei doi parametri care nu guvernează comportamentul razei de laser după ce s-a lansat sunt:

- diametrul inițial și,
- lungimea undei.

Pentru o lungime de undă dată, cu cât este mai mare diametrul inițial cu atât va fi mai mică întinderea razei pe distanță. Pentru o anumită distanță, raza de laser cu undă lungă va crește în diametru mai repede decât o rază de laser cu lungime de undă scurtă. Se poate vedea cum două cantități guvernează împrăștierea razei, lungimea de undă și diametrul inițial. Câteodată această linie centrală este localizată la o anumită distanță de sursa de laser. Alteori, se află la sursa de laser. Linia centrală este aleasă să fie localizată la un anumit punct și să posede un diametru particular, în funcție de caracteristicile de propagare a razei dorite. Există o distanță pe care raza de laser rămâne în esență paralelă, aceasta se numește adâncimea terenului sau câmpului.

O rază de laser care se propagă într-un vacuum se supune legilor difracției și nu este afectată de o altă sursă. Indexul refracției pentru vacuum este definit ca fiind unitar. Cu toate acestea, în atmosferă raza se va comporta diferit. Indexul **refracției** aerului cauzează schimbări în caracteristicile de propagare a razei de lumină. Cel de-al doilea efect dominant asupra razei este numit **scintilație**, ceea ce înseamnă că intensitatea razei laserului variază ca funcție în timp.

2.4.5. Echipament de monitorizare prin aliniament cu laser (197)

ONTRAK Photonics, Inc., AGL Construction Lasers and Machine Control Systems, Hamar, Pruf-Tecnik și PinPoint sunt cei mai importanți producători din domeniu. On-Trak Photonics, Inc produce un sistem de aliniament cu laser utilizat pentru măsurarea devierilor spațiale de la o linie de referință cu laser. Sistemul poate fi utilizat în una din formele (197):

- OT-6010 Țintă de aliniament cu laser transparent.
- OT-6020 Țintă de aliniament cu laser de referință.
- OT-6000 DIM Modul de interfață.
- OT-6000LL Laser de aliniament.
- OT-6000 DT Terminal de date.

2.5. Tehnologia optică la monitorizarea structurilor

2.5.1. Tehnologia de prelucrare optică

a. Generalități. Un set de metode cunoscute în domeniu ca “prelucrare optică” este utilizat pentru a crea linii precise și planuri în spațiu de unde se realizează măsurători utilizând razele de lumină.

b. Definiția prelucrării optice. Prelucrarea optică se utilizează în stabilirea și utilizarea liniei de viză (LOS) pentru a obține linii de referință precise și planuri de referință din care sunt realizate măsurători precise cu ținte sensibile de poziționare. Prelucrarea optică se folosește de principiul conform căruia lumina se propagă în linii drepte, pentru a stabili măsurători precise și linii de nivel cu fiecare punct perpendicular pe forța de gravitație (linii de plumb pot fi setate la un anumit nivel-dat). Un număr de tehnici au fost dezvoltate pentru a realiza aceste măsurători și în unele cazuri nu mai este necesar să se interpreteze aceste citiri sau să se facă ajustări constante și calcule pentru a produce rezultate exacte.

Pentru asamblarea, întreținerea și calibrarea echipamentului industrial, sau aliniamentul sistemelor de precizie se utilizează până la patru elemente de aliniament.

- 1. Alinierea dreaptă,** în alinierea câtorva puncte, se utilizează des un cablu bine întins ca linie de referință. Această tehnică are inconveniente și poate fi în precizie. Cablul are greutate, ce cauzează săgeata, iar la distanțe lungi aceasta poate deveni considerabilă. Cablul vibrează, se poate îndoi sau se poate bucla și când este întins pe zonă care trebuie măsurată, echipamentul nu poate fi mutat din cauza posibilității de a deranja linia de referință. Chiar și cea mai mică adiere poate cauza mișcarea cablului din cauza încetirii aerodinamice pe un cablu întins. O soluție este deci conturată, utilizarea în acest caz a sistemelor LOS. Raza laserului LOS nu are greutate, nu poate atârna, nu se poate îndoi și nu prezintă un pericol de siguranță. Acesta constituie o referință precisă pentru determinarea caracterului drept pe zeci, chiar sute de metrii. Aplicațiile caracterului drept sunt angajate în stabilirea liniei de referință topografică de aliniament.
- 2. Alinierea plană,** o nivelă standard și un jalon sunt necesare pentru a determina caracterul plat. Nivelă standard trebuie mutată dintr-o parte în alta de-a lungul unor zone orizontale pentru a măsura gradele caracterului plat a fiecărei suprafețe individuale pe care este situate nivelul. Caracterul plat pe o zonă considerabilă trebuie asigurat în condiții de producție, de funcționarea unor utilaje. Nivelele cu bule de aer și nivelele laser, oferă o metodă de a produce planul orizontal de referință pe o suprafață largă. Tehnologia laserului a depășit, și în acest caz, multe dezavantaje ale nivelei cu aer.

3. **Alinierea pătrată**, caracterul pătrat perfect implică faptul că un plan formează un unghi de 90 de grade cu un alt plan cu care se intersectează. Când un pătrat de oțel este utilizat pentru a testa această condiție, măsurătorile se bazează pe fidelitatea pătratului de oțel, care poate varia cu timpul. Pătratele de oțel au o limită definită în dimensiunile lor fizice și prin urmare testarea unei suprafețe mari devine mai puțin exactă și mai înceată.
4. **Alinierea definită de firul cu plumb**, un fir cu plumb și o pendulă sunt utilizate pentru a stabili singura linie de referință verticală. Când distanțele verticale cresc, durată, vibrația, curenții de aer și altele vor crește efectele măsurătorilor. La metoda aliniamentului cu laser există mai multe feluri de a produce referințe de “fir cu plumb”, pot fi plane sau liniare. Pentru a forma un “fir cu plumb”, un laser de aliniament cu capacitate auto colimatoare este utilizată cu un mic luciu de apă cu orice lichid. Autocolimarea datorită unghiului oglinzii externe, va reflecta raza înapoi la capul laserului. Un senzor de poziție, un separator de fascicule și lentilele măsoară unghiul fasciculului reflectat.

2.6. Măsurători de extensie și de deformare

a. Tipuri de extensometrii. Pentru a măsura schimbările în distanță se utilizează tipuri variate de instrumente, mai ales mecanice și electromecanice, pentru a determina compactarea sau ridicarea straturilor solului, convergența pereților în structuri și excavațiile subteranului, deformare în roci și materiale realizate de mâna omului, separare între straturile rocilor din tunele, stabilitatea pantei, mișcarea structurii simetrice față de rocile din fundație. În funcție de aplicațiile particulare, același instrument va fi numit extensometru, deformetru, convergentometru sau fisuometru. Instrumentele variate diferă unul față de celălalt prin metoda legării punctelor, astfel va fi determinată schimbarea în distanță și felul senzorului angajat în măsurarea schimbării. Legăturile dintre instrumente sunt mecanice, precum firele, mirele, sau tuburile. Senzorii de obicei sunt tehnici precum șublerul sau manometrul. Pentru a-l adapta la înregistrările de date continue și automate, traductorii electrici pot fi utilizați în utilizarea potențiometrelor lineare, transformatorilor diferențiali și circuitelor de rezonanță indusă. Trebuie menționat faptul că instrumentele, ca cele descrise mai devreme cu precizia de ± 0.3 mm pe distanțe scurte, se pot utiliza ca extensometru mai ales când distanțele implicate sunt de mai mult de zece metri.

b. Extensometre cu fir și bandă. Întreținerea unei tensiuni constante prin utilizarea firului sau benzii extensometrului este foarte important. La unele extensometre portabile, greutatea tensiunii constante a fost înlocuită cu un resort de tracțiune. Printre cele mai precise extensometre sunt Kern Distometer (producție discontinuă) și CERN Distinvar (Elveția). Ambele instrumente utilizează fire ivăr și sisteme de tensiune constantă speciale care, dacă sunt calibrate și utilizate cum trebuie, acestea vor da precizii de 0.05 mm sau chiar măsurături mai bune la schimbarea distanțelor la lungimi de la 1 m la 20 m. Când schimbări mici în temperatură sunt previzibile sau sunt necesare precizii mici (0.1 mm la 1mm) atunci firele de oțel sau benzile de oțel sunt mai confortabil de utilizat.

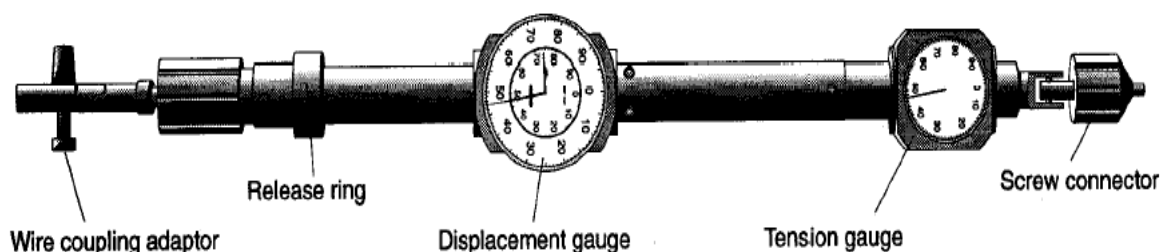


Figura 14. Distometrul extensometrul Kern (197)



Figura 15. Distometrul extensometrul CERN Distinvar (197)

c. Miră și extensometre portabile. Măsurătorile de puncte multiple din găurile de forare pot fi realizate utilizând aranjamente paralele de mire ancorate la distanțe diferite față de capul senzorului, sau un aranjament în serii cu senzori intermediari ale mișcărilor relative a mirelor. O precizie tipică de 0.1 mm la 0.5 mm poate fi realizată pentru o lungime de până la 200 de metri (de obicei în segmente de 3m-6m). Precizia totală depinde de corecțiile temperaturii și de calitatea instalației extensometrului. Sistemul de citire a indicatorului poate fi înlocuit cu un potențiomtru sau alți traductori cu sisteme de citire digitale.

d. Măsurătorile interferometrice ale deplasărilor lineare. Mai multe categorii de interferometre care utilizează raze laser sunt o sursă de radiații monocromatice care devin unelte comune în măsurarea deplasărilor de precizie. Interferometrul cu laser a găsit multe aplicații industriale în măsurarea deplasărilor mici și în calibrarea instrumentelor topografice.

e. Utilizarea senzorilor fibrelor optice. O nouă dezvoltare în măsurarea extensiilor și schimbărilor în lățimea fisurilor angajează un extensometru automat care utilizează principiul măsurătorilor de distanță electro-optice cu conducte de fibre optice. Schimbarea în lungimea senzorilor de fibre optice este simțită electro-optic și este controlată de calculator. Subiectul va fi tratat pe larg într-un capitol separat, considerând metoda ca fiind cea mai actuală și revoluționară din cele existente în prezent pentru monitorizarea structurilor.

f. Măsurători exacte în fisuri în reper. Distanțele dintre fisurile din structurile de reper sunt măsurate utilizând micrometre de precizie sau șublere.

2.7. Măsurători de înclinare și de deviere

Același instrument care măsoară devierea la un punct, poate fi numită tiltmetru sau înclinometru, depinde de interpretarea rezultatelor. Când precizia mare sau colectarea continuă sau frecventă de date ale înclinării este necesară pot fi utilizate:

- a. tiltmetre ingineresti sau înclinometre,**
- b. linii suspendate sau linii cu plumb inversat,**
- c. nivele hidrostatice.**

Alte instrumente specializate precum nivelele de mercur sau laser au fost dezvoltate, dar nu sunt utilizate în mod curent în practică.

a. Tiltmetre și înclinometre. Există multe modele: fir vibrator, tiltmetri de tip pendulă, tiltmetrii servo accelerometrii cu un pendul orizontal, mic. Aceștia din urmă oferă duritate, durabilitate și operare la temperaturi scăzute. Tiltmetri au o serie de aplicații, de exemplu dacă sunt aranjați de-a lungul unui profil de teren, pot înlocui nivelmentul geodezic în determinarea subsidenței pământului.

b. Linii suspendate și inversate. Două categorii de plumb mecanic sunt utilizate în controlarea stabilității structurii verticale:

- Linii de plumb suspendate,
- Linii de plumb inversate- plutitor.

Liniile cu plumb inversat au avantajul față de liniile cu plumb suspendat de a avea posibilitatea să monitorizeze deplasările absolute din structuri în raport cu punctele ancorate adânc în rocile de fundație, care pot fi considerate stabile. Mai multe tipuri de sisteme de înregistrat care măsoară deplasările punctelor structurale în legătură cu liniile cu plumb vertical sunt produse de companii diferite. Cele mai simple sunt micrometrele mecanice sau electromecanice. Cu acestea, cablul de plumb poate fi poziționat în legătură cu liniile de referință ale tabelului de înregistrare (coordonare) la o precizie de ± 0.1 mm sau mai mult.

c. Nivelmentul hidrostatic. ELWAAG 001 (Bayernwerke, Germany) (197) este un instrument automat cu senzor călător (cu ajutorul unui motor electric pas cu pas) care închide circuitul electric prin atingerea suprafeței lichidului. Nivelmentul hidrostatic este utilizat frecvent sub forma unei rețele de instrumente instalate permanent, umplute cu un lichid și conectate la țevi pentru a monitoriza schimbările în diferențele de înălțime ale structurilor mari. Diferențele de înălțime ale nivelului lichidului sunt înregistrate automat. Precizia variază de la 0.1 mm la 0.01 mm pe o distanță de câțiva metri. Principalul factor care limitează precizia măsurătorilor topografice este efectul temperaturii. Pentru a reduce acest efect instrumentul trebuie instalat într-un loc cu variații mici de temperatură.

2.8. Limitele fotogrammetriei terestre de tip clasic, măsurarea fotogrammetrică a deformațiilor

Metoda fotogrammetrică (87, 102, 179) este des utilizată în analiza structurală, având o serie de avantaje comparativ cu metodele geodezice: este mai economică și de productivitate ridicată, metoda este mobilă și universală, accesibilă și sigură, fotograma este un document despre structura măsurată care poate servi oricând ca referință.

Dintre multiplele metode de determinare fotogrammetrică a deplasărilor este de regulă preferată metoda axele camerei sunt perpendiculare pe baza fotogrammetrică.

Se cunoaște faptul că factorul de corecție ΔY_i în determinarea distanței Y_i dată de măsurarea fotogrammetrică intervine direct în calcularea corecțiilor celorlalte coordonate:

$$\Delta X_i = \frac{x_i}{f} \Delta Y_i$$

$$\Delta Z_i = \frac{z_i}{f} \Delta Y_i$$
(8)

unde X_i și Z_i reprezintă coordonatele punctelor imagine. Corecția ΔY_i poate fi determinată (129) prin aplicarea unei scheme standard de aplicare pe structura urmărită de puncte de control (CP) (în figura 16, punctele A,B,C,D,E). În afara structurii, paralel cu bază se amplasează punctele suplimentare de control (SCP) I, II, III, în figură, acestea fiind opuse punctelor de pe structură, așa cum rezultă din figură. Distanțele Y_j corespunzătoare fiecărui punct SCP, sunt măsurate astfel:

- Inițial cu o stație totală,
- Ulterior fotogrammetric.

Diferențele dintre cele două distanțe sunt ΔY_j , unde “j” este numărul fiecărui punct, în acest caz de la I la III.

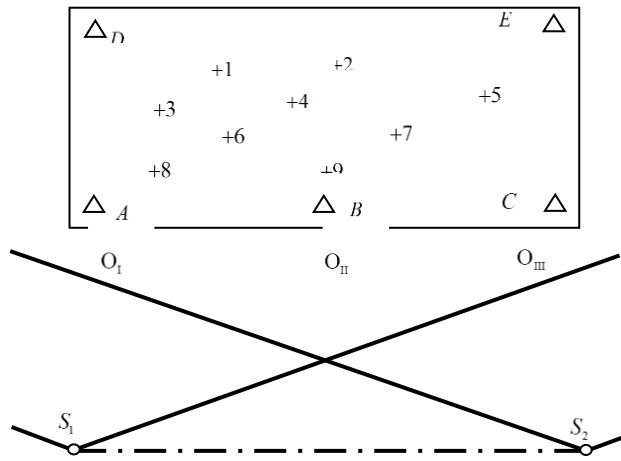


Figura 16. Schema dispunerii punctelor monitorizate pe structură

Aceste diferențe rezultă utilizând directă proporționalitate între distanțe și paralaxa orizontală:

$$\Delta Y_i = \frac{P_j}{P_i} \Delta Y_j \quad (9)$$

P_j, P_i , fiind paralaxele orizontale ale punctelor SCP, respective CP.

Relația (9) este utilizată pentru a calcula corecțiile din (8). După determinările fotogrammetrice, coordonatele spațiale $(X, Y, Z)_i$, ale punctelor de control CP, vor fi corectate:

$$\begin{aligned} X_i &= X_i^* + \Delta X_i; \\ Y_i &= Y_i^* + \Delta Y_i; \\ Z_i &= Z_i^* + \Delta Z_i. \end{aligned} \quad (10)$$

Diferențele între transformatele coordonatelor punctelor imagine x_t, y_t, z_t și coordonatele punctelor imagine sunt:

$$\begin{aligned} \Delta x &= a_0 + a_1 x_t x + a_2 x_t z + a_3 z + a_4 x; \\ \Delta z &= c_0 + c_1 z_t x + c_2 z_t z + c_3 x + c_4 z. \end{aligned} \quad (11)$$

Formula anterioară prelucrată prin mijloacele principiului celor mai mici pătrate va conduce la obținerea coeficienților “a” și “c”. Aceeași formulă este utilizată pentru a obține corecțiile coordonatelor imagine ale punctelor monitorizate (EP)-examined point, punctele 1,2,3..... în figură. Se folosește o metodă iterativă, pentru primă aproximare se folosesc mărimile măsurate x_t și y_t .

Iterațiile continuă pe baza condițiilor:

$$\begin{aligned} |\Delta x_n^{k+1} - \Delta x_n^k| &\leq \mu_x; \\ |\Delta z_n^{k+1} - \Delta z_n^k| &\leq \mu_z. \end{aligned} \quad (12)$$

Unde factorii μ reprezintă valorile apriorice, “n” numărul punctelor monitorizate (EP), iar “k” numărul iterației. Coordonatele punctelor imagine transformate se obțin din relațiile:

$$\begin{aligned} \Delta X_n &= X_n^i - X_n^0; \\ \Delta Y_n &= Y_n^i - Y_n^0; \\ \Delta Z_n &= Z_n^i - Z_n^0, \end{aligned} \quad (13)$$

Unde X_n^0, Y_n^0, Z_n^0 sunt coordonatele fotogrammetrice spațiale transformate ale punctelor monitorizate (EP), iar X_n^i, Y_n^i, Z_n^i aceleași coordonate deformat pentru ciclul “i” iar “n” este numărul punctului (EP).

Într-o lucrare (102) cu caracter experimental realizată de profesorul Stepan Miloșev, de la Universitatea Tehnică din Sofia, Bulgaria, realizată în următoarele condiții:

- Structura monitorizată rezervor din BA, cu dimensiunile 28/14/5,
- Parametrii fotogrammetrici $f=194,82$ mm, utilizând o cameră Carl Zeiss Photeo 19/1318; $B=13,020$ m, $Y=62,000$ m,
- 19 puncte s-au observat în două cicluri respectiv ciclul “0” cu rezervorul gol și “1” cu rezervorul plin,
- Pentru comparație s-au folosit măsurători geodezice de manieră clasică cu un teodolit Theo 010 CZJ și un nivel Ni 007 CZJ,
- Se consideră coordonatele anterior obținute de bază, comparându-se cu cele obținute fotogrammetric,
- S-au realizat câte trei cicluri de măsurare repetate cu câte trei determinări pentru fiecare punct monitorizat.

Au rezultat datele din tabelul 3, cu următoarele semnificații:

$\Delta X_{ph}, \Delta Y_{ph}, \Delta Z_{ph}$, deplasările înregistrate fotogrammetric, $\Delta X_g, \Delta Y_g, \Delta Z_g$, deplasările înregistrate geodesic, $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$, erorile constatate. Grafic aceste deplasări sunt ilustrate în figura 17. Utilizând erorile menționate erorile standard ale deplasărilor se calculează cu relațiile:

$$m_{\Delta X} = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_x^2}{m}} = \pm \sqrt{\frac{550}{19}} = \pm 5,4 \text{ mm},$$

$$m_{\Delta Y} = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_y^2}{m}} = \pm \sqrt{\frac{626}{19}} = \pm 5,7 \text{ mm}, \quad (14)$$

$$m_{\Delta Z} = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_z^2}{m}} = \pm \sqrt{\frac{589}{19}} = \pm 5,6 \text{ mm}.$$

Tabelul 3. Raportul dintre erorile de măsurare

| No. EP | ΔX_{ph} [mm] | ΔX_g [mm] | ε_x mm | ΔY_{ph} [mm] | ΔY_g [mm] | ε_y [mm] | ΔZ_{ph} [mm] | ΔZ_g [mm] | ε_z [mm] |
|--------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 | 15 | 6 | 9 | -34 | -25 | -9 | -9 | -3 | -6 |
| 2 | 18 | 12 | 6 | -37 | -28 | -9 | -13 | -4 | -9 |
| 3 | 13 | 8 | 5 | -29 | -20 | -9 | -13 | -4 | -9 |
| 4 | 8 | 5 | 3 | -14 | -9 | -5 | -7 | -3 | -4 |
| 5 | -6 | -1 | -5 | -20 | -14 | -6 | -10 | -4 | -6 |
| 6 | 14 | 8 | 6 | -16 | -11 | -5 | -9 | -4 | -5 |
| 7 | -7 | -3 | -4 | -19 | -11 | -8 | -11 | -4 | -7 |
| 8 | -9 | -1 | -8 | -12 | -6 | -6 | -8 | -3 | -5 |
| 9 | -7 | -2 | -5 | -9 | -5 | -4 | -10 | -4 | -6 |
| 10 | 4 | 2 | 2 | -6 | -2 | -4 | -7 | -4 | -3 |
| 11 | 6 | 2 | 4 | -5 | -1 | -4 | -10 | -4 | -6 |
| 12 | 6 | 3 | 3 | -5 | -2 | -3 | -10 | -4 | -6 |
| 13 | 5 | 2 | 3 | -3 | 5 | -8 | -5 | -3 | -2 |
| 14 | 7 | 2 | 5 | -3 | 3 | -6 | -5 | -3 | -2 |

| | | | | | | | | | |
|----|----|---|----|----|----|----|-----|----|----|
| 15 | 6 | 3 | 3 | -3 | -5 | 2 | -6 | -3 | -3 |
| 16 | -2 | 6 | -8 | -3 | -6 | 3 | -7 | -4 | -3 |
| 17 | 6 | 1 | 5 | -5 | -2 | -3 | -10 | -4 | -6 |
| 18 | 7 | 1 | 6 | -3 | 0 | -3 | -9 | -3 | -6 |
| 19 | 7 | 1 | 6 | -3 | 0 | -3 | -8 | -3 | -5 |

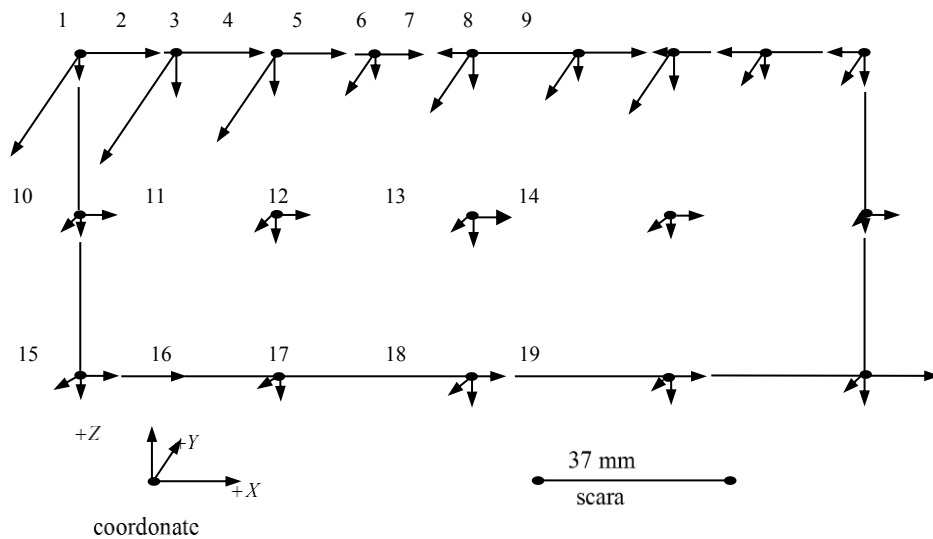


Figura 17. Deplasările mărcilor între cele două cicluri de măsurare

Rezultând precizia relativă:

$$\frac{m_{\Delta X}}{Y} = \frac{1}{11500},$$

$$\frac{m_{\Delta Y}}{Y} = \frac{1}{10900},$$

$$\frac{m_{\Delta Z}}{Y} = \frac{1}{11070}.$$
(15)

Concluzia studiului este că metoda fotogrammetrică în monitorizarea structurală este de precizie limitată de ± 10 mm, apreciem insuficientă pentru monitorizarea construcțiilor dar suficientă pentru urmărirea comportării în timp a terenurilor, inclusiv cazuri grave ca cel studiat în studiul de caz, prezentat în lucrările noastre, de la Mașca, județul Cluj. Dezvoltarea prin metode digitale a tehnicilor fotogrammetrice nu a depășit obstacolul preciziei dar a adus progrese, prezentate prin următorul studiu de caz, la nivelul modului de prelucrare a datelor și prezentare a rezultatelor.

2.9. Monitorizarea și vizualizarea deplasărilor de tip “subsidență” prin utilizarea fotogrammetriei digitale terestre

Există situații, printre care și cel prezentat în studiul de caz Mașca, jud. Cluj, (130,131) în care deplasările produse în timp se transformă în prăbușiri iar accesul în zonă este foarte riscant. Prin realizarea de măsurători comparabile, executate în zone test, atât prin fotogrammetrie digitală terestră cât și prin intersecție unghiulară efectuată cu stația totală de precizie s-au stabilit diferențe de $\pm 10-20$ mm, acceptabile pentru monitorizarea deplasărilor unor masive de pământ, cum am precizat anterior.

Sistemul prezentat se bazează, în analiza deplasărilor pe generarea de imagini 3D care poate fi rotit pentru a fi vizualizat din orice unghi. Testele s-au efectuat în Australia la Mina Baal care se află în vestul Bazinului carbonifer, 50 de km la vest de Sydney (186). Mina este situată sub stânci de gresie, caracteristică a zonei. Gravitatea problematicii născute odată cu exploatarea au permis comanda acestei lucrări, prin care se experimenta fotogrammetria digitală terestră comparativ cu intersecția

unghiulară efectuată cu stația totală de precizie. Fotogrammetria, a oferit avantajul de a asigura măsurarea de la distanță pe o arie mare, în zone inaccesibile. Imaginile stereo oferă posibilitatea de a stabili (identifică) punctele de interes pe locații de formațiuni de gresie ce includ orizonturi geologice, articulațiile naturale și miniere induse, fracturi. Tehnicile tradiționale au necesitat amplasarea de puncte de control (cel puțin 6) la sol în aria de acoperire stereo. Aceste puncte de control sunt utilizate pentru a calcula poziția, orientările de înclinare, azimut și altitudine ale aparatului de fotografiat. Aparatele de fotografiat trebuie să fie amplasate în zone care nu fac obiectul subsidenței. Distanța de la aparatele de fotografiat la punctele monitorizate de pe versantul falezei au variat de la 200 la 300 de metri. Baza între stații a fost stabilită de aproximativ 40 de metri distanță. Un studiu convențional folosind o combinație a GPS și a metodelor de teodolit a fost utilizate pentru a verifica cele 6 stații de aparat de fotografiat.

Pentru ca punctele de pe versant să fie monitorizate au fost încastrate în teren mici prisme reflectorizante cimentate. Prisme au fost axate în cercuri albe însemnate pe versantul de 300 mm pentru a fi ușor de identificat în cadrul fotografiilor. GCP-urile au fost localizate în general, în pozițiile accesibile în apropiere de vârful de stâncă (figura 18). Un aparat foto digital Nikon D1, cu o lentilă de 60 mm a fost utilizat pentru fotografiere. Camera a fost montată pe un teodolit iar unghiurile de azimut și de elevație s-au măsurată pentru fiecare expunere de imagine. Acesta a permis stabilirea parametrilor de poziție de fiecare dată când un exercițiu de monitorizare a fost efectuat. S-au preluat date înainte de a începe exploatarea și apoi, din momentul când au început surpările. Modelul de teren generat prevede capacitatea de a determina amplasarea orizonturilor geologice, articulațiilor naturale și fracturile induse de exploatare, precum și evoluția formei falezei.

Comparațiile între rezultatele fotogrammetrice și cele înregistrate cu teodolitul arată variații de lungimi între vectori de 11-33 mm (în medie -17 mm). Acesta reprezintă o variație mai mică de 1 pixel. Imaginile au un nor de puncte de date (spre nord și înălțime) asociate în mod tipic cu un pixel vizual (figura 19.a.). Norul de puncte de date poate fi suprapus peste imagini. Aceasta oferă capacitatea de a interpreta forma, structura și geologia zonei. Avantajele folosirii imaginilor suprapuse peste norul de puncte de date 3D devine evidentă atunci când apar astfel de modificări fizice ca fracturarea rocii (figura 19.b.). Rezultatele proiectului au demonstrat fezabilitatea obținerii unor măsurări de analiză a deplasărilor pe mari suprafețe inaccesibile (în acest caz stâncă). Rezultatele obținute, folosind sistemul de fotogrammetrie dezvoltat de CSIRO la analiza efectelor exploatărilor subterane asupra suprafeței sub raportul datelor subordonate, dă posibilitatea de a oferi date/pixel în variații ale vectorului măsurat de până la 17 mm, precizie tolerabilă, în acest caz.

2.10. Sisteme existente de monitorizare a deformărilor construcțiilor miniere de la suprafață și din subteran, analiză sintetică

- **Inspecția vizuală**, ochiul uman și creierul constituie un sistem de monitorizare remarcabil. Prin inspecția vizuală este posibil să se recunoască o varietate mare de probleme și defecte în multe structuri.
- **Manometre mecanice**, comparatoarele cu cadran și alte tipuri de comparatoare mecanice sunt încă utilizate într-o varietate de sarcini de monitorizare a deformărilor. Ele permit măsurări simple și precise pentru deformările mici cu sensibilitate până la câțiva microni. Exemple tipice includ rockmetrele (cu bare de invar sau de oțel fixate la baza unei găuri de foraj și măsurate la capătul comparatorului cu cadran) și comparatoarele mecanice utilizate pentru a măsura contracția betonului. Baza măsurătorilor poate fi extinsă de la câțiva la sute de milimetri și mai mult.
- **Manometre electrice**, manometrele electrice sunt extensia firească a celor mecanice. Cele două categorii includ manometre de tensiune cu folie rezistentă care sunt atașate direct la suprafața structurii și senzorii inductivi care înlocuiesc comparatoarele cu cadran pentru măsurarea deformărilor mai mari. Ambele metode pot asigura monitorizarea automată sau izolată.
- **Metode electromecanice**, un caz special este constituit de senzorii cu fir vibrator, unde deformarea pe o distanță de câțiva centimetri este transformată într-o variație de frecvență a

vibrației a firului tensionat și detectat de un pick-up similar celui găsit în acustica muzicală. Sensibilitatea la temperatură poate fi corectată de către senzorul de temperatură integrat. Baza măsurătorilor este limitată la câțiva decimetri.

- **Metode optice**, metodele optice includ triangulația și nivelmentul. Aceste metode sunt potrivite pentru măsurarea deformărilor mari relative (de ordinea milimetrilor) chiar și pe structuri mari. Unele sisteme au fost adaptate la monitorizarea automată sau izolată, dar aceste metode de obicei necesită prezența unui operator specializat. Măsurătorile sunt restricționate la suprafața structurii.
- **GPS**, sistemul GPS bazat pe sateliți (sau sisteme derivate gen Glonass) devine din ce în ce mai interesant pentru monitorizarea structurală. În timp, prin perfecționarea permanentă a sistemului, s-a ajuns să se obțină o precizie de ordinul milimetrilor, sau chiar a fracțiunilor de milimetru, aplicații recente la poduri și structuri înalte demonstrând gradul de actualitate și utilitate al metodei. Cu această precizie sistemul ar putea deveni un sistem tradițional la monitorizarea structurală, și nu unul izolat ca în prezent.

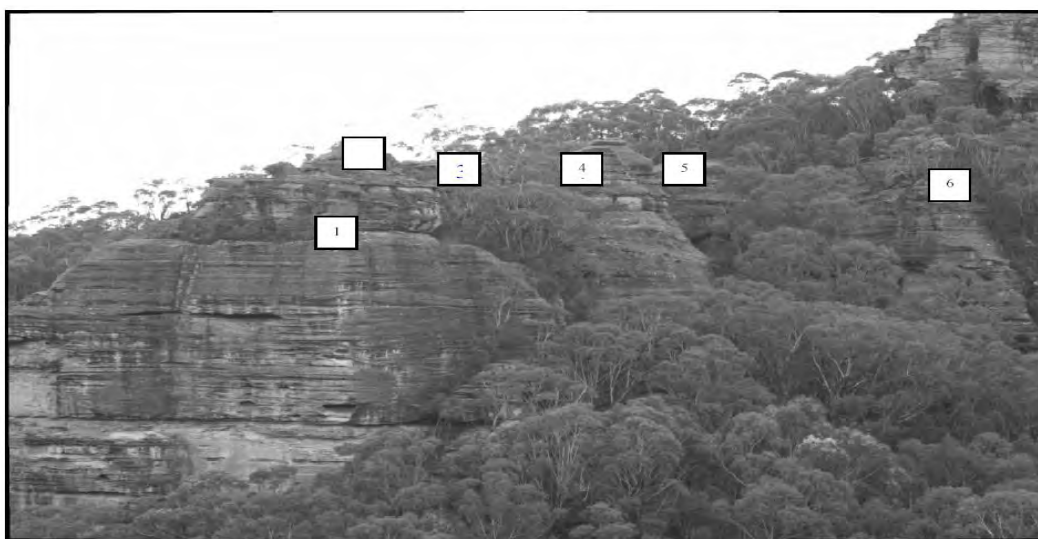


Figura 18. Puncte topografice de control pentru compararea rezultatelor obținute cu stațiile totale și prin mijloace fotogrametrice (186)



a



b

Figura 19.a,b. Imaginea versantului înainte și după deplasare (fracturare) (186)

2.11. Concluzii

Monitorizarea structurală-urmărirea comportării în timp a terenurilor și construcțiilor s-a făcut mulți ani prin metode considerate acum “clasice”, cele mai utilizate fiind nivelmentul geometric de mijloc pentru determinarea tasărilor și intersecțiile unghiulare pentru alunecări. Aceste metode sunt actuale și în prezent în măsura în care interesează doar comportarea structurilor urmărite în regim static. De-a lungul timpului s-au dezvoltat și alte metode optice, laser, mecanice, electromagnetice, fotogrammetrice, dar consider că utilizarea acestora este punctuală.

Apariția și dezvoltarea tehnicilor satelitare din categoria GPS a fost spectaculoasă și în acest domeniu dar pentru a se obține precizii corespunzătoare tehnică este în continuare foarte scumpă, între timp fiind lansate tehnici mult mai avantajoase, cele mai importante fiind prezentate în capitolul următor.

3. Metode moderne, măsurători în regim cvasidynamic și dinamic la urmărirea comportării în timp a construcțiilor și a terenurilor situate în perimetrele miniere

Securitatea lucrărilor de inginerie civilă necesită o monitorizare periodică a structurilor. Metodele curente sunt adesea aplicații dificile, complexitatea rezultantă, dependența de starea atmosferei cât și costurile limitând aplicabilitatea acestor măsurători. Rezoluția spațială obținută este în general scăzută, secvențială și numai prezența anomaliilor în comportamentul global stimulează o evaluare precisă relevantă. Există prin urmare o nevoie reală pentru instrumentele, care să permită o monitorizare permanentă, continuă și automată a structurii, cu precizie mare și o rezoluție spațială bună.

În acest cadru, conceptul structurilor inteligente (smart structures) și-a dovedit eficiența în alte domenii precum monitorizarea materialelor compozite sau în aplicațiile aerospațiului. Aceste tipuri de structuri sunt instrumentate cu o serie internă de senzori care permit monitorizarea diferiților parametri critici pentru securitate și sunt folositori pentru o planificare eficientă a costului intervențiilor de întreținere. Aceasta include măsurarea deformărilor, temperaturii, presiunii, vitezei vântului, umidității atmosferei și altele.

Capitolul 3, prezintă cele mai noi și actuale metode, de urmărire a comportării în timp a construcțiilor și a terenurilor, măsurători în regim cvasi dinamic și dinamic, aplicabile și în cazul celor situate în perimetrele miniere.

3.1. Topografia cinematică-cel mai nou capitol al topografiei (135, 136)

Abordarea interdisciplinară s-a dovedit deosebit de utilă, uneori chiar indispensabilă, în studierea unor fenomene ce scăpau de sub controlul metodologic al unui singur domeniu de cercetare. Caracterul complex al interacțiunilor elastice influență exterioară – structură de construcții impune o viziune interdisciplinară ce implică mai multe domenii de activitate: construcții speciale - topografie - metrologie-meteorologie-geologie - minerit- electrotehnică-electronică-fizică etc. conturându-se astfel un nou capitol al topografiei (135, 136) ce poate fi denumit *Topografie cinematică*. Ultimii 30 de ani au adus în sfera monitorizării structurilor noi tehnici, unele complet automatizate, care revoluționează tehnica măsurării dar pot crea, în același timp, o alternativă non-topografică a procesului de monitorizare; această activitate, deși urmare firească a urmării comportării în timp a structurilor, poate fi soluționată în cadrul altor domenii de activitate sau, de sine stătător, ca activitate distinctă.

3.1.1. Încadrarea obiectului de studiu al topografiei cinematice

Refacerea ciclului optim de proiectare a structurilor de construcții într-un anumit spațiu: comportarea în situ sub acțiunea unor încărcări variabile în timp (vânt, temperatură, exploatare, inclusiv subterană), implică urmărirea acestora și în regim cinematic (figura 20).

Printre aplicațiile Topografiei în domeniul monitorizării structurilor (figura 20), partea „cinematică” se referă la studiul, înregistrarea și preluarea parametrilor caracteristici ale influențelor exterioare cât și ai geometriei structurilor sub acțiunea unor variații într-un interval scurt de timp (max. 24 h) a unor încărcări.

În cadrul analizei dinamice, se încadrează comportarea structurii într-un regim de mișcare lentă, denumit **cvasistatic**, ca de exemplu:

- efectul asupra construcțiilor a variațiilor de temperatură,
- alunecările, tasările, fenomenul de subsidență, formarea de goluri de surpare, inclusiv de tip con, de tip evolutiv agresiv, cu referire la terenuri sau la construcțiile aflate pe aceste terenuri, cu intervale de preluare a datelor, într-o gamă foarte largă între un minut și o oră astfel încât să se genereze parametri măsurabili prin mijloace clasice și comportarea structurii într-un regim de mișcare rapidă, denumită **dinamică**, ca de exemplu:

- efectul seismelor, microseismelor asupra construcțiilor și terenurilor,

- comportarea la acțiunea vântului,
- comportarea structurii sub sarcină de încărcare, ce dă naștere la o variație a geometriei ce necesită intervale optime de preluare a datelor între 0,01 – 1 s. În acest din urmă caz, mijloacele clasice de operare ale topografiei sunt inoperabile.

3.1.2. Structuri în regim cinematic

Solicitările asupra structurilor de construcții au un caracter continuu când forțele de inerție sunt de un ordin de mărime comparabil cu intensitatea acțiunii care generează fenomenul. Astfel, acțiunea unor echipamente și utilaje industriale, seismelor, variațiilor de temperatură, vântului conduc la producerea de fenomene de comportare cinematică descrise de ecuații de formă:

$$\Delta d = Df \quad (16)$$

unde :

- Δd – necunoscută principală a problemei – de regulă un sistem de deplasări, supuse unor restricții limită;
- D – sistem de operații matematice;
- f – termenul liber, corespunzător acțiunii considerate în care se pot include și condițiile inițiale.

3.1.3. Încadrarea metrologică

Studierea variației unor mărimi geometrice $(\Delta X_i, \Delta Y_i)$ sau (D_i, θ_i) în funcție de timp și de parametrii solicitării (direcție, sens, viteză) implică abordarea metrologică a fenomenului. Astfel, intervin direct metrologia mărimilor geometrice, timpului, caracteristicile mediului și indirect metrologia mărimilor electrice. Având în vedere dubla misiune a metrologiei: **de a pretinde** de la producătorul aparatelor de măsură anumite performanțe și **de a asigura** la utilizator (beneficiar) această performanță se naște, în cazul de față, întrebarea „se va pleca de la metodă la aparate sau, având la dispoziție o serie de instrumente, se vor adopta aceste metode?”. Legăturile ® și © (figura 21) sunt dictate de cele două posibilități de înregistrare a parametrilor cinematici:

1. fără a avea un contact direct cu structura;
2. instrumente montate direct pe structură.

Din prima categorie fac parte metodele de urmărire topografică (teodolitul), fotogrammetrică, înregistrate pe peliculă de film sau video, scanerele. În cea de-a doua categorie se încadrează metodele neconvenționale, metode de monitorizare a structurilor, instrumente și tehnici care trebuie incluse în sfera topografiei. Se ține cont de condiția de bază a înregistrărilor: asigurarea uniformității măsurătorilor în precizie acceptată. Preceptul metrologic „nici o mărime nu este perfect constantă în timp” este în acest caz deosebit de actual, necesitând încadrarea informațiilor de măsurare în categoria precizată de (figura 23). În acest caz se vor măsura funcțiile $x(t)$, $y(t)$ a mărimilor x , y funcție de timpul t . În cazul măsurării „prin puncte” se obțin succesiuni ale mărimilor măsurate ce formează debitul Q de informații:

$$Q = n \times I \quad (17)$$

în care:

- n – numărul de informații pe unitatea de timp;
- I – informația primară.

Se poate ajunge la $n = 30$ inf./min., I fiind de natură geometrică: unghi sau distanță, câte unul din fiecare informație.

Stabilind ecuația mărimilor de ieșire (figura 23) acestea vor avea forma (18).

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_n; v_1, \dots, v_p; c_1, \dots, c_q) \quad (18)$$

în care:

- y_i – mărimile de ieșire;
- x_i – mărimile măsurate;
- v_i – mărimile de influență;
- c_i – comenzile aparatului.

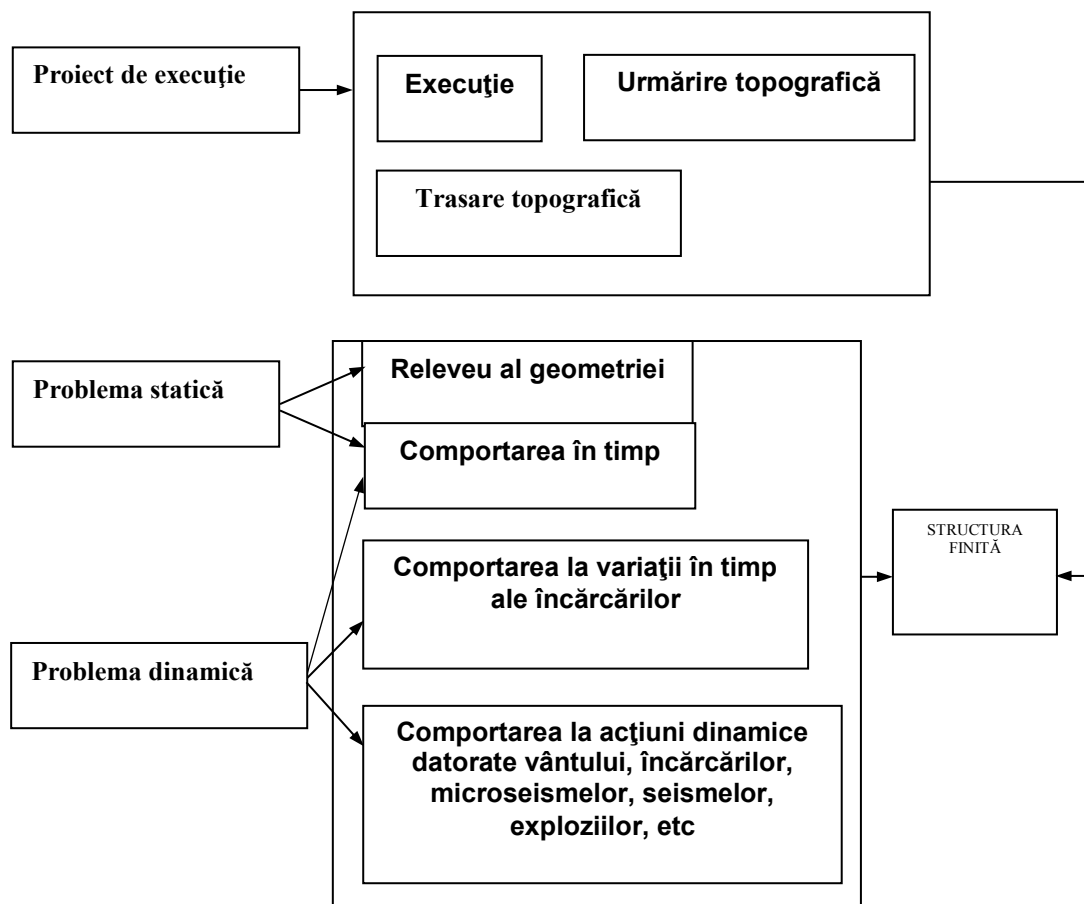


Figura 20. Poziția monitorizării structurilor în regim cinematic în contextul realizării structurilor de construcții (135, 136)

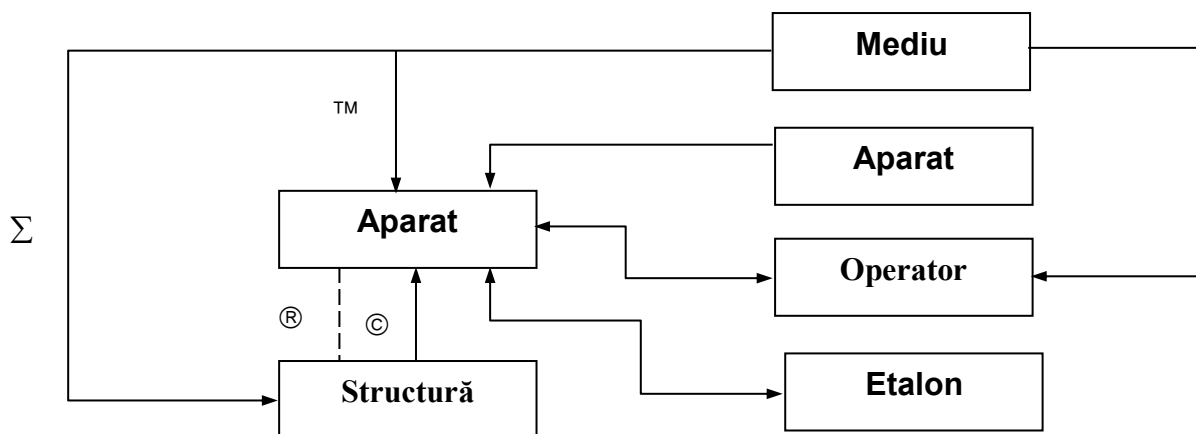


Figura 21. Încadrarea metrologică a măsurătorilor cinematice (135, 136)

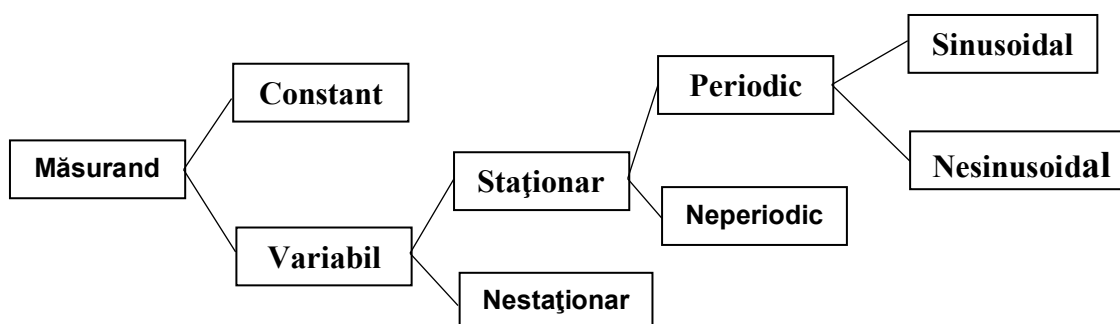


Figura 22. Încadrarea măsurătorilor topografice cinematice din punct de vedere metrologic (135, 136)

$$\Delta y_{ii} = \frac{\theta f_i}{\theta x_i} \Delta x_i + \frac{\theta f_n}{\theta x_n} \Delta x_n + \frac{\theta f_i}{\theta v_i} \Delta x_i + \frac{\theta f_p}{\theta v_p}, i = 1, \dots, m \quad (19)$$

unde $\frac{\theta f_i}{\theta x_j}$ reprezintă sensibilitățile utile ale aparatului de măsurat necesar să fie valori precise cât mai stabile în timp, rezultând erorile instrumentale, iar $\frac{\theta f_i}{\theta v_p}$ sensibilitățile parazite ale aparatului de măsurat, pe cât posibil determinate și încadrate sub anumite limite. Mărimile de ieșire pot fi adresate operatorului sau unui sistem tehnic de prelucrare și înregistrare.

La alegerea aparatelor de măsură trebuie să se considere precizia necesară, perturbațiile prezente, durata unei măsurători, condițiile de mediu și amplasare, simplitate, gabarit, cost. Este desigur aici vorba de un sistem de măsurare care permite măsurarea unei succesiuni de mărimi pe baza unui software de măsurare. Oferta de metode este în prezent foarte mare existând adevărate sisteme manager de monitorizare a comportării a structurilor sub acțiunea unor solicitări dinamice.

Apare în cazul măsurătorilor variabile în timp (structură solicitată dinamic) noțiunea de eroare dinamică. Concretizând, în regim dinamic, mărimea de ieșire nu urmărește fidel variația mărimii de intrare. Printre cauze: inerția părților mecanice ale aparatului, componentele reactive din circuitele părții sale electrice.

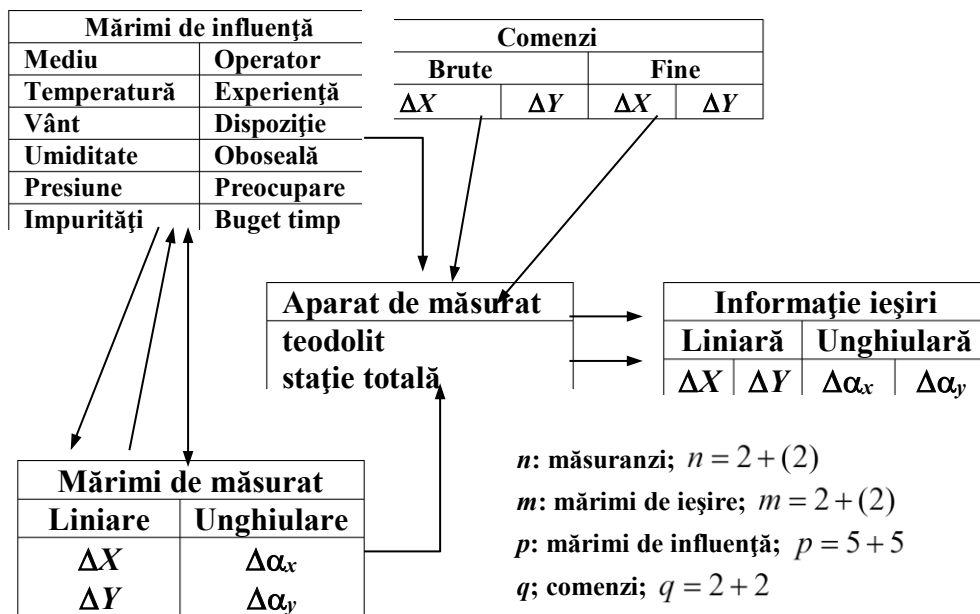


Figura 23. Influențele externe ale măsurătorilor cinematice (135, 136)

În final, datele vor trebui prezentate separat dar și cumulat deoarece o suprapunere defavorabilă a efectelor poate conduce la producerea unei discontinuități în comportarea structurii (matematic denumită catastrofă), deși fiecare cauză se înscrie în limitele de proiectare.

Principala cauză a necorelației între preocupările sporite din ultimul timp pentru calculul la stabilitate și producerea în continuare a accidentelor, avariilor, catastrofelor ale structurilor este lipsa de date suficiente privind comportarea în situ la diferite combinații de solicitări a structurilor proiectate și executate. Topografia cinematică oferă posibilitatea de a lega lanțul întrerupt al proiectării optime în domeniul structurilor de construcții.

Tabelul 4. (135, 136)

| | | | |
|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---|
| Natura mării | Geometrică | Distanțe | ΔX ΔY |
| | | Unghiuri | $\Delta \alpha_x$ $\Delta \alpha_y$ |
| | Atmosferică | Vânt | Direcție sens viteză (la diferite nivele) |
| | | Temperatură | Perete expus, perete umbrit |
| Intervalul de valori măsurabile | Geometrică | Distanțe | min. 0,1 mm, max. 2 mm |
| | | Unghiuri | min. 0,1 ^{cc} , max. 10 ^{cc} |
| | Atmosferică | Vânt | Direcție $\pm 1^\circ$, viteza min. 0,1 m/s; max. 4 m/s |
| | | Temperatură | min. 1 ^o C; max. 4 ^o C |
| Variația în timp | Geometrică | Mărimi constante | Distanța aparat – structură |
| | | Mărimi variabile periodic | $\Delta X, \Delta Y; \Delta \alpha_x, \Delta \alpha_y$ |
| | | Mărimi variabile neperiodic | $\Delta X, \Delta Y; \Delta \alpha_x, \Delta \alpha_y$ |
| | Atmosferică | Mărimi constante | $\approx T^\circ C$ pentru cicluri sigle la acțiunea vântului |
| | | Mărimi variabile periodic | $V, T^\circ C$ |

| | | | |
|--|--|--------------------------------|-----------------|
| | | Mărimi variabile neperiodic | $V, T^{\circ}C$ |
|--|--|--------------------------------|-----------------|

3.2. Elemente care au stat la baza dezvoltării noilor metode de monitorizare (135, 136)

3.2.1. Condiții impuse metodelor de monitorizare a structurilor de construcții și a terenurilor în regim cinematic: cvasistatic și dinamic

Considerăm că pentru a fi utile, beneficiarilor direcți, proiectanții structurilor urmărite, metodele de monitorizare cinematică trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

1. Înregistrările trebuie să fie sau continue (regimul dinamic), sau cu o frecvență de preluare constantă (regimul cvasistatic), în diferite combinații a condițiilor de solicitare.
2. Parametrii cauzelor care produc mișcarea structurii, fenomenul monitorizat, trebuiesc fidel definiți.
3. Determinarea cu precizie a raportului dintre caracteristicile solicitărilor efectele acestor mișcări în spațiul tridimensional.
4. Precizia măsurătorilor să corespundă cerințelor date de caietul de sarcini privind monitorizarea structurii în regim static, respectiv cinematic, cvasistatic sau/și dinamic.
5. Să facă posibilă prezentarea în ansamblu a efectelor cumulate ce solicită structura urmărită.
6. Să facă posibilă decelarea influențelor pentru fiecare factor de solicitare.
7. Diminuarea pe cât posibil a efectelor mediului asupra metodelor de măsurare.

Datele furnizate de geodez proiectantului structurii măsurate, trebuie să permită definirea elementelor comportamentale generale și particulare pentru un anumit tip de structură, de exemplu structură de tip tronconic de caracteristici: înălțime, volum, mediu, sol, amplasament, relief, climă, vecinătăți, cunoscute, cât și incidența factorilor de solicitare extraordinari.

Se consideră necesară abordarea cu prudență a aspectului posibilităților de cuplare a factorilor de solicitare. Cunoașterea modelului comportamental general, particular și special al construcției A, cu parametrii structurali B, amplasată în zona C, caracterizată prin factorii de mediu D, face posibilă estimarea celor mai defavorabile posibilități de cuplare a factorilor menționați și adoptarea deci, în limitele de rezistență maximali prevăzuți adoptarea soluției optime de monitorizare în toată gama menționată de la static la dinamic (135, 136).

3.2.2. Primele încercări de monitorizare continuă a terenurilor aflate în zone instabile, accelerometru de sondă de forare

Printre primele încercări de monitorizare continuă a terenurilor aflate în zone instabile a fost instalarea de accelerometre prin sonde de forare (86). Înainte de 1984, sistemul rezista circa doi ani, dar azi există un număr de sisteme tridimensionale de durată. Pachetele accelerometrice de forare Downhole a FBA-3DH și FBA-13DH, produse de Kinematics în timpul anilor 1970 și 1980 au avut un incontestabil succes. FBA-23DH oferă un progres în diferite zone de interes. Fără a schimba design-ul demonstrat al detectorului de bază FBA, Kinematics, a îmbunătățit design-ul extern și intern cu dispozitive de etanșare noi, cu noi piese de legătură și a adăugat capacitatea unui compas digital intern. Aceste caracteristici fac din FBA-23DH cea mai puternică unealtă valabilă azi pentru măsurarea de accelerare a mișcărilor subterane puternice. Acestea includ structuri mari, deasupra și sub pământ, surse de vibrații, precum cariere de piatră din apropiere sau construcții industriale, autostrăzi sau exploatări subterane. Interacțiunea structurilor mari cu solul poate introduce mișcarea pământului din zonă. Din acest motiv, suprafața pe care accelerometrul ar trebui localizată este de cel puțin $1,4xH$ distanță de structură, unde H este înălțimea structurii.

3.2.3. Tendințe actuale în cercetarea din domeniu.

Scanere clasice sau laser, sisteme video, sisteme RTK-GPS, senzori, timbre, penduli, nivele laser, înclinometre, accelerometre, în general sisteme expert sau manager de monitorizare a structurilor au fost create fie pentru a înregistra punctual fie continuu răspunsul structurilor reale la solicitări diverse, în special vânt, cutremur sau condiții diferite de exploatare. O mare parte sunt creații ale firmelor producătoare de aparatură geo-topografică, în special Leica și Trimble, dar trebuie semnalat faptul că au apărut firme care au ca obiect de activitate monitorizarea structurilor în regim dinamic continuu sau produc instrumente pentru această activitate și care nu au nimic în comun cu activitatea topografică sau producția de instrumente tradiționale. Analiza comportării structurilor sub acțiunea unor factori exteriori, unde se încadrează și exploatarea subterană, dezvoltarea realizării de construcții cu caracteristici tot mai ridicate, au avut ca rezultat firesc extinderea cercetărilor privind proiectarea, execuția și urmărirea comportării în timp a acestor structuri. Dintre numeroasele preocupări în domeniu se menționează (138):

3.3. Noi tehnici, aparate, sisteme manager de monitorizare a structurilor în regim dinamic

3.3.1. Utilizarea înclinometrelor la monitorizarea terenurilor

Înclinometrele Digitilt® sunt folosite pentru monitorizarea mișcărilor din subteran ale pământului în zone cu alunecări de teren și excavații adânci. Ele sunt de asemenea folosite pentru monitorizarea deformărilor din structuri și terenuri de la suprafață.

a. Înclinometre verticale

Carcasa înclinometrului (118) este de obicei instalată într-o gaură verticală care trece prin zonele suspectate de mișcare până în pământul stabil. Înclinarea sondei e măsurată de două accelerometre servo, echilibrate prin forță. Un accelerometru măsoară înclinarea în planul roților înclinometrului, care urmăresc șanțurile longitudinale ale carcasei. Celălalt accelerometru măsoară înclinarea în planul perpendicular roților. Măsurările înclinării sunt transformate în deviații laterale. Modificările de deviație, determinate de compararea examinării inițiale și a celor curente, indică mișcarea solului. Reprezentarea modificărilor în deviație oferă o reprezentare foarte detaliată a deplasării. Reprezentările deplasării folosesc la determinarea magnitudinii, adâncimii, direcției și proporției mișcării solului.



Figura 24. Carcasa Înclinometrului (118)

Carcasa înclinometrului e o țevă cu șanțuri cu un scop special folosită în instalarea înclinometrului. Ea e instalată de obicei într-o gaură, dar poate fi și încastrată într-o crăpătură, turnată în beton sau atașată unei structuri. Carcasa înclinometrului asigură accesul sondei înclinometrului, permițându-i să realizeze măsurători sub suprafața solului. Șanțurile din interiorul carcasei controlează orientarea sondei și asigură o suprafață de pe care pot fi obținute mai multe măsurători ale înclinației. Carcasa e proiectată să se deformeze la mișcarea solului său a structurilor adiacente. Viața folositoare a carcasei se termină când mișcările continue ale solului strangulează sau taie

carcasa, împiedicând trecerea sondei înclinometrice. O carcasă cu un diametru mai mare are de obicei o viață mai lungă. Carcasa de 84 mm (3,34”) e potrivită pentru alunecări de teren și monitorizări pe termen lung. Carcasa de 70 mm (2,74”) pentru proiecte de construcție și pentru monitorizarea stabilității pantei când e anticipat doar un grad moderat de deformare. Carcasa de 48 mm (1,9”) pentru aplicații în care sunt distribuite doar mici deformări peste zonele de limită. Exactitatea măsurătorii e direct influențată de calitatea șanțurilor carcasei. Slope Indicator optimizează șanțurile carcasei pentru roțile sondei înclinometrului Digitilt, oferind o suprafață netedă pentru roți și mai mult spațiu necesar când sonda trebuie să treacă prin curbura axei transversale.

b. Înclinometrele orizontale

Înclinometrele orizontale sunt folosite pentru monitorizarea unor clădiri, a alunecărilor de teren de sub rezervoarele, depozite, baraje, diguri și gropi umplute. Versiunea orizontală a sistemului de înclinometru Digitilt constă în carcasa înclinometrului, o sondă orizontală, cablul de control, sistemul de troliu și o unitate de înregistrare. Sonda înclinometrului orizontal folosește un accelerometru servo, echilibrat prin forță, pentru a măsura înclinarea în planul roților sondei. În timpul unei examinări, măsurările înclinării sunt obținute la intervale de o jumătate de metru în timp ce sonda e trasă dintr-un capăt al carcasei în celălalt. Profilele așezărilor sunt generate de adunarea deplasărilor și reprezentarea lor.

Înclinometrele orizontale asigură profile complete ale așezărilor diferențiale și sunt mult mai ușor de folosit decât alte tipuri de aparate ce pot face profilurile așezărilor. Nu există rezervoare de lichide sau surse de presiune de reglat sau întreținut.

Digitilt Data Mate (172) înmagazinează în memorie o listă a instalațiilor înclinometrice, așa că, pentru a începe o examinare, operatorul selectează o instalație din listă. Se afișează apoi adâncimea de start pentru instalație, iar operatorul poziționează sonda la acea adâncime. Afișajul arată adâncimea, citirea axei A și citirea axei B. Când ambele citiri sunt stabile, Data Mate afișează un semnal „ready” (pregătit). Operatorul înregistrează apoi citirea, folosind comutatorul sau tastatura. Data Mate anunță sonor confirmarea și apoi afișează următoarea adâncime.

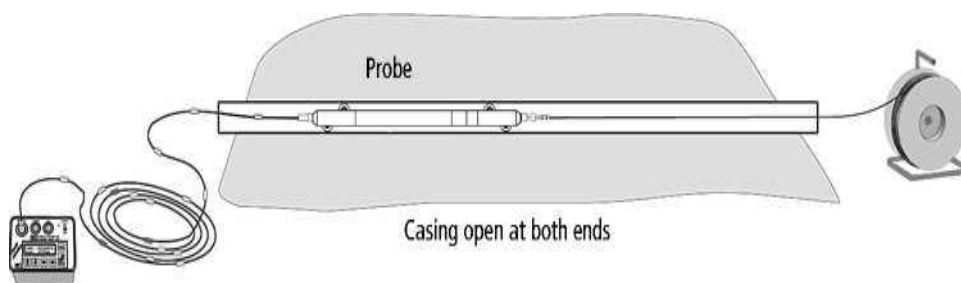


Figura 25. Înclinometru orizontal (118)



Figura 26. Unitatea de prelucrare a datelor Digitilt Data Mate compact funcționează 16 ore cu o singură încărcare, înmagazinează până la 320 de evaluări și transferă datele într-un computer pentru procesare (172)

3.3.2. Soluții Leica în monitorizarea structurilor în regim dinamic

Soluțiile Leica Geosystems (197) asigură obținerea de date solide și precise, procesare avansată, analiză sofisticată și transmitere securizată a datelor. Prin folosirea de interfețe standard, arhitecturi deschise și platforme scalabile, soluțiile pot fi personalizate pentru a răspunde cerințelor individuale - pentru instalații permanente și temporare, pentru ocazii unice și rețele de monitorizare.

Leica Geosystems după 30 de ani de experiență cu sisteme automatizate de monitorizare a deformării are o paletă largă de aplicații ale monitorizării și include: poduri, clădiri înalte, tuneluri, centrale nucleare, alunecări de teren, mine, vulcani, instalații de teleferic și altele.

Un sistem de monitorizare structurală ajută la reducerea costurilor datorate mișcărilor structurale atât a costurilor prezente cât și a celor de întreținere pe termen lung și reduce riscurile, deoarece analiza datelor poate fi utilizată pentru a ajuta la înțelegerea implicațiilor prezente și viitoare ale mișcărilor structurale.

Leica Geosystems produce o paletă largă de instrumente de înaltă precizie pentru monitorizare structurală. Acestea precum și instrumente ale unor terțe părți pot fi configurate și administrate prin software Leica Geosystems personalizate pentru a oferi o capacitate de monitorizare continuă 24 ore, șapte zile. În figura 27, sunt prezentate principalele categorii de lucrări monitorizate cu soluțiile Leica indicându-se poziția senzorilor ce preiau și transmit mișcările elementelor structurale unde sunt amplasați.

a. Monitorizarea podurilor, o mare parte din soluțiile de monitorizare continuă a structurilor au fost inventate și aplicate pentru poduri. Podurile moderne suspendate pe cabluri sunt supuse unor sarcini uriașe pe distanțe mari. Acestea sunt modelate ca structuri dinamice care se mișcă ca urmare a sarcinilor impuse de trafic, vânt, încălzire sau răcire, coroziune și alte condiții de mediu. Receptorii de înaltă performanță GPS/GNSS ai Leica Geosystems, softul și algoritmi avansați de procesare sunt utilizate pentru monitorizarea sănătății structurale și pot fi folosite atât în timpul cât și după terminarea construcției.

b. Monitorizarea alunecărilor de teren, în fiecare an alunecările de teren cauzează pagube importante și scăderi ale profiturilor minelor, proprietăților rezidențiale și comerciale, autostrăzilor și căilor ferate. Sistemele de monitorizare de la Leica Geosystems sunt parte esențială a managementului riscului.

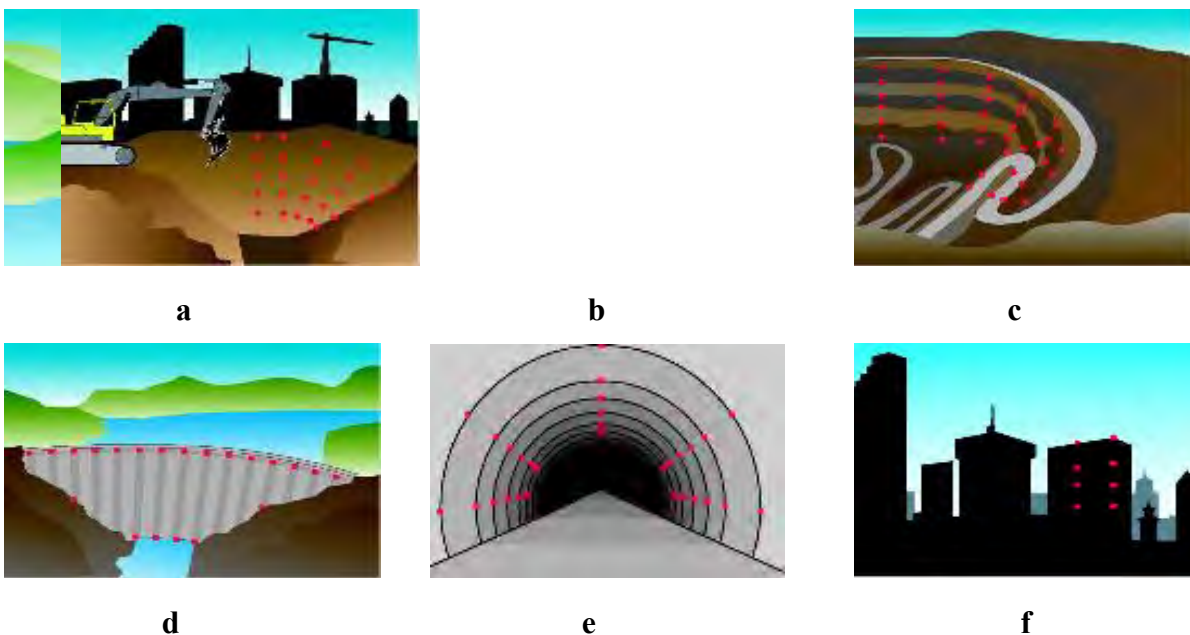


Figura 27. Soluții de amplasare a senzorilor Leica pentru monitorizarea a. Podurilor, b. Alunecărilor de teren, c. Construcțiilor situate în zone excavate, d. Barajelor, e. Tunelurilor, f. Clădirilor (197)

c. Monitorizarea construcțiilor, sistemele de monitorizare pot da din timp informații despre orice abatere de la proiect în timpul etapelor critice ale construcției, cum ar fi excavările de adâncime. Aceasta asigură integritatea construcției și siguranța oamenilor. Monitorizarea asigură verificarea continuă și documentarea acomodării la toleranțele de construcție și de planificare.

d. Monitorizarea barajelor, barajele mari umplute cu pământ și ciment reprezintă infrastructuri critice pentru asigurarea continua cu apă și pentru generarea de electricitate. Forțele de încărcare și descărcare exercitate asupra barajelor reprezintă un stres pentru structuri și trebuie monitorizate. Stresul se poate datora fluctuațiilor nivelului apei, compactării structurii, alunecărilor de teren din apropiere sau activității seismice.

e. Monitorizarea tunelurilor, sistemele permanente și semi permanente de monitorizare de la Leica Geosystems asigură un fundament excelent pentru descoperirea timpurie a condițiilor defavorabile de stres în masa de piatră. Un sistem de monitorizare poate economisi în timpul construcției timp și bani prin scăderea structurilor de întărire care trebui instalate pentru siguranță. După realizarea construcției sistemul de monitorizare se asigură condiția că tunelul să rămână în limitele toleranței planificate.

f. Monitorizarea clădirilor, clădirile noi precum și cele existente pot fi afectate de mișcări zilnice (efecte solare, ploi abundente), perioade lungi de mișcare (sedimentări) și mișcări dinamice (rezonanță, vânt și sarcină). De asemenea acestea pot fi construite în zone expuse inundațiilor sau cutremurelor și prin urmare expuse riscului de a fi afectate de calamități naturale. Un sistem de monitorizare poate asigura integritatea structurală a clădirii prin punerea la dispoziție în mod continuu pe perioade lungi de timp de date despre deformare. Stațiile totale ale Leica Geosystems reprezintă o clasă aparte de instrumente clasice utilizate în monitorizarea structurilor.

În esență aparatura de monitorizare Leica este formată din (197) :

Stații totale: Leica TCA1800/2003, Leica TCA1201M, Leica TPS1200 ,

GPS/GNSS: Leica GMX902 GG, Leica GRX1200, Seria Leica GPS1200, Seria Leica GMX901
Receptorii GNSS (Sistem global de navigație prin satelit) de înaltă precizie, compatibile atât cu GPS cât și cu GLONASS, precum și algoritmi avansați de procesare și softwareul fac din Leica Geosystems un lider mondial în monitorizarea prin GNSS.

Software: Leica GeoMoS, Leica GNSS Crawler, Leica GNSS QC, Leica GeoMoS Web,

Software de monitorizare, Leica Geosystems folosește interfețe de comunicație și de date standard pentru flexibilitate și pentru personalizare și are capacități sofisticate de planificare a măsurătorilor multi senzoriale, de administrare și procesare a datelor de analiză și capacități de trimitere de mesaje, **Senzori geotehnici**, Leica GeoMoS poate realiza interfețe cu înregistratoare de date, care în schimb sunt compatibili cu majoritatea senzorilor geotehnici care se găsesc în comerț.

Senzorii de înclinație, Leica Geosystems oferă măsurători de înclinație cu axă dublă ultra precise, de mare viteză, fără deviații pentru a detecta cele mai mici mișcări. Datele meteorologice și geotehnice adiționale furnizate de senzori, îmbunătățesc înțelegerea oricărei deformări detectate.

Altele: Leica Nivel 210/220, Leica GPR112 cu Prismă de monitorizare, utilizată și în cazul studiului de caz 2, podul de la Beska, Serbia.

3.3.3. Utilizarea amortizoarelor cu masă activă TMD (135)

Controlul activ al vibrațiilor și oscilațiilor construcțiilor creează șansa de a menține siguranța și confortul ocupanților (192). Modelul matematic al comportării construcțiilor este uzual non liniar dar se poate simplifica la un model liniar. În plus, modelul matematic nu reflectă exact toate caracteristicile structurii și variațiile acestora. Modelul bazat pe un control activ liniar a fost cu succes aplicat utilizând un amortizor de tipul ACTIVE TUNED MASS DAMPER (ATMD). Modelul structurii este dezvoltat bazat pe controlul de fază, practic studiind vibrațiile clădirii la vânt, sau alte solicitări orizontale. Structura cercetată este o clădire pentru care trebuie să se precizeze următorii parametri: m_1 = masa clădirii, k_1 = constantă de elasticitate a clădirii, b_1 = constantă de amortizare a

clădirii, m_2 = masa TMD, k_2 = constantă de elasticitate a TMD, b_2 = constantă de amortizare a TMD, U = forța de control, F_w = forța vântului, $Y_{1,2}$ = deplasarea clădirii și TMD.

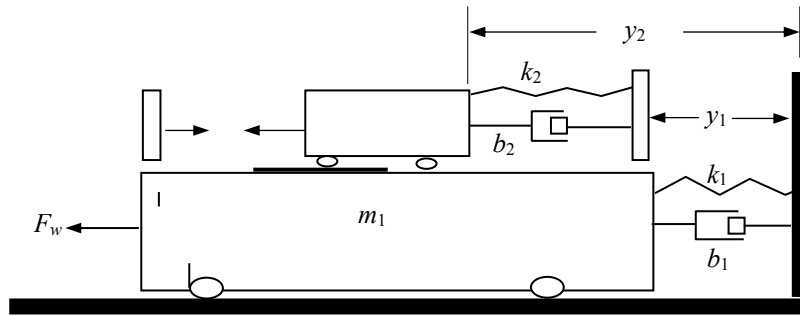


Figura 28. Structura sistemului TMD (135)

Masele m_1 și m_2 se mișcă pe direcție orizontală sub influența forței vântului $F_w(t)$ și a forței de control $u(t)$. Deplasarea ambelor mase în același moment (t) se pot determina dacă se cunosc $Y_1(t)$ și $Y_2(t)$. Acest sistem ATMD ca structură nu are decât 2 grade de libertate. Ecuația mișcării sistemului derivă aplicând cea de a doua lege a lui Newton, diagrama sistemului fiind prezentă în figura 4.11. Ecuația spațială a clădirii va fi: (20), respectiv (21), (22):

$$\begin{aligned}
 x &= A_x + B_1 u + B_2 F_w \\
 y &= C_x \text{ cu} \\
 x &= \begin{bmatrix} y_1 \\ Z \\ y_1 \\ Z \end{bmatrix} \tag{20}
 \end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_1}{m_1} & \frac{0}{m_1} & -\frac{b_1}{m_1} & \frac{b_2}{m_2} \\ \frac{k_1}{m_1} & -k_1\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) & \frac{b_1}{m_1} & -b_2\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \frac{1}{m_1 + m_2} \end{bmatrix} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 B_2 &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{m_1} \\ -\frac{1}{m_2} \end{bmatrix} \tag{22} \\
 C &= [1 \ 0 \ 0 \ 0], D[0]
 \end{aligned}$$

3.3.4. Eficiența metodelor de monitorizare a oscilațiilor clădirilor utilizând sisteme vibrante amortizoare

Printre cele mai utilizate metode de urmărire a răspunsului structurilor la acțiunea factorilor sollicitanți (vânt, circulația rutină, activitățile din interiorul acestora sau din imediata apropiere, cutremur, alunecări de teren) este utilizarea amortizoarelor de tip vibrant sau pendular (135). Introducerea amortizoarelor în cadrul diferitelor structuri de construcții trebuie să țină cont de o serie de restricții privind elementele practice de proiectare, cum sunt costurile pe care le implică îmbunătățirea exploatării structurilor în condiții de vânt puternic sau alte încărcări. Factorii de influență care determină selectarea unui amortizor de vibrații dinamice sunt: eficiența, mărimea structurii, costul investiției, costul de operare, costurile privind mentenanța, speranța de mentenanță a calităților sistemului cât mai mult timp, siguranța în exploatare și fiabilitate. Principalele tipuri de amortizoare (tabelul 4.4 prezintă o analiză comparativă) sunt:

- a) în masă de tip tun, simbolizate TMD, prezentate în paragraful anterior,
- b) amortizoare cu lichid, din prima generație, simbolizate TLD,
- c) amortizoare cu lichid din a doua generație, simbolizate TLCD din figura 29.

Sistemele TMD sunt de o construcție sofisticată conținând sistem de balanță a presiunii cu jet de gaz, mecanism de acționare, acumulator de energie și sistem de control electronic. Aceste amortizoare includ în masa lor un sistem de suport gravitațional și un sistem de propulsare a jetului de gaz, traductori, accelerometre, senzori de presiune și temperatură, un sistem electronic de pornire-oprire. Acest tip de amortizoare sunt acționate hidraulic, iar direcția este confecționată din cauciuc laminat pentru micșorarea frecării. Amortizoarele cu lichid TLD prezintă următoarele principale caracteristici:

- nu sunt foarte sensibile la amplitudini înalte ale oscilațiilor,
- nu necesită introducerea unui mecanism adițional de activare, din punct de vedere al costurilor de instalare și mentenanță sunt cele mai avantajoase.

3.3.5. Sisteme hibride laser-senzor de mișcare (detector de poziție optic de tip ODMS -sistem optic de sesizare a deformațiilor)

Sistemul a fost probat inițial în analiza deformațiilor șinelor de cale ferată cu o precizie ± 0.1 mm pentru o distanță de vizare până la 100 m și o frecvență a măsurătorilor mai mare de 1000 Hz. Sistemul funcționează în regim de înregistrare continuu și poate da rezultate la distanțe laser-senzor, deocamdată, de până la 200 m.

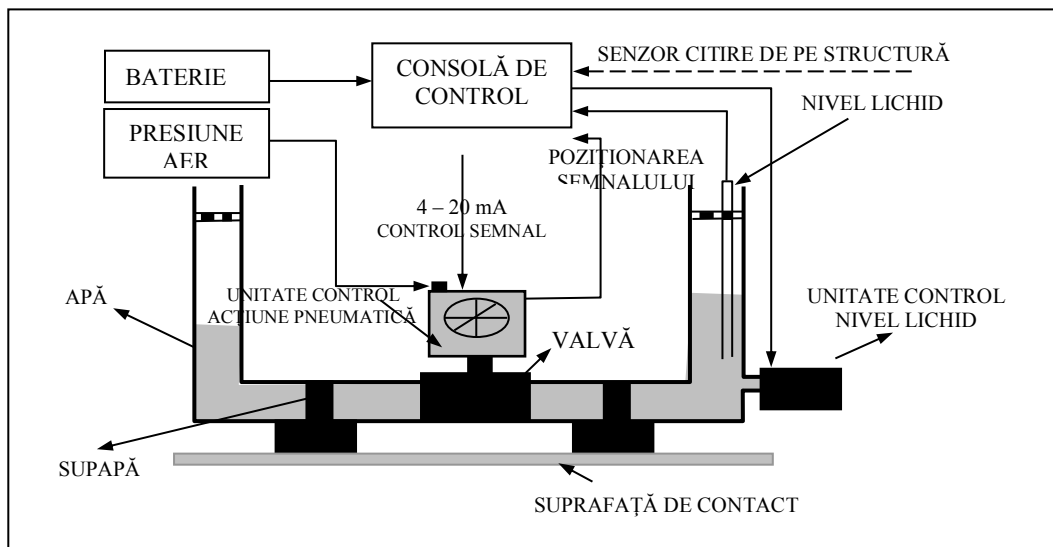


Figura 29. Schema constructivă a echipamentului TLCD (135)

3.3.6. Controlul optimal al domeniului de frecvență a oscilațiilor structurilor acționate de presiunea vântului prin utilizarea sistemului LQG

Cercetătorii G. Iin și Y. Chi de la Universitatea Notre Dame, Indiana, SUA sunt preocupați, în ultimii doi ani, de găsirea strategiei optice de utilizare a senzorilor de frecvență gravă LQG pentru a înregistra domeniul de oscilație a structurilor acționate de vânt.

În principiu, s-a creat designul sistemului LQG, în monitorizarea răspunsului structurii la acțiunea sistemului de încărcări variabile în timp (figura 31).

Tabelul 5.Principalele tipuri de amortizoare (135).

| Componente ale costurilor | Amortizoare cu lichid TLD | Amortizoare în masă tip tun și amortizoare pendulare TMD | Amortizoare cu lichid TLDC |
|---|---|--|---|
| Cota de proiectare | Proiectare simplă, costuri scăzute | Proiectare de specialitate și servicii de consultanță | Nesemnificative, instalare ușoară, realizabilă în perioada de execuție a construcției |
| Costuri construcție | Costuri nesemnificative, instalare ușoară | Consolidări locale pentru mărirea rezistenței la forțele de acționare | Necesită un sistem constructiv local |
| Componente mecanice | Nu este cazul | Direcție din cauciuc laminat, servo direcție hidraulică, ghidaje liniare, amortizoare de vibrații, penduli de tip TMD | Activare manuală a valvelor, sistem propriu de control al nivelului apei |
| Componente electronice | Nu este cazul | Sisteme de control computerizate | Necesită un sistem de monitorizare computerizată |
| Senzori | Senzori pentru nivelul lichidului | Accelerometre, senzori de presiune și temperatură | Accelerometre, anemometre, senzori de nivel al lichidului |
| Surse de energie | Nu este cazul | Nunecesită, deoarece funcționează cu baterii reîncărcabile | Este necesară energie diferită în funcție de tipul sistemului TMD |
| Mentenanți și costuri operaționale | Costuri operaționale limitate, curățirea periodică a rezervoarelor și schimbarea apei | Sisteme de control al mentenanței, baterii-acumulatori, sistem de asigurare a unui curent constant de aer pentru acționarea pneumatică | Mentenanța sistemului de control, a sistemelor mecanice, este necesară putere instalată suplimentară, controlul nivelului de ulei, sistem de alimentare și a apei |

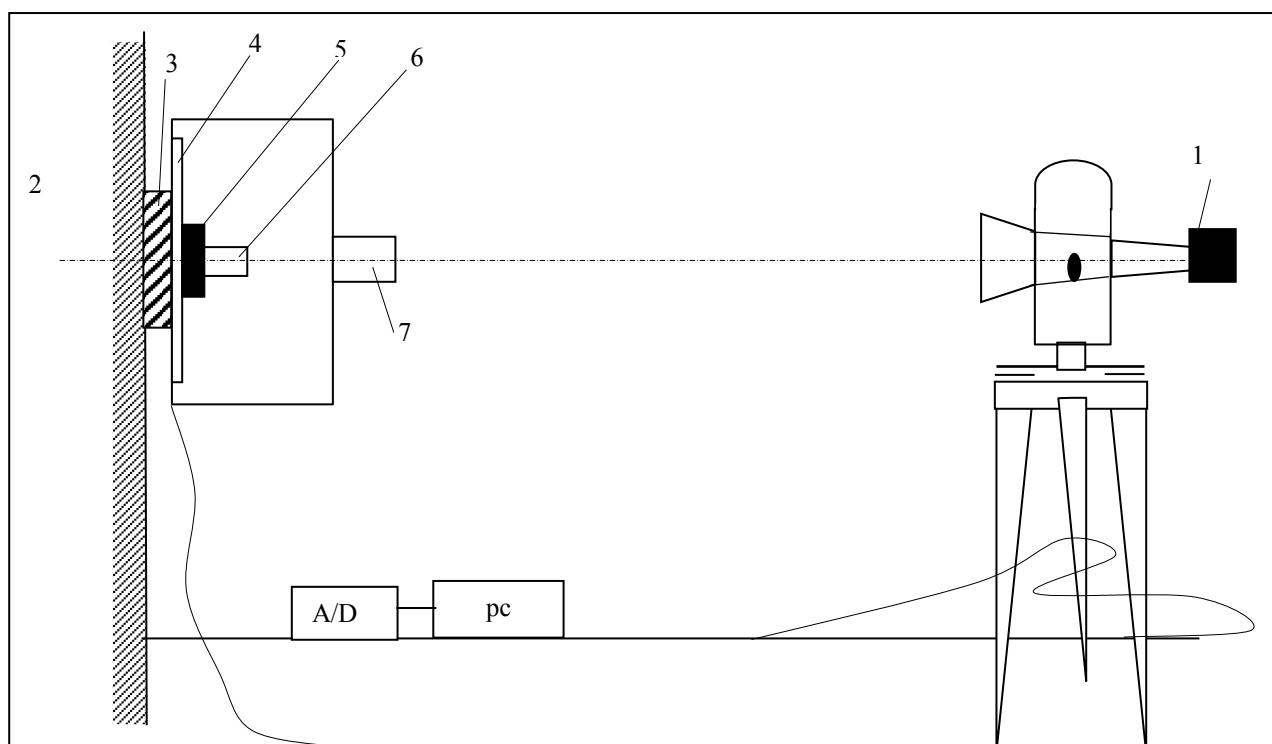


Figura 30. Sistemul ODMS pentru înregistrarea deformațiilor: 1. diodă laser, 2. structura urmărită, 3.sistem de fixare a senzorului de structură, 4. amplificator de semnal, 5. diodă de focalizare laterală, 6.filtru de trecere în bandă, 7. tub protector (135)

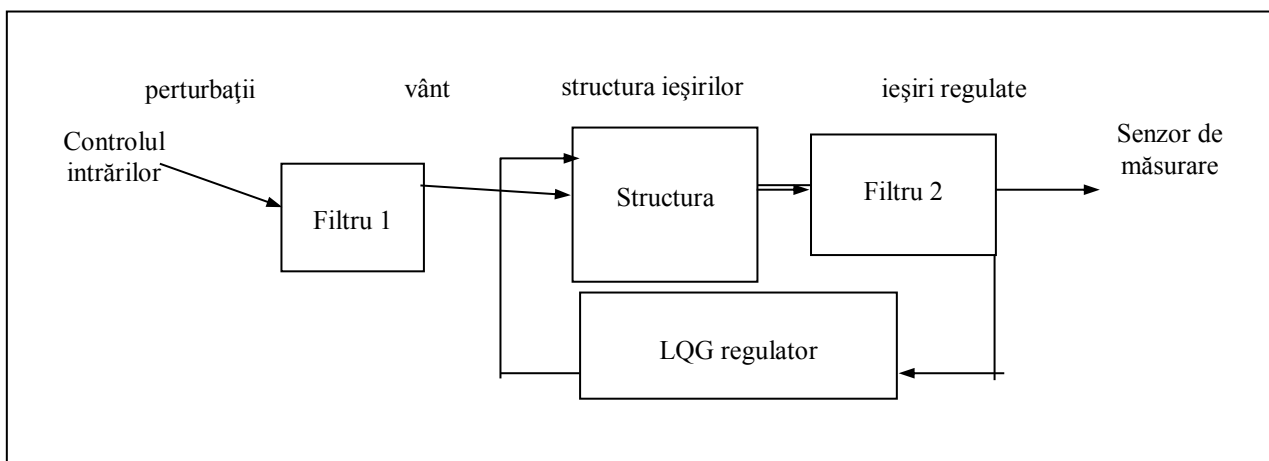


Figura 31. Diagrama frecvențelor avantajază sistemului LQG (135)

3.3.7. Sistemul de monitorizare a deformațiilor al US Geological Survey, Team Chicago (135)

Completând instrumentarul obișnuit de monitorizare a parametrilor vântului și a impactului asupra construcțiilor (anemometre, accelerometre, stații topografice totale) cu instrumente de ultimă oră (GPS, filtre analogice, convectoare de înaltă rezoluție), cercetătorii americani au pus la punct un sistem manager pentru înregistrarea deplasărilor dinamice care poate fi utilizat și la urmărirea comportării în regim cinematic a structurilor miniere.

În figura 32, se prezintă structura sistemului, observându-se că are trei componente de bază:

- sistemul de înregistrare a parametrilor vântului,
- sistemul gps-rtk de monitorizare a răspunsului structurii,
- dispozitive de transmitere, înregistrare și prelucrare statistică a rezultatelor.

De menționat componența celor două variante de instrumente utilizate:

Varianta 1°

- anemometru ultrasonic VIASALA WAS424,
- GPS-RTK Leica MC400,
- accelerometru Columbia SĂ-107LN, senzor de tip balance, frecvența minimă 0Hz, sensibilitatea 74V/g.

Varianta 2°

- scanner laser Riegl USA LMS-Z210 3D,
- GPS-RTK, Trimble 4800,
- stație topografică totală Topcon GTS312.

3.3.8. Sistemul 3DEMON Robotic Laser Robovec, pentru monitorizarea milimetrică multiplă 3D a deformațiilor, bazat pe tehnologie laser

Este un sistem creat să monitorizeze deplasările produse în timp, având la bază tehnologia laser (199, 211). Măsoară și distanțe prin tehnologia laser și poate juca rolul de Stație laser robotizată pentru monitorizarea simultană a mai multor puncte. Are o precizie milimetrică ceea ce-l face utilizabil la monitorizarea alunecărilor de teren, fenomenului de subsidență sau a oricărui proces de deplasare a unei construcții sau teren în timp. Pentru monitorizare 3D a unor deplasări de ordinal milimetrilor pe scara de monitorizare tehnică, unitatea ROBOVEC se bazează pe un laser metru și o robotizarea biaxială modulară pentru deplasări orizontale și verticale. Instrumentul este capabil să măsoare variația unghiurilor orizontale verticale și a distanței între instrument, presupus a fi de coordonate cunoscute și fixe, și punctele monitorizate.

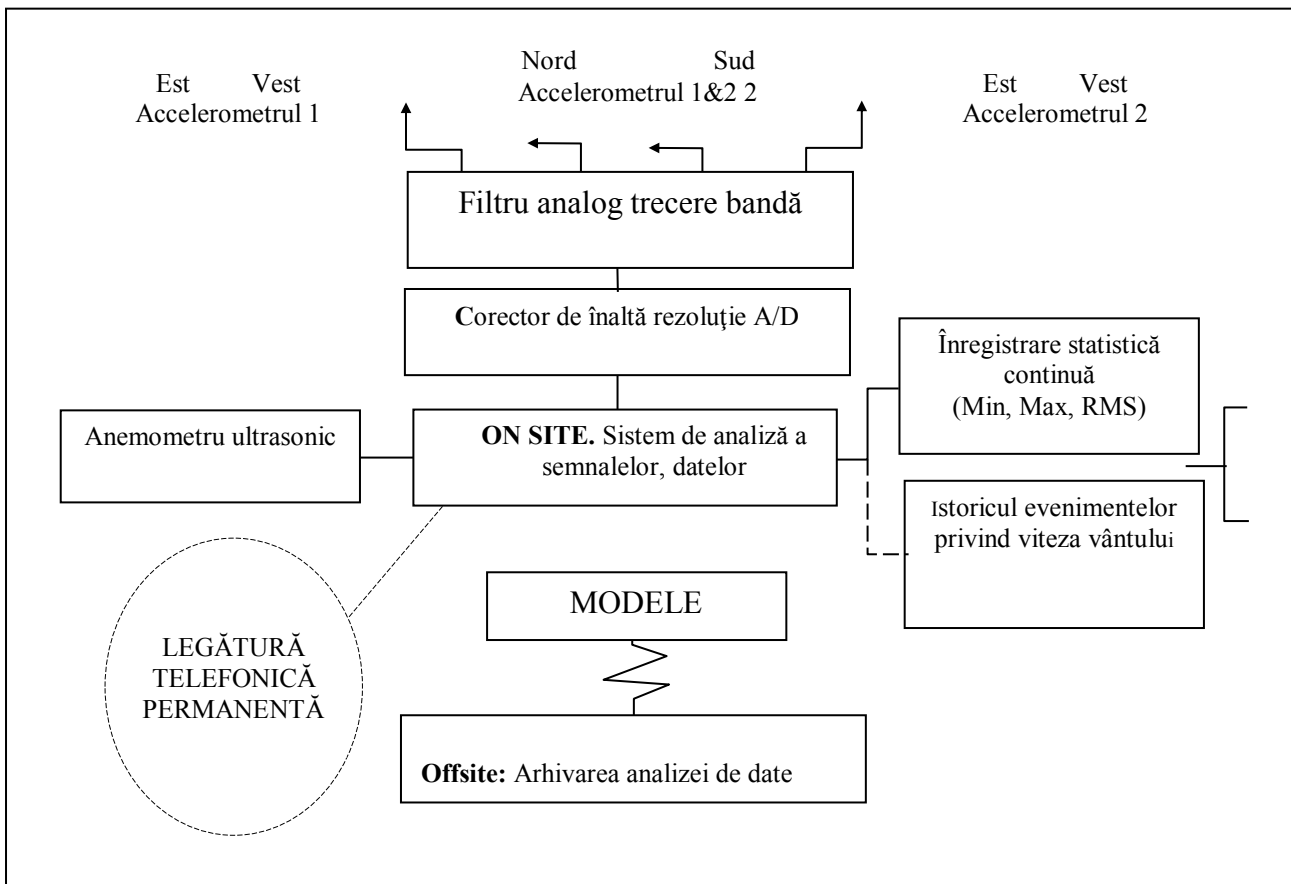


Figura 32. Structura sistemului de monitorizare a deformațiilor US Geological Survey (135)



Figura 33. DeMoN System (199)

Parametrii suplimentari care pot fi măsurați de instrument sunt temperatura și puterea semnalului reflectat. În timpul unei campanii de măsurare, ROBOVEC poate efectua un algoritm autocentric privind obiectivele selectate pentru a găsi centrul noului obiectiv, dacă acest lucru s-a mutat între două măsurători. Măsurătorile sunt stocate automat pe calculator pentru analize ulterioare. Sistemul ROBOVEC este pe deplin compatibil cu alte produse SMARTeC. Măsurătorilor pot fi în mod automat și dinamic importate într-o bază de date standard de SDB și pot fi integrate cu măsurătorile de la alți senzori (de exemplu: statice SOFO, Adam, DiTeSt, 3DeMoN-GPS). Utilizatorul poate vizualiza, prin urmare, și să analizeze toate datele cu o interfață de software unic. Unitatea ROBOVEC a fost concepută pentru (semi) instalare permanentă în orice structură sau suprafață de teren, care necesită o monitorizare continuă a poziției 3D de puncte semnificative. ROBOVEC permite măsurarea distanței și unghiurilor orizontale și verticale pentru un număr

neprecizat de puncte. Principalele caracteristici ale ROBOVEC sunt flexibilitate în alegerea făcută de numărul de puncte monitorizate, configurare ușoară și de planificare a campaniilor de măsurare. Acest instrument poate fi montat vertical, orizontal sau chiar cu capul în jos, pe tavan. Caracteristica principală este precizia foarte mare care poate atinge ± 0.15 mm.

Software-ul SDB pentru analiza datelor furnizate de sistemul 3DEMON permite navigarea în cadrul datei de baze a măsurătorilor SDB generată de toate sistemele de monitorizare SMARTEC: unitatea de citire SOFO, MUST, comutatoarele optice SOFO, modulele ADAM, firele oscilante, senzorii Macro și alte dispozitive de achiziționare de date.

Caracteristicile principale: compatibil softului curent SDB, export de date automatic, afișarea măsurătorilor în puncte diferite pe imaginea structurii, grafic și tabel cu istoricul deformațiilor care afișează senzorii selectați de-a lungul unei perioade alese anterior, vizualizare de date în timp real, compatibil în întregime cu toate sistemele și senzorii de monitorizare SMARTEC.

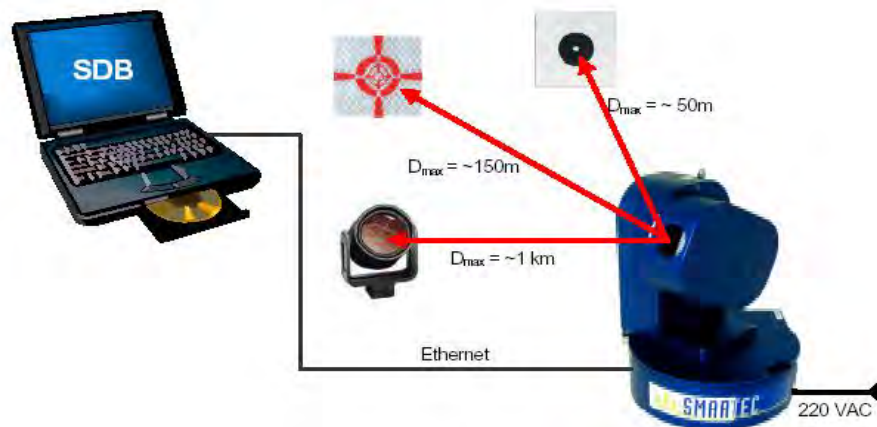


Figura 34. Componentele sistemului 3DEMON ROBOTIC LASER ROBOVEC (199)

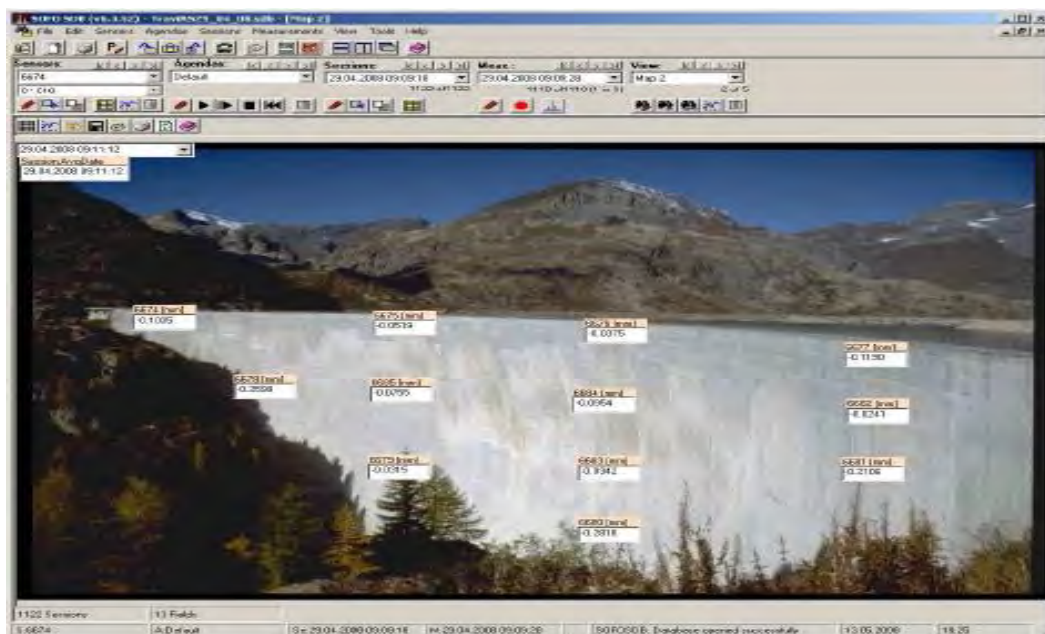


Figura 35. Montarea senzorilor pe structură, cazul unui baraj în arc (199)

SDB View oferă o afișare simultană, în cadrul aceleași ferestre, a mai multor imagini diferite ale senzorilor aleși din baza de date pe o perioadă de monitorizare definită. Afișajul poate fi o diagramă tabulară sau grafică având opțiuni asociate precum diagrame de prag, culori și avertizări sonore, acțiuni software de alertare (e-mail, SMS).

Datele obținute pot fi generate fie ca un afișaj pe ecran fie memorate într-un fișier (format txt, HTML, XML, wmf, bmp, jpg, Excel etc), având opțiuni de afișaj manual sau automat, permițând astfel generarea de rapoarte automat care utilizează actualizarea link-urilor. Tabelele, graficele și hărțile pot fi publicate ușor pe site-ul web pentru acces imediat de către utilizatorii autorizați. SDB View permite nu doar gestionarea stărilor de alertă sub forma pragurilor de preavertizare respectiv avertizare ci și declanșează o acțiune corespunzătoare, în funcție de utilizator, afișând un mesaj sonor de alertare, făcând un apel telefonic sau trimițând un e-mail.

3.3.9. Accelerometrul MUST MONO-AXIAL, cod produs 12.1040 (199)

MUST mono-axial 12.1040 este un accelerometru de înaltă precizie și rezoluție, fiind potrivit pentru aplicații unde este nevoie de un element pasiv cu piese nemetalice. Compatibil cu cele mai multe unități de măsură comune FBG, accelerometru combina dimensiunile compacte, rezistență mare la coroziune și medii dure, și fiabilitatea pe termen lung. Este, de asemenea potrivit pentru teledetecție fiind posibil de localizat la câțiva kilometri distanță de unitatea de măsură. Acesta oferă capacitatea intrinsecă de multiplexare care permite cuplarea unui număr mare de senzori într-o singură fibră optică. Acest senzor este, prin urmare, deosebit de potrivit pentru cazuri de monitorizare dificile la scară largă în locații sensibile. Accelerometru este potrivit pentru o gamă largă de aplicații. Acest senzor este o fibră optică versiune a accelerometrului convențional, dar complet pasiv, oferind insensibilitate la zgomotul ambiental indus.

3.3.10. Sistem de monitorizare cu control teleghidat pentru alunecările de teren și analiza fenomenelor de subsidență

Construindu-se pe baza rezultatelor unei cercetări anterioare și a unui proiect de dezvoltare SUPSI (SUPSI-La Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana) (199), care s-a concentrat pe monitorizarea mișcărilor cu tehnică GPS, sistemul a fost generalizat pentru a se adapta la o serie de alți senzori, astfel devenind util pentru aplicațiile geotehnice.

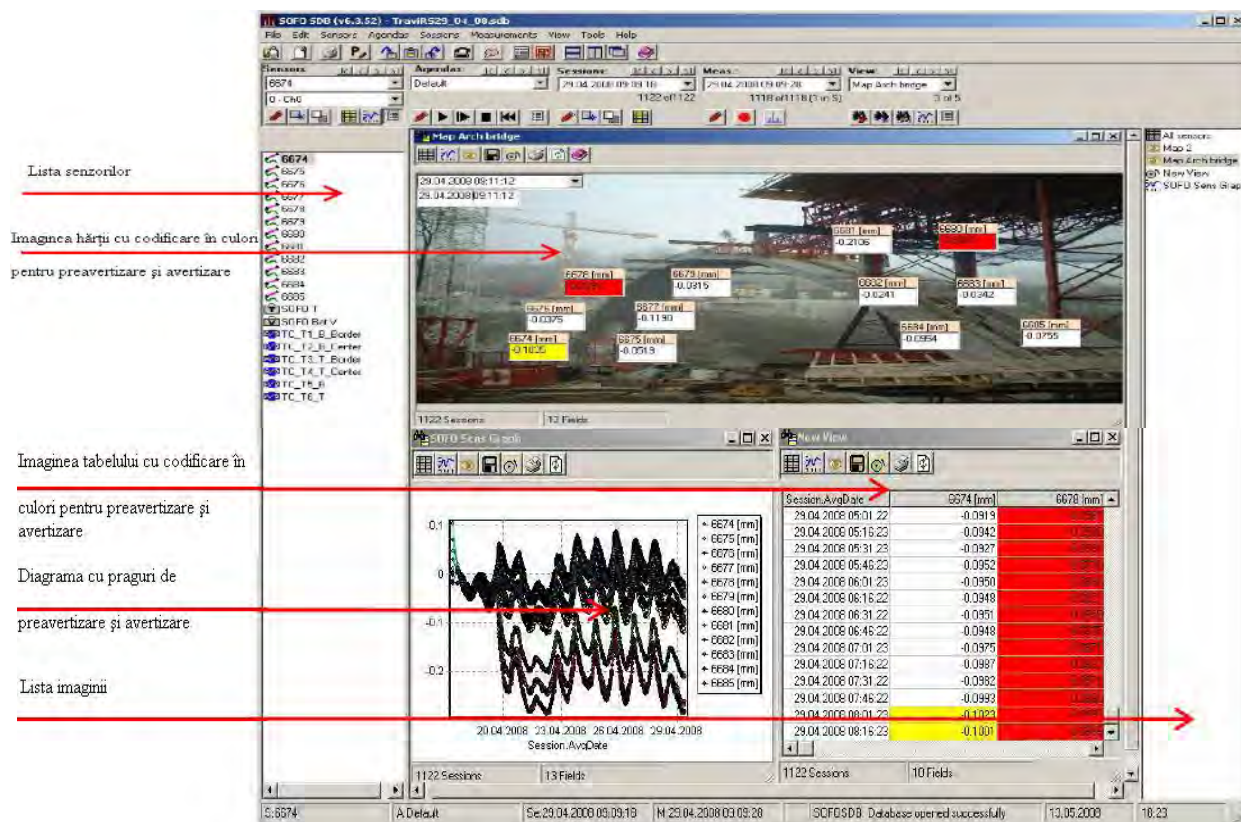


Figura 36. Imagine de ecran pentru software-ul SDB view (199)



Figura 37. MUST MONO-AXIAL ACCELEROMETER 12.1040 (199)

În particular au fost integrate un sistem laser și un teodolit robotizat. Primele rezultate au confirmat o creștere presupusă în robustețea rețelei de măsurare combinate, care este importantă mai ales în condițiile de recepție nefavorabile pentru GPS-ul stand-alone. Datorită arhitecturii modulare ale sistemului, alte tipuri de senzori, variind de la senzori simpli analogi la senzori digitali până la instrumente de măsurare complexă, pot fi susținute cu efort minim. Măsurătorile sunt transmise prin celular sau prin legături radio punct-la-punct la o stație de control, care veghează asupra managementului sistemului și asupra postprocesării. Soluția poate fi aplicată în mod avantajos la măsurăturile teleghidate, în timp real cu mișcări dinamice lente. S-a arătat că tehnologia GPS poate oferi informații de poziționare diferențiale cu o precizie de nivel de sub centimetru în aplicațiile de monitorizare ale terenului și în aplicațiile structurale. În condiții de vizibilitate bună a cerului, sistemul realizează consistent o precizie de sub centimetru și este independentă de influențele meteorologice. Nivelul realizabil de precizie cu aceste instrumente este în general mare. Se crede că în domeniul monitorizării geotehnice continue și permanente, integrarea GPS cu alți senzori tradiționali permite o interpretare mai bună a datelor măsurate, în așa fel încât fenomenul de mișcare

sau dinamica, care nu este măsurabilă cu un senzor poate deveni evidentă prin utilizarea unui senzor adițional bazat pe principii diferite.

Privind mai aproape caracteristicile respective ale celor două metode, putem spune că deși tehnicile tradiționale prezintă un grad mai mare de precizie, când le considerăm pentru comenzile de monitorizare continuă, ele sunt defectuoase din cauza unor câteva dezavantaje importante:

- precizia unor metode optice tradiționale este dependentă de condiții de mediu și meteorologice (zi-noapte, temperatură, presiune, ploaie și ceață).
- cu metode tradiționale, intervizibilitatea și distanța dintre punctele măsurate sunt cerințe fundamentale, în timp ce metodele de măsurare bazate pe GPS sunt probleme relevante.
- echipamentul tradițional prezintă dificultăți în setarea instrumentelor pentru operații automate nesupravegheate pe perioade extinse de timp, determinate de costul mare al echipamentului precum și de potrivirea limitată pentru operații în câmp.

Avantajele respective și dezavantajele celor două principii sunt rezumate în următorul tabel:

Tabelul 6. Comparația dintre GPS și senzorii tradiționali (199)

| | GPS cu fază de accelerator cu postprocesare | Senzori optici tradiționali |
|--|---|-----------------------------|
| Dependență de temperatură și presiune joasă crescută | scăzută | ridicată |
| Dependență de condiții atmosferice (zi-noapte, ploaie, ceață) | scăzută | ridicată |
| Frecvența măsurărilor | Zeci de minute | secunde, minute |
| Intervisibilitate între puncte | Nu este necesară | necesară |
| Aplicații exterioare | da | Cu limitări |
| Precizie de măsurători single | < 10 mm | < 4 mm |

Tabelul 7. Cerințele sistemului și ale senzorului (199)

| Cerințele sistemului | Cerințele senzorului |
|---|--|
| Arhitectură modulară | Mărime compactă |
| Facilitate a instalației, configurație și întreținere | Robustețe și rezistență la Condiții extreme de mediu |
| Conectivitate teleghidată | Autonomie de la furnizorul de energie |
| Integrare cu alți senzori | Liberare de întreținere și intervenție pe teren |

- Integrarea senzorilor adiționali servește nu numai la creșterea utilității sistemului în termenii de precizie a măsurărilor. De fapt, când se observă mișcările cu dinamică lentă ca o structură mare, adesea există o nevoie sau un interes în corelarea mișcărilor cu alți factori precum temperatura, umiditatea aerului și radiațiile solare.

Sistemul constă dintr-un număr de stații mici, de măsură, mobile inclusiv o unitate de recepție GPS instalată pe obiectul care trebuie monitorizat, plus una sau mai multe stații de referință mobile, instalate la locații posibil supravegheate, fixe în jurul obiectului. Unitățile stațiilor de referință sunt identice la unitatea stației mobile. În funcție de aplicație, unitățile teleghidate sunt legate individual de o stație de bază cu un cablu, o legătură radio sau un modem celular. Stația de control furnizează colectarea datelor, monitorizarea pentru operații corecte ale rețelei. Este accesibilă printr-un canal de comunicație dedicate, inclusive o conexiune de internet dial-up. Dinamica lentă asociată cu mișcările geotehnice (lună-an-cm-zi) nu impun frecvențe de achiziție geotehnică. Pentru aceste aplicații, intervalele dintre măsurători între 15-30 de minute sunt mai mult decât adecvate dacă scopul este să se observe mișcările de teren sau tendințele. Pe de altă parte, măsurăturile statice de frecvență GPS necesită o colecție de 10-20 de minute de date măsurate, pentru a fi post procesate înainte de producerea măsurărilor poziționale finale. Din acest motiv, utilizarea acestui fel de receptor de cost

redus se află în linie perfectă cu cerințele de aplicație. Fiecare stație de măsurare va colecta astfel datele de observare GPS pentru o cantitate suficientă de timp, iar datele vor fi transmise spre stația de control pentru post procesare.

Stația de control are datoria de a colecta date din toate receptoarele din rețea în timp ce supraveghează stațiile single pentru operații corecte. Datele GPS vor fi procesate împreună, iar rezultatul va consta din poziția relativă a stațiilor de măsurare mobile variate în raport cu stațiile de referință. Operația senzorilor adiționali conectată la stațiile teleghidate este de asemenea controlată de stația de control, pentru achiziția de date sau pentru fazele de transmisie a datelor. Achiziția și transmisia datelor de senzori adiționali poate fi realizată asincronic spre ciclurile de receptori GPS.

Un senzor teleghidat constă dintr-un receptor GPS, un transmițător de comunicație, o unitate de achiziție a datelor auxiliare și o unitate de management pentru furnizarea energiei. O unitate de procesare centrală supraveghează întreaga operație și face orarul comenziilor de comunicație și măsură. Receptorul GPS este un modul receptor de frecvență singulară caracterizat prin consumare de energie joasă și o sensibilitate bună. Deoarece stabilitatea ceasului de referință a receptorului local este un factor care influențează precizia măsurătorii fazice consolei, a fost selectată o sursă cu ceas de mare calitate. Senzorii auxiliari pot fi adăugați stațiilor singulare atunci când este necesar. Pentru acest scop, unitatea este echipată cu canale de măsură adițională care poate fi definit în termeni de intervale de măsură, scală și rezoluție.

În domeniul monitorizării mișcărilor geotehnice, senzorii adiționali sunt folositori mai ales pentru a crește precizia și robustețea măsurătorilor poziționale de la senzorul principal. În sistemul nostru, senzorii adiționali servesc în general pentru a compensa una sau mai multe deficiențe inerente în măsurătorile GPS. Un exemplu tipic este atunci când un senzor trebuie să fie instalat într-o locație cu vizibilitate limitată a cerului. O vizibilitate bună a cerului este importantă pentru precizia și calitatea măsurătorilor GPS. Într-un asemenea caz, senzorii GPS pot fi suplimentați de către un metru cu distanță cu laser care măsoară distanța dintre punctual în discuție și un alt punct. Acest aranjament permite primului punct să fie integrat într-o rețea de măsurători, compensând pierderea preciziei măsurăturilor și calitatea datorată condițiilor non ideale ale GPS.

Tabelul 8. Comparație a performanței cu metru de distanță, cu laser și GPS

| | Faza L1 GPS cu postprocesare | Metru de distanță laser |
|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Lungimea liniei de bază | 10 – 15 Km | 500-600 m (cu reflector) |
| Rata de achiziție maximă | 2-4 măs. / hour | Până la 30-40 măs. / minute |
| Precizia măsurătorilor singulare | ± 5.. 10 mm | ± 1.5 mm + 3ppm |
| Dependența pe P și T | Slabă | Puternică |
| Dependența pe zi/noapte | slabă | puternică |

3.3.11. Soluție de monitorizare folosind scanere 3D laser Mapping- SiteMonitor

Soluția de monitorizare SiteMonitor (199) este un stat-of-the-art sistem laser realizat pentru a măsura și monitoriza stabilitatea stâncilor și a alunecării de teren. SiteMonitor va face măsurători pe o grilă pre-definită la un interval selectat. Suita de software include un modul de analiză pentru afișarea și analizarea în timp a seriilor de date de monitorizare.

Avantajele soluției:

- nu se cere ca prisme să fie plasate în zona de studiu,
- nu sunt probleme cu prisme în timpul măsurătorilor,
- nu sunt probleme de siguranță în timpul instalării prismelor de monitorizare,
- măsurarea rapidă a mii de puncte,
- acoperire completă a suprafeței vizibile, ce trebuie scanată,

- viteza mare de scanare,
- sistem portabil, prismele pot fi mutate și în zonele de acces limitat,
- măsurători până la 2500-6000 de m,
- gama competitivă de măsurare, ca frecvență și precizie,
- aplicații și pentru măsurători de volum,
- geo-monitorizare a riscurilor geotehnice, inclusiv alunecări de teren, stânci, terasamente rutiere și feroviare , zone de avalanșă și ghețarii,
- măsurare continuă în zonele minore, inclusiv a fenomenului de subsidență,
- monitorizarea structurilor și a elementelor structurale, inclusiv a celor situate deasupra golurilor subterane.

Caracteristici :

- monitorizarea la distanță, de mare precizie, prin coordonate XYZ a zonelor stâncoase sau a unor structuri spațiale,
- repetabilitate de funcționare - punctuală simplă,
- se pot prevedea sisteme automate pentru situațiile de supraveghere periodică sau continuă,
- programul permite scanarea pre-definită care urmează să fie măsurată la intervale de timp stabilite,
- modul de alarmă va analiza rezultatele și va preveni utilizatorii în mod automat privind ivirea unei situații de alertă,
- ușor de implementat și menținut,
- datele pot fi importate în planificarea 3D a activității miniere și/sau pentru utilizarea software-ului CAD de comparație între modelele de teren, și situația reală.

Privire de ansamblu

Conceput pentru urmărirea comportării în timp a solurilor, simplu de utilizat, SiteMonitor profită de avantajele scanerelor laser pentru a oferi o soluție de monitorizare care oferă o combinație unică de gama, de precizie și repetabilitate greu de neegalat. Recunoscând beneficiile potențiale ale scanerelor laser pentru întreaga industrie de monitorizare, dezvoltarea SiteMonitor a fost condusă de necesitatea găsirii unei soluții de monitorizare care să profite pe deplin de avantajele scanerelor cu laser. Flexibilitatea SiteMonitor constă în posibilitatea de selectare a echipamentului cu laserul care se potrivește cel mai bine solicitării. Se pot astfel seta atât viteza cât și numărul de puncte scanate pe unitate de timp dar și distanța de scanare maximă. Utilizarea echipamentului cu laser non-contact, SiteMonitor va face măsurători pe o grilă pre-definită la un interval selectat. Pentru a oferi date relevante într-un scenariu de monitorizare, se fac măsurători repetate pe același set de puncte. În sistemele de monitorizare cu raze laser de manieră clasică, utilizate pe scară largă, sunt utilizate prisme pentru a oferi puncte fixe care pot fi re-măsurate în timp. Dezavantajul acestei metode este că prismele sunt singurele puncte care pot fi măsurate, și există întotdeauna lacune în acoperirea ce poate fi atinsă. Pentru a depăși această problemă, un număr mare de puncte de viză trebuie să fie instalate, fapt care poate fi costisitor și periculos (sau chiar imposibil în cazul în care accesul la zona instabilă este interzis). SiteMonitor depășește această problemă folosind o abordare diferită, posibilă prin faptul că lucrează cu un scanner “reflectorless”. O grilă de puncte, acoperind în întregime zona de interes este definită. Aceste puncte, sau noduri, nu au nevoie de un reflector, prismă sau orice alt tip de țintă, sunt locații teoretice, definite doar în sistemul de coordonate a scannerului. De fiecare dată când zona este măsurată, scannerul revine la fiecare dintre noduri și preia un nou set de măsurători.

Măsurătorile din gama scannerului laser se bazează pe principiul, în care un impuls de lumină este emis de scannerul laser și intervalul scurs până la recepția acestuia este înregistrat, și folosind viteza cunoscută constantă a luminii, distanța până la țintă poate fi calculată.

Timpul înregistrat de scanare poate fi influențat de condițiile atmosferice - temperatura și presiunea aerului prin care trece raza laser. În loc să preia măsurători ale condițiilor atmosferice la unul sau două locații (de exemplu, lângă scannerului și adiacent la zona fiind monitorizate), care să ofere date suficiente pentru a compensa cu precizie măsurătorile, SiteMonitor calculează un factor de corecție

Range (RCF), prin măsurarea unui număr de puncte de control cu coordonate cunoscute, și compararea cu intervalul de măsurat, înainte de a aplica această corecție la date. Aceste puncte de control sunt situate în jurul zonei de interes pe un teren stabil, și într-un sistem extrem de robust, monitorizat continuu de GPS. Această oferă are apropiere mult mai realistă de efectul concret pe care condițiile atmosferice îl au asupra măsurătorilor.

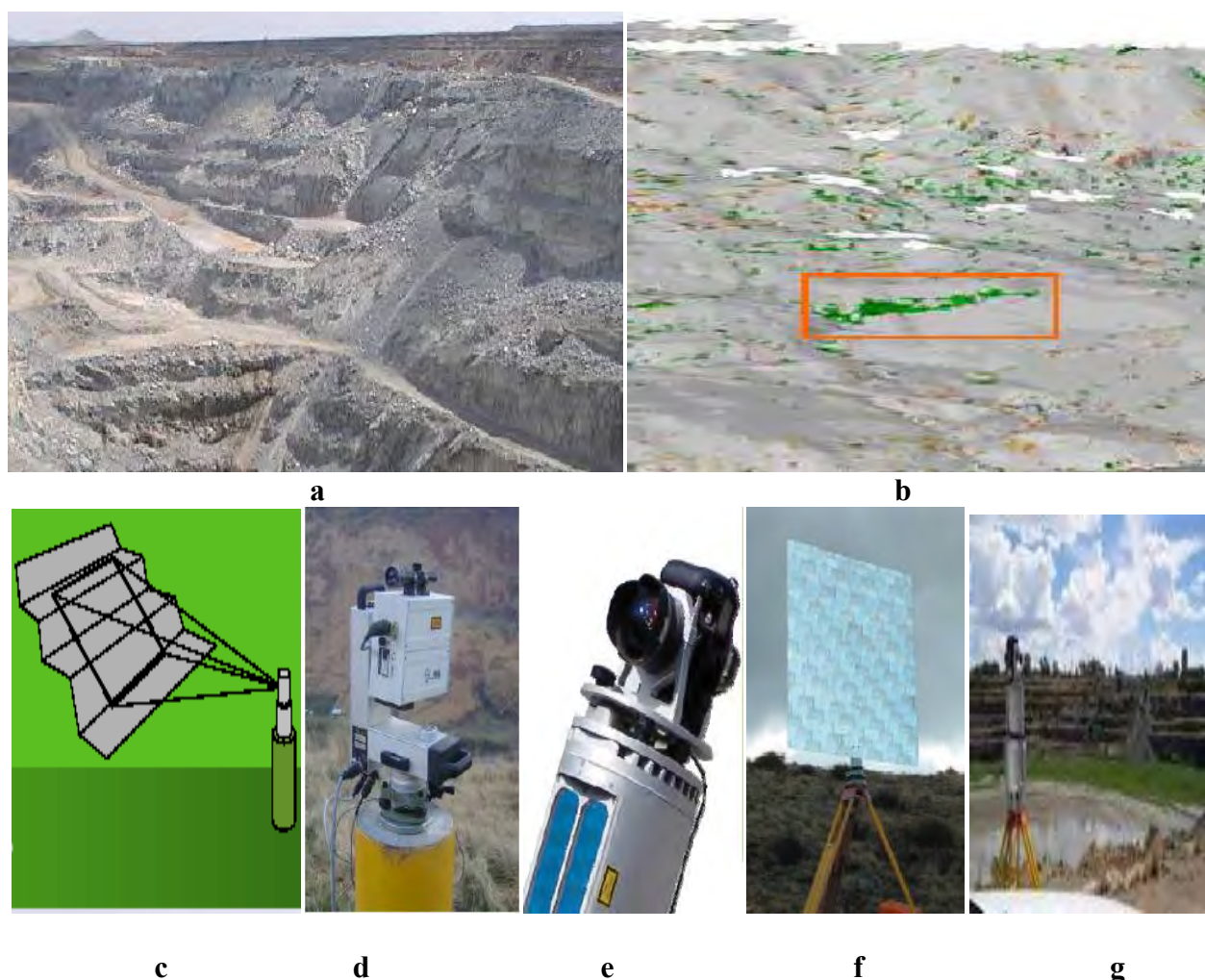


Figura 38. Scanerul laser 3D laser Mapping- SiteMonitor, a. exemplu de zonă monitorizată, b. identificarea zonei scanate, c. principiul de monitorizare prin scanare, d. scanerul laser în stație, ficsă-pilon din beton, e. obiectivul scannerului, f. reflectorul utilizat 1x1 m, g. stație mobilă laser scanner (197, 199)

Flexibilitatea SiteMonitor constă în posibilitatea de selectare a echipamentului cu laser care se potrivește cel mai bine cererii. SiteMonitor este disponibil în trei pachete pentru a satisface cerințele de performanță. Specificațiile semnificative ale echipamentelor sunt prezentate în tabelul următor:

Tabelul 9. Specificațiile semnificative ale echipamentelor (199)

| CARACTERISTICI/MODEL | HS-300 | HS-1000 | LR-2500 | LR-6000 |
|-----------------------|--------|---------|---------|----------|
| DISTANȚA MAXIMĂ, m | 300 | 1000 | 2500 | 6000 |
| INTERVAL MĂSURARE, mm | 4 | 8 | 50 | 50 |
| ÎNREGISTRĂRI/ SECUNDE | 8 | 8 | 4 | 100-1000 |

Valorile de mai sus sunt tipice pentru echipamentul cu laser incluse, planificarea atentă a instalației SiteMonitor s-a dovedit a îmbunătăți precizia și repetabilitatea măsurătorilor peste

specificațiile producătorului. Cu toate acestea, ca orice operație care implică scanarea laser, gama de operare și performanțele de precizie depind de o serie de alți factori, inclusiv:

- reflectivitatea țintei,
- condițiile atmosferice,
- disponibilitatea liniei directe-de-vizare la zona de interes.

Ca și selectarea echipamentului cu laser adecvat pentru cerințele de performanță ale proiectului de monitorizare, există mai multe moduri pentru a configura o instalare SiteMonitor.

Există două tipuri de instalații SiteMonitor - continue și periodice.

Mod continuu - în acest mod de operare, scannerul laser este amplasat într-o carcasă de protecție, cu o rețea de alimentare și un pilon stabil pe care urmează să fie montat. Un număr de reflectoare, instalate în jurul zonei monitorizate și având cunoscute coordonatele, permit calcularea regulată a unui factor de corecție atmosferic pentru a elimina efectele de variație în măsurătorile din gama scannerului cauzate de efectele atmosferice. Un program de scanare va fi definit, și apoi software-ul poate fi lăsat să lucreze într-un mod complet automat, fără intervenția în continuare a unui operator. SiteMonitor este capabil de a transmite e-mailuri sau SMS-uri de alertă către operatorul desemnat în cazul în care este detectat un pericol, o alarmă este declanșată, sau apare o eroare.

Modul de operare periodic permite conturarea mai multor situații în care se utilizează scannerul cu scenarii adecvate:

- mai mulți piloni de sondaj sunt instalați și scannerul trebuie mutat între acestea periodic,
- monitorizarea continuă a site-ului nu este necesară și intervenția scannerului este eliminată între ciclurile de măsurare,
- în cazul în care scannerul trebuie să fie eliminat între ciclurile de măsurare, pentru a i se asigura securitatea sau discreția asupra măsurătorilor.

În acest mod de operare, o serie de reflectoare ar fi necesară pentru a permite SiteMonitor să re-orienteze scannerul relativ la scanări anterioare (similar cu o orientare backsight), precum și furnizarea capacității de a efectua corecții atmosferice gamă. Puterea este furnizată fie de la o baterie de 12V, sau de la o alimentare de 12V dintr-un vehicul. Această opțiune oferă operatorului un mediu confortabil în care să lucreze, scannerul și software-ul fiind controlate din interiorul vehiculului.

SiteMonitor are două moduri de funcționare pentru colectarea de date din domeniu: manual și Wizard. Modul de operare manual oferă acces la funcționalitatea completă a software-ului, dar în majoritatea cazurilor modul Wizard este utilizat, deoarece acest mod de operare simplifică foarte mult activitatea de zi cu zi a produsului.

Odată ce un proiect de monitorizare a fost configurat (care durează aproximativ 30-60 de minute pentru un proiect de mediu), fiecare perioadă ulterioară de studiu de colectare a datelor este pur și simplu un caz de resetare a scannerului, adică scanarea unui număr de puncte de control (pentru a oferi o orientare și un factor de corecție gama) și re-scanarea zonelor de interes. Opțional sistemul laser scanner SiteMonitor poate fi conectat la un modul de alarmă operatorul fiind în măsură ca rapid și ușor să configureze un program de monitorizare detaliat adaptat la site-ul monitorizat și să se precizeze cum și când mesajele de alarmă trebuie să fie emise.

Interfața are opțiuni pentru a executa sarcinile de supraveghere, la un interval regulat, la ore prestabilite sau selectate dintr-o listă. Operatorul poate specifica de asemenea, dacă punctele de control ar trebui să fie măsurată din nou.

În plus față de modulele de captare de date, un modul de analiza stand-alone este folosit pentru analiza de birou și interpretarea datelor colectate cu laser. Având în funcționalitate modul stand-alone se permite un flux de lucru simplificat pentru specialiștii din domeniu. Integritatea datelor este păstrată astfel că operatorii sunt în măsură să interfereze cu datele brute rezultatele anchetelor de monitorizare și să facă comparații și clasificări. Cu toate acestea, se acordă acces deplin pentru a inspecta datele și o varietate de instrumente de analiză sunt furnizate, inclusiv vizualizări 1D, 2D și 3D, secțiuni orizontale și verticale, analiza gamei de deplasare și grafice cu rata de deplasare.



Figura 39. Imaginea monitorului calculatorului la o analiză de monitorizare geotehnică în sistem SiteMonitor (199)

Studiul metodologiei de monitorizare pentru alunecările de teren și analiza fenomenelor de subsidență:

- varianta instrumentului utilizat -Riegl scanner LPM-2K,
- gamă de măsurare - până la 2.000 m,
- precizia de măsurare între 25-50mm,
- viteza de măsurare -4 puncte / secunda - de măsurare non-contact,
- cerințele - poziția scanner Stabil montat pe pilon de sondaj din beton,
- monitorizarea stabilității poziției de scanare cu ajutorul GPS,
- controlul pozițiilor țintă - 4 poziții,
- reflector de control - 1m x 1m obiective,
- flux de lucru: reflectoare sunt scanate și punctul central al fiecăreia este calculat.

Monitorizarea stabilității pantelor

SiteMonitor poate furniza date privind libera circulație a pantelor instabile.

Scanarea laser a fost întotdeauna un instrument cu un mare potențial în monitorizarea stabilității pantelor, dar până când SiteMonitor a fost elaborat nu a existat nici o soluție disponibilă pentru depășirea problemelor de repetabilitate și influență a atmosferei.

Aplicații tipice de monitorizare Slope

- Monitorizarea periodică a minelor privind stabilitatea zidurilor mari considerate instabile,
- Monitorizarea repetabilă de la distanță a alunecărilor de teren periculoase active și alte catastrofe naturale,
- Monitorizarea prin sondaje repetate de drumuri și linii de cale ferată predispuse la falieri ale rocilor suport,
- Geo-analiza tehnică - achiziția automată de măsurători detaliate, de zi cu zi și imagini pentru analize geo-tehnice ale structurilor de roci masive.

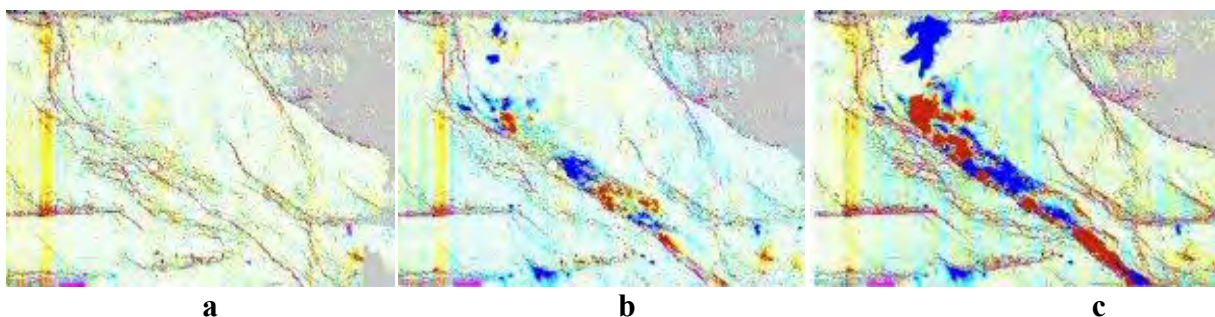


Figura 40. Datele au fost preluate de la o mină de aur din Africa de Sud, a. Ziua 1: O zonă de instabilitate suspectată este monitorizată. Prima scanare este de referință și va fi folosită ca bază pentru măsurătorile ulterioare. Zona de sub această pantă este activă, b. Ziua 4: Un sondaj repeta monitorizarea și compararea acestor date cu datele de referință arată circulație unor materiale pe panta, utilajele miniere sunt îndepărtate și zona de sub pantă este încercuită, c. Ziua 6: Până la sfârșitul săptămânii, o mișcare semnificativă a avut loc, care decide oprirea imediată a activității din zonă (193)

Monitorizarea stabilității structurale

SiteMonitor oferă o mare repetabilitate a măsurătorilor și o precizie corespunzătoare în condițiile preluării datelor cu mare viteză cu introducerea de mare viteză.

SiteMonitor este disponibil într-o mare varietate de configurații privind viteza, precizia, densitatea preluării datelor, practic special conceput pentru acest tip de activitate.

Aplicații tipice de monitorizare structurală: poduri, clădiri, baraje, turnuri și coșuri de fum, diguri de apărare, structuri și terenuri miniere, industriale.

3.3.12. Tiltmetru pentru monitorizarea pantei

Un tiltmetrul este un instrument care măsoară propria rotație-mișcare și, prin urmare, rotația-mișcarea elementului structural sau porțiunii de teren la care este conectat. Aproape toate zonele de sol circulante prezintă un anumit potențial grad de rotație. Chiar și alunecările de teren care sunt predominant de translație vor produce înclinații, ușor de detectat cu tiltmetre electrolitice. Sensibilitatea acestor tiltmetre depășește pe cea a altor instrumente folosite în mod obișnuit, inclusiv roțile înclinometru, corzile-vibratoare sau foliile transductoare, deoarece tiltmetrele sunt de obicei lăsate în loc și fac înregistrări continue erorile mecanice de re poziționare nu apar.

Dacă o porțiune de teren aflat în pantă este în mișcare, tiltmetrul poate determina direcția de mișcare, delimita zonele de deformare și, în multe cazuri, dezvăluie mecanismul, de exemplu, fluajul pantei sau scăderea pantei. Atunci când este utilizat pentru a evalua mișcarea inițială la un site, tiltmetrul poate indica dacă există nevoie și de înclinometru, frecvența cu care înregistrările acestuia ar trebui să fie efectuate și spațierea dintre găurile în care să se amplaseze. Înregistrările înclinometrului, pe de altă parte, pot dezvălui adâncimea de la suprafață a zonei ce produce mișcarea și distribuția pe verticală a mișcării.

Când o pantă este suspectată a fi instabilă, soluția comună este de a instala imediat una sau mai multe găuri de înclinometru. În cazul când pantă în cauză se mișcă rapid, această abordare va da un bun indicator al ratelor de deformare și mecanismele specifice după câteva săptămâni sau luni de monitorizare. Cu toate acestea, în cazul în care circulația este lentă sau episodică, anchetele înclinometrului nu pot fi eficiente în intervalul de timp sau cu bugetul alocat pentru un proiect. Rezultatele sunt susceptibile de a fi neconcludente sau chiar eronate, deoarece datele sunt prea aproape de limita de rezoluție a sistemului. Pentru a evita astfel de probleme, sau mai multe de înaltă rezoluție tiltmetrul (figura 41) poate fi utilizat în locații desemnate inițial pentru utilizarea înclinometrului. Dacă o pantă se mișcă într-un ritm lent, monitorizată continuu, tiltmetrul în mod normal, poate stabili o rată medie de circulație și direcția în câteva săptămâni. Monitorizarea continuă

asigură că evenimentele sunt capturate, altfel nedetectate de citiri periodice manuale. Tiltmetrele sunt ușor de automatizat îndeplinind cerința privind măsurători continue.

Sistemele eficiente de monitorizare a alunecărilor de teren de cele mai multe ori combină mai multe tipuri de instrumente pentru a urmări comportamentul instabilității potențiale. Acestea includ tiltmetrele, înclinometrele, piezometrele, extensometrele și reflectometrele de tip time-domain (TDR). Sensibilitate ridicată a tiltmetrelor le face o componentă importantă a oricărui sistem proiectat pentru a oferi o avertizare în avans a unei condiții potențial periculoase sau chiar situații catastrofale. În majoritatea cazurilor, includerea tiltmetrului permite ca pragurile de alarmă să fie stabilite cu mult sub nivelurile periculoase de mișcare, oferind timp pentru acțiuni preventive.



Figura 41. Model 722 Borehole Tiltmetrul (200)

3.3.13. Sistemele de achiziție de date Campbell Scientific

Sistemele de achiziție de date Campbell Scientific (202) sunt utilizate pentru monitorizare structurală și seismică. Furnizorul de date Campbell Scientific a fost folosit în aplicații variind de la simpla analiză a stării de oboseală a materialelor componente ale structurilor analizate, la cercetarea structurală mecanică sau monitorizarea continuă a structurilor mari, complexe.

Autostrăzi, pasaje, drumuri, clădiri, ziduri de sprijin, poduri, structuri situate deasupra golurilor miniere sunt tipuri de structuri, pentru care sistemele Campbell Scientific asigură monitorizarea de la distanță, nesupravegheată și portabilă. Sistemele Campbell Scientific de achiziție de date fac măsurători fiabile structurale, chiar și în medii dure.

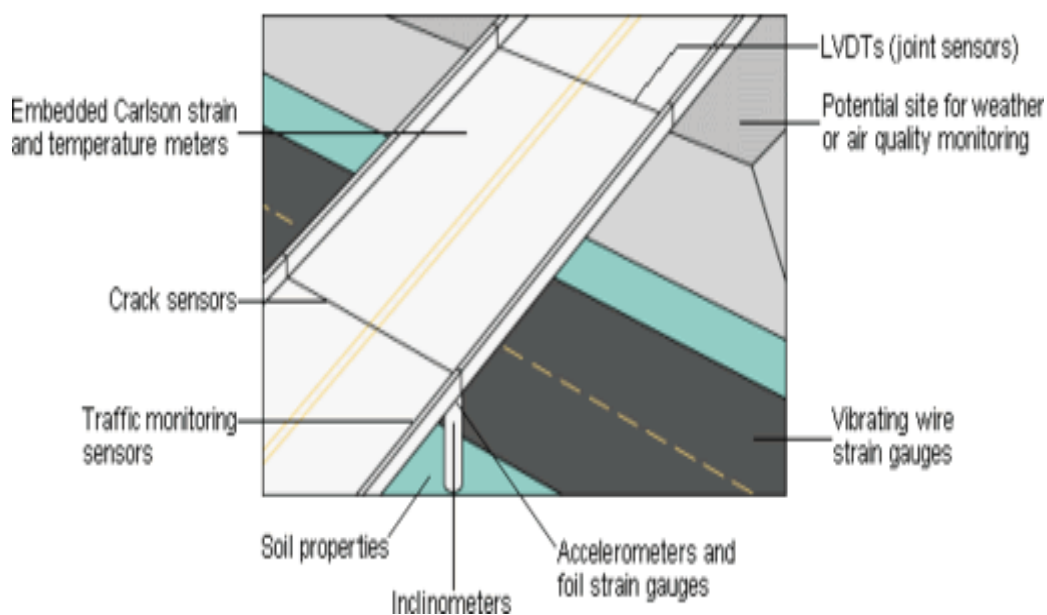


Figura 42. Sistemul de achiziție de date Campbell Scientific (202)

Beneficiile structurale ale sistemului de monitorizare Campbell Scientific:

1. Sistemul poate prelucra și găzdui un număr mare de cicluri.
2. Sistemul este programabil loco-obiect în funcție de natură și intensitatea excitației ce solicită structura.
3. Sistemele au capacitatea de captare de date oferindu-le simultan la ieșire.
4. Cei mai mulți senzori și opțiunile de comunicații pot fi folosiți, permițând sistemelor de a fi personalizate pentru a satisface nevoile exacte.
5. Sisteme foarte fiabile care operează în medii dure.
6. Ratele de scanare variază de la câteva ore la 100.000 de ori pe secundă.
7. Sistemul poate raporta condițiile de măsurare prin unde radio sau telefonice.
8. Sunt sisteme de sprijin pe termen lung, nesupravegheate, de stocare a datelor și de transferare a acestora.
9. Pick-and-click de software facilitează programare loco-obiect.
10. Furnizorul de date structurale utilizat în monitorizare și control a sistemelor Campbell Scientific poate fi personalizat pentru fiecare aplicație.
11. Se produc o gamă mare de furnizori de date de la sistemul cel mai de bază cu doar câteva canale, la sistemele extensibile cu sute de canale de măsură.
12. Producătorul pune la dispoziție seturi de instrucțiuni de procesare ce conțin algoritmi de măsurare și de afișare a rezultatelor procesului de producție în unități de măsură dorite. De exemplu, datele pot fi afișate ca flux de informații sau sub formă de histograme.

3.3.14. Aplicațiile tiltmetrului Applied Geomechanics

Tiltmetrele Applied Geomechanics măsoară constant mișcarea deschiderilor subterane, puțuri, pereți, utilaje și clădiri sau efectul golurilor subterane asupra suprafeței. Când este utilizat împreună cu sistemele de introdus date, tiltmetrele asigură avertizări imediate ale mișcărilor excesive sau periculoase precum și istoricul deformărilor locale sau la scară mare. Această înregistrare continuă poate ajuta diminuarea problemelor de stabilitate și perioada de tranziție, îmbunătățind siguranța constatată inițial. Software-ul Applied Geomechanics TBASE II aplicat, asigură o modalitate rapidă și fiabilă, analizând citirile tiltmetrului. Tiltmetrele detectează automat mișcări ale solului cu ore sau zile înaintea metodelor de analiză convenționale. Tiltmetrele stabilesc dacă, în ce măsură și când proprietatea este afectată de minerit. Această informație obiectivă permite luarea de acțiuni preventive și separă reclamațiile de deteriorare valide de cele frauduloase.

3.3.15. Alte metode actuale, de monitorizare a structurilor

1. **Senzori de înclinare Leica**, dau informații asupra înclinărilor și schimbărilor acestora pentru construcții înalte influențate de vânt, schimbări de temperatură sau alunecări de teren (sau tasarea terenului de sub fundație). Se pot utiliza un număr de instrumente de tip LEICA NIVEL 20 conectate la un PC. Aparatele de tip LEICA NIVEL plane pot oferi de asemenea date privind deformațiile structurilor. De altfel s-a ajuns ca, având în vedere importanța cunoașterii fenomenelor analizate, firmele producătoare să ofere soluții, sisteme manager și instrumente pentru monitorizarea deformațiilor.
2. **Combinarea instrumentelor de control laser cu receptoare GPS**, este o altă aplicație a firmei LEICA (197) în combinație cu Javelin & Javelin (Machine Control Laser) (212), cu bune rezultate recent constatate în analiza structurilor (poduri, construcții înalte).
3. **Utilizarea stațiilor topografice totale automate cu softuri și programe de aplicații adecvate**, o recentă aplicație Leica prevede adaptarea programului de aplicații TPS 1000 la o stație topografică totală TCA 2003 cu rezultate excepționale: 0.4 " pentru unghiuri și 1 mm + 1 ppm pentru distanțe de până la 3.4 km. Urmărirea mișcărilor reflectorului amplasat pe structură s-ar putea astfel înscrie în

marja de precizie de ± 1 mm pentru vize de până la 1 km, suficiente pentru urmărirea din exterior a deformațiilor oricărei structuri (rezidențiale, turn TV, coș de fum).

4. Senzori scanner laser CIRAX 2400 3D

Utilizați în special în monitorizarea deformațiilor podurilor (Universitatea Nottingham, UK) în combinație cu receptoare GPS și stații topografice totale scanerul laser își pot găsi utilitatea și în înregistrarea deformațiilor structurilor înalte.

5. Alte sisteme laser

Utilizarea unui laser de mișcare (LT) Leica LT 400/LTD 400/LTD 800 cu aplicații 3D a dat de asemenea rezultate în măsurarea de deformații (poduri, construcții civile înalte).

6. Sisteme de videogrammetrie V. Stars

Asigură poziționări 3D utilizând camere video.

7. Proiectoare optice

Una din cele mai înalte construcții din Arabia Saudită Al-Faisaliah Tower, Rijadh a fost monitorizată cu un sistem compus dintr-o stație topografică totală de tip LEICA TC 1800 L, cu un proiector optic LEICA ZL până la 100 m și apoi de la etajul 16 până la înălțimea de 270 m cu un proiector LEICA ZNL Nadir, au o precizie de ± 12 mm, sub comanda tehnică a inginerului Malik M. Saleem.

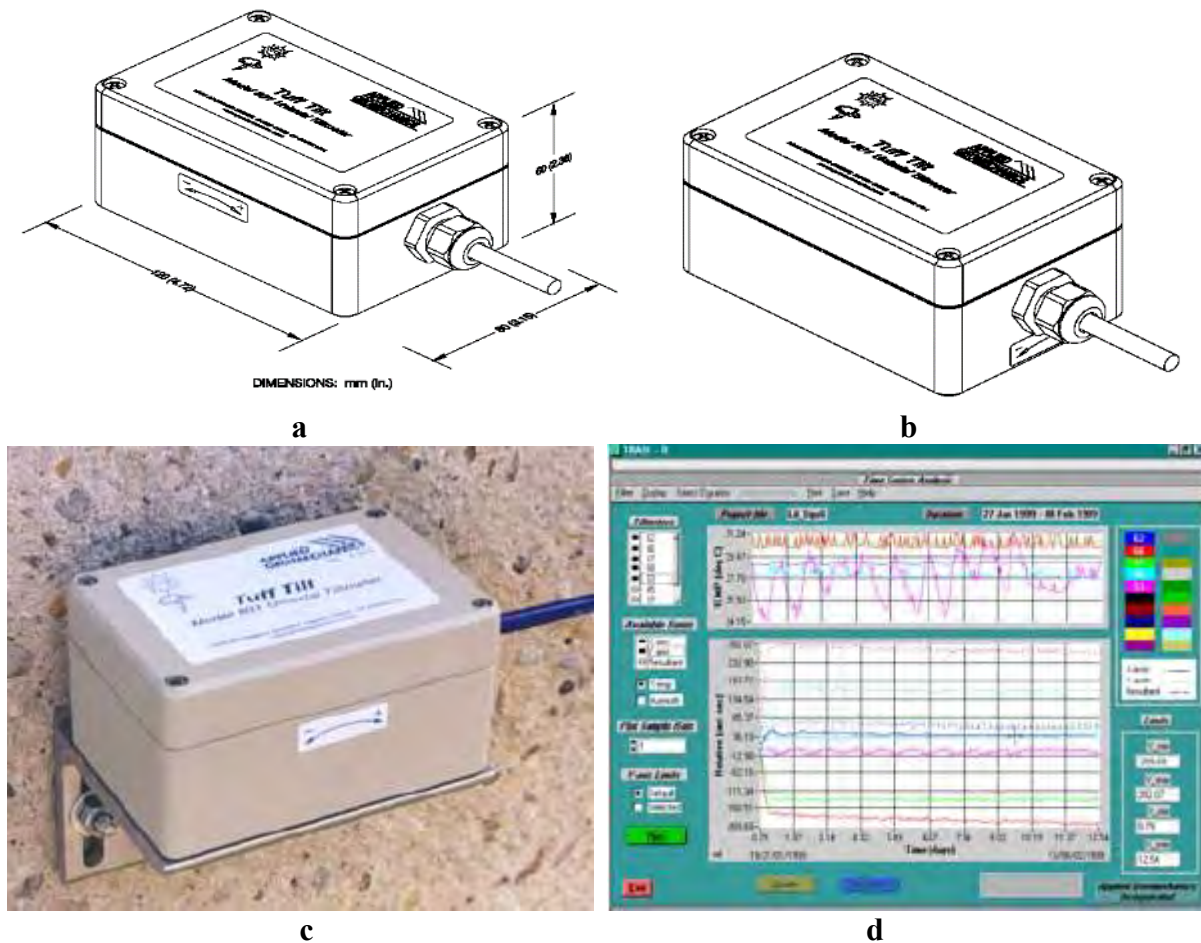


Figura 43. a. Model 801 Tiltmeter - Longitudinal Tilt Style, b. Transversal, c. Instrument montat pe structură, d. TBASE II Database and Analysis Software (197, 213)

3.4. Exemple de sisteme manager de monitorizare a deformațiilor structurilor

Se prezintă în tabelul 10, cele mai recente tehnologii de monitorizare a execuției și de urmărirea a comportării în timp a structurilor vibrant oscilante.

Tabelul 10. Tehnologii de monitorizare a execuției și de urmărire a comportării în timp a structurilor vibrant-oscilante (135)

| TEHNOLOGIA UTILIZATĂ | LUCRAREA MONITORIZATĂ | AN LUC. | RESPONSABIL |
|---|---|-------------|--|
| Scanner laser Riegl SUA LMS-Z210 3D+GPS sistem TRIMBLE 4800+stație totală GTS312 | Barajul HOOVER, SUA | 2000 | K.W.HUDNUT |
| GPS Leica 10hz CRS 100+3 accelerometre de precizie | Simulări efectuate la Universitatea din Nottingham, UK | 1997 - 2003 | G.W.ROBERTS |
| Scanner laser Cyrax 2400 Leica+STTA tip Leica TCA2003+Senzori de mișcare +Accelerometre+GPS Leica sr410 | La fel+monitorizarea podului London Millenium Bridge | 2000 - 2003 | G.W.ROBERTS |
| Sistem laser de măsurare optică a deformațiilor tip-ODSM | OBB-calea ferată austriacă | 2000 - 2003 | F.K.BRUNNER |
| Senzor de înclinare Leica Nivel 20+STTA Leica TCA2003+Leica Nivel Plane | Teste de prezentare în scopul creerii de noi sisteme manager de monitorizare a execuției și urmăririi structurilor înalte | după 1998 | Centrele de distribuție Leica |
| GPS Astech L1/12(2Z-XII, 2Z-Surveyiors)+tahimetru clasic+soft Grazia | Podul Rosenbrucke, Tulln, Austria, pod peste Dunăre, înălțimea pilei 70m | 2000 | A.WIESER |
| RTK-GPS+soft Grazia+filtre Kalman pentru ameliorarea preciziei măsurătorilor GPS | Alunecări de teren în Austria | 2002 | G.GASSNER |
| RTK-GPS+soft Condor 3d Tracker Web Interface | Diferite lucrări din America de Nord, firmă specializată din domeniu | din 1994 | CONDOR EARTH TECHNOLOGIES SUA |
| Senzori electronici+înclinometre+sisteme amortizor TDR+electrodiode+RTK-GPS+sisteme CSP | Diferite lucrări din America de Nord | 2000 - 2003 | D.RUTLEDGE |
| ON THE FLY(OTF)-sistem cinematic GPS | Monitorizarea execuției de structuri înalte | din 1997 | G.ASHKENAZI, sub coordonarea D.W.ROBERTS |
| GPS Trimble 4700 | Republic Plaza Building Singapore, h=270m, 66 de etaje | 2000 | C.OGAJA |
| STTA Leica tc1800L+proiector optic LeicaZL+proiector optic Leica ZNL Nadir | Al-Faisaliah Tower, Riyadh, Arabia Saudită | 1997 - 1999 | M.A.SALEM |
| Videogrammetrie 3D V.Stars Leica+ Laser Trucker(LT)LEICA LT400/LTD400/LTD800 cu aplicații 3D | Diferite construcții, lucrări promoționale | din 1997 | Monitorizare LEICA |
| Sisteme de frecvență gravă FWLQG+accelerometre de precizie | Construcție de 77 de etaje realizată în Singapore | 2000 | G.JIN |
| GPS Leica SR410+accelerometre triaxiale+pseudolit IN200, Integri Nautics Corporation | Teste la Universitatea Nottingham, UK | 2000 | G.W.ROBERTS |
| RTK-GPS+filtre Savitsky-Golay | Tower Block Loughborough, UK | 2000 | M.ZULKARNAI N |

| | | | |
|--|--|----------|--------------------------------------|
| GPS Ashtech GG24, simplă frecvență+GPS ZXII, dublă frecvență | Humber Bridge | 1999 | V.ASHKENAZI |
| Metode geodezice clasice+RTK-GPS+soft Grazia, un excelent raport privind compararea rezultatelor metodelor clasice cu cele ale tehnologiilor GPS | Diferite baraje din Austria | 2000 | F.K.BRUNNER |
| Trimble GPS 7400.MS860 cu 36 de canale L1/L2 | Platforme marine din Norvegia, țările arabe | din 2000 | Diferite companii petoliere |
| RTK-GPS | Simulări | din 1994 | M.BAUMKER, Austria,Ungaria M.DEDE |
| RTK-GPS+ accelerometre, | Construcții mai înalte de 100 de metri | din 1998 | M.CELEBI |
| Trimble 4700 GPS, Condor earth Technologies 3d Tracker+ filtre Kalman | Lucrări din Long Beach, CA, SUA | din 1980 | D.RUTLEGE |
| OTF RTK-GPS+senzori BDMS(GeomaticsSystem) | Hartman Bridge, Houston Ship Channel, SUA | 1997 | K.DUFF |
| GPS IEICA sr400+ antenă Leica AT 402+ GPS Novatel Propak 3141 RE+ antenă Garmin GA29 | Analiză comparativă a influenței obiectelor metalice asupra înregistrărilor GPS, realizată în Brazilia | 2002 | AN.LARocca |
| RTK-GPS, producție japoneză Sokkia, Nikon | Akashi Kaikzo Bridge și alte poduri suspendate pe cabluri din Japonia | din 1998 | S.KAOSHIMA |
| Trmble GPS+Condors 3d Tracker Windows NS software | Barajele aparținând Northern California Power Agency | din 1998 | Condor Earth Technologies Inc. |
| RTK-GPS+sistem manager Globk | Pacoima Dam | 1999 | K.W.HUDNUT |
| Stații integrate GPS+accelerometre triaxiale+încalinometre, manometre de presiune | Simulări efectuate în China | 2000 | X.MENG |
| RTK-GPS | Studierea efectelor ionosferei asupra determinărilor GPS | 2000 | M.POUTANEN |

3.5. Concluzii

Metodele și instrumentele de urmărire a comportării în timp a construcțiilor și terenurilor au avut în ultimii 30-40 ani o evoluție spectaculoasă. Linia generală de dezvoltare a fost (130, 131, 135):

1. Perfecționarea metodelor clasice de monitorizare a evoluției în plan a structurilor urmărite, prin utilizarea unor instrumente din ce în ce mai performanțe, stații totale și Sisteme de poziționare globală, de tip GPS.
2. Menținerea actualității metodelor de urmărire a tasărilor construcțiilor, nivelmentul geometric de mijloc rămânând metoda de bază din punctul de vedere al preciziei, fiind singura metodă de la care se pot aștepta rezoluții submilimetrice în stabilirea poziției pe verticală a punctului matematic urmărit.
3. Crearea de noi instrumente și metode de monitorizare 3D pentru stabilirea evoluției în timp a structurilor, terenuri și construcții, utilizând tehnici senzoriale și prezentând avantajul preluării autonome a datelor și transmiterii sincrone a acestora la baza de monitorizare, aflată uneori la mii de kilometri distanță.
4. Stabilirea de metode și modele de monitorizare universal valabile, ușor adaptabile condițiilor de mediu și naturii structurii urmărite.
5. În timp s-au creat și metode, instrumente, sisteme de monitorizare structurală utilizabile doar punctual, pentru anumite structuri sau fenomene urmărite, depășite parțial prin dezvoltarea metodelor anterior menționate.

4. SOFTWARE-Metode matematice de prelucrare a datelor experimentale, posibilități de interpretare a datelor

Monitorizarea continuă a structurilor este un domeniu de mare interes în activitatea de cercetare a terenurilor și construcțiilor. Majoritatea semnificativă a lucrărilor publicate s-a axat pe dezvoltarea algoritmilor pentru a îmbunătăți identificarea și diagnosticarea structurilor. O chestiune la fel de importantă este realizarea unei platforme flexibile hardware capabilă de colectarea datelor în timp real. Multe din strategiile de monitorizare existente presupun o infrastructură hardware sofisticată. O asemenea presupunere ignoră problemele costurilor preliminare, costurile totale relative/avantajele informației, instalarea sistemului și întreținerea de durată. Modul de abordare este de a determina calitățile dorite ale unui sistem de monitorizare structural și de a proiecta atât partea de hardware pentru colectarea și administrarea unor astfel de date, cât și cea de software pentru a facilita un raport de detectare a consecințelor subsidenței. O platformă de monitorizare bazată pe sisteme inserate și rețele wireless de comutare a pachetelor asigură costuri relativ mici și o rețea de întreținere din unități senzoriale. Metoda sistemului inserat accelerează pătrunderea informației în sistemul de monitorizare, nemaifiind nevoie ca un computer central să preia sarcina numerică sau a colectării de informații și permite analiza deciziilor locale și a procesării datelor. O rețea wireless de comutare a pachetelor nu necesită instalarea cablurilor, întreținerea acestora și elimină posibilitatea degradării semnalului pe distanțe lungi.

Ne-am propus să prezentăm în cadrul acestui capitol principalele mijloace de stocare, prelucrare și interpretare a datelor privind monitorizarea structurilor în toate componentele statice și cinematice.

4.1. Softrock solutions - software de monitorizare a alunecărilor de teren sau deplasărilor în plan și de monitorizare pentru industriile minieră și de construcții (135, 186)

4.1.1. Natura softului

Denumirea de SoftRock (186) este reprezentativă pentru software-ul de monitorizarea a alunecărilor de teren sau deplasărilor în plan și sistemele utilizate pentru detectarea mișcărilor din pereții puțurilor sau unde este necesară detectarea deformărilor geotehnice. Acesta furnizează un sistem complet automatizat, care va colecta date continuu 24/7 și va alerta în cazul în care o mișcare ar depăși un prag nominalizat.

Dezvoltarea extinsă și testarea pe teren permite SoftRock Solution să creeze sisteme și software, operații simultane ale instrumentelor multiple și telemetrie a sateliților.

Monitorizarea mișcărilor alunecărilor de teren sau deplasărilor în plan este necesară din motive de siguranță și pentru a asigura protecția vieții și a bunurilor atât naturale cât și artificiale. Sistemele de monitorizare tradiționale întâlnite în industria minieră utilizează stații totale electronice și retro-reflectorii (prisme), care în momentul administrării corecte asigură date consistente sigure, dar în regim secvențial. SoftRock Solutions a automatizat acest proces prin dezvoltarea Autoslope, Quickslope și AutoSat.

4.1.2. Sistemele de monitorizare Autoslope și Quickslope

Software-ul Autoslope controlează stațiile totale electronice folosite în procesul de monitorizare. Software-ul Quickslope (186) gestionează datele din observațiile manuale sau cele aflate în legătură cu Autoslope pentru a asigura un sistem complet automatizat. Datele din Quickslope sînt disponibile în timp real și o afișare vizuală în Autoslope permite utilizatorului să vadă imediat locația, extensia și timpul mișcării. O varietate a opțiunilor temporale permite monitorizarea zonele de risc la o frecvență definită de utilizator. Opțiunile de alarmă adăugate fac din sistemul SoftRock un instrument de siguranță valoros. Colectarea de date în timp din punctele cunoscute de-a lungul

pereților de mină, bermelor, barajelor și creștelor cu precizie milimetrică permite o identificare facilă a tiparelor de mișcare. De asemenea oferă utilizatorului capacitatea de a anticipa și de a pune în aplicare evenimentele neprevăzute, atenuarea riscurilor și pierderile. Colectarea de date în baza globală permite inginerilor să realizeze o analiză aprofundată având ca scop proiectarea minelor. Autoslope și Quickslope sânt pachete create personalizat care asigură îmbunătățirea gestionării riscurilor în operațiunile de luare a deciziilor, referitoare la stabilitatea pereților puțurilor miniere.

4.2. Sistemul automatizat de monitorizare Softrock (135, 186)

4.2.1. Caracteristici

Sistemul automatizat de monitorizare SoftRock (186) prezintă următoarele caracteristici:

- Poate fi configurat utilizând între unul și șase instrumente,
- Poate asigura urmărirea pe termen nelimitat,
- Transferul de date se face în timp real,
- Poate fi integrat și conectat la diverși alți senzori,
- Calculele se fac automat, sistemul asigurând și compararea datelor,
- Afișează vizual zonele monitorizate,
- Este un excelent manager de evenimente (precipitații, evenimente seismice etc),
- Suportă atașarea de sisteme terțe de monitorizare (crack-pin, extensometre pe mai multe fire),
- Editează grafice de raportare pentru analiză detaliată (Quickslope),
- Asigură o copie de rezervă a datelor monitorizate și arhivarea acestora,
- Are multiple opțiuni de alarmă (mesaje SMS, sunet de alarmă, alarmă birou, alarmă de teren cu semnal luminos, e-mail),
- Pot fi conectate componente modulare (aparate radio, panouri solare, cabluri, antene, modul SMS, piloni telescopici de 6 m pentru antenă).

4.2.2. Avantajele și aplicațiile sistemelor Softrock

Sistemele SoftRock (186) prezintă multe avantaje. Acestea au o mare precizie în măsurarea deplasărilor la prisme de pînă la (5 mm+/-2ppm). Pot opera în majoritatea condițiilor în funcție de distanță (100m pînă la 3000m pentru o singură prismă). Au în dotare o varietate de opțiuni de sincronizare și asigură acoperire 24/7. SofRock Solutions este specializat în monitorizarea alunecărilor de teren sau deplasărilor în plan, aplicațiile sistemului SoftRock fiind:

- Monitorizarea pereților puțurilor și a bermelor în timpul activității miniere,
- Deformarea suprafeței în apropierea pereților minieri înalți,
- Monitorizarea deșeurilor miniere și a drumurilor de acces,
- Stabilitatea structurilor mari (macara transportor și fundații),
- Monitorizarea clădirilor din apropierea excavațiilor subterane,
- Monitorizarea terenurilor și a clădirilor aflate deasupra golurilor subterane,
- Monitorizarea completării cu a pereților barajelor.

Sistemele au fost, de asemenea, utilizate în aplicații cum ar fi secționarea drumurilor, construcția de poduri, alunecările de teren și deplasarea umpluturilor, a terasamentelor în general.

4.2.3. Noul Analizator SoftRock

Acest produs funcționează pe o bază de date SQL și posedă toate facilitățile CAD. Este necesară o versiune a Serverului Microsoft SQL. QuickSlope este un instrument pentru colajonare, verificare, calculare și raportare a datelor obținute pentru monitorizarea prismelor din pereții puțurilor. Coordonatele pot fi calculate cu precizie folosind cadre multiple pentru prismele țintă și de referință.

Acest fapt este ideal pentru teodolitele robotizate automatizate, dar orice instrument poate fi folosit. Ajustările atmosferice sânt minimalizate folosind QuickSlope cu instalare de Prisme de Referință. Distanțele și unghiurile verticale vor fi ajustate, iar rapoartele vor fi calculate din această bază. Datele sânt depozitate într-o bază de date Microsoft Access. Ideea principală este de a nu mai fi necesară păstrarea foilor de calcul. Toate datele sânt accesibile fie prin intermediul instrumentelor QuickSlope, fie utilizând direct Access-ul pentru a gestiona/exporta datele, sau folosind facilitățile de export QuickSlope. Nu este nevoie să se exporte datele deoarece graficele pot fi realizate direct din baza de date. QuickSlope poate fi utilizat de supraveghetori pentru a menține datele de proiect care pot fi accesate și de alți utilizatori. AutoSlope măsoară și calculează datele și le stochează în baza de date QuickSlope. Autoslope poate controla instrumentele Geodimeter ATS sau Leica TCA. Autoslope este un puternic instrument de control, programare și înregistrare de date din instrumente de supraveghere robotice multiple folosind fie un Geodimetru ATS sau Leica TCA cu ATR, situație analizată în studiul de caz, podul de la Beska, Novi Sad, Serbia, din lucrările autorilor.

4.3. Softuri recente de monitorizare a structurilor. O platformă de rețea modulară și wireless pentru monitorizarea structurilor creată în baza unui program de cercetare multidisciplinară din cadrul Universității Stanford (135, 203)

4.3.1. Natura programului de cercetare

Un program de cercetare multidisciplinară din cadrul Universității Stanford, desfășurat între Departamentele Electric, Mecanic și de Construcție Civilă a dezvoltat o platformă hardware bazată pe sisteme inserate și rețele wireless pentru a satisface cererile activității de monitorizare (203). Modul de abordare este de a determina calitățile dorite ale unui sistem de monitorizare structurală și de a proiecta atât partea de hardware pentru colectarea și administrarea unor astfel de date, cât și cea de software pentru a facilita un raport de detectare a consecințelor subsidenței. O rețea wireless de comutare a pachetelor nu necesită instalarea cablurilor, întreținerea acestora și elimină posibilitatea degradării semnalului pe distanțe lungi. În acest mod este prezentată o rețea funcțională din unități de senzori.

4.3.2. Componentele principale de explorarea ale Structurii Web nou create și evoluția în timp a sistemului (203)

Din cele prezentate în continuare se observă că acest soft este foarte actual fiind permanent îmbunătățit și actualizat, interesantă fiind evoluția sistemului, până la forma actuală, fiind precizată în continuare pe componente.

- 1. DB SynchroComp**, intrat în sistem la data de: 16 Martie 2002. DB SynchroComp compară 2 servere de baze de date SQL, determină diferențele dintre ele și generează script-ul care va schimba Structura bazei de date ținând seama de faptul că este concepută astfel pentru a se potrivi cu baza de date sursă.
- 2. CDBF Shell**, intrat în sistem la data de: 13 Februarie 2004. Extensia CDBF Shell permite vizualizarea conținutului său structurii fișierelor DBF din fereastră fără a fi necesară deschiderea lor. CDBF Shell permite copierea pe clipboard a rapoartelor selectate.
- 3. Manager DBF**, intrat în sistem la data de: 06 Decembrie 2004. De multe ori este nevoie de un software care poate organiza întreaga funcționalitate, permițându-ne acces rapid DBF la bazele de date și modificarea structurii datelor sau a datelor însele.
- 4. Grafic Activ 3D**, intrat în sistem la data de: 06 Decembrie 2004. Vizualizarea de date 3D, grafice, analiză și explorare de date în realitatea virtuală (VRML). Programul crează scene unice de date 3D. Volume mari de înregistrări de date.
- 5. Instrumente Internet Spider**, intrat în sistem la data de: 26 Mai 2005. Instrumentele Net Spider reprezintă o utilitate multi-funcțională pentru spidering-ul Internetului care susține: descărcare de site-uri web, explorări aleatoare indirecte, verificarea link-urilor, explorare Web în timp real.

6. **Comparație liberă a bazelor de date**, intrat în sistem la data de: 09 Ianuarie 2005. Aplicația de comparare SQL permite realizarea unei comparații între structurile a 2 servere de baze de date SQL și expunerea tuturor diferențelor existente. Se pot astfel compara bazele de date online.
7. **Instrumentul Query de cercetare**, intrat în sistem la data de: 09 Iulie 2005. Instrumentul Query este o puternică aplicație de explorare a datelor. Permite efectuarea analizei de date pe orice bază de date SQL. Dezvoltată în principal pentru utilizatorii non-tehnici. Nu sunt necesare cunoștințe SQL.
8. **Explorator de date Estand**, intrat în sistem la data de: 03 Iulie 2006. Exploratorul de date Estand este o aplicație vastă de explorare a datelor capabilă să detecteze conexiuni ascunse atât în datele structurate, cât și în cele nestructurate. Cele mai noi tehnici explorare de date au fost încorporate în aceste informații.
9. **Structura Viewer PE**, intrat în sistem la data de: 4 Iulie 2006. Programul are ca scop afișarea structurii interne a fișierelor executabile (PE 32-biți sau 64- biți).
10. **Programul WhyRate (Curba debitului hydraulic pentru Windows)**, intrat în sistem la data de: 4 Iulie 2006. Capacitate de date a fișierului pentru sesiuni de lucru rapide și ușoare. Trăsături și capacități Windows 98 și format mai avansat prin intermediul sistemului de Intrare windows. Ieșirea de la monitor și/sau imprimantă în Format Tabular.
11. **Structura de fișier Grabber**, intrat în sistem la data de: 05 Iulie 2006. Acest program crează o copie a structurii de fișier a unui computer permițând accesul acesteia de la oricare alt computer fără a utiliza o conexiune de rețea.
12. **DirPrinter**, intrat în sistem la data de: 5 Iulie 2006. Printarea conținutului unui director era foarte ușor de făcut în DOS. Din nefericire nu există o astfel de funcție în Windows. În Windows se poate utiliza DirPrinter pentru a printa conținutul unui director.
13. **MPEG Parser**, intrat în sistem la data de: 26 Iunie 2007. MPEG Parser este un program de observare al structurilor interne ale fișierelor MPEG. Poate observa câmpuri de structuri ale fișierelor MPEG. MPEG Parser prezintă astfel de date despre fișierele MPEG: Rezoluție, Frecvență de cadru, Mărime.
14. **Captură Liberă de Date**, instrumentul Captură liberă de date (FDC) oferă o metodă convenabilă de colectare, filtrare, explorare și procesare a textului din paginile Web și alte surse, captare de imagini din pagini web sau ferestre de dialog.
15. **Motorul de căutare a bazelor de date ZeBAze**, în sistem de la data de: 12 Iunie 2008. ZeBAze este un motor de căutare de nouă generație care transformă în mod eficient calea spre query și recuperează informații dintr-o bază de date.
16. **Pagini Aml**, intrat în sistem la data de: 25 Octombrie 2008. Paginile Aml reprezintă un organizator de însemnări care permite păstrarea tuturor însemnărilor într-o structură ierarhizată, aranjate în ordinea dorită. Trăsătura principală este structură ierarhizată flexibilă pentru a vă păstra toate însemnările în ordine.
17. **Masca de extragere a datelor Web**, intrat în sistem la data de: 30 Octombrie 2008. Masca de extragere a datelor Web este un instrument puternic pentru explorarea acestora, extracția și actualizarea conținutului. Poate extrage date structurate sau nestructurate (inclusiv format text, imagine și alte documente).
18. **Navigator Signumsoft Html (CMS)**, intrat în sistem la data de: 30 Octombrie 2008. Schimbă documentele Microsoft Word într-o pagină de start! Definește o structură după documentele Microsoft Word dacă se dorește publicarea acestora pe Internet.
19. **Loginom**, intrat în sistem la data de: 23 Decembrie 2008. Loginom este o platformă analitică. Reprezintă o bază pentru crearea soluțiilor analitice aplicate. Tehnologiile realizate în Loginom permit examinarea tuturor stadiilor de creare a unui sistem analitic.
20. **Obiecte de Trafic**, intrat în sistem la data de: 3 Februarie 2009. Programul Obiecte de Trafic furnizează periodic date din bazele de date și fișierele isolate, permițând utilizatorilor să ilustreze grafice streaming în timp real pentru monitorizarea și explorarea datelor. Chiar dacă

se monitorizează datele privind comportarea unei structuri acestea pot fi inserate în sistem ca obiecte de trafic.

21. Doctor DBF, intrat în sistem la data de: 3 Iulie 2009. Doctor DBF este o completare valoroasă adusă oricărui set de instrumente software necesar unui specialist IT. Doctor DBF permite restabilirea de date importante dintr-un fișier deteriorat sau corupt în doar câteva minute. Această recuperare avansată apără colecția de date achiziționată într-un interval de timp.

22. Analizator de site-uri Web AI, intrat în sistem la data de: 4 Iulie 2009. Instrumente de analiză a conținutului și structurii unui site Web. Găsește link-uri incomplete și redirecționează. Observă structura site-ului Web și calculează valoarea “importanței” pentru fiecare pagină. Obține rapoarte detaliate pentru toate paginile precum HTML.

4.3.3. Aplicații GTILT, Softul de monitorizare a deformațiilor structurilor GTILT

GTILT (135, 202, 211, 214, 215) este proiectat pentru a ajuta să se manipuleze cu un efort minim volume mari și mici de date privind înclinația citite cu o gamă largă de sonde înclinometrice. Sunt operate citiri, și înregistrări, deci chiar dacă se folosesc echipamente de la mai mulți producători, GTILT putând face față tuturor proiectelor din domeniu.

Sistemul este compatibil cu o gamă largă de echipamente înclinometrice; importă direct multe tipuri de fișiere de date de înclinație, realizează conversia și/sau descarcă utilități pentru altele. Alte caracteristici importante:

- Utilizează același format de fișier de date GTL ca GTILT sau DOS. Formatul fișierului este îmbunătățit pentru a include obiecte schițate care urmează să fie introduse în grafice, dar care rămân lizibile în versiunile DOS ale GTILT-ului.
- Un grafic al fișierului curent este vizibil odată ce înclinometrul este încărcat și rămâne vizibil în timp ce GTILT-ul operează.
- Oferă Grafice de Deplasare Cumulată, Deplasare Incrementală și Poziționare Absolută referitor la Adâncime sau Alitudine, Graficele de Deplasare, Teniunea de Forfecare, Rate de Deplasare, și Rate de Tensiuni de Forfecare în timp.
- Toate graficele sânt disponibile în direcțiile canalelor înclinometrului sau la un unghi înclinat.
- Acces la toate citirile folosind un editor tri-dimensional.
- Verificările pot fi vizualizate în format histogramă care permite o evaluare cantitativă imediată a calității din fiecare set de date.
- Afișează fișierele descărcate dintr-o gamă largă înregistratori înclinometrici.
- Susține sonde de orice lungime de bază.
- Graficele sânt prezentate în limba engleză sau în unități metrice, independent de tipul sondei.
- Grafice descrescătoare pot include sondaje independente ale alunecărilor de suprafață.
- Liniile, polylines, și de tip text poate fi desenat pe parcele pentru a arăta stratigrafia zonei, goluri subterane, tunele, excavații și așa mai departe, cu user-definibile punct mărimi și culori.
- Seturi de date pot fi marcate pentru a fi incluse pe toate parcelele. Pentru parcele situate în profunzime sau pe altitudine, seturile de date individuale pot fi incluse, de asemenea, printr-un clic toggled direct pe terenul legenda.
- Exporturi Windows Graphics Metafiles (WMF) pentru a fi utilizate cu alte aplicații.
- Grafice descrescătoare pot include sondaje independente ale alunecărilor de suprafață.
- Liniile, poliliniile și textul pot fi trasate pe grafice pentru a reprezenta stratigrafia, depozite, tunele, excavații ș.a.m.d cu corpuri de litere și culori determinate de utilizator.
- Seturile de date pot fi marcate pentru a fi incluse pe toate graficele, doar pe grafice de timp sau pe niciun grafic. Pentru graficele de adâncime sau altitudine, seturile de date individuale pot fi, de asemenea, accesate printr-un clic direct pe legenda graficului.
- Se pot exporta Metafișiere Grafice Windows (WMF) pentru a fi utilizate cu alte aplicații.
- Balanțele pot fi modificate prin introducerea de date noi direct pe grafice.

4.3.4. Avantajele cheie ale softului de monitorizare a deformațiilor structurilor GTILT

1. Grafic de date curente vizibil în orice moment
2. Acces facil la date brute prin intermediul unui editor de citire 3D
3. Reprezintă stratigrafia, depozitele, tunelurile etc. direct pe grafice.

În figura 44 se prezintă o aplicație de tip **GTILT** ce prezintă citirile preluate de pe berma în aval a unui dig construit pe soluri argiloase foarte plastice care continuă să alunece la 15ani de la construcție, dar care altfel se comportă bine. În figura 45, se prezintă o aplicație de tip **GTILT** ce redă curba de deplasare/timp generate pentru zona cu roci forfecate pe parcursul unui interval de adâncime indicat. GTILT poate genera acest tip de grafic în direcția mișcărilor “A”, “B” sau oricărui unghi de înclinație. Scara verticală poate fi exprimată în termeni de deplasare sau deformație de alunecare procentuală. Graficul poate prezenta și ratele de deplasare pe zi sau pe an.

4.4. Aplicații de tip GTILT PLUS

GTILT PLUS (130, 131, 135, 202, 211, 214, 215) pune la dispoziție toate facilitățile de GTILT, împreună cu celelalte funcții pentru utilizatorii avansați. Facilitățile suplimentare sânt: GTILT PLUS include o copie a utilității GSPIRAL bazată pe sistemul DOS, care se ocupă de datele dintr-un instrument spirală incrementală în același mod în care GTILT se ocupă de datele înclinometrului. GSPIRAL poate crea grafice reprezentând torsiunea cumulativă și incrementală a carcasei versus adâncime și poate înscrie fișiere de date în spirală adecvate importate în GTILT PLUS. GTILT PLUS poate încorpora date în spirală în fișierul GTL, unde vor fi stocate datele normale obținute de la înclinometru. Cu toate acestea, cele 2 tipuri de date sânt păstrate separate în interiorul fișierului.

GTILT PLUS permite corecții care urmează să fie aplicate pentru a compensa rotația accelerometrului pe o axă verticală și, de asemenea, pentru deplasarea punctului zero între citiri în direcții diferite. Fiecare set de citire și direcție (A și B) pot avea corecții diferite pentru fiecare parametru.

PLUS GTILT poate realiza un rezumat statistic al datelor obținute de la înclinometru, pentru a ajuta utilizatorii de specialitate să depisteze erorile de instrument. Aceasta se situează peste caracteristica histogramei de control care există în GTILT.

GTILT PLUS 32

Cea mai recentă versiune GTILT pe 32 de biți este de 3.13, disponibil începând cu 12 martie 2006. Dispune de un editor îmbunătățit de citiri care afișează un grafic de control asupra adâncimii, alături de citirile tabulare. De asemenea, oferă o legătură vizuală între citirile tabulare, graficul de control, și intervalul corespunzător fiecărui grafic de adâncime sau înălțime. De exemplu se poate face un clic pe o anomalie din cadrul graficului de control și se vede imediat cărei citiri îi corespunde, sau care interval de adâncime este afectat de aceasta pe graficul de final. Este posibil de a vizualiza lecturile tabulare din punct de vedere al trecerii de la un set de date anterior. Acest lucru face mai ușoară evaluarea dacă o deplasare grafică reprezintă o citire eronată sau o mișcare reală. În plus față de cele de mai sus, GTILT PLUS 32 versiunea 3.13 permite corecții interactive pentru schimbare înclinației și rotația accelerometrului. GTILT PLUS32 permite, de asemenea, corecții de adâncime, necesare ca urmare a depunerilor, alunecărilor de teren, întinderea cablurilor, diferențele de lungime a cablurilor, sau citiri luate de la un punct de referință greșit.

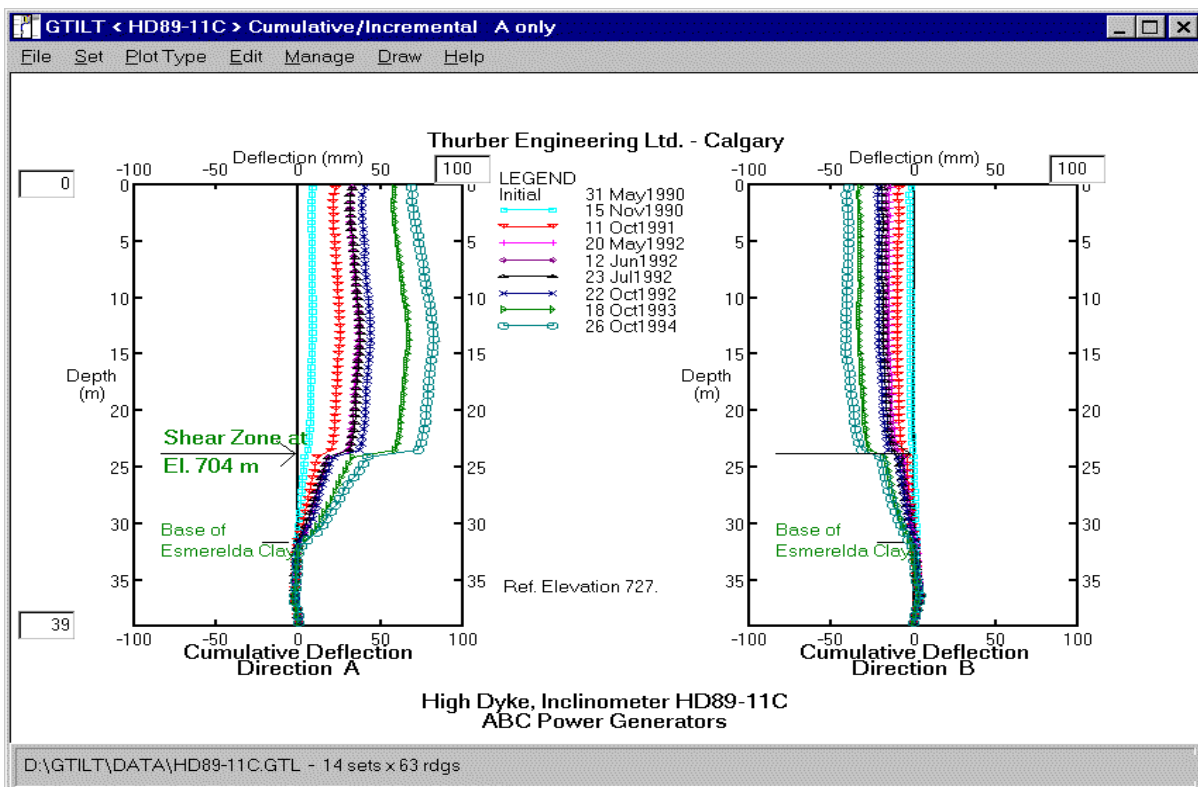


Figura 44. Citirile preluate de pe berma în aval a unui dig construit pe soluri argiloase foarte plastice (202, 211, 214, 215)

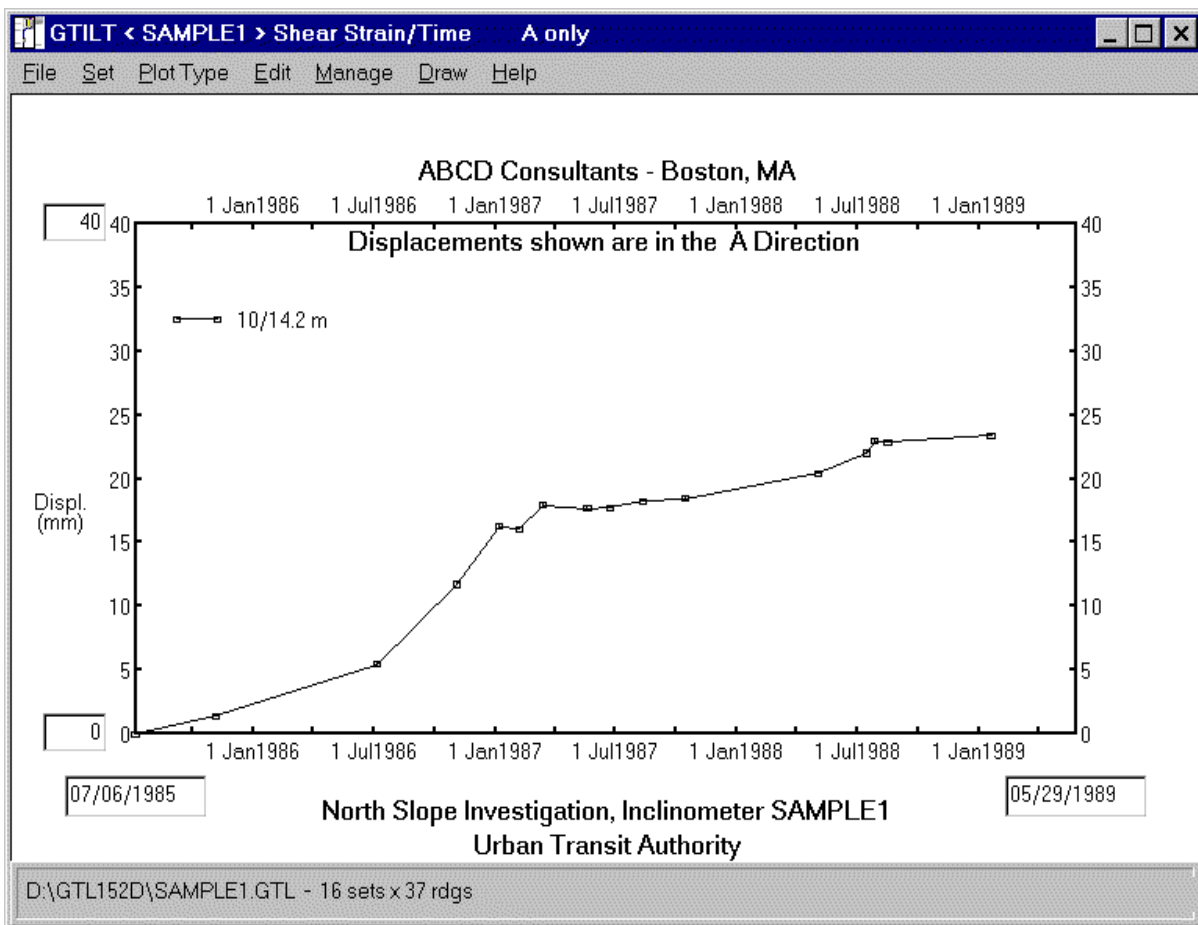


Figura 45. Deplasarea unei mărci mobile, în timp, după o direcție (202, 211, 214, 215)

4.5 Software de comunicare Loggernet

4.5.1. Suport Software pentru Acumulatorul de Date

LoggerNet este un software de calculator pentru înregistratorii de date din categoria Campbell Scientific (197,217). Acesta susține programarea, comunicarea, recuperarea de date între înregistratorii Campbell Scientific și un PC. LoggerNet susține conectarea la un singur înregistrator de date, dar este în special expert în aplicațiile care necesită telecomunicații sau recuperare de date programate din rețelele mari de înregistratori de date. LoggerNet constă dintr-o aplicație server și mai multe aplicații client integrate într-un singur produs. LoggerNet rulează pe un computer principal, folosind porturi în serie, driver-e de telefonie, precum și de hardware Ethernet pentru a comunica cu înregistratorii de date prin modem-uri de telefon, dispozitive RF, precum și alte aparate periferice. Serverul LoggerNet stochează datele într-un cache și înscrie datele în fișiere ASCII. Software-ul de Comunicare Loggernet a fost dezvoltat pentru acumulatorii de date CR510, CR10X și CR23X. Programele Windows furnizează ajutor pentru dezvoltarea și editarea programelor de acumulare de date, telecomunicații, transfer de date, afișare grafică în timp real a datelor, modul de stocare a comunicațiilor, reducere de date și generare de date.

4.5.2. Caracteristici Suport Software Campbell Scientific (197, 217)

a. Trăsături:

- Crează programe speciale de acumulare a datelor utilizând Edlog or CRBasic,
- Afișează sau reprezintă grafic timpul real sau datele istorice,
- Crează ecrane de afișare speciale pentru vizualizarea datelor,
- Colectează date la cerere sau conform unei planificări,
- Recuperează date folosind oricare din opțiunile noastre de telecomunicație,
- Procesează fișierele de date utilizând opțiunea Split,
- Exportă date pachetelor de analiză terță,
- Comunică cu modulele de depozitare,
- Aplicațiile funcționează pe platforme Windows XP/Vista/2000,
- O nouă versiune a programului este în curs de finalizare.

b. Arhitectura client-server

Loggernet este bazat pe o arhitectură de rețea client-server. Un server este un aparat sau o aplicație (program) care controlează distribuția fișierelor, procesele, traficul de rețea a calculatorului, iar clientul este un utilizator de aplicație (program). În LoggerNet, un server este lansat oricând LoggerNet Toolbar este deschis. Acest server controlează comunicarea cu acumulatorul de date din rețeaua și menține o bază de date binară (sau depozit de date) colectate din acumuloarele de date. Clienții sânt interfața utilizată-aplicațiile-utilizate pentru a prezenta rezultatele interacțiunii serverului cu acumuloarele de date. Aceste rezultate pot fi în forma unui grafic pentru a prezenta valorile măsurătorilor, o fereastră pentru a trimite un program centralizatorului de date, un status screen care arată statusul întregii rețele, sau o fereastră centrală care arată comunicarea dintre server și întreaga rețea. Există multe avantaje în utilizarea arhitecturii de server client- rețea. Un avantaj este faptul că mulți clienți sau mai multe calculatoare se pot conecta la un singur server, iar serverul poate furniza acestor clienți informații, aproape simultan. De asemenea, această arhitectură de rețea permite comunicarea dintre clienți și server prin rețeaua TCP/IP, oferind o comunicare rapidă, de încredere cu rețeaua de acumulatori de informații și abilitatea de a controla rețeaua de acumulatori de informații.

Arhitectura de rețea Client- Server permite LoggerNet să găzduiască comunicarea dintre un calculator și rețeaua de acumulatori de informații, multe calculatoare și rețeaua de acumulatori de informații, sau multe calculatoare îndepărtate și rețeaua de acumulatori de informații.



Figura 46. Fereastră pentru a trimite un program centralizatorului de date Campbell Scientific (197, 217)

4.5.3. Pachetele Software LoggerNet

a. LoggerNet

Pachetul standard de software este recomandat celor care au rețele de acumulatori de date care nu necesită mai multe caracteristici mai avansate oferite în LoggerNet Admin. Acesta include serverul LoggerNet și aplicațiile clientului care permit să se programeze acumulatorul de informații, să se colecteze date, să se monitorizeze-controleze rețeaua și acumulatorii de date din rețea, să genereze prezentări grafice de date care se actualizează când informațiile sânt colectate, să creeze comenzi automate și să prezinte sau să postproceseze datele.

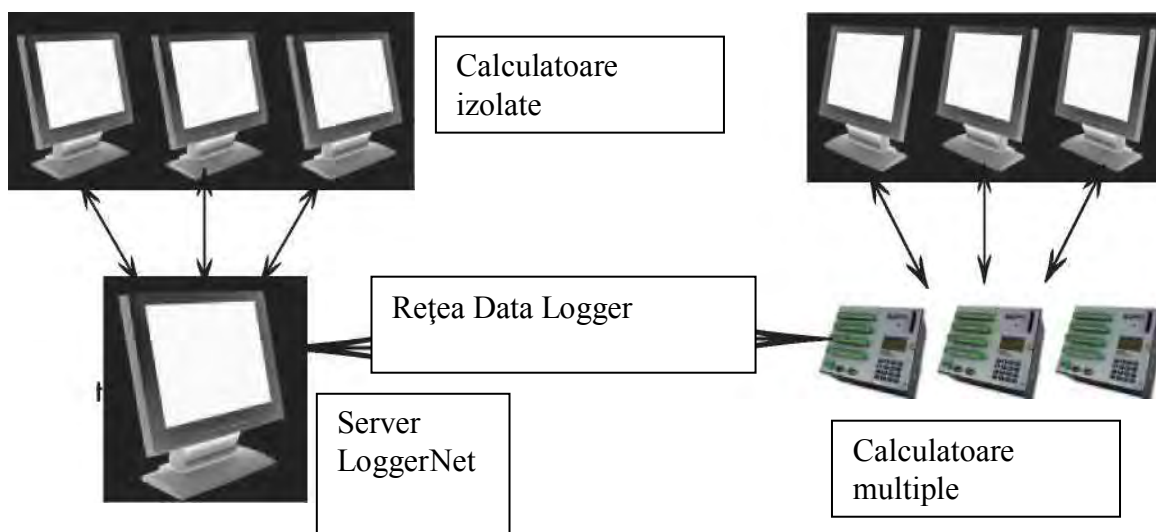


Figura 47. Arhitectura de rețea Client- Server Campbell Scientific (197, 217)

b. LoggerNet Admin

Acest pachet de software mai avansat deține instrumente care sunt folositoare pentru cei care au rețele de acumulatori de informații mari. Acesta include toate funcționalitățile ale LoggerNet, precum și abilitatea de a autoriza securitatea, de a controla serverul dintr-un PC aflat la distanță. LoggerNet poate să funcționeze ca serviciu, să exporte date la aplicațiile unui terț și să lanseze exemple multiple aceluiași client (de exemplu, deschizând două ferestre Connect pentru a comunica simultan cu două acumulatori de date din aceeași sau dintr-o rețea diferită).

c. LoggerNet Remote

Acest pachet include toți clienții LoggerNet Admin cu excepția Service Manager. LoggerNet Remote permite controlul unei rețele existente de acumulatori LoggerNet dintr-o locație îndepărtată, fără a investi într-un alt pachet complet de soft LoggerNet Admin.

d. LoggerNet Linux

LoggerNet Linux furnizează soluția pentru cei care doresc să utilizeze un server LoggerNet într-un mediu Linux. Pachetul include o versiune a Linux a serverului LoggerNet și o copie a LoggerNet Remote. Aplicațiile bazate pe client Microsoft Windows în LoggerNet Remote funcționează pe un calculator separat, pe care merge Windows 2000, Windows XP, sau Windows Vista, și sunt utilizate pentru a controla serverul LoggerNet Linux. Diskul LoggerNet Linux conține două distribuții RPM-Fedora Core 5 și CentOS 4.3.

e. Cerințele computerului

Hardware-ul minim recomandat este Pentium II Procesor cu 128 Mbytes de Ram și o rezoluție a ecranului de cel puțin 800 x 600. LoggerNet este optimizat pentru caracteristicile Windows 2000, XP, sau Vista care maximizează siguranța colecțiilor de date programate, inactive și programele de aplicație multitasking. Calculatorul trebuie să aibă cel puțin 100 MB spațiu.

f. Aplicațiile clientului, Dispozitiv pentru setarea EZ

Acest dispozitiv orientat spre stație, conduce prin procesul de setare și poate fi utilizat pentru a modifica setările unui site existent.

g. Setarea, conectarea, statusul, Logtool, Troubleshooter, PakBus Graph

Aceste unelte sânt utilizate pentru a seta sau a schimba parametrii datalogger (acumulator de informații), pentru a monitoriza rețeaua de comunicații, reseta ceasul acumulatorului de informații, a trimite programe de la calculator la acumulator de informații, a colecta date la cerere sau conform unui program și pentru a descoperi cauza problemelor de comunicare. Legăturile de comunicare sprijinite includ serial direct, TCP/IP, telefon, radio (VHF/UHF sau spectru de extensie), View oferă afișaje tabulare sau grafice liniare simple pentru una sau două elemente dintr-un fișier de date.

h. Monitorizare și control în timp real (RTMC)

RTMC este utilizat pentru a crea afișaje uzuale de date în timp real, steaguri și porturi. Oferă obiecte digitale, tabulare, grafice și obiecte de afișaj de date Boolean, precum și alarme. Se pot combina date din mai mulți acumulatori de date multipli dintr-un singur afișaj iar afișajele complexe pot fi organizate în ferestre multi-tab.

i. Split

Split este utilizat pentru a postprocesa fișierele de date și pentru a crea rapoarte printate. Acesta sortează și combină date bazate pe timp și condiții, efectuează calcule pe baza valorilor datelor, transformă între serii de date de calendar și mai mult tradiționalele ștampile dată- timp, permite cloane variabile în diametru pentru rapoarte printabile, precum și rapoarte simple, formate HTML.

j. Device Configuration Utility (DevConfig)

DevConfig permite să se trimită sisteme de operare noi spre acumulatorii de informații și spre alte dispozitive cu memorie Flash, să se configureze setări variate PakBus® în acumulatorii de informații, să se editeze setările pentru periferice de comunicare precum MD485 și RF401.

k. SMS și Card Convert

SMS este utilizat pentru a reface datele și pentru a transfera programe de acumulatori de informații la modulele de depozitare. Acesta este compatibil cu modulele de depozitare SM4M, SM16M, SM616, SM192 și cardurile de memorie CSM. Card Convert este utilizat pentru a converti și salva

date binare de pe PC Card sau de pe CompactFlash® card utilizat în acumulatorii de informații CRBasic.

l.Security Manager (numai LoggerNet Admin sau remote)

Security manager este utilizat pentru a seta securitatea în aplicația LoggerNet, pentru a restricționa accesul la anumite funcții.

m.LoggerNet Server Monitor (numai LoggerNet Admin- Remote)

LoggerNet Server Monitor este o utilitate care funcționează minimalizat cu o icoană în zona de status Windows. Acesta monitorizează statusul serverului LoggerNet, când acesta este utilizat ca serviciu sau este utilizat de pe un computer distanțat.

Hole Monitor este utilizat pentru monitorizarea întregii activități pentru acumulatorii de date dintr-o rețea LoggerNet. Golurile sânt întâlnite în datele colectate din acumulatorii de date, bazați pe tabele prin consultanța datelor (consultanța datelor este utilizată pentru colectarea datelor în rețele de date mari RF). Un gol apare atunci când există înregistrări lipsă a datelor în depozitul de date din serverul LoggerNet pentru un acumulator de date.

n.Service Manager (numai LoggerNet Admin)

Service Manager este utilizat pentru a instala LoggerNet ca serviciu, și pentru a controla programul pe PC. Când este utilizat ca serviciu, după o cădere de curent, LoggerNet va rezuma colecția de date și activitățile programate când calculatorul se va redeschide.

o.Clienți LoggerNet Stînd Alone

Mai mulți clienți stînd alone LoggerNet sânt funcționabili pe PC-uri aflate la distanțe mari. Funcțiile suportate de aceștia includ distribuția datelor în fișiere izolate, pe interfațe OPC, afișaje PC, browsere.



Figura 48. Dispozitivul pentru setarea EZ oferă ajutor pas cu pas în stabilirea și configurarea acumulatorului de informații pentru comunicarea și colectarea datelor Campbell Scientific (197, 217)

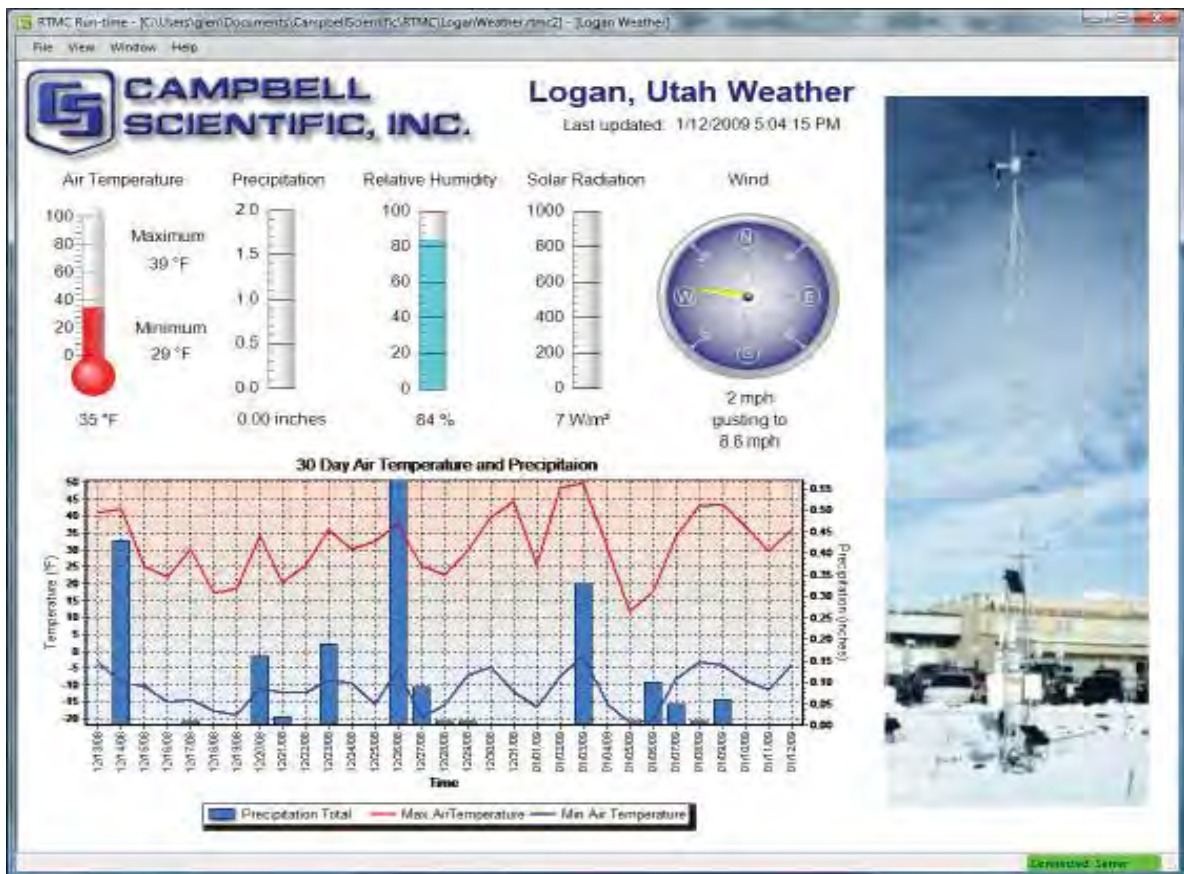


Figura 49. RTMC Run-time și RTMC Web Server lucrează cu proiecte create în programul de dezvoltare al RTMC, care se află în legătură cu LoggerNet Campbell Scientific (197, 217)

p. Kituri de dezvoltare de Software

LoggerNet-SDK și LoggerNet Server SDK permit creatorilor de software să creeze aplicații care comunică cu serverul LoggerNet și prin server spre unul sau mai mulți acumulatori de informații.

r. Short Cut, Edlog, CRBasic Editor, Transformer

LoggerNet furnizează mai multe instrumente de programare. Short Cut este cel mai ușor de folosit generând programe în patru pași ușori. Acesta susține peste 100 de senzori (inclusiv măsurători generice) și dispozitive de control pentru operații. Edlog și CRBasic Editor oferă capacitatea de a edita programe mai sofisticate. Ambii editori de programe utilizează secvențe de selectare- din-listă- și-completare- în-spațiu pentru a dezvolta programul de acumulatori de informații. Ele diferă în acumulatorii pe care îi susțin. Edlog susține CR500, CR510, CR10(X), 21X, CR23X și CR6. CRBasic Editor (similar în sintaxă cu limbajul de programare BASIC) susține seriile CR200, CR800, CR850, CR1000, CR3000, CR5000, and CR9000(X).

4.6. ESQC Pro

ESQC Pro Campbell Scientific (197, 217). Este un instrument direct interfazat cu module de achiziție pentru controlul de calitate al datelor seismice sau a altor date specifice domeniului de monitorizare continuă a structurilor, în timp real, fără întârzieri de prelucrare și afișare. Un adaos de hardware și pachet software poate fi implementat on-line cu sistemele standard de achiziție de date 408UL, Seal, AquaLink sau Deep Sea Link. ESQC Pro oferă utilizatorilor două funcții principale:

Control al calității în timp real fără a încetini operațiile

- Date seismice QC Online și În Timp Real, complet integrate pentru a 408UL, Seal, AquaLink sau Deep Sea Link
- Afișare personalizată de înaltă rezoluție
- Atribut de calcul și generare de baze de date

- Istoric de afișare sintetică cadru-cu-cadru.

Acces de la distanță de la orice PC autorizat prin Internet

- Aceleași funcții și Interfața Grafică pentru Utilizator ca la site-ul de înregistrare
- Afișare personalizabilă, independentă de cea din site-ul de înregistrare
- Compresie de date
- Server de Internet.

ESQC Pro oferă o afișare a înregistrărilor seismice de înaltă rezoluție AGC îmbunătățit, filtrare și egalizare și include următoarea afișare atribuită:

- Selecție directă automată
- Corespondență semnal-zgomot
- Urmă energetică seismică
- Analiza frecvenței undelor seismice
- Rezistență grup a sau a oricărui alt instrument de monitorizare continuă
- Înclinare grup a sau a oricărui alt instrument de monitorizare continuă
- Urme selectate în funcție de opțiune: erori, tipuri particulare de receptori, toate urmele
- Analiză hiperbolică
- QC detaliat pentru orice urme
- Trasare a valorii energiei și a zgomotului ambiental
- Rezumat al unor valori importante calculate, cadru după cadru (Istoric de afișare):
 - Numărul de urme defecte cu prezentare de detalii ale problemelor
 - Nivelul mediu de zgomot ambiental
 - Nivelul de zgomot emis pe cea mai apropiată linie de sursă
 - Nivelul de semnal seismic pe cea mai apropiată linie de sursă
 - Nivelul mediu de corelație pe cea mai apropiată linie de sursă.

4.7. Leica Geo Office Software de Supraveghere și Inginerie

Se poate exploata la maxim potențialul datelor cu LEICA Geo Office (197) vizualizând și gestionând TPS-ul, GPS-ul și nivelul de date într-un mod integrat. Datele se pot procesa individual sau combinat. Toate componentele au un exterior asemănător și interacționează perfect unele cu altele. GPS, TPS și nivelul de date sânt manipulate într-un mod similar cu ajutorul instrumentelor standardizate și a șirului de date.

Leica Geo Office standard include următoarele funcționalități:

- Managementul datelor
- Vizualizare și editare
- Prelucrare TPS
- Raportare flexibilă
- Import și export flexibil
- Instrumente pentru GNSS, TPS și niveluri.

Softul Zagi a fost creat special pentru a se lucra cu clinometre și aparate de măsurare a înclinării digitale AGI. Zagi funcționează cu ultimele ediții de Microsoft Windows. Oferă o interfață ușor de utilizat pentru un singur aparat de măsurat conectat la portul PC-ului. Graficul de bandă dispune înclinația X și Y iar indicatorii numerici arată înclinația și temperatura lui X și Y. Rata randamentului instrumentului și formatul de serie de randament poate fi schimbat utilizând instrumentele de pe ecran.

4.8. Conceptul de monitorizare al elementelor structurale finite

4.8.1. Introducere în conceptul de monitorizare structurală

Monitorizarea structurală (28, 48, 50, 57, 66, 67, 73, 87, 104, 108, 114, 124-139, 143, 156, 178, 186, 196, 199, 206, 211) este un proces al cărui scop este de a oferi la timp informații corecte despre condiția structurală și performanță. Metoda constă în înregistrarea permanentă și continuă, periodică sau periodic continuă a parametrilor reprezentativi pe perioade scurte sau lungi de timp. Informația obținută din monitorizare este în general folosită pentru a planifica și modela activitățile de întreținere, de a crește siguranța, a verifica ipoteze, a reduce nesiguranța și de a lărgi cunoștințele despre structura monitorizată. Pe lângă avantajele generale ale senzorilor de fibre optice, cum ar fi insensibilitatea la influențele de mediu stabilitate și precizie mare, acești senzori permit monitorizarea la nivel structural global utilizând un număr limitat de senzori. O problemă importantă în monitorizarea structurală globală este selecția arhitecturii rețelei de senzori. Structura este împărțită în elemente mici, numite celule și fiecare celulă este echipată cu o combinație de senzori, numite topologie, de exemplu în cazul unei celule îndoită într-un plan, sânt folosiți doi senzori paraleli cu axul celulei, în timp ce în cazul elementelor încărcate axial este folosit un singur senzor paralel cu axul elementului sau în cazul celulei supuse la forțe puternice de forfecare se folosește o pereche de senzori încrucișați. Odată ce câmpul de torsiune din fiecare celulă este cunoscut, toate celulele sânt „conectate” prin folosirea de algoritmi corespunzători și este determinată deformația globală structurală. Concept este similar Metodei elementului finit utilizat pentru a calcula acțiunile mecanice în structuri și din acest motiv în mod neconvențional este denumit Conceptul de monitorizare structurală al elementului finit.

4.8.2. Monitorizarea structurală – noțiuni de bază

Monitorizarea structurală este un proces al cărui scop este de a oferi la timp informații corecte despre condiția structurală și performanță. Metoda constă în înregistrarea permanentă și continuă, periodică sau periodic continuă a parametrilor reprezentativi pe perioade scurte sau lungi de timp. Informația obținută din monitorizare este în general folosită pentru a planifica și modela activitățile de întreținere, de a crește siguranța, a verifica ipoteze, a reduce nesiguranța și de a lărgi cunoștințele despre structura monitorizată. În ciuda importanței sale cultura monitorizării nu este încă larg răspândită fiind de multe ori considerată ca o activitate accesorie, care nu necesită planificare detaliată. Procesul de monitorizare este un proces foarte complex plin de etape delicate și numai o planificare corectă și detaliată și fiecăruia din pașii săi poate duce la funcționarea sa maximă și reușită. Pașii principali ai procesului de monitorizare structurală sânt selecția strategiei de monitorizare, instalarea sistemului de monitorizare, întreținerea sistemului de monitorizare, administrarea datelor și terminarea activității în cazul întreruperii monitorizării. Fiecare dintre acești pași este complex, de exemplu strategia monitorizării constă în definirea scopului monitorizării, selectarea parametrilor reprezentativi care vor fi monitorizați, selectarea sistemului de monitorizare, definirea rețelei de senzori, schițarea și stabilirea programului de monitorizare.

4.8.3. Conceptul de monitorizare structurală al elementului finit(50)

Cea mai importantă activitate în monitorizarea structurală este selectarea strategiei de monitorizare care depinde de parametri ce trebuie urmăriți, cum ar fi forțele medii și curbura în grinzi, plăci și carcase, forța de frecare medie, aspect deformat și deplasare, apariția de crăpături și cuantificarea precum și detectarea indirectă a pagubei. Folosirea de sisteme diferite de monitorizare bazate pe tehnologii diferite pentru fiecare din parametrii menționați este scumpă și complexă din punctul de vedere al instalării și evaluării. Din acest motiv este indicată utilizarea unui număr limitat de sisteme de monitorizare și de tipuri de senzori.

Pentru a monitoriza la nivel structural este necesară umplerea structurii, sau a unei părți a acesteia cu senzori. Pentru a menține costurile monitorizării suficient de scăzute, și pentru a obține maximum de date din sistem, este necesară plasarea unui număr limitat de senzori în poziții reprezentative pe structura monitorizată respectând anumite reguli.

Conceptul de monitorizare structurală al elementului finit oferă de fapt această posibilitate. Structura este inițial împărțită în celule. Fiecare celulă conține combinația potrivită de senzori pentru monitorizarea parametrilor ce descriu comportamentul celulei. Combinația de senzori instalați într-o singură celulă se numește topologia senzorilor. Cele mai folosite sânt topologia simplă, topologia paralelă, topologia încrucișată și topologia triunghiulară.

De exemplu celulele supuse îndoirii într-un plan sânt echipate cu topologie paralelă, adică doi senzori paraleli cu linia elastică a celulei; celulele supuse unor forțe de forfecare mari sânt echipate cu topologie încrucișată, adică cu o pereche de senzori încrucișați; celulele expuse la forțe axiale sânt echipate cu topologia simplă. În final, celulele care prezintă puncte expuse la mișcări importante ale planurilor, (de exemplu dislocarea relativă excesivă, crăpături, îmbinări etc) sunt echipate cu topologie triunghiulară.

Cunoscând comportamentul fiecărei celule, este posibil utilizând algoritmi de integrare adecvați să se stabilească comportamentul întregii structuri. Practic rezultatele obținute de la fiecare celulă sânt „combinate” pentru a stabili comportamentul structurii globale. Acest concept este similar cu Metoda elementului finit folosit pentru a calcula structurile și din acest motiv este denumit în mod neconvențional Conceptul de monitorizare structurală al elementului finit (CMSEF) (figura 50).

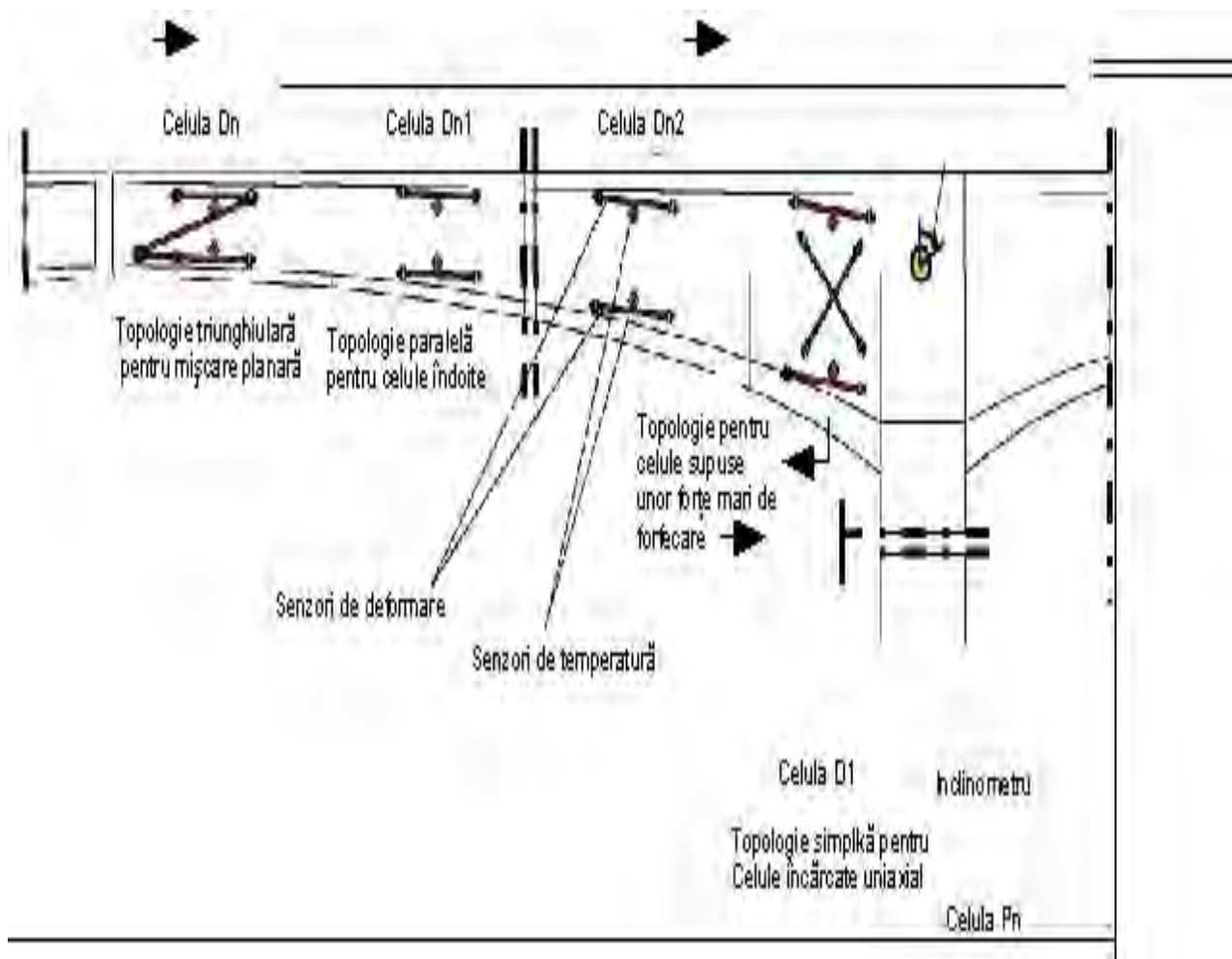


Figura 50. Reprezentare schematică a structurii monitorizate folosind CMSEF (50)

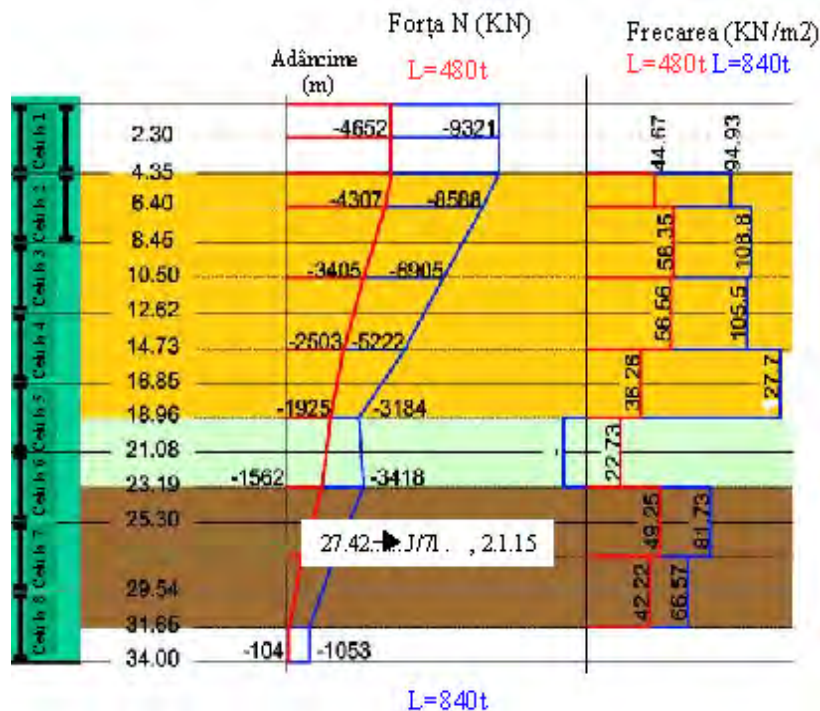


Figura 51. Exemplul unei celule cu topologie simplă și rezultatele principale obținute folosind topologia simplă înlănțuită pentru monitorizarea unui pilon (50)

4.8.4. Topologia simplă (50)

Topologia simplă constă dintr-un singur senzor instalat de preferință în direcția forței principale. Este folosită în principal pentru monitorizarea elementelor structurale lineare (bârne) supuse compresiunii axiale sau tracțiunii combinate cu tensiune longitudinală de forfecare și greutate proprie (vezi figura 51) de exemplu piloni și coloane.

În aceste cazuri nu are loc îndoirea, iar forța pe secțiunea bârnei este constantă. Prin urmare senzorul poate fi instalat în orice poziție în secțiune, și oferă informații care au legătură directă cu comportamentul structural al elementului monitorizat. De exemplu în figura 52, este prezentată o celulă echipată cu topologie simplă supusă unor tensiuni normale (σ), tensiuni de forfecare longitudinale (frecare τ) și greutate proprie (g).

Dacă mai multe celule ce conțin topologia simplă sânt înlănțuite și acoperă complet elementul monitorizat, atunci se poate obține distribuția sarcinii de-a lungul elementului și deplasarea relativă în direcția elementului. Deplasarea relativă se obține ca integrală a forței. În cazuri rare topologia simplă este folosită când câmpul de forță în elementul monitorizat este complex, și forța principală nu este în direcția senzorului. În acest caz senzorul va măsura forța medie în direcția lungimii sale sau deplasarea între două puncte, dar fără a putea trage concluzii directe în ceea ce privește comportamentul structural al elementului monitorizat.

4.8.5. Topologia paralelă (50)

Topologia paralelă constă din doi senzori paraleli cu distanță egală de sesizare instalați la nivele diferite ale secțiunii elementului structural. Direcția senzorilor de preferință corespunde direcției normale a liniilor câmpului de forță. Topologia paralelă este reprezentată schematic în figura 53. Topologia paralelă este utilizată pentru monitorizarea unor părți ale structurii supuse îndoirii: senzorii instalați la nivele diferite în secțiune vor măsura valori diferite ale forței medii permițând monitorizarea curburii medii din celulă. Curbura medie este calculată presupunând că ipoteza lui Bernoulli este satisfăcută (planul secțiunii pilonului rămâne planar după încărcare).

Dat fiind faptul că curbura este direct proporțională cu momentul îndoirii, distribuția curburii ajută la determinarea calitativă a momentului îndoirii. Dacă se cunosc modulul lui Young, momentul de inerție și coeficientul de expansiune termală și dacă pot fi estimate deformările dependente de timp, atunci poate fi cuantificată distribuția momentului îndoirii.

Dacă partea de structură monitorizată conține un număr reprezentativ de celule echipate cu topologie paralelă (de exemplu în cazul bănelor numărul minim este trei) atunci în fiecare celulă poate fi monitorizată curbura medie, și în consecință poate fi obținută distribuția curburii pe întreaga porțiune monitorizată. Forma modificată a părții de structură monitorizată este obținută prin integrarea dublă a curburii. Dacă, în plus, sânt monitorizate două caracteristici ce au legătură cu deplasarea absolută (de exemplu deplasarea în două puncte, sau o deplasare și o rotație) și aceste caracteristici sânt utilizate ca și condiții limită pentru integrarea dublă, atunci este posibilă determinarea deplasării absolute perpendiculare pe direcția senzorilor.

În figura 53, sunt arătate exemple de modificări ale formei podului și pilonului monitorizate în timpul testului de sarcină. Rețeaua de senzori a pilonului este similară cu rețeaua arătată în figura 52, cu excepția că fiecare celulă conține doi senzori paraleli. Poziția axei neutre față de senzorul de la bază poate fi determinată din măsurători utilizând termenii potriviți. Dacă este cunoscută deformarea extremă a betonului, atunci din proporțiile geometrice și din poziția axei neutre este posibilă determinarea adâncimii crăpăturilor precum și suma deschiderilor acestora în fiecare celulă. În figura 54, este prezentat un exemplu de determinare al deformării extreme a betonului și de analiză al adâncimii crăpăturii în cazul testării pilonului celulei 2 ce a fost arătat în figura 54 (adâncimea de 6 pînă la 12 mm).

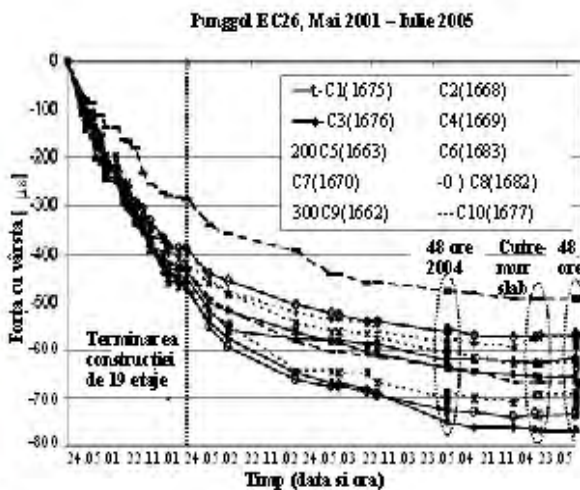


Figura 52. Exemplu de rețea cu topologie simplă dispersată și datele obținute timp de patru ani (50)

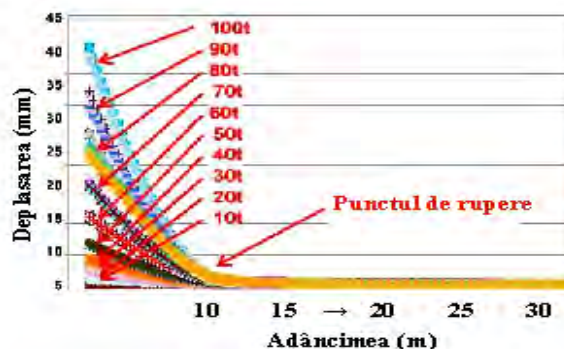
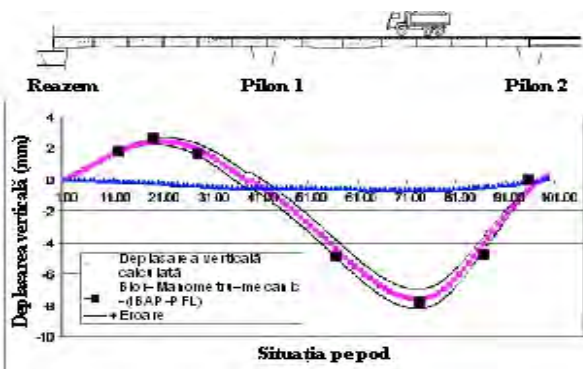


Figura 53. Formele modificate ale podului și pilonului supuse testului de sarcină (50)

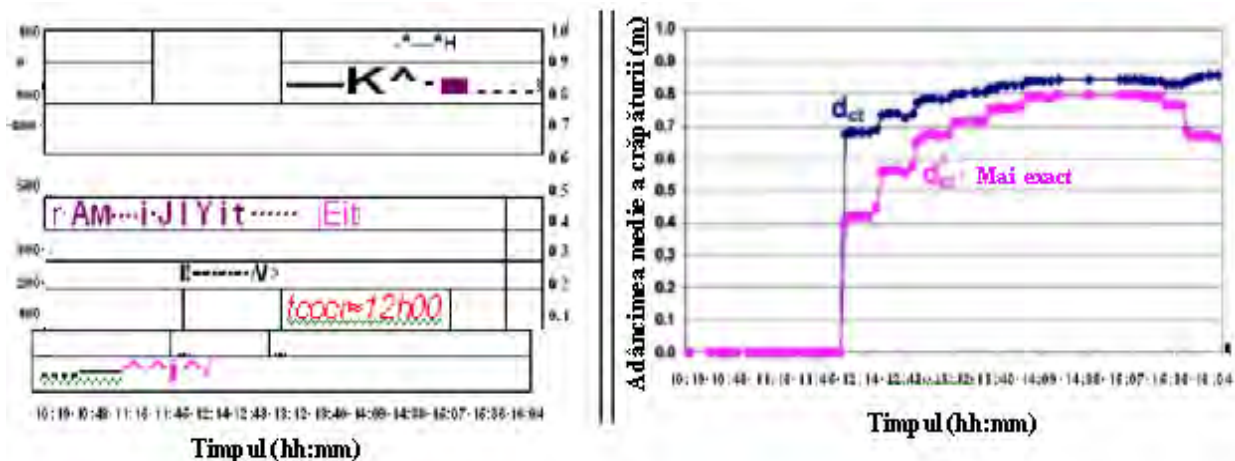


Figura 54. Determinarea deformării extreme, apariția crăpăturilor în beton și analiza adâncimii crăpăturilor (sursa 72)

4.8.6. Topologie încrucișată (50)

Topologia încrucișată constă din doi senzori încrucișați instalați într-un unghi predefinit față de direcția liniilor normale de forță. Scopul acestei topologii este detectarea și cuantificarea forței de forfecare. Unghiurile senzorilor au de preferință valori identice dar semne diferite. Totuși, este posibilă folosirea senzorilor la unghiuri diferite.

Algoritmul care permite obținerea forței de forfecare depinde de unghiurile ambilor senzori, distanța lor de sesizare și forța câmpului din celula echipată. Dat fiind că măsurătorile senzorilor sânt influențate și de forțele normale, este necesară stabilirea punctului de încrucișare pe linia neutră. În acest fel influențele forțelor normale vor fi anulate. În figura 55, sunt prezentate exemple de senzori cu topologie încrucișată pentru unghiurile $+a_{s,j}$ și $-A_{s,i}$ și o aplicație în situ.

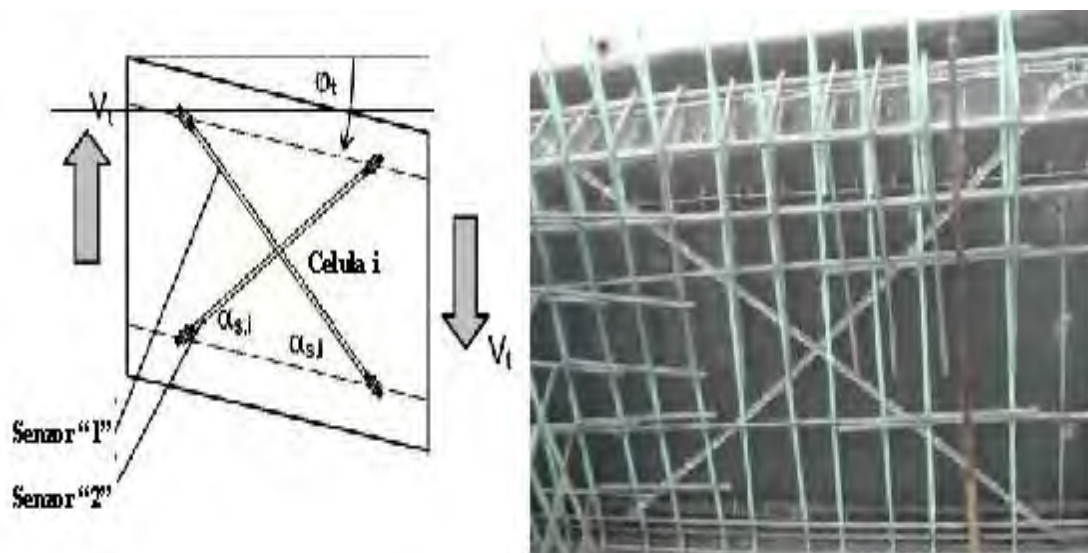


Figura 55. Un exemplu de topologie încrucișată, prezentat schematic și într-o aplicație reală de la fața locului (50)

Topologia încrucișată este utilizată în principal ca și completare la topologia paralelă, dar poate fi folosită și în mod independent pentru a monitoriza rigidizările, pereții etc. În figura 56, sunt prezentate pozițiile senzorilor și rezultatele obținute în timpul pretensionării unei bărne oblice vulcanizate cu aburi utilizând senzori cu distanță mare de sesizare.

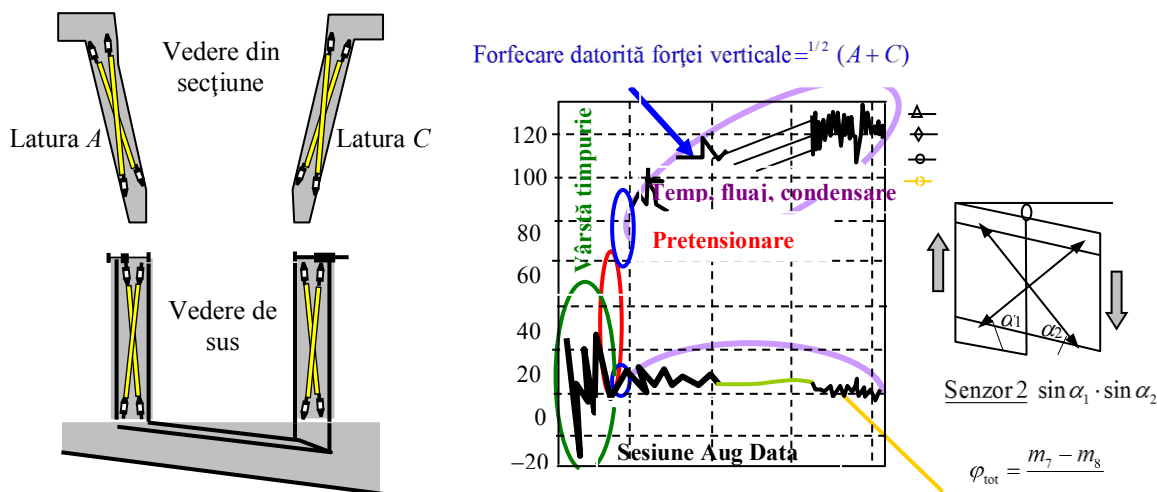


Figura 56. O rețea de topologii încrucișate înglobate în secțiunea unei bârne oblice și monitorizate în primele zile posttensionare. (50)

4.8.7. Topologia triunghiulară (50)

Topologia triunghiulară este utilizată atunci când ne interesează deplasarea relativă planară între puncte diferite ale structurii. Cea mai uzuală aplicație a topologiei triunghiulare este monitorizarea crăpăturilor și a spațiului dintre îmbinări.

Topologia triunghiulară completă este prezentată schematic în figura 57. Totuși, majoritatea aplicațiilor pentru crăpături și îmbinări sunt făcute utilizând topologia triunghiulară redusă după cum este arătat figura 57, unde senzorul ce conectează două puncte de aceeași parte a crăpăturii sau îmbinării nu este instalat. Această omisiune este posibilă deoarece ordinul de mărime al crăpăturii măsurate sau al distanței dintre îmbinări este de câteva ori mai mare decât ordinul de mărime al deplasării relative dintre două puncte de pe aceeași parte a crăpăturii sau îmbinării.



Figura 57. Topologie triunghiulară (50)

Pe lângă aplicațiile tradiționale ale topologiei triunghiulare în monitorizarea crăpăturilor și îmbinărilor este posibilă folosirea acestei topologii și pentru monitorizări la scară mai largă. În mod caracteristic poate fi utilizat pentru monitorizarea structurilor de zidărie după cum este arătat în figura 58.

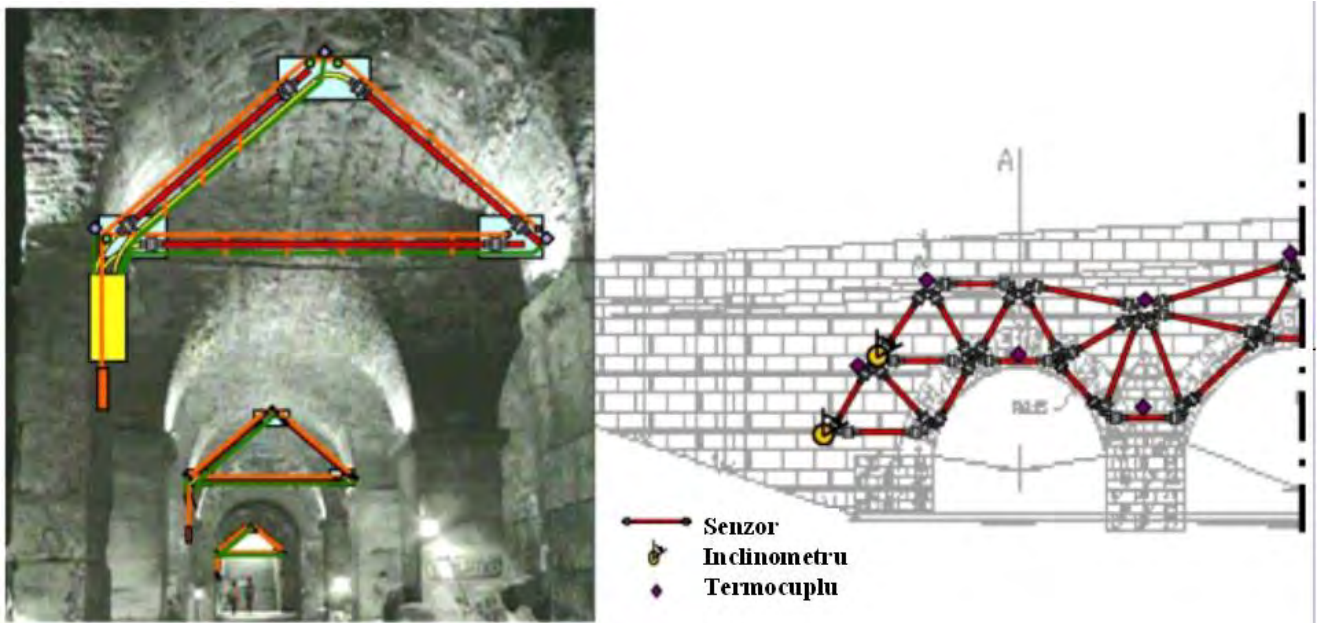


Figura 58. Aplicarea topologiei triunghiulare la clădiri istorice și poduri de zidărie (50)

4.8.8. Condiții limită

Senzorii de deformare oferă informații despre condiția internă a structurii, dar de multe ori este necesară cunoașterea condițiilor de interacțiune dintre structură și mediu, căci aceasta poate cauza funcționarea necorespunzătoare a structurii. Exemple tipice sunt sedimentările fundațiilor, rotațiile coloanelor etc.

Senzorii de deformare nu pot oferi astfel de informații și din acest motiv un alt tip de senzor trebuie să fie prezent pe structură. O soluție ar fi utilizarea de senzori verticali de deplasare, tradiționali, cum este LVDT sau extensometri sfredelitori, avansați, cum ar fi fibre optice sau bazate pe GPS sau inspecție utilizând teodoliți și laseri. Acești senzori de deplasare verticală pot fi combinați cu înclinometri (indicatori de pantă). De exemplu în cazul unui buiandrug putem utiliza ori doi senzori de deplasare ori un senzor vertical de deplasare și un înclinometru.

Totuși, utilizarea de senzori de deplasare verticali poate crește semnificativ costul monitorizării și face ca administrarea datelor să devină mai complexă. Abordări mai simple bazate pe utilizarea doar a înclinometrelor, de preferință compatibile cu tehnologia senzorilor de deformare, pot fi mai cost-eficiente cu limitarea că nu poate fi măsurată deplasarea verticală absolută a întregii structuri cercetate ca un corp rigid.

Sedimentarea întregii structuri ca un corp rigid nu periclitează funcționarea elementelor structurale, și din acest motiv, deși este recomandat, poate fi ignorat în timpul monitorizării.

4.8.9. Temperatură, fluj, contracție

Senzorii cu distanță mare de sesizare și aplicațiile lor au fost prezentate în paragrafele anterioare. Acești senzori măsoară forța medie totală, dar nu sunt capabili să separe automat componentele forței cum ar fi forța datorată încărcării, forța termică, fluajul și contracția. Pentru a interpreta corect rezultatele monitorizării este important să înțelegem toate componentele forței și eventual să determinăm sau să evaluăm rolul lor în forța medie totală monitorizată. Inginerii sunt în principal interesați de estimarea forței datorate încărcării.

Variațiile de temperatură pot genera schimbări importante de dimensiune în elementele de beton. Dacă variațiile de temperatură nu sunt monitorizate este imposibilă determinarea schimbărilor datorate forței termice și ca urmare se obțin erori importante în estimarea tensiunilor. De exemplu în

cazul betonului cu coeficientul termic de expansiune între 8 și 12 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ și cu modulul lui Young cu valori cuprinse între 25 și 50 GPa, variații de temperatură de 10 $^\circ\text{C}$ pot genera o forță echivalentă cu forța generată de o sarcină de 2 până la 6 MPa.

În timp ce forța termică poate fi estimată din monitorizarea temperaturii, deformarea și contractarea nu pot fi pur și simplu separate de forța totală. În general există două modalități de abordare: determinări de la specimene construite și monitorizare pentru acest scop și estimări pe baza modelelor numerice. Prima modalitate necesită monitorizarea pe termen lung a speciemenelor tratate și încărcate în mod special, dar duce la rezultate foarte precise. Această modalitate este justificată în cazul unor structuri foarte particulare. Cealaltă modalitate este mai puțin exactă, dar mai practică și mai ieftină, și oferă rezultate satisfăcătoare.

4.9. Concluzii și recomandări privind capitolul 4 (130, 131, 135)

În acest capitol sânt prezentate o serie de softuri ce pot constitui suportul analizei în monitorizarea structurală cât și relativ noul concept de monitorizare structurală cu ajutorul elementului finit.

În primul rând sânt prezentate cele mai noi softuri ce sânt utilizate la prelucrarea și interpretarea datelor provenite din monitorizarea structurală a terenurilor și construcțiilor utilizabile într-o gamă foarte largă de aplicații, de la structuri de beton, la alunecări de teren.

Se analizează apoi metoda de monitorizare structurală cu ajutorul elementului finit a cărei particularitate este utilizarea senzorilor cu distanță mare de sesizare combinați în topologii diferite. Ideea constă în împărțirea structurii în celule, în echiparea fiecărei celule cu topologie, care corespunde la câmpul de forțe preconizat și ulterior de a combina datele obținute de la fiecare celulă pentru a afla comportamentul structural global. În acest fel este realizat un fel de „monitorizare al elementului finit”. Sunt prezentate patru topologii diferite pentru senzori cu distanță mare de sesizare: simplă, paralelă, încrucișată și triunghiulară.

Aplicația reală, la fața locului, ilustrează puterea metodei. Sunt monitorizați, sau determinați prin monitorizare un număr de parametri ce au legătură cu comportamentul structural.

Pentru a demonstra unele posibilități în acest articol sânt prezentate studii de caz simplificate ale structurilor cele mai frecvente. În general, pe baza experienței și ale considerațiilor teoretice, autorul recomandă pentru monitorizarea structurilor de beton să se țină cont de următoarele idei de bază:

- Nu sunt monitorizate doar structurile cu deficiențe recunoscute; se recomandă începere monitorizării odată cu nașterea (turnarea) structurii și continuarea acesteia pe durata întregii vieți;
- Este importantă monitorizarea atât a deformării cât și a sarcinilor care au produs-o;
- Senzorii (atât de deformare cât și de temperatură) ar trebui să fie înglobați în beton; în cazul structurilor existente senzorii sânt montați pe suprafață fără a scădea performanța;
- Senzorii utilizați pentru monitorizarea timpurie și foarte timpurie nu trebuie să distorbe câmpul de forțe al betonului neântărit (aceștia trebuie să aibă o rigiditate foarte scăzută);
- Se recomandă utilizarea senzorilor cu distanță mare de sesizare pentru a minimaliza influența diferitelor tipuri de discontinuități din material (bule de aer, incluzii, crăpături) asupra măsurătorilor;
- Poziția senzorilor în cadrul structurii trebuie să fie bine planificată și selectată astfel încât să se obțină date relevante despre comportamentul structural;
- În timpul analizării datelor trebuie luate în considerare componentele forței cum ar fi deformarea și condensarea.

5. Monitorizarea deformărilor structurale utilizând sisteme de poziționare globală

5.1. Utilizarea tehnologiei G.N.S.S. la urmărirea comportării în timp a construcțiilor în regim static și cinematic (37, 53, 106, 117, 130, 131, 135)

5.1.1. Tehnologia G.N.S.S.-prezentare sintetică

Revoluționând tehnica măsurătorilor terestre **Sistemul Global de Navigare Satelitară** (G.N.S.S.), prin avantajele oferite (precizie, randament, viteză, simplitate) își găsește tot mai multe aplicații atât în realizarea rețelelor de sprijin cât și în aplicațiile inginerești.

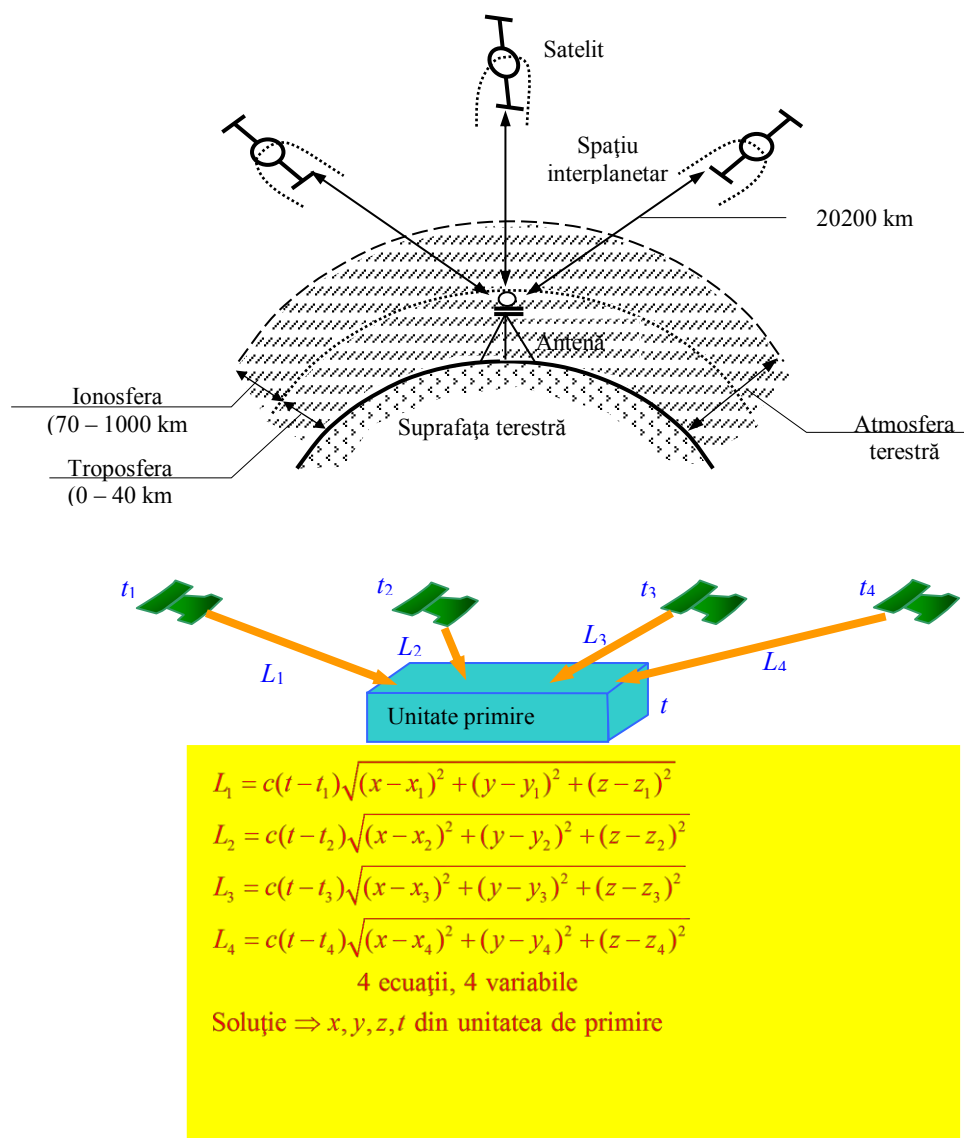


Figura 59. Principiul de funcționare G.N.S.S. (37, 53, 106, 117, 130, 131, 135)

Această tehnologie s-a aplicat la urmărirea comportării în timp a unor structuri recent realizate studiind raportul dintre mișcarea reală dar și prin simulare a antenei aparatului și rezultatul determinat din măsurători G.N.S.S. Se pun astfel bazele utilizării pe scară largă a tehnologiei la urmărirea comportării în timp a unor construcții, suprafețe, volume. Subsidența terenurilor miniere a fost primul fenomen monitorizat G.N.S.S. printr-un proiect distinct.

Măsurătorile simulate au drept scop stabilirea limitelor de aplicare a tehnologiei G.N.S.S. în acest domeniu. Argumentele care stau la baza alegerii tehnicii G.N.S.S. sunt:

- nu trebuie să existe vizibilitate a punctului urmărit,
- precizia instrumentală submilimetrică ($\pm 0,1$ mm pe coordonate plane, ± 1 mm pe cote, în continuă ameliorare) satisface nevoile de precizie atât la execuția structurilor cât și la urmărirea comportării în timp a acestora,
- productivitatea mare a măsurătorilor scurtează durata acestora, le simplifică, rezultând costuri scăzute,
- măsurătorile nu sunt restricționate de condițiile atmosferice sau de ora la care se fac (zi / noapte), metoda înscriindu-se în gama acelor care îndeplinesc un deziderat mai vechi privind continuitatea înregistrărilor,
- obținerea de măsurători în timp real și de rezultate aproape simultane cu măsurătorile.

Utilizarea tehnicii GPS în domeniul geodeziei aplicate, astfel încât să se atingă o precizie compatibilă cu cea a observațiilor geodezice tradiționale, poate fi asigurată numai prin utilizarea simultană a cel puțin două receptoare GPS. Această tehnică permite determinarea exactă a distanței între cele două receptoare GPS, eliminând practic principalele surse de erori sistematice, care afectează poziția unui receptor unic.

Aplicând metoda cinematică, unul sau două receptoare numite REFERINȚĂ, acestea rămân fixe pe toată perioada observațiilor, de regulă într-un punct de coordonate cunoscute. Celelalte receptoare numite MOBILE, se deplasează odată cu structura :

- pe parcursul execuției construcției, înregistrând poziția exactă a centrului cofrajului în raport cu axele ce trebuiesc respectate;
- sub efectul unor factori de influență datorăți exploatării directe sau a celei subterane , sau a unor factori perturbatori datorăți condițiilor climatice: vânt sau însorire neuniformă pentru structurile înalte sau/și condiții de trafic pentru poduri.

5.1.2. Sistemul de poziționare global (GPS). Referință EM 1110-1-1005, NAVSTAR Global Positioning System Surveying

a. Generalități. Sistemul de poziționare global cu satelit oferă avantajele unor metode terestre convenționale. Intervizibilitatea dintre stații nu este necesară, permițând o flexibilitate în selecția locației stațiilor mai mare decât cea pentru măsurătorile topo-geodezice clasice.

Măsurătorile pot fi realizate în timpul zilei sau nopții, sub condiții de vreme variată, ceea ce fac din măsurătorile GPS un instrument economic, mai ales când receptorii multipli pot fi desfășurați pe structură în timpul măsurătorilor. Cu recente tehnici de poziționare statică rapidă, durata acestor măsurători este redusă la câteva minute pentru fiecare stație în parte.

b. Precizia măsurătorilor. GPS este încă un sistem nou și nu este perfect din punctul de vedere al utilizării optime pentru măsurătorile topografice de deformare și pentru înțelegerea surselor de erori. Precizia poziționării relative a GPS depinde de distribuția sateliților observatori (geometrie pozițională) și de calitatea observatorilor. Sursele de erori sunt:

- erori de propagare de semnal- refracție și transmisie de semnal pe mai multe căi,
- erori legate de receptor- variația centrului de fază al antenei, zgomotul sistemului receptor,
- erori legate de satelit- precum erori de orbite și interferențe în coordonatele stației fixate.

c. Precizia poziționării GPS. Experiența utilizării GPS în studiile deformării variate indică faptul că datorită tehnologiei actuale, precizia poziționării relative a GPS în zone de până la 50 km în diametru poate fi exprimată în termeni de variație la componentele orizontale ale liniilor de bază GPS la o anumită distanță (S): $\sigma^2 = (5\text{mm})^2 + (10^{-6} \cdot S)^2$.

Erorile sistematice (rotații și schimbări la scara rețelei) sunt identificate și eliminate prin modelare potrivită la stadiul de interpretare a deformării. Erorile sistematice în măsurarea pe distanțe scurte (de până la câteva sute de metri) sunt de obicei neglijabile și componentele orizontale ale liniilor de bază GPS pot fi determinate cu o deviere standard corespunzătoare solicitărilor. Astfel, îmbunătățiri

recente ale softului pentru procesarea datelor GPS permit în timp real determinarea schimbărilor în pozițiile stațiilor GPS, chiar la nivel submilimetric.

d. Erori sistematice GPS. Diferite tipuri de erori afectează poziționarea relativă GPS în mai multe feluri. Unele erori pot avea un efect sistematic în liniile de bază măsurate, producând erori de măsurare. Datorită distribuției geometrice schimbătoare a sateliților și rezultatul efectelor sistematice schimbătoare ale erorilor de observație, măsurătorile topografice GPS repetate cu scopul monitorizării deformărilor pot afecta parametri deformării (până la câțiva ppm). Trebuie avută atenție la influențele sistematice, când rețeaua GPS este stabilită de-a lungul malului unei ape și măsurătorile sunt efectuate într-un climat umed și cald. Parametrii sistematici într-o rețea GPS pot fi obținuți astfel:

- prin combinarea măsurătorilor topografice GPS cu liniile de bază (cu orientări diferite) cu măsurători topografice terestre de o precizie compatibilă sau mai bună,
- stabilirea de puncte în afara zonei de deformare care ar servi drept puncte de referință.

Aceste aspecte trebuie considerate atunci când se proiectează rețelele GPS pentru oricare proiect ingineresc.

e. Măsurători topografice de deformare automatizată. USACE (U.S. Army Corps of Engineers') (204-208) a dezvoltat un sistem automat pentru măsurătorile topografice de deformare pentru precizie înaltă cu GPS. Cu Sistemul de Monitorizare a Deformării Continue (CDMS), antenele GPS sunt localizate pe punctele multiple de pe structură. Cel puțin două alte antene GPS trebuie localizate la punctele de referință care sunt considerate stabile. Antenele GPS sunt conectate la computerele care utilizează link-ul telemetru de date. Un sistem prototip CDMS a utilizat un software de postprocesare de 10 canale Trimble 5000SL și Trimvec. Un operator poate accesa rețeaua calculatorului on site printr-o telecomandă, din birou. În 1989 sistemul a fost instalat la Barajul Dworshak de pe râul Clearwater de lângă Orofino, Idaho. Rezultatele demonstrației arată faptul că CDMS poate da precizii de 5 mm pe orizontală și pe verticală pe o linie de bază de 500 de metri, încă insuficient pentru studiile de tasare, dar corespunzător pentru oricare alte studii privind comportarea în timp. Deși GPS nu necesită intervizibilitate între stațiile de observare, cere o vedere neobstrucționată spre sateliții care limitează utilizarea GPS la numai zone deschise. Să se rețină faptul că pot exista surse de erori (ex. cabluri electrice din zonă) în măsurătorile GPS.

f. Specificații pentru receptorul GPS. Când se realizează măsurători topografice bazate pe GPS, receptorul utilizat trebuie să fie de calitate geodezică, cu canale multiple. Un receptor GPS este necesar pentru fiecare stație de referință din rețea. Aceeași combinație de receptor - antenă ar trebui utilizat pentru fiecare setare. Preprocesarea datelor topografice GPS trebuie să includă determinarea diferențelor de coordonate 5D și a matricei variate și covariate la un sistem de coordonate pentru toate observațiile liniilor de bază și afișarea datelor pentru a elimina cât mai multe erori.

5.2. Structura sistemului G.N.S.S. (37, 53, 106, 117, 130, 131, 135)

5.2.1. Componentele de bază ale sistemului se grupează în trei segmente:

1. Segmentul spațial al sistemului G.N.S.S.,

2. Segmentul de control,

5. Segmentul utilizator

Fiecare cu mai multe elemente electronice reunite în cadrul unor instalații complexe, funcționând complet automat, inclusiv cu autocorectarea unor date de control. Se au în vedere și unele erori ce apar din cauza unor factori externi sau interni.

1. Segmentul spațial al sistemului G.N.S.S. cuprinde o constelație de 25 de sateliți care au rolul de a emite semnale ce urmează a fi recepționate la sol. Principalele caracteristici ale sateliților actuali sunt:

- cei lansați începând cu 1995 fac parte din generația „Block II R” iar cei din perioada 2001 -2010 „Block II F”;
- masa orbitală este de 2.000 kg;
- dimensiunea acestora este de aproximativ 5 m;
- sunt dotati cu panouri solare desfășurate;

- durata de funcționare a lor este de 10 ani;
- altitudinea de plasament - 20.200 km deasupra Pământului, dispuși în 6 plane orbitale de câte 5 sateliți fiecare;
- perioada de revoluție de 12 ore, fiecare satelit trecând de 2 ori pe zi deasupra unei stații de control, orbitele fiind aproape circulare și înclinate la 55° față de planul Ecuatorului;
- în fiecare punct de pe glob apar și pot fi utilizați la orice oră din zi între 5 și 8 sateliți, fără restricții meteo și la o elevație de 15° ;
- emisia semnalelor are drept sursă de energie bateriile solare și este asigurată de un emițător, un microprocesor, o antenă, ceasuri de înaltă precizie cu o eroare de o secundă la câțiva ani.

2. Segmentul de control are drept misiune calcularea efemeridelor sateliților, a corecțiilor acestora, urmărirea ceasurilor satelitare, transferul mesajelor spre satelit și în general, supravegherea întregului sistem. Efectiv acest segment cuprinde cinci stații care se clasifică astfel:

- *stația de control principală* (Colorado Springs – SUA), ce asigură datele de la stațiile monitorare și calculează predicțiile pentru orbitele sateliților și corecțiile efemeridelor acestora;
- *stații monitorare*, care înregistrează date de la toți sateliții vizibili, transmițându-le apoi stației de control principală;
- *stații de control la sol* de la care se transmit mesaje spre sateliți.

3. Segmentul utilizator este constituit din receptoare la sol care, captează semnalele emise de sateliți, le prelucrează și stochează datele. În componența lor receptoarele au o antenă cu amplificator, oscilatorul de înaltă frecvență care asigură recepția, un microprocesor care coordonează întreaga activitate, unitatea de control prin care se comunică cu receptorul, memoria pentru stocarea datelor, sursa de alimentare cu energia etc.

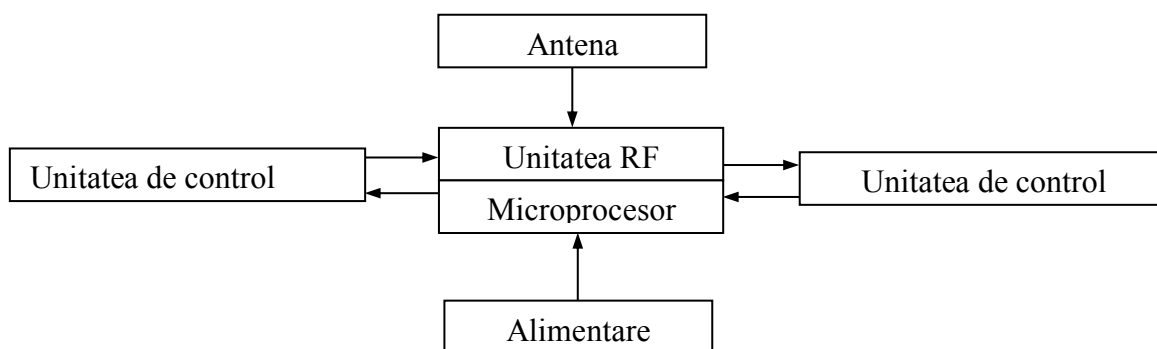


Figura 60. Schema de principiu a unui receptor G.N.S.S.

5.2.2. Exploatarea eficientă a tehnologiilor G.N.S.S.

Pentru aceste situații menționate exploatarea eficientă a tehnologiilor G.N.S.S. trebuie să fie realizată cu respectarea următoarelor condiții:

- **GEOMETRIA SATELIȚILOR.** Pentru a îndeplini condiția de precizie necesară este nevoie ca în momentul observației sateliții să fie dispuși optim din punct de vedere geometric.
- **VIZIBILITATE.** Semnalul emis de satelit poate fi deformat sau obturat de diferite obstacole sau, poate fi recepționat după ce a fost reflectat de diferite suprafețe.
- **PRELUCRAREA ȘI TRANSCALCULUL.** Deoarece ne interesează o poziție reciprocă a punctelor monitorizate în timp, datele furnizate pot fi utilizate direct în sistemul mondial WGS 84 nemaifiind necesară transcalcularea acestora în sistemul național.
- **DISPONIBILITATEA SISTEMULUI.** Sateliții G.N.S.S. fiind proprietatea NASA, semnalul este codificat, fiind necesară determinarea perioadei optime pentru care observațiile dau rezultatele dorite. S-a avut în vedere ca pe perioada determinărilor să poată fi observați simultan cel puțin 5 sateliți, cu o elevație de cel puțin 15° , iar diluția geometrică a preciziei să fie mai mică decât 5.

- CERINȚA DE PRECIZIE. S-a dorit a fi de $\pm 1-5$ mm suficientă scopului propus; de altfel s-a constatat că precizia de determinare a poziției relative dintre puncte se încadrează în valori de ordinul $1 \pm 3 \times 10^{-6} D$ (km), încă din anul 1990 vorbindu-se de posibilitatea obținerii unei precizii de ± 2 mm pentru distanțe mai mici de 1 km.

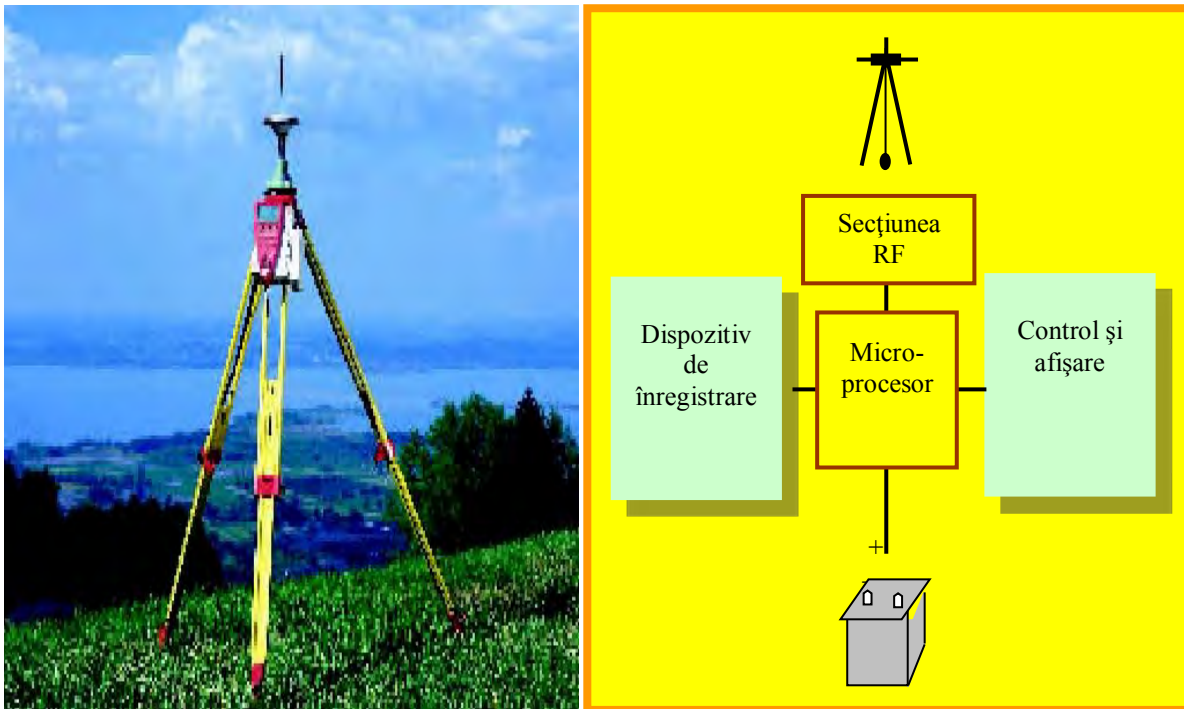


Figura 61. Echipament complet G.N.S.S.

5.3. Receptorii G.N.S.S. privind măsurătorile în timp real (130, 131, 135, 197)

5.3.1. Documentația LEICA privind măsurătorile G.N.S.S. în timp real

Documentația LEICA privind măsurătorile G.N.S.S. în timp real, precizează că senzorii G.N.S.S. de tip SR 599 și SR 9500 cu frecvență dublă cuplați la un palmtop de tip CR 555, dotat cu un software RT - SKI de prelucrare a datelor cinematice în timp real, au posibilitatea:

- să stabilească în câteva minute poziția statică a unui punct prin programul RAPID STATIC;
- prin programul STOP & GO să precizeze evoluția poziției într-un plan a unui punct în funcție de variația în timp;
- prin programul MOVING (KINEMATIC) să determine poziția și traiectoria vârfului structurii sub efectul vântului ;
- prin același program stabilindu-se cu precizie de secundă poziția antenei și evoluția acesteia în timp.

5.3.2. Documentația TRIMBLE privind măsurătorile G.N.S.S. în timp real

Firma Trimble a dezvoltat de asemenea sisteme G.N.S.S. create special pentru structuri și construcții, printre problemele soluționate fiind și urmărirea comportării în timp a construcțiilor. Instrumentul G.N.S.S. Trimble 5800 precizează la capitolul performanțe, în plan orizontal, o precizie de ± 5 mm pentru programul static și de ± 1 cm pentru programul cinematic cu o înregistrare la fiecare 2 secunde pentru cinci sateliți.

5.3.3. Documentații privind măsurătorile G.N.S.S. în timp real, alți furnizori

Instrumentele Ashtech de tip Step 1 au de asemenea performanțe remarcabile pentru sistemul static ± 1 cm iar pentru cel cinematic $\pm 1,5$ cm.

În același interval de precizie se înscriu și instrumentele G.N.S.S. ale firmei SOKIA de tipul GSR 1000, GSR 1200, GSR 2100 cu o rezoluție pentru sistemul static de la 5 la 10 mm și pentru sistemul cinematic de la 15 la 20 mm.

5.4. Proiectarea sistemelor de monitorizare a structurilor prin tehnologie G.N.S.S. (130, 131, 135)

Proiectarea sistemelor de monitorizare a structurilor, pornește de la considerațiile menționate anterior, senzori G.N.S.S. de mare precizie montați pe structuri ingineresti mari (baraje, poduri, turnuri și construcții înalte, terenuri și construcții aflate în zone miniere) furnizând măsurători continue, în timp real, care pot fi utilizate, în procesul de execuție sau de urmărire în timp, pentru a indica deplasări și vibrații cauzate de:

- Schimbări de temperatură,
- Încărcări provenite din vânt,
- Cutremure de mare amplitudine,
- Fenomene de subsidență,
- Alunecări de teren etc.

Aceste informații pot fi folosite atât de sistemele manageriale de monitorizare a deformațiilor structurilor, atunci când apar unele amenințări asupra structurilor prin depășirea valorilor de proiectare, răspunsul structurii putând fi analizat în funcție de pragul de apariție sau de schimbarea caracteristicilor dinamice. În cazul unei alarme sistemul manager poate să ia o decizie, ca de exemplu închiderea structurii pentru o verificare ulterioară sau evacuarea utilizatorilor. Acest fapt creează o oportunitate pentru urmărirea stării în timp real a structurii și astfel asigură siguranța publică. Pentru proiectarea unei scheme de urmărire bazată pe deplasarea antenei G.N.S.S. este necesar să se facă diferențierea a 2 tipuri de elemente:

- analiza comportării randamentului senzorilor G.N.S.S. nestaționari sau a deformării semnalelor,
- investigarea oricăror fenomene excepționale și urmărirea sistemului.

Această problemă poate fi adresată utilizând instrumente statistice, în care unul sau mai mulți parametri pot să se schimbe brusc datorită deformărilor naturale, a erorilor cumulative ale senzorului sau ale schimbărilor condițiilor de operare ale sistemului.

În primul rând înclinările datorate nefuncționării corecte a senzorilor G.N.S.S. pot fi detectate cât de repede posibil, apoi senzorul să fie izolat sau reparat pentru a preveni eventualele înclinări ulterioare ale deformării semnalelor.

Două metode de detectare a schimbărilor ON-LINE utilizând rezultatele coordonatelor de precizie RTK au fost dezvoltate.

Prima metodă utilizează diferențele între receptor ale numărărilor reziduale dintre etape consecutive (sesiuni). În cazul unei singure stații de referință G.N.S.S. o ordine a cel puțin 5 stații mobile sunt necesare a se monta pe structură cu scopul de a detecta greșelile și de a corecta răspunsul receptorului.

Cea de-a doua metodă consideră detectarea schimbărilor dinamice mici în rezultatele RTK bazate pe schimbările tranzitive ale frecvențelor armonice. Scopul acestora este de a recepționa/detecta greșelile autonome ale receptorului și micile schimbări dinamice ale rezultatelor RTK și aplicațiile acestora pentru aplicația urmăririi structurale G.N.S.S.

O schemă de monitorizare bazată pe G.N.S.S. trebuie să cuprindă atât un subsistem de monitorizare G.N.S.S. autonom cât și un subsistem pentru analizarea semnalelor de deformație

înregistrate. Pentru fazele următoare este cerută o precizie înaltă pentru urmărirea on-line a micilor modificări ale coordonatelor antenei G.N.S.S. și a frecvențelor armonice ale acestora.

5.4.1. Obținerea preciziei necesare prin tehnologia G.N.S.S.

Aceasta se poate realiza utilizând tehnici de poziționare diferențială. Integritatea soluțiilor de poziționare a antenei G.N.S.S. este necesară pentru protecția împotriva alarmelor false. Testele de integritate se pot folosi pentru cercetarea comportamentelor anormale în funcționarea sistemului (de exemplu o înclinare datorată deteriorării senzorului G.N.S.S. sau a erorilor la ieșire). Acestea sunt câteva tehnici care pot fi aplicate pentru a rula un test de integritate G.N.S.S, cele mai multe metode de detectare a erorilor G.N.S.S. se bazează pe detectarea erorilor de detecție ale satelitelui. În esența testul de integritate se bazează pe ecuațiile de aproximare a deplasărilor și/sau pe aproximările deplasărilor date de satelit. Aceste aproximări au la bază un set de ecuații liniare. Prima elimină o măsurătoare, cealaltă elimină toate măsurătorile corespunzătoare unui satelit dat, cum pentru fiecare satelit este o singură ecuație, eliminarea unei ecuații înseamnă eliminarea unui satelit.

Această clasă de teste de integritate este foarte importantă pentru asigurarea unor rezultate corespunzătoare ale procesării datelor G.N.S.S. Pentru monitorizarea deformațiilor, acolo unde sunt instalate mai multe receptoare G.N.S.S. pe o structură, un alt test de integritate poate fi folosit pentru urmărirea performanței receptorului. Scopul este de a se asigura că niciuna din măsurătorile furnizate de receptoare nu sunt influențate de înclinări. Orice astfel de înclinare trebuie detectată cât mai repede posibil și receptorul defect izolat, pentru protecția împotriva semnalelor de deformație eronate.

A doua sarcină este analiza poziției corecte a antenei. O schimbare semnificativă a liniei de referință, sau a componentelor coordonatelor poate fi cauzată de încărcări datorate vântului etc. Graficele de control sunt printre cele mai potrivite unelte pentru monitorizarea deformațiilor sau a mișcărilor. Pentru urmărirea vibrațiilor, provocarea este de a detecta schimbările spectrale sau comportările non-staționare ale încărcărilor necunoscute. Modelul de element finit este impracticabil când există numai câteva măsurători.

O soluție a fost propusă de Baseville (1987) și implică două etape :

- identificarea la fața locului a amprente modale, adică a frecvenței vibrațiilor structurii
- validarea acestei amprente la înregistrările ulterioare ale semnalelor.

Acest test poate urmări structura în ansamblu sau se poate concentra pe monitorizarea unui spațiu anume, generând astfel informații pentru analiză. Punctul principal îl reprezintă simplificarea problemei prin detectarea schimbării valorii principale într-o variabilă aleasă convenabil. Senzorii G.N.S.S. de mare precizie pot măsura deplasări rapide ale căror densități spectrale pot fi analizate și folosite ca variabile aleatoare pentru detectarea schimbării.

5.5. Monitorizarea instantanee cu ajutorul G.N.S.S. și analiza deformațiilor pentru înregistrarea comportării structurilor. Modele de măsurare G.N.S.S. (1, 2, 8, 22, 33, 39, 42, 89, 103, 111, 112, 113, 130, 131, 135, 142, 143, 167, 170, 182, 183, 184, 189)

Detectarea erorilor senzorilor G.N.S.S. este importantă pentru controlul calitativ al măsurătorilor G.N.S.S. Trebuie îndeplinită următoarea condiție:

$$\Delta X_i = \mu_i + \varepsilon_i \quad (23)$$

unde ΔX_i sunt datele în ordinea în care au fost prelevate, μ_i este media la momentul i și ε_i este eroarea aleatorie asociată cu o valoare. Pentru aplicațiile de monitorizare structurală este necesară o precizie ridicată a măsurătorilor. Rezultatul procesării acestor măsurători este vectorul tridimensional V măsurat între două stații o singură dată, unde:

$$V_i = [\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i]^T \quad (24)$$

Vectorul de deformație D poate fi atunci calculat folosind următoarele modele:

- 1) Diferența dintre două date V_0 și V , la o singură stație:

$$D_i = [\Delta X_i - \Delta X_0, \Delta Y_i - \Delta Y_0, \Delta Z_i - \Delta Z_0]^T = [\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i] \quad (25.1.)$$

unde σ_v este eroarea standard a fiecărei componente a vectorului de referință, poate fi aproximată pe baza rezultatelor anterioare ale testelor sau poate fi calculată. În cazul unor calculări rezultate dintr-o experiență, algoritmul de reglare de pătrat minimum generează matricea corespunzătoare de la care sunt obținute erori standard. Eroarea standard a unei singure componente a vectorului de deformație este după aceea aproximată de relația:

$$\sigma_D = \sqrt{2} \cdot \sigma_V \quad (25.2.)$$

2.) Exprimând deformația în termenii celei mai simple mișcări care ar putea să o producă. În general noul vector de bază V_i la momentul i este reprezentat de:

$$V_i = T \cdot V_0 + h \quad (25.3.)$$

unde T este matricea transformării deformației, V_0 este vectorul de bază inițial iar h este vectorul de translație. Dacă axa de rotație trece prin originea situată la baza stației G.N.S.S. atunci $h=0$:

$$V_i = T \cdot V_0 \quad (26)$$

Ecuția (26) va fi adevărată dacă: fie toată structura este deformabilă, fie numai o parte a acesteia. Poate fi considerată a avea aceeași amprentă a deformației și matricea T care furnizează informații directe despre deformație. Deplasarea unui punct folosind cea mai simplă cale de mișcare dată de această ecuație poate fi produsă de o grupă specială de transformări liniare. Aceste transformări exprimă din punct de vedere geometric mișcarea unui punct într-o nouă poziție datorită rotațiilor ortogonale, transformărilor scalare, întinderii sau compresiunii. Presupunând că modificările liniare au loc conform ecuației (25), ecuația (26) se reduce la:

$$V_i = T \cdot V_0 = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

unde $T = T_x \cdot T_y \cdot T_z$ și T_x , T_y și T_z sunt matricile ortogonale reprezentând rotațiile V_0 în jurul axelor X , Y respectiv Z și:

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos\delta\varphi \cdot \cos\delta\beta \\ m_{12} &= \cos\delta\varphi \cdot \sin\delta\beta \cdot \sin\delta\alpha - \sin\delta\varphi \cdot \cos\delta\alpha \\ m_{13} &= \cos\delta\varphi \cdot \sin\delta\beta \cdot \cos\delta\alpha + \sin\delta\varphi \cdot \sin\delta\alpha \\ m_{21} &= \sin\delta\varphi \cdot \cos\delta\beta \\ m_{22} &= \sin\delta\varphi \cdot \sin\delta\beta \cdot \sin\delta\alpha + \cos\delta\varphi \cdot \cos\delta\alpha \\ m_{23} &= \sin\delta\varphi \cdot \sin\delta\beta \cdot \cos\delta\alpha - \cos\delta\varphi \cdot \sin\delta\alpha \\ m_{31} &= -\sin\delta\beta \\ m_{32} &= \cos\delta\beta \cdot \sin\delta\alpha \\ m_{33} &= \cos\delta\beta \cdot \cos\delta\alpha \end{aligned} \quad (28)$$

Pentru rezolvarea în cazul elementelor rotaționale necunoscute $\delta\alpha$, $\delta\beta$ și $\delta\varphi$ matricea T poate fi aproximată cu ajutorul seriei Taylor:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & -\delta\varphi & \delta\beta \\ \delta\varphi & 1 & -\delta\alpha \\ -\delta\beta & \delta\alpha & 1 \end{bmatrix}$$

astfel încât la un moment i vectorul de deformație D_i devine:

$$D_i = [\delta\alpha_i, \delta\beta_i, \delta\varphi_i]^T \quad (29)$$

Relațiile (5.8) și (5.9) sunt folosite pentru schimbarea semnalelor indicatoare care ar putea semnala posibile modificări în sistemul monitorizat.

5.6. Utilizarea G.N.S.S. pentru monitorizarea și măsurarea deplasărilor tridimensionale pe structuri mari (1, 2, 8, 22, 33, 39, 42, 89, 103, 11, 112, 113, 130, 131, 135, 142, 143, 167, 170, 182, 183, 184, 189)

5.6.1. Informații de bază

Tehnicile G.N.S.S. pentru monitorizare structurală au un potențial mare pentru reducerea raportului timp/muncă necesar pentru realizarea măsurătorilor de deformare. Deși G.N.S.S. poate extrage poziții care sunt comparabile cu nivelurile de precizie necesare măsurătorilor convenționale, utilizarea lui în trecut a fost limitată din cauza necesității unei durate mari de staționare. Durata redusă a fost realizată acum prin utilizarea de instrumentație specializată și o analiză de soft, rezultând o precizie subcentimetrică pentru sesiuni de observare mult mai scurte. Ghidarea tehnică prezentată în acest capitol conține procedurile și standardele pentru utilizarea măsurătorilor G.N.S.S. pentru proiectele de monitorizare a deformărilor.

a. G.N.S.S. Precizia pozițională necesară pentru un grad de încredere la 95%, de 5 mm (orizontal și vertical) poate fi întrunită utilizând tehnologia G.N.S.S. cu anumite limitări. Durata ocupării stațiilor poate fi redusă cu aproximativ 15-50 minute pe stație. Echipamentul cu antenă- receptor specializat adecvat pentru utilizarea la măsurătorile topografice este valabil ca produs comercial. Datele de observare a G.N.S.S. pot fi convertite în format Receiver Independent Exchange (RINEX). Rinex este utilizat universal pentru depozitarea datelor neprelucrate G.N.S.S. și a fișierelor efemere. Mai multe unități receptoare pot fi prelucrate mai multe ore pentru a realiza măsurători topografice. Procesarea randamentului și datelor colectate furnizează fiabilitate mare aplicabilă determinării poziției ajustării rețelei. Poziționarea simultană poate fi obținută din stații configurate pentru operațiile convenționale de măsurare. Nu sunt necesare colectări de date specializate, cu toate acestea, procesarea datelor poate deveni complexă tehnic în aplicații mai avansate pentru filtrarea datelor, detalii în studiul de caz.

b. Aplicații G.N.S.S. și precauții. Cu rafinamentul strategiilor de procesare a datelor prezentate în acest capitol, se preconizează un cost mai scăzut și o performanță mai bună pentru monitorizarea măsurătorilor din partea tehnologiei G.N.S.S. Disturbările de semnal G.N.S.S. pot fi de neevitat în anumite condiții de teren. Trebuie realizate măsurători potrivite pentru a obține date curate (neinfluențate) G.N.S.S. prin planificare misiunii, recunoaștere, postprocesare de date și evaluare de rezultate. G.N.S.S. este recomandat pentru realizarea măsurătorilor rețelei de referință a punctelor stabile care înconjoară structura proiectului. Cu coordonate de precizie mare pe cel puțin două stații de referință, și date G.N.S.S. curate colectate la punctele de monitorizare, se poate obține poziționarea relativă precisă. Utilizatorii G.N.S.S. trebuie să aibă grijă pentru a minimaliza obstrucțiile de semnal la locurile care pot genera reflecții de semnal cu multi căi. Metode pentru realizarea lor sunt prezentate în acest capitol.

5.6.2. Scopul cercetărilor din domeniu

Secțiunea I: Monitorizarea deformărilor structurale cu G.N.S.S. Această secțiune abordează operațiile de monitorizare ale măsurătorilor topografice. Aplicațiile de monitorizare cu G.N.S.S. incluse în aceste măsurători de planificare pentru acoperirea secțiunii de recunoaștere și criteriul pentru instalarea rețelelor de monitorizare G.N.S.S. De asemenea sunt incluse procedurile pentru realizarea de măsurături de rețea de referință care sunt realizate pentru comenzi de poziționare exacte separate și măsurători de producție configurate pentru a urmări procedurile topografice convenționale și planurile.

Secțiunea II: Performanța în rețelele de monitorizare. Această secțiune prezintă rezultatele testelor de teren conduse pentru a evalua capacitățile topografice G.N.S.S. în monitorizarea rețelelor.

Secțiunea III: Acordarea calității datelor pentru măsurătorile precise cu G.N.S.S. Această secțiune prezintă exemple și tehnici pentru descrierea problemelor cu date G.N.S.S. în aplicațiile de monitorizare.

Secțiunea IV: Alinierea semnalelor cu căi multiple. Această secțiune prezintă informații pentru minimalizarea și îndepărtarea erorilor cu căi multiple, care sunt o sursă majoră de erori sistematice în măsurătorile topografice la linia de bază scurtă.

Secțiunea I: Monitorizarea deformărilor structurale cu G.N.S.S.

a. Necesități de precizie. Necesitățile de precizie tipice pentru măsurătorile PICES variază dintre 10 mm orizontal și 2 mm vertical pentru structuri de reper și până la 50 mm orizontal și 15 mm vertical pentru structuri de baraj- vedeți tabelul 2-1. Specificațiile de precizie topografică trebuie să asigure detectarea mișcărilor sub condiții de operare normale.

Limitele de eroare topografice care sunt premise sunt relaționate la deplasarea maximă prevăzută care ar apărea între campanile de măsurare repetate. Pentru fiecare măsurătoare, precizia de poziționare finală la nivelul de probabilitate de 95% ar trebui să fie mai mică sau egală cu 0.25 din valoarea de deplasare prevăzută. Specificarea necesității de precizie este un factor major în evaluarea performanței pentru schema de măsurare bazată pe G.N.S.S.

b. Necesitățile sistemului. Un sistem de măsurare a deformărilor bazate pe G.N.S.S. trebuie să întrunească următoarele cerințe de performanță:

- (1) Sistemul ar trebui să ofere precizii de poziționare verticală și orizontală relative comparabile celor obținute din măsurătorile de deformare convenționale, cu cerințe de precizie de aprox. 5 mm sau mai puțin, la nivel de încredere de 95%.
- (2) Timpul de ocupare a stațiilor ar trebui redus la câteva minute pe stație, aprox. cantitatea de timp necesară pentru completarea de măsurători de monitorizare tipice într-o zi de lucru.
- (3) Sistemul trebuie să opereze cu echipament comercial (COTS) care are necesități electrice nominale, precum echipament de calitate geodezic G.N.S.S. și calculatoare performante.
- (4) Sistemul trebuie să colecteze date care să se conformeze standardelor Receiver Independent Exchange (RINEX) pentru postprocesarea datelor consecutive. Capacitatea datelor neprelucrate G.N.S.S. trebuie să se extindă pe 8 ore pentru stațiile de referință multiple.
- (5) Sistemul trebuie să ofere observații repetate ale pozițiilor punctelor de monitorizare astfel ca fiabilitatea, racordarea statistică, detectarea de rămășițe de șariaj este aplicată. Pozițiile aplicabile G.N.S.S. liniile de bază, greutatea măsurătorilor trebuie să fie compatibile cu necesitățile procesării de ajustare a rețelei geodezice.
- (6) Sistemul trebuie să ofere acoperire localizată asupra unei rețele de puncte topografice care ar fi instalate tipic pe siturile proiectului. Sistemul ar fi capabil de poziționarea simultană a receptorilor multipli pe structură.
- (7) Este de dorit ca să nu fie necesare procedurile operaționale specializate pentru a inițializa sistemul și pentru a realiza o misiune. Orice operație necesară trebuie să fie în capacitatea echipei.

c. Necesități pentru echipament. Numai tehnicile de poziționare relativă vor extrage precizii suficiente pentru măsurătorile topografice de deformare structurală G.N.S.S. Echipamentul de tip antenă-receptor geodezic (COTS) comercial are capacitatea operațională necesară pentru colectarea de date de mare calitate. Un inventar pentru componentele recomandate pentru un asemenea sistem sunt:

(1) Receptor, un receptor G.N.S.S. de calitate trebuie să aibă: capacitatea de măsurare

L1/L2 cu cel puțin o rată de date de o secundă, o versiune de receptor de ultimă oră, placă de hardware care să includă orice caracteristică valabilă pentru urmărirea de mare fidelitate, un supresor RF în mod topografic static, un depozit de minimum 5-10 megabyte cu conexiune port pentru laptop, collector de date, sau sistem de comunicare de date, alte accesorii pentru protecție, transport, precum carcase de transport.

- (2) Antena,** trebuie să aibă frecvență duală de G.N.S.S. L1/L2 antenă microstrip sau inel cu clapetă, potrivit la un receptor G.N.S.S. ambele devieri de centru fazic al antenei L1/L2 trebuie publicat la 1 mm măsurat de-a lungul axei spre antena de referință. Mira de atașament a bazei antenei standard, cu un diametru de 5/8 inch instrument de 11 NC, sau mai este nevoie de un sistem de atașament cu centrare forțată de precizie. Ca ansamblu de centrare forțată poate fi utilizat tribarcane de tip WILD și adaptori de montare tribarcane.

- (5) **Cabluri de transmisie**, receptorul de antenă și comunicațiile datelor (interfața cu port serial RS-252) cabluri conectoare la lungimea maximă de 10 m (sau un număr potrivit de amplificator de linii pentru a preveni degradarea semnalului sau pierderea de amplificare a zgomotului) sunt necesare.
- (4) **Furnizarea cu energie**, furnizarea cu energie/AC/UPS) și o baterie de 12 V DC (celulă de gel, cameră video) cu unități de încărcare compatibile și cabluri. Sistemul are nevoie să opereze timp de 10 ore sau mai mult fără a reîncărca, astfel proiectul trebuie să includă sarcina dispozitivului.
- (5) **Software**, descărcare de date, logare, procesare de software necesar pentru date neprelucrate și comunicare cu un computer extern sau un soft pentru depozitarea datelor.
- (6) **Echipament de teren**, echipamentul divers poate să conțină: bandă de oțel sau mire pentru măsurătorile de înălțime cu antenă, tribarcană cu bază deschisă, fir cu plumb nadir pentru centrare precisă, tripod topografic stabil, instrumente meteorologice, carte de teren.
- (7) **Software de post procesare**, datele topografice G.N.S.S. și software-ul de procesare a liniei de bază cu capacitatea de conversiune RINEX. Aceasta include specificații pentru aparat, modelul, specificații fizice (lungimea cablului), versiunea, software. Variațiile în performanța măsurătorilor dintre sistemul receptor-antena sunt reduse deoarece tendințele legate de echipament sunt comune la fiecare sistem.

Proceduri topografice.

a. Informații de bază. Obiectivul măsurătorilor topografice de deformare este determinarea poziției punctelor obiectivului pe structura monitorizată. Măsurătorile convenționale sunt stabilite de stațiile de referință ale rețelei în zone stabile din apropierea sitului proiectului. Distanța, unghiul, măsurătorile pentru diferențele de înălțime sunt realizate pentru a stabili punctele din structură. Proceduri de lucru constau din mutarea echipamentului de la un punct la altul și observarea, înregistrarea și verificarea datelor terenului. Colectarea datelor este proiectată pentru fiabilitate mare prin realizarea de observații repetate, obținând închideri de verificare, realizând calibrări ale instrumentului, colectând date auxiliare (dacă este necesar).

Procesarea datelor extensive este necesară pentru a converti datele neprelucrate în valori folositoare (prin curățire de date, reduceri de date, determinarea poziției finale, calcularea deplasărilor). Coordonatele finale sunt bazate pe ajustarea pătratelor celor mai mici a observațiilor topografice utilizând coordonatele fixate ale rețelei de referință.

Diferențele de poziție sunt observate de-a lungul timpului la fiecare punct. Acestea definesc o deplasare specifică validă în timpul dintre cele două măsurători topografice, setul total de deplasări de punct sunt modelate ca o suprafață geometrică care reprezintă analitic schimbări în locație, formă și mărime a structurii (sau componentelor). Parametrii deformării (deformație liniară, rotație diferențială și traducții) sunt utilizate pentru a rezolva deformațiile la orice parte dorită a structurii. Sensibilitatea și semnificația parametrilor depinde de număr, spațiu și precizia pozițiilor punctului topografic.

b. Măsurători topografice de deformare G.N.S.S. G.N.S.S. are câteva dezavantaje în măsurarea convențională. Aceasta oferă flexibilitatea în locația stațiilor de monitorizare, colecție de date semiautomate și procesare, poziționare fiabilă 5D între două puncte, analiză de eroare și capacitate de export pentru ajustările topografice și potențial operație rapidă topografică de teren hands-off . Munca de teren și procedurile pentru măsurătorile de deformare G.N.S.S. pot fi realizate cu metode similare măsurătorilor convenționale. Ceea ce urmează este o discuție despre proceduri recomandate în realizarea măsurătorilor de deformare G.N.S.S. inclusiv pregătire, muncă de teren, procesare și monitorizare.

c. Pregătirea pentru munca de teren. Colectarea de date cu echipament G.N.S.S. necesită un nivel de planificare și coordonare.

Planificarea misiunii. Tipic măsurătorile topografice de monitorizare cu G.N.S.S. necesită staționări multiple. Dacă unitățile receptorului multiplu sunt angajate, coordonarea secvențelor de ocupație

diferită ar trebui specificată anterior lucrărilor de teren. Orarul duratei ocupației stațiilor este bazat pe planificarea misiunii G.N.S.S. statusul de constelație cu satelit și condițiile de observație locale.

Consultanță de la buletinele NAVSTAR. Ambele ar trebui consultate anterior realizării lucrărilor de teren. Softwareul este utilizat pentru a prevedea numărul de sateliți vizibili, valori DOP, locația fiecărui satelit (azimuth și elevație deasupra orizontului) și acoperire continuă pentru fiecare SV pe o anumită durată de timp. Utilizatorul trebuie să furnizeze un fișier efemer de satelit G.N.S.S. recent și să specifice timpul și locația geografică de interes.

Informația statusului constelației G.N.S.S. este raportată de către anunțuri cunoscute ca Notice Advisory to NAVSTAR Users (NANU). US Air Force Space Command Master Control Station distribuie mesaje NANU frecvent, imediat ce o informație nouă devine valabilă.

d. Proceduri de lucrări de teren. Eforturile de colectare a datelor depind de practicile din munca de teren. Evenimentele consecutive recomandate pentru fiecare stație de monitorizare este precum urmează:

(1) **Pregătirea.** Instalarea trepiedului, dispozitivului de centrare forțată sau alt cadru de montare al antenei stabile ca punct de monitorizare la stație.

(2) **Parametrii de definire a receptorului.** Unghiul de mască este setat la zero (0) grade, energia de prag PDOP este setată la 20 sau mai mult, rata de logare a datelor este setată la o secundă, controlul portului electric este setat pentru a conecta bateria externă primară, sistemul de urmărire cu cod P(Y) este dezactivat, iar tipul de date este setat la colecție de date normală (plin).

(3) **Logarea datelor stației.** Înălțimile antenei sunt măsurate de două ori la mai puțin de 1 mm și înregistrat la fișierele de date ale stației. Planul solului antenei este orientat spre nodrul magnetic și securizat. Odată ce unitatea receptoare a primit cel puțin cinci sateliți (Dispozitiv de urmărire L1/L2) sesiunea topografică poate începe. Se introduc datele utilizând controale potrivite. Numele fișierelor și înălțimea antenei sunt introduse în teren prin tastatura de interfață a utilizatorului. Numele fișierului reflectă numele stației și înălțimea antenei.

(4) **La capătul sesiunii de observare a stației,** funcția de logare a datelor este terminată prin interfața utilizatorului și unitatea receptoare este oprită. Înălțimile antenei ar trebui reverificate. Echipamentul este dezasamblat și transportat la următoarea stație.

e. Proceduri de colectare a datelor. Următoarea schemă de colectare a datelor poate fi utilizată la fiecare stație pentru a realiza măsurătorile topografice de monitorizare.

(1) **Lungimea sesiunii.** O sesiune durează 15-50 minute (date de fază G.N.S.S. L1/L2). Este necesară pentru a întruni preciziile de poziționare minimă utilizarea a două stații de referință observate simultan. La stațiile unde se prevede o calitate nefavorabilă a semnalului, durata sesiunii trebuie să se prelungească, în funcție de rezultatele măsurărilor de recunoaștere.

(2) **Siguranță.** Stațiile sunt poziționate relativ la cel puțin două stații de referință stabile în rețeaua de referință. Colectarea datelor este făcută simultan la toate cele trei stații fiind necesară. O redunandanță mai mare poate fi obținută prin observarea fiecărei stații de două ori la perioade de timp diferite. Aceasta asigură schimbarea constelației satelitului pe o perioadă de timp semnificativă (1-2 ore minim).

(3) **Acoperire.** Un minim de cinci sateliți trebuie urmăriți tot timpul- preferabil mai mulți de cinci sateliți vor avea urmărire continuă de-a lungul sesiunii. Softwareul de planificare a misiunii G.N.S.S. trebuie utilizat pentru a maximiza numărul de sateliți urmăriți continuu în fiecare sesiune.

(4) **Tipuri de date G.N.S.S.** Minim, faza L1 și datele codului C/A trebuie înregistrate de către receptor la anumite rate de logare specificate. Datele de frecvență duală ar trebui colectate unde este posibil să se activeze verificări de calitate a datelor pentru a furniza observații adiționale G.N.S.S. care intensifică fiabilitatea topografică.

(5) **Datele stației.** Informații specifice relaționate cu colectarea datelor trebuie notate și înregistrate pe fișierele de logare potrivite. Acestea includ: numele stației, decalarea cu centrul fazic L1 și L2(m), numerele de serie al antenei și receptorului, numele observatorului, momentul măsurătorilor topografice, începerii și opririi fiecărei sesiuni, observații despre probleme

apărute, numele fișierelor, înălțimea antenei, lungimile cablurilor antenei (m) și numărul de sesiune dacă staționarea este repetată.

- (6) Interval de înregistrare.** O rată de logare de date de o secundă ar trebui utilizată pentru toate datele colectate pentru măsurătorile de monitorizare. Rata de logare este definită ca interval de timp (în secunde) între valoarea datelor înregistrate în memoria internă a receptorului sau scrisă pe un dispozitiv de depozitare extern. Aceasta poate produce fișiere de date mari care pot încălca foarte repede un CPU dacă sunt procesate când se înregistrează.

Proceduri de procesare a datelor

a. Generalități. O varietate de aplicații software sunt valabile pentru post procesarea datelor G.N.S.S. și pentru ajustare. Software-ul comercial este adecvat pentru majoritatea măsurătorilor topografice G.N.S.S. cu unele limite. Versiunile științifice sunt mai complexe și necesită date auxiliare pentru acțiunea funcțiilor de utilizare. Procedurile recomandate pentru postprocesarea datelor G.N.S.S. sunt rezumate mai jos.

b. Condiții pentru software. Majoritatea programelor software de postprocesare G.N.S.S. au caracteristici standard pentru încărcarea datelor și procesarea liniilor de bază. Ambele moduri statice și cinematice de postprocesare ar trebui să fie valabile pentru utilizarea fișierelor de date input de sesiune standard (ex. RINEX). Ștergerea de date de satelit și editarea de date ar trebui să fie valabile, indexate de un număr SV sau prin măsurarea sesiunii indexate pe epocă de timp. Un editor de texte standard sau programe software dezvoltate de utilizator ar trebui să fie valabil pentru editarea măsurătorilor din fișierul RINEX. Măsurătorile de fază L1 și L2 G.N.S.S. și soluțiile de poziție ale codului C/A ar trebui să fie valabile. Opțiunea pentru utilizarea datelor de semnal L1 sau L2 ar trebui selectate pentru randamentul soluției poziției. Datele RINEX și fișierele efemere cu date ar trebui activate fără probleme speciale. Trebuie să fie valabilă extragerea de date de poziție în format ASCII în X-Y-Z, WGS84 Cartesian, cu conversie consecventă de date de soluție cu coordonate geodezice WGS84, coordonate verticale, navigare spre est.

c. Date G.N.S.S. neprelucrate. Informația necesară și observațiile G.N.S.S. neprelucrate de postprocesare și fișierele efemere G.N.S.S. sunt rezumate mai jos.

(1) Fișiere de observație. Datele neprelucrate sunt downloadate de la receptorul G.N.S.S. și importate la softwareul de procesare utilizând un computer. Fișierele cu date sunt depozitate în formă binară și trebuie traduse în structuri de date native care sunt unice fiecărui soft. Standardul universal pentru transferul de date G.N.S.S. este cunoscut ca format RINEX. Acesta este un format de fișier text ASCII care conține o secțiune colectoare urmată de marcaje de timp cu blocări de observații G.N.S.S. listate pentru fiecare marcaj, cu referire la secțiunea III.

(2) Fișiere efemere. Datele orbitei sunt trimise în timp real (de satelitul G.N.S.S.) în mesajul de navigare a semnalului G.N.S.S. Un fișier efemer depozitat de către receptor conține datele orbitei satelitului decodat.

Transmiterea efemeră poate fi extrasă din fișierele de date G.N.S.S. neprelucrate sau sunt depozitate separat cu o extensie de nume convențional (ex. Eph). O orbită rafinată, cunoscută ca efemeris zilnic este valabil pe internet de la website www.navcen.uscg.gov. Fișierele efemere precise de obicei pot fi obținute în format binar (*.E18) sau ASCII (*.SP5). Ambele au nevoie de programul de postprocesare pentru a fi capabile să interpreteze aceste formate.

d. Procesarea liniei de bază. Pașii procesării necesită următoarele informații furnizate sau editate de către utilizator: numele stațiilor specificate pentru fiecare capăt al liniei de bază, înălțimile antenei în metri pentru stațiile liniilor de bază, fișierelor separate pentru datele G.N.S.S. colectate la fiecare stație, coordonate aproximative pentru fiecare stație cu calitate de poziționare, receptor și antenă cu deviere de centru fazic și timpi de oprire sau start de sesiune pentru fiecare set de observație a stației.

e. Necesități de procesare a rețelei. Pașii utilizați pentru procesarea liniilor de bază multiple într-o rețea de monitorizare sunt prezentați mai jos.

(1) Rețeaua de referință. Rețeaua este procesată înainte de rețeaua de monitorizare pentru a stabili coordonatele de control de precizie mare pentru fiecare stație de referință. Această condiție a fost

respectată și în studiile de caz realizate de autori. Toate liniile de bază observate simultan sunt procesate separat între fiecare stație de referință care a fost ocupată în timpul măsurătorilor. Odată ce stația a fost selectată ca stație master, având o poziție de cod mediu sau control de zonă transferată în coordonatele geodezice WGS84. Aceste coordonate sunt stabilite în timpul măsurătorilor topografice de instalare a rețelei. Coordonatele de control și stația master sunt fixate într-o ajustare de rețea constrânsă a tuturor liniilor de bază a rețelei de referință. Soluțiile modului de sesiune statică sunt tot ce este necesar pentru procesarea liniilor de bază ale rețelelor de referință. Rezultatele postprocesate și datele ar trebui examinate pentru a îndepărta orice date cu semnal slab urmate statusului sesiunii și criteriile editării de date prezentate în secțiunea II din acest capitol. Controalele de admisie și statisticile de randament listate mai jos ar trebui satisfăcute pentru toate liniile de bază ale rețelei de referință. Dacă sunt patru sau mai multe stații de referință, atunci analiza punctului stabil poate fi aplicată pentru a detecta mișcări în rețeaua de referință. Randamentele de procesare și fișierele datelor editate sunt salvate separat ca parte din arhiva datelor de proiect.

(2) Rețeaua de monitorizare. Toate stațiile rețelei de referință stabile sunt fixate cu coordonate de control stabilite de rezultatele de procesare topografică a rețelei de referință. Fiecare fișier de date a stației de monitorizare este procesat linie de bază-cu- linie de bază utilizând fiecare fișier de date a stației de referință observate simultan. Controalele de admisie și statisticile de randament listate mai jos ar trebui satisfăcute pentru toate liniile de bază ale rețelei de referință. Deschiderile și verificările calității datelor ar trebui realizate pentru postprocesarea liniei de bază, implicând fiecare punct de monitorizare după criteriu, prezentat mai jos. Randamentele de procesare și fișierele datelor editate sunt salvate separat ca parte din arhiva datelor de proiect. Fișierele soluției sunt pregătite pentru export spre programul software de ajustare a rețelei. O ajustare inițială utilizând constrângeri mininale poate fi realizată între stația de referință master și toate punctele de monitorizate pentru a examina calitatea topografică inițială.

f. Necesități de ajustare a rețelei. Odată ce datele au fost procesate și validate, linia de bază G.N.S.S. va conecta întreaga rețea topografică la punctele de monitorizare. Toți vectorii de soluție G.N.S.S. post procesați sunt procesați utilizând programul soft de ajustare a rețelei cu metoda celor mai mici pătrate. Sarcinile sunt de obicei furnizate de matricea de corelare a procesării liniei de bază a parametriilor. Coordonatele rezultate pentru fiecare punct din rețeaua de monitorizare va defini poziția 5D finală la fiecare stație de monitorizare. Coordonatele stației de referință stabile sunt fixate în sistemul de coordonare a proiectului. Procedurile de ajustare a rețelei standard și randamentul sunt obținute pentru măsurătorile topografice de monitorizare G.N.S.S. La minimum, elipsele erorii (95%) sunt comparate cu necesitățile de precizie, și rezidurile examinate pentru tendințele sistematice.

g. Deplasările poziției. Coordonatele finale sunt diferențiate de ajustarea topografică anterioară pentru a determina deplasările 5D la fiecare stație topografică. O examinare a tendințelor de mișcare (diferențele de coordonate) și comparația direcției și magnitudinii la deplasarea maximă prevăzută este realizată pentru a rezuma deformările structurii. Orice tendință de mișcare neprevăzută ar trebui analizată astfel încât datele G.N.S.S. să fie validate a doua oară.

5.6.3. Monitorizarea instantanee cu ajutorul G.N.S.S. și analiza deformațiilor pentru înregistrarea comportării structurilor

a. Modele de măsurare GNSS

Pentru aplicațiile de monitorizare structurală este necesară o precizie ridicată a măsurătorilor. Rezultatul procesării acestor măsurători este vectorul tridimensional V între două stații măsurat la o singură dată, unde:

$$V_i = [\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i]^T \quad (30)$$

Vectorul de deformație D poate fi calculat folosind următoarele modele:

1) Diferența dintre două date V_0 și V , la o singură stație

$$D_i = [\Delta X_i - \Delta X_0, \Delta Y_i - \Delta Y_0, \Delta Z_i - \Delta Z_0]^T = [\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i] \quad (31)$$

unde σ_v este eroarea standard a fiecărei componente a vectorului de referință, poate fi aproximată pe baza rezultatelor anterioare ale testelor sau poate fi calculată. În cazul unor calculări rezultate dintr-o experiență, algoritmul de reglare de pătrat minimum generează matricea corespunzătoare de la care sunt obținute erori standard. Eroarea standard a unei singure componente a vectorului deformație este după aceea aproximată de:

$$\sigma_D = \sqrt{2} \cdot \sigma_v \quad (31)$$

2) Exprimând deformația în termenii celei mai simple mișcări care ar putea să o producă. În general noul vector de bază V_i la momentul i este reprezentat de

$$V_i = T \cdot V_0 + h \quad (32)$$

unde T este matricea transformării deformației, V_0 este vectorul de bază inițial iar h este vectorul de translație. Dacă axa de rotație trece prin originea situată la baza stației G.N.S.S. atunci $h=0$ și ecuația (32) devine:

$$V_i = T \cdot V_0 \quad (33)$$

Ecuația (5.15) va fi adevărată dacă: fie toată structura deformabilă, fie numai o parte a acesteia, poate fi considerată a avea aceeași amprentă a deformației și matricea T furnizează informații directe despre deformație. Deplasarea unui punct folosind cea mai simplă cale de mișcare dată de această ecuație poate fi produsă de o grupă specială de transformări liniare. Aceste transformări exprimă din punct de vedere geometric mișcarea unui punct într-o nouă poziție datorită rotațiilor ortogonale, transformărilor scalare, întinderii sau compresiunii. Presupunând că modificările liniare au loc conform ecuației (28), ecuația (33) se reduce la:

$$V_i = T \cdot V_0 = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} \quad (34)$$

unde $T = T_x \cdot T_y \cdot T_z$ și T_x , T_y și T_z sunt matricile ortogonale reprezentând rotațiile V_0 în jurul axelor X , Y respectiv Z și:

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos \delta\varphi \cdot \cos \delta\beta \\ m_{12} &= \cos \delta\varphi \cdot \sin \delta\beta \cdot \sin \delta\alpha - \sin \delta\varphi \cdot \cos \delta\alpha \\ m_{13} &= \cos \delta\varphi \cdot \sin \delta\beta \cdot \cos \delta\alpha + \sin \delta\varphi \cdot \sin \delta\alpha \\ m_{21} &= \sin \delta\varphi \cdot \cos \delta\beta \\ m_{22} &= \sin \delta\varphi \cdot \sin \delta\beta \cdot \sin \delta\alpha + \cos \delta\varphi \cdot \cos \delta\alpha \\ m_{23} &= \sin \delta\varphi \cdot \sin \delta\beta \cdot \cos \delta\alpha - \cos \delta\varphi \cdot \sin \delta\alpha \\ m_{31} &= -\sin \delta\beta \\ m_{32} &= \cos \delta\beta \cdot \sin \delta\alpha \\ m_{33} &= \cos \delta\beta \cdot \cos \delta\alpha \end{aligned} \quad (35)$$

Pentru rezolvarea în cazul elementelor rotaționale necunoscute $\delta\alpha$, $\delta\beta$ și $\delta\varphi$ matricea T poate fi aproximată cu ajutorul seriei Taylor:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & -\delta\varphi & \delta\beta \\ \delta\varphi & 1 & -\delta\alpha \\ -\delta\beta & \delta\alpha & 1 \end{bmatrix}$$

astfel încât la un moment i vectorul deformație D_i devine

$$D_i = [\delta\alpha_i, \delta\beta_i, \delta\varphi_i]^T \quad (36)$$

Relațiile (35) și (36) sunt folosite pentru schimbarea semnalelor indicatoare care ar putea semnala posibile modificări în sistemul monitorizat.

b. Monitorizarea ON-LINE a integrității G.N.S.S.

b.1. Principiul detectării și izolării erorilor G.N.S.S.

Detectarea erorilor senzorilor G.N.S.S. are o importanță crucială pentru controlul calitativ al măsurătorilor G.N.S.S. Erorile de măsurare datorate degradării sau funcționării incorecte a unui sau mai multor unități G.N.S.S. dintr-un sistem de monitorizare nu trebuie confundate cu deformațiile, motiv pentru care acestea trebuie detectate cât mai repede posibil. Trebuie îndeplinită următoarea sarcină:

$$\Delta X_i = \mu_i + \varepsilon_i \quad (37)$$

unde ΔX_i sunt datele în ordine în care au fost prelevate, μ_i este media la momentul i și ε_i este eroarea aleatoare asociată cu a i -a valoare. În general $\mu_i = \mu_{i-1}$ exceptând un număr mic de valori ale i cunoscute sub numele de puncte de schimbare. Se presupune că ε_i sunt independente și uniform distribuite. Metoda propusă pentru detecția și izolarea erorilor receptorului G.N.S.S. se bazează pe acest concept. Se presupune că cel puțin 5 receptori G.N.S.S. cuprinzând o stație bază și cel puțin 2 stații mobile, sunt folosite ca sistem de monitorizare structurală. Fiecare stație mobilă generează rezultate făcând diferența dintre pozițiile anterioare și posterioare ale fiecărei perioade. De exemplu, la fiecare stație mobilă valorile reziduale δ_i pentru componenta de bază ΔX sunt obținute prin scăderea din valoarea anterioară ΔX_0 a noii valori estimate ΔX_i :

$$\delta_i = (\Delta X_i - \Delta X_0) \approx \bar{\varepsilon}_i, \bar{\varepsilon}_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (38)$$

Pentru orice combinație a celor 5 stații mobile, toate combinațiile de perechi de receptori sunt folosite pentru a genera diferențe de valori reziduale, aceasta trebuind să conducă la 5 secvențe. Pentru detectarea și izolarea erorilor, dacă a intervenit o înclinare repetată în măsurători la una din stații, ar trebui să existe și în valorile reziduale. Fiecare componentă a acestora este testată pentru un punct de schimbare. Dacă sunt detectate două puncte de schimbare simultan, izolarea receptorului defect este realizată prin sondaj Receptorul care este comun celor două valori reziduale cu punctele de schimbare este receptorul defect. Această metodă este aplicabilă pentru aplicații de detectare a receptorilor defecti în care nu se defectează mai mult de un receptor la un moment dat.

b.2. Test propus pentru detectarea erorilor

Se consideră un defect minor, cum ar fi o înclinare la una din măsurătorile unui receptor G.N.S.S. care apare la un moment nedefinit. Trebuie identificată eroarea și izolat senzorul G.N.S.S. defect cât mai repede posibil. Se consideră cazul a trei receptori G.N.S.S. (G.N.S.S.1, G.N.S.S.2, G.N.S.S.5) care sunt montați pe o clădire înaltă pentru urmărirea deformațiilor omogene ale acesteia și presupunem că numai un receptor se poate defecta la un moment dat. Rezultatul residual D_i^m al receptorului G.N.S.S._m ($m = 1, 2, 5$) la momentul i este dat de ecuațiile:

$$D_i^m = [\delta X_i^m, \delta Y_i^m, \delta Z_i^m]^T \equiv [\delta \alpha_i^m, \delta \beta_i^m, \delta \varphi_i^m]^T \quad (39)$$

Diferența dintre oricare doi receptori m și n :

$$\begin{aligned} \delta_i^{mn} &= [\delta X_i^m - \delta X_i^n, \delta Y_i^m - \delta Y_i^n, \delta Z_i^m - \delta Z_i^n]^T \equiv \\ &\equiv [\delta \alpha_i^m - \delta \alpha_i^n, \delta \beta_i^m - \delta \beta_i^n, \delta \varphi_i^m - \delta \varphi_i^n]^T \end{aligned} \quad (40)$$

În acest caz, pentru detectarea erorii se calculează trei diferențe δ_i^{12} , δ_i^{15} , δ_i^{25} și se face un test pentru detectarea modificărilor în fiecare secvență, $(\delta_t^{12})_{t \geq 1}$, $(\delta_t^{13})_{t \geq 1}$, $(\delta_t^{23})_{t \geq 1}$

A treia diferență s-ar putea să nu mai fie necesară pentru că :

$$\delta_i^{23} = \delta_i^{13} - \delta_i^{12} \quad (41)$$

componentele fiecărei secvențe fiind procesate după cum urmează. Se consideră ipotezele :

$$\begin{aligned}
H_0 &: \{\mu : \mu = \mu_0\} \\
H_1 &: \{\mu : (\mu - \mu_0)^T (\mu - \mu_0) = b^2\}
\end{aligned}
\tag{42}$$

în care μ_0 și b sunt necunoscute.

Pentru secvența δ_i cu σ^2 cunoscută, probabilitatea pentru testarea ipotezelor (14) este formulată pe baza funcției $dF(\mu_i)$:

$$\begin{aligned}
\tilde{S}_k^t &= \ln \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \cdot \sum_{j=k}^t (\delta_j - \mu_0) - \frac{(\mu_1 - \mu_0)^2}{2\sigma^2} (t - k + 1) \right\} dF(\mu_1) = \\
&= \ln \left\{ \frac{1}{2} \exp \left(\frac{b}{\sigma} \sum_{j=k}^t (\delta_j - \mu_0) - (t - k + 1) \frac{b^2}{2} \right) + \frac{1}{2} \exp \left(- \frac{b}{\sigma} \sum_{j=k}^t (\delta_j - \mu_0) - (t - k + 1) \frac{b^2}{2} \right) \right\} = \\
&= -(t - k + 1) \frac{b^2}{2} + \ln \cosh \left(\frac{b}{\sigma} \sum_{j=k}^t (\delta_j - \mu_0) \right)
\end{aligned}$$

unde $b = (|\mu_1 - \mu_0|/\sigma)$ este un semnal pur iar $dF(\mu_i)$ este concentrată în două puncte $\mu_0 - \sigma b$ și $\mu_0 + \sigma b$. Funcția decizională care este folosită pentru estimarea modificării de timp este:

$$\mathbf{g}_t = \max_{1 \leq k \leq t} \tilde{S}_k^t \tag{43}$$

Pentru cazul unidimensional al δ_i testul de verificare cu pragul λ este practic echivalent cu testul de prag $\lambda + \ln 2$, care poate fi scris:

$$\begin{aligned}
t_a &= \min \left\{ t \geq 1 : \left(\mathbf{g}_t^* \geq \lambda + \ln 2 \right) \cup \left(\mathbf{g}_t^\bullet \geq \lambda + \ln 2 \right) \right\}, \text{ unde} \\
\mathbf{g}_t^* &= \left(\mathbf{g}_{t-1}^* + \left(\frac{\delta_t - \mu_0}{\sigma} - \frac{b}{2} \right) \right)^+ \\
\mathbf{g}_t^\bullet &= \left(\mathbf{g}_{t-1}^\bullet + \left(\frac{\delta_t - \mu_0}{\sigma} + \frac{b}{2} \right) \right)^+ \\
\mathbf{g}_t^\bullet &= \mathbf{g}_0^* = 0
\end{aligned}
\tag{44}$$

Presupunem că o eroare este detectată dacă alarma este dată de cel puțin unul din testele (14). Când alarmele sunt date de teste care procesează aceleași componente ale secvențelor δ^{12}_i , δ^{15}_i , δ^{25}_i ; izolarea G.N.S.S.-ului defect este realizată prin sondaj. De exemplu dacă alarma este detectată la aceeași componentă a δ^{12}_i și δ^{25}_i următoarea ipoteză este acceptată: $H_2 = \{\text{stația G.N.S.S.}_2 \text{ a eșuat în datele G.N.S.S.}\}$. Amplitudinea v este valoarea minimă absolută a înclinării care ar putea interveni în (44) și să conducă la erori G.N.S.S. de ieșire inadmisibile. Pragul λ este selectat în concordanță cu timpul specificat între alarmele false și rata G.N.S.S.. Criteriu de optimizare minimizează întârzierea detecției τ pt o valoare dată între alarme T . De exemplu: utilizarea unei limite maxime pentru τ și a unei limite minime pentru T poate fi suficientă:

$$\bar{\tau}^* \leq \frac{2\lambda}{|v|} + \frac{2\phi\left(\frac{v}{2}\right)}{|v|\Phi\left(\frac{|v|}{2}\right)} + 1 \tag{45}$$

$$\bar{T} \geq \frac{e^{|v|} - 1 - |v|\lambda}{\lambda^2} - \frac{\phi\left(-\frac{v}{2}\right)}{|v|\Phi\left(-\frac{|v|}{2}\right)} + \frac{1}{2} \tag{46}$$

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(x) dx \quad \phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(x^2/2)}$$

O eroare dată de un receptor G.N.S.S. care este sub nivelul minim al parametrului v nu duce la o creștere semnificativă a sumei cumulate, deci alarma nu va fi declanșată. În consecință testul este reglat pentru un nivel mic al erorii și toate erorile care au amplitudinea schimbată mai mare decât acest nivel vor fi detectate cu întârziere optimă.

c. Analiza ON –LINE a deformațiilor

Metodele clasice de monitorizare on-line detectează schimbări abrupte în latitudine, longitudine și înălțime ale componentelor de bază, datorate mișcărilor bruște ale structurii. Fiecare dintre componentele $(D_t)_{t \geq 1}$ este procesată folosind un detector cum ar fi testul menționat. De exemplu, se consideră unul din următoarele elemente:

$$d_t = \mu_t + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2),$$

unde

$$\mu_t = \begin{cases} \mu_0 & \text{dacă } t \leq r-1 \\ \mu_1 & \text{dacă } t \geq r \end{cases} \quad (47)$$

Trebuie detectată schimbarea valorii μ_t , pentru a estima schimbarea de timp r și valorile medii μ_0 și μ_1 înainte și după salt. Un test unilateral poate fi aplicat când ambele valori μ_0 și μ_1 sunt cunoscute sau testul bilateral când numai μ_0 este cunoscut.

c.1. Generarea semnalelor monitorizate

Se presupune că seriile de timp ale rezultatelor coordonatelor G.N.S.S.-RTK variază în timp, adică ele formează semnale variabile în timp. Un calcul IF este necesar pentru extragerea frecvențelor instantanee din aceste semnale. Aceasta descrie diferite metode de estimare bazate pe distribuțiile timp-frecvență. Aceasta poate fi realizată prin reformularea secvenței $(d_t)_{t \geq 1}$ în (47):

$$d(n\xi) = s(n\xi) + \varepsilon(n\xi) \quad (48)$$

$$s(n\xi) = A \exp(j\theta(t))$$

cu $s(n\xi)$ este semnalul util și $\varepsilon(nT)$ este zgomotul Gaussian normal distribuit. Se consideră problema frecvenței instantanee, $\omega(t) = \theta_k(t)$ Estimarea ML a frecvenței sinusoidale complexe inclusă în zgomotul staționar Gaussian:

$$\omega_{ML} = \arg \max \{I(\omega)\} \quad (49)$$

$$I(\omega) = \left| \sum_{t=0}^{N-1} d(t) e^{-j2\pi\omega t} \right|^2$$

este considerată prea complicată pentru implementarea în timp real. Se presupune deci că estimarea IF este bazată pe (20):

$$\omega(t) = \arg \left[\max_{\omega \in Q_\omega} WD(t, \omega) \right] \quad (50)$$

cu $Q_\omega = \{\omega : 0 \leq |\omega| < \pi / (2\xi)\}$ fiind intervalul de bază pe axa frecvențelor, trebuie este timpul curent, ξ este intervalul de probă și $WD(t, \omega)$ este distribuția timp-frecvență. Distribuția timp-frecvență $WD(t, \omega)$ poate fi calculată prin transformarea Fourier STFT. Astfel în timp poziționarea fiecărei frecvențe este cunoscută, spre deosebire de analiza totală FFT care dă numai compoziția frecvențelor unui semnal, cu presupunerea că toate componentele frecvențelor sunt prezente de la începutul până la sfârșitul semnalului. La momentul curent t estimarea IF include pași în care vectorul $d(t)$ de lungime m este extins la L exemple prin adăugarea a $(L-m)$ zerouri. Eșantioanele frecvențelor la momentul curent sunt calculate folosind FFT de lungime L pe o rețea de frecvențe de pas $\Delta\omega = \xi/L$ și frecvența care maximizează distribuția $WD(t, \omega)$ este:

$$\omega(t) = \arg \max [I(\omega_\gamma)]$$

$$I(\omega_\gamma) = \left| \sum_{t=0}^{L-1} d(t) e^{-j2\pi\omega_\gamma t} \right|^2 \quad (51)$$

$$\omega_\gamma = \gamma\Delta\omega \quad \gamma = 0, \dots, L-1$$

Acest calcul este cel mai potrivit pentru coordonatele antenei obținute de la monitorizarea G.N.S.S.-RTK a unei platforme (poduri suspendate, clădiri înalte, coșuri înalte etc.) în timp real.

c.2. Test ON-LINE de detectare a modificărilor

Testul bidirecțional prezintă un interes deosebit pentru detectarea on-line a modificărilor. Pentru detectarea on-line a modificărilor de frecvență algoritmul pentru testarea atât a modificărilor pozitive cât și a celor negative în mediile unei secvențe este implementat după cum urmează. Rata probabilității pentru testarea între ipoteza $H_0: r > t$ și ipoteza $H_0: r \leq t$ este:

$$\prod_{k=r}^t \frac{p_1(\omega_k)}{p_0(\omega_k)}$$

(52)

unde P_i este densitatea Gauss cu media $\mu_i (i=0,1)$. Algoritmul său este dat de:

$$\Lambda_t = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \sum_{k=r}^t \left(\omega_k - \frac{\mu_1 + \mu_0}{2} \right) = \frac{1}{\sigma^2} S_r^t(\mu_0, \nu)$$

$$\text{unde } S_r^t(\mu, \nu) = \nu \sum_{k=r}^t \left(\omega_k - \mu - \frac{\nu}{2} \right) \quad (53)$$

și $\nu = \mu_1 - \mu_0$

este amplitudinea saltului. Înlocuind t cu probabilitatea maximă sub H_1 , adică:

$$\hat{r}_t = \arg \max_{l \leq r \leq t} \left[\prod_{k=0}^{r-1} p_0(\omega_k) \prod_{k=r}^t p_1(\omega_k) \right] = \arg \max_{l \leq r \leq t} S_r^t(\mu_0, \nu) \quad (54)$$

se obține:

$$g_t - \Lambda_t(\hat{r}_t) = \max_r \begin{cases} H_1 \\ S_r^t(\mu_0, \nu) \\ H_0 \end{cases} > \lambda \quad (55)$$

unde λ este un prag. În alte cuvinte, alege H_1 când g_t depășește λ și H_0 în celelalte cazuri. La momentul trebuie avem:

$$g_t = S_r^t(\mu_0, \nu) - \min_{l \leq k \leq t} S_l^k(\mu_0, \nu) > \lambda \quad (56)$$

Funcția de decizie din (55) poate fi calculată recursiv astfel:

$$g_t = \left(g_{t-1} + \omega_t - \mu_0 - \frac{\nu}{2} \right)^+$$

$$g_0 = 0, \quad (x)^+ = \max(x, 0)$$

Prima abordare constă în rularea a două teste (56) în paralel, corespunzător unei amplitudini minime ν_m aleasă prioritar și în două direcții posibile. Regulile de oprire sunt,

$$\begin{cases} L_0 = 0 \\ L_t = \sum_{k=1}^t \left(\omega_k - \mu_0 + \frac{\nu_m}{2} \right) \\ M_t = \max_{0 \leq k \leq t} L_k \\ \text{alarma când } M_t - L_t > \lambda \end{cases} \quad (57)$$

Pentru o scădere, iar pentru o mărire:

$$\begin{cases} U_0 = 0 \\ U_t = \sum_{k=1}^t \left(\omega_k - \mu_0 - \frac{\nu_m}{2} \right) \\ m_t = \min_{0 \leq k \leq t} U_k \\ \text{alarma când } U_t - m_t > \lambda \end{cases} \quad (58)$$

Decizia care va fi luată corespunde regulii care oprește prima iar timpul saltului r este ultimul timp maxim (respectiv minim) înaintea detectării.

A doua abordare în cazul saltului necunoscut al amplitudinii ν constă în înlocuirea sa cu probabilitatea maximă. Avem atunci:

$$\max_{1 \leq r \leq t} \max_v S_r^t(\mu_0, v) \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \lambda \begin{matrix} H_1 \\ H_0 \end{matrix} \quad (59)$$

Ținând seama de (55):

$$\hat{v}_t(r) \stackrel{\Delta}{=} \arg \max_v S_r^t(\mu_0, v) = \frac{1}{n-r+1} \sum_{k=r}^t (\omega_k - \mu_0)$$

Astfel cele două maximizări din (59) sunt identice.

d. Modelul filtrului Kalman pentru triplă diferențiere

S-a precizat anterior făcând parte din metodele de dirijare a execuției și a urmăririi comportării în timp s-au dezvoltat datorită succesului implementării acestora la monitorizarea podurilor; astfel s-au dezvoltat și aplicat metode de utilizare a filtrelor adaptabile (FA), a RTK-G.N.S.S. și a accelerometrelor în analiza deplasărilor podurilor înalte datorită variațiilor de temperatură și a circulației, dezvoltând principiul triplei diferențieri a rezultatelor măsurătorilor RTK-G.N.S.S. / accelerometre cu filtru Kalman, pornind de la forma uzuală a acestora și prezentând un scenariu posibil privind adaptarea la acest tip de măsurători.

Presupunerile pentru acest model și ecuațiile măsurătorilor sunt:

$$x_{k+1} = \phi_k x_k + w_k; \quad E[w_k w_k^T] = Q_k \quad (60)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k; \quad E[v_k v_k^T] = R_k \quad (61)$$

unde w_k și v_k sunt secvențe independente.

Ecuațiile recursive corespondente sunt:

$$\text{Cresterea: } K_k = P_k^- H_k^T [H_k P_k^- H_k^T + R_k]^{-1} \quad (62)$$

$$\text{Estimarea actualizată: } \hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (63)$$

$$\text{Co varianța actualizată: } P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (64)$$

$$\text{Estimarea: } \hat{x}_{k+1}^- = \phi_k \hat{x}_k \quad (65)$$

unde indicele k indică timpul t_k . Se anticipează, în acest moment, că se vor face măsurătorile separat. Codul măsurătorilor este de forma (2), deci ecuațiile uzuale sunt aplicabile direct după liniarizare în jurul unei poziții nominale. Ecuațiile triplei diferențieri sunt diferite în timp, deci forma generală a ecuației măsurătorilor aplicabile este:

$$y_k = H_k x_k + J_k x_k + v_k \quad (66)$$

Ecuațiile recursive Kalman au fost deduse din măsurători de forma ecuației (66) (Brown și Hwang – 1997)

$$\text{Cresterea: } K_k = [P_k^- H_k^T + \phi_{k-1} P_{k-1} J_k^T] L_k^{-1}, \quad (67)$$

$$\text{unde: } L_k = H_k P_k^- H_k^T + R_k + J_k P_{k-1} \phi_{k-1}^T H_k^T + H_k \phi_{k-1} P_{k-1} J_k^T + J_k P_{k-1} J_k^T \quad (68)$$

$$\text{Estimarea actualizată: } \hat{x}_k + \hat{x}_k^- + K_k (z_k - \hat{z}_k^-) \quad (69)$$

$$\text{unde: } \hat{z}_k^- = H_k \hat{x}_k^- + J_k \hat{x}_{k-1} \quad (70)$$

$$\text{Eroarea estimată a covarianței: } P_k = P_k^- - K_k L_k K_k^T \quad (71)$$

$$\text{Proiecția estimată: } \hat{x}_{k+1} = \phi_k \hat{x}_k \quad (72)$$

$$\text{Eroarea proiecției: } P_{k+1}^- = \phi_k P_k^T + Q_k \quad (73)$$

Este important de notat că dacă se dorește calcularea codului dublei diferențe și măsurătorile triplei diferențe separat (la fiecare moment t_k), atunci blocul purtător trebuie calculat la început pentru că P_{k-1} fiind necesar calculării creșterii pentru filtrul de întârziere a fazei.

Este tentant să calculăm modelul pentru tripla diferență ca o secvență Gaussiană și să ținem cont de ea în matricea R_k . Din păcate acest model conduce la contradicții cu realitatea. Se remarcă faptul că v_k din ecuația (8) este diferența de timp:

$$v_k = e_{dd}(t_k) - e_{dd}(t_{k-1}) \quad (74)$$

unde e_{dd} se referă la eroarea dublei diferențieri. Dacă se consideră că $[e_{dd}(t_k) - e_{dd}(t_{k-1})]$ este o secvență staționară, independentă, atunci se presupune automat că $e_{dd}(t_k)$ este o secvență întâmplătoare. Aceasta este o eroare, deoarece este de așteptat ca $e_{dd}(t_k)$ să fie variabil în funcție de timp. De remarcat faptul că diferența de timp nu crește nedefinit cu cât se acumulează noi măsurători. Modelul Markov la nivelul diferenței duble păstrează conexiunea diferențelor succesive, cel puțin pe termen lung. Acest aspect este important dacă se așteaptă ca filtrul Kalman să dea importanța optimă măsurătorilor dublei diferențe cu trecerea timpului.

5.7. O privire de ansamblu asupra software-ului de procesare a datelor G.N.S.S. (1, 2, 8, 22, 33, 39, 42, 89, 103, 11, 112, 113, 130, 131, 135, 142, 143, 167, 170, 182, 183, 184, 189)

5.7.1. Date generale

Măsurătorile G.N.S.S. sunt de regulă stocate în memoria computerului din receptorul G.N.S.S. și sunt transferate ulterior către un computer ce rulează un program de procesare a datelor G.N.S.S. Software-ul alcătuiește linia de bază folosind măsurători simultane de la doi sau mai mulți receptori G.N.S.S. Linia de bază reprezintă o linie tridimensională trasată între doi puncte care sunt monitorizați de o pereche de antene G.N.S.S. Măsurătorile de postprocesate asigură o poziționare mai precisă, pentru că erorile G.N.S.S. ce afectează fiecare receptor sunt aproape egale, deci pot fi scoase din calcule. Datele G.N.S.S. colectate pentru aplicații de înaltă precizie trebuie procesate pentru a oferi o precizie milimetrică. În mod normal, procesarea ulterioară presupune procesarea diferențială raportată la o locație de bază fixă. Pentru anumite tipuri de studii este necesară verificarea datelor pe teren ca și o verificare a calității datelor. În acest caz se poate efectua un alt studiu. Pentru metode de colectare a datelor mai trainice, ca și studiul static, nu este necesară procesarea datelor pe teren. Pentru multe aplicații de înaltă precizie nu este posibilă procesarea datelor pe teren. Metodele avansate de procesare a datelor necesită o conexiune la internet pentru a accesa servicii de procesare a datelor on-line, orbite precise de sateliți etc. O metodă răspândită este verificarea rapidă a calității datelor pentru ca ulterior în birou să se petreacă mai mult timp pentru generarea de rezultate finale. Într-o procesare de date G.N.S.S. pozițiile punctelor sunt de obicei raportate la un elipsoid bine definit, precum IRTF 98 sau WGS-84.

Acest program-control poate fi organizat după cum urmează:

- program-control științific: creat pentru a adopta fiecare receptor și măsurători de observație;
- program-control tehnic-comercial: creat de diferite firme producătoare de receptoare, pentru tipul propriu de receptor.

În tabelul următor se prezintă cele mai cunoscute programe-control folosite pentru analiza datelor GNSS.

Tabelul 11. Programe-control științifice și tehnic-comerciale folosite pentru procesarea datelor GNSS (130, 131, 135)

| Software | TIP | Dezvoltat de |
|--|------------------|---|
| BA.M.BA | Științific | Universitatea din Milano, Italia |
| Bernese G.N.S.S. Software | Științific | A.I.U.B. (Astronomische Institut Universität Bern), Elveția |
| DI.PO.P (Differential Positioning Program) | Științific | Universitatea din New Brunswick, Canada |
| GAMIT | Științific | M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), USA |
| GEONAP | Științific | Universitatea din Hannover, Germania |
| GEOTRACER | Tehnic-comercial | Geotronics |
| GIPSY (Groningen Image Processing SYstem) | Științific | J.P.L (Jet Propulsor Laboratory) |
| PRISMA | Tehnic-comercial | Ashtech |
| Ski | Tehnic-comercial | Leica |
| Trimble Geomatics Office | Tehnic-comercial | Trimble |
| TopconTools | Tehnic-comercial | TOPCON P.S. |
| TOPAS | Științific | Universitatea Forțelor Armate Federale |

De obicei, programele-control sunt similare, ceea ce le deosebește, în afară de posibilitatea de a efectua unele operații ce nu se regăsesc în fiecare program, este interfața utilizatorului: prietenoasă în cazul programului-control de tip tehnic-comercial și dificil de înțeles pentru utilizatorul fără experiență anterioară în cazul programului-control de tip științific. De fapt programele-control sunt continuu actualizate pentru dezvoltarea diferitelor aplicații G.N.S.S. în funcție de tipul de descărcare (descărcare statică, statică rapidă, cinematică, diferențială, RTK) sau pentru folosirea G.N.S.S. în fotogrammetrie sau pentru integrarea G.N.S.S. și GIS. Aceste actualizări se datorează de asemenea și dezvoltării computerelor și sistemelor de operare.

6. Utilizarea fibrelor optice la monitorizarea în regim continuu a structurilor

6.1. Considerații asupra necesității monitorizării structurilor în timpul nașterii, vieții și morții acestora (130, 131, 135)

Securitatea lucrărilor de inginerie civilă necesită o monitorizare periodică a structurilor. Metodele curente sunt adesea aplicații dificile, complexitatea rezultantă și costurile limitând frecvența acestor măsurători. Rezoluția spațială obținută este în general scăzută, secvențială și numai prezența anomaliilor în comportamentul global stimulează o evaluare precisă și mai adâncă.

Există prin urmare o nevoie reală pentru instrumentele, care să permită o monitorizare permanentă, continuă și automată a structurii, cu precizie mare și o rezoluție spațială bună. În acest cadru, conceptul structurilor inteligente și-a dovedit efectivitatea în alte domenii precum monitorizarea materialelor compozite sau în aplicațiile aerospațiului. Aceste tipuri de structuri sunt instrumentate cu o serie internă de senzori cu fibre optice care permit monitorizarea diferiților parametri critici pentru securitate și sunt folositori pentru o planificare eficientă a costului intervențiilor de întreținere. Aceasta include măsurarea deformărilor, temperaturii, presiunii, penetrația chimică și altele.

Senzorii cu fibre optice prezintă avantaje importante comparate cu metodele de măsură tradiționale, inclusiv costul mic, versatilitate în măsura parametrilor diferiți, insensibilitate la influențele electromagnetice (linii electrice, trenuri, furtuni cu trăznete) și la coroziune, mărimea lor mică și densitatea mare de informație pe care le pot transporta la distanță.

Aplicația conceptului structurii inteligente pentru nevoile specifice ingineriei civile deschide noi perspective în monitorizarea pe termen lung a tuturor lucrărilor de mare importanță precum structuri, tuneluri, baraje, piste de aeroport, domuri, soluri instabile și roci, și nu în ultimul rând a structurilor miniere, gen construcții situate deasupra exploatărilor miniere de subteran.

O permanentă monitorizare începând cu construcția structurii adaugă un cost. Acest cost mic adițional este cu toate acestea contrabalansat din valoarea crescută a structurii, care este profitabilă pe termen lung. Acesta este probabil obstacolul principal pentru o aplicație generalizată a conceptelor de calitate pentru ingineria civilă: costurile calității proaste și beneficiile calității bune se transformă în consecințe economice numai după câțiva ani sau chiar după zeci de ani. Monitorizarea de structuri noi sau existente poate fi abordată din punct de vedere material sau structural.

- În primul caz, monitorizarea se va concentra pe proprietățile locale ale materialelor utilizate în construcție (beton, oțel, lemn) și se va observa comportamentul sub sarcini sau îmbătrânire. Dacă un număr mare de senzori sunt instalați în diferite puncte ale structurii, este posibil să se extrapoleze informații despre comportamentul întregii structuri din aceste măsurători locale.
- În abordarea structurală, structura este observată din punct de vedere geometric. Utilizând senzorii de deformare a lungimii indicatorului de nivel cu baze de măsurători de la un metru la câțiva metri, este posibil să se strângă informații despre deformarea structurii ca întreg și să se extrapoleze comportamentul global al materialelor de construcție. Abordarea de monitorizare structurală va detecta degradarea materialului precum fisurile sau fluxul numai dacă au un impact direct în forma structurii. Această abordare de obicei necesită un număr redus de senzori, când sunt comparați cu abordarea de monitorizare materială.

Senzorii de tensiune fiabili precum manometrul de tensiune rezistent sau, mai recent, rețeaua Bragg de fibre au concentrat istoric majoritatea eforturilor de cercetare în direcția monitorizării materialelor mai degrabă decât în direcția monitorizării structurale. Ultima a fost aplicată, de obicei, utilizând metode externe precum triangulația, comparatorul cu cadran și cabluri cu invar. Senzorii cu fibre optice interferometrice oferă metode interesante de implementare a monitorizării structurale cu senzori interni sau încastrați.

6.2. Structuri noi, construcție și testare. Introducerea senzorilor în viața construcțiilor (130, 131, 135)

Pentru structurile noi, faza construcției prezintă o oportunitate unică pentru a instala senzori și pentru a aduna date, care vor fi folosite pentru întreaga viață. Pentru structurile de beton este posibil să se insereze senzorii de deformare chiar în părți structurale diferite. Este posibil să se urmărească reacția de setare a betonului în fazele de expansiune și scurtare și să se acorde conformitatea materialului standardelor prescrise. În cazul structurilor construite în faze succesive, senzorii pot ajuta la optimizarea timpului dintre scurgerile de beton succesive, prin evaluarea stadiului de întărire a secțiunilor precedente. Dacă structura include elemente prestesate, tensiunea cablului și deformările asociate pot fi de asemenea monitorizate și forțele pot fi ajustate pentru a realiza forma dorită. Pentru elemente prefabricate, senzorii pot fi instalați chiar în fabrică și pot fi serviți ca test de calitate adițional pentru fiecare element separat și ca senzor de deformare pentru structura asamblată.

Problemele în construcția clădirilor vin de obicei de la fundații. Senzorul de deformare lung poate fi utilizat pentru a monitoriza aceste părți critice. Multe structuri sunt vulnerabile la agenți externi precum vântul, cutremure mici și încălzire termală, înainte de a fi terminate, sau exploatarea subterană în cazul structurilor miniere. Rețeaua senzorială de deformare poate cuantifica orice defect din structură înainte de a ajunge la configurația sa statică finală.

a. Testarea.

Multe structuri sunt testate înainte de a fi puse în funcționare. Tipic, structura este încărcată cu modele predefinite și deplasările verticale-orizontale induse sunt comparate cu cele calculate de proiectanți. Măsurătorile sunt realizate cu tehnici convenționale, precum triangulația și comparatoare cu cadran, instalate numai pentru acest test. Senzorii de deformare încastrați în suprafață pot înlocui sau suplimenta aceste măsurători și pot ajuta la compararea acestor modele de încălzire extremă cu cele care vor fi întâlnite de către structură, odată ce ajunge în funcționare. Apariția fisurilor sau altor fenomene degenerative în timpul acestor teste pot fi observate.

b. Monitorizarea in service (în- serviciu)

Odată ce structura se află în-serviciu, monitorizarea devine mai importantă, deoarece este implicată securitatea utilizatorului. Ideal, toate deformările produse de trafic, vânt și încălzire termală (raze de soare, variații de temperatură sezoniere), cât și cele specifice domeniului minier, ar trebui să fie reversibile. Cu toate acestea, toate materialele de construcție tind să se degradeze cu trecerea timpului. O degradare a materialelor clădirii de obicei are o influență asupra comportamentului static și poate fi detectat de către senzorii de deformare. Aceste măsurători pot duce la avertizări și pot previziona probleme potențiale, putând ajuta în planificarea intervențiilor de întreținere necesare. În zone seismice, una din cele mai provocatoare sarcini în monitorizarea structurală este asumarea pagubelor după cutremure, chiar și la seismele de amplitudine modestă. Structurile, de exemplu, pot rămâne inaccesibile pentru o durată mare, înainte ca siguranța lor să fie recertificată și pentru a fi redeschise utilizării. O rețea de senzori interni poate în mod evident să accelereze acest proces și să descopere pagube nedetectabile de inspecția vizuală.

c. Structuri care se învechesc: determinarea vieții reziduale

Senzorii de deformare pot fi de asemenea utilizați pentru a determina capacitatea portantă reziduală a structurii, prin observarea deformării sub solicitări termale sau mecanice cunoscute. În acest caz, ar trebui să fie posibil să se instaleze senzori pe suprafața structurii sau în interiorul șanțului ad hoc. Odată plasat, sistemul de monitorizare va urmări structura în timpul vieții sale.

d. Renovarea

Multe structuri de beton construite acum 20-50 de ani au nevoie deja de renovare datorită proceselor degenerative precum carbonarea, agresiuni chimice (săruri) corозиunea oțelului și utilizarea de materiale de construcție proaste. În mod normal, suprafața afectată a betonului este îndepărtată și se va aplica o nouă suprafață de beton sau mortar. Pentru a asigura o reparație durabilă este necesar să se garanteze o coeziune excelentă între betonul nou și vechi. Testarea materialelor este astfel

fundamentală și trebuie realizată pe mostre de beton analizate în laborator dar și cu măsurături la teren. În acest caz contracția, fisurarea și plasticitatea noului strat trebuie măsurate de către senzorii încadrați în poziții diferite între betonul vechi și suprafața celui nou. Acești senzori, odată plasați, pot servi sistemul de monitorizare pe termen lung, fără a fi nevoie să se monteze senzori pe suprafața structurii. Senzorii încadrați sunt mai bine protejați și sunt mai puțin subiecți unor perturbări externe.

e. Reciclare sau demontare

Structurile temporare sau reutilizabile au nevoie de sisteme de monitorizare eficiente pentru a determina pagubele înainte de reciclare. Când o structură a ajuns la capătul vieții și repararea devine costisitoare sau structura nu răspunde la nevoie aflate în creștere, demontarea devine necesară. Un sistem de monitorizare a deformării ajută la această fază, care poate fi la fel de delicată pentru construcția unei structuri.

f. Îmbunătățiri ale cunoștințelor

În afară de informațiile care pot fi adunate de la o structură particulară instrumentată cu o rețea de senzori, mai multe informații generale pot fi colectate și utilizate pentru a rafina cunoștințele comportamentului real ale structurilor și eventual pentru a îmbunătăți tehnicile de proiectare, construcție și de întreținere. Dacă structurile similare sunt construite succesiv, așa numita abordare proiect-prin-testare poate fi utilizată prin îmbunătățirea continuă a proiectului și verificarea consecințelor structurilor noi. Deformările măsurate pot fi inserționate într-un cadru cu feedback pentru programe de elemente finite utilizate pentru a calcula structura.

g. Structuri inteligente

Senzorii cu fibre optice sunt citați ca prima construcție cu structuri inteligente, deoarece structurile acestora sunt capabile să răspundă la stimuli externi sau interni, cu acțiuni potrivite utilizând o serie de elemente de execuție. Conceptul structurilor inteligente a fost de obicei aplicat structurilor mici, dar s-au găsit aplicații și la structurile civile.

6.3. Nevoi noi de monitorizare, înlocuirea sau îmbunătățirea instrumentației convenționale (130, 131, 135)

Noile nevoi de monitorizare din ingineria civilă pot fi subdivizate în două categorii mari:

1. Unele metode de monitorizare vechi pot fi înlocuite cu echipament modern, care răspunde mai bine la nevoile de azi.
2. Pe de altă parte, noile tehnici pot realiza măsurături în structuri cărora tradițional, le lipsesc sistemele de monitorizare adecvate.

Multe sisteme de monitorizare utilizate acum, considerate tradiționale și clasice, nu răspund cerințelor utilizatorilor. În cazul senzorilor de deformare convenționali, trecuți deja în această categorie, unele din dezavantajele menționate de specialiști includ:

1. Dificultatea utilizării, necesitând operatori specializați. Acestea sunt lente și ineficiente.
2. Măsurători automate sau izolate dificile sau imposibile.
3. Calibrarea necesară sau recalibrare.
4. Sensibilitate la temperatură, umiditate și alte variații de mediu.
5. Sensibilitate la terenurile electromagnetice produse de furtunile cu fulger, liniile de cale ferată sau liniile de curent precum și curenții vagabonzi.
6. Sensibilitate la coroziune.
7. Mărime mare.
8. Costuri operaționale mari, inclusive costurile bazei, costuri pentru premăsurări și de întreținere.

Orice sistem de monitorizare trebuie să rezolve cel puțin câteva din aceste probleme pentru a realiza înlocuirea echipamentului existent. Unele aplicații ar putea beneficia de un sistem de monitorizare nou, care să răspundă la majoritatea necesităților: geostrucurile gen tunelurile, lucrări în subteran, fundații, piloni, structuri, roci și soluri instabile toate au nevoie de monitorizare a deformării. Aceasta este realizată de obicei de senzorii electromecanici precum rockmetrii (fixați sau flexibili) sau de triangulație. În multe cazuri, un sistem insensibil la umiditate și coroziune și răspunzător de

măsurătorile izolate ar prezenta interes real. În afară de măsurătorile în situ, experimentele de laborator pe modele la scară redusă, constituie un test interesant pentru orice experiment. Aceste modele tind să fie instrumentate din greu și o precizie crescută precum și un senzor de mărime redusă sunt binevenite pentru cercetători.

6.4. Instrumentație de validare (130, 131, 135)

6.4.1. Date de bază

Unele structuri și materiale nu sunt suficient monitorizate pentru că nu există un sistem de măsurare adecvat. Unele aplicații, care ar putea beneficia de un nou sistem de monitorizare (bazat pe senzori cu fibre optice) includ:

- Monitorizarea structurilor de beton. Fiind un material omogen, măsurătorile locale și de suprafață, precum cele realizate cu manometre de tensiune electrică, nu sunt adaptate bine sau necesită un număr mare de senzori. Măsurăturile distribuite pe baze externe pot oferi mai multe informații generale despre material și statutul structurii. Senzorii interni, încastrați direct în beton în timpul construcției permit măsurături reprezentative față de senzorii instalați în suprafață.
- Monitorizarea geometrică în structuri. Multe structuri precum cladiri, turnuri, construcții speciale, gen silozuri, rezervoare etc. și altele pot fi monitorizate din punct de vedere geometric, prin măsurarea distanței dintre puncte fixate pe structură. Această abordare se concentrează pe proprietățile mecanice globale ale structurii mai degrabă decât pe comportamentul local al materialelor constituente.
- Monitorizarea cu variații mari de temperatură. Structuri precum tancuri, boilere, rezervoare sau ferme spațiale pot să sufere variații de temperatură mari și spontane. Măsurăturile deformărilor asociate este în general o sarcină dificilă din cauza sensibilității temperaturii senzorilor convenționali.
- Măsurători cu forme curbate. Senzorii tradiționali nu permit măsurarea suprafețelor curbate precum cele de la depozite gen rezervoare circulare.
- Măsurătorile altor cantități care pot fi convertite în deformări, precum forța, temperatura, umiditatea, ph-ul sau rugină.
- Experimente de laborator. Noile tipuri de măsurături permit experimente care ar fi imposibile fără acestea. Cunoștințele comportamentului real al structurilor au progresat totdeauna în paralel cu dezvoltarea senzorilor și testarea altor echipamente, inițial în laborator.

6.4.2. Senzori

Senzorul este o parte a sistemului de măsurare care este instalat în, sau pe structură și transformă deplasările într-o schimbare în dezechilibrul rutei dintre fibre. Deoarece diferite tipuri de structură și diferite materiale au nevoie de senzori specifici, acest subsistem este unul care trebuie adaptat majorităților aplicațiilor particulare. Majoritatea eforturilor au fost direcționate spre dezvoltarea de senzori fiabili pentru structurile de beton noi, dar unele teste au fost de asemenea, realizate pe structuri metalice și de lemn, precum și pe structuri existente, unde instalațiile de suprafață au fost posibile.

Senzorul trebuie să răspundă unor cerințe diferite din punct de vedere optic și al solidității mecanice și transmisiei deplasării de la structură la fibră.

- **Cerințe optice.** Senzorul trebuie să codeze deplasarea structurii într-o schimbare a dezechilibrului rutei dintre cele două brațe cu fibre ale interferometrului Michelson. Cea mai ușoară cale este obținerea utilizării uneia dintre fibre ca fibră de măsură după realizarea deplasărilor de structură.
- **Necesități mecanice.** Fibra de măsurare trebuie să fie în contact mecanic cu structura gazdă. Toate deplasările axiale trebuie transferate de la structura gazdă la fibră. Efectele de deformare

trebuie evitate deoarece scopul final al sistemului este măsurarea pe termen lung. Fibra de referință, pe de altă parte, trebuie să fie complet liberă și independentă de deformările structurii. Soliditatea pe termen lung a fibrelor trebuie să fie garantate prin evitarea oricăror friabilități induse ale fibrelor datorită microfisurilor superficiale. Învelișul fibrei trebuie înlăturat numai când este strict necesar și numai pe secțiunile de fibră care nu sunt sub tensiunea senzorului.

- **Necesitățile mediului.** Senzorul trebuie să supraviețuiască construcției și, dacă este posibil, întregii vieți a structurii. În timpul fazelor construcției, senzorul este expus la un mediu ostil și astfel trebuie să fie protejat de agenții externi. Agresiunea chimică trebuie luată în considerare deoarece betonul poate fi agresiv din cauza alcalinității înalte. Pentru a proteja fibra se tinde izolarea de mediu prin utilizarea straturilor multiple sau straturilor groase de înveliș. Aceasta are efectul secundar de a împiedica transmisia tensiunii de la structură la fibră.
- **Necesități economice.** Deoarece numărul senzorilor necesari pentru a monitoriza o structură mare precum un pod, poate fi de zeci sau chiar sute, prețul fiecărui senzor ar trebui să fie cât mai mic posibil. Este interesant de dezvoltat un sensor care poate fi ușor industrializat pentru o producție de serie la prețuri rezonabile.

6.5. Senzori cu fibre optice. Mărimi măsurabile prin metode optice (6, 23, 40, 45-50, 58-73, 81, 83, 84, 85, 101, 116, 123, 130, 131, 135, 150, 151, 158, 164, 174, 199, 211)

Cele șase forme de energie exploatabile în domeniul senzorilor, determină categoriile de mărimi măsurabile prin metode optice, după cum urmează:

- Mărimi mecanice (deplasare, rotație, forța, viteză, accelerație, efort, presiune, debit, vibrații, câmp acustic);
- Mărimi electrice (curent, tensiune, câmp electric);
- Mărimi magnetice (câmp magnetic);
- Mărimi termice (temperatură);
- Mărimi chimice (pH, specii chimice, umiditate);
- Mărimi de tip radiant (radiație optică).

Utilizarea fibrei optice în circuitele de măsură permite o importantă creștere a vitezei de lucru și a imunității la perturbații electromagnetice, precum și o izolare electrică totală între obiectul de măsură și aparatul de măsură ceea ce simplifică mult problemele de ecranare, de conectare la masă și de protecție a operatorului.

6.5.1. Clasificarea fibrelor optice

Fibra optică este **un ghid de undă dielectric cilindric**, care constă dintr-o regiune centrală numită miez care are indicele de refracție mai mare decât al materialului dielectric care înconjoară miezul și care formează cămașa fibrei. Miezul, respectiv cămașa sunt înconjurate de un înveliș cu rol de protecție împotriva forțelor exterioare și care oferă o bună rezistență mecanică. Capacitatea ghidării luminii în fibră este dependentă de proprietățile miezului și cămășii. Sunt cele mai folosite ghiduri de undă din zilele noastre. Principiul de funcționare al acestor ghiduri de undă este bazat pe reflexia totală a razelor de lumină la o suprafața de separație. Există mai multe criterii de clasificare al fibrelor optice. Ele se clasifică după materialele dielectrice folosite la realizarea lor, după indicele de refracție și după modul de transmitere a radiației luminoase .

Funcție de modul de transmitere a radiației luminoase fibrele pot fi multi-modale și mono-modale. Principalul parametru prin care se controlează numărul de moduri de ghidare a luminii este indicele de refracție.

După modul de variație al indicelui de refracție al miezului fibrele optice pot fi cu variație treaptă a indicelui de refracție (step index), cu variație graduală a indicelui de refracție (graded index). Mai există și alte configurații ale indicilor de refracții: tip W, tip V etc. întâlnite la fibrele mono-modale.

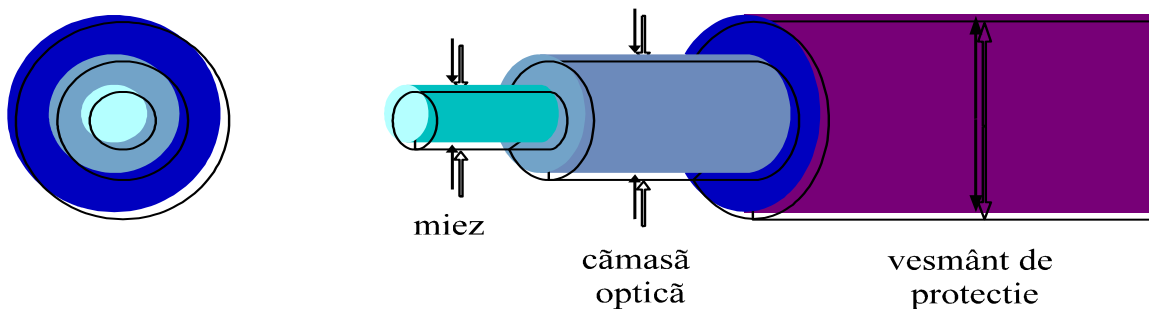


Figura 61. Structura de bază a unei fibre optice

După materialele dielectrice folosite fibrele optice pot fi: cu miezul și cămașa din sticlă (amestec în care predomină SiO_2), cu miezul din sticlă și cămașa din plastic (polimer), cu miezul și cămașa din plastic. În cazul fibrelor cu miez din sticlă, deși sticla pură are atenuarea minimă, pentru realizarea unor profile speciale ale indicelui de refracție se folosesc diverse substanțe dopante, cele mai uzuale fiind fosfor, fluor, germaniu. Pentru fibrele cu miez din plastic cel mai utilizat polimer este polimetilmetacrilatul (PMMA).

Fibrele optice au fost dezvoltate mai întâi pentru aplicații privind transmisiile pe distanțe mari. Oricum, deși la marea majoritate a senzorilor se foloseau în mod curent acest tip de fibre, în mare măsură datorită faptului că erau disponibile, această politică a dus la un compromis în design și în multe cazuri la performanțe marginale, sau chiar de neconceput datorită sensibilității excesive a mediului de transmisie. În consecință, atenția a fost îndreptată spre realizarea unor senzori cu fibre optice de construcție specială de sensibilitate mare specifică măsuranzilor.

O posibilă definiție a senzorilor este următoarea: *Senzorii sunt dispozitive care convertesc (transformă) o mărime fizică într-un semnal de tip informațional.* Dar pentru cei artificiali, semnalul informațional poate fi tip *electric, mecanic, optic*. Introducerea acestui semnal într-un echipament de prelucrare automată a datelor (cel mai cunoscut fiind calculatorul electronic) mărește, după prelucrarea specifică a datelor, valoarea de utilizare a semnalului, acesta putând fi folosit într-un *circuit de comandă, dirijare sau control*. Așa s-au născut *sistemele: de comandă, dirijare, control*. O prezentare succintă a tipurilor de senzori, a rolului lor și a echipamentelor în care se găsesc sunt prezentate în tabelul 12.

În ultimii 10-16 ani, dezvoltarea rapidă din domeniul micro-electronicii, micro-mecanicii, a opticii, a nano-tehnologiei dar și a altor domenii de nivel înalt, a condus la miniaturizarea elementelor cu senzori, precum și alocarea a mai multor funcții și elemente de prelucrare de semnal pe același suport. Dintre acestea, pot fi prezentate (celelalte fiind secrete bine păzite), următoarele realizări:

- *Matricile de senzori* - acestea sunt grupări formate din mai mulți senzori identici sau din aceeași grupă, care au același rol sau roluri similare;
- *Multisenzorii* - sunt alcătuiți din câteva elemente senzoriale, fiecare având o funcție diferită;
- *Senzori multifuncție* - este un dispozitiv care poate realiza funcții diferite în condiții diferite.

La ora actuală se consideră că există trei nivele de integrare a senzorilor în funcție de limitele de condiționare ale semnalului.

- Primul nivel este acela în care se realizează de fapt o măsurare indirectă, comparându-se permanent valoarea "*citită*" de senzor cu cea prestabilită (etalon);
- Al doilea nivel realizează amplificarea (în una sau mai multe trepte) și transformări ale semnalului de intrare;
- Al treilea nivel, care reprezintă tendința trecerii către senzorii inteligenți ("*smart sensors*") presupune folosirea microprocesorului și a memoriei artificiale pentru a realiza diferite funcții inteligente.

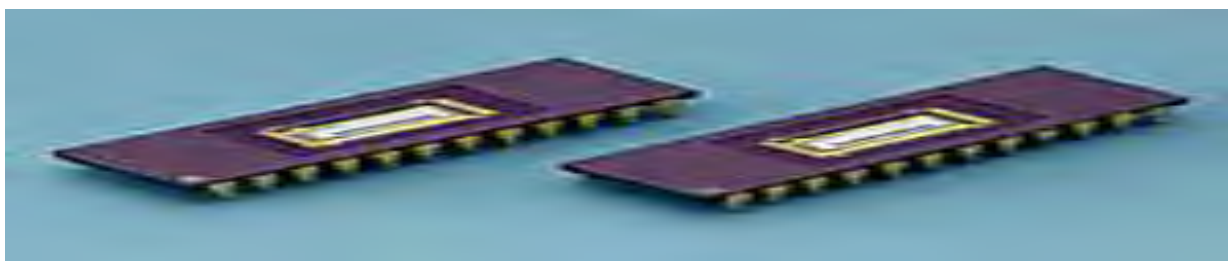


Figura 62. Senzori multifuncție

Tabelul 12.

| Tip | Rol | (Exemple de) Dispozitive și echipamente |
|--------------------|---|---|
| biologici | Măsoară unii parametri biologici (de exemplu, tipul de biomasă și concentrația acesteia). | Aparatura medicală |
| chimici | Detectează prezența unor substanțe chimice specifice sau ale unor clase de astfel de substanțe. | Senzor de oxigen, pH-metru. |
| acustici | Folosesc la măsurarea amplitudinii undei sonore, a fazei acesteia, a spectrului, a lungimii de undă etc. | Microfoanele, seismometrele, SONAR-ele folosite pe submarine pentru calcularea distanței. |
| magnetici | Măsoară mărimi de genul câmpului magnetic, a conductivității și permitivității magnetice etc. | Busolele magnetice electronice și aparatele ce se bazează pe efectul Hall |
| mecanici | Această categorie cuprinde foarte multe tipuri de mărimi ce pot fi convertite în semnal electric pentru prelucrare. (poziția, accelerația, presiunea, masa, densitatea, vâscozitatea ș.a.). | Cântarul electronic (senzor de masă), apometrele (senzori care măsoara fluxul de apă, la care, în varianta electronică, un procesor coordonează afișarea cifrelor pe un ecran sau prin intermediul unor dișiți), vitezometrul, turometrul din dotarea automobilelor. |
| termici | Determină schimbări ale temperaturii în diverse medii. | Termocuplul (un ansamblu format din două fire de metale diferite care intra în contact la un capăt, folosite la determinarea temperaturii procesorului unui PC și a plăcii de baza), termistoarele, termostatele, calorimetrele etc. |
| optici | Detectează radiația luminii și măsoară mărimile specifice acesteia: amplitudinea și faza radiației, lungimea de undă, indicele de refracție. | Fotocelulele (utilizate, spre exemplu, la aprinderea automată a farurilor atunci când lumina ambientă scade sub o anumită valoare prestabilită), senzorii CCD și CMOS (utilizați la camere digitale foto și video), senzori de imagine (folosiți din ce în ce mai mult în domeniul securității) senzorii optici de recunoaștere biometrică (forme, amprente și dimensiuni ale unor ființe). |
| de radiație | Folosesc o radiație electromagnetică emisă sau detectată pentru a evalua diverse mărimi. | Sistemul RADAR (emite o undă electromagnetică, putând determina poziția unor obiecte în spațiu în funcție de timpul și unghiul de întoarcere al undei reflectate de respectivul obiect). |

Pe viitor se întrevăd mai multe cerințe de la senzori; noi standarde de calitate privind fiabilitatea, costuri scăzute de fabricație, compatibilitate mărită cu circuitele integrate și cu tehnologiile de fabricație existente, și bineînțeles compatibilitate completă cu microprocesoarele, adică semnalul furnizat de senzori să fie în format digital, pentru că, microprocesoarele „se simt bine”

cu acest tip de semnal, pe care „știi” să-l prelucreze în moduri din ce în ce mai avansate în ceea ce privește cantitatea, viteza și precizia (a se vedea evoluția calculatoarelor electronice).

Unul din programele în derulare este *Intel Mote* (Intel-gigantul din industria de microprocesoare) care reprezintă un proiect amplu care are ca obiectiv strategic, putem spune, construirea unei generații îmbunătățite a tehnologiei numite "mote", dezvoltată inițial prin eforturile *Universității Berkeley (S.U.A.)* și a laboratorului *Intel Research Berkeley*. Mote-urile sunt calculatoare mici, încapsulate (nu ai acces în interior), alimentate cu baterii și cu legături radio, care le permit să comunice și să schimbe date între ele. Au, de asemenea (*asta-i culmea!*), capacitatea de a se autoorganiza în rețele ad-hoc. Mote-urile stau la baza rețelilor wireless (*fără fire*) de senzori. Noua *construcție-evoluție* va avea un design modular, atât hardware, cât și software, pentru a asigura legătura cu dezvoltările ulterioare din domeniu. Aceste rețele au fost deja instalate și testate pe un număr mare de aplicații, cum ar fi managementul agriculturii, monitorizarea structurilor și a cutremurelor, controlul industrial și, fără doar și poate, în domeniul militar. Domeniile care sunt vizate pe viitor includ transporturile, serviciile de urgență (pompieri, poliție, salvare), automatizarea controlului tuturor echipamentelor și instalațiilor din locuințe și chiar (n-au fost uitați copiii) jocurile, care, vor deveni astfel, interactive.

Un alt program este *Reconfigurable Aperture Program (RECAP)* care are ca obiectiv principal creșterea lățimii de bandă a unei antene, adică creșterea numărului de canale de transmisie a diferitelor tipuri de informații, a cantității de informație transmisă pe fiecare canal și a vitezei acestei transmisii. Altfel spus, mai multe canale TV pentru aceeași antenă, viteze mai mari pentru imagini, video, multimedia în rețele telefonice sau Internet.

Putem spune că, pe viitor, va fi mult mai greu să ne situăm (fizic vorbind) în afara sferei de acțiune a vreunui senzor, și dacă ar fi numai unul, faptul că transmite wireless către alți senzori, devine *science-fiction*-ul zilelor noastre.

6.5.2. Clasificarea senzorilor cu fibre optice

În domeniul senzorilor cu fibre optice există, în momentul de față, o cantitate mare de informații, deoarece acest domeniu a căpătat o extindere mare. Descoperirile s-au făcut necoordonat, iar rezultatul acestui proces este un mozaic de soluții de senzori cu fibre optice din cele mai diverse, pentru aplicații la fel de diverse. Sistematizarea domeniului este în momentul de față o necesitate. Definirea unor criterii de clasificare semnificative pentru toate categoriile de specialiști ce au legătură cu domeniul senzorilor cu fibre optice poate ajuta la dezvoltarea mai rapidă a acestuia. Clasificarea senzorilor cu fibre optice se face:

În funcție de locul unde are loc procesul de interacțiune dintre mărimea de măsurat și radiația optică:

- senzori intrinseci, la care interacțiunea are loc în fibră;
- senzori extrinseci, la care interacțiunea are loc în afara fibrei;
- senzori evanescenti, la care interacțiunea are loc în proximitatea miezului fibrei.

În funcție de parametrii radiației optice modulate:

- senzori cu fibre optice cu modulare în amplitudine (intensitate);
- senzori cu fibre optice cu modulare în fază (senzori interferometrici);
- senzori cu fibre optice cu modulare în frecvență (culoare);
- senzori cu fibre optice cu modularea stării de polarizare.

Deși majoritatea covârșitoare a senzorilor sunt de tip parametric la nivelul secțiunii optice, există și soluții de senzori cu fibre optice de tip generator, care funcționează pe baza radiației corpului negru. Localizarea interacțiunii dintre mărimea de măsurat și radiația optică este un criteriu de clasificare a senzorilor cu fibre optice cu caracter tehnologic devenit clasic și va fi menținut în continuare, cu mici completări. O definiție riguroasă a acestor categorii se poate face pe baza soluțiilor ecuațiilor de propagare a luminii în zona activă a senzorului. Există o categorie de senzori cu fibre optice intrinseci

la care mărimea de măsurat nu interacționează direct cu radiația optică. În acest caz are loc o transformare intermediară a mărimii de intrare într-o mărime mecanică (presiune, deplasare etc).

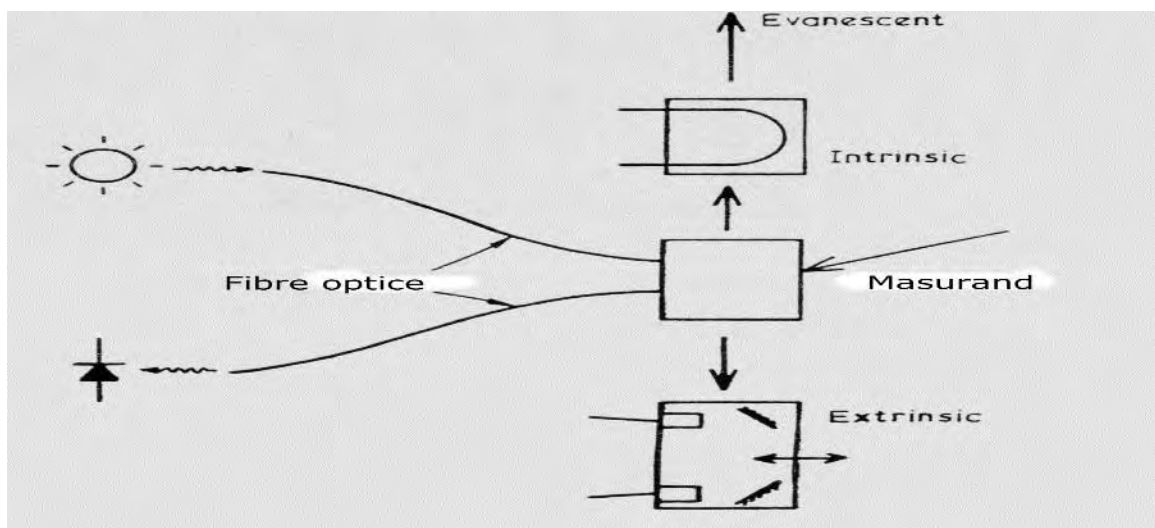


Figura 63. Diagramă schematică a senzorilor cu fibre optice

Se definesc două categorii de astfel de senzori:

- senzori intrinseci direcți- mărimea de măsurat interacționează direct cu lumina;
- senzori intrinseci indirecti - mărimea de măsurat suferă o transformare intermediară.

În funcție de felul în care are loc modularea luminii senzorii intrinseci pot fi:

- cu modularea fazei (senzorii interferometrici);
- cu modularea polarizării (senzorii polarimetrici).

În marea majoritate a cazurilor senzorii intrinseci sunt realizați cu fibre optice monomodale. Avantajul utilizării fibrelor monomodale este acela că sunt potrivite pentru realizarea de configurații cu sensibilități și precizii ridicate. Mărimile care se pot măsura cu ajutorul acestor senzori sunt:

- mărimi electrice (curent, tensiune, câmp electric);
- mărimi magnetice (câmp magnetic);
- mărimi termice (temperatură);
- mărimi mecanice (rotație, effort, deplasare);
- mărimi chimice.

Efectele care stau la baza senzorilor intrinseci cu fibre optice sunt:

- efectul Faraday (senzori de curent, de câmp magnetic);
- efectul Sagnac (giroscoape);
- birefrința reciprocă datorată deformărilor elastice ale fibrei, care poate crește odată cu aplicarea unei forțe directe, a unei creșteri de temperatură (efectul magnetostrictiv).

Mulți dintre senzorii intrinseci sunt încă în faza de cercetare, în laborator sau prototipuri. Echipamentele disponibile comercial, cele mai răspândite sunt giroscoapele cu fibre optice. Senzorii de curent cu fibre optice sunt o alternativă viabilă la transformatoarele de curent tradiționale pe liniile de înaltă tensiune. Și senzorii pentru măsurarea presiunii, temperaturii, eforturilor sunt competitivi cu senzorii tradiționali.

Piața senzorilor intrinseci se va dezvolta și va crește odată cu exploatarea proprietăților specifice fibrelor optice, ca imunitatea electromagnetică, extinderea lărgimii de bandă, realizarea de rețele cu senzori integrați. Aceasta presupune studierea tehnicilor de multiplexare corespunzătoare și a arhitecturii rețelelor pentru realizarea unui set complet de echipamente pentru măsurarea unor mărimi fizice în aplicații tipice (construcția de mașini, distribuția energiei electrice).

6.5.3. Fenomene fizice întâlnite la senzorii cu fibre optice

Senzorii cu fibre optice utilizează pentru modularea semnalelor optice diferite fenomene fizice. Dacă asupra unui fascicul luminos emis de o sursă optică acționează o mărime de măsurat (direct sau indirect) acesta își modifică proprietățile. În continuare se vor prezenta câteva dintre aceste fenomene.

a. Reflexia

Aproape toți senzorii cu fibre optice funcționează pe baza reflexiei unui fascicul de lumină la interfața dintre fibra optică și zona activă a acesteia. Ea poate fi normală (care apare la suprafața de separație dintre fibra optică și zona activă a sensorului) și difuză (atunci când lumina penetrează parțial mediul activ al sensorului și este parțial reflectată în urma fenomenului de împrăștiere). Reflexia difuză trebuie să fie cea mai puternică pentru a se obține sensibilități cât mai bune.

b. Absorbția

Modificarea intensității luminoase prin absorbție este determinată de numărul și concentrația speciilor absorbante din drumul optic (legea Lambert-Beer).

$$I = I_0 \cdot 10^{-\alpha x} \quad (75)$$
$$A = \lg(I_0 / I) = \lg(T) = \alpha \cdot x$$

unde:

I_0, I – intensitatea fluxului luminos incident și modulat;

T - transmitanța;

x – lungimea drumului optic și α - coeficientul de absorbție al substanței absorbante.

c. Luminiscenta

Acest fenomen se bazează pe faptul că atomii sau moleculele care absorb energia unor fotoni trec într-o stare excitată. Aceste specii prezintă un timp de viață scurt, eliberând energii pe diverse căi, și anume: relaxare prin conversie internă, relaxare prin ciocniri, prin conversie încrucișată, relaxare prin luminiscentă. Se cunosc două tipuri de luminiscentă: fluorescența (are un timp de viață de $1 \div 100$ ns) și fosforescența (persistă după un timp de $1 \div 1000$ ns, când sursa de excitare dispare).

d. Împrăștierea

Împrăștierea luminii nu implică o tranziție de energie între nivele energetice ale atomilor și ale moleculelor, ca în cazul absorbției și luminiscentei. Ea implică o redistribuție și chiar o modificare aleatoare a direcției fluxului luminos.

e. Birefringența

Indicele de refracție n este unul dintre cei mai importanți parametri care caracterizează fibrele optice. În general se consideră că indicele de refracție are o valoare constantă pentru un material dat (materialul izotrop). În realitate, indicele de refracție este o mărime tensorială, ceea ce înseamnă că, teoretic, toate mediile optice pot fi birefringente. Aceasta înseamnă că propagarea luminii într-o fibră optică, este dependentă de direcția de propagare. Birefringența poate fi intrinsecă sau indusă din exterior. În cazul în care acest fenomen este utilizat pentru realizarea unor senzori intrinseci, fibrele optice trebuie să prezinte o birefringență intrinsecă cât mai redusă. Birefringența poate fi, de asemenea, liniară, circulară sau eliptică.

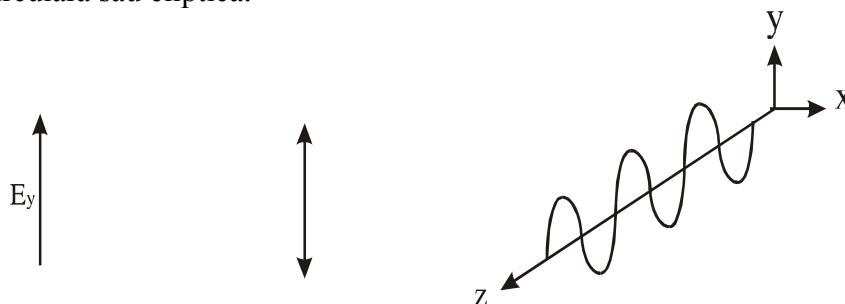


Figura 64. Starea de polarizare liniară a undelor luminoase

Dacă există însă două componente perpendiculare (două unde) de aceeași amplitudine defazate cu 90° , unda rezultată este o undă luminoasă circular polarizată. Starea de polarizare circulară - se caracterizează printr-un sens de rotație al vectorului de câmp electric (sens orar).

f. Câmpul evanescent

Existența câmpului evanescent este strâns legată de fenomenul de reflexie internă totală. Astfel, când o rază de lumină cade pe suprafața de separație dintre două medii cu indicii de refracție diferiți, pentru un unghi de incidență mai mare decât unghiul critic, toată lumina este reflectată. Prin interacțiunea dintre fluxul luminos incident cu cel reflectat, apare o undă de interferență la suprafața de separație.

g. Efectul electro-optic

Dacă este aplicat un câmp electric pe un cristal optic, rezultă o modificare a valorii indicelui de refracție a acestuia. Un model matematic care descrie acest fenomen este următorul:

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right) = \alpha_{ij} \cdot E + \beta_{ij} \cdot E^2 \quad (76)$$

unde α_{ij} și β_{ij} reprezintă coeficienții de ordinul unu, respectiv doi, ai intensității câmpului electric. Indicii i și j sunt indicii tensorului, valorile acestuia modificându-se odată cu orientarea cristalului.

h. Efectul fotoelastic

Dacă aplicăm o tensiune mecanică asupra unui cristal pe o direcție perpendiculară pe direcția de propagare a unei unde luminoase care trece prin el aceasta va provoca o creștere a permitivității electrice relative a cristalului, ϵ_r , (de-a lungul direcției pe care este aplicată solicitarea mecanică). În materialele anizotropice, acest efect devine direcțional, provocând birefrință în cristal.

Modificarea indicelui de refracție, în acest caz, este dat de relația:

$$\Delta n = \frac{n^3 \cdot p}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot I_a}{\rho \cdot v_s^3}} \quad (77)$$

unde:

p - constanta foto-elastică;

ρ - densitatea;

v_s - viteza sunetului prin material;

I_a - intensitatea presiunii acustice;

n - valoarea inițială a indicelui de refracție.

i. Efectul magneto-optic

Prezența câmpului magnetic în unele materiale poate afecta proprietățile optice ale acestora. Un exemplu simplu este efectul Faraday care poate fi utilizat pentru realizarea unui modulator extern într-un sistem cu fibre optice. În această situație, planul de polarizare se va roti cu un unghi proporțional cu intensitatea câmpului magnetic aplicat paralel cu direcția de propagare a unei luminoase. Sensul de rotație al planului de polarizare este independent de direcția de propagare a luminii, astfel încât unghiul de rotație poate fi dublat prin reflexia fasciculului incident în dispozitivul Faraday. Factorul de proporționalitate se numește constantă Verdet.

6.6. Monitorizarea statică și dinamică a structurilor combinată cu senzori din fibră optică (6, 45-50, 58-73, 84, 130, 131, 135, 174, 175, 199, 211)

Sistemul de măsură SOFO (acronim francezesc pentru Surveillance d'Ouvreages par Fibre Optique sau Monitorizarea structurală cu fibre optice) este bazat pe interferometrie. Acest sistem include o unitate de citire controlată de calculator, impermeabilă, portabilă precum și un număr de senzori adaptați la structuri diferite și materiale precum: beton, metal, lemn sau alte structuri mixte, lucrări subterane, cabluri de precomprimare și materiale de construcție noi. Mai mult, tehnicile diferite cu utilizare multiplă au fost dezvoltate și testate pentru a măsura numărul mare de senzori fără

asistența operatorului. Acest instrument a fost dezvoltat în special pentru a măsura deformările mici pe perioade de până la câțiva ani și au fost testate cu succes pe un număr de structuri inclusiv structuri, tuneluri, baraje și modele de laborator. Senzorii SOFO sunt utilizați de 10 ani în monitorizarea structurilor civile, geotehnice, petroliere și de combustibili, dar nu numai. Mai mult de 5600 de sisteme bazate pe senzori au fost instalate în întreaga lume într-o serie de tipuri de structuri. Sistemul original de demodulație se bazează pe o interferometrie de joasă coerență și este în special recomandată pentru monitorizarea deformărilor statice de lungă durată. Se expune, în continuare, desfășurarea și testarea unui nou sistem de detectare bazat pe Rețeaua de Fibre Bragg care permite o monitorizare a reacțiilor statice și dinamice ale structurilor. Sistemul nu este sensibil la variațiile de temperatură, anomaliile electromagnetice (liniile de current electric, fulgere) dovedind o stabilitate și durabilitate pe termen lung. De altfel, fiecare senzor conține un indicator termic util în evaluarea parametrilor ambienți.

6.6.1. Introducere

Creșterea rapidă a cererii de tehnici pentru monitorizarea sănătății structurilor a pus accent, în întreaga lume, pe senzorii din fibra optică considerați a furniza o soluție eficientă în problemele de măsurare. Progresele recente în tehnologia de măsurare au demonstrat că senzorii din fibră optică sunt adecvați pentru monitorizarea structurilor civile la scară mare. În urma instalării senzorilor în cadrul structurilor, este posibilă monitorizarea parametrilor principali cum ar fi deformările, temperaturile, valorile pH și concentrațiile de gaz. Este de așteptat ca senzorii din fibră optică să devină un sistem de referință în măsurare, dedicat monitorizării stării infrastructurilor din întreaga lume. În pofida acestui potențial imens, dezvoltările actuale sunt încă departe de a funcționa la capacitatea maximă oferită de tehnologia senzorilor din fibră optică în cadrul procesului de monitorizare a structurilor. În acest context, dezvoltarea unui sistem de senzori din fibră optică de lungă măsură, cunoscut sub numele de SOFO, abordat în acest capitol, poate fi considerată o realizare semnificativă în domeniul monitorizării deformării structurale din cadrul tehnologiei structurilor civile. Sistemul are capacitatea de a monitoriza structurile pe parcursul unor perioade semnificative de timp și a fost inclus sau montat cu succes într-o varietate de materiale precum beton, oțel și mortar. Senzorii au o capacitate de măsurare de până la 20 de metri identificând deformații de până la 1 % în alungire și 0.6% în scurtare/micșorare. În cazul multor structuri civile, răspunsul de frecvență înaltă și lungă măsurare al sistemului SOFO nu este întotdeauna necesar, dar este benefică îmbinarea măsurătorilor deformațiilor statice și dinamice precum și cele termice folosind o singură unitate de demodulație. Utilizarea senzorilor bazați pe rețeaua de fibre Bragg oferă o soluție eficientă în aceste cazuri.

6.6.2. Senzori bazați pe rețeaua de fibre Bragg (199, 211)

MuST se constituie a fi un sistem complet de monitorizare bazat pe o rețea de senzori Bragg din fibră care include toate componentele, de la senzori la colectarea unităților de date și la software.

a. Descrierea sistemului

Sistemul MuST este compus din alte 5 sub-sisteme:

- Senzori de tensiune, deformație și/sau temperatură
- Unitate de citire pentru demodulația senzorului
- Software pentru colectare de date, gestionare și analiză.

b. Senzorii de deformație

Senzorii de deformație FBG sunt traductori care transformă variația de distanță statică sau dinamică într-o schimbare în lungimea de undă reflectată a unei rețele de fibre Bragg precomprimată care poate fi măsurată cu ajutorul unităților de citire EBG SMARTEC.

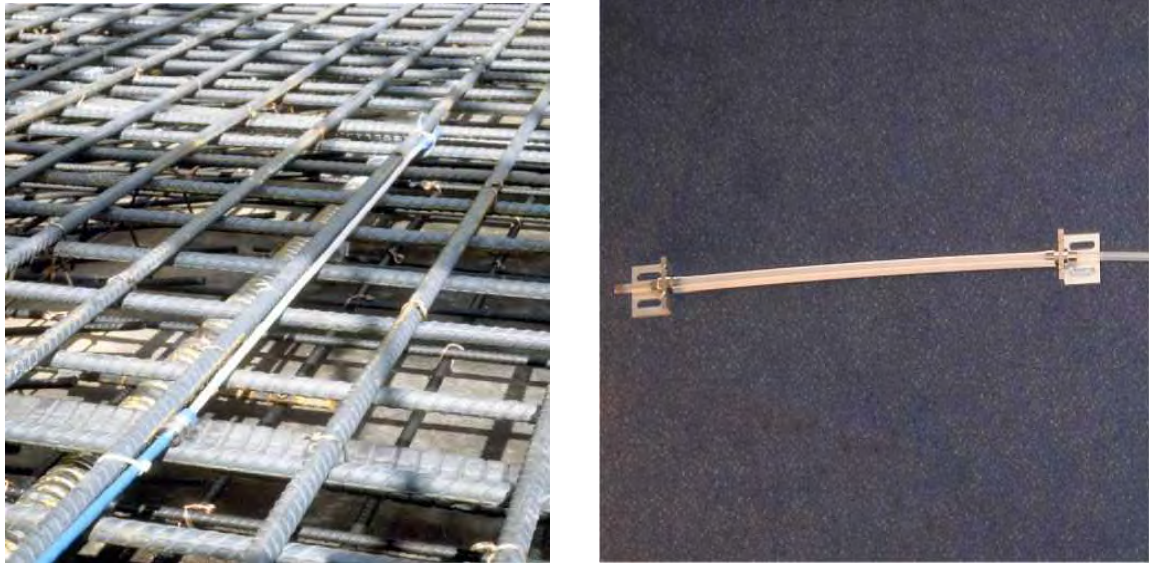


Figura 65. Montaje ale senzorilor de deformare MuST (199, 211)

Senzorul este alcătuit din componente active și pasive. Componenta activă conține măsurarea fibrei și măsoară deformările dintre capetele sale, transformând-o într-un schimb de lungime de undă a rețelei de fibre Bragg. Componenta pasivă nu este sensibilă la deformări fiind utilizată pentru a conecta senzorul de unitatea de citire. În zona pasivă a senzorului se poate instala o rețea liberă de fibre Bragg pentru detectarea temperaturii și compensației.

Senzorii sunt disponibili în configurația cu un singur capăt, cu 2 capete sau în lanț. Este posibilă conectarea a până la 6 senzori complet dotați (4 având compensație de temperatură): Lungimea zonei active (baza de măsurare) 0.26 la 2m, Lungimea zonei pasive (cablul conector) 1.4 m la 60 m, Temperatura de funcționare -40°C la $+80^{\circ}\text{C}$.

c. Senzorii de temperatură

Șirul de senzori de Temperatură FBG este un șir cu mai multe puncte de măsurare creat tocmai pentru a putea face posibilă măsurarea temperaturii în diferite locații de-a lungul unui singur cablu. Elementele sensibile sunt rețelele de fibre Bragg care transformă schimbările de temperatură într-o modificare în cadrul lungimii de undă reflectată dintr-o rețea de fibre Bragg. Senzorul este compus dintr-un cablu armat conținând între 1 și 4 fibre optice. Fiecare fibră poate conține până la 26 de puncte de măsurare permițând astfel un total maxim de 100 de puncte de măsurare. Toți senzorii sunt măsurați simultan în timp real (timp de răspuns cca 1 sec.).

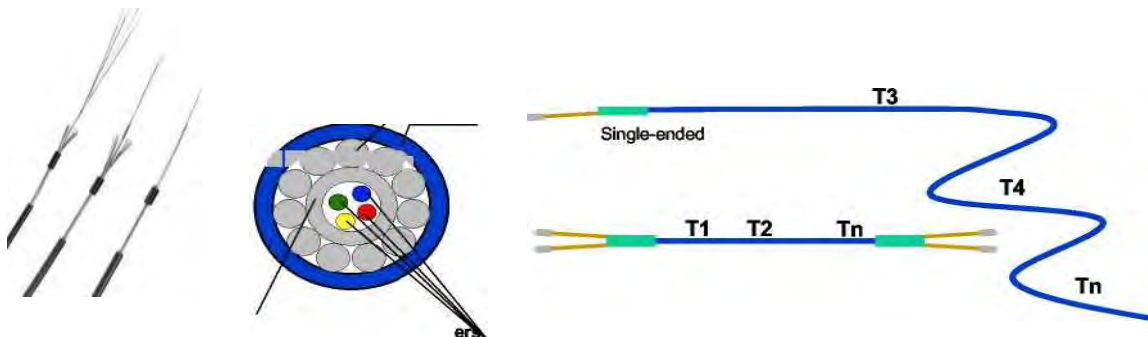


Figura 66. Design-ul senzorilor de temperatură MuST. Fibrele de măsurare sunt capsulate într-un cablu armat (199, 211)

Performanțele cablurilor de măsurare a temperaturii MuST sunt sumarizate în tabelul 13.

Tabelul 13. (199, 211)

| | Cablu pentru temperatură normală | Cablu pentru temperaturi înalte | Cablu pentru detectarea incendiilor |
|---|--|---|---|
| Componente | Tip unic de fibre optice cu senzori FBG, tub liber din oțel inoxidabil și armătura din oțel inoxidabil Opțiune: peliculă poliamidică (PA) | Tip unic de fibre optice cu tub liber din oțel inoxidabil și armătura din oțel inoxidabil | Tip unic de fibre optice cu tub liber din oțel inoxidabil și armătura din oțel inoxidabil și peliculă pentru încetinirea flăcărilor, anticorozivă (FRNC) sheath |
| Domeniul temperaturii pentru cablurile de sesizare | -66°C la +86°C pe lungă durată -66°C la +160°C pe scurtă durată -60°C la +86°C depozitare | -66°C la +500°C pt. lungă durată -6°C la +60°C instalare -66°C la +500°C depozitare | -40°C la +70°C Pt. lungă durată -66°C la +500°C pt. lungă durată cu degradare a peliculei FRNC -6°C la +60°C Instalare -40°C la +70°C |
| Configurația FBG | Până la 26 de rețele per fibră, înlănțuite | Până la 26 rețele per fibră, înlănțuite | Până la 26 rețele per fibră, înlănțuite |
| Rezoluția temperaturii | 0.02 °C / 0.2 °C | 0.02 °C / 0.2 °C | 0.02 °C / 0.2 °C |
| Numărul de fibre | 4 | 4 | 4 |
| Distanța FBG | 260 mm la 60 m | 260 mm la 60 m | 260 mm la 60 m |
| Lungimi de undă pt. senzori | 1621 la 1669 în 2 nm pași | 1621 la 1669 în 2 nm pași | 1621 la 1669 în 2 nm pași |
| Diametrul cablului | 2.2 mm fără peliculă 5.8 mm cu peliculă PA | 5.6 mm | 6.6 mm |
| Greutatea cablului | 17 kg/km fără peliculă 22 kg/km cu peliculă PA | 56 kg/km | 68 kg/km |
| Raza minimă de încovoiere | 56 mm fără limită de rupere 66 mm cu limită de rupere | 70 mm fără limită de rupere 90 mm cu limită de rupere | 110 mm fără limită de rupere 140 mm cu limită de rupere |
| Rezistență maximă de rupere la tensiune la 20°C | 1100 N pe durată lungă 1600N pe durată scurtă | 2600 N pe durată lungă 5600 N pe durată scurtă | 2600 N pe durată lungă 5600 N pe durată scurtă |
| Presiune hidrostatică maximă | | 16x10 ⁷ Pa (1600 bari) | |

d. Sistemul de măsurare

Unitatea de Citire MuST (Sistemul de Monitorizare Multiplexat al Deformațiilor și a Temperaturii) este un demulator de rețea din fibre Bragg bazat pe motorul Micron Optics și integrat într-o carcasă de oțel rezistentă la condițiile de climă creat pentru instalare permanentă în orice structură care necesită monitorizare continuă. Unitatea de Citire MuST permite măsurarea simultană a până la 4 șiruri de senzori cu până la 128 de senzori per șir (există anumite restricții în funcție de tipul sensorului și domeniile de măsurare). Utilizând un întrerupător integrat opțional, este posibilă monitorizarea secvențială a până la 16 șiruri de senzori (4 cu 4).



Figura 67. Sistemul de Măsurare MuST pentru instalare permanentă pe teren (199, 211)

Unitatea de Citire MuST a fost creată pentru instalare de suprafață satisfăcând cereri specifice de proiect. Carcasa/Exteriorul FBG asigură impermeabilitate (IP 66), protecție prin prezența unei închizători cu lacăt. Software-ul permite medierea a până la 10000 de probe pentru a crește rezoluția. Datele sunt transmise către PC-ul care operează cu software-ul SOFO SDB printr-o conexiune standard Ethernet. Connexiunea la distanță este posibilă prin modem sau LAN wireless. Principalele caracteristici ale Unității de Citire MuST sunt sumarizate în tabelul 14:

Tabelul 14. (199, 211)

| | |
|--------------------------------|--|
| Rezoluția măsurare | de 0.2 pm, corespunde la aproximativ 0.2 μ E and 0.02 $^{\circ}$ C |
| Repetabilitate | 2 pm, corespunde la aproximativ 2 μ E and 0.2 $^{\circ}$ C |
| Domeniul lungimii de undă | 1620 la 1670 nm |
| Numărul de senzori FBG | maxim 52 per canal (64, 128 optional) |
| Numerotarea disponibilă canale | 1, 2 or 4 pentru măsurări paralele simultane 8 sau 16 pentru măsurări secvențiale |
| Domeniul energie dinamică | de 16 dB (26 dB optional) |
| Frecvență măsurare | de 60 Hz, 100 Hz or 260 Hz pentru canale simultane, uzul întrerupătoarelor secvențiale reduce rata de colectare. |
| Sursa alimentare AC | de 250 V 60 Hz /110 V 60 Hz Auto detect |
| Sursa alimentare DC | de 24VDC |
| Legături externe | Ethernet RJ46 conexiune de date, 1, 2, 4, 8 or 16 porturi optice, sursă de |
| Dimensiuni | ~ 600 mm x 600 mm x 210 mm |
| Greutate | ~26 kg |
| Temperatură/ | -20 $^{\circ}$ C to 40 $^{\circ}$ C (cu opțiune de încălzire) / 90% fără condens |

e. Software-ul (199, 211)

Software-ul SOFO SDB este parte integrală a programelor de monitorizare SMARTEC. Este complet compatibil cu toate sistemele de monitorizare SMARTEC și este în special creat pentru colectare de date, reprezentare de date și pentru controlul Unității de Citire SOFO, MuST, SOFO Dynamic, întrerupătoarele optice SOFO și alte aparate de colectare de date. SOFO SDB este folosit și pentru a stoca și gestiona date în forma bazei de date. Figura 6.8, prezintă un exemplu de reprezentare de date obținute cu ajutorul pachetului software SDB.



Figura 68. SDB Software de imagine pentru vizualizare de date (199, 211)

6.6.5. Exemplu de aplicație: caracterizarea solurilor care susțin diferite structuri

Cercetătorii din cadrul Universității California (UCLA) operează cu Departamentul de Transport din California (CALTRANS) pentru a studia cum sunt transferate sarcinile laterale din soluri în structurile de fier-beton în timpul unui cutremur. Solurile sunt în mod natural modelate ca o rețea de arcuri individuale, necuplate. Dar aceste modele nu reprezintă un mijloc suficient pentru a prezice cum, când și unde ar putea ceda structura într-un cutremur sau a unei prăbușiri subterane. Principala premiză ia în considerare faptul că betonul se îndoaie, astfel inginerii pot deduce cum acționează solurile asupra structurii. În acest caz, este măsurată deformația, din aceasta se calculează unghiul de curbură care la rândul său indică constantele de arcuire ale solurilor. Puțul de testare formează în cele din urmă o articulație unde betonul atinge o deformație critică. Sensorii electrics (traductori de variație liniară variabilă (LVDT)) sunt atașați vergelelor de armătură în structură. Dar această întărire tinde să alunece pe ciment când se produce fisura. Sensorii FBG sunt incluși în structură pentru a măsura cu exactitate deformația din beton chiar și după ce a început deformarea plastică a întăririi. Sensorii FBG, păstrați într-o carcasă special creată de SMARTEC sunt suspendați în poziție în timp ce betonul este turnat în jurul lor (199, 211).



Figura 69. Exemplu de aplicație: caracterizarea solurilor care susțin structuri de poduri (199, 211)

Rezultatele primului test (figura 69) încă se află în curs de dezvoltare în timp ce se execută analize statistice asupra datelor obținute. Inspecția vizuală a senzorilor FBG și revizuirea inițială a datelor arată că senzorii optici și-au îndeplinit sarcina. Primele rezultate sunt destul de încurajatoare pentru realizarea unui al doilea test, cu mai mulți senzori de această dată.

Concluzii

Monitorizarea structurilor noi și a celor existente deja este unul dintre principalele instrumente pentru o gestionare modernă și eficientă a rețelei de infrastructură. Senzorii reprezintă primul element al lanțului de monitorizare și sunt responsabili pentru precizia și siguranța datelor. Progresul tehnologiei de citire poate fi așadar asigurat de măsurări mai exacte, dar și de sisteme care beneficiază de instalare, uz și întreținere mai facile. În ultimii ani, senzorii din fibră optică au reprezentat primii pași în monitorizarea structurală, în special în ingineria civilă. Au apărut și alte tehnologii de sesizare, dar puține au reușit să evolueze în produse comerciale. Această lucrare a prezentat un sistem complet bazat pe rețeaua de senzori din fibră Bragg, util pentru monitorizarea statică și dinamică a structurilor civile. Senzorii pot fi incluși sau montați pe structuri noi sau deja existente. Unitatea de citire poate executa atât măsurări statice, de lungă durată cât și analize dinamice cu până la o frecvență de 260 Hz. În final, software-ul permite gestiunea și publicarea datelor rezultate. Exemplul aplicației prezentate demonstrează cum sistemul MuST poate fi utilizat în mod eficient pentru a monitoriza structuri masive din beton și a studia interacțiunea acestora cu solul în situații de cutremur.

6.7. Detectarea inteligentă cu fibre optice (199, 211)

6.7.1. Detectarea inteligentă, domeniu al metrologiei optice

Deși conceptele din spatele detectării inteligente nu sunt legate neapărat de metodele optice, detectarea este de obicei implementată în conjuncție cu senzorii cu fibre optice. Detectarea inteligentă este de asemenea legată de monitorizarea structurală și este considerată în mod normal prima construcție de structură mică, celelalte fiind procesare și acționare. Acest domeniu este atât de tânăr încât comunitatea structurilor inteligente trebuie încă să găsească o definiție general acceptată a termenului de detectare inteligentă. Să ne imaginăm o structură artificială precum un pod, o aripă de avion sau o stație spațială, această structură fiind sensibilizată, prin introducerea instalațiilor senzoriale adecvate, ar putea stabili forma sa și poziția în spațiu, ar putea analiza statutul stresului, ar alarma dacă unele părți structurale sunt încărcate excesiv și ar înregistra istoria modelelor și intensităților încărcăturilor. Aceste măsurători s-ar putea extinde de la fabricarea și asamblarea structurii, prin viața sa și chiar până la dezasamblare sau reciclare. Detectarea inteligentă poate fi văzută ca o combinație de tehnologii (senzori, transportori de informații, procesori de informații, interfațe) permițând realizarea de structuri sensibile. Combinând aceste capacități de detectare cu o serie de elemente de acționare ad-hoc, ar putea fi posibil să se creeze o structură cu autoreparare, cu control al formei sau capacitate de amortizare a vibrațiilor structurii inteligente. Structurile cu cel puțin câteva din aceste capacități există deja (avioanele moderne, unele baraje, zgârie norii cu amortizor activ sau centrale termo-electrice, atomo-electrice) dar noile aplicații apar doar acum la orizont.

6.7.2. Detectarea inteligentă cu fibre optice

Senzorii utilizați pentru a monitoriza parametrii diferiți necesari pentru a cuantifica statutul unei structuri date, ar putea fi de orice tip. Cu toate acestea, senzorii cu fibre optice (FOS) sunt alegerea corespunzătoare pentru acest fel de aplicație. Cel mai important avantaj al FOS rezidă din natura sa pasivă. Toate instrumentele electronice pot fi delimitate în unitatea de citire, în timp ce senzorii care sunt instalați în structură sunt elemente pasive electrice. Natura dielectrică a fibrelor optice asigură un grad mare de imunitate la perturbările externe precum curenții electromagnetici și cei paraziți. Un echivalent la sensorul electromagnetic ar necesita un blindaj gros pentru a realiza aceeași performanță și aceasta ar duce la creșterea în mărime și cost. FOS sunt foarte mici și o serie

de senzori pot fi multiplexați pe aceeași linie de fibră multumită enormei lățimi de bandă a fibrelor optice. Mai mult, fibrele de silica sunt inactive chimic și astfel pot fi încastrate (cu o acoperire potrivită) în majoritatea materialelor care include composite, beton, mortar și agregate de lemn, fără a altera semnificativ proprietățile mecanice. În final, FOS se bazează cel mai mult pe telecomunicații standard și componente fotonice, care au prețuri care scad în continuu, multumită dezvoltărilor conduse de piețele respective. Toate aceste caracteristici duc la serii de senzori fiabili, mici și ieftini care pot fi încastrați în orice structură de o anumită importanță. Este interesant să menționăm faptul că fibrele optice utilizate în arhitectura cu detectoare inteligente sunt în același timp senzorii și transportorii de informații. Aceasta simplifică realizarea unei serii de senzori. Din aceste motive, FOS sunt prima alegere pentru tehnologia senzorială pentru realizarea unui sistem de detectare inteligentă. Alte tehnologii precum senzorii electrici și electromecanici (de forță, poziție, unghi, accelerare, temperatură) sau sistemele speciale precum G.N.S.S. pot fi utilizate adițional cu FOS pentru a transporta informații suplimentare despre structură și mediul său înconjurător.

6.7.3. Sub sisteme de detectare inteligentă

Orice sistem de detectare inteligentă poate fi subdivizat în cinci subsisteme principale: senzorii, transportorii de informații, unitățile de citire, unitatea de procesare și interfața externă.

- Subsistemul senzorial include FOS și alte părți adiționale care sunt necesare în instalarea lor într-o structură gazdă. Aceasta include învelișul de fibre, protecția adițională, țevi, puncte de atașament, adeziv etc. Funcția subsistemelor senzoriale este de a transforma cantitatea care trebuie măsurată (tensiune, poziție, temperatură, compoziție chimică) într-o variație a radiației condusă de fibra optică (intensitate transmisă sau reflectată, lungime de undă, fază sau polarizare). Senzorul ar trebui să fie insensibil la schimbările mediului, altele decât cele pe care trebuie să le măsoare.
- Subsistemul sensorului este cel care depinde cel mai mult de aplicațiile particulare și trebuie să fie acordat la fiecare material sau tip de structură.

Subsistemul transportor de informații face legătura între senzori și unitatea de citire. Legătura optică este de obicei o fibră care nu alterează informația codată de sensor. Aceste fibre trebuie să fie protejate de agenții externi care ar putea afecta proprietățile de transmisie sau să le dăuneze mecanic. Alte aspecte importante ale subsistemului sunt punctele de admisie și ieșire, deoarece unitățile de citire sunt de obicei separate de elementele structurale care conțin senzori. Aceste puncte pot de obicei să constituie o legătură delicată în lanțul informației deoarece semnalele de la acești senzori călătoresc printr-o locație single și eșecul poate duce la pierderea de informații. Proiectul punctelor de admisie și ieșire este adesea o provocare majoră în special în cazul materialelor compozite sau pentru structuri civile care sunt construite în secțiuni (structuri, tuneluri etc.). Arhitectura multiplexă a acestor serii de senzori este de asemenea implementată la acest nivel. Semnalele produse de senzorii diferiți trebuie să se combine într-un număr redus de puncte de acces și legături cu fibre. Aceasta reduce complexitatea sistemului și profită de lățimea de bandă largă a fibrelor optice.

Subsistemul unității de citire demultiplexează semnalele de la senzori și le transformă în valori care sunt reprezentative pentru cantitățile măsurate ale locațiilor senzoriale. Aceste valori sunt de obicei exprimate în formă digitală și sunt transmise subsistemului de procesare pentru analiză. Unitatea de citire este un dispozitiv optoelectronic de o complexitate, mărime și cost superior altor senzori. Cu toate acestea, unitatea de citire se poate adresa unei multitudini de senzori și poate fi localizată în afara structurii monitorizate. Acest subsistem este în multe cazuri mai puțin sensibil la eșecuri față de senzorii și legăturile optice, deoarece este posibil să se înlocuiască o unitate care dă eșec cu o pierdere de informație mică. Aceasta nu este cazul când sistemul de detectare inteligent are o funcție structurală activă.

- Subsistemul de procesare combină citirile de la toți senzorii instalați în structură, măsurând ori aceeași cantitate la puncte diferite sau monitorizând diferiți parametri. Apoi extrage informațiile relevante care caracterizează statutul structurii și comportamentul. Acest subsistem

este elementul cheie pentru o aplicație de succes a conceptului de detectare inteligentă, deoarece o structură singură poate fi instrumentată cu sute de senzori adresați de multe ori pe aceeași secundă. Este astfel, imposibil să se analizeze fluxul imens de date manual sau chiar semi automat. Informații importante despre anomalii sau chiar erori ar putea dispărea în fluxul de date. În unele cazuri, parametrii structurali relevanți pot fi obținuți prin combinarea valorilor diferiților senzori.

- Subsistemul interfeței furnizează parametrii extrași din unitatea de procesare spre alte sisteme externe. În cazul structurii inteligente acest sistem este o serie de puncte care acționează înapoi la structură pentru a modifica forma sau statutul stresului. În acest caz, sistemul inteligent ar funcționa într-un circuit de reacție. În majoritatea cazurilor, interfața ar informa simplu despre statutul prezent al structurii. Dacă anomalia este detectată, toate acțiunile, care trebuie să asigure siguranță și fiabilitate vor fi realizate manual. Este posibil ca unitatea interfeței să avertizeze, sau, de exemplu, să pornească lumina roșie pentru a opri traficul de pe un pod care cade. Când o problemă este detectată, acest subsistem poate transporta mai multe informații conform tipului sau importanței anomaliilor detectate în structură. Numai o combinație adecvată la toate subsistemele duce la un sistem de detectare inteligent care lucrează cu succes.

6.7.4. Măsurători de deplasare, deformare și tensiune

Este primul pas în procesul de proiectare a structurilor de detectare inteligentă în analiza parametrilor, care au nevoie de monitorizare în alegerea celei mai bune tehnologii de detectare și în evaluarea numărului și pozițiilor de puncte de măsurare necesare. Chiar dacă structura este un caz singular, unele decizii cheie sunt comune majorității aplicațiilor și sunt rezumate în următoarele paragrafe. Deplasarea și tensiunea sunt cei mai importanți parametri care trebuie monitorizați într-o structură și o varietate mare de senzori au fost proiectați în acest scop, necesitând atenție specială în alegerea lor. Alte tipuri de senzori includ temperatura, presiunea și senzorii chimici. Aceștia constituie cei mai interesați parametri monitorizați din majoritatea vastă a structurilor. Există, cu toate acestea confuzie între aceste trei tipuri de măsurători și această confuzie duce la alegerea unor tehnologii inadecvate.

- **Tensiunea** se referă la statutul de forfecare, rezistent la întindere, compresiv, intern a materialului care oferă măsurători ale încărcării structurii la un anumit punct. Din păcate, nu există senzor de tensiune real (cu excepția fotoelasticității care se potrivește numai pentru studiul unor materiale specifice). Toți ceilalți așa numiți senzori de tensiune sunt de fapt senzori de deformare cu o bază de măsurare foarte mică. Senzorul este de obicei realizat dintr-un material diferit de cel din structura gazdă. Astfel, este important să se asigure că plaja tensiunii este transferat în întregime senzorului și că senzorul nu alterează plaja de tensiune într-un mod semnificativ. Aceasta se realizează utilizând un senzor, care are rigiditate (oferită de produsul modulului elastic și secțiunea senzorului) inferioară materialului care o înconjoară. Mai mult, nu este logic să se măsoare tensiunea pe o lungime a aceleiași magnitudini sau chiar mai scurtă decât dimensiunea transversală a senzorului. Pe această scară, câmpul de tensiune va fi alterat semnificativ de prezența senzorului. Vom defini detectarea tensiunii ca o măsură a deformării pe o lungime de bază mai mare decât mărimea caracteristică a componentelor materialului gazdă, dar destul de scurtă pentru a considera constanta terenului de tensiune macroscopic. Acest tip de măsură este mai potrivit pentru a monitoriza comportamentul local al materialelor decât comportamentul global al structurii. Senzorii de tensiune vor fi plasați la punctele critice ale structurii unde tensiunile mari sunt prevăzute și ar putea aborda rezistența materialului.

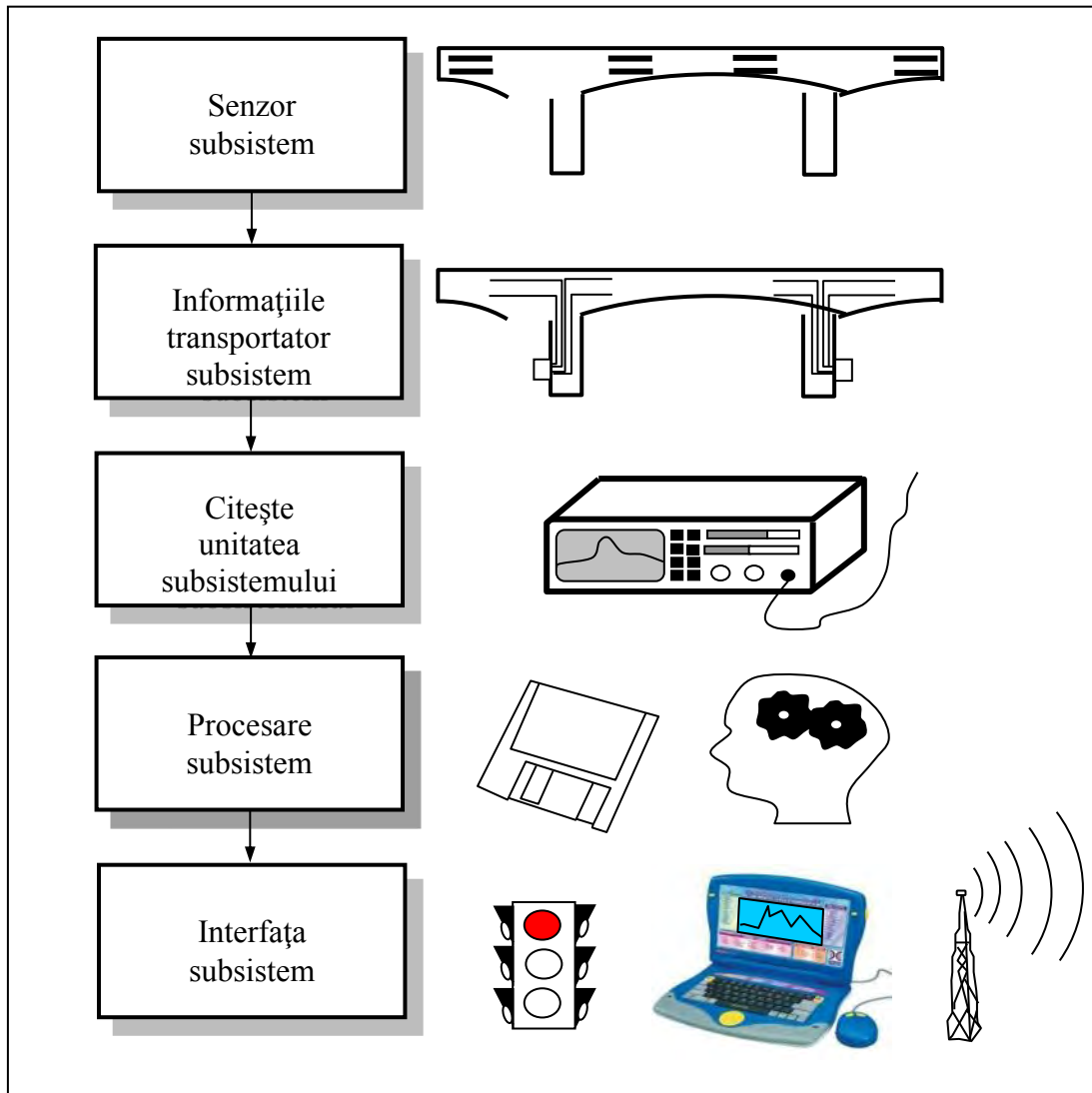


Figura 70. Subsistem cu senzori inteligenți și exemplu de implementare în cazul punților inteligente (199, 211)

- **Deformarea** se referă la o variație de formă internă a unei structuri. O deformare este de obicei acompaniată de o schimbare în terenul de tensiune. O măsură a deformării va concentra schimbările geometrice ale structurii și nu în variația statutului de încărcare. Baza măsurătorilor s-ar putea extinde de la câțiva metri la câteva sute de metri pentru aplicațiile speciale (monitorizarea geosstructurală sau structuri lungi suspendate). Când terenul de tensiune macroscopic nu este constant în structură, senzorul de deformare va integra tensiunea în baza de măsurături. Măsurăturile de deformare sunt folosite în cazul structurilor care au arătat stabilitate dimensională.
- **Deplasarea** se referă la o mișcare dintre părțile diferite ale unei structuri. Aceasta poate apărea fără o schimbare în tensiunea structurii. Un senzor de deplasare monitorizează variațiile de distanță dintre două puncte date. Exemple de măsurători de deplasare sunt monitorizarea rocilor, care alunecă una raportat la cealaltă, o poziție relativă a unui piston în cilindrul lui sau în deplasarea unei structuri în legătură cu solul. Majoritatea senzorilor utilizați pentru monitorizarea deformărilor pot fi utilizați la măsurarea deplasărilor.

Senzorii de tensiune, deformare și deplasare (câteodată bazați pe aceeași tehnologie) pot fi utilizați împreună pentru structuri complexe pentru a obține o înțelegere completă a comportamentului global și local. Alegerea unei tehnologii senzoriale de obicei duce la o estimare a numărului și plasării senzorilor necesari pentru a monitoriza o anumită structură.

6.7.5. Selecția senzorului

a. Măsurături absolute, relative și incrementale

O măsură a tensiunii absolute oferă o valoare relativă la statutul netensionat al materialelor și este astfel folositor pentru stabilirea statutului de sarcină a structurii. Majoritatea senzorilor vor oferi o valoare care este relativă celei măsurate la data instalării senzorului pe materialul gazdă. Dacă instalația este realizată pe o structură gata încărcată (chiar și sub greutatea sa) citirea va da indicație variației sarcinii structurii și va deveni dificil de stabilit dacă materialul este apropiat de limita cedării. Pentru a obține măsurături de tensiune absolută este important să se instaleze senzorul pe (sau în) un material netensionat sau un material aflat într-un statut de tensiune prevăzut. Măsura de deformare sau deplasare este prin definiție relativă statutului inițial definit. Nu este interesant să se măsoare lungimea structurii cu un micrometru de precizie, în timp ce ar putea fi important să se urmeze deformările cu rezoluția aceasta. Tehnologia senzorială cu fibre optice este cu toate acestea valabilă în cazuri rare, când este necesară măsura de lungime absolută. În ambele cazuri de tensiune relativă sau măsurători de deplasare, senzorul ar putea oferi citiri incrementale sau non incrementale. În cazul citirii incrementale, fiecare variație în tensiune sau în deformare de către o valoare dată va produce un semnal special. Aceste semnale trebuie numărate pentru a reconstrui variația de tensiune totală sau deplasarea structurii între anumiți reperi succesivi. Aceasta necesită ca unitatea de citire să fie continuu conectată la senzor pentru a nu pierde unul din aceste semnale. Senzorii non incrementali vor oferi citiri care pot fi comparate direct cu toate valorile successive și precedente, fără a fi nevoie de o monitorizare continuă. Senzorii cu fibre optice interferometrice sunt un exemplu tipic de senzori incrementali, în timp ce senzorii Bragg sunt non incrementali. Senzorii incrementali tind să fie mai simpli și astfel mai ieftini față de cei non incrementali. Pentru măsurături pe termen lung, senzorii non incrementali oferă fiabilitate mare deoarece un eșec mic a unui component nu duce la pierdere de date. Mai mult, o unitate de citire non incrementală single poate fi utilizată pentru a monitoriza un număr mare de senzori și chiar structuri.

b. Sensibilitate, precizie și gama dinamică

Odată ce tipul de măsură necesară pentru monitorizarea unei structuri date a fost stabilit, este necesar să se cuantifice valorile care vor fi măsurate. Performanțele sistemului de detectare sunt măsurate în termeni de sensibilitate, precizie și gamă dinamică. Sensibilitatea unui sistem senzorial (unitate de citire și bază senzorială) este definită ca variație minimală a cantității măsurate, care oferă doar o variație măsurabilă a răspunsului senzorului. Sensibilitatea astfel se limitează la măsurarea valorilor mici. Precizia este definită ca diferența mediei rădăcinii pătratului (RMS) dintre valorile reale și măsurate. Este de obicei exprimat ca o fracțiune din valoarea măsurată. Precizia poate fi mai slabă decât sensibilitatea în cazul senzorilor cu răspuns non linear și limitează calitatea măsurării la valori mai mari decât sensibilitatea. Gama dinamică oferă o indicație a variațiilor maxime care pot fi înregistrate de către un sistem senzorial.

c. Măsurături pe termen lung, termen scurt și dinamice

Performanțele analizate în paragraful anterior nu sunt independente de timp. În unele cazuri măsurătorile necesită o anumită perioadă de timp pentru a fi completate sau performanța sistemului de detectare este redusă dacă durata măsurătorilor crește. Alți senzori nu pot garanta precizie constantă dacă măsurătorile ocupă prea mult timp. Astfel este folositor distingerea în trei categorii de măsurători rezolvate în timp.

- **Măsurătorile dinamice** necesită citiri în fiecare secundă, chiar milisecundă. Ele sunt de obicei relaționate cu măsurătorile de vibrație de condiție rezonatoare. În general, cu cât este mai mică structura cu atât este mai înaltă frecvența măsurătorii. Frecvențele tipice pentru structurile civile sunt între 0.1 și 50 Hz, în timp ce structurile metalice și composite necesită frecvențe, care se extind pe distanțe de kilohertzi. Alunecarea în majoritatea cazurilor nu este îngrijorătoare și deoarece variațiile de tensiune nu sunt apreciabile, sensibilitatea nu necesită împingerea până la limite.

- **Măsurătorile pe termen scurt (cvasistatice)** se pot extinde de la câteva secunde la o săptămână. În acest caz, alunecarea unității de citire poate deveni apreciabilă, dar alți parametri precum învechirea senzorilor și reproductibilitatea conexiunii pot fi neglijați. Acesta este momentul în care senzorii oferă cea mai bună performanță. Măsurătorile pe termen scurt, tipice includ teste de sarcini cvasi statice.
- **Măsurătorile pe termen lung (statice)** necesită tehnici senzoriale stabile care garantează o precizie suficientă pentru citiri care pot fi prelungite de la o lună la ani sau chiar zeci de ani. În acest caz, învechirea componentelor precum fibre, surse și părți mecanice nu pot fi neglijate. Exemple tipice includ monitorizarea structurilor civile învechite și monitorizarea fenomenelor lente precum alunecări de teren și fluaje în unele materiale composite. Un alt exemplu tipic este monitorizarea terenurilor obținute de sub ape (mare) în cazul Olandei.

d. Măsurături independente de tensiune și temperatură

Ca o regulă generală orice sensor este și un sensor de temperatură. Dacă variațiile de temperatură sunt prevăzute în timpul măsurătorilor, este important să se considere influența asupra preciziei. Două abordări sunt posibile pentru a reduce influența temperaturii: să se aleagă un sensor care are intrinsec o dependență de temperatură joasă sau să se măsoare temperatura în același timp. Măsurarea simultană a tensiunii și temperaturii de obicei consistă dintr-un sensor care răspunde numai la variațiile de temperatură și unul sensibil la tensiune și temperatură într-un fel linear. Datele de la senzorul de temperatură sunt utilizate pentru a corecta tensiunea și valorile de deplasare. Cei doi senzori pot fi bazați pe tehnologii diferite dar sunt adesea (și mai elegant) bazați pe același tip de sensor. În acest caz, doi senzori identici sunt instalați unul lângă altul. Primul, de obicei numit sensor de măsurare este instalat în contactul mecanic cu structura, iar celălalt, numit sensor de referință, este necuplat mecanic, dar în contact termal cu structura. Alte setări au fost propuse unde măsurăturile de temperatură și tensiune au fost realizate cu ambii senzori dar cu coeficienți de răspuns linear diferit.

e. Topologii multiple și redundanță

Când tipul de măsurare este decis (deformarea tensiunii sau deplasarea) este posibil în general să se obțină prima estimare a numărului de senzori care vor fi necesari pentru instrumentarea structurii și localizării lor. În acest punct este necesar să se proiecteze o topologie multiplexă pentru a citi acești senzori. Numărul punctelor de acces unde terminația subsistemului transportor de informație întâlnește unitățile de citire adesea trebuie să fie limitat. În funcție de tehnologia senzorială va fi posibil să se citească un număr de senzori cu aceeași unitate de citire. În unele cazuri este posibil să se citească mai mulți senzori simultan. Arhitectura multiplexă trebuie analizată la două niveluri interdependente și diferite. Arhitectura fizică se ocupă de dispoziția senzorului în structură și cu aranjamentul conexiunii dintre senzori și unitatea de citire (sau unități). Arhitectura semnalului se ocupă cu setarea optică și electronică utilizată pentru a se adresa independent senzorilor. Arhitectura semnalului determină de asemenea durata măsurătorilor.

La nivel fizic, toate arhitecturile pot fi subdivizate în patru categorii: **topologii în linie, stea, arbore și matrice**.

1. În **topologia în linie**, senzorii sunt instalați de-a lungul unei linii single. În unele cazuri, conexiunea dintre nodurile acestui lanț vor fi pasive (într-o serie senzorială de tensiune), în timp ce în alte cazuri (serie de senzori de deplasare) conexiunile se vor comporta precum senzorii. Ambele tipuri de lanțuri de senzori sunt cunoscuți ca senzori cvasi - distribuiți. În alte cazuri, cablul de fibră este sensibil de-a lungul lungimii, iar măsurătorile pot fi obținute continuu cu o rezoluție spațială dată. Acest tip de sensor este numit sensor de distribuție. Aceste configurații sunt vulnerabile, deoarece eșecul unei conexiuni single poate izola o secțiune mare de lanțuri senzoriale din unitatea de citire. Pentru unele tipuri de senzori este posibil adresarea lanțului senzorial din ambele capete, care duce la un factor de securitate în cazul eșecului. Chiar dacă senzorii sunt aranjați secvențial de-a lungul cablului cu fibre, este posibil să se instaleze acest cablu pe o serpentintă pentru a acoperi o zonă sau chiar un volum în structură.
2. În cazul unei **topologii stea**, conexiunea de la fiecare sensor merge de la un singur punct, unde sunt ambele combinate, într-un singur cablu sau sunt întrerupte secvențial. Majoritatea

tehnologiilor senzoriale pot fi ușor aduse la o topologie stea. Cu toate acestea, acest tip de setare de obicei necesită un număr mare de conexiuni și linii de semnal, care nu există fără consecințele prețului sau complexitatea sistemului. Arhitectura stea, este pe de-o parte foarte rezistentă la eșec care, în majoritatea cazurilor izolează unul din senzori.

3. Într-o configurație **arbore**, senzorii sunt aranjați într-o structură cu ramuri care combină din ce în ce mai multe semnale de la fibre diferite în timp ce abordează unitatea de citire. Această topologie este foarte flexibilă și poate fi ușor adaptată la structuri diferite. Rezistența lor la eșecuri crește între configurațiile în-linie și stea. Un eșec în apropierea rădăcinii va avea consecințe mai importante decât senzorii.
4. În final, configurația **matrice** configurează senzorii la intersecția dintre seriile dimensionale unde liniile horizontale corespund cu fibrele lead in, în timp ce liniile verticale sunt utilizate ca linii de ieșire. Configurația matrice poate duce la o intensitate mare de senzori și din cauza numărului mare de linii de admisie și de ieșire, se va realiza toleranța.

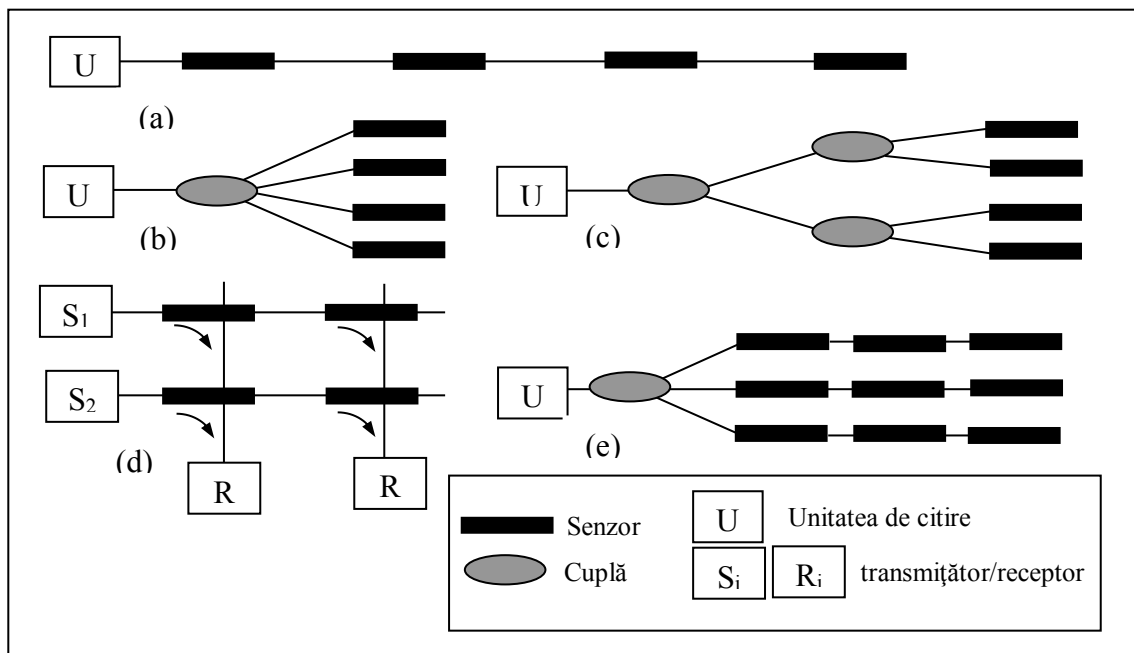


Figura 71. Arhitectura de amplasare a senzorilor: a) în linie; b) în stea; c) în ramificație și matrice; d) arhitecturi fizice multiplexate e) arhitecturi fizice multiplexate hibride, liniare și în stea (199, 211)

Soluțiile hibrid combină topologii de bază diferite pentru a se adresa chiar unui număr mare de senzori. O soluție hibrid tipică include configurații în-linie și stea. În aceste cazuri, capetele lanțurilor senzori sunt combinate sau comutate la o locație single. Când se proiectează structura fizică a unui sistem senzorial este important să se considere posibilitatea eșecului unuia dintre componente. Dacă informația unui senzor dat este fundamentală, senzorul ar trebui dublat de un alt senzor care nu trebuie să eșueze în același timp (ar trebui să nu fie același lanț senzorial). În final, trebuie avut grijă cu protejarea părților sensibile la rețeaua de senzori, de exemplu, punctul de concentrare în configurația stea de la capătul liniei senzoriale. În unele arhitecturi este posibil ca semnalele de la senzori să tranziteze în fibrele single la anumite puncte. Dacă această concentrație periculoasă nu poate fi evitată, această secțiune ar trebui protejată cu grijă și să fie cu ușurință modificabilă.

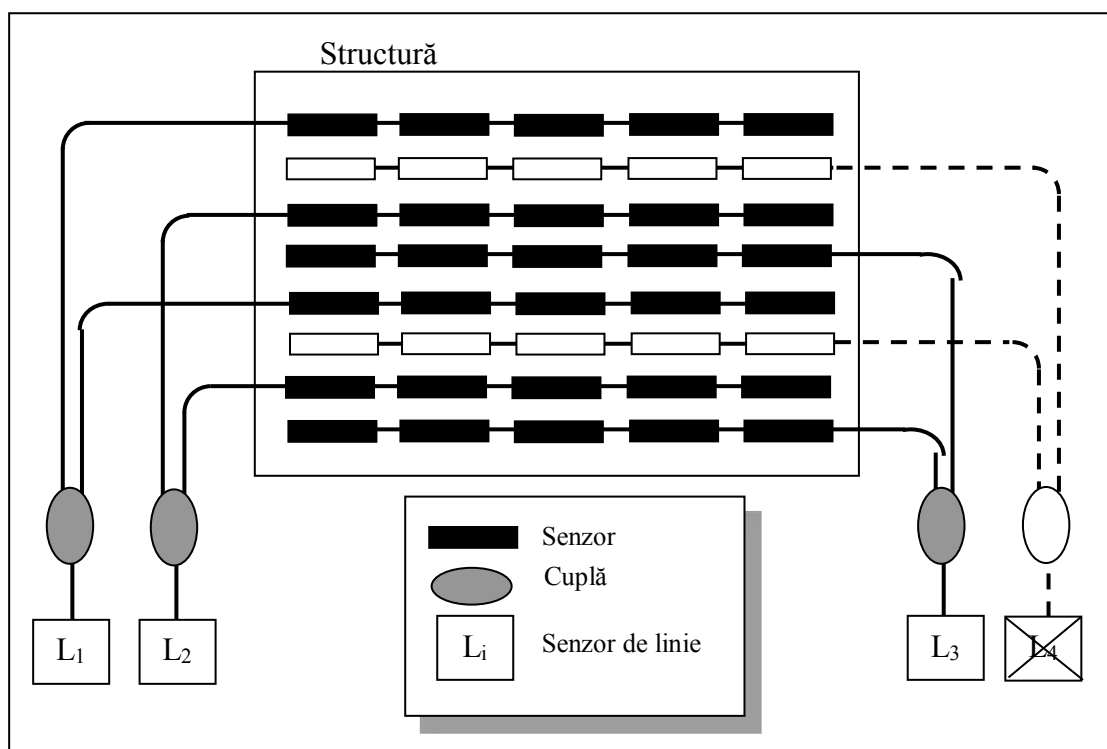


Figura 72. Intercalarea diferitelor fibre pentru obținerea unei rezistențe superioare. În această configurație hibridă, liniară și în stea, linia 4 a căzut dar informația este încă disponibilă de la celelalte (199, 211)

f. Tehnici de instalare

Datorită varietății materialelor și condițiilor de mediu care pot fi găsite în câmpuri diferite unde conceptul de sensor inteligent poate fi aplicat, este dificil să se ofere ghidări generale pentru instalarea senzorilor și legăturilor optice. Cu toate acestea, unele puncte critice sunt comune în diferite câmpuri și ar trebui considerate atent în procesul de proiectare. Prima grijă este instalarea senzorilor în materialul gazdă. Pe de-o parte este necesar să se garanteze un contact mecanic bun între senzorii cu fibre și structură, pe de altă parte este important să se protejeze fibrele mecanic. În cazul senzorului de tensiune, este dificil să se adauge un strat adițional de protecție fibrelor fără a le altera răspunsul senzorului. În acest caz, senzorul trebuie lipit sau încastrat direct în structură. De exemplu, este posibil să lipească un senzor de rețea Bragg la re-bare înainte ca betonul să fie turnat sau să se fixeze senzorul în materialul compozit. În alte cazuri, senzorul poate fi primul încastrat într-un material tampon care este mecanic compatibil cu materialul înconjurător (de exemplu o prismă de mortar pentru instalație într-un material de beton). În multe cazuri, instalația senzorilor din structură constituie o problemă serioasă care nu ar trebui subestimată. Multe încercări (și erori) sunt necesare înaintea unor proceduri eficiente și fiabile, care pot fi stabilite. Este de dorit ca tehnica de instalare să fie inclusă de la început în procesul de proiectare și încercările timpurii să fie realizate în condiții reale, chiar înainte ca sistemul senzorial să fie operațional.

g. Detectarea izolată

Când se monitorizează o structură printr-un sistem senzorial inteligent este de dorit, de obicei sau chiar necesar, să se observe comportamentul de la o locație mai îndepărtată. Dacă, de exemplu, senzorii sunt plasați într-un tunel pentru monitorizarea mișcărilor rocilor, datele rezultate ar trebui să apară în camera de control la intrarea tunelului. S-a văzut, în paragraful anterior, cum un anumit grad de acces îndepărtat poate fi obținut printr-un subsistem transportor de semnal. În acest caz, semnalele optice de la diferiți senzori sunt aduși unității de citire printr-o serie de cabluri optice. Dacă senzorii sunt la o depărtare de câteva sute de metri de operator, este mai interesant să se transmită datele în formă digitală. În acest caz, unitatea de citire ar fi plasată lângă senzori și legătura lungă ar trebui

stabilită între unitatea de citire și subsistemul de tratament al datelor. Această legătură poate fi electrică (Rețea Locală, linie de telefon, legătură în serie), optică (rețea de fibre) sau radio (telefon celular, raze radio). Astfel este posibil să se monitorizeze o structură din orice locație, chiar de la sute de kilometri depărtare. De exemplu, toate structurile și tunelurile de-a lungul secțiunii unei autostrăzi pot fi monitorizate dintr-o singură locație. Odată ce datele din subsistemul de procesare sunt valabile pe o rețea de calculatoare, va deveni posibil pentru multe persoane să acceseze datele de la diferite niveluri de monitorizare, întreținere, sau în scopuri financiare sau statistice.

6.7.6. Tehnologii cuprinzând senzori cu fibre optice

a. Senzori microflexibili

Acești senzori sunt bazați pe pierderi induse de flexibilitate în fibrele optice (în general multimetode) și sunt astfel senzori bazați pe intensitate. Acest tip de senzor a fost demonstrat pentru măsurătorile de deformare distribuite și de tensiune, precum și pentru detectarea umidității și focului. Acești senzori pot găsi aplicații folositoare pentru monitorizarea pe termen lung a evenimentelor spontane precum erori structurale parțiale sau apariția unei fisuri. Aceste evenimente vor produce o schimbare rapidă în intensitatea detectată care poate fi ușor separată de alunecare. Efectul temperaturii trebuie compensat prin utilizarea de senzori de referință netensionați. Unitățile de citire sunt de obicei ieftine și simple, dar mai ales necesare sunt fibrele fabricate special.

b. Senzori de rețea cu fibre Bragg

Acești senzori sunt bazați pe schimbarea de lungime de undă, care poate fi aplicată tensiunii, deplasării și bineînțeles în monitorizarea temperaturii. Sunt sensibili numai la tensiunea regiunii sistemului care poate fi lungă până la câțiva cm. Pentru a obține un senzor de deplasare, fibrele care conțin rețea Bragg trebuie să fie pre-stresate între două puncte, la extremitățile regiunii active. Orice deformare va schimba distanța dintre cele două puncte și astfel statutul tensiunii rețelei. Pentru a obține măsurători fiabile, fibra trebuie să fie complet liberă și cu tensiune uniformă. Aceasta necesită de obicei ca fibrele să fie instalate în țevi cu un diametru suficient de mare. Mai mult, precizia deplasării va descrește odată cu creșterea lungimii sensorului. Din aceste motive, senzorii de rețea Bragg sunt mai potriviți pentru monitorizarea tensiunii. Multiplexitatea de divizie a lungimii de undă este evident prima alegere, dar multiplexitatea diviziei timpului poate crește numărul senzorilor adresabili.

c. Senzori interferometrici

Când este necesară detectarea înaltă, senzorii interferometrici sunt adesea prima alegere. Deși senzorii de rețea Bragg sunt bazați pe interferență optică, termenul senzor interferometric este de obicei aplicat interferometrilor cu două căi. Cele trei categorii principale de senzori interferometrici sunt Mach-Zehnder, Michelson și Fabry-Perot. În toate cazurile schimbarea lungimii în una din brațele interferometrice induce o schimbare în fazele relative dintre cele două brațe, care interferează și astfel produce o variație de intensitate sinusoidală pe detector. Majoritatea senzorilor interferometrici sunt incrementali și necesită monitorizare continuă. Pe de altă parte, sensibilitățile unei game nanometrice pot fi realizate prin demodulare potrivită a semnalelor interferometrice.

d. Senzori de coerență joasă

Sistemele cu coerență joasă utilizează aceeași senzori ca pe cei interferometrici dar unitatea de citire este acum bazată pe sursele de bandă largă cu lungime coerentă limitată. Aceasta rezolvă ambiguitatea dintre margini și transformă senzorii într-un sistem non incremental. În acest tip de setare, dezechilibrul căii introdus de către senzori este compensat în întregime de unitatea de citire. Aceasta se realizează cu o linie de întârziere care de obicei include opticitate a sistemului în ansamblu sau părți care se mișcă. Unitatea de citire astfel, tinde să fie scumpă. Cu toate acestea, din cauza naturii incrementale ale semnalelor, o unitate de citire poate fi utilizată pentru a monitoriza o mulțime de senzori sau chiar structuri diferite. Interferometria de coerență joasă a fost demonstrată pentru măsurătorile de deformare și tensiune. Este adaptată pentru măsurarea deformărilor la bazele lungi, unde principiul interferometric oferă precizie mare fără dezavantajele codării incrementale. În funcție

de tehnica de demodulare, detectarea înaltă, precum la sistemele coerente, poate fi obținută. Sistemul SOFO este bazat pe interferometria de coerență joasă.

e. Senzori Brillouin

Efectul Brillouin consistă din interacția dintre fotonii dintr-o fibră optică, care rezultă într-un transport de radiații schimbate prin frecvență în direcția opusă razei de pompă monocromatică. Frecvența schimbării depinde de temperatură și de tensiunea fibrei. Prin adăugarea unei modulări potrivite, este posibilă obținerea unui senzor distribuit cu o rezoluție spațială de câțiva zeci de metri. Aceasta este insuficientă pentru multe structuri dar ar fi suficientă pentru cele mari precum barajele sau pentru monitorizarea temperaturii structurilor miniere urmărite (terenuri sau construcții). Acești senzori sunt utilizați și pentru monitorizarea liniilor de energie electrică și pot detecta puncte de încălzire periculoase.

Tabelul 15. Performanțele senzorilor multiplexing comparativ cu tehnologiile curente cu fibre optice

| | Rețea de fibre Bragg | Interferometre Externe Fabry-Perrot (EFPI) | Senzori microflexibili | Senzori interferometrici (inclusiv de joasă coerență) ex.SOFO |
|--|--|--|-------------------------------------|--|
| Tip de senzor | Senzor de tensiune răspunzător de deformare și deplasare | Senzor de tensiune răspunzător de deformare și deplasare | Senzor de deformare și deplasare | Senzor de deformare și deplasare |
| Baza de măsurători | Până la 2 cm, până la 10 m pentru senzorii de deformații indirectă | aprox 1cm | 10 cm la 1 km | câțiva cm la 1 km |
| Rezoluție(condiții de teren) | Până la 1 microstain | Până la 1 microstain | Cam -20(xm pentru perioade scurte) | Până la 10 nm, typic 1-10 (xm |
| Linearitate | Foare bună | Foarte bună | Bună | Foarte bună |
| Stabilitate pe termen lung | Foarte bună | Foarte bună pentru citire interferometrică | Săracă | Foarte bună |
| Categoria măsurătorilor | Absolută | Incremental absolută pentru coerență joasă | Absolută | Incremental absolută pentru coerență joasă |
| Sensibilitatea temperaturii | Înaltă, poate fi compensată | Potențial joasă depinde tehnica de incastrare | Înaltă, poate fi compensată | Înaltă sau joasă, dacă ambele brațe ale interferometrelor au aceeași temperatură |
| Multiplexing potențial | Înalt | Scăzut | Bun, mai ales la in-linie | Înalt |
| Posibila arhitectură fizică multiplexing | În-linie | Stea | În-linie | În-linie |
| Posibila arhitectură multiplexing a semnalului | WDM and TDM, fără nevoi adiționale | CDM, TDM | TDM | CDM, FDM, TDM, |
| Prețul | Înalt dar potențial scăzut în cazul afișării externe pe turnul de citire | Medium | Medium, Utilizează cabluri speciale | Scăzut, Utilizează fibre standard telecom |

f. Perspective

Detectarea inteligentă nu este o cercetare izolată și suficientă într-un domeniu industrial. Detectarea inteligentă este o nouă metodă de a combina și realiza tehnologiile existente pentru a obține rezultate inovative în domeniul monitorizării structurale. În prima decadă a tehnologiei de detectare inteligentă, majoritatea eforturilor sunt concentrate pe subsisteme diferite. Unitatea de citire și subsistemele multiple au văzut dezvoltări importante și multe tehnologii de astăzi sunt mature pentru aplicații pe teren și pentru aplicații industriale. Unele tehnici au apărut acum, precum senzorii de rețea cu fibre Bragg, senzori de coerență joasă și interferometrii externi Fabry Perot, alții își retrăiesc tinerețea ca senzori bazați pe intensitate. Noile tehnologii, precum divizarea Brillouin, sunt încă în faza de dezvoltare și multe vor apărea în viitor, cu siguranță. Unitățile de citire portabile devin tot mai mici în fiecare an și au fost utilizate cu succes în medii precum cele din marină sau în aplicațiile de inginerie civilă. În ultimii ani, maturitatea subsistemelor unității de citire a condus la o

dezvoltare a senzorilor fiabili și tehnicilor de instalare. Senzorii cu fibre optice au fost încastrați cu succes într-un număr mare de materiale și structuri inclusiv compoziți, beton, lemn și metale. Unele eforturi duc la produse industriale și aceasta va permite instrumentația acestor structuri cu un număr crescător de senzori la prețuri rezonabile. Cu structurile echipate cu sute sau chiar mii de senzori, măsurând parametri diferiți la fiecare secundă, nevoia de instrumente de analiză a datelor va deveni urgentă. Din păcate, fiecare tip de structură și sensor are nevoie de algoritmi de procesare specifici. Analiza modală și vibrația au atras multe eforturi de cercetare și analiză geometrică precum măsurăturile curbei care pot fi aplicate cu ușurință la multe tipuri de structuri precum structuri miniere, tuneluri sau structuri spațiale. Multe alte concepte, precum rețele neurale, inteligență artificială, algoritmi genetici și instrumente pentru monitorizarea minelor vor fi cu siguranță interesate de aplicațiile de procesare inteligente. Ambiguitatea rețelelor digitale și instrumentelor de comunicare celulare cresc flexibilitatea subsistemelor interfaței și fac detectarea îndepărtată nu numai posibilă, dar și atractivă economic. Structurile inteligente vor cere și produce detectare inteligentă sofisticată și sisteme de procesare. Dezvoltări continue în elementele de acționare bazate pe materiale piezoelectrice și pe aliaje de memoria formei completează ideal progresul realizat în senzori și în tehnologia de procesare. Majoritatea eforturilor sunt direcționate spre amortizarea vibrațiilor, reducerea zgomotului și controlul formei, mai ales pentru aeronautică și industria spațială. Ingineria civilă produce de asemenea aplicații pentru structurile inteligente interesante, mai ales pentru control seismic, control în industria minieră în cazul când se constată acutizarea deplasărilor datorate golurilor subterane, și multe alte experimente au fost, sau trebuie, realizate cel puțin la modele de scară redusă. Alte aplicații precum vibrația și controlul modal al structurilor civile mari precum structuri suspendate ar putea fi potențial interesante, dar forțele necesare pentru realizarea acestor rezultate sunt încă mari.

În prima fază ne putem aștepta ca structurile inteligente să fie utilizate pentru a crește confortul utilizatorilor și viața structurilor prin reducerea amplitudinii oscilațiilor sub încărcături seismice, trafic sau sarcini aerodinamice. Aceste sisteme nu vor avea un rol structural major, iar eșecul lor nu va duce la pagube structurale importante. Acceptarea structurilor inteligente, unde sistemul de control joacă un rol structural va necesita sisteme fiabile și vor apărea prima dată probabil în structuri de mare risc, precum avioane de luptă sau structuri spațiale.

Chiar și sistemele de funcționare perfecte și bine proiectate vor avea de dovedit interesul economic pentru a reuși. Din păcate, evaluarea beneficiilor unui sistem de detectare inteligent este adesea dificil, iar investițiile inițiale adiționale își scot investiția numai pe termen lung. Mai mult, nu este ușor să se cuantifice beneficiile securității crescute a unei structuri sau cunoștințele mai bune a caracteristicilor de îmbătrânire. În multe domenii, inclusiv în ingineria civilă și aeronautică, suntem martorii unei schimbări de investiții de la construcția noilor structuri la întreținerea și extinderea duratei vieții celor existente. În aceste domenii, tehnologiile de detectare inteligente au cu siguranță un rol important de jucat.

6.8. Selecția tehnologiei senzoriale (46-50, 58-73, 130, 131, 135, 199, 211)

6.8.1. Introducere

Selecția tehnicilor de măsurare pentru a fi dezvoltate într-un cadru de proiect de cercetare trebuie să urmeze două obiective principale:

1. Un sistem nou trebuie să răspundă nevoilor reale ale utilizatorilor de capăt
2. Să constituie o abordare inovativă în domeniul metrologiei și să prezinte originalitate comparată cu munca la alte laboratoare de cercetare active în aceleași preocupări.

Din punctul de vedere al utilizatorilor de capăt, există o nevoie reală pentru senzorii de manometru de lungime scurtă sau lungă, bazați pe fibre optice. Aceste tehnici oferă avantajul mărimii mici, insensibilității câmpurilor electromagnetice, curenților, coroziunii și în unele cazuri variații de temperatură. Mai mult, fibrele optice pot fi utilizate în același timp ca transportatori de senzori și informație, reducând complexitatea sistemului și permițând potențial multiplexitatea unui număr mare de senzori la un număr redus de linii de transmisie.

Senzorii de deformare optică, echivalentul optic al rockmetrilor și senzorilor inductivi, au atras interesul cercetătorilor la începutul istoriei senzorilor fibrelor optice, mai ales la configurații interferometrice. Interferometria Michelson și Mach - Zehnder cu surse coerente (gaz tipic sau laseri semiconductori) au fost utilizați în primele demonstrații ale senzorilor cu fibre. O nișă neocupată și interesantă în panorama de cercetare există în sistemele de monitorizare a deformărilor pe termen lung și mediu. Interferometria de coerență joasă se potrivește în această nișă și oferă avantajul sensibilității metodelor coerente, dar fără problemele asociate cu măsurătorile incrementale și mai ales nevoia de măsurători continue.

6.8.2. Condiții de bază

- **Necesități**, cerințele unui senzor de deformare pentru monitorizare pe termen scurt (dar nu dinamic) sau lung arată că interferometria de coerență joasă la senzorii cu fibre optice răspunde tuturor acestor cerințe.
- **Detectarea deformării**, un senzor de deformare trebuie să măsoare variația dintre senzori dintre două puncte fixate pe structură. Când este posibil, senzorul ar trebui încadrat în materialele de construcție pentru a oferi măsurături mai reprezentative pentru comportamentul structurii când sunt comparate cu senzorii montați la suprafață. Extremitățile regiunii active ale senzorului (regiunea unde este măsurată deformarea) ar trebui definite și identificate ușor.
- **Lungimea senzorului**, din cauza varietății structurii întâlnite în ingineria civilă este imposibil să se găsească o lungime pentru senzori standardi care să se potrivească tuturor aplicațiilor. Un senzor dedicat tuturor scopurilor ar trebui să permită măsurături pornind de la lungimea a câțiva centimetri, până la o sută de metri sau mai mult. Regiunea activă poate câteodată să fie de până la câțiva kilometri depărtare de unitatea de citire.
- **Rezoluție și precizie**, necesitățile rezoluției variază cu aplicația. Dacă senzorii sunt considerați ca înlocuirea tehnicilor convenționale, precum comparatoarele cu cadran, este important să se garanteze cel puțin aceeași rezoluție. O precizie de 1% din deformarea măsurată ar trebui considerată suficientă.
- **Gama dinamică**, pentru aplicații în structurile civile convenționale, deformările in-service mai mari de 0.1-1% a lungimii manometrului sunt rare. Pentru geestructuri, deformările de câteva procente sunt găsite în câteva aplicații.
- **Stabilitate**, deoarece scopul este să se realizeze aplicațiile pe termen lung, rezoluția și precizia citată mai sus ar trebui să rămână validă chiar și pentru măsurătorile cu pauză de câțiva ani între ele.
- **Detectarea temperaturii**, toți senzorii de deformare sunt la un anumit nivel și senzori de temperatură. Este interesant de studiat influența temperaturii în măsurătorile de deformare. Aceasta ajută la definirea felului de compensare a temperaturii potrivite pentru o aplicație dată. Orice senzor va transforma o deformare într-o schimbare de o anumită cantitate X.

În general, variațiile lui X ca funcție variațiilor tensiunii ϵ și temperaturii T va fi dată de:

$$\Delta X = \Delta \epsilon \frac{dX}{d\epsilon} + \Delta T \frac{dX}{dT} \quad (78)$$

Primul termen reprezintă răspunsul senzorului la variațiile de tensiune. Al doilea termen reprezintă sensibilitatea la variațiile de temperatură. Mai mult:

$$\Delta \epsilon = \Delta \epsilon_M + \Delta T \frac{d\epsilon}{dT} \quad (79)$$

Primul termen reprezintă variația de tensiune indusă mecanic a senzorului. Al doilea termen reprezintă variațiile tensiunii datorate schimbării temperaturii. Astfel, putem scrie:

$$\Delta X = \Delta \epsilon_M \frac{dX}{d\epsilon} + \Delta T \frac{dX}{dT} + \Delta T \frac{dX}{d\epsilon} \alpha \quad (80)$$

Dacă senzorul este montat pe o structură S, el va moșteni tensiunea sa, temperatura și coeficientul de expansiune termal, iar (5) va deveni:

$$\Delta X_S = \Delta \varepsilon_M \frac{dX}{d\varepsilon} + \Delta T \frac{dX}{dT} + \Delta T \frac{dX}{d\varepsilon} \alpha_S \quad (81)$$

În această ecuație, temperatura indusă în variațiile de tensiune din structură sunt reprezentate de al treilea termen al sumei. Variațiile de tensiune sunt produse de forțe externe și constrângeri precum și relaxare sau alte fenomene similare reprezentate în primul termen. Al doilea termen reprezintă răspunsul senzorului parazit la temperatură. Dacă variația de temperatură ΔT , este măsurată separat, este posibil să se corecteze rezultatele numeric pentru a elimina al doilea termen (dacă răspunsul senzorului la variațiile de temperatură sunt lineare și cunoscute). Aceasta este de exemplu abordarea utilizată la senzorii de vibrație a firului. Dacă coeficientul de expansiune termal α_S al structurii este de asemenea cunoscut, este posibil, de asemenea, să elimine influența celui de-al treilea termen.

$$\Delta X_R = \Delta T \frac{dX}{dT} + \Delta T \frac{dX}{d\varepsilon} \alpha_R \quad (82)$$

O altă abordare comună consistă din plasarea unui senzor de referință secundar R lângă primul și izolarea acestuia de variațiile de tensiune. Prin substragerea celor două citiri, obținem

$$\Delta X_{M-R} = \Delta X_M - \Delta X_R = \Delta \varepsilon_M \frac{dX}{d\varepsilon} + \Delta T \frac{dX}{d\varepsilon} (\alpha_S - \alpha_R) \quad (83)$$

Sensibilitatea senzorului direct la temperatură a fost acum eliminată. O sensibilitate a senzorului indirectă la temperatură, cu toate acestea rămâne în forma termenului, care conține Q_{L-R} . Două cazuri interesante sunt acum posibile. În primul caz, senzorul de referință este montat pe o piesă liberă de același material din care structura este realizată. În acest caz, vom obține: $\alpha_S = \alpha_R$

$$\Delta X_{M-R} = \Delta \varepsilon_M \frac{dX}{d\varepsilon} \quad (84)$$

Aceasta este abordarea utilizată pentru manometrele de tensiunea rezistivă montate pe metale (oțel). Este eficace numai dacă coeficientul de expansiune termal a structurii gazdă este cunoscut, constant și poate fi reprodus pe aceeași mostră, pe care este montat senzorul de referință. Aici nu este cazul, de exemplu într-o structură de beton unde x este departe de a fi constant, mai ales în timpul tasării betonului. O compensare în temperatură este astfel imposibilă. O altă abordare este alegerea unui senzor cu $\alpha \ll \alpha_S$. În acest caz (6.6) devine:

$$\Delta X_{M-R} = \Delta \varepsilon_M \frac{dX}{d\varepsilon} + \Delta T \frac{dX}{d\varepsilon} \alpha_S \cong \Delta \varepsilon_M \frac{dX}{d\varepsilon} \quad (85)$$

Aceasta reprezintă deformarea totală realizată de către structură. Aceasta este singura soluție care nu face presupuneri despre proprietățile materialului a structurii gazdă. Coeficientul de expansiune termal de fibre silica este mai slab de douăzeci de ori decât cel de oțel sau beton.

6.9. Fibre Optice ca senzori intrinseci (46-50, 58-73, 130, 131, 135, 199, 211)

6.9.1. Introducere

Fibrele optice sunt în mare măsură utilizate ca purtători de informații în industria telecomunicațiilor. Mărimea lor redusă, lungimea de bandă largă și atenuarea minimă îi fac ideali pentru a transmite semnale pe distanțe lungi. Antrenată de piața telecomunicațiilor, industria fabricațiilor a realizat un important progres în producția de masă a fibrelor optice cu extraordinare caracteristici optice și mecanice, reducându-le în același timp costurile. De la începutul acestei tehnologii relativ recente, aceste fibre au fost folosite ca senzori pentru parametri diferiți cum ar fi

deformația, temperatura, presiunea, accelerația sau curentul. Acești senzori din fibră se împart de obicei în două categorii principale: intrinseci și extrinseci.

În cazul senzorilor intrinseci, fibra în sine reacționează la schimbarea cantității care trebuie măsurată modificând radiația care o poartă. Aceasta poate rezulta în variația intensității, fază, stea de polarizare și conținutul spectral al luminii transmise prin fibră. În cazul senzorilor extrinseci, fibrele optice sunt utilizate doar pentru transmiterea de informații de la traductor, care este de obicei instalat la unul din capetele fibrei, la unitatea de citire de la distanță.

a. Caracteristici ale fibrelor optice

Foarte multe tipuri de fibre sunt produse pentru piața telecomunicațiilor și doar câteva special pentru aplicațiile de detecție.

b. Caracteristici optice

Toate fibrele optice prezintă un miez placat cu metal cu un indice de refracție redus. Lumina este astfel transmisă de miez și se propagă de-a lungul axei fibrei. Cele mai comune fibre optice sunt realizate din cuarț topit iar variațiile de indice necesare sunt obținute prin dotare adecvată. Aceasta produce o dispersie modală, care face ca acest tip de fibră să nu fie potrivit pentru aplicațiile interferometrice din moment ce fiecare modul propriu poate fi considerat ca un interferometru cuplat între sursă și detector.

c. Caracteristici fizice

Din moment ce fibrele optice vor fi utilizate ca senzori de deformare, deplasare și temperatură, este indicată aici rezumarea caracteristicilor fizice principale ale cuarțului și fibrelor din cuarț. O alungire de 1% este cu cel puțin un ordin de magnitudine mai mare decât alungirea maximă posibilă a structurilor de beton. Principalele caracteristici optice și mecanice ale fibrelor de cuarț, oțel și beton sunt rezumate în următorul tabel 16.

6.9.2. Fibrele optice ca o componentă a senzorului interferometric

Emisia coerentă a unei surse laser este împărțită de un cuplor directiv și transmisă către două alienieri distincte de fibre. Cantitatea externă care trebuie măsurată, exemplu: deformația de temperatură, va avea un comportament diferit în fiecare fibră, și va introduce astfel o cale de asimetrie între cele două brațe ale interferometrului. Aceasta va produce la rândul ei o variație a fazei relative și deci a intensității măsurate de detector.

Tabel 16. Proprietăți fizice și optice la cuarț, oțel și beton.

| Proprietate | Cuarț (Bioxid de Siliciu) | Oțel | Beton (aprox.) |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Compoziția Chimică | SiO ₂ | Fe _{0.99} C _{0.01} | - |
| Densitate [10 ⁵ kg / m ³] | 2.2 | 7.9 | 2.7 |
| Rezistanța la rupere [kN/mm ²] | 6 | 0.46 | 0.005 |
| Modulul Young [kN/mm ²] | 72 | 210 | 50 |
| Coeficientul Poisson | 0.17 | 0.5 | 0.17 - 0.2 |
| Alungire maximă [%] | 2-8 | 6-26 | 0.5 |
| Coeficient de alungire termică [10 ⁻⁶ /°C] | 0.6 | 12 | 10 |
| Punct de Topire [°C] | 1666 | 1656 | - |
| Indice de refractive | 1.46 | - | - |
| Atenuare proprie [dB/km] | 0.5 | - | - |
| Dispersie proprie @ 1660 nm [ps/(km nm)] | 20 | - | - |

Din acest motiv este interesant studiul relației dintre perturbația aplicată și calea asimetrică rezultată. Această asimetrie este calculată ca diferența dintre calea optică dintre cele două brațe.

Realizarea de sistem de măsurare bazat pe interferometria de coerență joasă include o unitate de citire portabilă și neregulată precum și o serie de senzori adaptați la diferite tipuri de structuri. Această secțiune descrie prima oară sistemul SOFO și evoluția sa, apoi se concentrează pe diferite părți care îl compun. Acest sistem poate fi subdivizat în trei părți mari: senzori, unitate de citire și procesoare de date.

Interferometria cu coerență joasă este potrivită pentru această aplicație, permițând măsurături absolute cu o precizie care este în principiu, neafectată de timp. Această tehnică necesită o setare simplă pentru senzor, putând astfel să fie adusă la o scară de producție mare, la un cost rezonabil. Unitatea de citire este, pe de altă parte, mai elaborată și mai scumpă. Deoarece măsurăturile sunt absolute, o unitate de citire single poate fi utilizată pentru monitorizarea senzorilor multipli și chiar a structurilor multiple, redistribuind costul pe mii de măsurături. Principiul interferometriei de coerență joasă este cunoscut rezonabil și a fost testat extensiv în condiții de laborator. Provocarea acestei lucrări a fost aducerea tehnicii din laborator în mediul ostil găsit în majoritatea siturilor și structurilor. Această necesitate a afectat serios multe alegeri în timpul dezvoltării acestui sistem și a necesitat soluții noi la probleme cunoscute. Rezultatul final poate fi considerat neconvențional, când este comparat cu echipament similar utilizat pentru caracterizarea componentelor optice integrate sau a legăturilor de fibre optice.

Aplicațiile care sunt necesare pentru sistemul SOFO includ pe de-o parte înlocuirea echipamentului de monitorizare convențional utilizat deja pentru ingineria civilă, și pe de altă parte dezvoltarea senzorilor pentru a deschide noi posibilități pentru măsurări imposibile în tehnologia de azi. Prima categorie include înlocuirea unor asemenea tehnici precum extensometriei mecanici, firele vibratoare și extensiometru electric lung. Al doilea tip de senzori include senzori de deplasare lungi (1-2 m) și foarte lungi (2-20 m) pentru beton, roci și sol, senzori pentru rute curbate (tancuri, rezervoare, conducte) și senzori incastrați pentru monitorizarea geometrică a structurilor mari (structuri, turnuri, tunele).

Nu este ușor să se definească necesitățile comune pentru asemenea aplicații diferite. O investigație mai adâncă arată faptul că majoritatea diferențelor se referă la partea senzorială a sistemului, în timp ce necesitățile unității de citire sunt mai uniforme. Noi încercăm să le sumarizăm în următoarele puncte:

Un extensiometru mecanic standard oferă o rezoluție de aproximativ 10 micrometri. Se pare că această rezoluție este potrivită pentru majoritatea situațiilor și adesea întrece nevoile reale. Scopul nostru este o rezoluție de 2 micrometri pentru unitatea de citire. Această precizie va fi redusă de la 10 la 20 micrometri pentru unele tipuri de senzori care sunt subiectul constrângerilor adiționale, precum temperaturile variațiilor, instalarea (conexiunea și decuplarea) sau legăturile imperfecte mecanice cu structura gazdă. Dacă se acordă atenție sporită în fabricarea și instalarea senzorului, este posibilă realizarea unei rezoluții pentru unitatea de citire de 2 micrometri.

O stabilitate de 10 micrometri ar trebui garantată pentru cel puțin 2 ani. Încă o dată, limita principală pentru stabilitate va fi dată de senzor și nu de unitatea de citire. În senzor, precizia pe termen lung este limitată de efecte de fluaj. În unitatea de citire, stabilitatea este limitată de rezoluția masei de deplasare care este totdeauna mai bună de 10 micrometri, chiar pentru schimbări de temperatură mari.

Gama de măsurături depinde evident de lungimea senzorului. Limita superioară este limitată de dezechilibrul rutei maxime care poate fi compensată de unitatea de citire. O gamă de 100 mm în ambele direcții pare adaptată la majoritatea aplicațiilor inclusiv mecanica solului. Pentru deplasări peste valoarea menționată precizia de câțiva micrometri devine nefolositoare și alte tehnici de măsurare sunt cu siguranță mai adaptate. Pentru deplasări mari, limita maximă a preciziei este dată de incertitudinea coeficientului elastico-optic k_{Stress} și nu de precizia unității de citire din măsurăturile Δt .

Senzorii ar trebui să aibă o lungime între 100 mm și 60 m. Această variație a mărimii nu pune nici o restricție în proiectarea unității de citire. Vom vedea că diferite tipuri de senzori sunt necesari pentru a acoperi game de lungimi diferite. Pentru lungimi de senzori mai scurte, rezoluția de 10 micrometri devine insuficientă și alte tehnici de măsurare sunt mai potrivite (rețea de fibre Bragg și

senzori EFPI). Lungimile de peste 60 m nu sunt comune în ingineria civilă deoarece o structură mare este mai bine măsurată prin subdivizarea în subdomenii mai scurte.

Această valoare definește distanța maximă dintre senzor și unitatea de citire. Această distanță este limitată în principal de dispersia caracteristicilor fibrelor. Utilizarea fibrelor cu mod singular la 1500 m exclude dispersia modală și cromatică. Sistemul astfel, va fi limitat de dispersia de polarizare care este în mod normal sub 0.6 ps/Km. Dacă permitem creșterea de la 5 la 6 ori lățimea vârfului, devine imposibil să se obțină măsurături precise cu o distanță de cel puțin 1 km între senzor și unitatea de citire.

Sistemul ar trebui să fie capabil să măsoare senzori care au o reflectivitate foarte scăzută. Aceasta permite o margine de securitate bună în caz de alterare a senzorilor, precum o deteriorare a oglinzilor reflective, o matisare proastă sau un conector murdar. Pe de altă parte, o sensibilitate bună este primul pas spre un sistem multiplex unde semnalul întors de fiecare reflector parțial este de obicei slab. Reflectivitatea Fresnel de 4% ar trebui să se considere ca valoare tipică, dar o reflectivitate slabă până la 0.1% ar trebui să fie măsurabilă fără reducere observabilă în performanța sistemului.

Deoarece o structură poate fi instrumentată cu zeci de senzori, durata măsurărilor pentru fiecare nu ar trebui să depășească un minut, inclusiv conexiunea optică la senzor și depozitarea de date. În cazul măsurărilor automate, fără prezența operatorului și fără conexiune la manual, durata măsurărilor sub 10 secunde ar fi un avantaj. Este clar faptul că cu cât este mai scurtă durata măsurărilor cu atât este mai bună performanța sistemului. Dacă cineva dorește să includă măsurăturile dinamice, viteza ar trebui să crească cu cel puțin zece măsurături pe secundă, ceea ce nu se realizează fără consecințe asupra proiectării stadiului de detectare și mecanicii. Astfel am decis să nu explorăm domeniul măsurărilor dinamice unde sistemul de măsurături părea mai potrivit.

Întregul sistem, inclusiv PC extern ar trebui transportat de o singură persoană pe distanțe scurte. Aceasta limitează greutatea unității de citire la aproximativ 16-20 kg și volumul la aproximativ 60 l. Evident, o unitate de citire mai mică crește confortul utilizatorului. S-a decis să nu se realizeze cerințe excesive în integrarea componentelor electrice și optice, pentru a menține natura modulară a sistemului și pentru a permite reconfigurație ușoară și testarea de configurații diferite. Odată ce sistemul a fost testat și s-a demonstrat că răspunde bine, va fi posibilă creșterea nivelului de integrare, mai ales pe partea de electronică.

Sistemul de măsurare va fi utilizat în mediile necesare unde nu poate fi garantată o prelucrare sigură. Carcasa unității de citire ar trebui să fie stabilă și robustă pentru a rezista șocurilor și mișcărilor frecvente. Unitatea de citire ar trebui să funcționeze independent de orientarea carcasei, chiar întoarsă pe dos. Este de asemenea important ca închiderea și toți conectorii să fie rezistenți la apă, permițând utilizarea lor în medii umede, precum un tunel sau o curte la fundația de clădire.

Sistemul ar trebui să fie independent de furnizarea de energie externă și ar trebui să fie capabil să funcționeze pe baterie internă reîncărcabilă. Pentru aplicații de laborator și când furnizarea de energie AC este valabilă, sistemul nu ar trebui să funcționeze la 220 V și să-și reîncarce bateria internă. Ar fi mai de ajutor dacă sistemul ar putea fi energizat de o sursă DC externă precum o baterie de la mașină.

Unitatea de citire poate fi subiectul unor condiții extreme de mediu. Aceasta trebuie să opereze într-o variație de temperatură de -20°C și $+60^{\circ}\text{C}$ și umiditate înaltă.

După utilizarea unui PC portabil pe diferite șantiere, s-a decis că sunt potrivite ca interfață dintre unitatea de citire și utilizator. Unele precauții trebuie utilizate când se utilizează calculatoare laptop standard care nu sunt rezistente la apă. Interfața de software ar trebui să reducă la minim numărul de operații care se realizează pe teren și să depoziteze toate datele pentru analiză și interpretare. Este important ca operatorul să fie sigur că s-au realizat măsurături cu succes. Programul software ar trebui să fie capabil să transfere rezultatele la alte programe pentru investigație și pentru reprezentare grafică.

Toate aceste necesități au fost luate în considerare în dezvoltarea sistemului SOFO. Se demonstrează că este posibil să se producă la un cost rezonabil un sistem care răspunde și câteodată depășește aceste necesități.

6.9.3. Privire generală retrospectivă asupra sistemului

Definim o diagramă de bloc general care va fi utilizată ca instrument pentru a analiza soluții diferite și implementări ale sistemului SOFO.

Spre deosebire de majoritatea sistemelor de măsurare, funcționarea unui sistem interferometric de coerență joasă este cel mai bine înțeles prin urmărirea evoluției semnalelor din cantitatea care trebuie măsurată (în acest caz o deplasare) la reprezentarea cantității în format digital. Un sistem interferometric de coerență joasă generică poate fi subdivizat în șase blocuri principale multifuncționale, plus un extrabloc care să includă elemente adiționale:

- **Sursa.** Sursa optică creează radiația de coerență joasă și o injectează în fibra optică potrivită. Acest subsistem include generatorul curent și posibil un aparat de răcire pentru sursa optică. Sursa optică este localizată fizic în unitatea de citire.
- **Senzor.** Senzorul este instalat în structura care va fi monitorizată și codează deplasările în schimbările dezechilibrului rutei AL dintre o măsură și o fibră de referință. Dacă adoptăm abordarea lungimii de undă pentru a descrie sistemul, senzorul se comportă ca un filtru spectral periodic care codează dezechilibrul rutei în fibre în gama spectrală liberă. Subsistemul senzorului include măsurături și fibre optice de referință, cuplajul extern, conectorii optici, protecția fibrelor și pieselor mecanice care creează contactul mecanic dintre fibrele de măsură și structura gazdă. Cuplajul optic extern poate fi o parte din senzor, sau poate fi separat și reutilizat pentru citirea de senzori multipli. În cazul monitorizării îndepărtate, subsistemul senzorului include de asemenea, fibrele care se utilizează pentru a transporta semnalele optice de la și spre unitatea de citire. Senzorul este subsistemul care este cel mai dependent de o aplicație specifică. Este proiectat pentru a fi potrivit structurii gazdă. Materiale gazdă diferite (precum beton, oțel, lemn, compozite sau sticlă) necesită setări pentru senzori diferiți. Lungimea regiunii senzoriale influențează de asemenea proiectul senzorului.
- **Analizator.** Subsistemul analizator implementează interferometrul îmbinat cu ruta. Acesta include un cuplaj, un braț de referință de o lungime fixă și un braț de scanare cu o linie de întârziere variabilă. Analizatorul poate introduce un dezechilibru în rută incontrolabil AL_2 dintre brațele interferometrice. Toată masa optica integrată sau ghidată are nevoie de implementare în linia de întârziere, precum și dispozitivul de scanare (stadiul de transducție motorizată, extensorul piezo), sunt incluse în acest subsistem. Funcția analizatorului este să se recombine pachetele de unde întârziate și să permită ca interferența să ia loc în ciuda lungimii coerente reduse ale sursei. În abordarea lungimii de undă analizatorul este văzut ca un spectrometru Fourier care rezolvă periodic spectra produsă de subsistemul senzorului. Semnalul de admisie al subsistemului analizator este o intensitate optică ca funcție a dezechilibrului rutei AL_2 . Dacă linia de întârziere este scanată la o viteză constantă, semnalul de admisie va fi o intensitate dependentă de timp, iar viteza de scanare va da factorul proporțional între durată și AL_2 . Subsistemul analizator este localizat fizic în unitatea de citire.
- **Detectare.** Stadiul detectării transformă intensitatea optică de la admisia analizatorului în semnal electric. Acest subsistem include fotiododa, precum și amplificatorul. Stadiul de detectare ar trebui să fie capabil să se adapteze la variațiile intensității receptate medii, care sunt prevăzută când se măsoară senzorii cu reflectivități diferite. Ar trebui să fie destul de sensibil pentru a detecta un semnal slab fără a fi saturat de cele puternice. Acest lucru poate fi obținut prin schimbarea venitului preamplificării sau prin implementarea unei bucle de feedback spre furnizorul de energie al sursei. Detectarea este de asemenea localizată în unitatea de citire.
- **Procesarea semnalului.** Unitatea de procesare a semnalului extrage valoarea $AL \times$ din voltajul dependent AL_2 obținut de subsistemul detector. Acest subsistem de obicei include un stadiu de procesare al semnalului analog, un analog la convertorul digital și stadiul de procesare digital. Abordările de demodulare diferite vor duce la proiecte, care divid diferit pașii de procesare dintre părțile analoge și digitale. Subsistemul de procesare a semnalului poate fi despărțit fizic între unitatea de citire și computerul interfață.

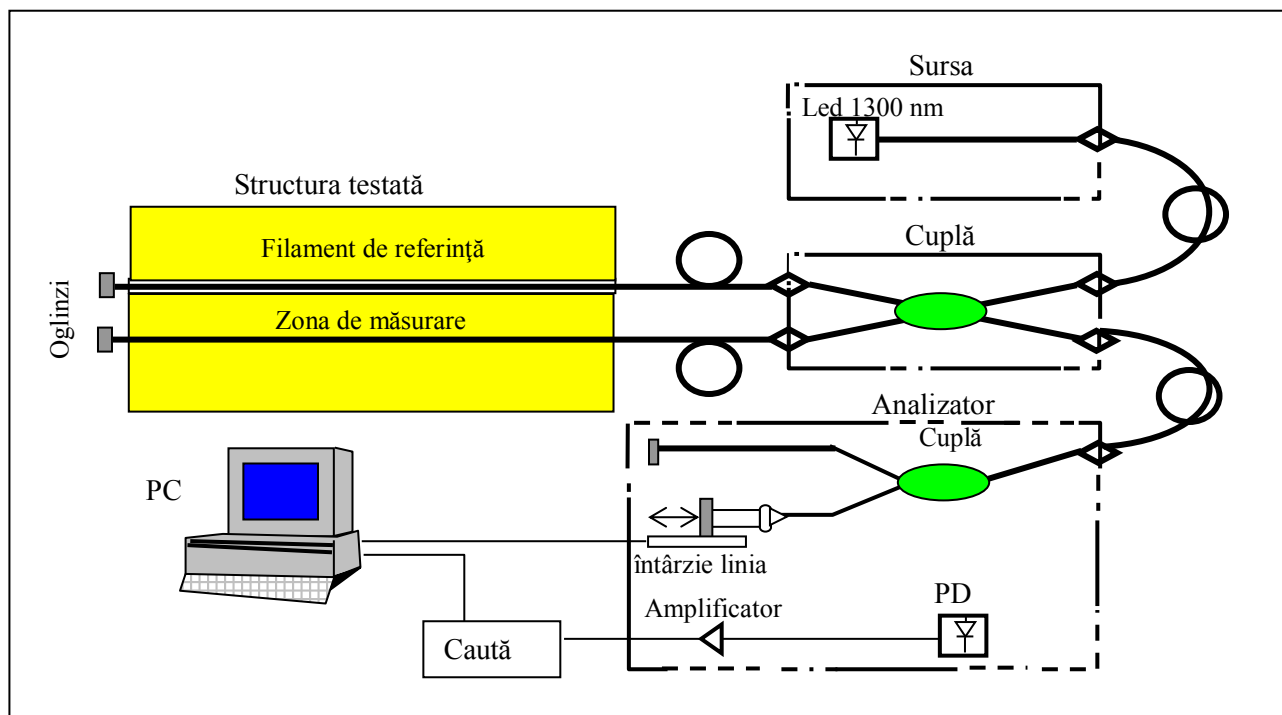
- **Procesarea datelor.** În acest stadiu, datele sunt prezentate operatorului și sunt depozitate pentru interpretare. Acest subsistem adună, de asemenea măsurătorile multiple sub formă de rezultate la timpi diferiți sau la senzori diferiți și extrage parametrii relevanți folositori pentru a determina comportamentul structurii gazdă. Partea analizei datelor depinde de aplicație. În unele cazuri, evoluția deplasării fiecărei fibre poate fi suficientă pentru a obține informații importante, în timp ce în alte cazuri este necesar să se compare și să se combine rezultatele zecilor sau sutelor de măsurători pe mulți senzori. Într-o structură complexă, precum un pod, devine imposibil să se analizeze manual evoluția deplasării tuturor senzorilor și unitatea de procesare a datelor ar trebui să transmită un model de comportament mai global. În cadrul conceptului structurii inteligente, unitatea de procesare a datelor constituie legătura dintre senzori și sistemele de acționare.
- **Elemente adiționale.** Deși nu sunt incluse direct în ruta datelor, alte elemente joacă un rol important în sistemul de măsurare. Acestea includ furnizarea de energie, carcasa și procesoarele care fac să funcționeze programele software pentru procesarea semnalului și analiza datelor. Legăturile de telecomunicație sau sistemele de interfață precum ecranele, tastaturile și dispozitivele de punctare sunt incluse, de asemenea în acest sistem. La anumite setări, granița dintre acest subsisteme nu este așa de clară. Această subdivizie este de ajutor pentru a organiza discuția despre dezvoltarea și evoluția sistemului SOFO.

6.9.4. Istoria și evoluția SOFO

Înainte de a intra în analiza detaliată a fiecărui subsistem, este de ajutor să se ofere o privire generală asupra sistemului diferit care a fost realizat și testat în acest proiect. Aceasta ar trebui să dea cititorului sentimentul apariției unui sistem real și să-l ajute la vizualizarea subsistemelor într-un fel realist. În timpul acestei lucrări, au fost construite cinci sisteme sau au fost utilizate la IMAC:

Tabel 17. Rezumatul celor cinci generații de SOFO (199, 211)

| | Formos | SOFO I | SOFO II | SOFO III | SOFO IV și următoarele |
|--|--------------------------------------|---|--|---|-------------------------------|
| Plan general | L. Thévenaz R. Passy D. Inaudi | D. Inaudi | D. Inaudi | D. Inaudi | D. Inaudi |
| Firma producătoare | GAP (Uni Geneva) | IMAC A. Micsiz | IMAC A. Micsiz | IMAC A. Micsiz | Smartec |
| Proprietar | IMAC | IMAC / LMS | IMAC / SMARTEC | IMAC / SMARTEC | |
| Livrare | Octombrie 1994 | Martie 1996 | August 1996 | Aprilie 1996 | Mijlocul lui 1997 |
| Funcția primară și caracteristici | Teste de fezabilitate | Prima versiune pe piață, viteza îmbunătățită. Ajustat în 1996 pentru electronice SOFO III | Versiune pentru aplicații industriale. Asemănător cu SOFO I. Ajustat în 1996 pentru electronice SOFO III | Mărime redusă și sensibilitate îmbunătățită pentru folosire cu reflectoare parțiale | Versiune industrială |



Figur 73. Diagrama PMD/Sistem FORMOS (199, 211)

6.9.5. Sistem original dezvoltat de către Alpatronic SA pentru a măsura dispersia cromatică a legăturilor de fibre optice PMD/FORMOS

Testele de fezabilitate pentru sistemul de monitorizare cu coerență joasă au fost realizate utilizând un sistem original dezvoltat de către Alpatronic SA pentru a măsura dispersia cromatică a legăturilor de fibre optice și mai târziu adaptate la caracterizarea dispersiei în mod polarizator (PMD) de către Grupul de Fizică Aplicată (GAP) al universității de la GENEVA. FORMOS (Seria de fibre optice pentru monitorizarea structurilor) a fost o extindere a sistemului PDM. Noutatea principală constă în gama de măsurători extinse.

6.9.6. SOFO, sistem original, dezvoltat de compania SMARTEC

a. Generalități

Pentru că sistemul FORMOS nu îndeplinește nevoile aplicațiilor ingineriei civile și ar fi fost necesare schimbări majore pentru adaptarea lor, s-a decis să se reprojecțeze la IMAC o unitate de citire complet nouă, adaptată în special la monitorizarea structurală civilă. Sistemul SOFO a fost dezvoltat, primul prototip a fost realizat la începutul anului 1996 după șase luni de cercetare. Celelalte generații au urmat cu perioade intermediare de până la șase luni. Până acum patru generații SOFO au fost fabricate pentru utilizare internă și pentru vânzarea la utilizatori externi.

- **Analizorul: Interferometru Michelson.** Cuplajul și brațul referinței sunt componente cu fibre optice, în timp ce linia de întârziere variabilă este masa. Oglinda este scanată de către motorul DC controlat de un microprocesor ad hoc. Motorul poate scana cu o viteză care depășește 10 mm/s. Frecvența este tipică de 56 kHz oferind un câștig de viteză de factor 200, comparat cu FORMOS. Deplasarea maximă a oglinzii este de 61 mm.
- **Detectarea.** O nouă detectare a fost dezvoltată pentru a obține o sensibilitate bună și lățime de bandă suficientă pentru frecvența capetelor. Fotodioda are un port conector de fibră integrată fără pigtail cu fibre multimod.
- **Procesarea semnalelor.** Capetele sunt demodulate de un plus filtru cu trecerea înaltă, în unele setări, un integrator (pentru a extrage semnal modulator al unui semnal modulat în amplitudine).

Rezultatele sunt afișate pe calculatorul extern și poziția vârfului este analizată automat și salvată pentru mai multe analize.

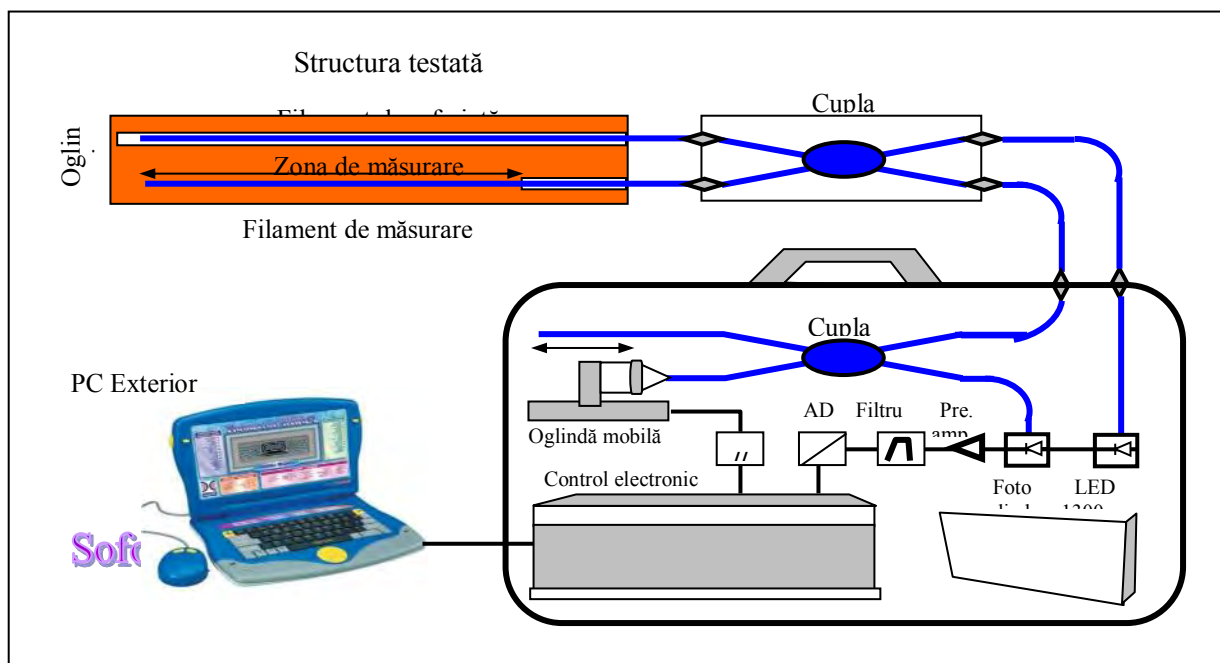


Figura 74. Diagrama sistemului SAFO (199, 211)

- **Procesarea datelor.** Module diferite au fost realizate pentru a interpreta automat, datele produse de sistemul SOFO. Pachetul simplu împarte separate evoluția deplasărilor pentru fibrele diferite instalate într-o structură dată. Mai mulți algoritmi elaborați combină rezultatele din fibrele diferite și returnează mai multe tendințe comportamentale globale pentru structură precum curbe sau deplasări verticale într-un pod. Aceste pachete poate fi utilizat pentru a reprezenta rezultate într-un mod familiar inginerilor civili.
- **Elemente adiționale.** Sursa, analizatorul și electronicele de control sunt găzduite într-o carcasă stabilizată și rezistentă la apă. Un laptop extern acționează ca interfață a utilizatorului. Greutatea totală a sistemului este de aproximativ 16-20 kg și sistemul funcționează pe furnizor de energie AC sau DC pe baterie reîncărcabilă internă.

b. Versiunea industrială a SOFO, condiții:

Sistemul SOFO evoluează acum într-un produs industrial (terminat în 1996). Inovația principală va rezida în lovitura de 10 mm a oglinzii precum și posibilitatea de a conecta unități de citire multiple și unități de schimbare optice la un PC de control singular utilizând un canal de transmisie serial. Se aplică de asemenea și la standardele internaționale. Subsistemul sursei de lumină este primul element al sistemului de măsurare de coerență joasă.

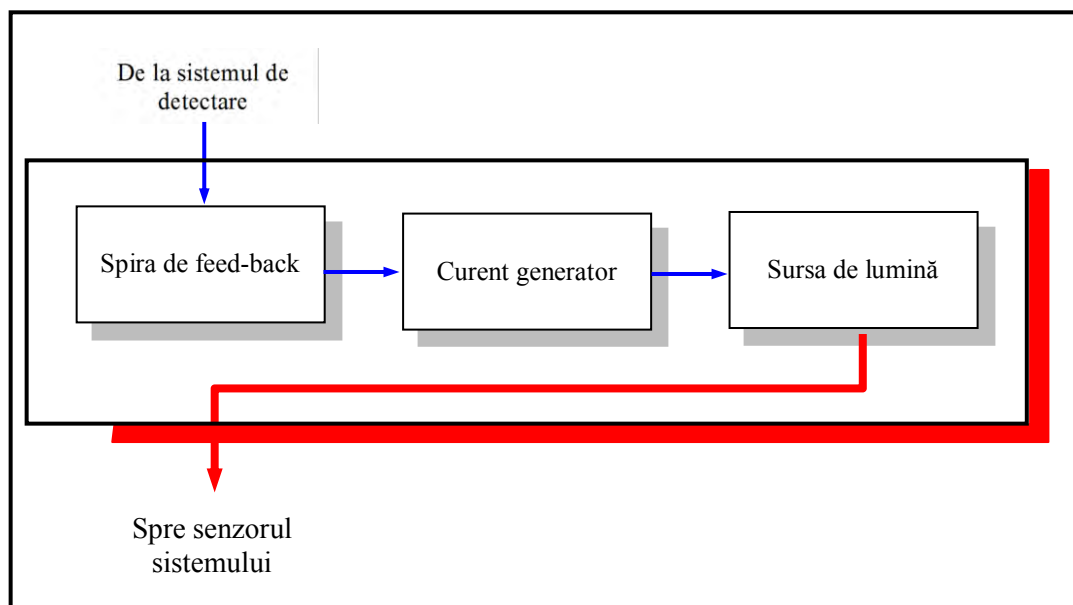


Figura 75. Subsistemul sursei de lumină (199, 211)

Într-un sistem interferometric de coerență joasă sursa trebuie să întrunească următoarele cerințe:

- **Lungimea centrală.** Emisia sursei ar trebui să fie centrată în jurul unei ferestre de transmisie a fibrei optice. Cele mai utilizate trei lungimi de undă sunt 820, 1500 și 1600 nm. Fereastra de 1500 nm, este cea mai interesantă din cauza caracteristicii de dispersie cromatică a fibrelor optice la lungimea de undă.
- **Forța de emisie.** O sursă mai puternică este un avantaj deoarece permite măsurarea senzorilor cu reflectivitate joasă fără a crește câștigul detectării și astfel reducând zgomotul și crescând lățimea bandei detectorului. Pentru a compara puterea surselor diferite, ar trebui considerată energia cuplată la fibre.
- Unele surse pot avea forță mare dar din cauza **directivității sărace a emisieii**, majoritatea luminii nu va fi cuplată la fibra optică.
- **Lățimea de bandă optică.** Interferometrul de coerență joasă necesită sursă de bandă largă. Am văzut că sursa cu spectru larg va produce vârf de coerență îngust și viceversa. Este astfel interesant să avem un spectru larg pentru a realiza o precizie mai bună în determinarea centrului vîrfului. O sursă ideală ar trebui să producă un vârf de coerență la fel sau de două ori mai mare ca rezoluția de măsurare.
- **Spectrul.** Pentru a obține un vârf coerent bine definit și îngust cu cele mai mici vârfuri posibile este interesant să avem o sursă cu spectru de emisie Gaussian. Spectrul Lorenzian este de asemenea interesant.
- **Mărime.** Sursa ar trebui să fie mică și ușoară deoarece trebuie integrată în unitatea de citire portabilă.
- **Necesități pentru energie.** O sursă care necesită energie electrică înaltă de obicei înseamnă încălzire importantă, și o sursă de energie are nevoie de răcire, care este un dezavantaj mare.
- **Prețul.** Prețul emisie rației de energie este de asemenea, un factor important în alegerea unei surse.

c. Alegerea sursei optice

Cele trei surse pot fi considerate pentru un sistem de coerență joasă:

- **Surse termale.** Acest tip de surse pot transporta energie înaltă cu spectrul Gaussian. Emisia nu este directă și majoritatea energiei inițiale este pierdută în cuplajul cu fibra optică.
- **Diode de emisie ușoară (LED).** Diodele de emisie a suprafeței sunt de asemenea dificil pentru a se cupla într-o fibră cu mod singular fără pierderi importante.

- **Diodele de emisie a luminii superluminescente (SLED).** Acest tip de diodă are o structură similară laserelor semiconductoare dar efectul cavității este redus astfel încât selecția lungimii de unde să fie mult mai slabă. Emisia spontană este produsă de recombinarea unor perechi de lacune de electroni este amplificat coerent în timp ce fotonii se îndreaptă spre suprafața dispozitivului. Emisia este astfel directivă și este posibil să se cupleze radiația într-o fibră cu mod singular cu eficiență bună.
- **Fibrele lipite cu erbium.** Acest tip de sursă este similar cu SLED dar amplificarea emisiei spontane apare într-o fibră optică, care este lipită cu ioni de erbium și pompată optic. Avantajul principal a acestui tip de sursă rezidă din energia optică mare pe care o poate transmite.
- **Diode de laser.** Diodele de laser multimod pot fi utilizate singular sau combinate la modele de interferență de coerență joasă. Aceste surse pot prezenta marginii (fringe) centrale ușor de recunoscut, dar care tind să aibă vârful care se extind peste dezechilibre de rute mari. Trei surse cu fibre, una cu erbium și două cu SLED au fost reținute ca și candidate posibile pentru sistemul SOFO și sunt comparate în tabelul 6.7.

Tabelul 18. Comparația dintre trei surse optice (199, 211)

| Producător | MRV | Superlum | Fotonetică |
|--|--------------------------|-------------------|------------------------------------|
| Model | MREDSP016/M REDSP6005 | SLD-661 | Fibre albe |
| Tipul sursei | SLED | SLED | Fibre cu erbium |
| Lungime de undă centrală(nm) | 1500/1660 | 1500 | 1660 |
| Energie emisă (in fibră) [u.W] | 260/40 | 600 | 10'000 |
| Lățime de bandă optică [nm] | 40 | 42 | 26 |
| Spectru | Gaussian | Gaussian | aproape Gaussian |
| Statut de polarizare a emisiei | partial polarizat | partial polarizat | Depolarizat |
| Mărime | 1cm ² | 1cm ² | Unitate de masă de sine stătătoare |
| Necesitățile energiei(mA la energie 80 evaluată) | | 500 | |
| Preț-euro | 500 | 2000 | |

Sursa de fibre cu erbium fotonetic este transmisă ca unitate superioară de sine stătătoare și nu este adaptată pentru integrarea într-un instrument. Acest tip de sursă pare promițător pentru viitor, dar tehnologia nu pare matură pentru aplicațiile de teren în această perioadă. Sursele MRV la 1500 nm (de la MRV, Chatsworth, California) oferă cel mai bun raport preț - performanță și au fost astfel selectați pentru sistemul SOFO.

d. Tipuri de fibre și învelișuri

Am văzut ca alegerea va fi limitată la fibre de silica contopite singular. Profilele diferite nu vor fi discutate în această secțiune deoarece ele nu afectează de obicei proprietățile mecanice ale fibrelor și profilele standard sunt ideale pentru aplicații și pentru setările optice. Singura libertate de alegere va fi la alegerea învelișului fibrei. Învelișurile au funcția de protejare a fibrei de agenți externi și sunt de obicei aplicate pe fibră direct pe turnul de tragere. Înveliș adițional poate fi aplicat mai târziu și fibrele pot fi asamblate în cabluri. Învelișurile fibrelor principale care pot fi considerate sunt microînvelișurile de acril standard, micronînvelișurile de poliamidă (înveliș primar), înveliș cu tampon de nylon și înveliș microtub (înveliș secundar). Microtubul nu este propriu-zis un înveliș deoarece fibrei i se permite să alunece în interior.

Tabelul 19. Comparația dintre învelișurile de fibre diferite (199, 211)

| Proprietate | Înveliș acrilic | Înveliș cu Tampon nylon | Înveliș poliamidă | Înveliș microtub |
|---|--|-------------------------|------------------------------------|--|
| Diametru extern(u.m) | 260 | 146 | 900 | 900 |
| Secvență de înveliș (din interior spre exterior) | Acril moale acril tare | Poliamidă | Acril moale acril tare Nylon | Acril moale Acril tare Gel plastic sau |
| Dezvelirea | Mecanică sau chimică | Chimică sau termală | Termală sau mecanică | Mecanică sau |
| Transmisia tensiunii prin înveliș | Bună pet scurt, joasă imp tensiune și T<56°C | excelent | Sărac | Foarte sărac |
| Protecție mecanică | Foarte săracă | Foarte săracă | Moderată | Moderată |
| Protecție chimică | Moderată | Moderată | Bună | Moderată |
| preț | scăzut (0.1 SFr/m) | mare (5 SFr/m) | moderat (0.6SFr/m) | Moderat |

Niciuna din aceste învelișuri nu este suficientă pentru a proteja fibra de scurgerea directă a betonului. În majoritatea cazurilor fibra trebuie să fie protejată cu pachet adițional. Datele extensive sunt valabile pe o durată lungă pentru fibrele optice instalate în cablurile de telecomunicație aflate sub tensiuni mici. Dacă tensiunea fibrei nu trece de 1%, fibra ar trebui să aibă o viață tipică de mai mult de 40 de ani înainte ca erorile să apară. Oboseala termală și mecanică poate scădea viața fibrelor. S-a testat cu succes oboseala la senzorii SOFO pentru mai mult de 18 milioane de cicluri (care corespund la 40 de ani la un pod de autostradă) și cu amplitudini tipice pentru structurile de beton.

- **Fibrele de referință.** Fibrele de referință constituie un braț secundar al interferometrului sensorial, celălalt fiind fibra de măsură. Fibra de referință se presupune că nu este afectată de deplasările structurilor și își schimbă lungimea optică numai sub influența variațiilor temperaturii. Mai mult, este important ca fibra de măsură și fibra de referință să aibă totdeauna aceeași temperatură locală. Aceasta va reduce sensibilitatea parazită în temperatură. Fibra de referință va avea în acest caz, o lungime în plus și va rămâne nestresată când prestresarea este aplicată fibrelor de măsură. Pentru baza măsurărilor mai lungă de câțiva metri s-a aflat că independența celor două fibre nu putea fi garantată deoarece fibrele tind să se încurce una în jurul celeilalte. Pentru a obține o fibră de referință independentă, pot fi imaginat două abordări:
- **Independență mecanică.** Fibra de referință este în acest caz instalată în interiorul unei țevi și se presupune că se mișcă liber înăuntru și nu își schimbă lungimea potrivită când structura gazdă se extinde sau se contractă. Aceasta se realizează mai ușor prin utilizarea straturilor multiple de țevi concentrice fără contact mecanic între ele (cu excepția fricțiunii). Un exemplu ar fi o fibră cu microînveliș acril instalat în interiorul unui microtub care este conținut într-o țevă mai mare. Acest tip de setare și-a demonstrat eficiența în condiții de laborator, dar pare mai puțin interesant pentru aplicațiile de teren unde flexibilitatea locală a țevilor nu a putut fi evitată. Aceasta va crește fricțiunea dintre straturile diferite și în final va transfera unele deformări externe spre fibre.
- **Surplus de fibre.** În acest caz, fibra de referință este instalată într-o țevă, având un diametru intern mai mare decât mărimea sa și o lungime a fibrei rezervă este depozitată în spațiul gol. În acest caz, chiar dacă fibra de referință și structura sunt local în contact mecanic, o deplasare a structurii gazdă nu va rezulta într-o variație a lungimii fibrei de referință. Dacă un surplus S este depozitat în interiorul țevii, structura se va extinde la aceeași lungime S fără a pune fibra de referință în tensiune. S-a aflat că pentru senzori scurți (de până la 6 m), surplusul a fost

suficient. Pentru senzori mai lungi sau pentru deplasări mari s-a aflat că cele mai bune rezultate se obțin prin așezarea fibrei într-un microtub și apoi instalându-l într-un tub mare, care permite un surplus consistent. Astfel, a fost posibil să se extragă țeava externă până la 2% fără a întinde fibra mai mult de 0.01%.

- **Cuplaje locale vs. cuplaje distribuite.** Deoarece sistemul de măsurare răspunde la variațiile lungimii optice totale ale fibrelor senzoriale, cele două abordări ale instalațiilor pot fi urmate pentru a cupla fibra la structură: cuplaj local sau distribuit (sau cu lungime completă). În primul caz, fibra de măsurare este fixată la structura gazdă la două puncte și este liberă în interiorul țevii. Pentru a realiza elongația și scurtarea, fibra trebuie detensionată. Cele două puncte de atașament vor defini limitele zonei de măsurare. În acest caz, calitatea cuplajului dintre fibră și structură la cele două puncte de atașament va juca un rol important în răspunsul senzorului la deformarea structurii. În cazul cuplajului distribuit, fibra de măsurat este atașată la structură de-a lungul regiunii active. În acest caz, caracteristicile învelișului fibrei vor avea o influență puternică asupra sensibilității senzorului.
- **Senzori de cuplaj distribuit.** Acest tip de cuplaj oferă avantajul unei simplități aparente, deoarece fibra de măsură este identică pe toată regiunea activă și nu este nevoie de puncte de atașament speciale. Mai mult, în majoritatea cazurilor fibra nu va răspunde la elongație și scurtare fără nevoia de prestresare. Contactul dintre materialul gazdă și fibra pe lungime, va introduce două probleme potențiale care nu ar trebui neglijate: tensiuni transversale și microflexibilitate. Cuplajul local este interesant în unele cazuri deoarece lungimea cuplajului extins permite măsurături bune chiar dacă contactul mecanic dintre fibre și structură este mai degrabă slab. Este posibil să se reducă mărimea senzorului la cea a fibrei cu înveliș (fibra cu înveliș trebuie instalată într-o rețea în orice caz). Acest tip de cuplaj este interesant în cazul structurilor metalice, unde o fibră de măsură poate fi lipită simplu pe suprafețe sau mortar, unde o fibră de cu înveliș de nylon a fost încastrată direct. S-a încercat chiar să se lipească fibrele optice direct la bare. Rata supraviețuirii a fost scăzută din cauza fibrelor care au avut tendința de a strica la încrucișările de bare. Mai mult, a fost dificil de dovedit că prezența fibrelor și lipiciului la cel puțin un perimetru nu ar altera adeziunea dintre bară și betonul care îl înconjoară. Alte teste au fost realizate asupra proiectului senzorului, bazat pe cuplajul distribuit pentru încastrare directă în beton. Un exemplu interesant a cuplajului distribuit a fost încercat cu shotcrete (utilizat mai ales pentru izolația tunelelor). În acest test, s-au instalat fibre optice cu înveliș de nylon de 0.9 mm cu o mostră de 1 m lungă în condiții de tunel reale. Un strat de beton de 6 cm a fost întins, în timp ce fibrele au fost acoperite cu țeavă de plastic, profil de plastic, bare de lemn sau bare mici. Toate cele 10 fibre (protejate sau nu) au suprațiețuit proiecției unui al doilea strat de 4 cm de beton. Majoritatea proiectelor, chiar dacă par simple la început, se dovedesc dificil de aplicat într-o structură reală și fabricarea senzorilor s-a dovedit adesea înșelătoare și dificilă. Mai mult, posibilitatea de fluaj dintre fibre și structură în direcția axială nu a fost adresată în cazul măsurătorilor pe termen lung.

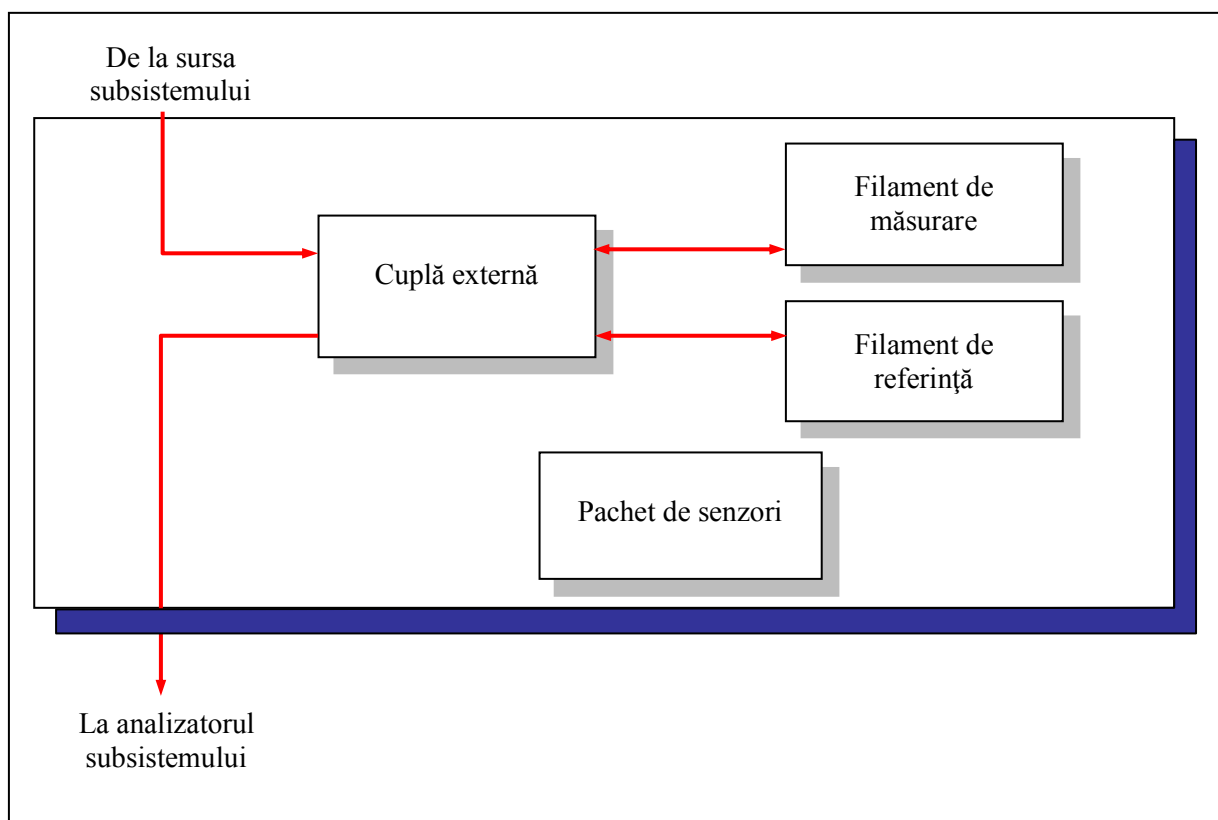


Figura 76. Subsistemul senzorilor (199, 211)

- **Senzori de cuplaj local.** În acest tip de setare, fibra de măsură este atașată structurii la extremitățile regiunii active și este prestresată între aceste două puncte. Fibra este conținută în țevă de-a lungul lungimii, liberă de regiunile pasive și stresate în regiunea activă. În acest caz, problema principală care trebuia rezolvată este realizarea cuplajului mecanic fiabil dintre fibră și piesa mecanică utilizată pentru a o ancora pe structură. Deoarece toate eforturile au fost transmise de la structură la fibră, la cele două punct de ancorare, fibra trebuie să fie legată de punctele de ancorare într-un mod rigid. În afară de tensiunile datorate deformărilor structurii, aceste puncte trebuie să reacționeze la forțele produse de prestresarea necesară a fibrei de măsurare. Principalele dezavantaje ale acestui tip de înveliș rezidă în prețul mare și în necesitatea dezvelirii fibrei, mecanic pentru a monta un record sau o oglindă chimică. Aceste componente sunt instalate în regiuni de fibre care nu sunt sub tensiune permanentă. Aceasta reduce posibilitatea erorii datorate fragilizării fibrei în timpul manipulării ei.

6.10. Evoluția senzorilor de cuplaj local pentru sistemul SOFO de la prima aplicație la producția industrială (199, 211)

6.10.1. Cuplajul suprafeței

Prima aplicație a interferometrului de coerență joasă pentru monitorizarea structurilor civile, a fost măsurarea scurtării libere de plăci de beton (9,10) de 20 m x 6 m x 0.6 m . Variația lungimii a fost monitorizată pe o perioadă de mai mult de un an. În acest caz, majoritatea senzorilor au fost instalați la câteva zile după turnarea betonului, în interiorul țevilor diferite care au fost instalate goale în cușca de bare. Fibrele de măsurare au fost învelite cu nylon. Învelișul tampon a fost îndepărtat termal cu aer cald, în timp ce microînvelișul de acril a fost îndepărtat chimic cu dichlorometan. Fibrele au fost apoi lipite la o placă metalică prinsă de o suprafață la cele două capete ale plăcii de beton. Un prestres de aproximativ 0.6% a fost dat de fibrele de măsurare.

Din punctul de vedere al măsurăturilor, această setare s-a dovedit a fi ineficientă și a fost posibil să se obțină măsurături fiabile pentru doi ani fără nici un efect notabil de fluj. Această setare prezintă

dezavantaje diferite din punctul de vedere al procedurilor de instalație. Primul, deoarece fibrele pot fi instalate numai după îndepărtarea cadrului, este imposibil să se măsoare deplasarea care apare la primele zile după betonare. Mai mult, instalația consumă mult timp și aplicațiile la scară largă a acestei tehnici ar fi imposibile. În final, sistemul a fost foarte fragil și multe fibre s-au rupt înăuntrul structurii din cauza manipulării. Această problemă ar putea fi rezolvată prin protejerea admisiilor de fibre din interiorul unei cutii. Principalul dezavantaj al acestei setări este că numai lungimea structurii poate fi monitorizată. La structurile reale, aceasta ar fi o limitare intolerabilă. Figura 6.17, prezintă un exemplu de cuplaj al suprafeței. Fibrele de referință sunt de asemenea, vizibile.

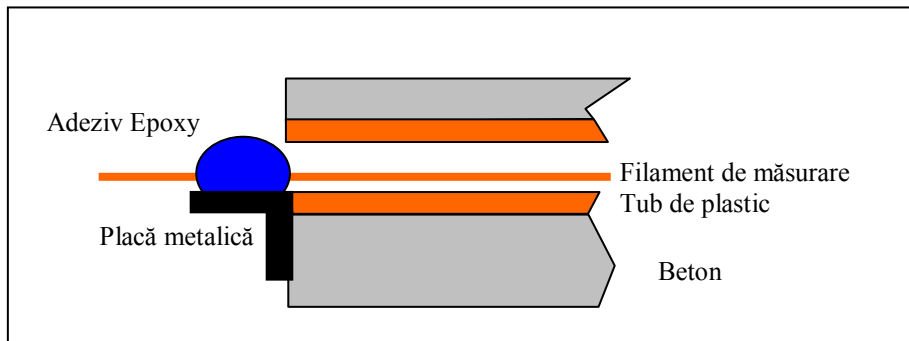


Figura 77. Suprafața de cuplare a sensorului. Același sistem este utilizat și la alte capete finale ale structurii (199, 211)

a. Cuplajul cu ace

După primul test de fezabilitate, utilizând setarea de cuplaj a suprafeței, a devenit mai clar de ce a fost nevoie de dezvoltarea unui senzor de sine stătător, care ar putea fi instalat cu ușurință în cușca cu bare înainte de betonare. Prima realizare a noului concept a fost testată într-o structură cu amestec de beton și lemn și fibrele erau instalate în ambele materiale cu o setare analogă. Fibra de măsurare este protejată pe lungime cu o țevă de plastic. Punctele de fixare sunt realizate prin găurirea țevii cu cuie de oțel la locația punctelor ancorate (vedeți figura 6.16). Adezivul epoxy este apoi injectat în jurul cuiului prin peretele țevii. Odată ce s-a întărit, adezivul (cu cuiul) realizează contactul mecanic dorit între fibre și structură. Prestresarea necesară a fibrei este aplicată în timp ce se instalează senzorul în carcasa cu bare prin tragerea a două cuie. Acest tip de senzor este foarte simplu și instalația are nevoie de numai câteva minute pentru fiecare senzor.

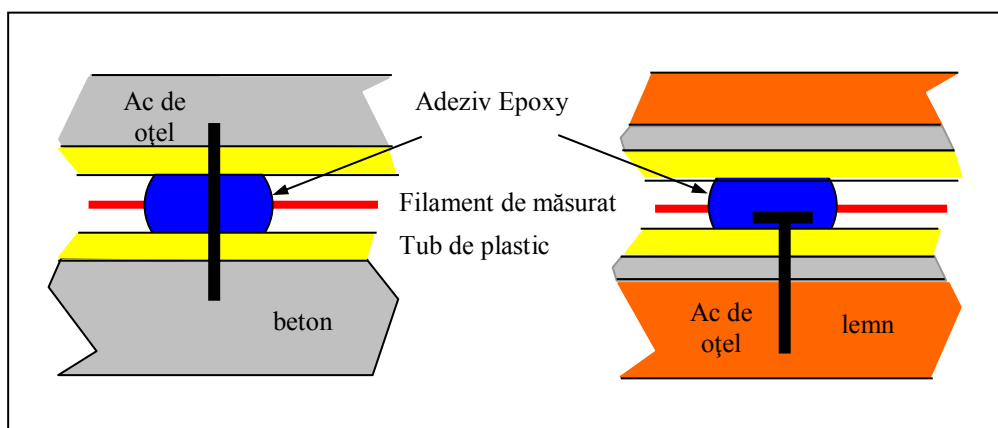


Figura 78. Ac de oțel pentru legarea sensorului în ciment și lemn (199, 211)

Singura operație delicată este prestresarea senzorului în cușca de bare. Problema principală cu acest senzor este că eforturile trebuie transferate la fibre prin microînveliș de acril. Aceasta nu este o problemă pentru măsurăturile pe termen scurt, dar duce la probleme pentru măsurăturile pe termen lung sau când temperatura structurii crește la 56 grade. La această temperatură, vâscozitatea învelișului de acril interior este redusă drastic și apare fluajul la coeficiente mari. Ar fi posibil să se

îndepărteze carcasa la punctele de fixare înainte de a pune fibra în țevă, dar aceasta ar crește complexitatea fabricării senzorului. Utilizarea de fibre cu înveliș de poliamidă rezolvă problema și a fost mai târziu testată experimental pe grinde de lemn. Figura 6.18, prezintă un exemplu de cuplaj al cuiului pentru instalarea în beton. Fibrele de referință ar fi conținute în țevi separate.

b. Cuplajul piesei de încrucișare ((VSL, IBAP, EDF)

Două probleme principale au fost adresate în proiectarea acestei generații noi de senzori. Pe de-o parte s-a dorit obținerea de cuplaj mecanic mai bun decât cel dorit cu cuie de oțel și să se câștige acces la fibre pentru a dezveli învelișul mai ușor. Pe de altă parte, părea important să se prestrezeze fibra de măsurare la stadiul de manufactură și nu la instalare. Aceste probleme au fost piese mecanice proiectate care acționează precum punctele de fixare din fibre și în același timp ca îmbinări dintre două țevi. Exemple de asemenea piese sunt oferite în figurile 6.17 și 6.19. La început s-a încercat dezvelirea microînvelișului mecanic la locația celor două puncte de fixare. Aceasta a dat în schimb fibre fragile, care s-au stricat după câteva zile de tensiune. Această problemă putea fi ușor rezolvată cu dezvelire chimică cu prețul unei complicații crescute în procedura de fabricare. În acel timp, s-a decis să se direcționeze cercetările spre fibrele cu înveliș de poliamidă. Acest sensor a fost testat cu succes pe un număr de aplicații și s-a dovedit ușor de instalat într-o structură nouă sau pe suprafața unei structuri existente. Figura 6.19 prezintă un detaliu al pieselor îmbinate utilizate în această setare.

c. Industrializarea senzorului

După fabricarea câtorva zeci de senzori ai pieselor îmbinate devine clar că au fost într-adevăr adaptate la nevoile monitorizării ingineriei civile. Fabricarea a necesitat aproximativ șase ore pentru un pachet de șase senzori. Pentru a instala sute de asemenea senzori într-o structură fără a fi nevoie de luni pentru ai asambla, a fost necesară găsirea unui partener industrial interesat și capabil de ingineria senzorilor. Producătorul conector DIAMOND SA din Lousone (Elveția) a fost partenerul ideal pentru acest lucru. După câteva luni de colaborare intensă, a fost posibil să se transfere cunoștințele acumulate la IMAC pe mai mult de trei ani de instalare de senzori în beton la DIAMOND și să îi combine cu experiența industrială a acestei companii din domeniul producției conectorilor. Rezultatul este senzorul prezentat în figura 6.20. Acest sensor a fost utilizat în multe aplicații diferite, ambele încastrate în beton sau montate pe suprafața structurilor existente și acum este comercializat de SMARTEC S.A.

6.10.2. Oglinzi

Lumina trebuie reflectată înapoi la capetele măsurăturilor și la fibrele de referință. Aceasta necesită instalarea reflectorilor la capetele ambelor fibre. Aceasta se poate obține prin următoarele moduri:

- **Oglinzi Fresnel.** Dacă fibra este desfăcută, o reflecție de aproximativ 4% este obținută din cauza schimbării indexului refractive dintre sticlă și aer. Această reflecție este suficientă pentru a realiza o măsurare. Reflecția va scădea la aproape zero dacă o particulă de praf se depozitează sau umiditatea se condensează la capătul fațetei. Acest tip de reflecție este prin urmare folositor numai când fațeta de la capăt este accesibilă și serviabilă, numai în condiții de laborator.
- **Oglinzi mecanice.** Dacă un inel sau un conector este instalat la capătul fibrei și un inel lustruit este poziționat în contact fizic în fața lui, o reflecție bună de până la 100 % poate fi realizată. Acest reflector este scump, mare și posibil să corodeze. O îmbunătățire ar consta în adeziunea unei foițe de aur la fațeta de la capătul inelului. Reflecția de până la -1 dB poate fi obținută în acest fel. Acest tip de reflector a fost utilizat în versiunile vechi ale senzorilor DIAMOND.
- **Oglinzi chimice.** Cea mai ușoară cale de a produce o oglindă reflectivă la capătul fibrei este să se depoziteze argint pe fațeta de la capăt. Oglinzile produse în acest fel și-au dovedit stabilitatea mulți ani. Mai mult, mărimea acestei fibre nu a crescut (cu excepția protecției ferestrei) și costul acestui tip de oglinzi este neglijabil.

6.10.3. Cuplaj optic

a. Cuplaj optic extern

Cuplajul optic extern divide energia optică produsă de sursă și o direcționează fibrele de referință și de măsură. Odată ce lumina reflectată la cele două fibre se termină, acest cuplaj recombina razele și le direcționează spre analizator (jumătate din lumina reflectată, este, de fapt trimisă înapoi la sursă și astfel este pierdută). Dezechilibrul rutei, care va fi măsurată de către analizator corespunde diferenței lungimii optice dintre cele două brațe interferometrice, lungimea optică dintre cuplaj și cele două oglinzi. Acesta este un punct important de luat în considerare, când conectorii sunt prezenți între cuplaj și senzor. În acest caz, dacă se utilizează un alt cuplaj, măsurătorile vor fi afectate. Este posibil să se caracterizeze întârzierea introdusă de fiecare cuplaj și compensarea pentru stadiul de procesare a datelor. Împachetarea cuplajului poate fi realizată în feluri diferite. În unele cazuri este interesant de utilizat același cuplaj extern pentru senzori diferiți. Aceasta rezultă într-o reducere a costului senzorului, deoarece un cuplaj costă aproximativ 60-100 SFr. Când o precizie mai mare este necesară sau când senzorul este foarte distant de analizator, este folositor să se instaleze un cuplaj extern în fiecare senzor, cât mai aproape posibil de regiunea senzorială.

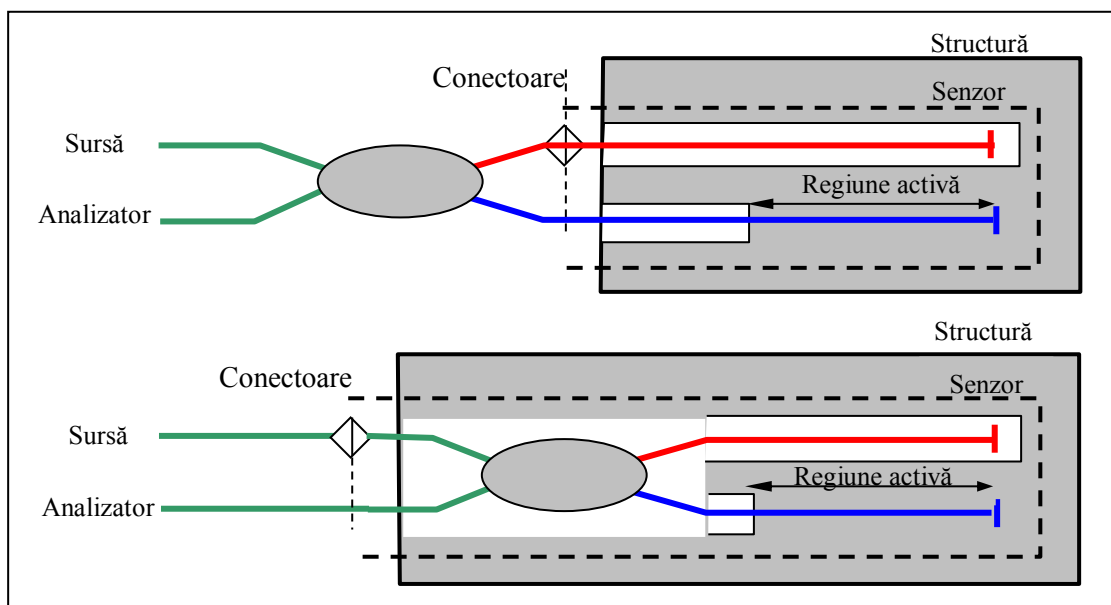


Figura 79. Configurare cuplaj exterior: cuplaj singular și cuplaj integrat (199, 211)

b. Cuplaj de sine stătător

Acest cuplaj este situat într-o cutie mică sau este integrat într-un cablu duplex optic care vine de la unitatea de citire. Brațele de referință și măsură trebuie să fie identificate clar pentru a evita orice inversiune posibilă care va duce la măsurători incorecte. Versiunea cablului este mai folositoare când senzorii sunt terminați prin adaptorii conjugați montați într-o cutie conectată.

c. Cuplaj integrat

În acest caz, cuplajul este integrat în pachetul senzorial. Aceasta evită orice conexiune și disconexiune în regiunea activă și astfel îmbunătățește precizia măsurătorii. Dezavantajul principal al acestei configurații constă în prețul senzorului, destul de mare. Când un cuplaj este instalat în senzor, este posibil conectarea senzorului la unitatea de citire, printr-o singură fibră. Dar utilizând un circulator optic ar fi posibil să se obțină aceeași eficiență de energie ca și cu cele două fibre. Precizia de deplasare de până la un micron a fost obținută în condiții de teren cu asemenea senzori.

d. Conectorii optici

Deoarece senzorii multipli pot fi măsurați în aceeași unitate de citire, conectorii optici sunt necesari pentru a conecta senzorii unul după altul. Majoritatea conectorilor single mode utilizați în industria telecomunicațiilor sunt potriviți optic pentru această aplicație. Cu toate acestea, acești conectori vor fi utilizați în mediul cu praf, pretențios al șantierului.

e. Cabluri optice

În multe cazuri, senzorul este plasat într-o regiune inaccesibilă a structurii și fibrele optice trebuie repartizate spre un punct de acces comun, unde unitatea de citire să poată fi ușor conectată. În aceste cazuri, este necesar să se instaleze cabluri optice între senzor și unitatea de citire. Conform celor două configurații prezentate cablul poate fi instalat între regiunea activă și cuplaj (în regiunea activă) sau între cuplaj și unitatea de citire (în regiunea pasivă). În al doilea caz, este necesar un cuplaj extern pentru fiecare senzor.

Ca regulă generală dacă, cablul optic este instalat în regiunea activă, fibrele trebuie conținute în microtuburi în interiorul cablurilor, iar fibrele tampon trebuie evitate. Mai mult, cablurile nu ar trebui mutate, dezrolate sau deplasate între măsurători sau va rezulta o scădere dramatică în precizie. În cazul structurilor care sunt construite în faze diferite, unde instalația cablurilor cu fibre optice trebuie să preceadă în paralel cu progresul construcției, sunt posibile două alternative. Ori fiecare senzor este dotat cu cuplajul său și cablul este instalat în regiunea pasivă, sau se va realiza o măsurare imediat înainte sau după fiecare deplasare a cablului, iar erorile vor fi apoi corectate în stadiul de procesare a datelor. Dacă, cablul este instalat în regiunea pasivă nu sunt necesare corecții sau proceduri speciale și se pot utiliza cabluri tampon de nylon. Aceste considerații puntează faptul că pentru majoritatea aplicațiilor de teren este de preferat utilizarea cuplajelor integrate.

6.11. Analizorul (199, 211)

Funcția subsistemului analizator este de a introduce un dezechilibru în rută, controlat între cele două brațe ale senzorului. În acest fel, analizatorul este echivalentul optic al podului rezistiv Whetstone. Într-o abordare specială, analizatorul este văzut ca un interferometru Michelson care realizează o analiză Fourier la spectrul de intrare. Subsistemul analizator consistă dintr-un despărțitor de raze, un braț de lungime fixată și o linie de întârziere variabilă la al doilea braț. Componentele mecanice și electrice necesare pentru operarea liniei de întârziere sunt de asemenea, o parte a acestui sistem.

6.12. Software FORMOS- SOFO (199, 211)

6.12.1. Amplificator de închidere

Sistemul FORMOS s-a bazat pe un amplificator de închidere pentru a extrage contrastul capetelor. Semnalul de referință de închidere a fost generat sintetic la o frecvență egală cu frecvența prevăzută la aceste capete. Închiderea cu două canale a fost setată pentru a da fazei și modulul semnalului și aceasta a fost mai târziu digitalizată sincron semnalului motorului cu pași. Închiderea utilizată la sistemul FORMOS a fost modelul Standfor Research SR650.

6.12.2. Extragerea învelișului analog

La primele sisteme SOFO s-a încercat rivalizarea cu funcția de închidere cu un circuit electronic mai rapid și mai simplu, consistând dintr-un filtru de trecere înalt (6dB/Oct la 10 kHz), urmat de un circuit de susținere a crestei. Prima a tăiat partea negativă a semnalului și apoi a încărcat o capacitate cu voltaj instantaneu. Capacitatea a fost apoi descărcată printr-o rezistență care a determinat constanta timpului sistemului.

6.12.3. Procesarea digitală

În loc de a extrage învelișul cu un circuit analog, este posibil să se realizeze aceeași operație numeric după transformarea A/D a semnalului capătului modulat. Pentru a reprezenta semnalul ambiguu, teorema Shannon necesită ca frecvența mostrei să fie cel puțin dublu față de cea mai înaltă

componentă de frecvență a semnalului. Frecvența limitei semnalului pentru o frecvență de comutare este numită frecvența Nyquist.

6.12.4. Procesare de date și interfață

Într-o structură tipică, zeci de senzori sunt instalați și măsurați de mai multe ori, manual sau automat. Pentru fiecare măsurătură, subsistemul de procesare a semnalului returnează o serie de vârfuri. Subsistemul de procesare a datelor trebuie să analizeze, să depoziteze și să reprezinte grafic aceste date. Acest subsistem este implementat la nivelul programului software și este fizic localizat în PC, astfel încât controlează unitatea de citire. Programul software realizează două funcții de bază: achiziție de date și analiză de date. În faza achiziției, măsurăturile sunt realizate de senzori diferiți și depozitați pentru analiza realizată de pachete de analiză a datelor. Programul de software de achiziție este, prin urmare, universal, în timp ce programul de software de analiză depinde de aplicație. Ar fi de exemplu, un program software diferit pentru analiza datelor pentru structuri și baraje.

6.12.5. Program de software de achiziție

Acest program de software are o interfață între utilizator și unitatea de citire în timpul sesiunilor de măsurare. Ar trebui să conecteze senzorul potrivit sau să ceară operatorului să facă astfel, să realizeze o măsurătură, să depoziteze și să prezinte rezultatele. Ar trebui, de asemenea să depoziteze date adiționale care ar putea fi folosite la stadiul de analiză a datelor precum data și timpul, intensitatea DC detectată pe fotodiodă sau pe alt parametru definit de utilizator (nivel de sarcină, temperatură). Achiziția programului software a evoluat cu unitatea de citire.

6.12.6. FORMOS

Sistemul FORMOS a utilizat un program software scris de Rogerio Passy la Gap (Universitatea din Geneva) în Turbo Pascal sub MS-DOS și orientate spre măsurarea dispersiunii modului polarizării. Aceasta poate prezenta vizibilitatea capetelor ca funcție a poziției oglinzii.

6.12.7. SOFO/ SOFO 96

Programul software a fost scris în Visual Basic sub Windows 5.11 și mai târziu transportat la Windows 96 (SOFO 96). Acest software a fost o îmbunătățire a programului software FORMOS. Ar ajunge să recunoască semiautomat vârfurile și să calculeze centrul lor de gravitate. Rezultatele au fost depozitate în fișiere individuale și colectate într-un fișier istoric care putea fi citit în Excel sau în alt program software de analiză a datelor. Utilizatorul putea defini o secvență a măsurătorilor și programul ar îndemna conexiunea senzorului când ar fi necesar. Dezavantajul principal al acestui software a fost lipsa de depozitare a datelor coerente. Informația despre evoluția deformării a fost împrăștiată în mai multe fișiere care câteodată mergeau fără sincronizare. Mai mult, a fost imposibil de văzut evoluția deplasărilor chiar după măsurături. Aceasta este folositoare pentru a verifica funcționarea corectă a unui sensor.

6.12.8. SOFO DB

Programul SOFO DB este evoluția naturală a SOFO 96. A fost, de asemenea, scris în Visual Basic pentru Windows 96 și pentru Windows NT. Principala caracteristică rezidă din faptul că toate datele preocupate de un singur proiect și structură, sunt depozitate într-un singur fișier de baze de date. Informația este organizată într-un număr de tabele. Cele mai importante sunt:

- **Tabel de proiect.** Conține o singură înregistrare care conține informație generală despre proiect precum numele proiectului și descriere, data creării și valoarea numerică a constantelor

fibrei.

- **Tabel de sensor.** Depozitează informație despre fiecare senzor (sau lanț de senzori). Aceasta include numele senzorului și descrierea, lungimea sa totală și indicația despre cum se conectează senzorul (manual, sau printr-un întrerupător optic) și despre prezența unui cuplaj integrat.
- **Tabel de campanie.** Deține informații despre fiecare campanie de măsurare. O campanie este un set de măsurători care sunt realizate pe o structură în același timp, cu aceeași sarcină, temperatură și tot așa. Acesta conține numele campaniei și descrierea, data, durata campaniei, numele operatorului, descrierea semnalelor A/D și datele utilizatorului.
- **Tabel de măsurare.** Depozitează măsurătorile singulare pe un senzor (sau pe un lanț de senzori). Domeniile depozitate includ numele măsurătorii și descrierea, data și timpul, pasul de achiziție și numărul seial al unității de citire, numărul punctelor datelor după pragul delimită, poziția vârfului central, voltajul măsurat pe canalele A/D, componenta DC a voltajului fotodiod, voltajul bateriei interne, temperatura internă a unității de citire și un domeniu Boolean care indică dacă rezultatul măsurăturii ar trebui să nu fie luat în seamă în timpul analizei datelor.
- **Tabel de definiție a vârfului.** Acest tabel conține o descriere a fiecărui vârf care apare la un sensor dat. Dacă senzorul este un senzor singular, numai o definiție de vârf este utilizată. Dacă senzorul este un lanț de reflectori parțiali sau orice altă setare multiplexă care oferă creștere la mai multe vârfuri, o definiție de vârf va fi oferită fiecărui sensor din lanț.
- **Tabel de vârf.** Conține poziția și zona vârfului pentru o măsurătură dată și o definiție a vârfului. De asemenea, depozitează un reper care indică, că măsurătura ar trebui neglijată.

Programul software de asemenea, depozitează agende care conțin instrucțiuni despre secvențele și durata măsurăturilor. O agendă poate executa automat utilizând întrerupătoare optice sau semiautomate prin cererea operatorului pentru conexiune manuală cu fiecare senzor sau lanț senzorial. După o măsurătură, programul software încearcă să identifice vârfurile care au fost prezente în măsurătorile anterioare și arată rezultatele scanării utilizatorului astfel încât ele pot fi comparate cu cele anterioare. Poate arăta de asemenea evoluția poziției fiecărui vârf pentru a permite o verificare ușoară a funcționării senzorului.

Acest software poate funcționa cu toate generațiile sistemului SOFO (dar nu cu sistemul FORMOS). Se poate adresa chiar și unităților de citire conectate la un singur PC. Interfața utilizatorului permite o navigare rapidă și ușoară printre senzori, măsurături și sesiuni. Este adaptat pentru utilizarea în laborator și pe teren și permite o privire generală a rezultatelor înainte de analiză și este realizat cu pachete de program software avansate.

6.12.9. Program de analiză software

Pachetele de analiză a datelor interpretează datele înregistrate de programul software achiziționat în baza de date. Unele din aceste pachete sunt pentru utilizare generală și pot fi utilizate cu fiecare tip de structură, în timp ce altele se utilizează la o anumită structură de un anumit tip. Exemple de asemenea instrumente sunt:

- **Analiză de evoluție a deplasării.** Acest pachet pentru scop general extrage rezultatele care se ocupă de un singur senzor și le prezintă ca o funcție a timpului sau ca sarcină. Datele pot fi exportate spre alte pachete de software, precum un manipulator de tabele sau alte instrumente grafice pentru reprezentări adecvate.
- **Curbură.** În raze, dale, bolte și domuri este posibil măsurarea curburii locale și poziția axei neutrale prin măsurarea deformărilor pe partea de rezistență și compresie a unui element dat. În multe cazuri, evoluția curburii poate da indicații interesante a statutului structurii.
- **Feedback la programele cu elemente finite.** Acum majoritatea structurilor sunt modelate de programul software FE. Ar fi interesant de alimentat datele măsurate din aceste structuri o dată construite, înapoi la aceste programe. Realizând asta, va fi posibil să se câștige o înțelegere a

proprietăților unui tip de structură dat și eventual să se îmbunătățească proiectul acestuia.

6.13. Arhitectura multiplexing (199, 211)

6.13.1. Prezentare generală a arhitecturii multiplexing

Într-o structură civilă tipică precum o construcție aflată deasupra unei exploatare miniere de subteran, zeci sau chiar sute de senzori trebuie instalați și măsurați. În secțiunile anterioare am văzut cum se măsoară un sensor și cum se obțin informații despre deformare la un anumit punct al structurii. Pentru a măsura un număr mare de senzori este posibil să se conecteze manual fiecare sensor, unul după altul. Aceasta se realizează prin natura absolută a interferometriei de coerență joasă: nici o conexiune permanentă nu este necesară între sensor și unitatea de citire. Această multiplexitate manuală este adaptată în mod special pentru monitorizarea pe termen lung a structurilor care necesită măsurători ocazionale (de exemplu o dată pe lună sau o dată pe an). Când măsurătorile sunt necesare mai dese, multiplexitatea manuală devine o cerință dificilă și o procedură automată trebuie stabilită. Un alt dezavantaj în schema multiplexă manuală este nevoia de una sau două fibre de ieșire pentru fiecare sensor. Din cauza unui număr mare de senzori, aceasta poate rezulta într-un număr important de cabluri care merg de la senzori spre unitatea de citire care poate fi câteodată plasată la distanțe mari una de alta. Dacă un număr mare de senzori ar putea fi conectat la unitatea de citire printr-un număr mare de fibre, aceasta ar simplifica rețeaua de senzori și instalația sa ar reduce costurile fibrelor pasive și conectorilor relativi. În această secțiune vom explora tehnicile multiplexe diferite, care se adresează măsurătorilor automate unui număr mare de senzori și reducerea cablurilor de ieșire.

Scopul unei arhitecturi multiplexing este conectarea unui număr de senzori la o singură unitate de citire. Acești senzori pot fi adresați simultan sau secvențial. Nici o intervenție manuală nu ar trebui să fie necesară. În cazul multiplexității longitudinale, senzorii sunt legați unul după altul și sunt dotați cu reflectori parțiali care acționează precum oglinzile semireflective și permit discriminarea deformărilor care apar în fiecare secțiune senzorială obținută.

6.13.2. Concluzii privind tehnicile de multiplexitate

Când multiplexitatea laterală dintre un număr mare de senzori este necesară, comutarea optică pare singura soluție, în ciuda prețului mare pe canal. Pentru un număr redus de senzori, alte tehnici și mai ales utilizarea cuplajelor pasive și bobinelor de întârziere sunt mai simple și mai ieftine. Când multiplexitatea longitudinală este necesară, deformările prevăzute sunt mici și senzorii relativ scurți (de exemplu cei pentru structurile de beton), multiplexitatea de coerență simplă este de departe cea mai bună soluție. Aceasta necesită numai modificări mici pentru senzori și unitatea de citire, comparat cu setarea senzorilor single. În cazul senzorilor lungi și a deformărilor mari (tipic de geomecanică) intersecțiile vârfurilor trebuie permise și sunt necesare scheme de demodulare mai complexe. Soluțiile care recunosc vârfurile prin forma lor nu necesită modificări majore la unitatea de citire, dar au nevoie de reflectori parțiali croiți speciali. Aceasta reduce flexibilitatea sistemului (secțiuni diferite a lanțului nu pot fi schimbate) și pot duce la pierderi de precizie datorate inevitabil, lărgirii vârfului. Pe de altă parte, metodele bazate pe măsurători directe sau indirecte a duratei zborului, se pot utiliza reflectori identici, dar necesită electronică de mare viteză. Pe lângă creșterea complexității și costul unității de citire, electronica de mare viteză poate aduce, de asemenea o creștere sensibilă la zgomot, mai ales la nivelul fotodiodei și preamplificatorului. Aceasta reduce drastic numărul reflectorilor care pot fi multiplexați de-a lungul aceleiași linii pentru o energie a sursei dată. Sursele de energie înaltă sunt disponibile, dar prețul lor și consumul de energie descurajează utilizarea lor în unitățile de citire portabile.

Tabelul 20. Variante de multiplexitate a senzorilor (199, 211)

| Multiplexitate | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Multiplexitate laterală | Multiplexitate Longitudinală | | | |
| | Multiplexitate coerentă | Identificare de vârf | | |
| | | Forma și Poziția Vârfului) | Identificarea vârfului | |
| | | | Modulare de intensitate | Modulare de fază |
| Comutator optic | Multiplexitate coerentă) | Rețele de fibre Bragg) | Fază de schimb) | Pulsuri de fază |
| Comutator electric | | Etaloane | | Pași de fază pseudo |
| Bobine de întârziere cu multicanale | | Intensitate | | Trecere single |
| Multiplexitate coerentă | | Dispersie | | Trecere dublă |
| Multiplexitate de lungime de undă | | | | Modulație liniară de frecvență |

6.14. Cele mai importante aplicații din cadrul proiectului SAFO (199, 211)

6.14.1. Concluzii, date generale privind cele mai importante aplicații din cadrul proiectului SAFO

Experimentele prezentate arată că evoluția sistemului SOFO, ca întreg (senzori, unitate de citire, program software), este urmată și condusă de nevoi reale și probleme aflate în afara laboratorului, în experimente folositoare și în condiții de șantier reale. Proiectul și realizarea unui sistem de monitorizare a deformării complete bazate pe interferometria cu coerență joasă la senzorii cu fibre optice și adaptate la aplicații de inginerie civilă. Sistemul SOFO cuprinde:

- O serie de senzori pentru încastrare de beton direct și montare la suprafață pe structuri existente și metalice,
- O unitate de citire adaptată la aplicațiile pe teren,
- Un număr de scheme de multiplexare care permit măsurarea senzorilor multipli cu unitate de citire single,
- Pachete cu program software care permit organizarea măsurătorilor într-un sistem de bază de date relațional, precum și vizualizarea și analiza, extragerea datelor adunate,
- Sistemul SOFO a fost aplicat cu success la monitorizarea unui număr de structuri civile,
- Cele mai relevante aplicații ale acestor senzori sunt prezentate în continuare.

6.14.2. Realizări principale

Senzori

- **Interacțiuni cu structuri cu înveliș de fibre.** S-a aflat că învelișurile de poliamidă transmit tensiunea și sunt adaptate pentru senzorii de cuplaj local. Fibrele cu înveliș de nylon sunt cele mai potrivite pentru cuplaje distribuite cu lungime completă. Fibrele cu înveliș cu acril transmit tensiunea numai la temperaturi mai joase de 56 grade Celsius și la tensiuni mai mici de 0,6%, ele prezintă probleme de fluaj pentru aplicațiile pe termen lung. Două adezive epoxy diferite au

fost selectate pentru a cimenta fibrele optice cu înveliș la piesele ancorate pentru aplicații cu temperaturi mari și mici.

- **Sensibilitatea la temperatură a structurilor cu înveliș cu fibre.** Experimentele și modelele teoretice au arătat că învelișul de acril și poliamidă nu alterează semnificativ coeficientul de expansiune termală joasă a fibrelor silica și astfel sunt potrivite pentru fibrele de referință. Fibrele de referință cu înveliș de nylon introduc o sensibilitate parazitică importantă la temperatură. Învelișul nu influențează proprietățile de temperatură a fibrelor de măsurare.
- **Senzorii pentru încastrare de beton și monitorizare a suprafeței.** Un senzor pentru încastrare directă în beton (inclusiv în mortar și ciment) a fost proiectat și realizat în versiuni successive diferite. Același senzor poate fi montat pe suprafața structurilor existente și pe materialele care nu permit încastrare directă (metale). În alte cazuri, senzorii pot fi instalați în nișe prelucrate (ex. de beton și lemn). Senzorii de acest tip și lungimile de până la 6 m sunt produse industrial de DIAMOND SA și distribuite de SMARTEC SA.
- **Senzori lungi.** Senzorii cu lungimi de până la 40 de metri au fost proiectați și produși pentru monitorizarea ancorării și ca înlocuitori rockmetri pentru instrumentația barajului.
- **Senzorii mici.** Senzorii cu diametru mic bazați pe cuplaje distribuite cu lungime întragă și adaptați la mortar și încastrare cu adeziv au fost de asemenea dezvoltati și testați.
- **Senzori înlănțuiți.** Lanțurile senzoriale care utilizează conectori cu goluri de aer ca reflectori parțiali au fost proiectați și testați. Senzorii sunt similari celor pentru beton, dar dispun de conectori la ambele capete.

Unitatea de citire

- **Realizarea unității de citire portabile pentru aplicațiile de teren.** S-a realizat o unitate de citire portabilă, energizată cu baterie. Această unitate este adaptată la aplicații pentru clădiri, fiind rezistentă la apă și nereglată. O versiune industrială este dezvoltată de SMARTEC SA.
- **Optimizarea liniei de întârziere.** Un model matematic a fost propus pentru a ajuta în optimizarea linie de întârziere de trecere dublă-influența curburii liniei a fost de asemenea studiată și optimizată pentru a obține o energie de cuplaj constantă relative pentru toate pozițiile oglinzii.
- **Tehnici de demodulare.** Au fost comparate tehnicile de demodulare digitale și analoge. Demodularea digitală cu semnal de capete cu mostre a fost reținută ca soluție care oferă cel mai bun compromis dintre rezistența la zgomot și performanța procesării datelor.

Programul de analiză și măsură

- **SOFO16 și SOFO96.** Acestea sunt pachetele de software dezvoltate pentru utilizare cu sistemul SOFO. Ele permit analiza vâfurilor automate, precum și proiectul primitive și managementul istoric al senzorului.
- **Definiția structurii bazelor de date.** O structură de baze de date relațională a fost proiectată pentru a depozita toate datele reale la un anumit proiect într-un singur fișier. Această bază de date conține toate măsurătorile și alte date folositoare pentru o analiză succesivă a rezultatelor. Această bază de date este de asemenea un instrument important pentru aplicația unui management de calitate total pentru proiecte bazate pe sistemul SOFO.
- **SOFO DB.** Acest pachet de software implementează structura bazei de date, înregistrează, extrage și prezintă datele obținute din unitatea de citire SOFO. Este proiectat pentru a lucra cu toate tipurile de senzori SOFO (inclusiv lanțuri de senzori) și unitățile de citire. Acesta de asemenea conține funcții de scriere avansate și permite utilizarea comutatoarelor optice pentru măsurătorile nesupravegheate.

Multiplexarea

- **Analiza soluțiilor multiplexe posibile.** S-a realizat un studiu complet despre soluțiile multiplexe posibile pentru senzorii cu coerență joasă. Multe soluții au fost testate experimental și comparate pentru energia și eficiența costului. Câteva soluții au fost considerate ca setări noi.

- **Multiplexarea coerentă în linie.** Prin utilizarea perechiilor de reflectare parțială este posibil să se multiplexeze mulți senzori in-line (într-un lanț). Acest tip de multiplexare oferă o eficiență bună de energie. Soluții pentru corelarea ambiguă a vârfurilor de interferență cu perechile de reflectori au fost de asemenea propuse.
- **Pulsuri fazice.** Pulsurile fazice pot fi utilizate pentru a identifica reflectorii parțiali prin poziția sa fizică în lanțul senzorial.
- **Modulare fazică cu trecere dublă.** Această setare este o evoluție a pulsurilor fazice și permite o rezoluție spațială de până la câțiva centimetri. Măsurătorile timpului delicat sunt transformate într-o măsură de amplitudine mult mai simplă.
- **Fibre Hi-bi.** O setare care utilizează fibre de birefrință hi-bi ca fibre de referință într-un senzor sau într-un lanț senzorial a fost prezentată. Această configurație permite o identificare a vârfurilor diferite printr-o simplă măsurare a vârfului împărțindu-l între două polarizări. Această setare permite măsurători simultane a deformărilor și temperaturii integrate.
- **Realizarea și caracterizarea reflectorilor parțiali.** Tipuri diferite de reflectori parțiali au fost testate inclusiv conectori cu goluri de aer, reflectori cu bule și rețele de fibre Bragg. Conectorii cu goluri de aer oferă cea mai flexibilă soluție pentru aplicațiile de inginerie civilă.

6.14.3. Aplicații

- **Monitorizarea deformării betonului în timpul setării.** Cu sistemul SOFO este posibil să se măsoare deformarea betonului în timpul reacției setării și începând direct după turnarea betonului. Mulțumită insensibilității la temperatură a acestei setări, încălzirea datorată reacției de setare nu influențează măsurătorile.
 - **Evaluarea comportamentului interfaței în structurile mixte.**
 - **Sistemul SOFO a fost utilizat pentru a studia comportamentul interfaței a structurilor mixte** inclusiv beton-oțel, beton vechi sau nou și plăci de beton-lemn și grinzi. A fost posibil să se analizeze cum eforturile sunt transmise între două materiale și cum micșorarea diferențială afectează proprietățile structurilor.
 - **Analiza geometrică a grinzilor, structurilor și plăcilor.**
 - Utilizând senzori de deformare, **este posibil să se analizeze comportamentul structurii cu analiză geometrică pură**, prin măsurarea variațiilor de distanță dintre punctele din structură. S-a aflat că monitorizarea curburii oferă un instrument puternic pentru a analiza structura cu un număr redus de senzori.
 - **Monitorizarea podurilor**
 - **Monitorizarea barajelor**
 - **Monitorizarea tunelurilor**
- Extensii ale sistemului SOFO**
- **Monitorizarea automată și întepărtată**
 - **Măsurătorile automate și îndepărtate ale structurilor sunt extensii importante și relative simple ale sistemului SOFO.**
 - **Analiza automată a măsurătorilor SOFO**
 - **Măsurătorile convenționale și automate pe un număr mare de senzori instalați într-o structură**, generează o cantitate uriașă de date, care sunt imposibil de analizat manual. Numai instrumentele automate, care permit analiza acestor date, pot extrage informațiile relevante rapid și eficient din punct de vedere al costului. Datele obținute cu sistemul SOFO ar trebui integrate cu alte măsurături (G.N.S.S. inclinometri, senzori de forță) pentru a obține o înțelegere completă a comportamentului structurii. Samuel Vurpillot prepară o dizertație pe acest subiect interesant și important.
 - **Măsurarea temperaturii, presiunii, umidității, pH, sării.**

- **Sistemul SOFO poate fi extins pentru a măsura alte cantități decât cele de deplasare.** Am văzut că este posibil să se obțină un senzor de temperatură, dar multe alte cantități pot fi transformate în deformare și astfel pot fi măsurate de SOFO. Exemplele includ presiunea, umiditatea, pH, penetrația sării și rugină. Un proiect de îmbinare făcut cu Universitatea Strathclyde are scopul de a dezvolta senzori chimici pentru aplicațiile de inginerie civilă bazate pe sistemul SOFO și utilizarea de hidrogeluri.
- **Senzori foarte lungi.** Senzorii cu lungimi active de 100 de metri și mai mult ar fi interesați pentru monitorizarea structurilor mari, inclusiv suspensia și structurile cu cabluri, baraje, platforme în larg, conducte de evacuare, tuneluri și linii de energie. Problemele principale trebuie rezolvate, inclusiv proiectul unei fibre de referință libere a senzorului pentru legarea la structură.
- **Extensometre scurte.** La capătul opus, cu numai câțiva centimetri mai lungi, senzorii ar putea oferi o alternativă interesantă la extensometrele rezistente în aplicații unde sunt prezente perturbările electromagnetice. Pentru a obține o rezoluție bună, va fi probabil necesar să se împacheteze senzorul pentru a crește deformarea de măsură. Pentru această aplicație, rețelele de fibre Bragg vor oferi probabil o alternativă mai bună dacă prețul va scade.
- **Demodularea rețelelor de fibre Bragg.** Sistemul SOFO poate fi utilizat pentru a demodula rețelele cu fibre Bragg multiple cu spectroscopia de transformare Fourier. Testele preliminare au fost încurajatoare, dar au arătat că rezoluția stadiului de translație care sprijină oglinda mobilă ar trebui crescută pentru a obține o tensiune folositoare și o rezoluție a temperaturii.

6.14.4. Rezultate secundare posibile

- **Utilizarea senzorilor SOFO cu alte tehnici: FBG, EFPI, ILFPI, Brillouin etc.**
- **Senzorii SOFO pot fi adaptați la tehnicile de măsurare cu fibre optice.** Rețelele de fibre Bragg (FBG), interferometrii extrinseci Fabry Perot (EPPI), interferometri in-line Fabry Perot (ILEPI) și alți senzori puncte, care pot fi transformați în senzori de deformare prin instalarea lor în interiorul senzorilor SOFO. Fibra de măsurare tensionată va transforma orice deformare în variație a tensiunii, care poate fi măsurată de senzorul punct. Un alt senzor poate fi fabricat pe fibra de referință pentru a compensa pentru dependențele de temperatură parazitice. Alte sisteme măsoară direct statutul de tensiune a fibrei și în amplificare stimulată Brillouin, poate fi de asemenea utilizată pentru a citi senzorii multiplexați SOFO. O colaborare cu Laboratorul de Cercetare Navală din Washington a fost stabilită pentru a explora senzorii SOFO care conțin rețele de fibre Bragg și alte aplicații FBG pentru ingineria civilă. Aplicațiile structurilor civile a sistemului Brillouin dezvoltat la laboratorul de metrologie (MET) la EPFL sunt prevăzute.
- **Măsurături dinamice a senzorilor SOFO.** Ar fi interesant dacă ar fi posibil să se măsoare senzorii SOFO la rate mai mari pentru a obține informații despre proprietățile dinamice ale podului și ale altor structuri. O paletă mare de metode bazate pe coerență, coerență joasă și incoerență (modulare cu microunde) este disponibilă și ar trebui explorată. Aceiași senzori ar putea fi utilizați pentru testarea materialului în timpul construcției, testării dinamice și statice și monitorizarea statică și dinamică pe termen lung.
- **Extensia SOFO DB la alte metode de măsurare.** Structura bazei de date cu SOFODB poate fi extinsă cu ușurință pentru a înregistra măsurători obținute cu alte sisteme de măsurare, ambele bazate pe fibre optice. Instrumentele de analiză integrată ar putea combina datele din diferite tipuri de senzori pentru a oferi o înțelegere completă a comportamentului structurii.

Alte aplicații posibile ale sistemului SOFO

- **Mortare și beton torcretat.** Senzorii mici și scurți pot fi utilizați pentru a caracteriza mortare, beton torcretat și adeziv în timpul tasării și pe termen lung. Acest lucru este în specila folositor în cazul renovării, pentru a garanta o coeziune bună între materialele adăugate și cele care stau la bază.

- **Structuri suspendate și cu cabluri răslețite.** Senzorii lungi ar putea fi utilizați pentru a monitoriza structurile lungi. Măsurăturile dinamice sub trafic și vânt ar putea fi importante în acest caz.
- **Domuri, acoperișuri și grinzi cu zăbrele în spațiu.** Domurile mari și alte acoperișuri extinse ar putea beneficia de monitorizarea geometrică posibil cu sistemul SOFO. Structurile non lineare înalte precum sistemul “tensegrity” propus de Passer+ Pedretti Engineering pentru acoperișurile Expo 2001 din Elveția sunt exemple de structuri care ar putea beneficia de un sistem de monitorizare de deformare. Ar fi chiar posibil să se introducă elemente active precum cric hidraulic pentru a amortiza aceste structuri.
- **Pavimente pentru drumuri.** Senzorii de temperatură mare dezvoltați pentru monitorizarea simulării centralei electrice nucleare EDF ar putea fi utilizat pentru a monitoriza deformările de paviment a străzii.
- **Structuri în larg.** Structurile în larg precum platformele de forare sunt subiectul stresului extrem și au nevoie cu siguranță de o monitorizare continuă. În special, cablurile lungi care sunt ancorate pe platformele de pe fundul mării ar putea beneficia de sistemul de monitorizare cu fibre optice.
- **Monumente istorice și structuri moștenite.** Clădirile vechi și structurile cu valoare istorică sau condiții statice precare ar trebui monitorizate regulat sau continuu pentru a garanta securitatea și pentru a permite intervenții timpurii, pentru a evita pagube irecuperabile.
- **Conducte.** Îmbinările conductelor ar trebui monitorizate pentru a evita scurgerea și consecințele asociate ecologice și economice.
- **Containere.** Containerele mari pentru lichide, gaze și fluide criogenice pot să sufere deformări mari când sunt umplute și golite. Un sistem de monitorizare adecvat ar putea monitoriza aceste deformări. Containerele pentru deșeurile nucleare ar trebui monitorizate.

6.14.5. Concluzii generale

Paragrafele anterioare arată că tendința adevărată pentru sistemele de monitorizare a defomării este de actualitate în ingineria civilă, și evident în aplicațiile acesteia în industria minieră. Sistemul SOFO, care consituie unul din rezultatele muncii doctorale și care va fi prezentat în următoarele secțiuni, răspunde la necesitățile exprimate mai sus pentru înlocuirea și complimentarea metodelor de monitorizare existente. Desigur, dezvoltarea acestui sistem a fost realizată și a început din curiozitatea științifică mai mult decât din cerere. Odată ce primele prototipuri de SOFO au început să lucreze în afara laboratorului, un interes mare a fost întâlnit, iar proiectele de cercetare s-au extins mai mult în direcția aplicațiilor. Profesioniștii interesați au ajutat în definirea punctelor tari și punctelor slabe ale acestui sistem și a câmpurilor de aplicație cele mai promițătoare. În Elveția sistemul a fost experimentat pe o paletă largă de proiecte inclusiv structuri noi și renovate (stradă, autostradă, cale ferată), tuneluri, geostructuri și baraje. În unele cazuri a fost posibilă compararea rezultatelor obținute cu sistemul prezentat cu cele furnizate de metode de măsurare stabilite. Aceste comparații au ajutat la rafinarea sistemului și la convingerea utilizatorului în performanța lui. Sistemul SOFO este acum comercializat de SMARTEC, o companie născută din cooperarea dintre Institutul federal elvețian de tehnologie, compania de inginerie civilă PASSERA+ Pedretti, Institutul de mecanică materială IMM, și fabricantul de componente cu fibre optice DIAMOND. Acești parteneri au participat la proiectul SOFO și au ajutat la focusarea pe aspecte practice, asociate cu aplicații pe șantier și cu producție industrială.

Dezvoltarea sistemului de măsurare SOFO nu a fost munca unei singure persoane. Am luat cunoștință de contribuția valoroasă a persoanelor care au muncit la aspectele practice diferite ale sistemului. Daniele Inaudi a proiectat și experimentat sistemul SAFO, Charles Gilliard și Aleksander Micsiz au proiectat și au realizat majoritatea subsistemelor electronice, precum și setările mecanice ale unităților de citire, Nicoletta Casanova, Raymond Delez, Pascal Kronenberg, Annette Osa-Wyser, Ange Pontier, Xavier Rodicio, Samuel Vurpillot“ și echipa de la DIAMOND au muncit cu mine la

dezvoltarea senzorilor. Samuek Vurpillot a fost responsabil cu elaborarea algoritmilor avansați pentru analiza rezultatelor complexe din structurile instrumentate cu mulți senzori.

Structurile inteligente sunt utilizate deja în alte domenii ingineresti, inclusive aerospațiu și structuri navale. Ele permit vibrații și controlul zgomotului în lamele rotorului și la avioanele cu aripi fără clapetă de șoc, care își schimbă forma, utilizând sisteme de acționare piezoelectrice integrate. Unele structuri civile inteligente există deja. Câțiva zgârie - nori sunt amortizați activ împotriva vântului și sarcinilor seismice cu greutate instalate pe șine, la niveluri înalte și mutate pe vinci hidraulic. Alte structuri civile ar putea beneficia din asemenea amortizări active: gândiți-vă la structurile de suspensie cu rigiditate variabilă, care ar putea evita condițiile de rezonanță. Pe lângă controlul dinamic, care este deocamdată intangibil pentru sistemul SOFO, alte structuri ar putea beneficia de un răspuns mai slab. De exemplu, cablurile post stresate ale unei structuri de beton ar putea fi retensionate pentru a compensa fluajul de beton, fluxul de apă ar putea fi alterat pentru a schimba forma barajului sau apa rece ar putea circula în raze sprijinind o clădire cu ridicare mare pentru a compensa deformațiile induse prin încălzire diferențială (datorită razelor soarelui sau focului). Alte moduri tradiționale de acționare pe o structură, precum o echipă de constructori realizând reparații, pot fi considerate într-o definiție mai largă, sisteme de acționare.

6.14.6. Elemente adiționale

În afara rutei de informații, alte elemente joacă un rol important în funcționarea potrivită a sistemului SOFO.

Procesoare interne

- Unitatea de citire are nevoie de o forță de procesare internă pentru a realiza comenzile precum scanarea oglinzii și transformarea semnalelor.
- **PC încastrat.** Primul sistem SOFO se bazează pe un card PC intern. Cardul electronic, care controlează mișcările oglinzii și achiziția de date au fost găzduite pe carduri separate în același canal de transmisie PC. Aceasta permite o flexibilitate mare și o modularitate a sistemului, dar crește considerabil mărimea și consumul de energie.
- **Cardul de achiziție.** SOFO III este bazat pe o placă de achiziție a Instrumentelor Naționale legate de un PC printr-o legătură paralelă și dispunând de un procesor încastrat care controlează achiziția și comunicarea cu PC.
- **Controlorul micro.** Versiunea industrială a SOFO se bazează pe un microcontrolor pentru toate funcțiile sale. Legătura de comunicare dispune de procesorul său independent.

Legături de comunicare

Unitatea de citire trebuie să comunice cu PC extern, iar aceasta se poate realiza în mai multe moduri:

- **Serial RS252, RS486:** legăturile seriale oferă o lățime de bandă mică, dar cu legături de distanță lungi cu cabluri fără scut. Primul sistem SOFO comunică cu PC extern printr-o legătură RS252. RS486 este utilizat în versiunea industrială a SOFO și oferă viteze mari și posibilitatea de a conecta dispozitive multiple la o legătură de canal de transmisie.
- **Paralel.** Cardul instrumentului Național comunică cu PC printr-un port paralel. Acesta accelerează conexiunea considerabil prin reducerea de distanță maximă dintre unitatea de citire și PC la numai un metru.
- **IEEE488 – GPIB.** Acesta este standardul de comunicație dintre dispozitivele de laborator. El va oferi o viteză bună, distanțe de legături scurte și posibilitatea de a conecta mai multe dispozitive. Acest tip de legătură nu a fost utilizată niciodată la un sistem SOFO.
- **Rețea.** O conexiune de rețea directă (de exemplu Ethernet) ar permite viteză mare, distanțe lungi și unități multiple de comunicare. O conexiune de rețea va fi disponibilă ca opțiune a versiunii industriale a SOFO.

Furnizori de energie

Unitatea de citire are nevoie de furnizor de energie. Deoarece este proiectată să funcționeze în

condiții de șantier sau pe structuri existente unde furnizarea de energie nu este disponibilă sau nu este fiabilă, unitatea de citire trebuie să dispună de sursa sa de energie, de exemplu o baterie. Sistemul FORMOS a fost conectat la o energie de 220 V și astfel nu a fost adaptat la operația pe teren. Toate sistemele SOFO pot fi energizate cu o baterie reîncărcabilă internă, un furnizor extern de 12 VDC (de exemplu o baterie de mașină) sau un furnizor 220/110 V care reîncarcă bateriile. Autonomia bateriei ar trebui să fie de cel puțin o zi de lucru, sau 8 ore plus 600 de măsurături. Reîncărcarea ar trebui să dureze cel puțin o noapte.

Carcasa și conectorii

Carcasa sistemului ar trebui să fie robustă, rezistentă la apă și vizibilă ușor. Ar trebui cel puțin să fie ușor de transportat pe distanțe lungi de o singură persoană. Pentru sistemul SOFO s-a selectat o carcasă de plastic, foarte robustă portocalie (vedeți figura 6.44). Toate elementele interne sunt fixate la placa de bază și pot fi îndepărtate rapid din carcasă pentru inspecție sau substituție. Această carcasă s-a comportat bine în condiții adverse, de exemplu dacă era lăsată în noroi, în ploaie sau ninsoare. Conectorii optici și electrici ar trebui să ofere o protecție bună împotriva apei și șocurilor.

În timp ce conectorii electrici rezistenți la apă sunt ușor de găsit, conectorii cu fibre optice oferă protecție împotriva apei și prafului. Conectorii DIAMOND E2000 oferă protecție adecvată împotriva agenților găsiți într-un șantier tipic, chiar dacă curățirea regulată este necesară.

Performanțe

Următoarele paragrafe analizează performanțele SOFO III, ultimul sistem construit la IMAC sub proiectarea mea, în condiții de laborator. Performanțele versiunii industriale (SOFO IV) construite, de asemenea sub proiectarea mea, de SMARTEC SA, sunt practic echivalente. Comportamentul unui asemenea sistem este mai bine înțeles prin privirea la performanțele la care este capabil în aplicațiile de teren reale, precum sunt cele prezentate în secțiunea 8.

Precizia unității de citire

Pentru a cuantifica precizia unității de citire am utilizat un interferometru extern Fabry Perot cu oglindă îndepărtată sprijinită de un element piezoelectric controlat de un extensiometru cu o rezoluție de 0.1 microni. Setarea este de asemenea, prezentată în figura 6.46. Reflecțiile de pe suprafața fibrei și de pe oglindă dă naștere la două vârfuri din diagrama de coerență. Distanța dintre cele două vârfuri a fost monitorizată ca o funcție în mișcările piezo. Rezultatul prezentat în liniaritate bună cu devierea standard de numai 1.2 microni. Aceasta este un rezultat remarcabil deoarece rezoluția echivalentă a codorului este de numai 2 microni și centrul gravității vârfurilor a fost calculate cu această precizie. Aceasta punctează faptul că va fi posibil să crească rezoluția chiar mai mult cu un codor precis. Acest experiment testează numai rezoluția pe deformări scurte. Precizia pentru dezechilibre de rute mai lungi va fi limitată de linearitatea stadiului de translație. În unitățile pe care noi le-am utilizat, acesta este garantat la mai mult de 4 microni.

Precizie senzorială

Precizia senzorială depinde de mulți parametri precum variația temperaturii, integrarea sau neintegrarea cuplajului în sensor și depinde dacă regiunea pasivă este manipulată între măsurători (de exemplu conectată la senzori). În final, precizia pentru deplasări mari este limitată de precizia în determinarea coeficientului elasto optic k_{stress} . În testele de laborator a fost posibilă obținerea de o precizie de aproximativ 0.1% pentru deformările de până la 8 cm. Rezoluția în testele de teren a fost de aproximativ 20 microni dacă cuplajul a fost deconectat de la senzorul dintre măsurături și de aproximativ 2 microni pentru senzorii cu cuplaj integrat.

Stabilitate

Stabilitatea pe termen lung a sistemului este limitată de stabilitatea stadiului de translație. Producătorul garantează o stabilitate de aproximativ 4 microni. În timpul măsurătorilor pe termen lung pe structuri stabile și binecunoscute, s-a aflat că o stabilitate de ordinul a 10-20 microni pe perioade de un an ar putea fi deduse din măsurături. Senzorii cu cuplaj integrat ar putea ajunge la o stabilitate de ordinul a 6 microni pe aceeași perioadă.

Capacitatea senzorială îndepărtată

Sistemul a fost testat cu regiune pasivă de până la 6 km în lungime. Lumina traversează mai mult de 10 km între sursă și detector. Nici o degradare a semnalelor nu a fost observată pentru lungimea acestei fibre. Deoarece măsurătorile sunt realizate la 1500 nm, dispersia cromatică este neglijabilă. Pentru lungimi mai mari (de obicei pentru majoritatea structurilor civile) dispersia modului de polarizare ar putea deveni observabilă și să se degradeze gradual precizia măsurăturilor prin introducerea unei împărțiri a vârfurilor.

Perspective

Cu industrializarea sa, sistemul SOFO a ajuns la a patra generație și la o maturitate considerabilă. Tehnologia din spatele unității de citire și a senzorilor este acum bine cunoscută și controlată. Sistemul a fost utilizat cu succes într-o varietate de aplicații de teren și laborator. Sistemul și-a dovedit fiabilitatea și este bine adaptat la aplicații civile. Mai multe dezvoltări ale sistemului, includ multiplexitatea senzorilor (precum a fost discutată în următoarea secțiune) și monitorizarea automată a structurilor. În acest caz, sistemul ar fi instalat permanent în interiorul sau lângă structură. Sistemul SOFO ar aduna permanent informații despre comportamentul structural, are niște avertizări dacă s-ar detecta probleme și ar răspunde la chemări îndepărtate permițând descărcarea parametrilor relevanți pentru un loc izolat și centralizat.

BIBLIOGRAFIE

1. Ackroyd N., Lorimer R., 1990, *Global navigation – a GPS user's guide*, Lloyd's of London;
2. Aziz .W., 2000, *Monitoring High-Rises Building Deformation using GPS*, Dept. of Geomatic Faculty, Univ. Technology Malaysia;
3. Baochen L., 1993, *Ground Surface Movements Due to Underground Excavation in the People's Republic of China*, in *Comprehensive Rock Engineering Principles, Practice and Projects*, editor-in-chief John A. Hudson, Pergamon Press Ltd., Oxford, England;
4. Bendea H., 2000, *Urmărirea prin metode topografice și cavernometrice a deformațiilor determinate de golurile subterane în perimetrul minier Ocnele Mari*, teză de doctorat, Petroșani;
5. Born M., Wolf E., 1975, *Principles of Optics*, section 1.4, Perganom Press, Oxford;
6. Brönnimann R. et al., 1998, "Instalarea Senzorilor din Fibră Optică pentru Aplicații în Ingineria Civilă", Simpozionul DD, Fiabilitatea Materialelor și Structurilor Fotonice, San Francisco, lucrarea DD7.2;
7. Brunner F., 2000, *Zur Kontinuierlichen uberwachung von Buawerken mit GPS*, TU Graz, vol 34, 45-46, Austria;
8. Celebi M., 2000, *GPS monitoring of structures in real-time: Recent advances*, U.S. Geological Survey, Menlo Park, USA;
9. Chang H., 1980, *Structural Control Using Active Tuned Mass Dampers*, International journal of Engineering Mechanics Division, Vol106, pag. 1091;
10. Chen Y.q, 1983, *Analysis of deformation surveys -A generalised method.*, Ph. D. dissertation, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Technical Report No. 94, University of New Brunswick, Canada;
11. Chrzanowski A, Chen Yq, Secord J.M., 1983, *On the strain analysis of tectonic movement using fault crossing geodetic surveys*, Tectonophysics 97:297;
12. Chrzanowski A, Chen Yq, Szostak-Chrzanowski A, Ogundare J, 1994, *Separability of Combined Deterministic and Geometrical Models of Deformation*, Proceedings of the XX-th International Congress FIG, Melbourne, Australia, March 5-12, paper No. 652.1;
13. Chrzanowski A, Szostak-Chrzanowski A, Massiera M, Whittaker C, 2002, *Monitoring and Numerical Modelling of Deformations of Large Dams - a Case Study*, Journal of Technical Sciences, Publisher: University of Warmia and Mazury, Olsztyn, pag. 47-60;
14. Chrzanowski A., 1993, *100 Years of Ground Subsidence Studies*, Chapter 33 in: *Comprehensive Rock Engineering* (Pergamon Press, Oxford, New York), 3:773-808;
15. Chrzanowski, A., and Wilkins R., 2005, *Continuous monitoring of deformations in open pit mines-problems and solutions*, Proceedings of 6 Geokinematischer Tag (ed. A. Sroka, R. Wittenburg), Freiberg, May 12-13, published in Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen, T.U. of Mining, Freiberg, Heft 2005-1, pp. 17-3 International Symposium on Deformation Measurements and Analysis, Lisbon (organized by LNEC) May 12-15, (in print). Glaser, S.D. and D.M. Doolin (2000);
16. Cinci T.S., Dragomir P.I., 2013, *Perspectives for development of new positioning systems*, Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering-Proceedings of the 1st European Conference of Geodesy & Geomatics Engineering (GENG'13, Pag. 8-10;
17. Collins J., 1982, *The satellite solution to surveying*, Professional Surveyor;
18. Coșarcă C., 2003, *Topografie inginerească*, Editura Matrix Rom, București;
19. Costin A., 1974, *Verificarea aparatelor de măsurat și control*, Editura Militară, București;
20. Cristescu N., 1978, *Topografie inginereasca*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
21. Cross P., 1987, *Geodetic networks for the surveyor*, London;
22. Cross P., 2000, *Prospects for GPS-new system, new applications, new techniques*, Engineering Surveyingshowercase;

23. Culshaw B., Dakin J., 1984, *Optical fiber sensors. Systems and application*, vol. 2, Artech House, London;
24. Denis-Papin M., Castellan J., 1970, *Métrologie Générale*, Tome I et II. Edition Dunod, Paris;
25. Denis-Papin M., Fouillé A., 1966, *Métrologie Appliquée*, Edition Dunod, Paris ;
26. Dima N., 2005, *Geodezie*. Editura Universitas, ISBN 973-8260-94-9;
27. Dima N., Herbei O., Veres I., Fissgus K., 2003, *All about GPS*, Annals of the University of Petrosani, ISSN 1454-9174;
28. Dima N., Herbei O., Veres I., 2005, *New possibilities for monitoring of land subsidens*, Simpozionul SESAM, INSEMEX, PETROSANI;
29. Dima N., Pădure I., Herbei O., 1998, *Metode și dispozitive pentru urmărirea deformațiilor lucrărilor miniere orizontale*, Revista Mine , Petrol , Geologie;
30. Dima N., Pădure I., Herbei O., 1996, *Topografie minieră*, Editura Corvinul, Deva;
31. Dima N., s.a. 2005, *Topografie generală și elemente de topografie minieră*, Editura Universitas, ISBN 973-741018-1;
32. Dima N., 2000, *Topografie inginerească*, note de curs, UPET;
33. Dodson A., and col., 2001, *Adaptiv Method for Mutipath Mitingation and Its Apllication for Structural Deflection Monitoring*, International Symposium on Kinematic System in Geodesy, 5-8 06.2001, Alberta, Canada;
34. Dragomir P.I., Clinci T.S., 2014, *Tehnici de măsurare și poziționare în domeniul apropiat*, Pagini 196, Editor CONSPRESS;
35. Dragomir P.I., Mototolea C., *Measurement techniques in aeronautics industry*, Jurnal RevCAD - Journal Of Geodesy And Cadastre Numărul 15, Pagini 8, Editor AETERNITAS;
36. Dragomir P.I., 2009, *Bazele măsurătorilor inginerești*, Pagini 181, CONSPRESS, ISBN 978-973-100-082-4;
37. Dragomir P.I., Rus T., Dumitru P., Fădur M., *Perspectivile realizării sistemului de poziționare ROMPOS*, 2007/10, Analele Universității din Oradea;
38. Dragu D., and col., 1980, *Toleranțe și măsurători tehnice*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
39. Dumville M., 1997, *Autonomous Guidance and CONTROL of Construction Plant by GPS*, Institut of Engineering Surveying and Space Geodesy, Nottingham;
40. Eric Udd, (ed.), 1993, *Fiber Optic Sensor – An introduction for Engineering Mechanics*, American Society of Civil Engineering, New York;
41. Freiser M. J., 1968, *A survey of magnetic effect*, IEEE Trans. Mag., Vol. 4, nr.2, pag. 152-161;
42. Gassner G., 2002, *GPS Software Development for Monitoring of Landslides*, FIG XXII Congress Washington;
43. Ghiocel D., Lungu D., 1972, *Acțiunea vântului, zăpezii și variațiilor de temperatura in construcții*, Editura Tehnica, Bucuresti;
44. Ghițau D., 1973, *Geodezie – Triangulație*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
45. Gialloresi M., et al., 1982, *Optical Fiber Sensor Technology*, IEEE J. Quantum Electronics QE-18, pag. 626-665;
46. Glisic, B., 2000, *Fiber Optic Sensor and Behaviour in Concrete at Early Age*, Ph.D. Thesis N° 2186, EPFL, Lausanne, Switzerland;
47. Glisic, B. and Inaudi, D., 2002, *Crack monitoring in concrete elements using long-gage fiber optic sensors*. 'First International Workshop on Structural Health Monitoring of Innovative Civil Engineering Structures, ISIS Canada, Winnipeg, Canada. 227–236. Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring B. Glisic and D. Inaudi © 2007 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-06142-8;
48. Glisic, B. and Inaudi, D., 2003a, *Components of structural monitoring process and selection of monitoring system*, PT 6th International Symposium on Field Measurements in GeoMechanics (FMGM 2003), Oslo, Norway, 755–761;

49. Glisic, B. and Inaudi, D., 2003b, *Sensing tape for easy integration of optical fiber sensors in composite structures*. 16th International Conference on Optical Fiber Sensors, We 3-8, Nara, Japan;
50. Glišić, B., Inaudi, D. V., 2006, *Finite Element Structural Monitoring Concept*, Fédération Internationale du Béton, Proceedings of the 2nd International Congress, June 5-8, 2006 – Naples, Italy, ID 17-18 Session 17 – Monitoring, maintenance, repair and failures;
51. Gowar J., 1984, *Optical Communication Systems*, Second Edition, Prentice Hall, New York;
52. Grafarend E. W., Sanso F., 1985, *Optimisation and design of geodetic networks*, Springer Verlag;
53. Grecea C., 1999, *Introducere în geodezia satelitară*, Editura Mirton, Timișoara;
54. Grecea C., Mușat C., Sturza M., Herban S., David V., 2006, *Complemente de Măsurători Terestre*, Vol. 1-2, Editura Politehnica, Timișoara;
55. Herbei O., Bendea H., Veres I., 2000, *Utilizarea metodelor topografice de urmarire a deformarii suprafeței terestre sub influența exploatarii subterane în cazul zacămintelor de sare*, Simpozion international Echipamente și Tehnologii pentru Industria Extractivă. 17-18 aprilie 2002 Deva;
56. Hoek E., 1974, *Progressive Caving Induced by Mining an Inclined Ore Body*, Trans. Inst. Min. & Met., London, October, 1974;
57. Hoffmann – Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 1994, *GPS – Theory and practice*, third revised edition, Springer – Verlag Wien;
58. Inaudi D., 1997a, *Detecția inteligentă din fibră optică, Tehnici și Aplicații de Măsurare Optică*, P. K. Rastogi editor, Artech House, pp. 255-275;
59. Inaudi D., 1998a, *Fiber Optic Sensor Network for the monitoring of civil engineering Structures*, presentee au departement de genie civil Ecole Polytechnique Federale de Lausanne pour l'obtention du grade de docteur es sciences techniques;
60. Inaudi D., Posenato D., 2004, *Dynamic demodulation of long-gauge interferometric strain sensors*, SPIE conference on Smart Structures and materials, March 2004, San Diego;
61. Inaudi, D., 1997, *Field testing and application of fiber optic displacement sensors in civil structures*, 12th International Conference on OFS 1997 – Optical Fiber Sensors, Williamsburg, OSA Technical Digest Series, Vol. 16, pp. 596–599;
62. Inaudi, D. and Glisic, B., 2002a, *Development of a fiber optic interferometric inclinometer*. 9th SPIE's Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Vol. 4694-05, San Diego, USA. 36–42;
63. Inaudi, D. and Glisic, B., 2002b, *Long-Gage Sensor Topologies for Structural Monitoring*. The First fib Congress on Concrete Structures in the 21st Century, Vol. 2, Session 15, Osaka, Japan. 15–16. (on conference CD);
64. Inaudi, D. and Glisic, B., 2005, *Development of distributed strain and temperature sensing cables*. 17th International Conference on Optical Fiber Sensors, Part I, Bruges, Belgium. 222–225. References 255;
65. Inaudi, D. and Glisic, B., 2006, *Reliability and field testing of distributed strain and temperature sensors*. 13th SPIE's Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Vol. SSM02, (Smart Sensor Monitoring Systems and Applications), Vol. 6167, San Diego, USA. 61671D-1–61671D-8;
66. Inaudi, D., Casanova, N., Glisic, B., 2001, *Long-Term deformation monitoring of historical constructions with fiber optic sensors*. 3rd International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Guimaraes, Portugal. 421–430;
67. Inaudi, D., Glisic, B., Vurpillot, S., 2002, *Database structures for the management of monitoring data*. First International Workshop on Structural Health Monitoring of Innovative Civil Engineering Structures, ISIS Canada, Winnipeg, Manitoba, Canada. 85–94;
68. Inaudi, D., Elamari, A., Pflug, L. et al., 1994, *Low-coherence deformation sensors for the monitoring of civil engineering structures*. Sensors and Actuators A, 44, 125–130;

69. Inaudi, D., Casanova, N., Kronenberg, P. et al., 1997b, *Embedded and surface mounted fiber optic sensors for civil structural monitoring*. Smart Structures and Materials Conference, SPIE Vol. 3044, San Diego, USA. 236–243;
70. Inaudi, D., Casanova, N., Steinmann, G. et al., 1998b, *SOFO®: tunnel monitoring with fiber optic sensors. Reducing Risk in Tunnel Design and Construction*, ITC, Basel, Switzerland. 25–36;
71. Inaudi, D., Conte, J.P., Perregaux, N., Vurpillot, S., 1998c, *Statistical analysis of under-sampled dynamic displacement measurement*. SPIE Symposium on Smart Structures and Materials, Vol. 3325, San Diego, USA. 105–110;
72. Inaudi, D., Kronenberg, P. and Vurpillot, S. et al., 1999a, *Long-term Monitoring of a Concrete Bridge with 100+ Fiber Optic Long-gage Sensors*, SPIE's International Symposium on Nondestructive Evaluation Techniques for Aging Infrastructure & Manufacturing, Vol. 3587, Newport Beach, USA, 50–59;
73. Inaudi, D., Vurpillot, S., Martinola, G., Steinmann, G., 1999b, *SOFO®: Structural Monitoring with Fiber Optic Sensors*, Fib Commission Meeting, Vol. 40, No. 9, Institute of Structural Engineering, University of Applied Sciences, Vienna, Austria;
74. Ingensand H., 1969, *Ein Beitrag zur Entwicklung eines elektronischen Tachymeters*;
75. Ionescu G., 1985, *Măsurări și traductoare*, vol. I, Editura Didactică și Pedagogică, București;
76. Isaic-Maniu Al., Vodă V.Gh., 1980, *Pertinența, un nou indicator pentru alegerea mijloacelor de măsurare*, Metrologia aplicată Nr. 35, 1980;
77. Jeffrey A., 1999, *Monitoring Structural Deformation at Pacoima Dam, California, Using Continuous GPS*, United States Geological Survey;
78. Jin G., 2002, *Frequency Domain Optimal Control of the Benchmark Wind-Excited Building*, University of Notre Dame, Indiana, USA;
79. Jones J. D., Leilabady P. A., Jackson D. A., 1986, *Monomode fiber-optic sensors*, Int. J. Opt. Sensor, 1 (2), pag. 123-134;
80. Jurca T., Stoiciu D., 1996, *Instrumentație de măsurare*, Editura de Vest, Timișoara;
81. Kapany N. S., Burke J. J., 1972, *Optical Waveguides*, Chapter 3, Academic Press, New York;
82. Kashima S., 2002, *Monitoring the Akashi Kaikyo Bridge*, Structural Engineering International, 2/2002;
83. Kersey A., 1997, *Senzori din Fibră Optică, Tehnici și aplicații de Măsurare Optică*, P.K. Rastogi editor, Artech House, pp. 217-254;
84. Kersey M., Dandridge A., 1990, *Applications of Fiber-Sensor*, IEEE Trans. On Comp. Hybrids and Manufact. Technol. 13, pag. 137-143;
85. Kikuchi Y., Himeno K., Kawakami N., Suzuki F., Fukuda O., 1986, *Ultra-low crosstalk polarisation-maintaining fiber, in a short length operation*, Proc. Optical Fiber Communication Conf., Atlanta, GA, February, pag. 36, Optical Society of America;
86. Kovacs F., Jambrik R., 1992, *Predictable Effects of the Drainage of Open-Pit Workings*, ETSIMM (UPM), AITEMIN, Directeur de l'Édition Mañana, R., Congrès Minier Mondial, Madrid, 25/29 may, 1992;
87. Kratzsch H., 1993, *Mining Subsidence Engineering*, Springer-Verlag, Berlin;
88. Kuang J., 2001, *Coupled Vibration Analysis of Asymmetric Structure Buildings*, Universitatea Tehnologică din Hong Kong;
89. Larocca A., 2002, *Degradation in the deflection of millimetric dynamic movements due to metallic objects close to the GPS antenna*, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis;
90. Lecoy P., 1992, *Télécommunications optiques*, Ed. Hermès;
91. Leick A., 1990, *GPS Satellite Surveying*, John WILEY & Sons Inc. USA;
92. Li L., Wylangowski G., Payne D. N., Birch R. D., 1986, *Broadband metal/glass single mode fibre polarization*, Electron. Lett., 22, pag. 1020-1022;

93. Llioiu N., Lvanovici GH., 1966, *Memorator de metrologie*, vol.I, II, Editura Tehnică, București;
94. Manetti L., Terribilini A., Knecht A., 2009, *Autonomous Remote Monitoring System for Landslides*, SPIE's 9th annual international symposium on smart structures and materials, Proc. SPIE Vol. 4694, p. 230-235;
95. Manetti, L., Knecht, A., 2000, *Permanente und autonome Erdrutschüberwachung mit GPS*, Mensuration, Photogrammetrie, Génie Rural, N° 7, Switzerland;
96. Mannermaa J., 2003, *Detection of tracking loops performance of GPS receiver from PPS measurements*, University of Oulu, Finlanda;
97. Marcuse O., 1972, *Light Transmission Optics*, Van Nostrand–Reinhold, New York;
98. Marrone M. J., Rashleigh S. C., Blaszyk P. E., 1984, *Polarization properties of birefringent fibers with stress rods in the cladding*, J. Lightwave Technol, 2, pag. 155-160;
99. Max Ming-Kang Liu, 1996, *Principles and applications of optical communications*, The McGraw-Hill Companies, Inc.;
100. Meng X., 2002, *Simulation of the Effects of Introducing Pseudolite Data in to bridge Deflection Monitoring Data*, University of Nottingham, UK;
101. Midwinter J. E., 1989, *Optical Fiber for Transmission*, Wiley, New York;
102. Miloshev St., 2005, *Photogrammetric measurements of deformations*, Annual report 2005, ISPRS Kommission V;
103. Montillet, J. P., Bonenberg, L. K., Hancock, C. M. and Roberts, G. W., 2014, On the improvements of the single point positioning accuracy with Locata technology: GPS Solutions GPS Solutions. 18(2), 273-282;
104. Neamțu M., Onose D., Neuner J., 1988, *Măsurarea topografică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor*, Institutul de Construcții, București;
105. Neamțu M., Ulea E., Atudorei M., Bocean I., 1982, *Instrumente topografice și geodezice*, Editura Tehnică, București;
106. Neuner J., 2000, *Sisteme de poziționare globală*, Matrix Rom, București;
107. Nicolae – Posescu M., 1998, *Contribuții topo – geodezice la montajul construcțiilor înalte prin procedee industrializate*, teză de doctorat, U.T.C. București, Coordonator Prof. dr. ing. V. Ursea;
108. Nistor G., 1993, *Geodezie aplicată la studiul construcțiilor*, Editura Gh. Asachi, Iași;
109. Ogaja C., 2000, *Is GPS good enough for monitoring the dynamics of high rise buildings?*, 2ND Trans Tasman Survey Congres, Queenstown, New Zealand, 20-26.08.2000;
110. Ogaja C., and col., 2002, *Toward the implementation of on-line structural monitoring using RTK-GPS and analysis of results using the wavelet transform*, 10th INT. Symp.on Deformation Measurements, Orange, California 19-22 March, 2002;
111. Ogaja C., 2000, *On-line GPS integrity monitoring and deformation analysis for structural monitoring applications*. 14th Int. Tech. Meeting of the Sattelite Division of the U.S.Inst. of Navigation, Salt Lake City, UTAH, 11-14.09.2000;
112. Ogundipe, O., Lee, J. K. and Roberts, G. W., 2014. *Wavelet De-noising of GNSS based bridge health monitoring data*, Journal of Applied Geodesy. 8(4), 273-281;
113. Ogundipe, O., Roberts, G. W. and Brown, C. J., 2014, *GPS monitoring of a steel box girder viaduct: Structure and Infrastructure*, Engineering Structure and Infrastructure Engineering. 10(1), 25-40;
114. Onose D., 2003, *Topografie*, Editura MATRIX ROM;
115. Ortelecan M., Pop N., 2005, *Metode topografice de urmărire a comportării construcțiilor și terenurilor înconjurătoare*, Editura ACADEMICPRES, Cluj-Napoca, 2005
116. Parriaux O., Debergh P., 1994, *Optical sensor for detecting an electric field via the Faraday effect*, U.S. Patent 5, 331, 272;
117. Paunescu Cornel, 2007, *GPS, note de curs*, Editura Universității București;
118. Peng S. S., 1986, *Coal Mine Ground Control, Second Edition*, John Wiley&Sons, New York;

119. Popescu O., 1977, *Metrologie aplicată*, Institutul Politehnic București;
120. Poutanen M., 2000, *Ionosferic effects in GPS observations*, Finnish Geodetic Institute;
121. Puri G., 1984, *Metrologie aplicată*, Vol. I, II. Institutul Politehnic "Traian Vuia", Timișoara;
122. Puri G., 1983, *Metrologie generală*, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara;
123. Pușcaș N., Smeu E., Ducariu A., 1991, *Transmisia optică a informației*, Note de curs, UPB;
124. Rădulescu A.T., Rădulescu Gh MT, Badescu G. , Stefan O. 2009, *Outlining the object of study of dynamic surveying in monitoring mining structures*, Proceedings of International Scientific Symposium GeoCad 2009, Alba Iulia, 7-9- mai, 2009, Romania, pag 329-331;
125. Rădulescu A.T., Radulescu Gh MT, 2005, *Metode actuale de monitorizare a execuției și urmărirea comportării în timp a structurilor înalte*, Simpozion științific internațional de cadastru GEOCAD 05, Universitatea 1 Decembrie 1918, Alba Iulia 3-5 mai 2005, lucrare publicată în Revista de cadastru nr.5-2005, pg.291-296;
126. Rădulescu A.T., Rădulescu Gh MT, 2004, *Propuneri privind cercetări viitoare în domeniul metodelor privind controlul activ inteligent al clădirilor solicitate de acțiunea vântului sau a altor factori perturbatori*, Buletin Științific al Universității de Nord Baia Mare, seria D, Mine, Preparare, Ingineria MEDIULUI, știința și INGINERIA Materialelor, vol.XVIII, 2004, pg.69-78;
127. Rădulescu A.T., Rădulescu Gh MT, 2005, *Propuneri privind cercetări viitoare în domeniul monitorizării structurilor înalte pe parcursul execuției și a comportării în timp sub acțiunea însoțirii neuniforme și a vântului*, Simpozion științific internațional de cadastru GEOCAD 05, Universitatea 1 Decembrie 1918, Alba Iulia 3-5 mai 2005, lucrare publicată în Revista de cadastru nr.5-2005, pg.297-300;
128. Rădulescu A.T., Rădulescu Gh MT, Stefan O., 2005, *Execution Analysis and Time Behaviour Monitoring of the Highest Building from Romania for Establishing the Influences of Settling on its Verticality*, Ninth International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture-Stremah 2005, Malta 22-24.06.2005;
129. Rădulescu Adrian T.G., Dima N., Rădulescu V.G.M., Rădulescu G.M.T., 2010, *Monitoring of mining subsidence in quasi-static / quasi-dynamic and dynamic methods*, 2010, Facultatea de Resurse Minerale și Mediu, în parteneriat cu Asociația Română de Mediu, 28 - 30 octombrie 2010 a doua ediție a Conferinței Internaționale "Resurse Minerale și Mediu" Baia Mare, România;
130. Rădulescu Adrian Traian G.M., 2013, *Structural monitoring today, Modern surveying technologies used to track behavior over time of buildings*, 158 pages, LAP LAMBERT Academic Publishing, AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, Saarbrücken ,Germany, ISBN 978-3-659-44989-5, 2013;
131. Rădulescu Adrian Traian G.M., 2012, *Tehnologii topografice moderne utilizate la urmărirea comportării în timp a construcțiilor situate în perimetrele miniere*, Teză de doctorat, conducător științific, prof.dr.ing.Nicolae Dima, , Universitatea din Petroșani;
132. Rădulescu Adriant G., Rădulescu Gh.M.T., 2009, *Automated and cinematic measurement control systems in the monitoring of mining constructions*, THE NATIONAL TECHNICAL-SCIENTIFIC CONFERENCE „Modern technologies for the 3RD Millenium” – ORADEA, 2009;
133. Rădulescu Adriant G., Rădulescu Gh.M.T., 2009, *Dynamic Surveying as Result of Permanent Structures Monitoring*. 11th International Conference on SUSTAINABILITY in SCIENCE ENGINEERING(SSE' 09)Timisoara, Romania, May 27-29, 2009, Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge, WSEAS publication;
134. Rădulescu Adriant G., Rădulescu Gh.M.T., 2010, *Geometric Structural Monitoring in Cinematic Regime- dynamic Surveying as Means to Assure a Structure Safety*, PAPER (3945), FIG Congress 2010 - Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney, Australia, 11-16 April 2010;

135. Rădulescu Gh. M., 2003, *Teza de doctorat: "Tehnologii topografice moderne utilizate la execuția și exploatarea construcțiilor înalte"* Conducător științific: Prof.Univ.Dr.ing.Vasile URSEA, Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti;
136. Rădulescu Gh.M.T., Rădulescu Adrian T.G., 2006, *Dynamic Surveying As Means To Assure A Special Structure Safety*, Paper CIBW99-0074-06, Theme: Measurement and quantitative analysis, Preceedings of CIB W99 2006, International Conference on Global Unity of Safety and Health in Construction. Beijing, China / June 22-30 /2006;
137. Rădulescu Gh.M.T., Rădulescu Adrian T.G.,2006, *Monitoring the behaviour of very tall structures under the action of non-uniform sunlight. The case of a 350 m high chimneystack from Baia Mare, Romania*, preceedings on 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, Austria, May 22-24, 2006;
138. Rădulescu Gh.M.T., Rădulescu Adrian T.G., 2005, *Present And Propositions Researches On World Level Regarding The Analysis Of Very Tall Construction's Behavior Under The Irregular Sunny, Wind Action From The Execution To Time Behavior Tracing*, Conferința internațională a Facultății de Resurse Minerale și Mediu, GEOSIMED 2005, 3-4.06.2005 Baia Mare, Buletin Științific al Universității de Nord Baia Mare, seria D, Mine, Preparare, Ingineria MEDIULUI, știința și INGINERIA Materialelor, vol.XVIII, 2004, pg.707-714;
139. Rădulescu T.G. Adrian, Dima Nicolae, Rădulescu M.T. Gheorghe, 2010, *Quasi-static / quasi-dynamic and dynamic methods for health monitoring of mining structure and subsidence*, Conferinta nationala tehnico-știintifica (cu participare internationala), Editia a VIII-a, "Tehnologii moderne pentru mileniul III", 5 - 6 noiembrie 2010, lucrare publicată în Analele Universității din Oradea, Fascicula „Construcții și Instalații Hidroedilitare”;
140. Ravi A., 1993, *Application Of Fuzzy Set Theory To the Active Control*, New York, IEEE 1993;
141. Roberts G. W., col., 2002, *Geodetic Signal Diagnosis and Its Applications to Structural Deformation*, Preceedings of 2nd Symposium on Geodesy for Structural Monitoring, FIG, Berlin, 21-24.05.2002;
142. Roberts G.W. and col., 1999, *Real – time Deformation Monitoring of Structures Using GPS-Accelerometers*, Univesity of Nottingham, 1999;
143. Roberts, G. W., and col., 2014, *Journal of Applied Geodesy*. 8(4), 241-263;
144. Roșca I., Goile W., Taropa T., 1988, *Metrologie*, Universitatea “Transilvania” Brașov;
145. Roșca I., 1998, *Metrologie generală*, Editura Macarie, Târgoviște;
146. Roșca I.C., 1997, *Metrologie generală*, CURS, Universitatea Transilvania din Brașov;
147. Rusu G., 1962, *Tehnica măsurătorilor în construcții masive*, Editura Tehnică, București ;
148. Sharma S., 2003, *Design Fundamentals of Earthquake Resistans High-Rise Buildings*, Institute of Engineering, Kathmandu, Nepal;
149. Simion V., Pantelimon B., Ștefănescu C., 2000, *Principalele tipuri de pierderi care apar în sistemele de măsurare cu fibre optice*, Buletin Științific, Catedra de Electrotehnică și Electromecanică, seria: Metrologie, Sisteme de măsură și control și Ingineria Calitații, nr.1, Pitești, 2000, pag.169-173;
150. Simion V., Pantelimon B., Ștefănescu C., 2000, *Tipuri de fibre optice utilizate în sistemele de măsurare cu fibre optice*, Buletin Științific, Catedra de Electrotehnică și Electromecanică, seria: Metrologie, Sisteme de măsură și control și Ingineria Calitații, nr.1, Pitești, 2000, pag. 174-179;
151. Simion V., 2000, *Senzori*, curs universitar, Catedra de Electrotehnică și Electromecanică, Universitatea Pitești;
152. Simiu E., Scalan R. H., 1984, *Wind Effects on Structures*, Wiley P.H., New York;
153. Steinmann G., Bonnard Ch., 2002, *Mesures en continu effectuées par le LMS sur des instabilités de terrains*, Publication within CTI research project "FRAN2, Publication EPFL-LMS no S5919, pag. 33 ;
154. Sterian P. E., 1981, *Transmisia optică a informației*, Editura Tehnică, București;
155. Tamaș I., și colectiv,2000, *Bazele informaticii*, Editura InfoMega, Bucuresti, cap. I;

156. Tarnovschi C., 2008, *Urmărirea comportării construcțiilor*, UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, Facultatea Cadastru, Geodezie și Construcții Catedra Geodezie, Cadastru și Geotehnică;
157. Taub H., Schilling D. L., 1986, *Principles of Communication System*, 2nd ed., McGeaw-Hili;
158. Todos P., Golovanov C., 1998, *Senzori și traductoare*, Editura Tehnică, Chișinău;
159. Udd E., 1995, *Structuri Inteligente din Fibră Optică*, Wiley, New York;
160. Udd E., 1991, *Senzori din Fibră Optică*, Wiley;
161. Ursea V., și colectiv, 1986, *Topografie inginerească*, Îndrumător de lucrări practice și proiecte, Institutul de Construcții București;
162. Ursea V., 1974, *Topografie aplicată în construcții*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
163. Veres I., 2005, *Automatizarea lucrarilor topo-geodezice*, Editura Universitas Petrosani 2005, ISBN (10) 973-741-023-8, ISBN (13) 978-973-741-023-8;
164. Wagner E., Dandliker R., Spenner K., 1992, *Sensors, Optical Sensor*, vol.6, Wiehheim, New York, Basel, Cambridge;
165. Wahlund S., 2002, *Production measurements with Network RTK-GPS, Test and analyses*, teză de doctorat, Gavle, Suedia;
166. Wardell K., *The Problems of Analyuing and Interpreting Observed Ground Movement*, Colliery Eng., 1959;
167. Wieser A., 2002, *Analysis of Bridge Deformations using Continuous GPS Measurements*, INGENO 2002, 2nd Conference of Engineering Survazing, Bratislava, Slovacia;
168. Witte B. & Schmidt H., 1989, *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistic fur das Bauwesen*, Stuttgart;
169. Zill W., 1983, *Wermessungskunde fur Bauingenieure*;
170. Zulkarnain M.A., 2003, *The Time Series Analysis in GPS Structural Monitoring Schemes*, Universiti Teknologi Malaysia;
171. ***, ASCE Publications 7-02, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, New York, 2002;
172. ***, Boart Longyear Interfels GmbH, <http://www.interfels.de/>;
173. ***, Codul construcțiilor privind urmărirea comportării în timp a construcțiilor;
174. ***, *Colecția rev stei topografilor americani POBONLINE*, 1995-2003;
175. ***, *Colecția revistei Surveying Science in Finland, 1990 – 1999*;
176. ***, *Colecția revistei Surveying Science in Finland, 2000 – 2014*;
177. ***, *Colecția revistei topografilor americani POBONLINE*, 1995-2003;
178. ***, *Condor Earth Technologies, Real –time Monitoring Systems, USA, 2000*;
179. ***, *Colecția revistei The Photogrammetric Journal of Finland (PJF), 1990 – 2014*;
180. ***, ESDU (Engineering Science Data Unit), *Characteristics of Atmospheric Turbulence near of the Ground*, part. II, Single Point Data for strong Winds (Neutral Atmosphere), ESDU Item, No. 74301, ESDU, London, U.K.;
181. ***, Geodatischen Instituts der Rheinisch - Westfalischen, Technischen Hochschule;Aachen, *Das Aacher LASER - Nivelliergerat mit automatische Registrierung*, 27 octombrie, 1969;
182. ***, *GPS – A field Guidebook for Dynamic Surveying*, Trimble, 1992;
183. ***, *GPS – A Guide to the Next Utility – Trimble Navigation*, 1989;
184. ***, *GPS – Surveyor’s Field Guide*, Trimble Navigation Ltd. USA, 1991;
185. ***, <http://www.ancpi.ro/>;
186. ***, <http://www.softrock.com.au/> ;
187. ***, Legea 8/1977 transformată în Legea 10/1995 privind calitatea în construcții;
188. ***, *Lucrări geodezice pentru construcția și exploatarea construcțiilor tip turn*. Teză de doctorat MNII Gaik (1971);
189. ***, *Lucrările simpozionului Mathematical Challenges in Global Positioning Systems-GPS, Aalborg, Danemarca, 2000*;

190. ***, *Măsurători terestre – fundamente*, volumul I,II,III, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002;
191. ***, *Metrologia aplicată* - Colecție de reviste;
192. ***, *Métrologie* - Colecție de reviste;
193. ***, *Motoarele de căutare Internet : Google, Yahoo, Alta Vista, Lycos, Excite, Webtop, Go, Hotbot*;
194. ***, *Motoarele de căutare Internet : Excite, Webtop, Go, Hotbot*;
195. ***, Normativul privind activitatea de urmărire a comportării în timp a construcțiilor care răspunde prevederilor Legii nr. 10/1995 privind calitatea construcțiilor și ale regulamentului privind urmărirea comportării în exploatare, intervențiile în timp și postutilizarea construcțiilor, aprobat prin HGR nr. 766/1997;
196. ***, Normativul P130-99 privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor;
197. ***, *Prospecte de firmă Leica, Sokkia – Sokkisha, Zeiss, Nikon, Topcon, Zeiss, Ashtech, Trimble, Mercator, ONTRAK Photonics, Inc., AGL Construction Lasers and Machine Control Systems, Hamar, Pruf-Tecnik, PinPoint, CERN Distinvar(Elveția), ELWAAG 001 (Bayernwerke, Germany), Kinematics, Boart Longyear Interfels Gmb, etc.*;
198. ***, Reglementările Corpului Inginerilor din U.S. Army(237) privind inspectarea periodică a structurilor ER 1110-2-100;
199. ***, *www. Smartec. ch*;
200. ***, *www.carboceramics.com/attachments/.../Model722BoreholeTiltmeter.pdf*;
201. ***, *www.infomine.com*;
202. ***, *SITE-urile Internet: leica-geosystem.com, topcon.com, geotronics.se, lasertech.com, ashtech.com, sokkia.com, trimble.com,zeiss.com,nikonusa.com, mercator GPS system.com., roctest telemac com, campbell scientificcom, sercel.com*;
203. ***, *www.stanford. edu*;
204. ***, *US Army Corps of Engineers, ENGINEERING AND DESIGN, EM 1110-2-10091 June 2002*;
205. ***, *US Army, ER 1110-2-100*;
206. ***, *US Geological Survey Project No: 7460-09690, DEFORMATION,2003*;
207. ***, *US Geological Survey, Team Chicago, NATIONAL SCIENCE FOUNDATION Grant No.0085019, 2002*;
208. ***, *US Geological Survey, Team Chicago, NATIONAL SCIENCE FOUNDATION Grant No.0085019,2002*;
209. ***, "Norme de întocmire a Cărții tehnice a construcției" aprobată prin HGR nr. 272/1994;
210. ***, "Instrucțiuni privind autorizarea responsabililor cu urmărirea specială a construcțiilor" introduse prin Ordinul MLPAT nr. 31/N din 2.10.1995;
211. ***, *http://www.roctest.com/content/download/904/7277/file/c171.pdf*.
212. ***, *http://www.surveyequipment.com/PDFs/Javelin_en.pdf*
213. ***, *http://www.ampere.com.mx/pdf/Hoja_Tecnica_DattaLogger.pdf*
214. ***, *http://www.geokon.com/content/manuals/GTILT_PLUS.pdf*
215. ***, *http://www.geomem.com/products/25/gtilt-gtilt-plus.html*
216. ***, *https://www.campbellsci.com/*