

# **CONTRIBUȚII PRIVIND URMĂRIREA ÎN TIMP A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR PRIN METODE TOPO-GEODEZICE**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnică Timișoara  
în domeniul INGINERIE CIVILĂ ȘI INSTALAȚII  
de către

**Ing. Georgiana Rusu**

Conducător științific: Prof.univ.dr. ing. Ion Costescu  
Referenți științifici: Prof.univ.dr. ing.ec. Maricel Palamariu  
Conf.univ.dr.ing. Gavril Hoda  
Prof.univ.dr.ing. Carmen Grecea

Ziua susținerii tezei: 25 ianuarie 2016

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 2. Chimie                                   | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 3. Energetică                               | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 4. Ingineria Chimică                        | 13. Inginerie energetică                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică                      | 15. Ingineria materialelor                 |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management                |
| 8. Inginerie Industrială                    | 17. Arhitectură                            |
| 9. Inginerie Mecanică                       | 18. Inginerie civilă și instalații         |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2016

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
Tel./fax 0256 403823  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Căi de Comunicație Terestre, Fundații și Cadastru al Universității Politehnica Timișoara.

Doresc să aduc mulțumiri coordonatorului științific, domnului Prof.univ.dr.ing. Ion Costescu, specialist în domeniul ingineriei civile și dascăl de excepție, ale cărui sfaturi avizate mi-au fost extrem de utile pe parcursul desfășurării activității mele de cercetare. Deosebit de prețioase s-au dovedit a fi recomandările și îndrumările stimabililor profesori din comisia de îndrumare, cărora țin să le transmit recunoștința mea. În primul rând, mulțumirile mele se îndreaptă către domnul Ș.l.dr.ing. Cosmin Constantin Mușat pentru ajutorul acordat, pentru susținerea permanentă și necondiționată de-a lungul anilor de studiu și activității de cercetare, domnului Conf.dr.ing. Sorin Herban, pentru sfaturile pertinente, recomandările temeinic documentate și atenția acordată detaliilor și domnului Prof.univ.dr.ing. Florin Belc pentru încrederea acordată și bunăvoința de care a dat dovadă. Fiecare sfat, idee sau observație venită din partea membrilor comisiei de îndrumare a fost tratată cu rigurozitatea cuvenită, contribuind la conturarea și completarea cercetării de față.

Doresc să exprim mulțumirile mele referenților de specialitate, respectiv doamnei Prof.univ.dr.ing. Carmen Grecea, domnului Prof.univ.dr.ing.ec. Maricel Palamariu și domnului Conf.univ.dr.ing. Gavril Hoda, pentru amabilitatea de a recenza în profunzime teza și de a recomanda susținerea publică a acesteia. Mulțumirile și recunoștința mea se îndreaptă spre fiecare dintre dumnealor.

Calde mulțumiri se cuvin, în special, doamnei Prof.univ.dr.ing. Carmen Grecea, model feminin de succes, mentor și pedagog desăvârșit, care a avut un rol decisiv în dezvoltarea mea profesională și mi-a oferit șansa de a face parte din tânărlul și dinamicul colectiv de Măsurători terestre și cadastru, fără a cărei susținere și apreciere, acest deziderat nu ar fi fost posibil.

Prezenta lucrare de cercetare a fost realizată cu acordul și sprijinul S.C. PROMETER M&G S.R.L., din colectivul căruia fac parte de 8 ani de zile, care mi-a asigurat cadrul legal și tehnologic pentru prelevarea datelor și prelucrarea lor în scop științific. Pe această cale, doresc să-mi exprim gratitudinea și să-i transmit mulțumirile cuvenite domnului Director General ing. Adrian Galiciu, pentru contribuția semnificativă la formarea mea profesională, pentru sprijinul acordat și înțelegerea de care a dat dovadă pe parcursul desfășurării activității mele de cercetare. De asemenea, doresc să-i mulțumesc domnului ing. Ciprian Buigă pentru sfaturile utile și încrederea acordată.

Familiei mele i se cuvin cele mai alese mulțumiri. Dedic această lucrare părinților mei, cărora le sunt recunoscătoare pentru educația primită, pentru ținuta morală, pentru eforturile susținute și sprijinul neîncetat.

Timișoara, ianuarie 2016

ing. Georgiana RUSU

Această lucrare a fost finanțată parțial din proiectul strategic POSDRU/159/1.5/S/137070 (2014) al Ministerului Educației Naționale, România, co-finanțat din Fondul Social European – Investește în oameni, în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”.

Rusu Georgiana

**Contribuții privind urmărirea în timp a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor prin metode topo-geodezice**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 18, Nr. 2, Editura Politehnica, 2016, 162 pagini, 91 figuri, 7 tabele.

ISSN:2393-4816

ISSN-L:2393-4816

ISBN:978-606-35-0048-0

Cuvinte cheie: monitorizare, deplasări, deformații, metode geodezice, coroziune, pământuri sensibile la umezire, fenomene de instabilitate, risc, hazarduri naturale, dezvoltare durabilă.

Rezumat: Activitatea de monitorizare în timp a construcțiilor este un proces foarte complex, care necesită o planificare riguroasă. Pentru a putea stabili un diagnostic este forțat necesară o analiză amănunțită a caracteristicilor structurilor, mai cu seamă a materialelor din care sunt realizate, a factorilor ce acționează asupra lor și a stării actuale a acestora, ținând cont de condițiile de exploatare din amplasament. Plecând de la aceste premise, teza de doctorat este structurată într-un număr de 6 capitole, în partea introductivă fiind prezentată oportunitatea și actualitatea tematicii abordate și importanța monitorizării “in situ” a construcțiilor, în scopul preservării fondului național construit. Capitolele 2 și 3 tratează utilizarea metodelor fizice și topo-geodezice în studiul și urmărirea deplasărilor verticale și deformațiilor construcțiilor – nivela digitală, stația totală, mijloace fotogrametrice, tehnologia GNSS, teledetecția, scanarea laser terestră, dar și a metodelor electrice, bazate pe sisteme de senzori, cu evidențierea tendințelor actuale în plan național și internațional. Tehnicile de optimizare a sistemelor de monitorizare evidențiate în primele capitole ale lucrării și-au dovedit eficiența în cadrul celor două studii de caz realizate de către autoare pe parcursul activității de cercetare doctorală, constând în două obiective cu specific diferit și anume o structură de pod hobanat - Podul peste Canalul Dunăre – Marea Neagră din localitatea Agigea și un ansamblu de clădiri cu destinație social-culturală, ce deservește Universitatea de Medicină și Farmacie “Grigore T. Popa” din Iași. Lucrarea se încheie cu prezentarea concluziilor, contribuțiilor personale și a perspectivelor de viitor în domeniul interdisciplinar al ingineriei civile și al ingineriei geodezice.

## CUPRINS

1. INTRODUCERE .....	12
1.1. Importanța și necesitatea studierii temei pentru ingineria civilă și ingineria geodezică .....	12
1.2. Obiective științifice propuse în cadrul temei de cercetare .....	15
1.3. Structura tezei de doctorat .....	16
2. METODE FIZICE ȘI TOPO-GEODEZICE UTILIZATE ÎN STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRILOR VERTICALE ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR .....	18
2.1. Importanța conceptului de urmărire în timp a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor .....	18
2.2. Tipuri de deplasări și deformații .....	19
2.3. Tipuri de încărcări care acționează asupra structurilor .....	20
2.4. Cauzele apariției deplasărilor și deformațiilor .....	20
2.5. Particularități ale metodelor fizice și geometrice de măsurare a deformațiilor și deplasărilor construcțiilor .....	21
2.6. Urmărirea "in situ" a construcțiilor .....	22
2.7. Stabilirea modelului deformațiilor și deplasărilor construcțiilor .....	23
2.8. Considerații generale privind metodele geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale .....	23
2.9. Marcarea punctelor rețelelor de nivelment .....	24
2.9.1. Materializarea reperilor de control .....	24
2.9.2. Materializarea mărcilor de tasare .....	29
2.10. Metode geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale .....	30
2.10.1. Metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie .....	30
2.10.1.1. Proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru determinarea tasărilor .....	31
2.10.1.2. Modul de amplasare al mărcilor pe obiectivul supus observațiilor .....	41
2.10.2. Metoda nivelmentului trigonometric de precizie .....	43
2.10.3. Metoda nivelmentului hidrostatic .....	48
2.11. Erori întâlnite în nivelmentul geometric și modul de eliminare al acestora ....	50
2.11.1. Neorizantalitatea liniei de vizare a lunetei instrumentului .....	50
2.11.2. Neaplicarea corecției de sfericitate, refracție și temperatură .....	50
2.11.3. Neverticalitatea mirei și excentricitatea benzii de invar față de axa reperului ..	51
2.12. Discuții .....	53
3. TENDINȚE PRIVIND TEHNOLOGIA DE MONITORIZARE ÎN TIMP A CONSTRUCȚIILOR .....	54
3.1. Importanța preciziei de monitorizare .....	54
3.2. Tehnologii topo-geodezice de monitorizare .....	55
3.2.1. Stația totală .....	55
3.2.2. Nivelă .....	56
3.2.3. Tehnologia GNSS (Global Navigation Satellite System) .....	59
3.2.4. Fotogrametria .....	62
3.2.5. Teledetecția .....	64
3.2.6. Scanarea laser terestră .....	66
3.2.7. Metode electrice. Senzori .....	68
3.2.7.1. Senzori cu fibră optică .....	70
3.3. Discuții .....	71

4. CERCETĂRI PROPRII, REZULTATE ȘI INTERPRETĂRI OBȚINUTE PRIN URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR LA PODUL PESTE CANALUL DUNĂRE - MAREA NEAGRĂ DE LA AGIGEA .....	69
4.1. Contextul actual ca aliniere la obiectivele europene .....	73
4.1.1. Importanța obiectivului în strategia de dezvoltare a Uniunii Europene .....	73
4.1.2. Obiective stabilite prin Programul de Guvernare 2013-2016 și Programul Operațional Infrastructură Mare 2014-2020 .....	74
4.1.3. Stadiul actual al rețelei de transport rutier .....	74
4.1.4. Norme europene - EUROCODE .....	75
4.2. Descrierea elementelor constructive ale podului .....	75
4.2.1. Elementele suprastructurii podului .....	75
4.2.2. Elementele infrastructurii podului .....	78
4.3. Considerații privind execuția și exploatarea podului .....	78
4.3.1. Scurt istoric .....	78
4.3.2. Punerea în funcțiune a podului .....	80
4.3.3. Întreținerea în exploatare a podului .....	81
4.4. Urmărirea "in situ" și măsuri de intervenție .....	82
4.4.1. Prevederi legislative .....	82
4.4.2. Analiza stării tehnice a podului prin mijloace specifice urmăririi "in situ" .....	83
4.4.3. Cauzele producerii fenomenului de instabilitate .....	87
4.4.3.1. Factorii care generează degradarea betonului .....	87
4.4.3.2. Factorii care generează degradarea metalelor .....	88
4.4.4. Măsuri de intervenție .....	90
4.5. Lucrări topo-geodezice de urmărire a deplasărilor și deformațiilor la Podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea în perioada 2012-2013 .....	91
4.5.1. Condiții de instituire a procedurii de urmărire specială .....	91
4.5.2. Etape premergătoare .....	92
4.5.3. Repartiția spațială și materializarea reperilor de referință și a mărcilor de tasare .....	92
4.5.4. Măsurători topo-geodezice prin metoda nivelmentului geometric .....	95
4.5.4.1. Tehnicile utilizate în urmărirea deplasărilor verticale .....	95
4.5.4.2. Tehnologia utilizată în urmărirea deplasărilor verticale .....	96
4.5.4.3. Condiții de realizare a măsurătorilor prin nivelment geometric .....	97
4.5.4.4. Etapa prelucrării măsurătorilor .....	98
4.5.5. Rezultate și interpretări .....	99
4.5.6. Montarea hobanelor suplimentare .....	114
4.5.7. Înlocuirea vechiului sistem de hobane .....	116
4.5.8. Perfecționarea sistemului de monitorizare prin metode fizice .....	117
4.6. Concluzii și recomandări .....	119
5. CERCETĂRI PROPRII, REZULTATE ȘI INTERPRETĂRI OBȚINUTE PRIN URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR LA UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ SI FARMACIE "GRIGORE T. POPA" IAȘI .....	118
5.1. Importanța și actualitatea problemei abordate .....	122
5.2. Prezentarea generală a zonei studiate .....	123
5.2.1. Așezarea geografică .....	123
5.2.2. Date asupra condițiilor geologice, geomorfologice, geotehnice și tectonice .....	123
5.2.3. Date asupra condițiilor climatice și hidrogeologice .....	125
5.2.4. Caracteristicile terenului de fundare .....	127
5.2.5. Date privind alcătuirea constructivă a clădirilor .....	128
5.2.6. Date privind destinația, seismicitatea, clasa și categoria de importanță a construcțiilor .....	129

---

5.2.7. Date privind amplasarea construcțiilor în zone protejate .....	130
5.3. Cadrul legislativ privind necesitatea instituirii procedurii de urmărire "in situ" a construcțiilor .....	130
5.3.1. Măsuri de consolidare ale pământurilor de fundare sensibile la umezire și ale clădirilor amplasate pe acestea .....	133
5.4. Descrierea fenomenului de instabilitate .....	135
5.4.1. Observarea sistematică a fisurilor și crăpăturilor din pereții clădirilor prin metode fizice.....	135
5.5. Lucrări topo-geodezice de urmărire a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor .....	136
5.5.1. Etape premergătoare .....	136
5.5.2. Repartiția spațială reperilor de referință și a mărcilor de tasare .....	137
5.5.3. Materializarea reperilor de referință și a mărcilor de tasare .....	137
5.5.4. Măsurători topo-geodezice prin metoda nivelmentului geometric .....	139
5.5.4.1. Tehnici utilizate în urmărirea deplasărilor și deformațiilor .....	139
5.5.4.2. Tehnologia utilizată în urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor ..	140
5.5.4.3. Etapa prelucrării măsurătorilor .....	141
5.5.5. Rezultate și interpretări .....	141
5.6. Hazardul-vulnerabilitate, risc, măsuri de combatere .....	145
5.7. Concluzii și recomandări .....	147
6. CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE DE CERCETARE ...	149
6.1. Observații și concluzii finale .....	149
6.2. Contribuții personale în abordarea tematicii propuse .....	152
6.3. Perspective de cercetare .....	153
6.4. Valorificarea rezultatelor cercetării pe parcursul derulării programului de cercetare doctorală .....	153
BIBLIOGRAFIE .....	155

## LISTĂ DE FIGURI

Fig. 1. Deplasare și deformație .....	19
Fig. 2.1. Reperi de control montați pe construcții în România. ....	25
Fig. 2.2. Reper de control de suprafață – România .....	26
Fig. 2.3. Reper de control de suprafață în România .....	26
Fig. 2.4. Reperi de nivelment de zidărie în România .....	27
Fig. 2.5. Reperi de câmp în România .....	27
Fig. 2.6 Reper de adâncime tip Muraviev .....	28
Fig. 2.7. Reper de adâncime – poziție de baterie și poziție definitivă .....	28
Fig. 2.8 Mărci de nivelment încastrare în construcție .....	29
Fig. 2.9. Marcă reper de adâncime T. Lazzarini .....	30
Fig. 2.10. Drumuire de nivelment geometric.....	32
Fig. 2.11. Rețea de nivelment sub formă de drumuire sprijinită la capete.....	33
Fig. 2.12. Rețea de nivelment cu două drumuiri sprijinite la capete .....	34
Fig. 2.13. Rețea de nivelment cu trei reperi de sprijin.....	36
Fig. 2.14. Modul de repartitie al mărcilor de tasare pe suprastructura unui pod cu o singură deschidere și pe culei.....	41
Fig. 2.15. Modul de amplasare a mărcilor de tasare la diferite nivele ale suportilor .....	42
Fig. 2.16. Rețeaua drumuirilor de nivelment pentru un pod cu o singură deschidere .....	42
Fig. 2.17. Rețeaua drumuirilor de nivelment pentru un pod cu două deschideri....	43
Fig. 2.18. Metoda nivelmentului trigonometric de precizie .....	44
Fig. 2.19. Principiul nivelmentului hidrostatic.....	49
Fig. 2.20. Determinarea corecției de excentricitate a benzii de invar.....	52
Fig. 2.21. Excentricitate datorată neperpendicularității razei vizuale .....	52
Fig. 3.1. Stație totală și accesorii .....	55
Fig. 3.2. Nivelă electronică digitală și mira de invar.....	57
Fig. 3.3. Schema optică a nivelei digitale .....	57
Fig. 3.4. Sistemul de sateliți NAVSTAR și principiul măsurătorilor GNSS .....	59
Fig. 3.5. Sistem de monitorizare GNSS pentru Forth Bridge, Edinburgh .....	61
Fig. 3.6. Imagine ortofotogrametrică a Podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră la Agigea .....	62
Fig. 3.7. Teledetecție satelitară și teledetecție aeriană .....	64
Fig. 3.8. Principiul de funcționare al scannerului terestru .....	66
Fig. 3.9. Sisteme de scanare terestre și accesorii .....	67
Fig. 3.10. "Nor de puncte" și modelul digital al terenului Cetatea Ulmetum.....	68
Fig. 3.11. Tipuri de mărimi fizice și chimice cunoscute măsurabile cu senzori.....	68
Fig. 3.12. Sistem de comunicație cu senzori de monitorizare .....	70
Fig 4.1. Încadrarea în teritoriu a zonei de studiu .....	73
Fig. 4.2. Soluția finală proiectată. Elevație .....	75
Fig. 4.3. Disponibilitatea hobanelor .....	77
Fig. 4.4. Imagini din timpul execuției podului .....	79
Fig. 4.5. Dinamica ieșirii din funcțiune a fasciculelor hobanelor .....	85
Fig. 4.6. Prognoza ieșirii din funcțiune a firelor din hobane .....	85
Fig. 4.7. Inspectarea "in situ" a ancorajelor din capătul pilonului.....	86
Fig. 4.8. Schema discretizării structurii de rezistență a podului hobanat.....	86
Fig. 4.9. Coroziunea și ruperea firelor din caseta de trecere .....	89
Fig. 4.10. Starea de degradare a hobanelor cauzată de fenomenul de coroziune ..	91



Fig. 4.11. Dispunerea reperilor de referință și a mărcilor de tasare.....	93
Fig. 4.12. Materializarea mărcilor de tasare.....	95
Fig. 4.13. Nivelment geometric pe timp de zi.....	97
Fig. 4.14. Nivelment geometric pe timp de noapte .....	98
Fig. 4.15. Procesarea datelor obținute prin nivelment geometric .....	99
Fig. 4.16. Evoluția mărcilor de tasare în funcție de variația cotelor absolute .....	102
Fig. 4.17. Evoluția mărcilor de tasare M 101 și M 111 în funcție de variația cotelor absolute .....	103
Fig. 4.18. Evoluția mărcilor de tasare M 102 și M 112 în funcție de variația cotelor absolute .....	103
Fig. 4.19. Evoluția mărcilor de tasare M 103 și M 113 în funcție de variația cotelor absolute .....	104
Fig. 4.20. Evoluția mărcilor de tasare M 104 și M 114 în funcție de variația cotelor absolute .....	104
Fig. 4.21. Evoluția mărcilor de tasare M 1 și M 11 în funcție de variația cotelor absolute .....	105
Fig. 4.22. Evoluția mărcilor de tasare M 2 și M 12 în funcție de variația cotelor absolute .....	105
Fig. 4.23. Evoluția mărcilor de tasare M 3 și M 13 în funcție de variația cotelor absolute .....	106
Fig. 4.24. Evoluția mărcilor de tasare M 4 și M 14 în funcție de variația cotelor absolute .....	106
Fig. 4.25. Evoluția mărcilor de tasare M 5 și M 15 în funcție de variația cotelor absolute .....	107
Fig. 4.26. Evoluția mărcilor de tasare M 6 și M 16 în funcție de variația cotelor absolute .....	107
Fig. 4.27. Evoluția mărcilor de tasare M 7 și M 17 în funcție de variația cotelor absolute .....	108
Fig. 4.28. Evoluția mărcilor de tasare M 8 și M 18 în funcție de variația cotelor absolute .....	108
Fig. 4.29. Evoluția mărcilor de tasare M 9 și M 19 în funcție de variația cotelor absolute .....	109
Fig. 4.30. Evoluția mărcilor de tasare în amonte în funcție de variația cotelor absolute .....	109
Fig. 4.31. Evoluția mărcilor de tasare în aval în funcție de variația cotelor absolute .....	110
Fig. 4.32. Dispunerea hobanelor suplimentare. Elevație .....	114
Fig. 4.33. Dispunerea hobanelor suplimentare. Vedere plană.....	114
Fig. 4.34. Montarea jugului în partea superioară a pilonului și ridicarea toroanelor .....	111
Fig. 4.35. Detalii hobane suplimentare.....	115
Fig. 4.36. Sistem paralel de toroane.....	116
Fig. 4.37. Dezafectarea hobanelor existente și montarea hobanelor noi .....	117
Fig. 4.38. Senzor, cutie de joncțiune și sistem de achiziție de date.....	117
Fig. 4.39. Arhitectura sistemului de monitorizare .....	118
Fig. 4.40. Sistem de supraveghere video .....	118
Fig. 4.41. Analiza observațiilor sub formă grafică .....	119
Fig. 4.42. Funcția de atenționare și alarmare în timp real a sistemului de senzori .....	119
Fig. 5.1. Încadrarea în teritoriu a zonei de studiu .....	123

Fig. 5.2. Extras din harta geomorfologică a României, scara 1: 1.500.000 (după Coteț, 1960) .....	124
Fig. 5.3. Zone de risc natural la alunecări de teren .....	125
Fig. 5.4. Harta cu repartitia tipurilor climatice.....	126
Fig. 5.5. Plan de situație cu dispunerea rețelei de urmărire .....	129
Fig. 5.6. Zonarea teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare ag pentru cutremure având intervalul mediu de recurență IMR = 100 ani și în termeni de perioadă de control (colț), TC a spectrului de răspuns Codul de proiectare seismică P100-1/2006. ....	130
Fig. 5.7. Fisuri și crăpături apărute în pereții clădirilor .....	135
Fig. 5.8. Observarea sistematică a fisurilor și crăpăturilor din pereții clădirilor ..	136
Fig. 5.9. Materializarea punctelor din rețeaua de referință.....	138
Fig. 5.10. Marcarea rețelei de referință .....	138
Fig. 5.11. Materializarea mărcilor de tasare.....	139
Fig. 5.12. Observații efectuate prin metoda nivelmentului geometric .....	140
Fig. 5.13. Procesarea datelor obținute prin nivelment geometric .....	141
Fig. 5.14. Reprezentarea grafică a evoluției mărcilor de tasare .....	144

## LISTĂ DE TABELE

Tabel 2.1. Valorile coeficienților corecțiilor .....	37
Tabel 4.1. Cotele reperilor din rețeaua de referință .....	96
Tabel 4.2. Valorile cotelor absolute ale mărcilor de tasare .....	100
Tabel 4.3. Valorile tasărilor absolute ale mărcilor de tasare .....	101
Tabel 5.1. Verificarea stabilității punctelor din rețeaua de referință .....	142
Tabel 5.2. Valorile cotelor absolute ale mărcilor de tasare .....	143
Tabel 5.3. Valorile tasărilor absolute ale mărcilor de tasare .....	144

# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Importanța și necesitatea studierii temei pentru ingineria civilă și ingineria geodezică

Viața noastră se desfășoară, volens-nolens, în interdependență față de existența construcțiilor, care servesc fie ca adăpost și suport pentru activitățile zilnice, necesare dezvoltării social-economice și culturale, fie ca apărare împotriva intemperiilor naturii și semenilor noștri. Construcțiile sunt omniprezente în orice societate, indiferent de regiune geografică, cultură sau religie, fiind o mărturie a evoluției umane.

Domeniul construcțiilor afectează societatea sub toate aspectele ei: economic, politic, social, ecologic, cultural și estetic, tot ce este legat de acesta contribuind la dezvoltarea economică și la produsul intern brut. Din acest motiv, un accent foarte mare se pune pe designul și calitatea construcțiilor, pe durabilitatea și siguranța în exploatare a acestora, pe preservarea fondului național construit, în contextul dezvoltării sustenabile, fiind unul din obiectivele principale ale ingineriei civile, atât în plan național, cât și internațional.

Dezvoltarea frenetică a tehnologiei din ultimii ani, a condus la îmbunătățirea permanentă a proprietăților materialelor de construcții și a tehnologiilor utilizate în construcții, noi sisteme structurale fiind implementate în scopul reducerii costurilor și asigurării funcționalității construcțiilor. Pe de altă parte, crearea unui spațiu comun economic și politic mondial mai mare decât oricând, forțează cererea pentru libera circulație a persoanelor și a mărfurilor, generând astfel o creștere în ceea ce privește preocuparea pentru impactul creat de construirea de noi facilități în medii naturale și arhitecturale delicate. [24]

Se disting astfel două mari categorii de construcții, pe de o parte construcțiile civile, industriale și agrozootehnice, reprezentate de cladiri cu diferite destinații (rezidențiale, administrative, social-culturale, comerciale), iar pe de altă parte construcțiile speciale, reprezentate de construcțiile cu specific ingineresc (căi de transport și comunicație, poduri, tuneluri, viaducte, turnuri, silozuri, rezervoare, hidrocentrale, rețele de alimentare cu apă, gaze, termoficare, energie electrică). Împreună, acestea constituie fondul construit existent sau fondul național construit.

În fața unor fenomene naturale, supuse legilor dialectice ale evoluției și transformării, în care "nimic nu se pierde, totul se transformă", construcțiile sunt supuse degradării continue, lente, rapide sau accidentale, cu un sfârșit inexorabil: distrugerea, ruina sau dispariția prin transformare în materie, pur și simplu. [33]

Monitorizarea „in situ” a construcțiilor este un proces ce implică observația permanentă a parametrilor reprezentativi (mecanici, fizici și chimici), pe toată perioada de existență a unei construcții, prin urmărirea curentă și urmărirea specială. Scopul principal al urmării comportării "in situ" a construcțiilor este de a cunoaște, permanent, în ce măsură performanțele pentru care acestea au fost realizate sunt îndeplinite și de a semnală, în timp util, necesitatea intervențiilor. [69]

Informațiile obținute au ca scop reducerea numărului elementelor necunoscute și îmbunătățirea cunoștințelor legate de obiectivul monitorizat, verificarea ipotezelor, planificarea activităților de mentenanță, în vederea sporirii siguranței în exploatare și reducerii riscului apariției unor disfuncționalități. Starea

structurii se determină prin măsurarea deplasărilor, deformațiilor, sarcinilor, temperaturii, vibrațiilor, înclinărilor, nivelului de zgomot, folosind diverse metode geometrice și fizice și instrumente specifice.

Prin urmare, monitorizarea construcțiilor include două funcții majore: de *diagnoză*, prin analiza rezultatelor măsurărilor propriu-zise și *prognoză*, prin evaluarea dinamicii deformațiilor și deplasărilor pentru stabilirea capacității reziduale a structurii. [12]

Dacă facem o analogie între structura corpului uman și structura unei construcții, putem spune că, în cazul unei disfuncționalități, apar anumite simptome care sunt detectate de sistemul nervos (dureri, disconfort), ceea ce îl determină pe individ să se îndrepte spre medic pentru a-i stabili diagnosticul și pentru a preveni evoluția bolii. În mod similar, detectarea unor probleme la nivelul structurii unei construcții impune inspectarea elementelor aflate în stare nesatisfăcătoare, diagnoza și remedierea sau înlocuirea elementelor, în funcție de situație.

Activitatea de monitorizare în timp a construcțiilor este un proces foarte complex, care necesită o planificare riguroasă. Pentru a putea stabili un diagnostic este forțat necesară o analiză amănunțită a caracteristicilor structurii, mai cu seamă a materialelor din care este realizată, a factorilor ce acționează asupra ei și a stării actuale a acesteia, ținând cont de condițiile de exploatare. În activitatea de management a construcțiilor sunt implicate în mod obligatoriu inspecții periodice și măsurători în vederea urmării comportării în timp a construcțiilor, acestea având caracter de predicție și prevenție.

Monitorizarea construcțiilor nu trebuie să se limiteze la identificarea și remedierea defecțiunilor apărute la structurile existente, întrucât, în aceste cazuri, pierderile materiale sunt deja generate. Urmărirea în timp a comportării construcțiilor, după darea în folosință, este cea mai importantă etapă în activitatea de monitorizare a structurilor. În timpul perioadei de exploatare, materialele de construcție suferă degradări (fisuri, crăpături, oxidarea metalelor, coroziune) sub acțiunea factorilor externi: fizici, chimici și mecanici. Aceste degradări au consecințe nefaste asupra siguranței în exploatare și durabilității construcției. Informațiile obținute în timpul monitorizării asigură cadrul necesar stabilirii capacității reziduale a structurii. Trebuie menționat faptul că stabilirea unui diagnostic al unei construcții este îngreunată, de cele mai multe ori, din cauza lipsei unui istoric al evenimentelor care au condus la apariția fenomenului de instabilitate a structurii și a lipsei înregistrărilor de-a lungul perioadei de exploatare.

Monitorizarea stării construcțiilor este completată cu modele teoretice pentru a determina sarcinile care acționează asupra lor, pentru a le evalua capacitatea și pentru a estima durata de viață rămasă. [5]

În domeniul monitorizării construcțiilor, tendința actuală este crearea unor sisteme automatizate moderne de achiziție de date, capabile să preia informații pe distanțe de sute de kilometri prin intermediul unui singur dispozitiv, care să ofere informații în timp real și să înglobeze funcțiunea de alertare și avertizare în caz de avarii, iar informația să fie disponibilă on-line în orice parte a globului. Totodată, interesul este orientat către dezvoltarea de soft-uri complementare specializate în procesarea statistică a datelor, cu rol în prevenirea unor evenimente nedorite. În acest sens, se constată că pe fondul dezvoltării tehnologice, în prim plan a ajuns utilizarea pe scară largă a senzorilor cu fibră optică.

În vederea alinierii la standardele și normele europene în domeniul construcțiilor, în cadrul programului de *Standardizare Europeană* s-au elaborat o serie de reguli tehnice armonizate în diferitele state membre ale Uniunii, cunoscute sub denumirea de Eurocoduri. Acestea se utilizează ca documente normative de

referință în construcții, venind ca o alternativă la reglementările naționale în vigoare, în scopul anulării tuturor standardelor naționale conflictuale, până la înlocuirea acestora. Obiectivul programului este de eliminare a obstacolelor din calea comerțului și armonizare a specificațiilor tehnice pentru proiectarea lucrărilor de construcții. [121]

Ținând seama de condițiile politico-social-economice actuale, a fost semnalată nevoia de instituire, prin legi și hotărâri de guvern, a unui *sistem național de monitorizare a comportării construcțiilor*, care să reglementeze obligativitatea proprietarilor de construcții publice și private de a asigura urmărirea în exploatare a construcțiilor, prin angajarea de personal calificat și competent. [35]

În prezent, mai mult decât în trecut, iar în viitorul apropiat semnificativ mai mult decât în prezent, construcțiile trebuie să fie realizate și să funcționeze în așa fel încât să preserveze resursele existenței noastre și să minimizeze impactul asupra mediului. Implementarea conceptului de dezvoltare durabilă în construcții nu se poate realiza decât prin inovare la nivel conceptual și tehnologic. Procesul este în mod evident pluri- și interdisciplinar. Se poate construi durabil, pe baza unor modele conceptuale performante (funcționalitate, siguranță, neutre sau cu impact redus față de mediu), folosind materiale cu caracteristici fizico-mecanice superioare (reciclabile și cu consumuri înglobate scăzute de resurse primare și energie), aplicând sisteme constructive și tehnologii adiacente (siguranță, flexibilitate, consumuri energetice scăzute, impact minim față de mediu). [14]

Investițiile în construcții trebuie să satisfacă pe deplin cerințele de exploatare stipulate chiar de legea calității în construcții: rezistență și stabilitate, bună funcționalitate, siguranță în exploatare, durabilitate, sănătate și protecția mediului, cu costuri cât mai reduse. Este evident că între cele două categorii de cerințe, aparent antagonice, respectiv economicitate și cerințe optime de exploatare, pare a fi o contradicție. [70] Provocarea cu care se confruntă specialiștii în domeniu este să identifice variantele cele mai economice, care satisfac cel mai bine condiția de siguranță de exploatare.

Este bine cunoscut caracterul interdisciplinar al științei măsurătorilor terestre, respectiv al geodeziei, un exemplu în acest sens constituindu-l și suportul pe care, de multe ori, teoria generală a construcțiilor îl poate asigura studiilor și cercetărilor de specialitate efectuate de inginerul geodez. Domeniul topografiei inginerești este deosebit de vast, el având funcții și scopuri precise care trebuie să asigure conservarea realizărilor de până acum, dar și implementarea tehnologiilor moderne, care să conducă la crearea unei baze de date și informații reale, unitare și accesibile unui număr cât mai mare de beneficiari.

Prin strânsa colaborare a ramurilor ingineriei, domeniul construcțiilor se corelează și se completează cu aplicarea unor tehnici moderne și tehnologii geodezice, care vin să înregistreze, să prelucreze și să reprezinte comportamentul structurilor, sub influența factorilor perturbatori. În activitatea de monitorizare a construcțiilor, de cele mai multe ori este nevoie de specialiști din domenii diferite, pentru a putea oferi soluții eficiente și sustenabile. De aceea este necesar ca fiecare expert să cunoască elementele de bază ale domeniului de expertiză a celorlalți participanți. Societatea trebuie să se îndrepte spre prevenirea problemelor cu ajutorul dezvoltării unor soluții noi, pro active date de către ingineri. [91]

Multitudinea de materiale bibliografice și articole științifice apărute în ultimul deceniu atât în plan național, cât și internațional, pe tematica monitorizării în timp a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, atestă preocuparea ferventă a specialiștilor din domeniu pentru identificarea unor soluții novatoare în scopul prezervării fondului existent construit și asigurării aptitudinii de exploatare a

construcțiilor, care să ofere precizie ridicată, un volum cât mai mare de date într-un timp foarte scurt, cu costuri cât mai reduse, de unde rezidă actualitatea temei de cercetare.

## **1.2. Obiective științifice propuse în cadrul temei de cercetare**

Obiectivele ce se doresc a fi atinse prin prezenta teză de doctorat sunt:

- prezentarea informațiilor teoretice fundamentale cu privire la deplasările și deformațiile construcțiilor, prin detalierea cauzelor principale care conduc la apariția acestora;
- evidențierea importanței cercetării interdisciplinare a fenomenelor care generează pierderea stabilității și siguranței în exploatarea construcțiilor, în obținerea unor rezultate precise și stabilirea direcțiilor de acțiune pentru remediere;
- descrierea tehnicilor și tehnologiilor topo-geodezice care se utilizează în prezent pentru rezolvarea problemelor legate de instabilitatea construcțiilor și pierderea aptitudinii de exploatare;
- indicarea posibilităților de reducere sau eliminare a erorilor sistematice de măsurare;
- evidențierea limitărilor unor metode în ceea ce privește obținerea unor precizii foarte ridicate, în anumite condiții de exploatare;
- descrierea unor studii de caz pe problematica monitorizării construcțiilor întreprinse de către colective de cercetare renumite în plan internațional pentru a sublinia încadrarea temei în preocupările naționale și internaționale;
- evidențierea unor propuneri ale unor colective de cercetare în vederea optimizării sistemelor de monitorizare ale construcțiilor;
- studierea comportării în timp a două obiective cu specific diferit, o structură de pod hobanat și o clădire cu destinație social-culturală, prin executarea unor cicluri de măsurători topo-geodezice la intervale prestabilite de timp, folosind tehnologie de ultimă generație, care permite prelevarea, prelucrarea și analiza datelor, în scopul stabilirii unui diagnostic și identificării soluțiilor optime de intervenție, pe baza unor predicții și prognoze;
- interpretarea datelor obținute din mai multe seturi de măsurători efectuate prin metode geometrice, topo-geodezice, comparativ cu metodele fizice, respectiv sistemele de senzori, care asigură o monitorizare permanentă;
- descrierea unor soluții tehnice inovative pentru punerea în siguranță a structurii hobanate monitorizate;
- crearea premiselor modelării statistice și optimizării rețelelor de monitorizare prin alegerea metodelor optime de cercetare, concretizate cu propuneri și recomandări.

Elementele novatoare aduse de prezenta lucrare constau în implementarea și testarea unui sistem de monitorizare permanentă, bazat pe senzori, la podul hobanat peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, care vine în completarea metodelor topo-geodezice de înaltă precizie. Performanțele acestuia constau în faptul că se constituie într-un sistem de control și avertizare permanentă, care oferă posibilitatea accesării informațiilor online, din orice parte a globului. De asemenea, propun un program similar de monitorizare permanentă bazat pe

sisteme de senzori pentru cel de-al doilea obiectiv studiat, ce poate fi folosit în evaluarea și monitorizarea proceselor generatoare de risc.

### 1.3. Structura tezei de doctorat

Prezenta teză de doctorat este structurată în șase capitole, după cum urmează:

**Capitolul 1** intitulat „*Introducere*” prezintă obiectivele științifice ce se doresc tratate prin tema aleasă, în contextul încadrării monitorizării construcțiilor folosind tehnologii geodezice moderne în preocupările naționale și internaționale actuale ale segmentelor științific și industrial. De asemenea, este prezentat pe scurt conținutul lucrării.

**Capitolul 2** intitulat „*Metode fizice și topo-geodezice utilizate în studiul și urmărirea deplasărilor verticale și deformațiilor construcțiilor*”, care este alcătuit din doisprezece subcapitole, prezintă importanța conceptului de urmărire “in situ”, prin metode geometrice și fizice, a diferitelor tipuri de deplasări și deformații ale construcțiilor, care apar sub influența factorilor perturbatori și importanța stabilirii unui model al deplasărilor, în contextul prezervării fondului național construit și păstrării funcționalității construcțiilor în parametri proiectați. De asemenea, acest capitol constituie cadrul general al tematicii abordate, prezentând conceptele teoretice legate de metodele topo-geodezice utilizate în determinarea vectorului deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor, criteriile de alegere a metodei și instrumentelor și modalitatea de proiectare a rețelelor de nivelment în funcție de condițiile din amplasament, materializarea reperilor de control și a mărcilor de tasare utilizate în România conform normativelor aflate în vigoare, tipurile de erori și modul de eliminare al acestora.

**Capitolul 3** intitulat „*Tendențe privind tehnologia de monitorizare în timp a construcțiilor*”, care este compus din trei subcapitole, evidențiază avantajele și dezavantajele principalelor tehnologii topo-geodezice care se utilizează la ora actuală în lume, în activitatea de monitorizare a construcțiilor – stația totală, nivela, mijloace fotogrametrice, tehnologia GNSS, teledetecția, scanarea laser terestră și a metodelor electrice, bazate pe sisteme de senzori. Principala tendință care se distinge la urmărirea în timp a comportării construcțiilor constă în completarea sau chiar înlocuirea tehnicilor și tehnologiilor tradiționale de prelevare a datelor cu tehnologii moderne, bazate pe măsurători prin unde, măsurători fotogrametrice și măsurători spațiale. Au fost accentuate posibilitățile de combinare ale acestor metode, în scopul obținerii unor precizii ridicate. Pentru a veni în întâmpinarea nevoilor de monitorizare permanentă a construcțiilor pe timp îndelungat, se impune valorificarea și implementarea sistemelor de senzori cu fibră optică încă din faza de proiectare. Acestea prezintă multiple avantaje, constând în funcțiuni de alarmare și avertizare automată a populației și posibilitatea accesului online din orice parte a globului.

**Capitolul 4** intitulat „*Cercetări proprii, rezultate și interpretări obținute prin urmărirea deplasărilor și deformațiilor la Podul peste Canalul Dunăre-Marea Neagră de la Agigea*” este structurat în șase subcapitole. Primul subcapitol încadrează obiectivul din punct de vedere strategic, politic, economic și legislativ în contextul european de dezvoltare și evidențiază stadiul actual al rețelei de transport rutier din România. În cel de-al doilea subcapitol se face o descriere a elementelor constructive ale suprastructurii și infrastructurii podului. În subcapitolul trei este prezentată o scurtă descriere a contextului politico-economic în care a fost construit podul și se trec în revistă motivele alegerii soluției tehnice constructive de pod



hobanat de către proiectanții de la acea vreme. De asemenea, acest subcapitol conține aspecte relevante din punerea în funcțiune a podului și întreținerea în exploatare a acestuia. Subcapitolul patru trece în revistă prevederile legislative aplicabile la nivel național în privința urmăririi "in situ" a construcțiilor, atât prin urmărirea curentă, cât și prin urmărirea specială a acestora și prezintă rezultatele observațiilor efectuate prin mijloace specifice urmăririi curente, justificând necesitatea adoptării de urgență a unor măsuri de intervenție. Totodată, sunt analizate cauzele producerii fenomenului de instabilitate și factorii care au contribuit la degradarea materialelor care alcătuiesc structura podului, cu evidențierea consecințelor randamentale ale acestora. Primele patru subcapitole au rolul de a crea o imagine de ansamblu asupra unor elemente cu rol cauzal și corelativ, care au stat la baza pierderii aptitudinii de exploatare precoce a structurii. În subcapitolul cinci se face o descriere detaliată a lucrărilor de urmărire specială realizate prin metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie, rezultatele obținute fiind evidențiate atât tabelar, cât și grafic, în scopul aprecierii dinamicii construcției. Acestea au stat la baza adoptării măsurilor de intervenție descrise în cadrul aceluiași subcapitol, concretizate, din perspectiva monitorizării construcției, prin implementarea unui sistem de senzori, a cărui fiabilitate a fost testată de către autoare. Subcapitolul șase este dedicat concluziilor și recomandărilor acesteia.

**Capitolul 5** intitulat „*Cercetări proprii, rezultate și interpretări obținute prin urmărirea deplasărilor și deformațiilor la Universitatea de Medicină și Farmacie "Grigore T. Popa" Iași*” este structurat în șapte subcapitole. În prima parte sunt prezentate caracteristicile zonei în care este situat ansamblul de clădiri ce fac obiectul cercetării, respectiv poziționare geografică, geologie, geomorfologie, hidrogeologie, clima și fenomenele naturale specifice zonei, seismicitate, date de proiectare, date relevante din timpul exploatarei, toate acestea justificând necesitatea instituirii procedurii de urmărire specială. Subcapitolul trei face trimitere la cadrul legislativ care reglementează necesitatea instituirii procedurii de urmărire "in situ" a construcțiilor fundate pe pământuri sensibile la umezire și unele măsuri de consolidare ale acestora. Subcapitolul patru descrie apariția fenomenului de instabilitate. Subcapitolul cinci este dedicat aplicării în practică a conceptelor teoretice și tehnicilor de lucru prezentate în capitolele anterioare, constând în proiectarea și materializarea rețelei de referință și a mărcilor de tasare, procesarea și postprocesarea datelor din măsurători, analiza și interpretarea rezultatelor. Subcapitolul șase abordează problema expunerii zonei studiate la riscul producerii hazardelor și atrage atenția asupra necesității sporirii măsurilor de reducere a vulnerabilității și de conștientizare a populației. Subcapitolul șapte este dedicat concluziilor și recomandărilor. Autoarea propune un program de urmărire a construcției prin metode geometrice de precizie și implementarea unui sistem de monitorizare permanentă, bazat pe senzori, similar celui prezentat în cadrul primului studiu de caz.

**Capitolul 6** intitulat „*Concluzii, contribuții personale și perspective de cercetare*” evidențiază concluziile generale rezultate în urma cercetărilor efectuate în cadrul tezei, concluzii particulare referitoare la studiile de caz, contribuțiile personale ale autoarei, perspective de cercetare pe viitor și valorificarea rezultatelor obținute pe parcursul programului de cercetare doctorală, materializată în lucrări susținute în cadrul diverselor manifestări științifice din țară și străinătate și publicate în reviste de specialitate în scopul diseminării rezultatelor.

## **2. METODE FIZICE ȘI TOPO-GEODEZICE UTILIZATE ÎN STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRILOR VERTICALE ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR**

### **2.1. Importanța conceptului de urmărire în timp a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor**

Dezvoltarea economică din ultimul deceniu a condus la sporirea traficului rutier și feroviar. În consecință, sub influența acțiunilor din trafic și a mediului ambiant, precum și datorită îmbătrânirii materialelor, starea tehnică a căilor de comunicație și a lucrărilor de artă se degradează. Astfel, nivelul inerent de siguranță al fondului național construit poate fi considerat inadecvat în raport cu standardele de proiectare și mentenanță aflate în vigoare, datorită modificării în timp a proprietăților și caracteristicilor structurilor, care nu mai fac față solicitărilor.

Monitorizarea și predicția comportării construcțiilor și a zonelor adiacente acestora reprezintă o prioritate publică. Asigurarea funcționării la parametri proiectați și luarea măsurilor corective cele mai adecvate pentru a păstra funcționalitatea acestor construcții este esențială pentru:

- prevenirea accidentelor de mediu și sociale, cu consecințe grave provocate de dezastră naturale și accidente tehnologice legate de aceste construcții;
- exploatarea construcțiilor în parametri funcționali de care s-a ținut cont la proiectarea acestora;
- păstrarea condițiilor de mediu corespunzătoare ale zonelor adiacente acestor construcții, cu rol important în dezvoltarea regională durabilă, printr-o gestionare corectă a resurselor naturale (apă, vegetație, culturi, habitat).

Monitorizarea structurilor comportă observația deformațiilor în raport cu acțiunile cauzate de factorii externi. Variabilele climatice, cum ar fi temperatura, umiditatea și vântul, creează sarcini care trebuie luate în considerare. Un punct de referință constă în observarea parametrilor chimici sub forma potențialului electrochimic, rezistivității și proceselor de penetrare. Prin urmare, identificarea și observarea parametrilor care influențează structurile este fundamentală pentru dezvoltarea și calibrarea modelelor specifice ingineriei, ce descriu mecanismele de deteriorare care amenință starea limită și durabilitatea construcțiilor.

Programul de urmărire specială a construcțiilor se instituie ca măsură în prevenirea degradării și asigurării aptitudinii de exploatare în condiții normale. Un prim pas este acela de a analiza toate probabilitățile, respectiv domeniile deformației construcției, atât ca valoare sau amplitudine, cât și ca vector de deplasare. Aceasta presupune o estimare a mărimilor ce urmează să fie măsurate, care permite definirea domeniului de aplicabilitate, a metodei utilizate, a rezoluției, a preciziei și a tipului instrumentelor de măsurare.

Prin compararea rezultatelor obținute în urma efectuării observațiilor prin metode topo-geodezice cu valorile estimate din faza de proiectare, obținute prin încercarea modelelor și prin calculul capacității portante a construcțiilor, se poate stabili un "diagnostic" al structurii. În funcție de caracteristicile deplasărilor și

deformațiilor, se pot face predicții și prognoze cu privire la comportamentul viitor al construcției studiate, ceea ce contribuie la identificarea măsurilor de intervenție optime care se pot lua pentru asigurarea stabilității, durabilității și siguranței în exploatare.

O instrumentație cât mai completă a tuturor fenomenelor fizice imaginabile încă din faza de proiectare conduce la diminuarea costurilor financiare. În plus, un număr mai mare de date prelevate sporește relevanța concluziilor. [106], [25]

## 2.2. Tipuri de deplasări și deformații

În studiul comportării construcțiilor sub acțiunea factorilor perturbatori, două elemente sunt definitorii:

- *deplasarea* - schimbarea poziției unui punct al construcției;
- *deformația* - schimbarea distanței relative dintre puncte ale construcției.

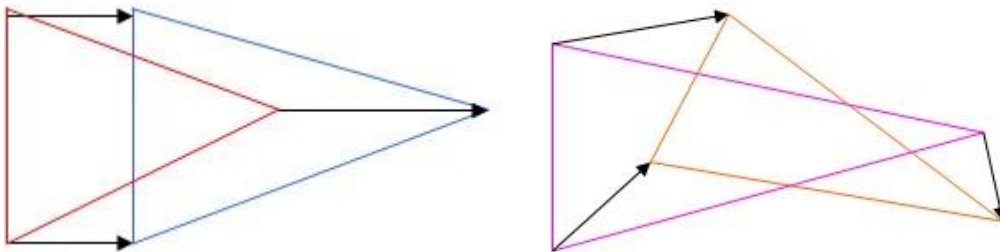


Fig. 1. Deplasare și deformație [37]

Determinarea deplasărilor și deformațiilor unei construcții asupra căreia acționează încărcări, poate avea caracter:

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

Totodată, măsurarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor poate avea caracter:

- **total**, când rezultatele măsurărilor din ciclul final se raportează la valorile obținute în ciclul inițial de referință;
- **parțial** - când se referă la diferența rezultatelor din două cicluri de măsurători succesive.

În activitatea de urmărire a comportamentului unei construcții supusă solicitărilor determinate de condițiile sale funcționale, se pot efectua trei categorii de măsurători:

1) **Deplasări și deformații liniare** care constau în:

- *deplasările pe orizontală ale construcției și/sau a unor elemente ale acesteia*, datorate unor forțe orizontale (împingerea pământului, împingerea apei) sau modificării poziției de echilibru a terenului de fundare;
- *tasările* sau deplasările pe verticală în jos ale construcțiilor datorate îndesării terenului de fundare sub acțiunea încărcărilor transmise de fundație;
- *bombările* sau *ridicările*, care se traduc prin deplasarea pe verticală în sus a fundațiilor construcțiilor, ca urmare a modificării echilibrului presiunii în structura terenului;

- *săgețile* unor elemente de construcții (grinzi, stalpi, plăci) ca urmare a unor sarcini care acționează vertical sau orizontal, provocând încovoierea acestora;
  - *înclinările* față de poziția verticală inițială a structurilor rigide, datorate tasărilor inegale ale construcțiilor și/sau a unor elemente geometrice ale acestora, exprimate prin valori liniare sau unghiulare;
  - *crăpăturile și fisurile*, care reprezintă rupturi în planuri sau în părți separate ale construcțiilor, ca urmare a apariției tensiunilor suplimentare și tasărilor neuniforme.
- 2) **Deplasările și deformațiile unghiulare** care constau în *rotiri* ale fundațiilor construcțiilor, datorită modificării poziției de echilibru a terenului de fundare sub acțiunea factorilor perturbatori. Aceste rotiri se pot produce:
- în plan vertical - *înclinări* ale construcției;
  - în plan orizontal - *răsuciri* ale construcției.
- 3) **Deformații specifice** care se referă la *alungirile* sau *scurtările* unui element al construcției sub efectul tensionării sau comprimării elementului respectiv.

### 2.3. Tipuri de încărcări care acționează asupra structurilor

Asupra construcțiilor acționează trei categorii de încărcări:

- încărcări datorate influenței unor factori perturbatori externi, de natură meteorologică și/sau tectonică (vânt, temperatură, precipitații, seisme);
- încărcări provenite din greutatea proprie a structurii;
- încărcări utile impuse de destinația funcțională a construcției.

### 2.4. Cauzele apariției deplasărilor și deformațiilor

Pe baza studiilor și cercetărilor efectuate atât în laborator, cât și pe teren, privitor la comportarea construcțiilor sau a elementelor acestora în exploatare, se pot sintetiza o serie de cauze frecvente ce conduc la apariția deplasărilor și deformațiilor. Acestea se pot clasifica în cauze generale și cauze particulare.

Cauzele *generale* sunt legate de proprietățile fizico-mecanice ale pământurilor din care este alcătuit terenul de fundare, de specificul condițiilor geotehnice și hidrogeologice, care favorizează acțiunea unor solicitări continue și de lungă durată.

Cauzele *particulare* se pot datora unui volum insuficient de date cu caracter geotehnic și hidrogeologic și unor factori perturbatori accidentali, de scurtă durată (seisme, antrenare hidrodinamică, teren dificil de fundare). [37]

Cauzele apariției deformațiilor pot fi de două tipuri:

a) determinate de acțiunea factorilor de natură *permanentă* sau *temporară*: structura statică a construcției, natura terenului (contractii și umflări ale argilelor, lichefierea nisipurilor, alunecări de teren, prăbușiri ale pământurilor sensibile la umezire), goluri subterane, uzura obișnuită sau datorită unor influențe externe, precum: inundații, cutremure, temperatură, vânt, vibrații, zgomot.

b) generate de anumite greșeli în execuție sau de folosirea unor materiale de construcție necorespunzătoare.

## 2.5. Particularități ale metodelor fizice și geometrice de măsurare a deformațiilor și deplasărilor construcțiilor

În funcție de natura factorilor generatori ai deplasărilor și deformațiilor, există două categorii de metode pentru determinarea mișcărilor construcțiilor: *metode fizice* și *metode geometrice*.

Pentru fiecare dintre acestea se utilizează instrumente specifice, care se diferențiază atât din punct de vedere funcțional, ca modalitate de prelevare a datelor, cât și prin modul de amplasare al acestora în timpul efectuării observațiilor.

**Metodele fizice** se caracterizează prin faptul că instrumentele de măsurare sunt instalate în corpul construcției, deplasându-se odată cu construcția, fără a exista puncte de referință exterioare. [40] Se măsoară deplasări și deformații relative între punctele aceluiasi obiect. Se utilizează procedee mecanice, fizice, electrice sau electronice. În acest caz, este definit un model relativ.

În funcție de parametrii monitorizați, metodele fizice constau în:

- determinarea deplasărilor și deformațiilor liniare (tasări, săgeți, deplasări orizontale) prin intermediul amplificatorului de săgeți, comparatorului cu tijă, comparatorului cu fir (de transmitere a deplasărilor la distanță);
- determinarea deplasărilor unghiulare (rotirilor) cu ajutorul clinometrului cu pârghie, clinometrului cu nivelă, clinometrului cu pendul;
- măsurarea deformațiilor specifice cu ajutorul tensometrelor și traductoarelor tensometrice electrice, mecanice, optico-mecanice, pneumatice, fotoelastice sau electroacustice (cu coarda vibrantă);
- măsurarea deplasărilor și deformațiilor dinamice, a vitezelor, accelerațiilor, utilizând accelerometrul electrodinamic, piezoelectric sau rezistiv, accelerograful seismic, traductorul de tip seismometric, înregistratorul magnetoelectric, vibrometrul, vibrograful, oscilografal catodic;
- măsurarea deformațiilor rosturilor de dilatație cu ajutorul micrometrului de roșt sau a teledilatometrului;
- măsurarea deplasărilor relative din lunecare, cu ajutorul șublerului.

Metodele fizice sunt utilizate pe scară largă la urmărirea comportării în timp a construcțiilor, atât în faza de execuție, cât și la monitorizarea structurilor pe termen lung, ca mijloace auxiliare metodelor topo-geodezice. Au aplicabilitate în determinarea deplasărilor și deformațiilor survenite în urma acțiunilor dinamice.

**Metodele geometrice** constau în determinarea valorilor absolute ale deplasărilor și deformațiilor orizontale sau verticale ale unor puncte ale structurii, prin intermediul observațiilor efectuate cu aparate de măsurare instalate, de regulă, în exteriorul construcției. [40] Valorile deplasărilor și deformațiilor sunt raportate la o rețea de sprijin, formată din puncte fixe, situate în terenuri nedeformabile, în afara zonei de influență a construcției. În acest caz se definește un model absolut. Metodele topo-geodezice sunt caracteristice acestei categorii.

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

Metode pentru determinarea *deplasărilor și deformațiilor verticale*:

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

Metode pentru determinarea *deplasărilor și deformațiilor orizontale*:

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

Metode pentru determinarea *înclinării construcțiilor înalte*:

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

Pentru evaluarea corectă, riguroasă, permanentă și în timp real a comportării unei structuri, s-au impus, în ultimul timp, metode de monitorizare speciale prin instalarea de dispozitive permanente de măsurare, pe o perioadă lungă de timp, care au rolul de a înregistra automat deformațiile într-o epocă și pe parcursul timpului, între epocile de măsurare.

## 2.6. Urmărirea "in situ" a construcțiilor

Urmărirea comportării "in situ" (în amplasament) a construcțiilor este o acțiune sistematică de investigare a modului în care construcțiile răspund, în decursul utilizării lor, sub influența mediului înconjurător și a activității utilizatorilor. Urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor se face în vederea depistării din timp a unor degradări care pot conduce la diminuarea aptitudinii la exploatare a construcțiilor și indicării unor măsuri de intervenție prin soluții constructive adecvate, de renovare sau reabilitare. [34]

**Urmărirea curentă** este activitatea de urmărire a comportării construcțiilor, care constă în observarea și înregistrarea unor aspecte, fenomene sau parametri, care pot semnală modificări ale capacității construcției de a îndeplini cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate stabilite prin proiecte [106], având drept scop depistarea din timp a fenomenelor premergătoare apariției unor stări de degradare periculoase și luarea din timp a măsurilor necesare stopării lor. [32]

Urmărirea curentă se caracterizează prin următoarele:

- se aplică tuturor construcțiilor, de orice categorie sau clasă de importanță și formă de proprietate, cu excepția clădirilor de locuit cu parter și parter plus un etaj și anexele gospodărești situate în mediul rural, precum și construcțiilor provizorii;
- are caracter permanent, durata ei fiind egală cu durata existenței fizice a construcției respective;
- se poate efectua prin examinare vizuală directă și, dacă este cazul, cu mijloace de măsurare de uz curent, permanent sau temporar;
- revine în sarcina proprietarilor, administratorilor sau a utilizatorilor;
- se efectuează la intervalele de timp prevăzute prin instrucțiunile de urmărire curentă, dar nu mai rar de o dată pe an și obligatoriu după producerea de evenimente deosebite.

**Urmărirea specială** este activitatea de urmărire a comportării construcțiilor ce constă în măsurarea, înregistrarea, prelucrarea și interpretarea sistematică a valorilor parametrilor ce definesc măsura în care construcțiile își mențin cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate stabilite prin proiecte. [106]

Se instituie la construcții noi de importanță deosebită stabilită prin proiect sau construcții în exploatare cu evoluție periculoasă.

Urmărirea specială cuprinde și urmărirea curentă, caracterizându-se prin următoarele:

- se efectuează cu mijloace de observare și măsurare complexe și specializate, adaptate fiecărui caz în parte;
- cade în sarcina proprietarului, administratorului sau utilizatorului;
- poate avea caracter permanent sau temporar, durata stabilindu-se pentru fiecare caz în parte, în conformitate cu prevederile proiectului de urmărire specială prin care ea a fost instituită.

## **2.7. Stabilirea modelului deformațiilor și deplasărilor construcțiilor**

Generarea unui model al deplasărilor și deformațiilor unei construcții vizează următoarele aspecte:

- *forma mișcării* – caracterizată prin periodicitatea mișcărilor;
- *viteza mișcării* – intervalul dintre ciclurile de observații va fi stabilit în funcție de dinamica deplasărilor și deformațiilor;
- *ordinul de mărime* – dimensiunea reală a mișcărilor în raport cu cea estimată în faza de proiectare;
- *parametri de influență* – cunoașterea specificului factorilor externi care acționează asupra structurii și suplimentarea măsurărilor efectuate prin metode topo-geodezice cu observații efectuate prin metode negeodezice, în funcție de natura acestora;
- *măsurători topo-geodezice* – determinarea coordonatelor punctelor obiect, în funcție de variabila timp;
- *măsurători negeodezice* – se referă la temperatura și umiditatea aerului, temperatura și înălțimea apei, presiune atmosferică, vibrații sau alte elemente de fizică a construcțiilor (viteze, accelerații);
- *alte informații* – experiențe anterioare legate de obiecte și situații similare.

## **2.8. Considerații generale privind metodele geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale**

Dezvoltarea tehnicii măsurărilor a creat posibilitatea observării și determinării precise a modului de comportare a construcțiilor și a evoluției lor în timp, oferind posibilitatea comparării deplasărilor și deformațiilor reale cu cele probabile, estimate prin calcule din faza de proiectare sau prin modele.

O importanță deosebită în analiza comportării construcțiilor, atât în timpul încercărilor pe modele sau la scară naturală, cât și după darea lor în folosință și exploatare o au datele privind deplasările pe verticală ale acestora. [86], [37]

Măsurătorile topo-geodezice permit analiza construcției în funcție de caracterul și mărimile deplasărilor verticale, fiind necesară corelarea acestora cu observarea și studierea regimului apelor subterane, mecanica pământurilor, activitatea seismică, surse de vibrații, variația temperaturii, vânturi, precipitații, în scopul identificării provenienței acestor deplasări și indicării unor soluții fezabile de eliminare a lor.

Metodele geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale se folosește la determinarea vectorului deplasării verticale a punctelor de control fixate pe construcția luată în studiu, în raport cu un sistem de referință constituit din

puncte fixate în terenuri nedeformabile, amplasate în afara zonei de influență a construcției, formând astfel rețeaua punctelor de triangulație.

Principiul măsurării deplasărilor și deformațiilor pe verticală constă în determinarea repetată a cotelor punctelor de control, numite și mărci de tasare, fixate pe construcția studiată, în raport cu mai mulți reperi ficși, sau reperi de referință amplasați în terenuri cu grad redus de deformabilitate și în afara zonei de influență a construcției. Punctele de control încastrate în construcție se deplasează împreună cu construcția și deci, prin observații efectuate asupra lor, se pot stabili valorile deplasărilor verticale. [86]

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

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

Alegerea metodei se realizează în funcție de natura și precizia cercetării efectuate.

Mărimile deplasărilor verticale, tasări sau ridicări, se pot determina prin metode numerice, utilizând prelucrarea datelor măsurătorilor din teren prin metoda celor mai mici pătrate.

## 2.9. Marcarea punctelor rețelelor de nivelment

### 2.9.1. Materializarea reperilor de control

Pentru realizarea măsurătorilor topografice specifice urmăririi în timp a construcțiilor, punctele rețelelor de nivelment se marchează sub forma unor reperi convenționali, care respectă normativele din România.

Marcarea punctelor de nivelment utilizate la urmărirea deplasărilor și deformațiilor verticale se face prin reperi permanenți sau provizorii. Rețeaua de nivelment de stat este materializată prin *reperi permanenți*, în timp ce rețelele locale pot fi materializate atât prin reperi permanenți, cât și prin *reperi provizorii* (țărushi metalici, stâlpi de lemn, soclul de zid al unei clădiri, garduri).

*Reperii permanenți* se clasifică astfel:

- reperi fundamentali de adâncime (marcarea punctelor de ordinul I și II);
- reperi ordinari sau reperi de sol (reperi de teren);
- reperi de zidărie (marcarea punctelor de ordinul III și IV).

În vederea urmăririi în timp a unei construcții, reperii de control se pot încastra în clădiri sau se pot monta pe stânci stabile sau pe pilaștri de beton construiți pe teren. Dacă prin programul de urmărire se stabilește amplasarea acestora pe clădiri, se ține cont de faptul că acestea trebuie să fie consolidate, să fie exploatate de cel puțin cinci ani și să nu fie expuse diferitelor influențe interioare sau exterioare (trepidații din cauza exploatării, terenuri inundabile). Din acest punct de vedere cel mai bine corespund clădirile publice.

În literatura de specialitate se consideră că, dacă asupra unei construcții nu intervin sarcini continue și crescânde, aceasta se poate considera stabilizată după o perioadă de cinci ani de la darea ei în exploatare.

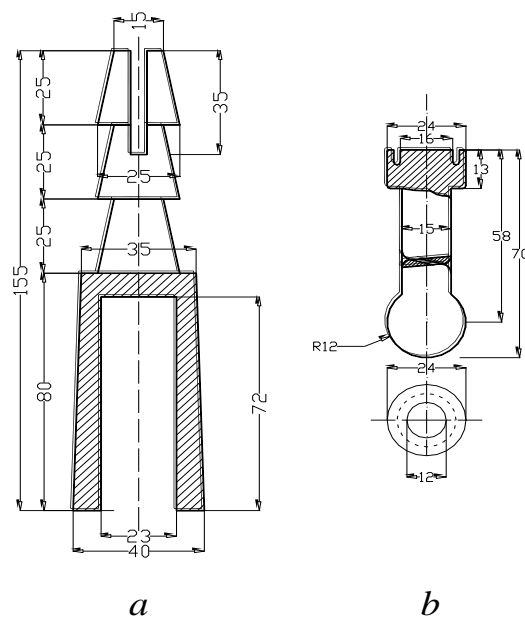
În cazul reperilor de zidărie încastrați în construcții, aceștia se amplasează în apropierea colțurilor clădirii, pe zidurile de rezistență, unde stabilitatea acestora este normală, la o înălțime de 40 - 60cm față de sol.

Pe scară largă, ca reperi încastrați în construcție, se utilizează reperii de oțel sub formă de tijă, având cap semisferic executat din metal dur, inoxidabil, pe



care se poate așeza cu ușurință mira sau prisma optică. Aceste tije se fixează cu mortar de ciment în orificiile săpate în zidurile clădirilor. Pentru conservarea stării lor inițiale și pentru evitarea ciobirii sau deteriorării, reperii trebuie să fie protejați prin capace speciale de protecție.

În țara noastră, prin normativul elaborat de Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Construcții, Urbanism și Dezvoltare Teritorială Durabilă privind determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61 - 64, se reglementează tipurile de reperi acceptate și se recomandă ca reperii de control montați în pereții construcțiilor să respecte caracteristicile standard evidențiate în Fig. 2.1.

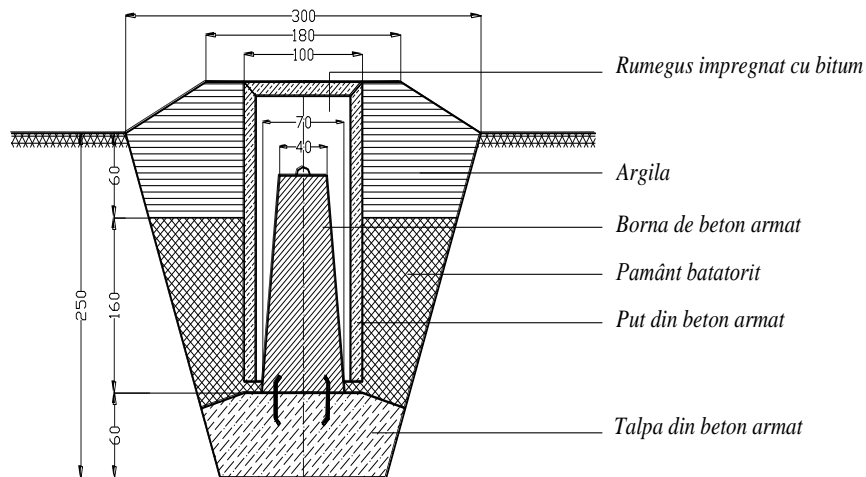


**Fig. 2.1. Reperi de control montați pe construcții în România**  
a - Corpul reperului; b - Capac cu bulon sferic al mărcii sau reperului [104]

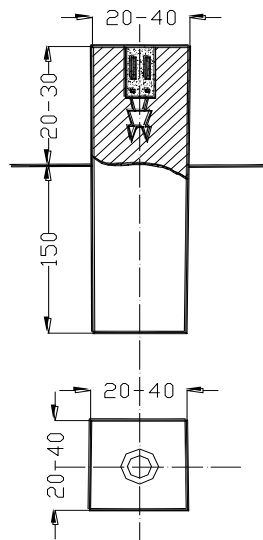
Reperii de sol pot fi de două tipuri: reperii de suprafață și reperii de adâncime.

*Reperii de control de suprafață* se construiesc sub forma unor borne de beton armat, având formă de trunchi de piramidă, cu baza pătrată. Borna de beton armat se sprijină pe o talpă, de asemenea din beton armat, cu care se leagă prin intermediul unei armături metalice. În Fig. 2.2 și Fig. 2.3. sunt prezentate câteva tipuri de reperii de control de suprafață utilizați la studiul comportării construcțiilor în România. [17]

Dacă reperul nu este montat în rocă masivă, ci în pietriș sau pe un teren moale, talpa lui trebuie să se afle la o adâncime de cel puțin 2,50m. La determinarea adâncimii la care se va monta un astfel de reper se vor lua în calcul doi indici reprezentativi: nivelul apei freatice specific zonei respective și adâncimea de îngheț. Borna de beton armat care poartă reperul (pastilă semisferică) pe care se așează mira sau prisma topografică, se protejează împotriva deplasărilor de teren prin intermediul puțului de beton armat prevăzut la partea superioară cu un capac metalic de protecție. (Fig. 2.3.) [58]



**Fig. 2.2. Reper de control de suprafață – România [85]**



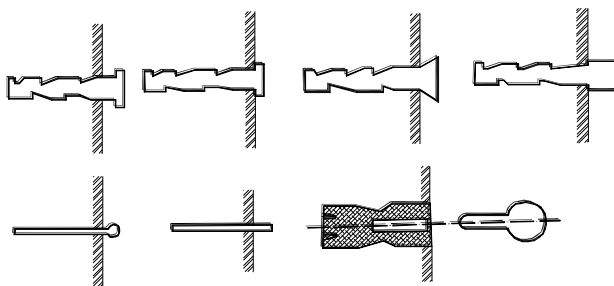
**Fig. 2.3. Reper de control de suprafață în România [86]**

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

În cazul pământurilor macroporice sau cu contracții mari, borna de beton va fi plantată la o adâncime de minim 2m, iar în jurul bornei se va crea o movilă de pământ cu raza de 1 – 1,5m pentru scurgerea apelor meteorice. [85]

Drept reperi de control se admit și reperii nivelmentului de precizie de stat de ordin superior, clasificați în *reperi de zidărie* și *reperi de teren*.

Reperii de zidărie, reprezentați în Fig. 2.4., se încastrează în zidăria construcțiilor masive, care nu mai prezintă tasări. Aceștia se încastrează, cu coada lor, în zidărie într-o gaură săpată și umplută cu mortar de ciment de calitate superioară.

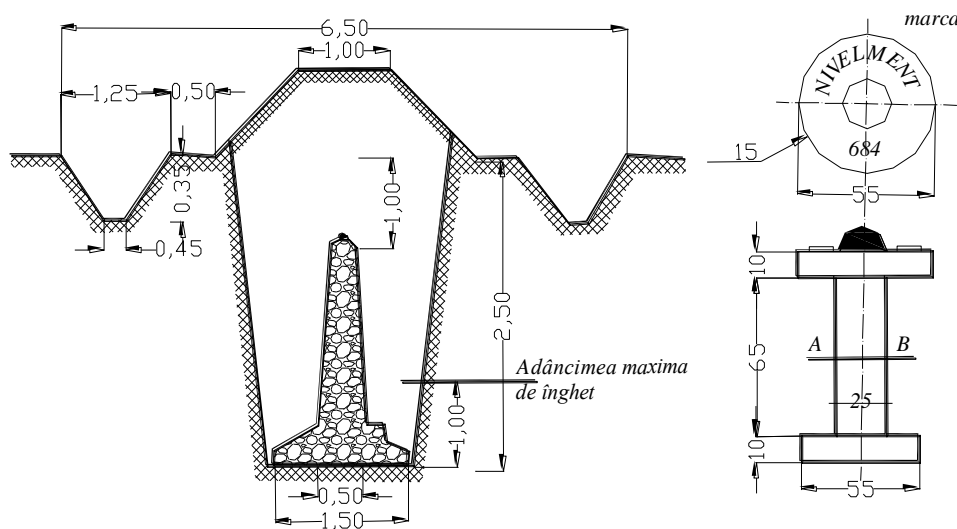


**Fig. 2.4. Reperi de nivelment de zidărie în România [85]**

Reperul de teren se compune din două părți distincte:

- reperul propriu-zis (bornă);
- piesa care se montează la partea superioară în bornă și pe care se așează mira sau prisma optică (marca).

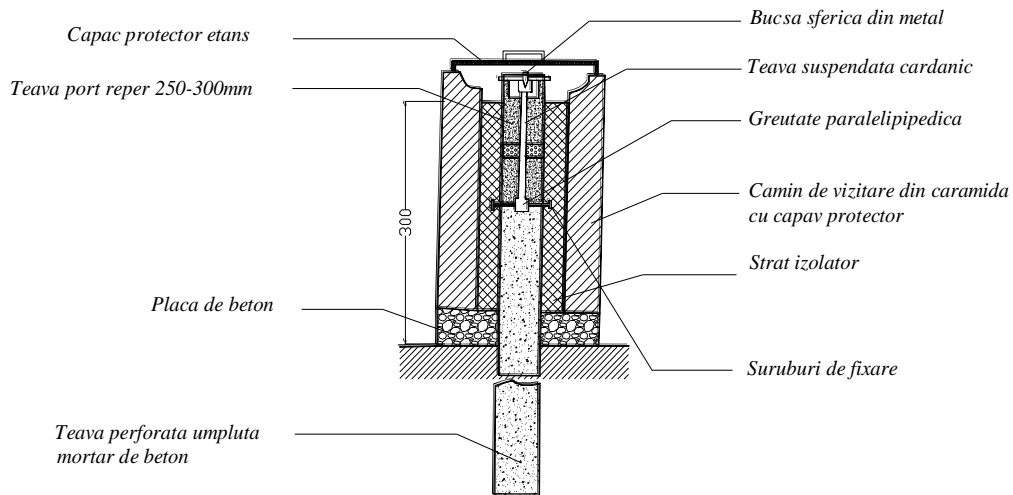
Acești reperi (Fig. 2.5.) se acoperă cu pământ pentru a fi protejați și numai când se așează mira pe ei se degajează de pământ, la finalizarea măsurătorilor aceștia acoperindu-se din nou pentru conservare. [86]



**Fig. 2.5. Reperi de câmp în România [85]**

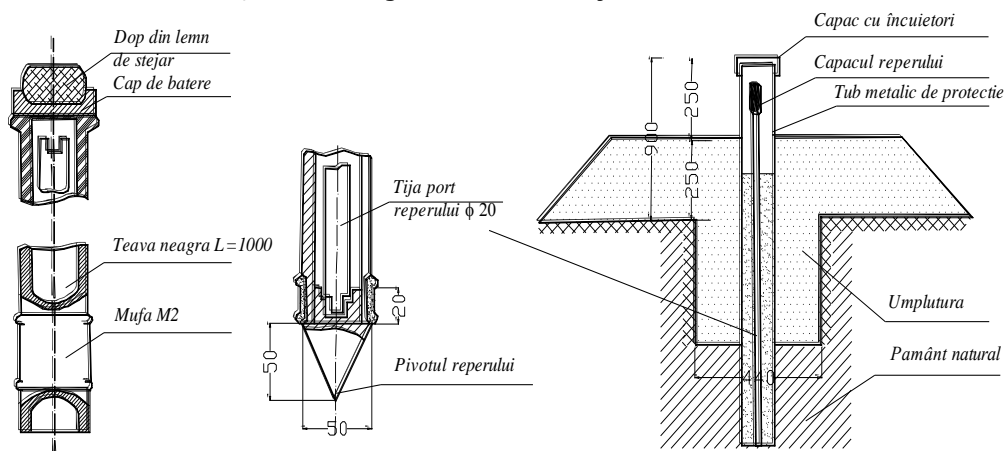
În cazul pământurilor moi, când există straturi moi în adâncime sau când adâncimea straturilor de pământ macroporic depășește 2m, se impune folosirea reperilor de adâncime.

Există o diversitate de tipuri de reperi de control de adâncime, care pot ajunge și la câțiva zeci de metri adâncime.



**Fig. 2.6 Reper de adâncime tip Muraviev [85]**

În România, normativul privind determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61 - 64 prevede construirea reperilor de control de adâncime, conform figurii 2.7. de mai jos:



**Fig. 2.7. Reper de adâncime – poziție de batere și poziție definitivă [85]**

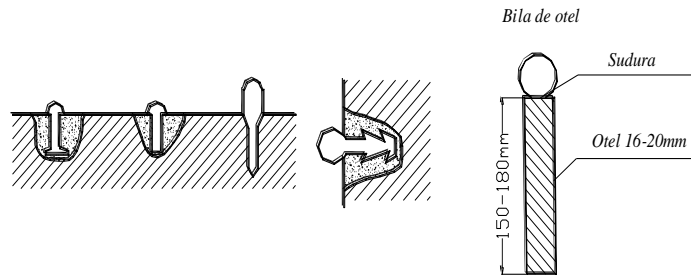
Adaptând tehnologia de executare a acestor tipuri de reperi la condițiile din teren, se pot obține rezultate foarte bune pentru observațiile topografice, datorită deplasărilor sau variațiilor foarte reduse ale acestora.

Indiferent de locul de amplasare, stabilitatea terenului de fundare sau condițiile geotehnice locale, se poate afirma că reperi de adâncime oferă cel mai mare grad de stabilitate în timp.

În prezent, specialiștii în domeniu își propun găsirea unor soluții tehnice fiabile pentru optimizarea folosirii în practică a reperilor de control, atât prin simplificarea modului de alcătuire al acestora, cât și prin ușurarea procedurii de materializare pe teren.

### 2.9.2. Materializarea mărcilor de tasare

Materializarea punctelor de nivelment marcate pe obiectivul supus observațiilor se realizează prin intermediul **mărcilor de tasare**. Mărcile încastrate în construcții pot avea diferite forme, fiind confecționate din bare metalice cu cap rotunjit sau din corniere cu cap semirotond (Fig. 2.8).



**Fig. 2.8** Mărci de nivelment încastrate în construcție [85]

Forma și materialul mărcilor se alege în funcție de condițiile din amplasament și de caracteristicile construcției aflate în studiu. Montarea mărcilor se face astfel încât ele să rămână fixe și să permită așezarea verticală sigură a mirelor de nivelment sau a prismelor optice. Mărcile de tasare se montează pe soclul fundației, pe plăcile de fundație, pe pereții exteriori ai construcțiilor sau, după caz, în interiorul acestora. Protejarea mărcilor de tasare este foarte importantă și se realizează prin intermediul unui capac din oțel sau beton și a unei apărători adecvate.

Pentru determinarea deplasărilor verticale ale straturilor de pământ situate la diferite adâncimi se folosesc reperi de adâncime (mărci de adâncime), în speță în cazul barajelor de pământ. Construcția acestor mărci trebuie să asigure o bună legătură între ele și stratul de pământ examinat, astfel încât toate deplasările verticale ale acestui strat să poată fi transmise mărcii. Una din principalele părți ale reperului de adâncime este țeava de protecție, care îndeplinește rolul de a izola tija reperului de influențele unor eventuale frecări de pământ și de a o proteja împotriva coroziunii. În consecință marca va fi supusă doar influențelor exercitate de mișcările aceluia strat de pământ pe care se sprijină piciorul acesteia. Acest tip de marcă a fost concepută și experimentată de Lazzarini la transmiterea deplasărilor verticale ale unui strat de pământ situat la circa 1,5m adâncime (Fig. 2.9.). Forma plată a piciorului permite construirea acestei mărci direct pe teren, în groapa deschisă, care după priza terenului se umple cu pământ. Deplasarea stratului de sub picior poate fi sesizată la nivelul mărcii la partea superioară a acesteia. Neajunsul acestui tip de marcă este acela că odată cu construcția acesteia terenul este deranjat, iar unele deplasări ale acesteia pot să apară datorită refacerii echilibrului natural.

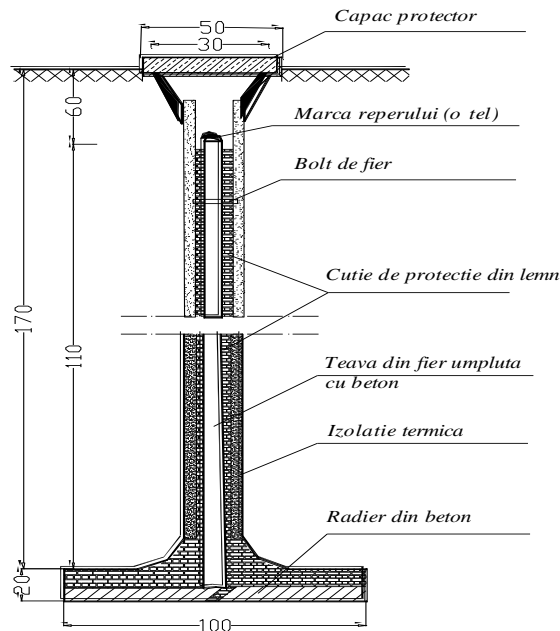


Fig. 2.9. Marcă reper de adâncime T. Lazzarini [85]

## 2.10. Metode geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale

### 2.10.1. Metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie

Nivelmentul geometric sau direct este metoda de determinare a diferențelor de nivel, care se bazează pe principiul vizelor orizontale, funcție de care se calculează cotele punctelor de pe suprafața terestră. [27]

Este metoda care asigură precizia cea mai ridicată la măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor, fiind utilizată atât la încercarea experimentală a unor construcții pe modele sau la scară naturală, precum și la urmărirea în timp a comportării construcțiilor în faza de exploatare.

În funcție de tipul, forma și mărimea construcției studiate, se creează configurația rețelei de nivelment geometric.

În componența rețelei, regăsim următoarele tipuri de puncte:

- *mărci de tasare* sau *reperi mobili*, fixate pe construcția care este supusă cercetării;
- *reperi ficși* sau *reperi de referință*, amplasați în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției studiate. [9]

**Mărcile de tasare** (punctele de control) sunt fixate pe construcții, având rolul de a reda cât mai fidel componentele verticale ale deplasărilor unor elemente distincte ale construcției sau ale construcției în ansamblu. Ele se încastrează în elementele de rezistență ale construcției, în apropierea colțurilor clădirii, respectiv în tablierul podurilor și trebuie să asigure verticalizarea pe acestea a mirelor de nivelment sau montarea dispozitivelor de nivelment hidrostatic.

Montarea mărcilor de tasare pentru nivelmentul geometric de înaltă precizie se poate realiza astfel:

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

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

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

Reperii ficși se pot clasifica în *reperi de suprafață* și *reperi de adâncime*. Atât reperii ficși de adâncime, cât și reperii ficși de suprafață, dar într-o măsură mai mică, au rolul de a asigura stabilitatea planului orizontal de referință, față de care se determină deplasările verticale ale reperilor mobili încastrați în construcție.

Ca regulă generală, reperii ficși se amplasează în afara zonei de influență a construcției studiate, sub adâncimea de îngheț, până la roca de bază sau se montează în construcții existente vechi, masive și stabile sau în stâncă, în locuri accesibile observațiilor și cu un grad de risc redus de deformabilitate. Amplasamentul acestora trebuie să asigure conservarea lor pe toată perioada preluării observațiilor, care poate fi chiar ani, în funcție de starea și importanța obiectivului care urmează a fi studiat.

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

- etapa măsurătorilor de nivelment la locul experimentării, în laborator sau pe teren, în fiecare ciclu de măsurare;
- etapa prelucrării măsurătorilor pentru calculul deplasărilor verticale ale construcției și evaluarea preciziei care include:
  - ✚ testarea stabilității reperilor ficși ai rețelei de referință, în raport cu care se efectuează măsurarea deplasărilor verticale ale construcției (dacă se constată că unii din reperii ficși și-au modificat poziția pe verticală, se vor introduce corecțiile corespunzătoare);
  - ✚ calculul deplasărilor verticale ale punctelor de control de pe construcția luată în studiu;
  - ✚ evaluarea preciziei de determinare a deplasărilor verticale și stabilirea, pentru o probabilitate dată, a intervalelor de încredere în care se află;
- întocmirea documentației tehnice a cercetării. [20]

### **2.10.1.1. Proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru determinarea tasărilor**

Proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru cazuri speciale se face prin luarea în considerare a unui număr minim de reperi de control pe baza cărora se vor raporta ulterior toate ciclurile de măsurători efectuate.

Numărul minim al reperilor de control într-o rețea de nivelment geometric pentru urmărirea tasărilor unei construcții este de trei, un număr mai mic de reperi de control fiind insuficient pentru a putea identifica eventuale modificări ale poziției inițiale ale acestora, în cazul constatării unor diferențe între cotele absolute.

Geometria rețelei formate din reperi de control trebuie să asigure aprecierea stabilității fiecăruia dintre ei, prin intermediul a cel puțin o drumuire, care duce către un alt reper de control. În consecință, numărul stațiilor din fiecare drumuire trebuie să asigure posibilitatea aprecierii stabilității fiecărui reper de control, în limitele adoptate ale influenței erorilor de măsurat, adică trebuie să permită constatarea deplasărilor care, în valoare absolută, depășesc valorile erorilor de măsurare.

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

$$d_{\max} = \pm 2\mu\sqrt{n} \quad (2.1)$$

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

Rezultă următoarea condiție: 
$$n \leq \left(\frac{m}{2\mu}\right)^2 \quad (2.2)$$

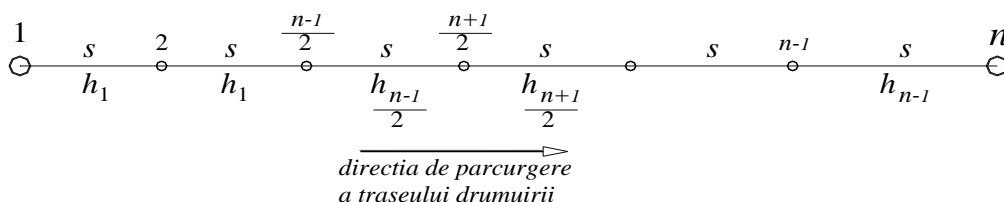
În cazul în care se consideră eroarea medie pătratică a unității de pondere egală  $\pm 0,1\text{mm}$  și eroarea de măsurare egală cu  $0,5\text{mm}$ , constatăm că depistarea modificării reciproce a poziției a doi reperi de control, de ordinul a  $0,5\text{mm}$ , va fi posibilă numai când  $n \leq 6$ .

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

Pentru stabilirea distanței maxime între reperi de control și a lungimii maxime a drumuirii nivelitice, se consideră lungimea exprimată prin numărul de stații.

Trebuie avut în vedere ca eroarea medie pătratică de deplasare pe verticală, adaptată în prealabil pentru reperul amplasat cel mai puțin favorabil, să nu fie depășită.

Se consideră o drumuire nivelitică cu un număr total de reperi  $n$ . Primul și ultimul reper se consideră reperi de control, iar celelalte puncte se consideră a fi reperi mobili.



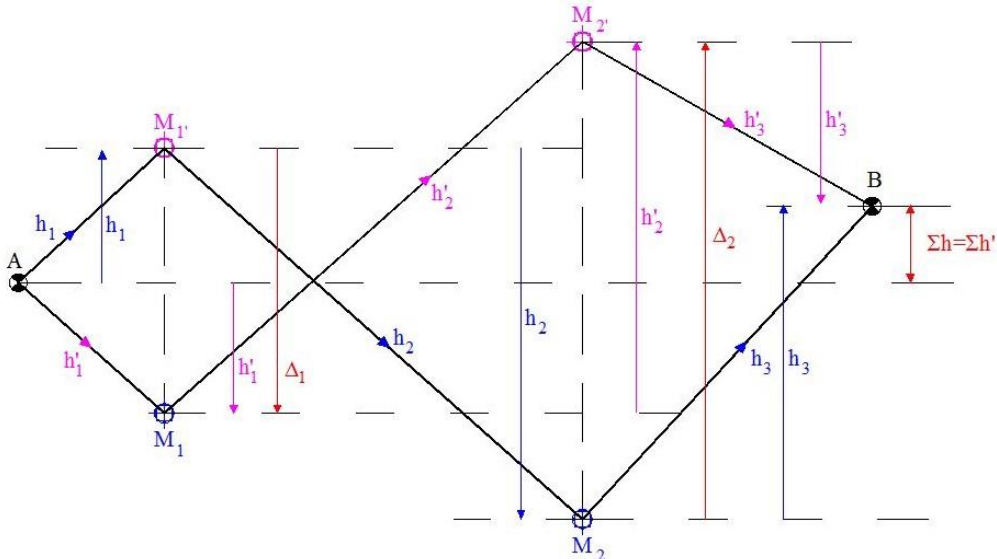
**Fig. 2.10. Drumuire de nivelment geometric**



Admițând pentru simplificarea calculului  $n$  impar, precum și numărul de stații  $s$  din Fig. 2.10. pe diferite porțiuni ale drumuirii, se poate scrie următoarea egalitate:

$$\begin{aligned} & (h_1 + v_1) + (h_2 + v_2) + \dots + \left(\frac{h_{n-3} + v_{n-3}}{2}\right) + \left(\frac{h_{n-1} + v_{n-1}}{2}\right) + \left(\frac{h_{n+1} + v_{n+1}}{2}\right) + \dots + (h_{n-1} + v_{n-1}) = \\ & = (h'_1 + v'_1) + (h'_2 + v'_2) + \dots + \left(\frac{h'_{n-3} + v'_{n-3}}{2}\right) + \left(\frac{h'_{n-1} + v'_{n-1}}{2}\right) + \left(\frac{h'_{n+1} + v'_{n+1}}{2}\right) + \dots + (h'_{n-1} + v'_{n-1}) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Exemplificarea de calcul are în vedere un model constituit dintr-o porțiune de rețea de nivelment sub forma unei drumuirii sprijinite la capete pe doi reperi de control, notați cu A, respectiv B, care sunt considerați fișci. Valorile luate în calcul sunt ale diferențelor de nivel măsurate pe teren între punctele drumuirii, din două cicluri de măsurători (Fig. 2.11.).



**Fig. 2.11. Rețea de nivelment sub formă de drumuire sprijinită la capete**

În figură s-au folosit următoarele notații:

- A și B – reperi fișci;
- $M_1, M_2$  – mărcile de tasare de pe construcție în poziția inițială (ciclul I);
- $M_1', M_2'$  – mărcile de tasare de pe construcție în poziția actuală (ciclul II);
- $h_1, h_2, h_3$  – diferențele de nivel deduse din observațiile inițiale (ciclul I);
- $h'_1, h'_2, h'_3$  – diferențele de nivel deduse din observațiile actuale (ciclul II);
- $v_1, v_2, v_3$  – corecțiile diferențelor de nivel măsurate inițial;
- $v'_1, v'_2, v'_3$  – corecțiile diferențelor de nivel măsurate actual;
- $\Delta_1, \Delta_2$  – deplasările verticale (tasările) mărcilor 1 și 2 în intervalul dintre cele două cicluri de măsurători.

Se consideră pentru început eliminarea valorilor  $h_3$  și  $h'_3$  și se raportează deplasările mărcilor 1 și 2 numai la un singur reper de control A, se obține:

$$\begin{aligned} h_1 + \Delta_1 &= h_1' \\ h_1 + h_2 + \Delta_2 &= h_1' + h_2' \end{aligned} \quad (2.4)$$

Rezultă:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= h_1' - h_1 \\ \Delta_2 &= (h_1' + h_2') - (h_1 + h_2) = \Delta_1 + (h_2' - h_2) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Generalizând relația se poate scrie:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} + h_i' - h_i \quad (2.6)$$

Măsurând diferențele de nivel  $h_3$  și  $h_3'$  drumuirea se leagă și de reperul B, creând astfel o condiție geometrică.

Dacă se iau în considerare corecțiile  $v$  și  $v'$  ce se aplică măsurătorilor conform modelului propus în figură, se poate scrie egalitatea între diferențele de nivel măsurate inițial și actual:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_1' + v_1' + h_2' + v_2' + h_3' + v_3' \quad (2.7)$$

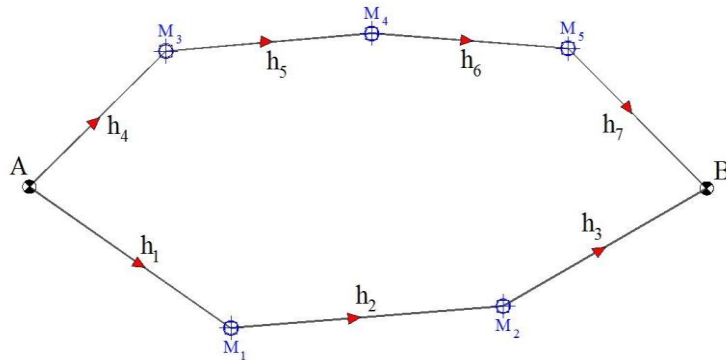
Această relație conduce la următoarea ecuație de condiție, cea a corecțiilor:

$$v_1 - v_1' + v_2 - v_2' + v_3 - v_3' + w = 0 \quad (2.8)$$

În ecuația de mai sus  $w$  care reprezintă termenul liber se exprimă sub forma:

$$w = \sum (h_i - h_i') \quad (2.9)$$

Dacă cele două puncte fixe de reper formează o rețea alcătuită din două drumuri de nivelment sprijinite la capete, pe aceiași doi reperi de control A și B (Fig. 2.12).



**Fig. 2.12. Rețea de nivelment cu două drumuri sprijinite la capete**

Notând cu  $M_1, M_2 \dots M_i$  mărcile de tasare de pe obiectivul studiat, iar cu  $h_1, h_2 \dots h_7$  diferențele de nivel măsurate în ciclul I se pot scrie următoarele ecuații caracteristice:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_1' + v_1' + h_2' + v_2' + h_3' + v_3' \quad (2.10)$$

$$h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h_4' + v_4' + h_5' + v_5' + h_6' + v_6' + h_7' + v_7' \quad (2.11)$$

În ecuațiile de mai sus, se observă că trebuie să avem suma diferențelor de nivel de pe drumuirea  $AM_1M_2B$  egală cu suma diferențelor de nivel de pe drumuirea  $AM_3M_4M_5B$ . Astfel, se pune condiția de închidere a drumuirilor de nivelment, conform relațiilor următoare:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \quad (2.12)$$

$$h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 = h'_4 + v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \quad (2.13)$$

Se poate observa că ultima ecuație reprezintă o combinație liniară a celorlalte trei ecuații precedente. În consecință, la compensarea rețelei trebuie să se ia în considerare oricare trei din cele patru ecuații scrise mai sus.

Cele două drumuri de nivelment geometric  $AM_1M_2B$  și  $AM_3M_4M_5B$  generează fiecare câte o ecuație de condiție. Identitatea punctelor de sprijin ale acestor două drumuri are drept consecință scrierea unei ecuații suplimentare de închidere a drumurilor de nivelment.

Pe baza analizării modelului propus în cele două figuri prezentate, ținând cont de tipul rețelei de sprijin, respectiv, drumuire de nivelment geometric, se poate determina și stabili numărul de ecuații de condiție independente. Astfel, în drumuirea de nivelment din  $AM_1M_2B$ , deplasarea mărcii  $M_1$  poate fi determinată pe baza măsurării de două ori a unei singure diferențe de nivel  $h_1$  adică  $h_1$  și  $h'_1$ , iar deplasările mărcilor  $M_1$  și  $M_2$  pe baza măsurătorii de două ori a două diferențe de nivel  $h_1$  și  $h_2$ . Măsurarea inițială și actuală a diferențelor de nivel  $h_3$  creează și ea o ecuație de condiție.

În aceleași condiții se pune problema și pentru drumuirea  $AM_3M_4M_5B$ , măsurarea de două ori a diferenței de nivel  $h_7$  generează o ecuație de condiție.

Combinând situațiile de mai sus, rezultă că în drumuirile nivelitice izolate, adică în drumuirile care se sprijină la ambele capete pe reperi de control, numărul ecuațiilor de condiție independente este dat de:

$$N = D - M \quad (2.14)$$

în care:  $D$  - numărul diferențelor de nivel măsurate de două ori;

$M$  - numărul mărcilor mobile.

Această formulă poate fi verificată în următoarea rețea sub forma unei drumuri de nivelment formată din 3 reperi  $A$ ,  $B$  și  $C$ , pentru care se pot scrie următoarele ecuații:

$$\begin{aligned} h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 \\ -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + \\ + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 & \end{aligned} \quad (2.16)$$

Se poate observa că suma primelor două ecuații este egală cu ecuația a treia, prin urmare nu există decât două ecuații independente. Același rezultat se obține dacă se aplică relația de mai sus în cazul în care  $D=7$  și  $M=5$ . Existența liniilor de închidere a drumurilor marcate punctat, adică drumuri nivelitice închise pe punctul de plecare, creează posibilitatea scrierii unei condiții suplimentare și deci, numărul ecuațiilor independente în rețea se determină cu relația:

$$N = D - M + I \quad (2.17)$$

în care:  $I$  reprezintă numărul închiderilor.

Relația de mai sus se poate verifica tot în rețeaua din Fig. 2.12. completată cu drumuirile suplimentare care formează închideri (linii întrerupte). Astfel, se poate scrie:  $D=9$ ;  $M=5$ ;  $I=2$ , rezultă  $N=6$ .

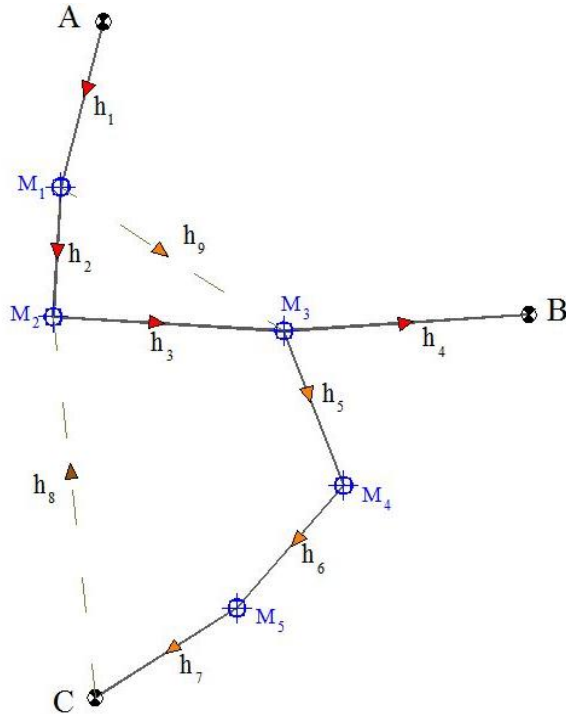


Fig. 2.13. Rețea de nivelment cu trei reperi de sprijin

Ecuțiile caracteristice care se scriu pe baza rețelei nivelitice din Fig. 2.13. sunt:

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

$$13. h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 - h'_7 - v'_7 - h'_6 - v'_6 - h'_5 - v'_5 - h'_9 - v'_9 = 0 \quad (2.18)$$

Din ecuațiile 2.18, primele 6 sunt independente, celelalte provenind din combinațiile primelor 6. Alegând din egalitățile de mai sus, oricare 6 ecuații independente le putem transforma în 6 ecuații de condiție independente ale corecțiilor.

Din primele 6 ecuații independente, se obține următorul sistem linear de ecuații de condiție ale corecțiilor:

$$\begin{aligned} a_1 v_1 - a'_1 v'_1 + a_2 v_2 - a'_2 v'_2 + a_8 v_8 - a'_8 v'_8 + w_a &= 0 \\ b_1 v_1 - b'_1 v'_1 + b_4 v_4 - b'_4 v'_4 + b_9 v_9 - b'_9 v'_9 + w_b &= 0 \\ c_2 v_2 + c_3 v_3 - c_9 v_9 + w_c &= 0 \\ d'_2 v'_2 + d'_3 v'_3 - d'_9 v'_9 + w_d &= 0 \\ e_3 v_3 + e_5 v_5 + e_6 v_6 + e_7 v_7 - e_8 v_8 + w_e &= 0 \\ f'_3 v'_3 + f'_5 v'_5 + f'_6 v'_6 + f'_7 v'_7 - f'_8 v'_8 + w_f &= 0 \end{aligned} \quad (2.19)$$

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

$$\begin{aligned} w_a &= (h_1 + h_2 + h_8) - (h'_1 + h'_2 + h'_8) \\ w_b &= (h_1 + h_4 + h_9) - (h'_1 + h'_4 + h'_9) \\ w_c &= (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \\ w_d &= (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \\ w_e &= (h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8) - (h'_3 + h'_5 + h'_6 + h'_7 + h'_8) \\ w_f &= (h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8) - (h'_3 + h'_5 + h'_6 + h'_7 + h'_8) \end{aligned} \quad (2.20)$$

**Tabelul 2.1.** Valorile coeficienților corecțiilor

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

Pe baza coeficienților ecuațiilor de condiție ale corecțiilor se poate scrie sistemul de ecuații normale ale corelatelor, luând în considerare ponderile diferențelor de nivel măsurate:

$$\begin{aligned} \left[ \frac{aa}{p} \right] K_1 + \left[ \frac{ab}{p} \right] K_2 + \dots + \left[ \frac{af}{p} \right] K_6 + w_a &= 0 \\ \left[ \frac{ab}{p} \right] K_1 + \left[ \frac{bb}{p} \right] K_2 + \dots + \left[ \frac{bf}{p} \right] K_6 + w_b &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\left[ \frac{ac}{p} \right] K_1 + \left[ \frac{bc}{p} \right] K_2 + \dots + \left[ \frac{cf}{p} \right] K_6 + w_c &= 0 \\
\left[ \frac{ad}{p} \right] K_1 + \left[ \frac{bd}{p} \right] K_2 + \dots + \left[ \frac{df}{p} \right] K_6 + w_d &= 0 \\
\left[ \frac{ae}{p} \right] K_1 + \left[ \frac{be}{p} \right] K_2 + \dots + \left[ \frac{ef}{p} \right] K_6 + w_e &= 0 \\
\left[ \frac{af}{p} \right] K_1 + \left[ \frac{bf}{p} \right] K_2 + \dots + \left[ \frac{ff}{p} \right] K_6 + w_f &= 0
\end{aligned} \tag{2.21}$$

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

$$\begin{aligned}
v_i &= \frac{a_i}{p_i} K_1 + \frac{b_i}{p_i} K_2 + \dots + \frac{f_i}{p_i} K_6 \\
v'_i &= \frac{a'_i}{p'_i} K_1 + \frac{b'_i}{p'_i} K_2 + \dots + \frac{f'_i}{p'_i} K_6
\end{aligned} \tag{2.22}$$

Prin aplicarea acestor corecții la diferențele de nivel măsurate se determină valorile definitive ale acestora. Cunoscând valorile compensate ale diferențelor de nivel dintre ciclul de referință și ciclul actual al măsurătorilor, se calculează apoi deplasările verticale ale mărcilor, calcul care se poate realiza prin mai multe metode, luând ca bază pentru control diferiți reperi stabili.

$$\begin{aligned}
1. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2) - (h_1 + v_1 + h_2 + v_2) \\
2. \Delta M_2 &= (-h'_4 - v'_4 - h'_3 - v'_3) - (-h_4 - v_4 - h_3 - v_3) \\
3. \Delta M_2 &= (-h'_8 - v'_8) - (-h_8 - v_8) \\
3. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 - h'_3 - v'_3) - (h_1 + v_1 + h_9 + v_9 - h_3 - v_3)
\end{aligned} \tag{2.23}$$

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

Unica soluție este:

$$\begin{aligned}
\left[ \frac{aa}{p} \right] K + w &= 0, \\
\text{în care } p &= p' = \frac{1}{s}, \left[ \frac{aa}{p} \right] = 2s(n-1) \text{ și } w = [h] - [h']
\end{aligned} \tag{2.24}$$

$$\text{Astfel, soluția se va scrie: } 2s(n-1)k + w = 0 \tag{2.25}$$

$$k = -\frac{w}{2s(n-1)} \tag{2.26}$$

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

$$v_i = \frac{a_i}{p_i} k = \frac{1}{s} \left( -\frac{w}{2s(n-1)} \right) = -\frac{w}{2(n-1)} \quad (2.27)$$

$$v'_i = \frac{a'_i}{p'_i} k = \frac{-1}{s} \left( -\frac{w}{2s(n-1)} \right) = +\frac{w}{2(n-1)} \quad (2.28)$$

Eroarea medie pătratică a unității de pondere se exprimă prin:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pvv] + [p'v'v']}{1}} = \pm \frac{w}{\sqrt{2s(n-1)}} \quad (2.29)$$

Eroarea medie pătratică a deplasării reperului din mijlocul drumuirii după compensarea diferențelor de nivel respective este definită prin funcția  $F_1$ :

$$F_1 = \frac{\Delta_{n+1}}{2} = (h'_1 + v'_1) - (h_1 + v_1) + \dots + \left( \frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) - \left( \frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) \quad (2.30)$$

Relația 2.30 reprezintă o sumă de deplasări a unei funcții, rezultând eroarea medie pătratică a deplasării reperului din mijloc:

$$\Delta_i = F_i(h'_i + v'_i, h_i + v_i) \quad (2.31)$$

Eroarea funcției  $F_1$  se determină astfel:

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_i} = f_i = -1 \text{ și } \frac{\partial F_1}{\partial h'_i} = f'_i = +1 \quad (2.32)$$

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

$$m_{F_1} = \pm \mu \cdot \sqrt{\left[ \frac{ff}{p} \cdot 1 \right]} \quad (2.33)$$

în care indicativul 1 reprezintă numărul succesiv al ultimei corecții.

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

$$F_2 = \frac{\Delta_{n-1}}{2} = (h'_1 + v'_1) - (h_1 + v_1) + \dots + \left( \frac{h'_{n-3}}{2} + \frac{v'_{n-3}}{2} \right) - \left( \frac{h_{n-3}}{2} + \frac{v_{n-3}}{2} \right) \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_i} = \varphi_i = -1 \text{ și } \frac{\partial F_2}{\partial h'_i} = \varphi'_i = +1 \quad (2.35)$$

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

$$m_{F_2} = \pm \mu \cdot \sqrt{\frac{s(n-3) \cdot (n+1)}{2(n-1)}} \quad (2.36)$$

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

$$F_2 = (h_{n-1} + v_{n-1}) - (h'_{n-1} + v'_{n-1}) + \dots + \left( \frac{h_{n-1}}{2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) - \left( \frac{h'_{n-1}}{2} + \frac{v'_{n-1}}{2} \right) \quad (2.37)$$

Dacă se efectuează pe un obiect concret calculele pentru aflarea valorilor  $\mu, m_{F_1}, m_{F_2}$ , se constată pe baza presupunerii că eroarea medie pătratică cea mai mare o va avea punctul din mijlocul drumuirii și că erorile în deplasările reperilor vecini diferă foarte puțin între ele. Deoarece eroarea  $\mu$  depinde într-o drumuire separată de mărimea  $w$  a termenului liber, în formula lui  $m_{F_1}$ ,  $\mu$  este eroarea medie mijlocie a observației.

Rezultă astfel: 
$$\mu_{mm} = \sqrt{\frac{s(n-1)}{2}} \leq M_{\Delta mm} \quad (2.38)$$

în care  $M_{\Delta}$  reprezintă eroarea medie pătratică cea mai mare, admisibilă a deplasării reperului, iar  $s(n-1)$  înseamnă numărul stațiilor din drumuire.

Se obține următoarea relație: 
$$s(n-1) \leq 2 \frac{M_{\Delta}^2}{\mu^2} \quad (2.39)$$

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

$$H = h_1 + h_2 + \dots + h_n \quad (2.40)$$

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

$$\frac{\partial f}{\partial h_i} = 1 \text{ și } \left( \frac{\partial f}{\partial h_i} \right)^2 = 1 \quad (2.41)$$

adică, se poate scrie egalitatea:

$$\begin{aligned} m_H^2 &= m_{h_1}^2 \cdot 1 + m_{h_2}^2 \cdot 1 + \dots + m_{h_n}^2 \cdot 1 \\ m_H^2 &= m_h^2 \cdot n \\ m_H &= m_h \cdot \sqrt{n} \end{aligned} \quad (2.42)$$

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

Din studiul efectuat se poate concluziona că numărul de niveleuri executate într-o drumuire de nivelment geometric de precizie trebuie să fie cât mai mic, întrucât crearea unui număr suplimentar de niveleuri duce la mărirea lungimii totale a drumuirii, rezultând creșterea lui  $m_h$ . De asemenea, este recomandat ca lungimile porțelor să fie pe cât posibil egale.

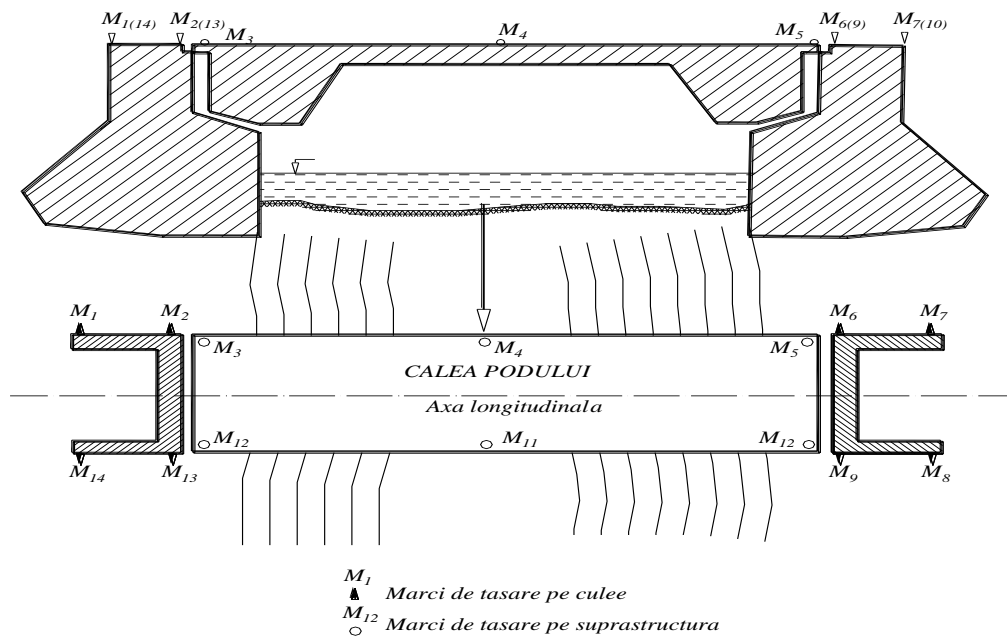
Astfel, la proiectarea drumuirilor de nivelment geometric, pentru urmărirea comportării în timp a construcțiilor, lungimea niveleurilor este preferabil a nu depăși 60m, iar numărul maxim de niveleuri să fie 18. Astfel, lungimea drumuirilor nivelitice de precizie este limitată la maximum 1000m.



### 2.10.1.2. Modul de amplasare al mărcilor pe obiectivul supus observațiilor

Locul de amplasare al reperilor se stabilește prin programul de urmărire, în conformitate cu dispozițiile instituțiilor pentru care obiectivul studiat constituie obiectul cercetărilor tehnico-științifice.

În Fig. 2.14. este prezentat un exemplu de poziționare al reperilor de sprijin și al mărcilor de tasare, în vederea executării măsurării deplasărilor și deformațiilor la un pod cu o singură deschidere.



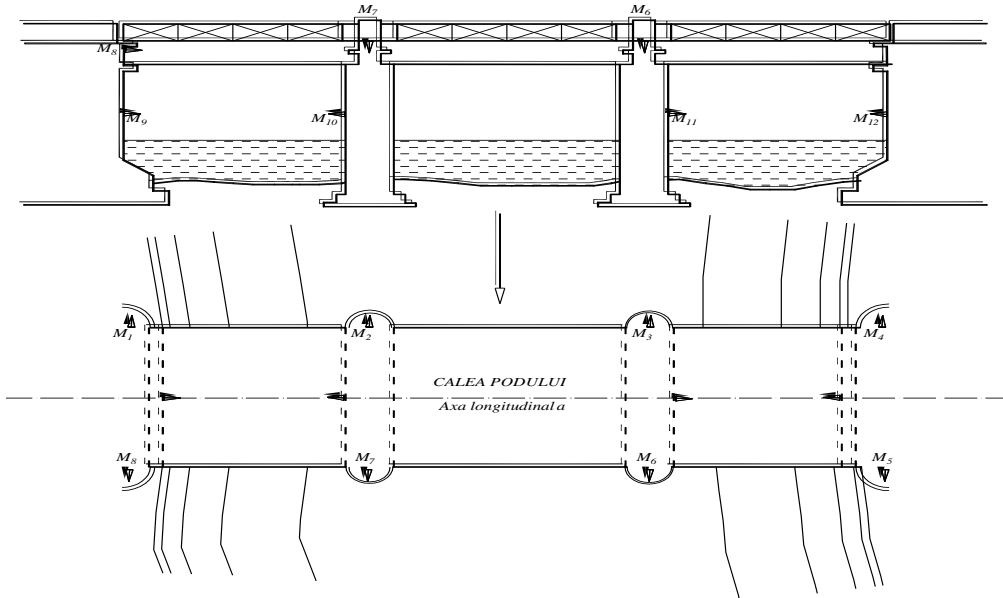
**Fig. 2.14. Modul de repartiție al mărcilor de tasare pe suprastructura unui pod cu o singură deschidere și pe culei**

Reperii de sprijin se amplasează în afara zonelor cu potențial ridicat de deformabilitate. Numărul acestora trebuie să fie de minim trei pe fiecare mal al cursului de apă, astfel încât stabilitatea lor să poată fi controlată reciproc.

În general, mărcile de tasare se fixează pe diferite blocuri ale construcției separate de rosturile de dilatare, pe stâlpii construcțiilor, pe plăcile de fundație, pe platformele hanelor industriale, pe soclurile coșurilor industriale, pe vetrele galeriilor de control ale barajelor, pe coronamentele barajelor, pe pilele și culeele podurilor. Numărul mărcilor de tasare trebuie să asigure redarea fidelă a caracterului deplasărilor și deformațiilor construcției monitorizate.

Pentru observarea deplasărilor blocurilor construcțiilor, trebuie să se fixeze cel puțin două mărci, fiecare la distanța de circa 1m de rostul de dilatație sau patru mărci pentru blocurile mai late. Același număr de mărci de tasare se fixează, în mod similar, pe suprafețele superioare ale pilelor podurilor rutiere sau de cale ferată. Pe zidurile cu lungimi mari se fixează mărci de tasare, în așa fel încât distanța între acestea să se încadreze în intervalul 20 - 40m.

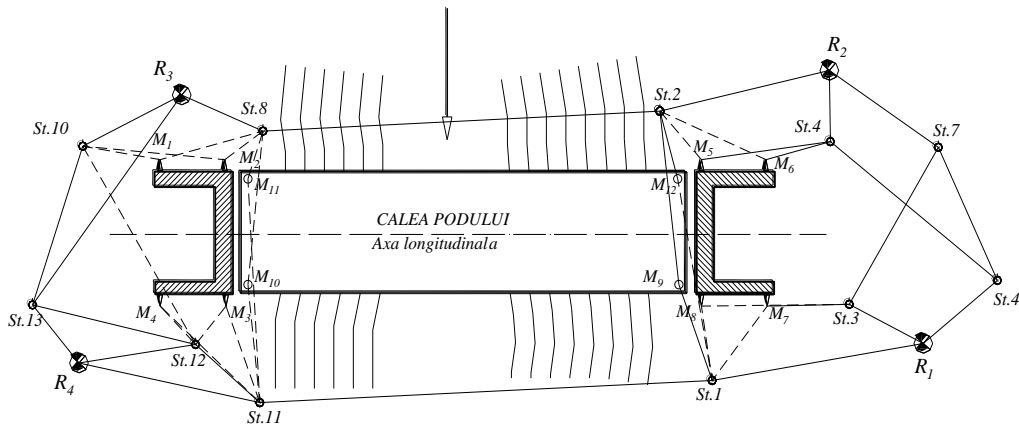
După cum se poate observa din figura următoare, distanța între reperi este egală, pentru a evita erorile de focusare a lunetei instrumentului de măsurare.



**Fig. 2.15. Modul de amplasare a mărcilor de tasare la diferite nivele ale suporturilor**

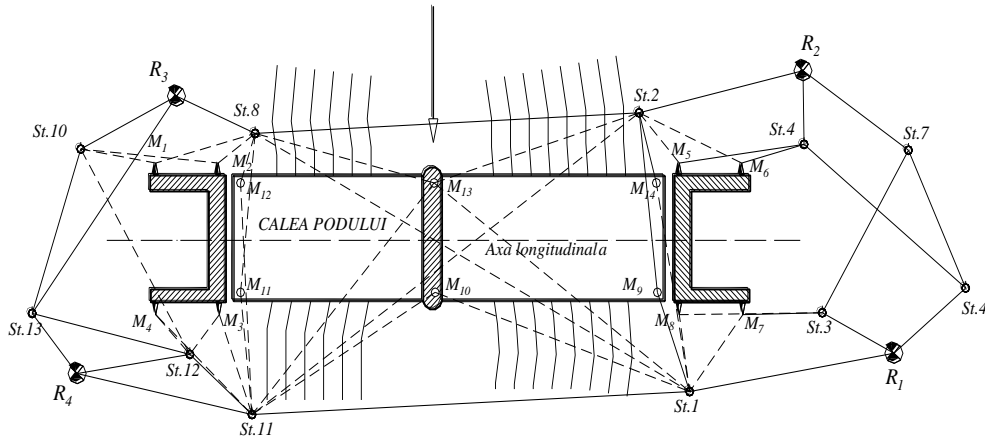
Atunci când constrângerile de proiectare impun asigurarea egalității lungimii vizelor, se pot așeza "broaște" stabile de nivelment (borne confecționate din metal sau plastic cu coeficient de deformabilitate redus) în puncte intermediare notate cu litera b. În acest fel, "broasca" de nivelment se leagă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

În Fig. 2.16. se propune un model de repartitie spațială pentru un sistem de drumuire format din patru reperi de sprijin notați cu  $R_1, R_2, R_3$  și  $R_4$ , șase mărci de tasare  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$  și opt stații stabile, din care se fac observații pentru deplasările verticale a infrastructurii unui pod cu o singură deschidere.



**Fig. 2.16. Rețeaua drumuirilor de nivelment pentru un pod cu o singură deschidere**

În Fig. 2.17. este reprezentată o rețea de nivelment cu patru reperi fiși  $R_1, R_2, R_3$  și  $R_4$  și 14 mărci de tasare  $M_1, M_2, \dots, M_{14}$ , pentru determinarea deplasărilor verticale ale unui pod cu două deschideri.



**Fig. 2.17. Rețeaua drumurilor de nivelment pentru un pod cu două deschideri**

Legătura reperilor fiși de pe ambele maluri ale cursului de apă, se realizează prin trei poligoane de nivelment, ținând seama de condiția de egalitate a distanțelor de la aparatul de măsurare la mira de nivelment.

### 2.10.2. Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

Metoda nivelmentului trigonometric de precizie se folosește la măsurarea deplasărilor verticale (tasări sau ridicări) ale punctelor de control de pe construcțiile studiate și în special a punctelor îndepărtate și greu accesibile ale construcțiilor înalte.

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

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

Principiul metodei nivelmentului trigonometric de precizie constă în determinarea cotelor punctelor de control, deplasările verticale obținându-se din diferențele cotelor din ciclul actual și al corespondentelor din ciclul inițial. [16]

Măsurarea unghiurilor orizontale și verticale (zenitale) trebuie făcută cu instrumente de măsurare având precizia de citire unghiulară de  $\pm 1^{\text{cc}}$ ,  $\pm 0,5^{\text{cc}}$ .

Măsurarea unghiurilor zenitale trebuie efectuată în perioada de stabilitate a refracției atmosferice, datorită faptului că în momentele de maxim al refracției atmosferice (miezul zilei) calitatea imaginii este scăzută, survenind astfel și erorile de focusare a imaginii.

Pentru distanțele mici, de până la 100m, corecția totală datorită efectului de curbură a pământului și de refracție atmosferică este foarte mică. În cazul determinării deplasărilor verticale ale construcțiilor prin nivelment trigonometric

de precizie, influența curburii pământului și refracției atmosferice se poate elimina aproape în întregime prin modul de lucru.

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

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

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^n [S_i + (400^s - D_i)]}{2n} \quad (2.43)$$

Eroarea medie pătratică a unui unghi zenital măsurat este:

$$m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2.44)$$

unde:

$n$  = numărul de măsurători;

$[vv]$  = suma pătratelor erorilor întâmplătoare.

Eroarea medie pătratică a unui unghi zenital mediu este:

$$m_Z = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = \pm \frac{m_{Z_i}}{\sqrt{n}} \quad (2.45)$$

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

Determinarea deplasărilor verticale din diferența cotelor punctelor obținute în ciclul actual și ciclul inițial presupune un volum de calcul important. [30]

Se consideră o bază fixă, față de punctele de capăt ale acesteia A și B (Fig. 2.18.).

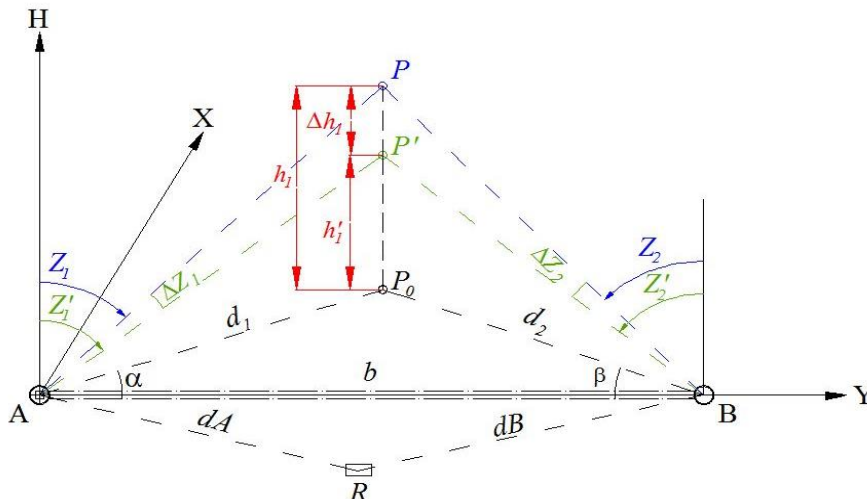


Fig. 2.18. Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

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

$$H_P = H_A + h_{1i}; \quad (2.46)$$

în care:

$H_A$ - orizontul instrumentului în punctul de stație A;

$h_{1i}$ - diferența de nivel dintre orizontul instrumentului din stația A și punctul de control P.

Orizontul instrumentului din punctul de stație A, determinat de la reperul R de cotă cunoscută este dat de relația:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \operatorname{ctg} Z_A \quad (2.47)$$

Reperul de cotă cunoscută se va stabili cât mai aproape de punctele de stație A și B, iar citirea pe mira așezată în punctul A ( $S_A$ ) va fi aceeași în toate ciclurile de observații, aleasă astfel încât unghiul zenital să fie aproximativ drept, iar orizontul locului se va determina cu formula:

$$H_A = H_R + S_A - d_A \frac{(100^g - Z_A)^{cc}}{\rho^{cc}} \quad (2.48)$$

unde:

$d_A$  = distanța orizontală dintre punctul A și reperul R;

$Z_A$  = unghiul zenital din punctul A;

$\rho^{cc}$  = factorul de transformare în sistemul centesimal și are valoarea  $636620^{cc}$ .

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

$$h_1 = d_1 \operatorname{ctg} Z_1 \quad (2.49)$$

În intervalul de timp dintre ciclul inițial și ciclul actual de observații, punctul de control s-a deplasat pe verticală odată cu construcția, din poziția P în poziția P'. Cota punctului P' corespunzătoare ciclului actual are forma:

$$H_1' = H_A' + h_{1i}'; \quad (2.50)$$

Între cele două cicluri de observații deplasarea verticală a punctului de control din stația A, este:

$$\Delta H_1 = H_1' - H_1 = (H_A' - H_A) + (h_{1i}' - h_{1i}) = \Delta H_A + \Delta h_1 \quad (2.51)$$

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

$$\Delta H_2 = H_2' - H_2 = (H_B' - H_B) + (h_{2i}' - h_{2i}) = \Delta H_B + \Delta h_2 \quad (2.52)$$

În relațiile de mai sus se modifică doar mărimile unghiurilor zenitale.

Diferențele dintre valorile orizonturilor instrumentului din cele două cicluri de măsurători, necesare la calculul deplasării verticale a punctului de control vor fi:

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= H_A' - H_A = d_A (\operatorname{ctg} Z_A - \operatorname{ctg} Z_A') \\ \Delta H_B &= H_B' - H_B = d_B (\operatorname{ctg} Z_B - \operatorname{ctg} Z_B') \end{aligned} \quad (2.53)$$

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

$$\Delta H_A = \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc}$$

$$\Delta H_B = \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} \quad (2.54)$$

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

$$\Delta H_1 = \Delta H_A + \Delta h_1 = \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} - \frac{b \sin \beta}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_1} \Delta Z_1^{cc}$$

$$\Delta H_2 = \Delta H_B + \Delta h_2 = \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} - \frac{b \sin \alpha}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_2} \Delta Z_2^{cc} \quad (2.55)$$

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

$$\Delta H_l = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} \quad (2.56)$$

sau media ponderată a celor două valori:

$$\Delta H_l = \frac{p_1 \Delta H_1 + p_2 \Delta H_2}{p_1 + p_2} \quad (2.57)$$

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

$$p_1 = \frac{1}{m_{\Delta H_1}^2} \quad \text{și} \quad \frac{1}{m_{\Delta H_2}^2} \quad (2.58)$$

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

Eficiența metodei este cu atât mai mare cu cât numărul punctelor de control și al ciclurilor de observații este mai mare.

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

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

$$m_{\Delta H_A}^2 = \left[ \frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial d_A} \right]^2 \cdot m_{d_A}^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial Z_A} \right]^2 \left( \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial(\Delta Z_A)} \right]^2 \left( \frac{m_{\Delta Z_A}}{\rho} \right)^2 \quad (2.59)$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \left[ \frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial d_B} \right]^2 \cdot m_{d_B}^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial Z_B} \right]^2 \left( \frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial(\Delta Z_B)} \right]^2 \left( \frac{m_{\Delta Z_B}}{\rho} \right)^2 \quad (2.60)$$

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

$$m_{\Delta H_A}^2 = \Delta H_A^2 \left( \frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + 4\Delta H_A^2 \operatorname{ctg}^2 Z_A \left( \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_A}{\Delta Z_A} \right)^2 m_{\Delta Z_A}^2 \quad (2.61)$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \Delta H_B^2 \left( \frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + 4\Delta H_B^2 \operatorname{ctg}^2 Z_B \left( \frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_B}{\Delta Z_B} \right)^2 m_{\Delta Z_B}^2 \quad (2.62)$$

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

$$m_{\Delta H_1}^2 = \left( \frac{\Delta H_A}{2} \right)^2 \left( \frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_B}{2} \right)^2 \left( \frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + (\Delta H_A \operatorname{ctg} Z_A)^2 \left( \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 +$$

$$(\Delta H_B \operatorname{ctg} Z_B)^2 \left( \frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \frac{\Delta H_A^2}{2\Delta Z_A} m_{\Delta Z_A}^2 + \frac{\Delta H_B^2}{2\Delta Z_B} m_{\Delta Z_B}^2 \quad (2.63)$$

Admițând că  $\Delta H_A \approx \Delta H_B \approx \Delta H$  și  $d_A \approx d_B \approx d$ ,  $Z_A \approx Z_B$  și erorile medii pătratice ale elementelor măsurate sunt  $m_{d_A} \approx m_{d_B} \approx m_d$ ,  $m_{Z_A} \approx m_{Z_B}$ ,  $m_{\Delta Z_A} \approx m_{\Delta Z_B}$ , va rezulta pentru eroarea medie pătratică a valorii medii a deplasării verticale, în funcție de erorile medii pătratice ale diferențelor dintre orizonturile instrumentului din cele două cicluri de observații relația:

$$m_{\Delta H_1} = \left[ \left( \Delta H \frac{m_d}{d} \right)^2 + \left( \sqrt{2} \Delta H \operatorname{ctg} Z_A \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H}{\sqrt{2} \Delta Z_A} m_{\Delta Z_A} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.64)$$

Erorile medii pătratice ale deplasărilor verticale, mai precis ale diferențelor de nivel determinate din cele două puncte de stație, se exprimă cu relațiile (2.65):

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

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

$$m_{\Delta h_2}^2 = \left[ \frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial b} \right]^2 m_b^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial \alpha} \right]^2 \left( \frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial \beta} \right)^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial Z_2} \right)^2 \left( \frac{m_{Z_2}}{\rho} \right)^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial(\Delta Z_2)} \right]^2 \left( \frac{m_{\Delta Z_2}}{\rho} \right)^2 \quad (2.65)$$

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

$$m_{\Delta h_1}^2 = \Delta h_1^2 \left( \frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_1^2 \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \left( \frac{m_\alpha}{\rho^{cc}} \right)^2 + \Delta h_1^2 [\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \right)^2 + 4\Delta h_1^2 \operatorname{ctg}^2 Z_1 \left( \frac{m_{Z_1}}{\rho^{cc}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h_1}{\Delta Z_1} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_1}^2, \quad (2.66)$$

$$m_{\Delta h_2}^2 = \Delta h_2^2 \left( \frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_2^2 [\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left( \frac{m_\alpha}{\rho^{cc}} \right)^2 + \Delta h_2^2 \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \left( \frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \right)^2 + 4\Delta h_2^2 \operatorname{ctg}^2 Z_2 \left( \frac{m_{Z_2}}{\rho^{cc}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h_2}{\Delta Z_2} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_2}^2, \quad (2.67)$$

Pe baza relațiilor de mai sus, se deduce că eroarea medie pătratică a valorii medii pătratice a deplasării verticale a unei construcții, determinată în funcție de valorile diferențelor dintre diferențele de nivel de la punctele de stație la punctul de control, este cu atât mai mică cu cât mărimea unghiului zenital se apropie de  $100^\circ$ .

Din studiul efectuat, se poate concluziona că nivelmentul trigonometric de precizie cu vize scurte, cu lungimi de până la 100m, permite obținerea unei precizii comparabile cu cea a nivelmentului geometric.

### 2.10.3. Metoda nivelmentului hidrostatic

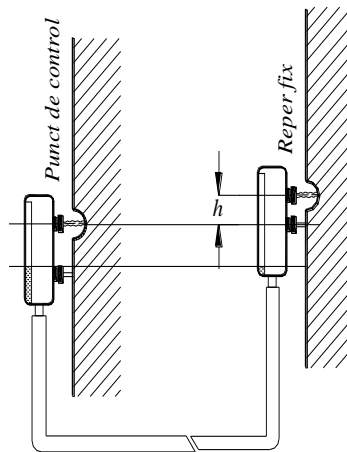
În anumite situații, măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor studiate se poate efectua prin metoda nivelmentului hidrostatic. Metoda se aplică cu rezultate foarte bune în condiții speciale, în condiții grele de lucru (locuri greu accesibile în interiorul clădirilor, la înălțimi mari), unde metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie este dificil sau uneori imposibil de aplicat. De asemenea, prin metoda nivelmentului hidrostatic se asigură un control permanent și continuu al stabilității construcțiilor, permițându-se o automatizare a înregistrării datelor măsurate. Față de metoda nivelmentului geometric, metoda nivelmentului hidrostatic prezintă numeroase avantaje, unele dintre acestea fiind precizia de realizare a lucrărilor și măsurarea nivelitică în același timp a mai multor puncte. Determinarea diferenței de nivel prin nivelment hidrostatic, permite eliminarea unui întreg șir de erori ale aparatului, proprii nivelmentului geometric.



În activitatea de urmărire în timp a comportamentului unor construcții aflate în execuție sau în exploatare, deseori metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie nu este aplicabilă din cauză că nu există posibilitatea efectuării observațiilor. Inconveniente pot apărea ca urmare a lipsei posibilității de instalare a aparatului fără dispozitive speciale sau a posibilității verticalizării mirei în punctele de control încastrate în construcție. Inginerul geodez are menirea de a găsi cea mai bună soluție în funcție de condițiile din teren, întrucât aceste neajunsuri nu pot constitui o piedică în realizarea măsurătorilor. Astfel, o modalitate de eliminare a acestora ar putea fi prin utilizarea metodei nivelmentului hidrostatic, care se execută mult mai facil și mai rapid decât nivelmentul geometric de precizie.

Instrumentele utilizate în mod curent pentru transmiterea de cote prin nivelment hidrostatic conferă numeroase avantaje metodei prin simplitatea alcătuirii constructive, fiind necostisitoare și ușor de manevrat. Totodată acestea pot fi păstrate și depozitate foarte ușor.

Principiul vaselor comunicante fundamentează metoda nivelmentului hidrostatic. În punctele de control, de pe construcția studiată se fixează tuburi gradate din sticlă, legate între ele printr-un furtun sau tub de cauciuc (Fig. 2.19.). Diferența citirilor pe tuburile gradate, corespunzătoare nivelului apei din tuburi, reprezintă diferența de nivel dintre cele două puncte. În sistemul hidrostatic este inclus, de asemenea, un rezervor suplimentar, care joacă rol de compensator.



**Fig. 2.19. Principiul nivelmentului hidrostatic [28]**

În primul caz, deoarece un tub este instalat într-un reper fix, deplasările verticale ale construcției se determină din diferența citirilor efectuate pe tubul situat în punctul de control, corespunzător diferitelor cicluri de observații.

În cel de-al doilea caz, determinarea deplasărilor verticale se face la fel ca în cazul nivelmentului geometric, adică se calculează diferența de nivel dintre tuburile gradate și legate între ele, amplasate în punctul de control, respectiv în reper. [62]

Metoda nivelmentului hidrostatic permite determinarea deplasărilor verticale cu o precizie ridicată, cuprinsă între  $\pm 0,01$  ...  $\pm 0,005$ mm și se recomandă a se folosi la urmărirea comportării în timp a unor construcții speciale de genul podurilor, care necesită monitorizare permanentă, pe întreaga durată a existenței construcției.

## 2.11. Erori întâlnite în nivelmentul geometric și modul de eliminare al acestora

### 2.11.1. Neorizantitatea liniei de vizare a lunetei instrumentului

Eroarea datorată neorizantizării liniei de vizare a instrumentului topografic (nivelă topografică sau teodolit), are în aparență un caracter întâmplător, dar în cazul măsurătorilor ea poate avea și un caracter sistematic. [88]

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

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

$$m_{\tau} = \pm 0,09 \cdot \sqrt{\tau^{cc}} \quad (2.68)$$

La o sensibilitate a nivelei  $\tau = \pm 10^{cc}$  eroarea de rectificare va fi egală cu  $\pm 0,3^{cc}$ . Această eroare produce la rândul său o eroare în determinarea diferenței de nivel care se determină cu relația:

$$m_{\Delta h} = \pm \frac{d \cdot m_{\tau}}{\rho^{cc}} \quad (2.69)$$

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

Influența acestei erori reziduale de rectificare asupra diferenței de nivel măsurate poate fi redusă prin scurtarea vizei și staționarea la mijlocul niveleului.

### 2.11.2. Neaplicarea corecției de sfericitate, refracție și temperatură

La măsurarea tasărilor construcțiilor sunt cazuri în care nu este posibilă menținerea aceleiași distanțe pentru viza înainte și viza înapoi. Dacă în această situație nu se aplică corecția de sfericitate și refracție, diferențele de nivel măsurate vor fi eronate.

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

Valoarea erorii provocate de refracția atmosferică se mărește cu pătratul lungimii de vizare și proporțional cu diferența de nivel. La vizele deasupra terenului pentru altitudini mai mici de 50cm, crește foarte repede gradientul de temperatură și prin aceasta și eroarea provocată de refracție.

Refracția maximă apare în timpul răsăritului și apusului de soare. Pentru a evita erorile de refracție, este recomandat ca nivelmentul să nu se execute cu o oră înainte de răsăritul și apusul soarelui și nu la temperaturi atmosferice ridicate.

Refracția depinde și de suprafața terenului, ea fiind mai mare dacă terenul este acoperit cu asfalt, beton, piatră și este mai mică dacă este acoperit cu iarbă. De asemenea, mărimea refracției este influențată de suprafețele acvatice, care prezintă variații de temperatură față de aer. [64]

Diminuarea erorii cauzate de refracția atmosferică și posibila eliminare a acesteia se poate realiza prin egalizarea distanțelor de citire înainte și înapoi și evitarea efectuării măsurătorilor cu o oră înainte de răsăritul și apusul soarelui sau la temperaturi extrem de ridicate (vara la amiază).

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

De asemenea, variațiile de temperatură din apropierea instalațiilor mecanice, umiditatea aerului, curenții de aer reci și calzi sunt factori generatori de erori. În timpul măsurătorilor pot apărea trepidații de la mașini sau utilaje sau există posibilitatea să fie necesară efectuarea de măsurători în locuri cu mult fum sau praf.

La măsurătorile de nivelment executate în scopuri obținute, se întâlnesc de obicei temperaturi care variază lent, dând astfel posibilitatea instrumentului să se aclimatizeze. Acest lucru nu este posibil în lucrările cu caracter special, deci nici în cazul urmării comportării în timp a construcțiilor, întrucât ar putea apărea variații mari de temperatură în timpul măsurătorilor, când aparatul este încălzit numai pe o parte.

Erorile pot fi și mai mari în proximitatea instalațiilor mecanice. Variația de temperatură cauzează erori în citirea pe miră, care se pot calcula cu relația:

$$m_t = \pm l \cdot k_t \cdot m_{\Delta t} \quad (2.70)$$

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

Astfel, se recomandă ca în special acolo unde variațiile de temperatură sunt foarte mari să se folosească instrumente de nivelment automate, cu influențe minore datorate temperaturii, instrumente fără nivelă torică, pentru a se evita apariția erorilor.

### 2.11.3. Neverticalitatea mirei și excentricitatea benzii de invar față de axa reperului

Erorile proprii ale mirelor de nivelment pot fi reduse prin rectificarea lor. De asemenea, proiectarea rețelei de drumuire trebuie să se facă astfel încât prin metoda de determinare a diferențelor de nivel să se elimine posibilitatea neverticalizării mirei.

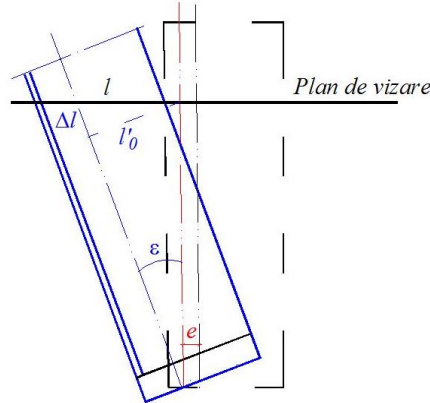
În cazul înclinării mirei cu un unghi  $\varepsilon$ , banda de invar a mirei nu se găsește peste punctul cel mai înalt conform Fig. 2.20. Astfel, în loc de valoarea  $l_0$  se va citi valoarea  $l$ , mai mare. Acestei citiri este necesar a i se aplica o corecție de forma: [101]

$$l + \Delta l = l_0' \quad (2.71)$$

Rezultă în continuare:

$$\begin{aligned} \Delta l &= l_0' - l \\ \Delta l &= l_0 - l \\ \Delta l &= l \cos \varepsilon - l \\ \Delta l &= -l(1 - \cos \varepsilon) \\ \Delta l &= -2l \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} \end{aligned} \quad (2.72)$$

Această corecție trebuie adăugată citirii de pe miră.



**Fig. 2.20. Determinarea corecției de excentricitate a benzii de invar**

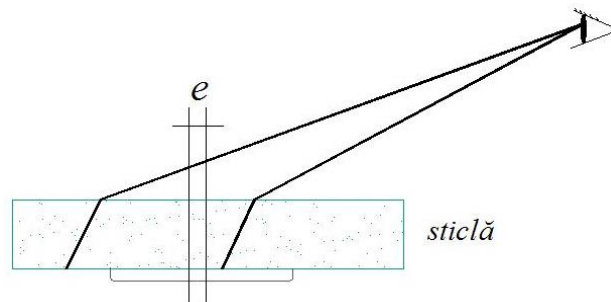
Atunci când mira este așezată excentric față de reper, crește valoarea erorii de neverticalitate. În acest caz, este valabilă următoarea ecuație:

$$\Delta l = -\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{2} \pm \frac{e_1 \cdot \varepsilon}{\rho}\right) \quad (2.73)$$

Influența primului termen din paranteză este unilaterală și proporțională cu înălțimea axei de vizare, datorită faptului că nu depinde de punctul pe care se așează mira.

Al doilea termen din paranteză depinde de valorile  $e_1$  și  $\varepsilon$ , și de înălțimea de vizare, având în general un caracter întâmplător. Valoarea acestui termen este, de regulă, mai mare decât valoarea primului termen, putând avea un efect unilateral, dacă nivela sferică de pe miră este așezată prea sus, iar operatorul de la miră nu vede perpendicular bula nivelei. Aceasta conduce la apariția unei erori de centrare pe reper.

În timpul verticalizării mirei cu ajutorul nivelei sferice poate apărea o eroare de  $2 - 10^{\text{cc}}$  (Fig. 2.21.). Mirele Zeiss sunt dotate cu un inel la talpa lor inferioară, care permite centrarea cu exactitate a benzii de invar pe axa reperului și au două scale pe care se realizează citirea. Astfel, citirile nu pot fi totuși considerate în axa mirei. Eroarea provocată de această abatere poate atinge valori de  $\pm 0,05\text{mm}$ . [86]



**Fig. 2.21. Excentricitate datorată neperpendicularității razei vizuale**

## 2.12. Discuții

În cadrul acestui capitol am prezentat principalele metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor și posibilități de eliminare a acestora. Metodele topo-geodezice de urmărire a comportării în timp a construcțiilor se încadrează în categoria metodelor geometrice. Acestea se utilizează, de regulă, pentru determinarea deplasărilor și deformațiilor generate de acțiunea unor încărcări statice, fiind limitate în ceea ce privește încărcările dinamice. Pentru solicitări dinamice se folosesc mijloace fizice, precum sistemele de senzori. Sub acțiunea factorilor perturbatori, pot apărea degradări care conduc la pierderea stabilității construcțiilor.

Certitudinea exploatarei unei construcții la parametri normali, stabiliți prin proiect, poate fi obținută prin activități sistematice de urmărire curentă și specială a comportării în exploatare a construcțiilor. Acest studiu trebuie să asigure o analiză completă a valorilor reale a deplasărilor construcției și aprecierea măsurilor de intervenție necesare pentru corectarea deficiențelor și limitarea efectelor acestora. Prin măsurători de precizie a deplasărilor liniare, unghiulare sau specifice, poate fi obținut coeficientul real de siguranță privind rezistența și stabilitatea construcției. Metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie este metoda care asigură cea mai bună acuratețe pentru acest tip de lucrări.

Monitorizarea construcțiilor presupune efectuarea unor determinări asupra deplasărilor și deformațiilor care apar în timp, datorită solicitărilor din trafic și a mediului ambiant. Astfel, măsurătorile topo-geodezice trebuie corelate cu observarea și studierea regimului apelor subterane, caracteristicile fizice și mecanica pământurilor de fundare, activitatea seismică, surse de vibrații, variația temperaturii, vânturi, precipitații, în scopul descoperirii originii deplasărilor și deformațiilor verticale și indicării posibilităților de eliminare a lor. În prima fază, este necesar să se stabilească intervalul de efectuare a măsurătorilor și instrumentele adecvate pentru efectuarea măsurătorilor, luând în calcul toate variantele posibile pentru comportarea construcției aflate în studiu. Aceasta presupune o estimare a mărimilor ce urmează să fie măsurate, care permite definirea domeniului de aplicabilitate, a rezoluției, preciziei și sensibilității instrumentelor de măsurare care urmează să fie utilizate.

Condițiile care trebuie îndeplinite în proiectarea unei rețele de nivelment realizată în scopul urmăririi în timp a deplasărilor verticale ale unei construcții, constau în asigurarea numărului minim de puncte de sprijin și mărci de tasare, dar și a amplasării corespunzătoare a acestora, în ceea ce privește gradul de stabilitate al terenului sau construcției în care se montează, respectarea distanței minime față de clădirea supusă observației în vederea amplasării reperilor de referință în afara zonei de influență a structurii, montarea reperilor mobili în puncte caracteristice ale construcției, respectiv puncte care prezintă un maxim de deformabilitate (în structura de rezistență), materializarea acestora conform stas-urilor, egalizarea distanțelor de vizare și asigurarea unei vizibilități bune între punctele care alcătuiesc drumuirea, momentul efectuării măsurătorilor pentru a reduce la minimum riscul apariției erorilor de măsurare și pentru a obține informații relevante și precise cu privire la starea reală a construcției. Monitorizarea și predicția comportării construcțiilor și a zonelor adiacente acestora reprezintă o prioritate publică, astfel că este esențială păstrarea aptitudinii și siguranței în exploatare a acestora.

## **3. TENDINȚE PRIVIND TEHNOLOGIA DE MONITORIZARE ÎN TIMP A CONSTRUCȚIILOR**

### **3.1. Importanța preciziei de monitorizare**

În conceptul de monitorizare, o importanță deosebită au metodele topo-geodezice moderne utilizate în scopul determinării și predicției evoluției viitoarelor procese de degradare a construcțiilor și adoptarea măsurilor optime de stabilizare care să conducă, în final, la diminuarea distrugerilor materiale și a pierderilor de vieți omenești.

Întregul proces de monitorizare al construcțiilor se bazează pe interdisciplinaritate, fiind necesare cunoștințe din domenii conexe ale ingineriei geodezice [77], precum ingineria civilă, geologia, geomorfologia, pedologia, statica, mecanica pământurilor, mecanica construcțiilor, statistica, matematica, activitățile ce rezidă din acesta putând fi etapizate după cum urmează:

- observarea și identificarea fenomenului pe construcția aflată în studiu;
- planificarea etapelor procesului de monitorizare prin adoptarea unor decizii cu privire la periodicitatea, metodele și tehnologiile specifice ingineriei geodezice potrivite condițiilor existente;
- culegerea datelor din teren prin măsurători topo-geodezice și studii și încercări efectuate în teren;
- prelucrarea datelor presupune procesarea datelor măsurate utilizând programe specializate;
- interpretarea datelor se poate realiza numai prin cunoașterea cauzelor principale care au condus la producerea deplasărilor și deformațiilor; modelarea prin calcul a fenomenului în sine;
- analiza tehnico-economică a rezultatelor reprezintă etapa în care specialiștii aleg soluțiile tehnice optime de stabilizare a fenomenului monitorizat, urmărindu-se rentabilitatea acestora din punct de vedere economic;
- concluziile și recomandările ce se referă atât la managementul situației respective, cât și la direcțiile viitoare de acțiune, care pot include crearea unui sistem de monitorizare on-line utilizând senzori de precizie, integrarea datelor în vederea creării unui sistem de avertizare timpurie.

Monitorizarea construcțiilor impune obținerea unor precizii ridicate. În cadrul acestui capitol am analizat eficiența platformelor de monitorizare utilizate în prezent la urmărirea comportării în timp a construcțiilor și preciziile care pot fi obținute.

În cazul în care dispozitivele specifice teledetecției și fotogrametriei, nu sunt accesibile, fiind mai costisitoare, se recomandă folosirea instrumentelor de măsurare, cum sunt: stațiile totale, nivelele digitale, videoteodolitele motorizate, tehnologia GNSS, scanerile laser terestre.

Relevanța datelor poate fi eminentă optimizată prin combinarea tehnicilor și tehnologiilor antemenționate, dar și prin utilizarea tehnologiei senzorilor, în vederea obținerii unor seturi de informații suplimentare cu privire la cele mai sensibile modificări ale stării construcțiilor, de precizie ridicată și în timp real.

## 3.2. Tehnologii topo-geodezice de monitorizare

### 3.2.1. Stația totală

Stațiile totale execută măsurarea electronică a distanțelor prin intermediul dispozitivului EDM sau DEM (Dispozitiv Electronic de Măsurare), având la bază *principiul* determinării valorilor căutate prin intermediul undelor din spectrul electromagnetic, ca putătoare ale semnalului de măsurare, ceea ce le plasează în categoria tahimetrelor electronice sau electrooptice. Evoluția în ceea ce privește construcția și funcționarea tahimetrelor, în special a părții electronice, a condus la universalizarea denumirii de „stație totală”. Denumită și „stație inteligentă”, stația totală (Fig. 3.1.) face parte din noua generație de instrumente de măsurare, fiind o realizare de excepție a mecanicii, opticii și electronicii moderne.



Fig. 3.1. Stație totală și accesorii

Conceptul de stație totală reunește componentele constructive necesare măsurării electronice a unghiurilor și distanțelor, un mediu de stocare a datelor și software înglobat, în cadrul unui singur dispozitiv portabil, asemănător unui teodolit clasic, diferența constând în încorporarea unității electronice cu emițătorul de unde electromagnetice în suprastructura aparatului. Din punct de vedere constructiv, DEM este amplasat în lunetă, undele fiind emise de-a lungul axului de viză.

Procedeele efectiv folosite pentru determinarea distanței iau în considerare diferența de fază între unda emisă și cea receptată (procedeul fazic) sau timpul în care semnalul se reîntoarce în instrument (procedeul cu impulsuri). [43]

Utilizarea stației totale conferă multiple avantaje:

- posibilitatea efectuării unor serii de calcule și controale direct pe teren (avertizarea automată atunci când instrumentul se decalează, prelucrarea și afișarea coordonatelor punctelor supuse ridicării topografice, prelucrarea automată a măsurătorilor și oferirea unor mărimi determinate în mod indirect);
- stocarea automată a datelor măsurate în memoria internă a aparatului;
- transferul automat al inventarului de date în unitățile periferice (calculatoare);
- dotarea cu diferite programe de calcul specifice unor tipuri de lucrări din domeniul topografiei inginerești;
- prelucrarea automată a datelor măsurate și afișarea valorilor cele mai probabile a mărimilor căutate și a mărimii erorilor maxime admisibile în determinările realizate;

- transformarea și afișarea datelor prelucrate în format grafic (CAD) prin poziționarea și reprezentarea într-un sistem de proiecție a punctelor ce definesc detaliile din teren. [60]

Avantajele oferite de stațiile totale au făcut ca acestea să devină instrumentele geodezice cel mai des folosite de către specialiști în practica curentă.

Ca și aplicații, stația totală poate fi folosită cu succes pentru trasări de unghiuri, distanțe, cote, linii de pantă, construcții, la realizarea profilurilor, releveelor, determinarea înălțimilor în domenii precum măsurătorile industriale sau în condiții de laborator: poziționare axe turbine, determinarea deformațiilor unor piese componente a utilajelor de exploatare; montarea liniilor tehnologice moderne de înaltă precizie; construcția și urmărirea centralelor nucleare; montarea agregatelor termoelectrice și hidroenergetice de mare putere; studii asupra alunecărilor de teren și deplasărilor tectonice ale scoarței terestre; cercetări geodezice asupra formei și dimensiunilor Pământului. [38], [61]

Stația totală este instrumentul specific atât metodei microtriangulației, cât și metodei nivelmentului trigonometric sau indirect. Măsurătorile efectuate cu stația totală asigură obținerea unor rezultate bune în cazul determinării concomitente a deplasărilor orizontale și verticale, fiind folosită cu succes la determinarea vectorului deplasării punctelor de control îndepărtate, fixate pe construcții înalte sau greu accesibile. Precizia nivelmentului trigonometric este mai mică decât cea a nivelmentului geometric, întrucât în valoarea determinată intervin erorile de măsurare.

### 3.2.2. Nivela

*Principiul* care stă la baza măsurătorilor de nivelment constă în determinarea diferențelor de nivel între puncte, precum și a poziției pe verticală a punctelor de pe suprafața topografică față de o suprafață de referință, utilizând un instrument optic sau electronic de mare precizie, care execută măsurarea unghiurilor orizontale și a distanțelor prin citirea pe mire sau prin decodarea unui semnal reflectat de o baliză electronică, radio sau laser. Acest instrument se numește *nivelă*.

Principala caracteristică a nivelelor constă în faptul că luneta se rotește numai în plan orizontal, ceea ce asigură realizarea vizelor orizontale, pe baza cărora se determină diferența de nivel dintre două puncte. [26]

După modul de realizare al vizelor orizontale, instrumentele specifice nivelmentului geometric se pot clasifica astfel:

- *nivele clasice cu orizontalizare manuală*, fără șurub de fină calare și cu șurub de fină calare;
- *nivele moderne cu orizontalizare automată*, ce se efectuează cu ajutorul unui compensator optic;
- *nivele electronice digitale*, care asigură automatizarea înregistrării citirilor pe miră și efectuarea observațiilor de nivelment. [120]

Progresul tehnic în nivelmentul geometric a fost marcat de apariția *nivelelor electronice și digitale*. [114] În scopul obținerii unor precizii mai bune și a simplificării modului de lucru, alcătuirea constructivă a nivelei clasice a fost îmbunătățită prin intermediul unui detector electronic integrat, ceea ce a dat naștere nivelei electronice de astăzi (Fig. 3.2. și Fig. 3.3.), iar mira clasică de nivelment a fost înlocuită mira cu riglă codificată sau mira cu cod de bare (Fig. 3.2.). Instrumentele de nivelment digitale sunt prevăzute cu tastatură și display. Valorile culese de pe rigla codificată sunt sesizate cu o acuratețe mare, fiind stocate apoi în



memoria internă a aparatului. Datele pot fi transferate într-un calculator în vederea prelucrării.



Fig. 3.2. Nivelă electronică digitală și mira de invar

Nivelele automate răspund excelent la medii de lucru dure, mai cu seamă la cele caracterizate de vibrații, ele fiind rezistente la șocuri. Aceste instrumente pot fi utilizate și în câmpuri magnetice, datorită compensatorului electronic încorporat, care înlesnește eliminarea măsurătorilor cu instrumental decalat. Verificarea și rectificarea nivelei se face de către operator cu programul inclus în softul aparatului.

Instrumentele de nivelment geometric digitale (Fig. 3.3.) pot fi privite ca o combinație între o nivelă automată cu compensator și o cameră digitală. Nivelele digitale de astăzi oferă posibilitatea unei citiri optice directe, fără micrometre.

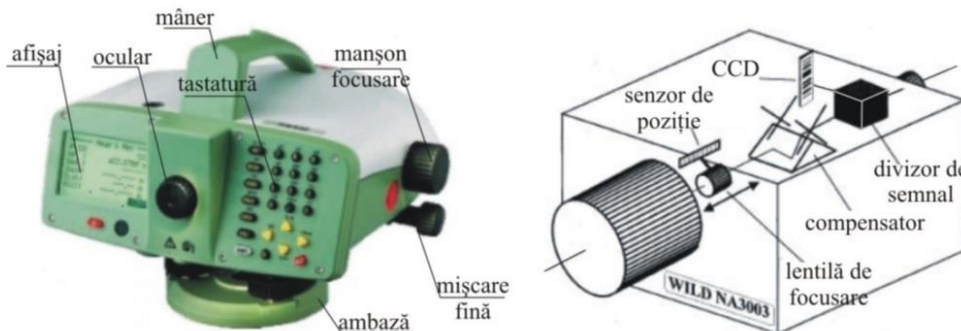


Fig. 3.3. Schema optică a nivelei digitale [43]

Nivelă electronică digitală prezintă multiple *avantaje*, demonstrând un randament de lucru foarte ridicat pe teren, oferind posibilitatea înregistrării automate a citirilor și realizării unor controale și calcule intermediare direct în teren (calculul automat al diferențelor de nivel, cotelor punctelor măsurate și al pantelor). Nivelă digitală permite înregistrarea automată a tuturor măsurătorilor efectuate în memoria internă a aparatului, sub forma unor linii de informații, eliminându-se astfel erorile de citire.

Preciziile oferite de aceste instrumente se încadrează în intervalul deviației standard de  $\pm 0,3\text{mm} - \pm 0,7\text{mm}$  pe km dublu de nivelment.

În prezent, se disting două procedee diferite de nivelare electronică:

- *procedee active*, la care se folosește ca sursă de lumină o diodă laser și un detector sensibil în punctul vizat, care oferă o informație de înălțime;

- *procedee pasive*, la care un model desenat pe o miră (coduri) și iluminat natural este înregistrat în planul imagine al unui instrument de nivelment geometric cu senzori electronici CCD. [43]

Procedeele active se regăsesc la nivelele cu laser rotativ, utilizate cu precădere în domeniul trasării orizonturilor. Orizontalizarea razei laser este realizată de un compensator bi-axial.

Nivelele digitale pot fi considerate ca făcând parte din categoria procedeelelor pasive, întrucât lucrează cu partea vizibilă sau de infraroșu a luminii naturale și nu necesită o iluminare suplimentară a mirelor, abstracție făcând măsurătorile efectuate pe întuneric. [114]

Nivelmentul geometric se folosește la acele lucrări la care se cere determinarea cu precizie a diferențelor de nivel și a cotelor.

În general, în lucrările de nivelment geometric, pentru determinarea cotelor și a diferențelor de nivel se utilizează mirele de nivelment. Acestea pot fi clasificate în trei categorii: mire centimetrice, mire cu bandă de invar, mire cu coduri.

**Mirele** cu bandă de invar se folosesc în cazul nivelmentului de înaltă precizie împreună cu nivelele digitale de mare precizie. Sunt confecționate din metal, având lungime cuprinsă între 1,75m și 3,0m, nefiind pliabile în timpul transportului.

Pe mijlocul mirei este fixată rigid o bandă de invar (un aliaj compus din 64% oțel și 36% nichel, cu un coeficient de dilatare termică foarte redus, de  $\pm 0,0008\text{mm}/1^{\circ}\text{m}$ ), cu lățimea de 2,5cm și cu lungimea egală cu a mirei. Cele două capete ale mirei sunt protejate de rame metalice, iar la înălțimea de 1,25m de la baza mirei sunt montate două mânere, ce asigură ținerea mirei în poziție verticală. Pentru o mai mare stabilitate, acestea pot fi sprijinite prin intermediul unor dispozitive anexă, respectiv trepiede sau contrafișe. Verticalizarea mirei se face cu ajutorul nivelei sferice montate pe spatele mirei. În practică, mirele de invar se instalează în punctele intermediare, pe broaște de nivelment.

Verificarea mirelor de nivelment este obligatorie înaintea începerii măsurărilor și constă în:

- verificarea stării tălpii mirei și a gradațiilor, ca acestea să nu fie deteriorate;
- verificarea planeității mirelor de lemn, întrucât la o curbura  $S=33\text{mm}$ , pentru o lungime  $L=3\text{m}$  a mirei, eroarea de citire este de 1mm;
- verificarea poziției zero a mirei în raport cu talpa - pentru aceasta se verifică primul decimetru și se ține seama în calcule de această eroare, ea având caracter sistematic;
- verificarea gradațiilor mirei cu un metru etalon prevăzut cu o lupă - la mirele de lemn eroarea maximă admisă este de  $\pm 1\text{mm}/\text{dm}$  - la mirele de invar se folosește un comparator, eroarea de gradare admisă fiind de  $0,1\text{mm}/\text{dm}$ ;
- verificarea nivelei sferice - se verticalizează mira cu un fir cu plumb și se rectifică nivela sferică a acesteia. [114]

Utilitatea nivelmetrelor electronice nu este diminuată de unele condiții restrictive legate de refracția atmosferică, vizibilitate insuficientă, acoperirea a minim 70mm din stadiu (măcar 30 elemente de cod necesare procesării imaginii), evitarea unei zone libere la capătul stadiului mai mari de 20%. Prin modul de lucru simplificat, automatizat, prin siguranța lucrărilor, garantată de eliminarea greșelilor, practic și a erorilor de citire și în final prin precizia lor, nivelele digitale s-au impus în practica topografică. [43] Aceste instrumente sunt folosite în realizarea rețelelor de nivelment geometric de înaltă precizie de ordinul III sau IV, precum și în realizarea diverselor lucrări din domeniul construcțiilor inginerești [28], în speță la urmărirea deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor.

### 3.2.3. Tehnologia GNSS (Global Navigation Satellite System)

Majoritatea măsurătorilor în domeniul construcțiilor, inclusiv lucrările de monitorizare, pot fi realizate prin intermediul tehnologiei GNSS (Global Navigation Satellite System). Aceste sisteme au fost create inițial pentru aplicații militare, însă, cu timpul, s-au dovedit eminentamente eficiente și în domeniul civil. Cele mai cunoscute sisteme din această categorie sunt: sistemul militar american NAVSTAR (Navigational Satellite Timing and Ranging), sistemul rusesc GLONASS, un alt sistem american utilizat numai pentru probleme speciale, sistemul TRANET – Doppler și sistemul GALILEO, al Europei. [18] Fiecare dintre aceste sisteme are o constelație de sateliți orbitali, care funcționează în legătură cu o rețea de stații terestre. [19] În prezent, cel mai utilizat sistem GNSS în România este sistemul NAVSTAR-GPS.

Sistemul românesc de determinare a poziției ROMPOS se bazează pe Sisteme Satelitare de Navigație Globală (GNSS), incluzând GPS, GLONASS și GALILEO (în viitor), furnizând date complementare în vederea îmbunătățirii preciziei de determinare a poziției punctelor de pe suprafața terestră.

Segmentul spațial GPS (Global Positioning System), dispune în total de 32 de sateliți, dispuși pe 6 plane orbitale înclinate la  $55^\circ$ , care survolează la o altitudine de 20.230km (Fig. 3.4.).

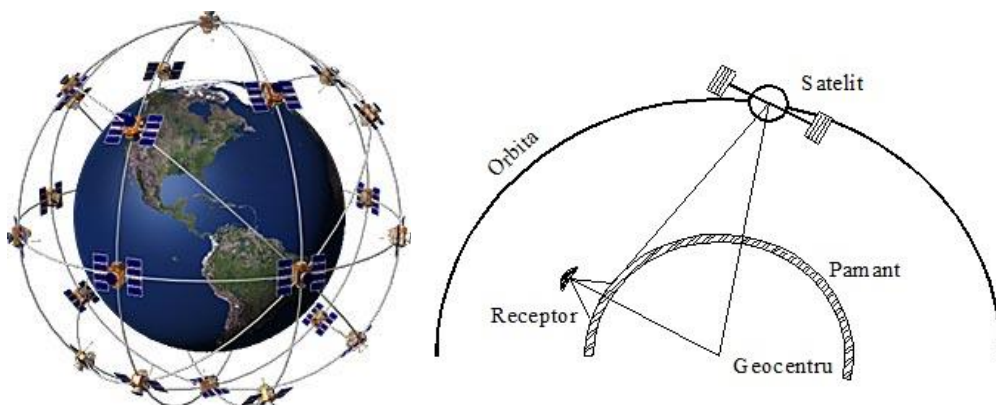


Fig. 3.4. Sistemul de sateliți NAVSTAR și principiul măsurătorilor GNSS

*Principiul de funcționare* al tehnologiei GNSS constă în măsurarea timpului în care semnalul (unda radio) parcurge distanța de la o stație de transmisie (satelit) la un dispozitiv de recepție (receptor), folosind distanța pentru a calcula poziția de pe Pământ a receptorului.

Principalele metode de măsurare utilizând tehnologia GNSS sunt metoda *statică* și metoda *cinematică*.

*Metoda statică* de măsurare implică ca receptorul în stația de referință și receptoarele din stațiile noi să rămână fixe pe parcursul unei sesiuni de lucru, a cărei durată depinde de lungimea bazei care se măsoară, numărul sateliților recepționați și geometria constelației satelitare, putând ajunge și la câteva ore. Această metodă se folosește pentru crearea rețelelor geodezice de sprijin sau studiul plăcilor tectonice.

*Metoda cinematică* de măsurare necesită o conexiune continuă cu minim 4 sateliți din constelația inițială, un receptor care este fix (bază) și alte receptoare

aflate în mișcare (rover). Poziția receptorilor mobili este determinată relativ la poziția receptorului fix. Timpul de observație în fiecare punct este scurt. Se folosește pentru măsurători de detaliu.

Utilizarea tehnologiei GNSS prezintă numeroase avantaje, dintre care se pot enumera:

- asigură obținerea unor precizii foarte bune și uniforme;
- independența față de condițiile atmosferice;
- determinările pot fi efectuate atât ziua, cât și noaptea;
- asigură condiția de omogenitate în determinarea coordonatelor X, Y, Z, abordând problemele din punct de vedere tridimensional;
- utilizează un sistem global de coordonate;
- evită unele probleme legate de refracție și sfericitate, întrucât nu depinde de propagarea undelor electromagnetice;
- precizii aproape constante, indiferent de depărtarea dintre puncte;
- determinarea rețelelor prin intermediul tehnologiei GNSS nu este condiționată de necesitatea vizibilității dintre punctele de stație, fiind posibilă obținerea unor distanțe considerabil mai mari decât în cazul rețelelor clasice de microtriangulație, trilateră sau nivelment;
- timpul necesar realizării rețelei este redus substanțial, implicând cheltuieli mai mici.

Pe scurt, aceste avantaje pot fi exprimate prin: precizie ridicată, productivitate, comoditatea efectuării măsurătorilor, posibilitatea de adaptare la cerințele lucrărilor ulterioare (trasare, de exemplu). [19]

Utilizarea tehnologiei GNSS prezintă și unele dezavantaje, precum faptul că semnalul depinde de eventuale obstrucționări (clădiri, vegetație), iar disponibilitatea sateliților depinde de latitudinea geografică. [5] De aici rezultă că cea mai importantă condiție care trebuie îndeplinită pentru obținerea unor precizii mari este asigurarea unui orizont liber spre cer și a unei geometrii bune a sateliților, ceea ce limitează utilizarea tehnologiei GNSS în anumite condiții. [40]

Principalele surse de erori în măsurătorile GNSS sunt: efectele instrumentale, efectele mediului de propagare, deficiențele în modelele dinamice utilizate pentru determinarea mișcărilor relative ale sateliților. Aceste surse de erori pot provoca erori sistematice (de reprezentare a orbitelor, ale ceasului satelitului și receptorului, troposferică și ionosferică, ambiguitatea fazei purtătoare) și erori aleatoare - remanente (erori sistematice reziduale, excentricitatea centrului de fază, „cycle-slip” necorecți, eroarea datorată reflexiei semnalelor „multipath” și cea de măsurare). [26]

Sateliții dispun de ceasuri „de încredere”, determinarea timpului de propagare a unei radio fiind foarte precisă. Măsurătorile de distanțe sunt afectate de erorile de ceas ale sateliților și ale receptorilor, motiv pentru care poartă denumirea de *pseudodistanțe*. Observatorul Naval al S.U.A. urmărește ceasurile sateliților GNSS și determină abaterile față de timpul acestora. Acești parametri sunt transmiși ca parte a mesajului de navigație difuzat de sateliți. Receptorul GPS utilizează valorile corecțiilor ceasului satelitului pentru a corecta pseudodistanța măsurată. [26]

Tehnologia GNSS a demonstrat rezultate mult mai bune, la nivel mondial, față de metodele clasice, motiv pentru care este principala metodă utilizată în prezent, în țara noastră, în redeterminarea coordonatelor punctelor din rețeaua geodezică de stat și refacerea rețelei de sprijin de ordin superior.

O problemă de actualitate este realizarea unei rețele geodezice naționale GNSS, racordată la rețeaua geodezică GNSS europeană, respectiv internațională, ce

va permite transferul reciproc al datelor de bază și va asigura densitatea și omogenitatea necesară spre a fi operațională pentru cei ce o vor utiliza, indiferent de scopul urmărit sau de domeniul de activitate. Alinierea la standardele europene este o condiție firească post integrare și se impune în țara noastră întrucât rețeaua actuală de triangulație geodezică (clasică) este depășită moral și fizic, deși a fost concepută și realizată la un nivel corespunzător momentului realizării ei, respectiv anii '60, iar elipsoidul Krasovski va fi în curând neutilizabil. [43]

Este important de menționat faptul că în anul 1997 au fost efectuate măsurători prin intermediul tehnologiei GNSS pentru racordarea rețelei de nivelment a României la rețeaua de nivelment europeană.

Tehnologia GPS mai poate fi utilizată cu succes în lucrările de reperaj fotogrametric. [116]

În literatura de specialitate, cercetările efectuate asupra urmăririi în timp a construcțiilor masive, în speță la poduri, au analizat deficiențele tehnologiei GNSS menționate în cadrul acestui subcapitol și implicațiile acestora. În încercarea de a găsi soluții fiabile pentru reducerea erorilor condiționate de geometria sateliților și întreruperile de semnal, cercetătorii au efectuat numeroase teste și simulări pentru implementarea unor sisteme de monitorizare capabile să ofere precizia necesară sesizării celor mai subtile deplasări și deformații ale construcțiilor. Combinarea tehnologiei GNSS cu tehnologia senzorilor constituie un avantaj prin flexibilitatea utilizării instrumentelor, reducerea timpului de observare și acuratețea rezultatelor obținute, în timp real. [40], [79] Deficiențele tehnologiei GNSS pot fi minimizează prin alegerea unor soluții optime în ceea ce privește proiectarea rețelei, amplasarea receptorilor în punctele caracteristice ale construcției (la extremitățile podului, în mijlocul deschiderii, pe piloni, în structura de rezistență) și completarea sistemului de monitorizare GPS cu tehnologii complementare de tipul inclinometrelor biaxiale, accelerometrelor triaxiale sau/și pseudolitelor.



**Fig. 3.5. Sistem de monitorizare GNSS pentru Forth Bridge, Edinburgh [74]**

Metoda de monitorizare a construcțiilor prin tehnologie GNSS oferă, după caz, posibilitatea executării periodice a unor serii de observații sau o monitorizare permanentă a obiectivelor.

Specialistul geodez trebuie să planifice realizarea rețelei GNSS de monitorizare în așa fel încât să asigure încadrarea zonei de interes și o distribuție uniformă a reperilor de control, pentru obținerea unor precizii adecvate. Cu ajutorul acestei tehnologii se pot determina deplasări de ordinul cm/an sau chiar mm/an și se pot face estimări cu privire la modul de comportare în viitor al construcțiilor

studiate. Achiziția datelor din teren are un rol foarte important în validarea modelului analitic al deformațiilor unei structuri.

### 3.2.4. Fotogrametria

*Principiul* de achiziție a datelor utilizând metoda fotogrametrică constă în obținerea unor informații referitoare la obiectele fizice și mediul înconjurător, de la distanță, fără contact fizic cu acestea, prin înregistrarea, măsurarea, prelucrarea și interpretarea unor imagini fotografice metrice numite fotograme.

Metoda fotogrametrică constă în fotografierea succesivă a zonei sau obiectivului studiat. Prelucrarea fotogramelor se realizează cu ajutorul unor camere fotogrametrice, care pot fi amplasate la distanță scurtă, pe sol (fotogrametrie terestră) sau la bordul unor platforme aerportate (fotogrametrie aeriană).

Făcând referire la principiul de bază al prelucrării informațiilor din teren, fotogrametria se supune legilor topografiei prin transformarea proiecțiilor centrale (fotograme) în proiecții ortogonale (planuri, hărți).

Metoda fotogrametrică digitală a urmat metodelor tradiționale fotogrametrice, respectiv metodei analogice și metodei analitice, păstrând din elementele acestora, însă revoluționând domeniul fotogrametriei prin automatizarea proceselor de preluare, prelucrare și modelare a datelor.

Principiul de funcționare al aparatelor digitale nu constă în analiza fotografiilor analogice specifice metodelor clasice, ci în analiza imaginilor digitale.

Redarea prin mijloace electronice a imaginii influențează în mod evident fotogrametria digitală. Ea face posibilă fotogrametria în timp real. [52]

Rezultatele finale pot lua una din următoarele forme: hărți vectoriale, modelul digital al terenului (Digital Terrain Model - DTM), orto-imagini digitale.

Fotogrametria îndeplinește următoarele funcții:

- obținerea imaginilor ortofoto (Fig. 3.6.);
- determinarea poziției punctelor;
- crearea modelelor digitale de înălțime (altimetrice) ale terenului;
- crearea modelelor 3D ale obiectelor.



**Fig. 3.6. Imagine ortofotogrametrică a Podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră la Agigea**

Pentru generarea *modelelor digitale altimetrice* și utilizarea lor în diferite domenii, această tehnologie modernă cuprinde următoarele faze: culegerea datelor inițiale (eșantionajul), prelucrarea lor preliminară, prelucrarea de bază (conversia),

evaluarea calității modelelor construite, stocarea (arhivarea) și exploatarea prin diferite proceduri aplicative. [47]

Fotogrametria, ca metodă de cercetare în domeniul monitorizării construcțiilor masive, poate oferi acuratețe în redarea elementelor de nivelment, fiind una din cele mai rapide soluții, oferind totodată posibilitatea cercetării în zone vaste și/sau greu accesibile. Această metodă prezintă dezavantajul că necesită măsurători geodezice terestre suplimentare. În ceea ce privește aplicarea fotogrametriei terestre în domeniul topografic, trebuie evidențiate unele aspecte limitative. [52] Efectuarea lucrărilor poate fi influențată de condițiile atmosferice și de anotimp, nefiind indicată fotografierea în timpul verii, când vegetația este bogată. Hardware-ul și software-ul utilizat în această metodă au preț foarte ridicat și este nevoie de personal foarte bine pregătit.

Fotogrametria terestră oferă un nivel ridicat de precizie, productivitate crescută și redarea fidelă a obiectelor studiate, într-un timp foarte scurt, având aplicabilitate în domenii variate, precum: topografie, geodezie, construcții civile, arhitectură, hidrologie, hidrografie, agricultură, silvicultură, medicină, astronomie, construcții de nave și mașini. În particular, este vizat domeniul cercetării tehnice prin: studii și măsurători ale deformațiilor construcțiilor în faza de execuție și exploatare, studii asupra comportamentului construcțiilor la acțiunea seismelor, studii ale alunecărilor de teren, cercetări în geologie, astronomie, fizică nucleară, arheologie, construcții de mașini.

Fotogrametria terestră se execută cu fototeodolitul sau cu camere stereofotogrametrice. Soluțiile optime cu privire la instrumentele și metodele de măsurare se aleg ținând cont de condițiile specifice din teren, condițiile meteorologice și de iluminare din perioada de execuție a lucrărilor de specialitate.

Fotogrametria terestră asigură efectuarea unor măsurători în domenii în care tehnicile și metodele convenționale sunt dificil sau chiar imposibil de aplicat, putând fi studiate fenomene și obiecte atât în regim static, cât și dinamic. Obiectele fotografiate pot avea viteze foarte mici (tasări ale construcțiilor) sau viteze mari (cercetarea deformațiilor în mers a pneurilor). Metodele fotogrametriei terestre și ale stereofotogrametriei au avantajul că surprind cu o precizie bună deformațiile constante și temporare.

Această metodă este avantajoasă atunci când se urmărește determinarea coordonatelor unui număr mare de puncte sau monitorizarea obiectelor inaccesibile. Metoda fotogrametrică este mult mai ușor de folosit în unele situații, precum în cazul măsurătorilor deformațiilor construcțiilor înalte (baraje), unde reperii de control sunt amplasați în pereții verticali ai acestora, în locuri greu accesibile.

Semnalizarea reperelor are o importanță deosebită, motiv pentru care sunt utilizate semnale metalice aplicate în punctul respectiv, iar pentru ca imaginea reperelor să apară clar pe fotogramă, este indicat ca ele să fie poleite. [85]

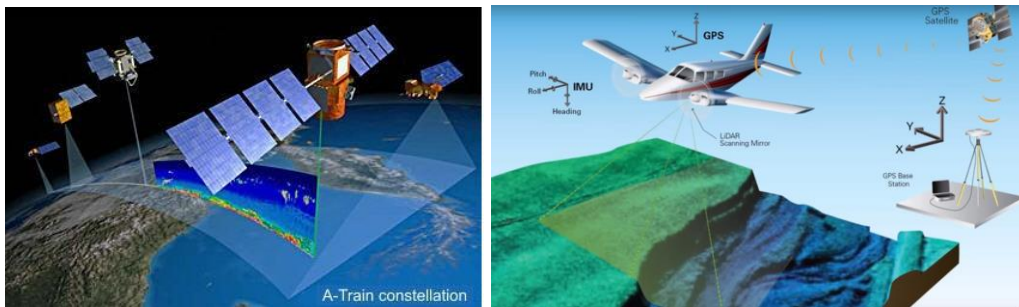
Urmărirea deformațiilor construcțiilor masive (poduri, baraje, termocentrale) constituie o preocupare majoră a unor institute de cercetare și proiectare, din țară și din străinătate, dată fiind importanța strategică și economică a acestora. De regulă, studiul acestor deformații se face pe baza unor măsurători de mare precizie, optând pentru metode topo-geodezice care oferă precizie milimetrică sau chiar submilimetrică. În acest caz, se recomandă ca urmărirea deformațiilor construcțiilor prin metode geodezice să se efectueze, în paralel, prin mijloacele specifice fotogrametriei terestre.

### 3.2.5. Teledetecția

*Principiul* teledetecției se bazează pe captarea de la distanță, fără contact direct, a radiațiilor electromagnetice emise sau remise de obiectele și procesele situate pe suprafața terestră sau în atmosfera joasă, prin intermediul unor senzori specifici (fotografici, de baleiere) pentru fiecare categorie spectrală în parte (ultraviolet, vizibil și infraroșu), care absorb radiațiile electromagnetice și le transformă în mărimi fizice măsurabile.

În funcție de altitudinea la care se găsește aparatura de teledetecție și de modalitatea de transport a echipamentelor, teledetecția se împarte în două categorii: *aeriană* (aparatura este plasată în atmosfera joasă, fiind transportată prin mijloace convenționale: avioane, elicoptere, dirijabile, plane, baloane) și *satelitară* (aparatura de teledetecție este instalată la bordul sateliților artificiali ai Pământului și al navelor cosmice).

În raport cu principalele caracteristici ale undelor electromagnetice, lungimea de undă sau/și frecvența, radiațiile se comportă în mod diferit, atât în timpul străbaterii atmosferei, cât și în momentul contactului nemijlocit cu suprafața terestră. În funcție de modificările pe care le înregistrează acestea (viteză de propagare, amplitudine, intensitate energetică, modificarea lungimii de undă), se pot obține informații asupra naturii obiectelor cu care interacționează (mărime, formă, densitate, direcție de deplasare etc.). [53]



**Fig. 3.7. Teledetecție satelitară și teledetecție aeriană**

*Fotointerpretarea*, ca proces de analiză a fotografiilor și imaginilor satelitare, se bazează pe faptul că orice obiect are anumite caracteristici de emisie sau de absorbție a radiațiilor electromagnetice cu anumite lungimi de undă, proprietate cunoscută sub numele de *signatură spectrală*. Colecțiile de date geografice sunt imagini care conțin patru tipuri principale de informație ce sunt folosite pentru interpretarea acestora: *informația radiometrică* (strălucirea, intensitatea, tonul), *informația spectrală* (culoarea, nuanța), *informația texturală* și *informația geometrică și contextuală*.

În funcție de proveniența radiațiilor captate de senzori (naturale sau artificiale), se disting două categorii de sisteme de teledetecție:

- *sisteme pasive*, în care senzorii de teledetecție înregistrează fie radiațiile emise de Pământ, fie radiațiile solare ajunse și reflectate de suprafața terestră – *domeniul*: infraroșu, lumina vizibilă (radiometrele, scannerele multispectrale, sistemele de televiziune);
- *sisteme active*, care au ca bază de funcționare echipamentul de emisie-recepție caracterizat prin emiterea de radiații și receptarea semnalelor



reflectate de suprafața terestră – *domeniul*: lumina, razele X, ultrasunetele (sistemul RADAR, sistemul LiDAR, sistemul SONAR).

Principalele avantaje ale teledetecției satelitare sunt legate de lucrul în „timp real” sau aproape de caracteristicile „timp real” pentru urmărirea fenomenelor dinamice [91] (evoluția factorilor de mediu, controlul calamităților naturale și al hazardurilor) prin furnizarea periodică de către satelit a imaginii aceleiași regiuni, permițând analize comparative și prelucrarea automatizată.

*Tehnologia LiDAR (Light Detection and Ranging* însemnând *detectarea luminii și estimarea distanțelor*) este o tehnologie optică al cărei principiu se bazează pe impulsuri laser ce măsoară proprietățile luminii dispersate pentru a determina poziția și/sau alte date ce caracterizează o țintă aflată la distanță. [22] Cu alte cuvinte, un senzor fixat în carlinga unui avion adaptat pentru astfel de operațiuni, transmite pulsuri laser spre pământ, pe care le re-primește prin intermediul unui receptor. Procesorul integrat măsoară intervalul de timp în care pulsul parcurge distanța dus-întors de la platforma aeriană la sol, corelând poziția precisă a avionului cu altitudinea la care acesta survolează și viteza sa de deplasare, pentru a obține poziția 3D a punctelor terestre (X, Y, Z), obținându-se un „nor de puncte” format din sute de mii sau chiar milioane de puncte. Această metodă permite obținerea unei precizii de determinare a punctelor de până la 35 mm.

Tehnologia LiDAR folosește 3 sisteme de bază: [104]

- scanarea laser pentru o bună determinare a distanțelor;
- sistemul GNSS constă într-un receptor GPS care înregistrează poziția continuă a platformei de teledetecție și o stație GPS (diferențial GPS) amplasată în teren pentru a corecta diferențele, astfel încât să se obțină o traiectorie cât mai bună a aparatului de zbor;
- sistemul inerțial de măsurare (Inertial Measurement Unit – IMU) constă în giroscopae și accelerometre ce măsoară continuu înălțimea și accelerația avionului, pentru înregistrarea orientării (Fig. 3.7.).

Metodele tradiționale oferă precizie milimetrică, dar sunt utilizabile pe arii restrânse. [21] În schimb, teledetecția se utilizează pentru suprafețe extinse de teren și în locuri inaccesibile, asigurând prelevarea informațiilor spectrale în timp real, nefiind limitată de condițiile atmosferice sau de luminozitate, în domeniul construcțiilor găsimu-și aplicabilitate în planificarea lucrărilor și monitorizarea stadiului acestora în șantier, prin analiza modelul digital al terenului, în vederea efectuării unor calcule, estimări și previziuni.

În particular, metoda teledetecției poate fi utilizată în studiul deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, însă cu *rol secundar*, întrucât, individual, nu oferă precizia necesară acestui gen de lucrări și nu asigură sesizarea celor mai subtile modificări ale structurilor, costurile implicate fiind mari.

Sub acest aspect, pentru domeniul construcțiilor, o relevanță deosebită o are preocuparea cercetătorilor științifici din țară și străinătate pentru analiza preciziei modelelor digitale ale terenului generate prin scanare laser și fotogrametrie, prin comparație cu modelul generat pe baza punctelor determinate prin tehnologia GNSS (metoda cinematică în „timp real”). Rezultatele arată că modelul generat pe baza înregistrărilor făcute cu ajutorul tehnologiei LiDAR prezintă cea mai bună precizie (0,09m – 0,30m), urmat de modelul generat prin tehnici fotogrametrice (1,35m – 2,43m). [91]

Trebuie precizat că, în literatura de specialitate există diferite abordări ale terminologiei cu privire la modelele digitale ale terenului (DTM - Digital Terrain Model), modelele digitale ale suprafețelor (DSM – Digital Surface Model) și modelele digitale altimetric (DEM - Digital Elevation Model). Conchid că DTM și DEM se referă

doar la suprafața terenului, fără construcții, iar DSM se referă la suprafața terenului cu tot ce se află pe acesta.

### 3.2.6. Scanarea laser terestră

*Scanarea laser terestră* este una din cele mai noi tehnici geodezice, prin intermediul căreia poate fi măsurată complet automat geometria unei structuri, fără ajutorul unui mediu reflectorizant, cu precizie și viteză ridicată. [81]

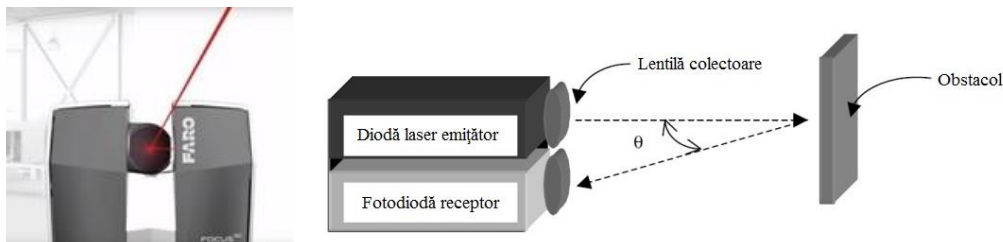
Scannerul laser furnizează o reprezentare completă a unui obiect din spațiu (reprezentare 3D) prin efectuarea unor măsurători în plan orizontal și vertical, la intervale prestabilite. Coordonatele carteziene 3D ale fiecărui punct măsurat sunt furnizate prin intermediul măsurării distanțelor, a direcțiilor orizontale și unghiurilor verticale [100], principiul cunoscut sub denumirea de metoda coordonatelor polare.

Acest concept a fost introdus în practica măsurătorilor topografice și geodezice, deoarece prin intermediul acestei tehnologii poate fi determinată automat geometria unui obiect [39], în spațiul tridimensional, cu o frecvență ridicată a punctelor, asigurând o reprezentare fidelă a realității și conversia datelor spațiale în modele geometrice 2D sau 3D.

Scanarea laser terestră este un indicator al evoluției practicii topo-geodezice de la achiziția datelor "punct cu punct", însoțite de atribute, la achiziția "în masă" a punctelor lipsite de atribute, sub forma "norului de puncte".

O clasificare a sistemelor de scanare laser terestre trebuie definită în funcție de mărimea câmpului de scanare, domeniul de măsurare al distanțelor, principiul sistemului de măsurare al distanțelor, densitatea punctelor și precizia determinării poziției spațiale a punctelor. Astfel, tipul de aplicație tehnică decide tipul de scanner laser. [65]

În funcție de tipul instrumentului de măsurare, modul de funcționare al acestuia diferă, măsurarea distanțelor făcându-se electro-optic, fie conform principiului triangulației, fie după principiul măsurării timpului, care se subdivide în două procedee: diferența de fază (phase difference, phase comparison) sau puls (time-of-flight) (Fig. 3.8.).



**Fig. 3.8. Principiul de funcționare al scannerului terestru**

În componența unui echipament de scanare laser 3D intră un sistem hardware, alcătuit din instrumentul de scanare laser 3D, un computer și accesoriile acestora și un sistem software, alcătuit din softul de scanare, transfer și prelucrare a datelor preluate. [2], [10] Componenta CCD (Charged Couple Device), care constă într-o cameră digitală, asigură înregistrarea caracteristicilor obiectelor, astfel că la crearea modelului digital 3D rezultă o vedere foto-realistică a acestora, fiind furnizate inclusiv informații cu privire la textură și culoare.

Principalele *avantaje* ale acestei metode sunt: precizia ridicată a rezultatelor, densitatea mare a punctelor (norul de puncte poate conține

aproximativ 7.000.000 puncte pe kilometru scanat) [104] într-un timp scurt (mii sau sute de mii de puncte pe secundă), rezolvarea ușoară a problemelor de registrație (calculul coordonatelor X, Y, Z).

Principalele *surse de erori* în scanarea laser terestră sunt: erori legate de forma și natura obiectului scanat, erori instrumentale, erori datorate mediului în care se efectuează scanarea, erori metodologice.

Instrumentele de scanare ce funcționează pe baza principiului time-of-flight, implică distanțe mari de măsurare, care depășesc, de regulă, câteva sute de metri, oferind o precizie de aproximativ 1cm. Măsurătorile efectuate cu scanner laser care utilizează principiul diferenței de fază se efectuează pe raze de maxim 100m, precizia fiind milimetrică. Pentru domenii restrânse (sub 10m), cu aplicabilitate în industrie, măsurarea distanțelor are la bază principiul triangulației (laser radar și optical triangulation), precizia fiind submilimetrică. [18], [82], [81]

Scanarea laser terestră are aplicabilitate în foarte multe domenii conexe măsurătorilor terestre, precum și în inginerie: monitorizarea autostrăzilor, tunelelor, podurilor, viaductelor; înregistrarea patrimoniului cultural și a siturilor istorice; monitorizarea alunecărilor de teren; cuantificarea eroziunii malurilor unor râuri; calcule de volume, terasamente, planificarea lucrărilor de construcții.

Una dintre utilizările cele mai recente a tehnicii de scanare laser terestră se situează în domeniul monitorizării deformațiilor și deplasărilor. [8] Un rol foarte important în obținerea cu precizie milimetrică a modelelor digitale 3D îl joacă georeferențierea (denumită de programele specializate de prelucrare a acestor date „înregistrare” [92]), care este posibilă prin intermediul unor puncte de coordonate 3D cunoscute, determinate de regulă cu ajutorul stației totale sau al tehnologiei GNSS [16] și care depinde în mare măsură de precizia de vizare a țintelor. Scanerile de ultimă generație (Fig. 3.9.) au implementat funcția de recunoaștere și măsurare automată a acestora, atât la nivel de hardware, cât și la nivel de software.

Pentru evitarea propagării erorilor sistematice se recomandă adoptarea unor măsuri, precum staționarea cu instrumentul de măsurare în aceeași poziție, pe platforme stabile, amplasarea țintelor de vizare în domeniul apropiat [1] și alegerea corectă a instrumentului de măsurare și a accesoriilor, în funcție de tipul de lucrare și de precizia impusă.



**Fig. 3.9. Sisteme de scanare terestre și accesorii**

Urmărirea în timp a deplasărilor și deformațiilor prin metoda scanării laser terestre se poate realiza prin compararea rețelelor poligonale (grid), compararea structurilor liniare (muchii) sau compararea suprafețelor. [84] Precizia este influențată de rezoluția scanării. [73], [67]

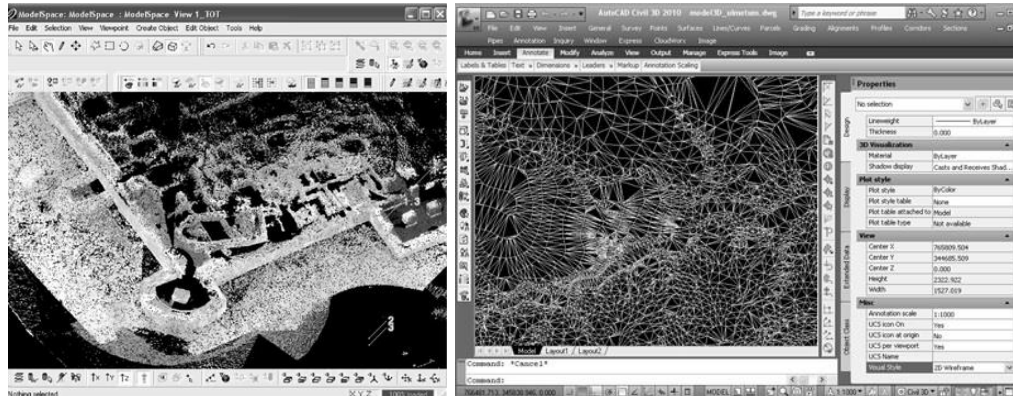


Fig. 3.10. "Nor de puncte" și modelul digital al terenului Cetatea Ulmetum [41]

Direcția de dezvoltare, din punct de vedere constructiv, al instrumentelor de scanare laser terestră este de a îngloba ambele principii de măsurare în cadrul aceluiași aparat și dotarea țintelor de vizare cu tehnologie GNSS. [16] În prezent, majoritatea sistemelor de scanare laser au integrate compensatoare speciale, pe două axe (INS - Sisteme de Navigație Inerțiale) și permit atașarea receptoarelor GPS, pentru poziționarea și orientarea directă a scannerului în spațiu, fără a mai fi necesare stații totale. Sistemele INS și GPS reprezintă pentru scanerul laser mobile sisteme adiționale de poziționare.

Pe de altă parte, a fost creat un *sistem de tip Multistation*, care tinde să înlocuiască instrumentele ce îndeplinesc exclusiv funcția de scanare, întrucât include atât componentele și atributele unei stații totale, cât și cele ale unui scanner laser.

Scannerul de mână este un dispozitiv de măsurare de tip scanner laser mobil, care asigură obținerea modelului tridimensional al obiectelor din spațiul terestru bazându-se pe principiul triangulației. [115] Acesta este ușor de folosit atât în spații închise, cât și în exterior, având dimensiuni reduse.

### 3.2.7. Metode electrice. Senzori

Un *senzor* poate fi definit ca un detector care transformă mărimi neelectrice, *fizice* (alungiri, dilatări, temperaturi, diferențe de presiune) sau *chimice* (combinații de gaze și lichide), în mărimi electrice măsurabile (Fig. 3.11.). [15] Pentru transformarea semnalelor electrice se utilizează diferite legi ale fizicii: transformarea fotoelectrică, transformarea ohmică, transformarea inductivă a semnalului, transformarea capacitivă, transformarea piezoelectrică și piezorezistivă.

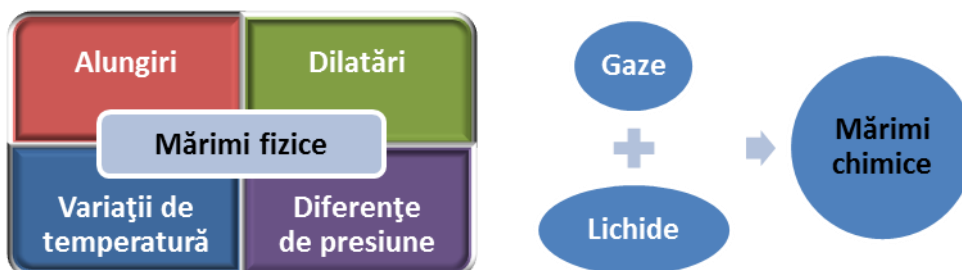


Fig. 3.11. Tipuri de mărimi fizice și chimice cunoscute cu senzori

Aceste dispozitive oferă o descriere continuă a mărimilor măsurate. Cu ajutorul acestor dispozitive sunt determinate, în afara mărimilor specifice domeniului deformațiilor, mărimi geometrice:

- distanțe între puncte caracteristice a unei construcții sau puncte care aparțin aceluiași element de construcție;
- înclinări și abateri unghiulare a unor elemente de construcție care pot influența stabilitatea structurii în ansamblu;
- diferențe de nivel survenite între ciclurile de măsurători.

Orice deformație a unei structuri se traduce în schimbări ale lungimii de undă a fibrei optice. [46] Toate aceste fenomene trebuie mai întâi transformate în semnale electrice, iar apoi, prin intermediul unor dispozitive automate, se prelucrează, se transportă și înregistrează în mod automat.

Structura tipică a unui sistem de achiziție de date este următoarea:

- senzorii au traductori care convertesc fenomenul fizic într-un semnal electric ce poate fi măsurat;
- circuite de adaptare a semnalului pentru izolarea, convertirea și/sau amplificarea semnalului provenit de la traductor;
- un subsistem de achiziție de date (care poate include multiplexoare și convertoare analog - digitale);
- un sistem de calcul;
- soft pentru achiziția de date.

Pentru a răspunde tuturor provocărilor, există astăzi o varietate însemnată de dispozitive utilizate în aplicațiile ingineresti, precum: senzori de înclinări, senzori de elongații, senzori de presiuni, senzori de temperatură, senzori optoelectronici.

Pentru domeniul construcțiilor, senzorii sau traductorii care interesează și sunt utilizați pentru urmărirea comportării în timp a unei structuri sau al unui element al unei structuri sunt clasificați sub denumirea de senzori de poziție și deplasare. Ținând cont de principiul de funcționare al dispozitivelor de transformare al semnalelor care intervin în tehnica măsurătorilor, aceștia mai sunt definiți ca traductori de deplasări sau dispozitive înregistratoare de deplasări.

Ca reprezentanți ai acestei categorii de măsurători se pot enumera: nivela electronică, inclinometrul, deflectometrul, extensometrul cu bară metalică, extensometrul cu fir de invar, extensometrul mobil de foraj, sistemul de măsurători hidrostatic.

Nevoia de monitorizare permanentă a deformațiilor structurilor constituie o provocare pentru specialiștii din domeniu, sistemele de senzori ocupând un rol dominant în rândul tehnologiilor moderne. [13]

Tehnica senzorilor prezintă avantajul de necontestat al unei urmăriri permanente, constituindu-se într-un sistem automat de înregistrare și prelucrare a informațiilor interesate în cuantificarea unor fenomene cu impact asupra stabilității construcției respective. [55]

Pentru a veni în întâmpinarea nevoilor de monitorizare permanentă pe timp îndelungat a construcțiilor, sistemele de senzori pot avea multiple îmbunătățiri, constând într-un receptor de înregistrare a datelor utilizând tehnologia GSM (Global System for Mobile Communications) și compatibilitate Bluetooth.

Conectivitatea multiplă a sistemului de senzori alcătuiește un sistem de colectare a datelor în timp real și transmiterea volumului de informații într-o unitate de prelucrare (calculator, laptop).

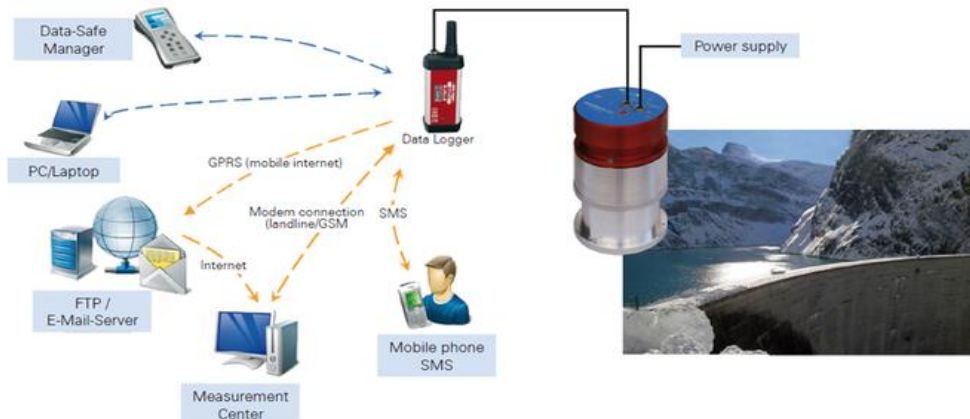


Fig. 3.12. Sistem de comunicație cu senzori de monitorizare [119]

### 3.2.7.1. Senzori cu fibră optică

În ultimii ani, monitorizarea construcțiilor a luat amploare datorită dezvoltării tehnologice, care a adus în prim plan utilizarea pe scară largă a senzorilor cu fibră optică. Aceste dispozitive sunt alcătuite din materiale dielectrice, neafectate de interferențe electromagnetice, sunt ușor de manevrat și sunt în măsură să înregistreze lungimi foarte mici (până la 2 microni). Există o mare varietate de senzori optici, care sunt utilizați atât pentru aplicații industriale și pentru controlul stării construcțiilor în ingineria civilă. [90]

Senzorii cu fibră optică utilizați la monitorizarea structurii podurilor oferă posibilitatea unei alerte, în timp real, pentru orice modificare survenită, care ar putea duce la apariția unor accidente sau la declanșarea unor hazarde. Aceștia sunt excelenți senzori de deplasare. [45]

Avantajele utilizării sistemelor de senzori cu fibră optică comparativ cu sistemele clasice de senzori se prezintă în felul următor:

- dimensiune și greutate mai mică;
- încastrate în construcție, nu obstrucționează și nu degradează integritatea structurii;
- sunt pasive, fibrele sunt dielectrice în natură, mai sigure, posibilitatea ca acestea să provoace o explozie fiind mult mai redusă;
- imune la interferențe electromagnetice;
- sensibile la o varietate de încărcări și temperaturi;
- rezistente la coroziune și oboseală;
- funcționează pe bande de frecvență variate;
- pot fi multiplexate, datele din mai multe canale pot fi comasate într-un singur canal;
- furnizează date în timp real.

Problematika obținerii unor rezultate relevante la podurile suspendate, de mari dimensiuni [76], [75], [95] și apariția erorilor în testarea diverselor sisteme de monitorizare, a stârnit interesul specialiștilor din domeniu. Numeroase instrumente și metode au fost testate în scopul monitorizării deplasărilor verticale ale structurilor masive, cauzate de cele mai variate solicitări, dar s-au constatat anumite deficiențe ale acestora în condiții speciale, precum acțiunea seismică. [23] Astfel, pentru obținerea celor mai bune rezultate în urmărirea comportării în timp a construcțiilor,

se recomandă utilizarea tehnologiei senzorilor în combinație cu măsurătorile geodezice și inclinometre biaxiale sau/și accelerometre triaxiale. [54], [95]

*Accelerometrele* sunt senzori care măsoară trei accelerații ortogonale simultan [54], în anumite puncte ale unei structuri vibrante. [67] Individual, accelerometrele nu prezintă siguranță în detectarea vibrațiilor lente caracteristice deplasărilor de amplitudini mari [54], dar s-au dovedit eficiente în monitorizarea construcțiilor, întrucât au capacitatea de a detecta vibrațiile structurilor cu frecvențe înalte cum sunt podurile.

La nivel mondial, criza economică a creat un cadru nefavorabil în ceea ce privește siguranța în exploatare a structurilor, o atenție deosebită acordându-se podurilor. [36] Pentru a evita producerea unor hazarde prin prăbușirea unor edificii, care ar putea avea consecințe grave de ordin economic și strategic, pe viitor, se va avea în vedere integrarea unor sisteme de monitorizare permanentă bazate pe senzori încă din faza de proiectare a construcțiilor. Luând în considerare necesitatea prelevării unui volum cât mai mare de date, în vederea diagnosticării stării construcțiilor și estimării duratei remanente de exploatare, aceste sisteme se constituie ca un mijloc eficient de monitorizare. Problemele care necesită un studiu aprofundat includ detalii cu privire la configurația rețelelor și modul de amplasare al reperilor în punctele critice ale structurilor. [29]

### 3.3. Discuții

Din studiul bibliografic riguros efectuat asupra tehnicilor și tehnologiilor utilizabile în procesul de urmărire a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, atât în țară, cât și în străinătate, principala tendință care se distinge constă în completarea sau chiar înlocuirea tehnicilor și tehnologiilor tradiționale de prelevare a datelor cu tehnologii moderne, bazate pe măsurători prin unde, măsurători fotogrametrice și măsurători spațiale.

De-a lungul timpului, s-au elaborat o serie de metode pentru determinarea punctelor din spațiul terestru, pornind de la metodele topografice, unde ridicarea era realizată "punct cu punct", cu atribute aferente fiecărui punct, până la ridicarea "în masă" a punctelor obiect prin metode fotogrametrice și scanare laser, terestră sau aeriană. Timpul pentru discretizarea punctuală a obiectelor și inserarea de atribute fiecărui punct este mai mare la metodele topografice în raport cu metodele fotogrametrice și scanarea laser, care asigură o preluare rapidă a unui volum de date pertinente mai mare, însă fără atribute.

Precizia lucrărilor de urmărire a deformațiilor construcțiilor speciale (poduri, baraje, termocentrale) constituie o preocupare majoră a unor institute de cercetare și proiectare, dată fiind importanța strategică și economică a acestora. De regulă, studiul acestor deformații se face pe baza unor măsurători de mare precizie, optând pentru metode topo-geodezice alese în funcție de condițiile din teren, care oferă precizia impusă și asigură sesizarea timpurie a celor mai mici modificări ale structurilor.

Nivela electronică digitală este instrumentul specific metodei nivelmentului geometric, precizia măsurătorilor deplasărilor verticale ale construcțiilor fiind de ordin milimetric sau chiar submilimetric. În acest sens, nivela digitală are un randament de lucru ridicat pe teren, corespunzând preciziilor impuse de acest gen de lucrări.

Măsurătorile efectuate cu stația totală asigură obținerea unor rezultate bune în cazul determinării concomitente a deplasărilor orizontale și verticale, fiind folosită cu succes la determinarea vectorului deplasării punctelor de control îndepărtate,

fixate pe construcții înalte sau greu accesibile. Precizia nivelmentului trigonometric este mai mică decât cea a nivelmentului geometric, întrucât în valoarea determinată intervin erorile de măsurare.

Metodele tradiționale oferă precizie milimetrică, dar sunt utilizabile pe arii relativ restrânse. În acest sens, se recomandă ca urmărirea deformațiilor construcțiilor prin metode topo-geodezice să se completeze cu mijloacele specifice fotogrametriei terestre sau cu tehnologia de scanare laser terestră. Prin intermediul acestor tehnologii se pot obține reprezentări complete ale unor obiecte din spațiu, fără contact direct, care asigură o reprezentare fidelă a realității și conversia datelor spațiale în modele geometrice 2D sau 3D, cu aplicabilitate în activități ingineresti de analiză și planificare [59]. Obținerea unor informații cu privire la eventuale deplasări sau modificări ale structurii unor construcții se realizează prin compararea modelelor digitale ale suprafețelor din determinări efectuate în momente diferite. Aceste aplicații constituie o alternativă în condiții speciale, când metodele geodezice nu pot fi aplicate corespunzător, precizia fiind diferită în funcție de domeniul de măsurare a distanțelor.

Utilizarea tehnologiei GNSS este limitată în anumite condiții, necesitând un orizont liber spre cer, fără obstrucționări și o configurație favorabilă a sateliților. Principala preocupare a specialiștilor din domeniu constă în dezvoltarea unor tehnici și tehnologii inovative pentru monitorizarea permanentă și în timp real a construcțiilor. În acest sens, cercetările în domeniu ridică problema eficienței sistemelor GNSS de urmărire a deplasărilor construcțiilor masive în cazul unor seisme. Deficiențele tehnologiei GNSS pot fi minimizează prin alegerea unor soluții optime în ceea ce privește proiectarea rețelei și completarea sistemului de monitorizare GPS cu tehnologii complementare de tipul inclinometrelor biaxiale, accelerometrelor triaxiale sau/și pseudolitelor.

Tehnică senzorială utilizată la urmărirea comportării în timp a construcțiilor permite cunoașterea în timp real și evaluarea acțiunilor de orice tip, care pot influența stabilitatea imediată sau pe termen lung a unei structuri, constituindu-se într-un sistem automat de înregistrare și prelucrare a informațiilor. Sistemele de monitorizare cu senzori pot fi integrate cu ușurință în urmărirea diferitelor tipuri de construcții, de la poduri hobanate la construcții speciale pentru captarea energiei eoliene. De asemenea, poate avea un rol important în domeniul căilor de comunicație terestră, prin monitorizarea magistralelor de cale ferată, dar și a drumurilor, autostrăzilor și lucrărilor de artă.

Astfel, concluzia unanimă a specialiștilor din domeniul măsurătorilor terestre este că cele mai bune rezultate se pot obține prin alcătuirea unor sisteme de monitorizare formate din metode și instrumente topo-geodezice (nivelă, stație totală, sistem GNSS) și din tehnologii caracteristice fotogrametriei sau scanării laser, iar pentru monitorizarea permanentă și în timp real, elementul forțat utilizat este sistemul de senzori cu fibră optică. Viitorul va fi marcat de integrarea acestui tip de sisteme încă din faza de proiectare a structurilor.

Din punct de vedere constructiv, tendința actuală este de a crea instrumente de măsurare automate, care să înglobeze cât mai multe funcționalități, să ofere precizie cât mai bună, să fie ușor de manevrat și să aibă costuri cât mai reduse, în raport cu factorul timp. Pentru a veni în întâmpinarea nevoilor de monitorizare permanentă pe timp îndelungat a construcțiilor, se impune implementarea unor sisteme de monitorizare și avertizare automată a populației, de precizie ridicată, cu acces online. În pofida numărului mare de soluții prezentate, domeniul determinării deplasărilor și deformațiilor cu precizie milimetrică rămâne deschis cercetărilor.



## 4. CERCETĂRI PROPRII, REZULTATE ȘI INTERPRETĂRI OBȚINUTE PRIN URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR LA PODUL PESTE CANALUL DUNĂRE - MAREA NEAGRĂ DE LA AGIGEA

### 4.1. Contextul actual ca aliniere la obiectivele europene

#### 4.1.1. Importanța obiectivului în strategia de dezvoltare a Uniunii Europene

Pentru a realiza o creștere economică durabilă și pentru a stimula crearea de locuri de muncă, în conformitate cu obiectivele *Strategiei Europa 2020*, Uniunea Europeană necesită infrastructuri moderne, cu un nivel ridicat de performanță, care să asigure interconectarea și la integrarea Uniunii și a tuturor regiunilor sale în toate sectoarele transporturilor, telecomunicațiilor și energiei. [112] Aceste interconexiuni contribuie la îmbunătățirea liberei circulații a persoanelor, bunurilor, capitalurilor și serviciilor, asigurând o mai mare coeziune economică, socială și teritorială.

Poziționarea strategică a Mării Negre, între Europa, Asia și Orientul Mijlociu, oferă României un statut special, reprezentând o punte de legătură pentru circuitele comerciale și regiunile bogate în resurse energetice.

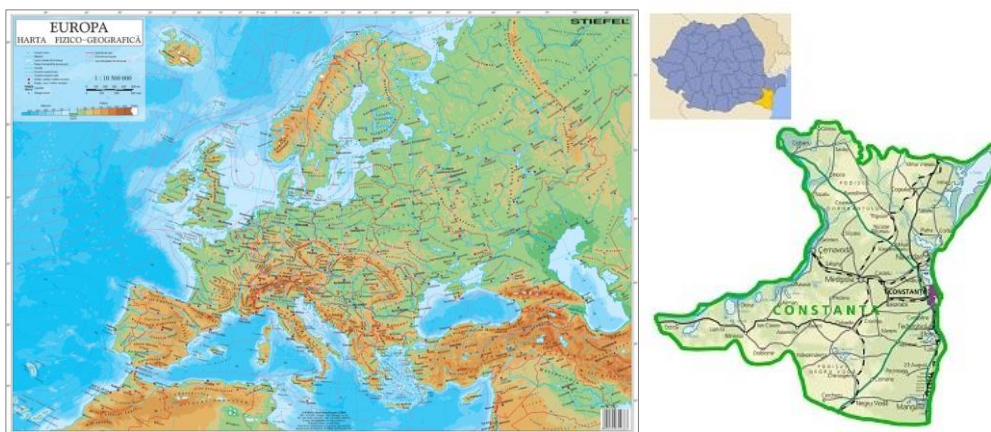


Fig 4.1. Încadrarea în teritoriu a zonei de studiu

Această regiune și-a menținut de-a lungul timpului un rol major pentru tranzitul fluxurilor comerciale din Asia către Europa și pentru rutele de transport continental nord-sud ce leagă Marea Baltică de Marea Neagră. Interesele economice legate de descoperirea imenselor rezerve de petrol și gaze naturale din Caucaz și Asia Centrală au transformat Bazinul Mării Negre într-o miză geostrategică disputată

în marile capitale ale lumii. Mai mult, România are avantajul geografic oferit de accesul la gurile Dunării. Podul peste canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea interconectează litoralul românesc cu restul țării, pe traseul cel mai scurt.

Datorită poziției geografice și geopolitice a țării noastre pe harta Europei, România joacă un rol extrem de important în economia europeană, fiind situată la intersecția a trei zone geopolitice și geostrategice europene de importanță deosebită (Europa Centrală, Europa de Sud și Europa Răsăriteană), motiv pentru care alinierea la standardele europene și internaționale în ce privește infrastructura țării este o condiție obligatorie.

#### **4.1.2. Obiective stabilite prin Programul de Guvernare 2013-2016 și Programul Operațional Infrastructură Mare 2014-2020**

Obiectivul general al strategiei în domeniul proiectelor de infrastructură prioritare îl reprezintă asigurarea condițiilor financiare, procedurale și contractuale adecvate demarării și finalizării cât mai rapide a acelor investiții majore care au un impact economic și social imediat și care rezolvă probleme acute ce au în prezent un impact negativ asupra calității vieții cetățenilor [57] și a economiei naționale. [110]

Strategia privind infrastructura rutieră din România vizează crearea unui sistem eficient de gestionare și întreținere a tuturor drumurilor naționale, dezvoltarea regională echilibrată, preluarea eficientă a traficului, eliminarea decalajelor, în vederea îmbunătățirii calității vieții.

În particular, este prevăzută asigurarea continuității programului de reabilitare a podurilor și pasajelor, din fonduri europene și fonduri extrabugetare. Programul de guvernare 2013-2016 include pe lista principalelor proiecte reabilitarea infrastructurii pe canalul Dunăre - Marea Neagră, prin absorbția de fonduri europene.

Obiective strategice stabilite prin Programul Operațional Infrastructură Mare 2014-2020 pun accentul pe eficientizarea sistemului de transport, modernizarea infrastructurii la punctele de frontieră, siguranța rutieră și alinierea la normele europene. De asemenea, se vizează eliminarea blocajelor din cadrul infrastructurii rețelelor majore și promovarea sistemelor de transport durabile. [111]

#### **4.1.3. Stadiul actual al rețelei de transport rutier**

Una dintre problemele majore ale României, semnalată în cadrul Programului de guvernare 2013 -2016, Mari Proiecte de Infrastructură, cu impact negativ asupra stării economice și sociale a țării, este absența unei rețele satisfăcătoare de transport rutier rapid (autostrăzi și drumuri expres).

România are în acest moment puțin peste 500 de kilometri de autostradă în operare și aproximativ 250 de kilometri de autostradă în construcție. În privința rețelei de drumuri convenționale, se poate afirma că doar 35% din totalul de drumuri naționale și 15% din drumurile județene se află într-o stare bună sau foarte bună. [110]

Restul drumurilor, care alcătuiesc rețeaua de infrastructură rutieră a României, ridică probleme semnificative cu privire la stabilitatea lucrărilor de artă, planeitatea sau capacitatea portantă. Mai mult, anumite tronsoane de drum, reabilitate sau modernizate în ultimii 20 de ani, au suferit degradări importante din cauza activităților de mentenanță necorespunzătoare.

#### 4.1.4. Norme europene - EUROCODE

Ansamblul de norme EUROCODE uzitează un concept de siguranță semiprobabilist, bazat pe stări limită. Inițiativa de elaborare a unor norme internaționale pentru proiectarea structurilor a luat naștere încă din anul 1974. Prin Eurocoduri s-a urmărit o armonizare la nivel european a principiilor cadru din domeniul construcțiilor ingineresti, pe mai multe direcții, respectiv tipuri de construcții ingineresti, materiale de construcții, metode de construcție, obținerea unor nivele de fiabilitate comparabile. Normele europene oferă un sistem complex și complet de metode și elemente specifice de proiectare. [121]

Conceptul de siguranță probabilist adoptat de EUROCODE distinge patru categorii de mărimi care intervin în siguranța unei structuri:

- acțiunile exterioare (acțiunea temperaturii, umidității, încărcărilor, a forței de pretensionare);
- concepția constructivă și calculul static (influența modelului de calcul ales);
- rezistența materialului;
- execuția și întreținerea (influența imperfecțiunilor).

### 4.2. Descrierea elementelor constructive ale podului

Structurile hobanate sunt construcții ingineresti speciale, concepute pentru acoperirea unor deschideri mari și foarte mari. În cazuri bine justificate, acest tip de structură poate fi aplicată și în cazul unor deschideri medii. [71]

#### 4.2.1. Elementele suprastructurii podului

Podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră amplasat la Agigea, pe DN 39 la km 8 + 988, este un pod hobanat, nesimetric, cu un singur pilon amplasat pe malul stâng al canalului, spre Constanța.

**Suprastructura** podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră la Agigea are lungimea totală de 269,50m, compusă din două părți distincte, separate între ele printr-un rost de dilatație cu deschiderea de 15cm și anume o structura hobanată, spre Constanța, care acoperă cele trei deschideri de 44,00m, 40,50m și 162,00m și o structură independentă, spre Mangalia, având lungimea de 23,00m, care asigură traversarea DN 39 peste drumul de pe malul drept al canalului. [80]

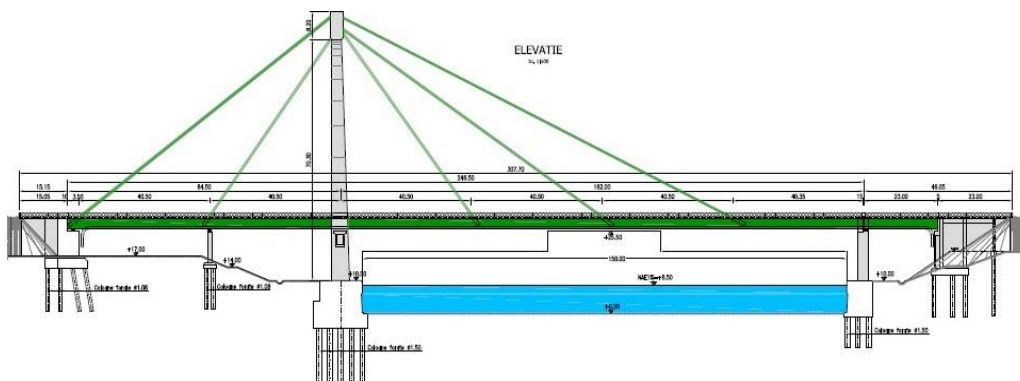


Fig. 4.2. Soluția finală proiectată. Elevație [99]

**Calea pe pod** este prevăzută cu o parte carosabilă având lățimea de 14,80m aferentă celor patru benzi de circulație, cu două trotuare laterale având lățimea de 1,50m fiecare și două spații amplasate între partea carosabilă și trotuare având lățimea de 1,30m fiecare pentru ancorarea hobanelor în tablier.

Suprastructura podului hobanat are o *structură de rezistență mixtă cu conlucrare*, alcătuită dintr-un tablier metalic în conlucrare cu platelajul din beton armat, susținută de hobane ancorate în pilon și tablier.

**Tablierul** metalic al structurii hobanate este format dintr-o rețea de grinzi longitudinale (grinzi principale și lonjeroni) și transversale (antretoaze). Grinzile principale ale podului hobanat sunt continue pe cele trei travei. În plan longitudinal, tablierul metalic al podului este împărțit în cinci panouri principale cu lungimea de 40,50m fiecare, corespunzând rezemării pe infrastructură sau secțiunilor de sprijinire prin hobane. În plan transversal, tablierul este format din două grinzi principale gemene, cu două inimi dispuse la 2,00m distanță interax și trei lonjeroni intermediari. Distanța dintre axele grinzilor principale este de 14,00m, iar distanța dintre lonjeroni și respectiv dintre lonjeronii laterali și axele inimilor interioare ale grinzilor principale este de 4,00m.

Tablierul suprastructurii este susținut de câte cinci hobane situate pe fiecare parte a acestuia, legate de tablier la distanțe egale de câte 40,50m lungime. Înspre Constanța, legăturile hobanelor cu tablierul sunt amplasate în dreptul culeii și în dreptul pilei de pe malul stâng. În partea opusă, spre Mangalia, legăturile hobanelor cu tablierul sunt amplasate în dreptul culeii de pe malul drept. Legăturile hobanelor din deschiderea principală peste canal sunt amplasate la distanțe egale în câmpul deschiderii principale. Tablierul independent cu lungimea de 23,00m are o alcătuire asemănătoare cu cea a tablierului hobanat, deosebindu-se doar prin modul de dispunere al elementelor în secțiune transversală și prin dimensiunile pieselor componente ale acestor elemente. Suprastructura are astfel o lățime totală de 20,90m pe structura hobanată și de 17,80m pe structura independentă. [109]

**Hobanele** sunt formate din pachete de fascicule, alcătuite din câte 48 de sârme paralele din SBP I, cu diametrul de 5mm, dispuse de o parte și de alta a tablierului podului hobanat, în sistem „evantai”.

Hobanele au alcătuirii diferite, în funcție de solicitările maxime rezultate din calculele de rezistență, după cum urmează:

- **hobanele I** (A1 și A10), din zona culeii Constanța, sunt alcătuite din pachete a câte 24 fascicule, grupate la ancorarea în pilon în două zone de câte 12 fascicule, fiind așezate pe câte 4 coloane a câte 3 rânduri pentru fiecare grupă de 12 fascicule și totalizând un număr de 4 coloane a 6 rânduri de fascicule;
- **hobanele II** (A2 și A9), din zona pilei Constanța, de pe malul stâng al canalului, care leagă mijlocul tablierului dinspre Constanța de pilonul de susținere, sunt alcătuite din câte 10 fascicule, așezate pe 3 rânduri, câte 4 fascicule pe primele două rânduri și câte 2 fascicule pe cel de-al treilea rând;
- **hobanele III** (A3 și A8), din deschiderea principală dinspre pilon, care leagă tablierul dinspre Mangalia la  $\frac{1}{4}$  din deschidere cu pilonul de susținere, sunt alcătuite, la fel ca și hobanele A2, din câte 10 fascicule, așezate pe 3 rânduri, câte 4 fascicule pe primele două rânduri și câte 2 fascicule pe cel de-al treilea rând;
- **hobanele IV** (A4 și A7), care leagă tablierul dinspre Mangalia la mijlocul deschiderii principale, sunt alcătuite din câte 16 fascicule, așezate câte 4 bucăți pe 4 rânduri;

- **hobanele V** (A5 și A6), din deschiderea principală dinspre culeea Mangalia, care leagă tablierul dinspre Mangalia la  $\frac{3}{4}$  din deschidere cu pilonul de susținere, sunt alcătuite din câte 20 fascicule, așezate câte 4 bucăți pe 5 rânduri.



**Fig. 4.3. Dispunerea hobanelor**

Fasciculele din componența hobanelor sunt protejate fiecare în parte de țevi metalice, iar pachetele de fascicule sunt prevăzute cu legături de prindere metalice între fascicule.

*Ancorarea* fasciculelor care alcătuiesc hobanele s-a realizat cu ancoraje fixe inel-condublu la capetele inferioare, adică la prinderile de tablier și cu ancoraje ajustabile cu bulbi la capetele superioare, la prinderile din pilon, acestea din urmă permițând reglarea periodică ulterioară a eforturilor. Ancorajele fixe sunt aranjate în casete metalice speciale cu secțiune dreptunghiulară, amplasate adiacent inimilor laterale exterioare ale grinzilor principale, în timp ce ancorajele ajustabile sunt amplasate în zona de capăt a pilonului cu înălțimea de 8,20m. Ancorajele fixe au fost betonate la faza de execuție, pentru a asigura o mai bună protecție anticorozivă. Nu există posibilitatea de a viziona aceste ancoraje.

În raport cu amplasarea hobanelor, ancorajele se află pe partea opusă a pilonului, ceea ce înseamnă că toate hobanele străbat întreaga grosime a pilonului până la ancoraje. Trecerea hobanelor prin corpul pilonului se face prin intermediul unor construcții metalice speciale, înglobate în corpul capului pilonului, prevăzute cu două camere și anume:

- *camera ancorajelor*, amplasată pe fața opusă a pilonului în raport cu hobana respectivă, prevăzută cu un capac demontabil pentru a permite inspecția ancorajelor și reglarea tensiunii din hobane;
- *camera de trecere*, amplasată pe fața opusă ancorajelor respective, pe partea hobanei, prevăzută cu câte două capace demontabile laterale de vizionare a stării tehnice a sârmelor hobanelor la intrarea în corpul capului pilonului.

#### 4.2.2. Elementele infrastructurii podului

**Infrastructura** podului este alcătuită din cele *două culei* masive situate la capetele podului, din *pila intermediară* de pe malul stâng al canalului, din *pila-culee* de pe malul drept al canalului, care separă podul hobanat de traveea independentă și din *pilonul podului* hobanat de pe malul stâng al canalului, care este elementul principal de infrastructură, deoarece preia cea mai importantă parte din încărcarea provenită de la suprastructură.

*Pilonul podului*, având forma literei A, are elevația alcătuită din doi stâlpi casetați din beton armat cu secțiune variabilă, uniți la capătul superior al pilonului. Sub nivelul tablierului, cei doi stâlpi ai pilonului sunt legați cu o riglă casetată din beton armat, care constituie și bancheta de rezemare a tablierului de suprastructură al podului hobanat cu aparate de reazem fixe.

Într-unul din golurile stâlpilor de pilon este amenajată scara de acces către capătul pilonului, unde sunt amplasate ancorajele ajustabile. În caseta celuilalt stâlp de pilon este amenajată o platformă ridicătoare cu acționare mecanică pentru personal și materiale. Înălțimea elevației pilonului este de 78,50m. Capul pilonului, cu o înălțime de 8,20m, a fost executat după montarea hobanelor în structură.

### 4.3. Considerații privind execuția și exploatarea podului

#### 4.3.1. Scurt istoric

Canalul Dunăre - Marea Neagră este parte componentă a importantei căi navigabile europene dintre Marea Nordului și Marea Neagră, respectiv a Canalului Main - Dunăre, care asigură legătura cea mai scurtă dintre porturile Rotterdam și Constanța. Folosind această rută, mărfurile din Australia și Orientul Îndepărtat, destinate Europei Centrale, își scurtează drumul cu 400 kilometri. Canalul Dunăre - Marea Neagră asigură legătura între porturile Cernavodă de pe Dunăre și porturile Constanța, Midia Năvodari de la Marea Neagră.

Podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea a fost realizat în cadrul investiției "Canal Dunăre - Marea Neagră", cu scopul restabilirii continuității drumului național DN 39 Constanța - Mangalia întreruptă de execuția canalului. Acesta face parte din grupul celor patru poduri rutiere cu structuri speciale, care asigură traversarea principalelor drumuri peste canal (podul combinat de cale ferată și șosea de la Cernavodă pe DN 23C, podul de șosea de la Medgidia pe DJ 223, podul de șosea de la Murfatlar pe DN 3 și podul de șosea de la Agigea pe DN 39).

Pentru o mai bună înțelegere a realizării și alcătuirii acestui pod cu structură specială, precum și în comprehensiunea evoluției în timp a structurii, este necesară cunoașterea perioadei și condițiilor în care a fost conceput și executat.

Podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea a fost construit în perioada anilor '80, fiind dat în folosință pe data de 6 mai 1983, după efectuarea testelor și a încercării "in situ" a structurii de rezistență cu convoaie de probă, conform proiectului de încercare.

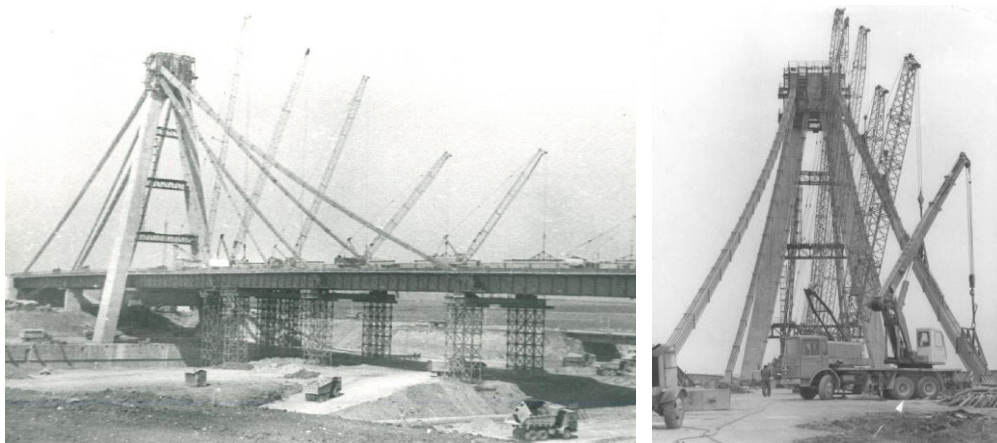
Soluția inițială pentru traversarea drumului național DN 39 Constanța - Mangalia peste canal consta într-un pod peste ecluza Agigea, paralel cu podul de cale ferată existent. Pentru realizarea acestei soluții de traversare (pod rutier juxtapus cu podul de cale ferată pe uvrajele ecluzei Agigea), drumul național DN 39 urma să fie deviat local de la traseu pe o variantă ocolitoare cu lungimea de aproximativ 4km, ocupând o suprafață de teren agricol semnificativă. Cum politica

României de la acea vreme se împotriva expropriilor de teren agricol, președintele a cerut ca traversarea canalului să se facă pe traseul existent al drumului, fără nicio abatere de la acesta. Lucrările de execuție a canalului fiind începute în această zonă, s-a solicitat ca proiectul pentru această traversare să se elaboreze într-un timp foarte scurt.

Condiția principală în proiectarea podului a fost ca traversarea peste canal să se facă fără pilă în albia canalului, adică deschiderea să fie minim 160m, ceea ce presupunea o soluție specială pentru structura podului. În aceste condiții, la recomandarea unor specialiști de la acea vreme, s-a considerat că soluția cea mai eficientă ar fi o structură hobanată cu tablier mixt cu conlucrare. Întocmirea unui proiect de o asemenea anvergură, într-un interval de timp atât de scurt, nu putea fi decât superficială, dat fiind faptul că a fost și prima structură de acest gen din țară.

Structura podului hobanată de la Bratislava a fost modelul care a stat la baza alegerii acestei soluții tehnice pentru podul de la Agigea, fiind dat în folosință cu puțin timp înainte. Acesta este contextul în care a fost proiectat un pod hobanată similar, nesimetric, cu un pilon amplasat pe malul stâng al canalului, având două deschideri, de 80m și respectiv de 160m, cu câte 5 hobane în două planuri laterale, dispuse la distanțe egale a câte 40m. Lățimea canalului în zona traversării era prevăzută a fi de 150m. Podul era prevăzut și cu o deschidere adiacentă de 23m, pentru traversarea drumului din lungul canalului.

Proiectantul a ales această soluție constructivă, motivând prin faptul că soluțiile cu arce tip Langer sau Nielsen sunt eficiente pentru deschiderile de maximum 150m, iar pentru deschideri de peste 150m devin eficiente structurile hobanate. Astfel, a fost avizată soluția de pod hobanată la Agigea cu deschiderea principală peste canal de 162m. Deschiderea de 162m în loc de 160m a fost solicitată de șeful de proiect, pentru a deveni cea mai mare deschidere de pod rutier din țară. [109]



**Fig. 4.4. Imagini din timpul execuției podului**

În domeniul construcțiilor, perioada comunistă a avut un impact negativ asupra durabilității și siguranței construcțiilor în exploatare, întrucât reducerea costurilor de investiție prin diminuarea cantităților de material utilizat comparativ cu cele din normative și utilizarea unor materiale de calitate inferioară, mai ieftine, era o practică uzuală. Mai mult, conducerea statului pleda pentru realizarea unor

structuri grandioase, în timp foarte scurt, ignorând deseori prevederile normelor tehnice de execuție și făcând rabat de la calitate.

Importanța acestor aspecte este maximizată de starea actuală de degradare a Podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, care își pierde aptitudinea de exploatare sub acțiunea unor factori extrinseci, a căror analiză este absolut necesară în vederea stabilirii unui diagnostic real și identificării unor soluții viabile de remediere a defecțiunilor și punere în siguranță a structurii. Astfel, pe lângă factorii considerați principali, precum uzura normală a materialelor ca urmare a îmbătrânirii lor, interacțiunea cu mediul ambiant, tehnologic și natural și lipsa măsurilor de intervenție adecvate, trebuie luați în considerare și factorii correlativi, precum calitatea necorespunzătoare a materialelor de construcție utilizate și modul de punere în operă al acestora.

Podul hobanat peste Canalul Dunăre - Marea Neagră la Agigea constituie o lucrare de artă remarcabilă și o realizare de excepție a proiectanților și constructorilor români, cu caracteristicile și limitările imanente ale perioadei comuniste în care a fost executat.

#### **4.3.2. Punerea în funcțiune a podului**

Podul de la Agigea are o structură hobanată cu hobane alcătuite din pachete de fascicule din sârme paralele din SBP I, fiind primul și până recent, unicul pod rutier de acest gen din țară.

Montarea tablierului în amplasament s-a efectuat prin lansare de la ambele capete pe direcția traseului căii, pe căi de rulare corespunzătoare amenajate pe rampele podului și pe dispozitive de rulare amplasate pe infrastructurile definitive ale podului și pe suporturi provizorii amplasați în albia canalului neinundabil încă, deci pe uscat, în dreptul susținerilor cu hobane. După unirea celor două părți de tabliere s-a efectuat joantarea acestora. [109] Îmbinarea tronsoanelor grinzilor metalice principale s-a realizat cu buloane de înaltă rezistență pretensionate, iar conlucrarea tablierului metalic cu platelajul din beton armat s-a făcut cu conectori metalici de tip dorn. Pilonul realizat din beton armat a fost executat în cofraje cățărătoare. Infrastructura a fost fundată pe piloți forajați de 1,08m diametru. [122]

Protecția antirorozivă a tablierului s-a realizat doar cu miniu de plumb, denumit și grund, conform procedurilor de la acea vreme. Stratul de vopsea decorativă a fost aplicată doar după montarea definitivă a structurii de rezistență în amplasamentul final.

În partea superioară a pilonului cofrajul nu a mai funcționat corespunzător din cauza execuției incorecte a confecțiilor metalice ale echipamentelor de ridicare, dar și din cauza dispozitivelor de ridicare, care nu mai funcționau la capacitatea proiectată, în urma nerespectării prevederilor din proiect.

Una din particularitățile podului este că asamblarea și montarea hobanelor s-a realizat după o tehnologie proprie a constructorului. Asamblarea fasciculelor componente ale hobanelor în pachete corespunzătoare s-a efectuat direct pe platforma platelajului podului deja executat. Realizarea pachetelor de hobane s-a făcut succesiv, în ordinea montării în structură, începând de la hobanele cele mai apropiate de pilon, de o parte și de alta a acestuia. După montarea tuturor celor 10 hobane, s-a procedat la armarea și turnarea betonului în capătul pilonului. Pe acest capăt erau amenajate atât schele pentru susținerea construcțiilor metalice ale camerelor de ancorare și de vizitare, cât și schele de acces și de lucru exterioare pilonului, care s-au păstrat și după darea în folosință a podului, afectând aspectul estetic al acestuia. Motivul pentru care schelele provizorii au rămas în lucrare a fost



pentru asigurarea accesului la ancorajele de pe pilon în vederea efectuării inspecțiilor și intervențiilor de întreținere. Fiind considerate elemente provizorii, schelele au avut o protecție corozivă precară, fiind afectate sever de coroziune în timp și punând în pericol siguranța accesului la ancoraje.

Calea pe pod a fost executată când tablierul mixt cu conlucrare rezema încă pe suportii provizorii din amplasamentul albiei minore a Canalului Dunăre – Marea Neagră. Tot pe această schemă de rezemare s-a realizat și tensionarea fasciculelor componente ale hobanelor. Prima etapă de tensionare, cu aproximativ 10% din efortul maxim de exploatare, s-a efectuat fir cu fir. Cea de-a doua etapă de tensionare s-a efectuat fascicul cu fascicul, prin tragerea simultană a tuturor firelor dintr-un fascicul.

Deși conform proiectului tehnic s-a prevăzut utilizarea unui beton ușor, BU 450, pentru platelajul de pe deschiderea principală, acest lucru nu s-a realizat, motivat de ritmul accelerat al execuției obiectivului, care nu a permis procurarea acestui material. [109] Acesta este unul dintre motivele principale care a stat la baza declanșării fenomenului de instabilitate al podului cu mult înainte de expirarea duratei de viață estimate, podul fiind proiectat pentru o durată de exploatare de 50 de ani, iar podul a devenit un pericol real după numai 30 de ani de exploatare.

În anul 1983 a fost montat și lansat în deschidere tablierul metalic, a fost realizată placa de carosabil din beton armat și sistemul rutier pe pod. În trimestrul trei al anului 1983 a început punerea sub tensiune a hobanelor. Podul a fost supus încercărilor și verificărilor corespunzătoare sub un convoi de calcul, după care, în aprilie 1984, a fost deschis circulației. Lucrările de construcție ale podului de la Agigea au durat efectiv patru ani. [122]

### 4.3.3. Întreținerea în exploatare a podului

Odată cu elaborarea proiectului de execuție au fost întocmite și *“Instrucțiunile tehnice de întreținere în exploatare”*, care cuprindeau prescripții precise pentru supraveghere, revizii și intervenții în exploatare. Aceste prescripții au fost respectate cu rigurozitate până în anul 1990, ulterior activitatea de monitorizare fiind diminuată din lipsa fondurilor de întreținere. În anul 1993 au fost elaborate noi instrucțiuni denumite *“Proceduri tehnice de proces pentru întreținerea și exploatarea podurilor”*.

Podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea a beneficiat de anumite îmbunătățiri în timp, precum: înlocuirea schelei de acces la ancorajele ajustabile de pe capul pilonului; înlocuirea elementelor componente ale căii, printre care și dispozitivele de acoperire a rosturilor de racordare; vopsirea tablierului metalic, a elementelor metalice de protecție a fasciculelor din SBP I și a ancorajelor acestora; schimbarea substanței de protecție împotriva coroziunii a sârmelor, acest procedeu fiind efectuat ultima dată în anul 1992. [109]

De asemenea, au existat preocupări privind urmărirea comportării în timp a podului și verificarea în exploatare, cu accent asupra verificării stării hobanelor și a stării de tensiune din aceste elemente, dar acestea au avut un caracter sporadic.

În urma expertizelor efectuate după anul 2008, s-a instituit procedura de verificare săptămânală prin desfacerea capacelor de la camerele ancorajelor și vizualizarea stării sârmelor componente ale hobanelor, activitate concretizată prin întocmirea unor fișe de inspecție săptămânale. Din analiza acestor fișe s-a constatat că un număr mare de sârme au devenit nefuncționale. Acest aspect a fost alarmant, fiind constatată ulterior viteza de propagare a ieșirii din funcțiune a acestor

elemente. Lucrările de reabilitare executate necorespunzător au contribuit la pierderea aptitudinii de exploatare a podului.

#### 4.4. Urmărirea "in situ" și măsuri de intervenție

##### 4.4.1. Prevederi legislative

Conform STAS 2745-90, *Urmărirea tasărilor construcțiilor prin metode topografice*, obligativitatea urmăririi tasărilor se instituie la construcții care prezintă fisuri, crăpături, deplasări, denivelări, înclinări, care pot fi atribuite terenului de fundare, la modificări semnificative ale condițiilor de exploatare, după anumite calamități naturale: inundații, seisme, alunecări de teren și la construcții fundate pe pământuri în apropierea cărora există riscul producerii unor supraîncărcări importante ale terenului de fundare.

Urmărirea curentă a comportării "in situ" a construcțiilor are drept scop depistarea din timp a fenomenelor premergătoare apariției unor stări de degradare periculoase și adoptarea din timp a măsurilor necesare stopării dezvoltării lor. Urmărirea curentă și măsurile de intervenție care decurg din aceasta exprimă grija pentru păstrarea stabilității și siguranței construcțiilor, intrând în responsabilitatea beneficiarului.

Urmărirea specială a comportării "in situ" a construcțiilor implică, pe lângă constatarea stării tehnice de moment a construcției și a consecințelor asupra aptitudinii pentru exploatare a acesteia, inclusiv depistarea cauzelor generatoare a transformărilor pe care le suportă. În plus, ea implică și capacitatea de a efectua cercetările necesare stabilirii diagnosticului și de a propune soluții constructive adecvate și măsuri de asigurare a acesteia în viitor, prin rapoarte de expertiză, pe baza constatărilor făcute asupra stării tehnice a construcției.

Astfel, urmărirea comportării "in situ" a construcțiilor îmbracă două forme: *urmărirea curentă* a tuturor construcțiilor, fără excepție și *urmărirea specială* a anumitor construcții, selectate pe considerente de risc (construcții aflate în stare tehnică precară, construcții aflate în condiții de mediu periculoase, construcții de importanță deosebită, construcții realizate cu soluții noi, inovative, ș.a.). [31]

Intervențiile pe construcții îmbracă, la rândul lor, tot două forme: *intervenții de mentenanță*, care cuprind întreținerea și reparațiile și *intervenții de reabilitare*, care cuprind renovarea și restructurarea. În timp ce intervențiile de mentenanță urmăresc doar menținerea stării tehnice a construcției la nivelul celei existente la recepția acesteia, intervențiile de reabilitare presupun modificări de aspect sau de structură, care să îmbunătățească starea tehnică a construcției și să-i confere noi calități.

Selectarea construcțiilor supuse urmăririi speciale se face ținând seama de riscul potențial pe care construcția în sine îl reprezintă pentru mediul înconjurător. În acest sens se iau în considerare: importanța construcției, gradul (zona) seismică (conform P 100/92), repetabilitatea construcției, caracteristici ale infrastructurii și suprastructurii, factori de mediu exteriori (calitatea terenului de fundație, infiltrații, agresivitatea apelor subterane, umiditatea subterană, inundații, mediu coroziv exterior, valori absolute extreme ale temperaturii, încărcări din zăpadă, acțiunea vântului), factori de mediu interiori (umiditate interioară, poluarea interioară, variația temperaturii interioare, acțiuni biologice și biochimice), calitatea și particularitățile proiectării, respectarea reglementărilor actuale în special privind protecția antiseismică pentru construcțiile în exploatare, existența proiectelor și

calculului pentru construcțiile în exploatare, existența datelor asupra istoricului construcției și evoluției degradărilor, existența detaliilor constructive și ale instalațiilor, calitatea materialelor de construcție puse în operă, date privind modul de execuție (respectarea proiectului de execuție, adaptarea la teren a proiectului, calitatea materialelor, tehnologii de execuție, întreruperi de execuție, exercitarea controlului în timpul execuției, respectarea proiectului de urmărire a comportării în timpul execuției, executarea încercărilor de probă importante), date privind modul de exploatare (solicitări în exploatare, respectarea destinației, informații bazate pe urmărirea comportării în timp, prezența degradărilor vizibile, lucrări de reparație și întreținere, consolidări, vârsta construcției, numărul și intensitatea seismelor majore suportate, incendii, explozii, distrugerii datorate operațiilor militare, modul de funcționare a echipamentelor de întreținere și protecție, vibrații și șocuri din funcționarea utilajelor, vibrații și șocuri din activitatea din zonă), factori de risc uman, ecologic, economic (risc pentru populația din zona și pentru ocupanții construcției, risc ecologic asupra mediului, valoarea economică a construcției, valoarea culturală și istorică, valoarea construcțiilor și investițiilor din zonă), alți factori care influențează riscul prezentat de construcție (grad de asigurare la incendii a clădirii și a zonei construite, starea sistemelor de avertizare și alarmare, calitatea sistemelor de limitare a efectelor accidentelor, ventilarea construcțiilor subterane, evacuarea apelor din infiltrații, poluarea biologică, sisteme de evacuare a oamenilor și bunurilor), factori cu influență asupra gradului de confort (asigurarea confortului climatic, protecție la zgomot [78] și vibrații etc).

Scopul urmăririi comportării în timp a construcțiilor este de a obține informații în vederea asigurării aptitudinii construcțiilor pentru o exploatare normală și perfecționării activităților de construcții, evaluarea condițiilor pentru prevenirea incidentelor, accidentelor și avariilor și adoptarea măsurilor ce se impun pentru diminuarea pagubelor materiale, pierderii de vieți omenești și riscului de degradare a mediului (natural, social, cultural).

Activitatea de urmărire a construcțiilor trebuie să fie consemnată printr-un proces verbal, într-un registru de urmărire a comportării construcției, care trebuie să facă parte integrantă din Cartea Construcției. [69]

#### **4.4.2. Analiza stării tehnice a podului prin mijloace specifice urmăririi "in situ"**

În cursul urmăririi curente la poduri, sunt vizate următoarele fenomene:

- schimbări ale poziției construcțiilor în raport cu locul de realizare manifestate prin deplasări vizibile orizontale, verticale sau înclinate ori prin efecte secundare vizibile, precum desprinderea trotuarelor, a scărilor, cu apariția de rosturi, crăpături, smulgeri;
- apariția și dezvoltarea de fisuri și crăpături în zona rosturilor tablierelor sau elementelor căii la drumuri, poduri și podețe;
- schimbări și modificări ale gradului de protecție oferit de construcție în privința etanșeității, izolațiilor fonice, termice, hidrofuge, antivibratorii, anti foc, antiradiante sau estetice, precum umezirea suprafețelor, exfolierea ori crăparea materialelor constructive, infiltrații de apă, lichefierii ale pământului după cutremure, schimbarea culorii suprafețelor, apariția de condens, mucegai, efecte dăunătoare ale vibrațiilor și zgomotului asupra organismelor;
- apariția de gropi, denivelări, șanțuri în îmbrăcămintea drumurilor;

- defecte și degradări apărute în structura de rezistență cu implicații asupra siguranței obiectelor de construcție: fisuri și crăpături, coroziunea elementelor metalice și a armăturilor, defecte manifestate prin pete, fisuri, exfolieri, eroziuni și altele, flambajul unor elemente comprimate sau ruperea celor întinse, slăbirea ori distrugerea îmbinărilor, afuieri ale terenului de fundare la pilele podurilor, distrugerea elementelor din lemn prin putrezire sau din materiale plastice prin atac biologic și altele;
- schimbări în forma obiectelor de construcții prin deformații vizibile verticale, orizontale sau rotiri, îndoirea barelor ori altor elemente constructive, forfecarea sau smulgerea pieselor de prindere, precum nituri și șuruburi ori fisurarea sudurilor;
- deschiderea sau închiderea rosturilor de tasare sau antiseismice dintre părți ale construcției;
- modificări ale poziției și stabilității căii de rulare;
- dereglarea sau blocarea funcționării unor utilaje ori dispozitive, precum lifuri, utilaje și altele;
- defecte și degradări cu efecte în funcționarea elementelor construcțiilor: înfundarea scurgerilor, apariția de zone cu porozitate, fisuri sau crăpături în construcții etanșe destinate depozitării lichidelor;
- umezirea terenului de fundare în cazul construcțiilor fundate pe terenuri sensibile la umezeala și respectarea măsurilor prevăzute pentru îndepărtarea apelor din zona fundațiilor, a măsurilor de izolare a rostului dintre construcție și trotuarul de protecție, integritatea conductelor care transportă lichide;
- se urmăresc elementele construcțiilor supuse unor eforturi deosebite: terase înșorite, căi de rulare ale podurilor supuse unui trafic greu, zone ale construcțiilor supuse la variații de temperatură și umiditate - uscăciune, zone în care se poate acumula și depozita praf, murdărie, apă sau soluții agresive.

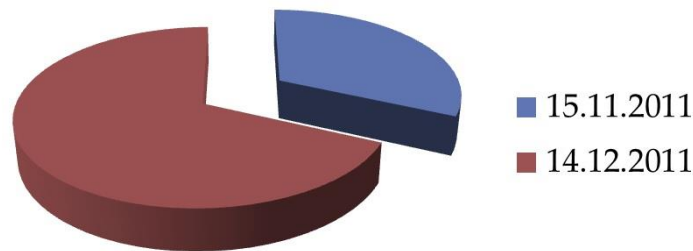
Analiza stării tehnice a hobanelor și implicit a structurii podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea s-a realizat prin mai multe modalități:

- analiza documentației tehnice care a stat la baza realizării lucrării;
- analiza fișelor de inspecție întocmite în urma procedurii de urmărire a stării de degradare a elementelor podului;
- discuții cu personalul implicat în activitățile de întreținere, exploatare și monitorizare a lucrării;
- inspectarea "in situ" a lucrării, cu predilecție asupra stării tehnice a hobanelor;
- calculul computerizat al structurii de rezistență a podului hobanat.

Din **analiza documentației tehnice** care a stat la baza realizării lucrării, s-a observat că la doi ani de la punerea în funcțiune a podului hobanat, respectiv în luna mai a anului 1985, a fost efectuată o reglare a eforturilor de întindere în fasciculele hobanelor. Ca urmare a măsurărilor efectuate în anul 1990, s-a constatat că starea eforturilor din hobane era modificată în mod nesemnificativ, obținându-se valori cuprinse între  $\pm 3\%$  -  $\pm 6\%$ .

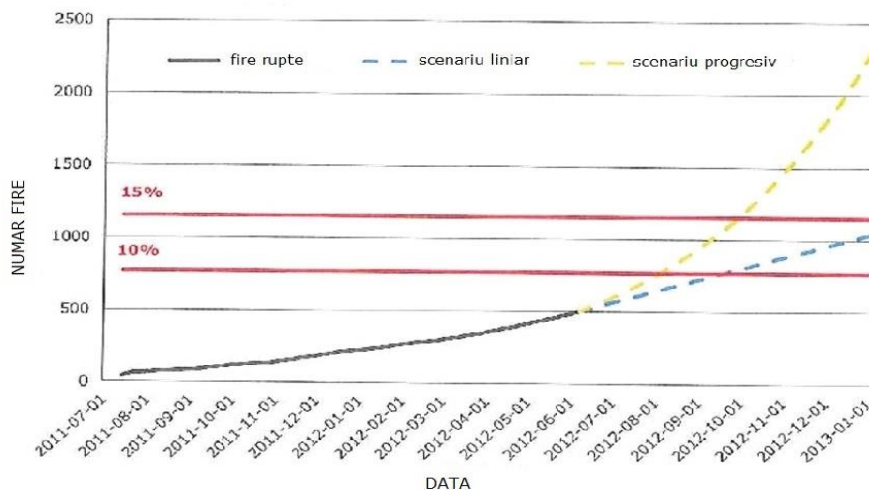
În urma măsurărilor efectuate în luna februarie a anului 1992, s-a constatat o creștere a deformației maxime din deschiderea principală cu 12mm față de măsurătoarea de referință executată în 18 iunie 1983. Această creștere a fost motivată de efectuarea măsurărilor în condiții atmosferice diferite, măsurătorile din anul 1983 fiind executate vara, la temperaturi ridicate, iar cele din 1992 fiind executate iarna.

**Analiza fișelor de monitorizare** a hobanelor din anul 2011 a relevat un nivel îngrijorător al propagării ieșirii din funcțiune a sârmelor din componența fasciculelor care alcătuiesc pachetele hobanelor. Astfel, conform fișelor de monitorizare din 15 septembrie 2011, a fost depistat un număr de 96 de sârme nefuncționale. După numai trei luni, conform fișei de monitorizare din 14 decembrie 2011, numărul acestora a crescut la 206, ceea ce presupune o valoare medie de ieșire din funcțiune de 9 sârme în fiecare săptămână. Procentual, aceste valori se traduc printr-o creștere de 0,95%, de la 1,73% la 2,68% (Fig. 4.5).



**Fig. 4.5. Dinamica ieșirii din funcțiune a fasciculelor hobanelor**

Raportul de monitorizare din 06.06.2012, executat de specialiști din Viena, a arătat stadiul și dinamica ieșirii din funcțiune a firelor din hobane, cu accent pe hobanele A8 și A10, care au prezentat cel mai mare grad de risc. Astfel, în perioada iulie 2011 – iunie 2012 s-a înregistrat o creștere graduală a ruperii sârmelor care alcătuiesc hobanele, de la 2 la 18 fire pe săptămână. Prin acest raport s-a semnalat starea critică a podului datorată nerespectării normelor de proiectare, iar lucrările superficiale de reabilitare, executate necorespunzător, nu au făcut altceva decât să agraveze situația, motiv pentru care procentul firelor rupte din hobane a atins valoarea de 6,54%. Nivelul critic al ieșirii din funcțiune al hobanelor, respectiv 10%, ar fi fost atins la sfârșitul lunii august a anului 2012 (Fig. 4.6.).



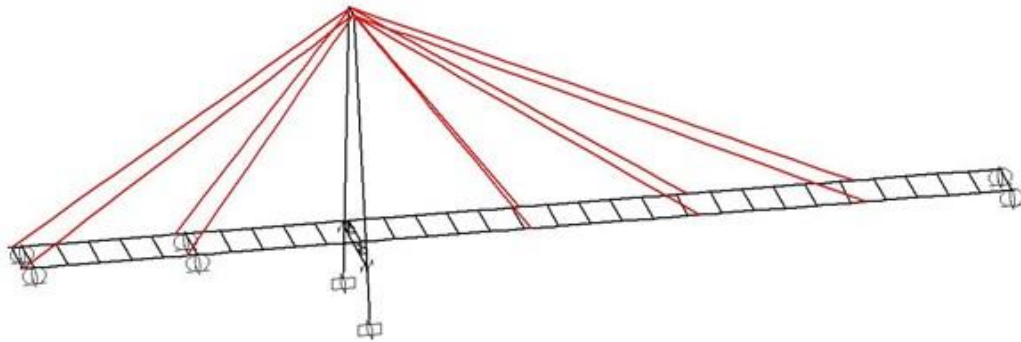
**Fig. 4.6. Prognoza ieșirii din funcțiune a firelor din hobane**

**Inspectarea "in situ"** a lucrării, în vederea observării stării tehnice a hobanelor și a ancorajelor vizibile din capătul pilonului, s-a efectuat săptămânal. Analiza a fost realizată de către personalul de specialitate prin desfacerea capacelor de la camerele de ancorare pentru identificarea sârmelor nefuncționale (Fig. 4.7.).



**Fig. 4.7. Inspectarea "in situ" a ancorajelor din capătul pilonului**

**Calculul computerizat al structurii podului hobanat** s-a efectuat de către inginerii constructori în vederea efectuării unor estimări și previziuni prin prelucrarea statistică a datelor și încercări pe modele de calcul (discretizare), dar și pentru a identifica măsurile de intervenție optime ce trebuie adoptate în vederea asigurării aptitudinii în exploatare, în funcție de rezervele de capacitate portantă și de durata de viață remanentă (Fig. 4.8).



**Fig. 4.8. Schema discretizării structurii de rezistență a podului hobanat**

Calculul structurii s-a efectuat ținând cont de tehnologia de execuție și de încărcările utile luate în considerare la proiectarea podului, dar și de convoaie europene, acesta corespunzând **clasei "E" de încărcare**, respectiv **categoriei de importanță "B" - construcții de importanță deosebită**, conform Regulamentului (capitolul II, articolul 6) din 21.11.1997, aprobat de Guvern prin HGR 766/1997 și normativului P100/2006.

Prin calculele efectuate s-a urmărit starea de eforturi din hobane și din tablierul metalic în cele mai solicitate secțiuni (pe reazemul de pe pilon și în

deschiderea principală). De asemenea, s-a calculat săgeata, respectiv deformația maximă, în deschiderea principală pentru toate cazurile de încărcări analizate.

Astfel, pentru podul neîncărcat au rezultat următoarele valori:

- deformația maximă (săgeata) tablierului metalic în deschiderea principală este - 253,2mm, dar a fost preluată la uzinare prin contrasăgeată;
- deformația maximă a pilonului este de 120,9mm spre deschiderea principală.

#### 4.4.3. Cauzele producerii fenomenului de instabilitate

Nolens-volens, sub efectul interacțiunii cu mediul ambiant, natural și tehnologic, rezistența și stabilitatea construcțiilor se diminuează. Structurile sunt supuse degradării continue, lente, rapide sau accidentale, pierzându-și în timp din calitățile inițiale. Depistarea timpurie a deficiențelor prin urmărirea comportării "in situ" a construcțiilor și identificarea fenomenelor declanșatoare, contribuie la prevenirea incidentelor, accidentelor și avariilor, oferind posibilitatea adoptării unor măsuri de intervenție, mentenanță sau reabilitare, capabile să redea sau să perfecționeze calitățile pierdute prin degradare.

Studiul formelor de manifestare a construcțiilor sub acțiunea mediului ambiant și a condițiilor de exploatare, presupune cercetarea unei varietăți de elemente care se întrepătrund. Astfel, se impune analiza factorilor externi care influențează materialele din componența elementelor care alcătuiesc construcția, precum metalul și betonul și a cauzelor particulare, determinate de modalitatea de execuție a lucrării. Caracteristicile zonei în care este situat amenajamentul construcției au o relevanță deosebită.

În funcție de durată, acțiunea factorilor care influențează stabilitatea construcțiilor poate fi clasificată în *permanentă* și *temporară*.

Așadar, deplasările și deformațiile podului sunt consecința încărcărilor care acționează asupra sa:

- încărcări datorate influenței factorilor perturbatori externi, de natură meteorologică și/sau tectonică (vânt, temperatură, precipitații, seisme);
- încărcări provenite din greutatea proprie a structurii (tasările inegale ale podului conduc la apariția deformațiilor);
- încărcări utile impuse de destinația funcțională a construcției (trafic).

Elementele cauzale, care au condus la slăbirea rezistenței Podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, pot fi grupate astfel:

- *cedare datorată proiectării* (structura în ansamblu, inclusiv fundația sau componente ale structurii, nu pot prelua acțiunile locale conform criteriilor de proiectare);
- *cedare datorată depășirii valorilor încărcărilor* (condițiile locale de încărcare depășesc încărcările anticipate);
- *cedare datorată execuției construcției* (execuția necorespunzătoare a construcției, calitatea inferioară a materialelor de construcție);
- *cedare prin deteriorare* (rezultatul deteriorărilor successive ale construcției, lipsa programului de întreținere).

##### 4.4.3.1. Factorii care generează degradarea betonului

Factorii ce conduc la apariția deformațiilor structurilor din beton prezintă o varietate însemnată, astfel că este foarte dificil să se facă o apreciere exactă a ordinului de mărime a contribuției fiecăruia dintre aceștia.

Betonul, sub acțiunea compușilor chimici existenți în natură, în ape sau în aer, suferă diverse forme de degradare. Printre cei mai importanți agenți chimici se numără: apa și aerul de mare, hidroxidul de magneziu care scade proprietatea liantă, compușii de amoniu care scad rezistența mecanică, sulfații care produc mărimi de volum ce conduc la fisurări și dislocări în masa de beton, ionii clorurați care scad pH-ul betonului sub 9, corodează armăturile și exfoliază betonul, apa dulce care spală varul liber din ciment creând un sistem poros, iar șirurile alcaline cristalizează în compuși care expandează betonul.

Semnele unui atac chimic constau în dezagregările suprafețelor elementelor, mărirea fisurilor și a rosturilor, dislocări generale ale maselor de beton, umflări.

Deformațiile betonului se dezvoltă pe direcția de acțiune a încărcărilor, ceea ce permite analiza fenomenului pe baza interdependenței dintre eforturile unitare și deformațiile corespunzătoare. Astfel, o influență deosebită are volumul, direcția de curgere și consistența apei din canal, presiunea de împingere a apei asupra infrastructurii podului, acțiunea vibrațiilor și a seismelor, variațiile de temperatură și umiditate, care produc dilatări sau contracții ale betonului și umflări sau contracții ale terenului de fundare, vânt, praf, zgomot.

Sub acțiunea încărcărilor exterioare, betonul prezintă deformații elastice și plastice, care depind de natura, mărimea și durata solicitării, dar și de structura, compoziția și vârsta betonului.

O deficiență majoră apărută încă din faza de execuție constă în utilizarea unui beton necorespunzător în raport cu necesarul stabilit prin proiectul tehnic. Conform acestuia s-a prevăzut utilizarea unui beton ușor BU 450 pentru platelajul de pe deschiderea principală, care susține calea podului și transmite sarcinile la grinzile podului. Mai mult, starea de degradare a podului a fost înrăutățită de lucrările de reabilitare executate necorespunzător, prin așternerea unor straturi succesive de asfalt și acoperirea rosturilor de dilatație, care au condus la supraîncărcarea suprastructurii și la imposibilitatea mișcării normale a elementelor din beton la variații de temperatură (contracții și dilatări) și solicitări din trafic.

Podurile sunt construcții speciale care necesită monitorizare permanentă și lucrări de reabilitare sau de întreținere, întrucât depășirea capacității portante a unor elemente sau a întregii structuri, poate conduce la cedarea lor, provocând accidente, avarii sau chiar prăbușirea acestora.

Per ansamblu, elementele din beton ale podului peste canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea au suferit degradări în exploatare datorită acțiunilor exterioare (temperatură, precipitații, îngheț-dezghet, seisme, vibrații, încărcări, forțe de pretensionare), a concepției constructive (modelul de calcul ales, tip de structură), a proprietăților materialelor utilizate, a uzurii normale, dar și a deficiențelor provenite din execuția și întreținerea podului.

#### **4.4.3.2. Factorii care generează degradarea metalelor**

În cazul stucturilor portante cu cabluri, problema urmării comportării în timp necesită o viziune de ansamblu, datorită complexității factorilor implicați în îmbătrânirea și degradarea elementelor structurale metalice, dintre care se pot enumera:

- conținutul de CO<sub>2</sub> și SO<sub>2</sub> din atmosferă;
- nivelul precipitațiilor și pH-ul lor;
- razele ultraviolete;
- variația energiei din radiația solară;
- diferențele de temperatură (vară-iarnă, zi-noapte).



Raportul metalografic din 25.10.2011, întocmit de Laboratorul pentru încercări metalografice din cadrul Universității Politehnica din București, a relevat faptul că materialul din care erau alcătuite hobanele nu mai putea face față solicitărilor din exploatare (tensiune mecanică, oboseală, coroziune), fiind puternic afectat de coroziune. Exista astfel riscul cedării, mai ales în perioada cu temperaturi scăzute, când materialul este afectat de *scăderea tenacității*.



**Fig. 4.9. Coroziunea și ruperea firelor din caseta de trecere [80]**

Deteriorarea cablurilor care intră în alcătuirea podurilor hobanate se poate produce prin următoarele *fenomene corozive*: coroziune tenso-fisurantă, coroziune punctiformă (pitting), oboseală corozivă sau fragilizare prin hidrogen. Aceste forme de coroziune afectează rezistența mecanică și ductilitatea sârmelor.

De importanță majoră este analiza *tipului de rupere*, care poate da informații cu privire la rezistența remanentă a cablurilor. În cazul podului de la Agigea, suprafețele de rupere au avut caracter mixt, analiza fractografică evidențiind aspecte de rupere mixtă, ductilă și fragilă.

În perioada de iarnă, la temperaturi sub 0 grade Celsius, materialul fragilizat datorită *difuziei hidrogenului sau a hidrogenului sulfurat* caracteristic zonei din proximitatea Mării Negre, poate ceda la valori ale încărcării sub limita de curgere.

În perioada de vară, coroziunea materialului se produce prin expunerea directă a suprafețelor la *umiditate*. În perioada de iarnă, condensarea pe suprafața sârmelor determină atacul electrolic al mediului umed (apă, ioni de clor, ioni de hidrogen sulfurat), care conduce la formarea unor cruste de rugină pe suprafețele expuse și creșterea de coroziune în secțiune.

Prezența unor compuși sau impurități rezultate din procesul de elaborare al oțelului sau prin difuzia din mediul de lucru, determină reducerea locală a rezistenței mecanice. Din analizele metalografice efectuate, s-a constatat prezența unor elemente chimice difuzate în volumul sârmelor de oțel (Cl, K, S, Na), în special în zonele afectate de coroziune.

Datorită variațiilor mari de sarcină și întinderii peste limită, tecile protectoare ale cablurilor din sistemul de hobane s-au deplasat din locașurile lor, sistemul devenind astfel neetanș. Apa de ploaie, gheața, praful, variațiile de temperatură, oscilațiile planșeului podului datorate vânturilor puternice, au condus la corodarea cablurilor de susținere, generând slăbirea structurii de rezistență a întregului sistem de hobane.

Specialiștii în domeniu susțin ideea conform căreia metoda folosirii hobanelor la poduri este o metodă ieftină, spectaculoasă din punct de vedere

estetic, dar care nu prezintă garanție în timp. Toate podurile de acest gen, inclusiv cel de la Agigea sunt supuse unui anumit fel de uzură, numită în limbaj de specialitate "aeroelastic flutter", adică "oscilații aeroelastice", provocate de vântul puternic și de curenții de aer. Dacă podurile de acest tip nu sunt construite respectând cu strictețe calculele și cerințele proiectanților, atunci există pericolul ca ele să cedeze înainte de vreme.

**Concluzionând**, în analiza factorilor care au condus la apariția fenomenului de instabilitate al podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, trebuie luate în considerare anumite aspecte:

- multe din tehnologiile de execuție pentru realizarea lucrării s-au aplicat în premieră;
- unele elemente constructive ale podului nu au asigurat durabilitatea scontată, fiind de calitate inferioară, precum hidroizolația, dispozitivele de acoperire a rosturilor de dilatație, hobanele;
- soluția de alcătuire a hobanelor din fascicule de SBP I a fost singura posibilă la acea dată în România;
- soluția de alcătuire a hobanelor din pachete de cabluri suprapuse s-a dovedit necorespunzătoare din cauza lipsei de acces pentru vizionare și vopsire la hobanele din interiorul pachetului;
- lipsa ungerii sârmelor pe o perioadă de aproape 20 de ani, precum și infiltrarea apei la unele fascicule au condus la apariția coroziunii și la ruperea succesivă a unui număr impresionant de sârme;
- cele mai multe fire au fost rupte imediat deasupra ancorajelor betonate din zona conexiunii hobanelor cu tablierul, unde s-a acumulat apa, favorizând coroziunea;
- coroziunea este accentuată de excrementele păsărilor care poposesc pe elementele metalice, respectiv pe schelele de pe capul pilonului, pe confecțiile metalice care compun casetele ancorajelor, casetele de trecere și de vizitare ale fasciculelor hobanelor.

Studiul formelor de interacțiune dintre construcții și mediul ambiant, natural și tehnologic, contribuie la diagnoza și prognoza comportării în timp a structurilor, oferind o imagine realistă asupra posibilelor consecințe randamentale ale acestora.

#### 4.4.4. Măsuri de intervenție

Podul a suferit o serie de degradări în cei aproape 30 de ani de existență și peste 28 de ani de exploatare, în special datorită procesului de coroziune al hobanelor, astfel încât reabilitarea acestei lucrări a devenit imperioasă.

De-a lungul timpului, podul a fost întreținut prin lucrări de îmbunătățiri, atât prin schimbarea dispozitivelor de acoperire a rosturilor de dilatație degradate în cursul operațiilor de dezăpezire, cât și prin refacerea protecției anticorozive a tablierului și a elementelor de protecție ale hobanelor (capace ancoraje, teci de protecție, casete de trecere), dar acestea au fost insuficiente în prevenirea și combaterea procesului de degradare.

Procesul inițial de reabilitare al podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea s-a desfășurat pe baza unei expertize efectuate în anul 2008. Astfel, s-au demarat lucrări de suprafață, concretizate prin decopertarea și înlocuirea stratului de uzură al părții carosabile, reabilitarea trotuarelor, acoperirea rosturilor și vopsirea elementelor metalice ale podului, completate cu activități de revizuire a hobanelor. Lucrările de înlocuire a stratului de uzură al căii de rulare au fost executate necorespunzător, rosturile de dilatație fiind acoperite în timpul

procesului de asfaltare, anulând astfel rolul lor funcțional de a proteja tablierul împotriva efectelor fizice de deformare, dilatare sau contracție, sub acțiunea temperaturii mediului ambiant. De asemenea, lucrările de asfaltare nu au fost executate în conformitate cu specificațiile tehnice de întreținere a acestui pod, care prevedea menținerea unei anumite grosimi a stratului de asfalt. Așternerea straturilor succesive de asfalt și material rulant au condus la creșterea progresivă a greutateii podului.

Astfel, în urma vizionării lucrării, având ca scop principal observarea stării tehnice a hobanelor, experții în domeniu au semnalat printr-un referat situația alarmantă privind stadiul de coroziune al acestor elemente. Urmare a acestui referat, beneficiarul și constructorul au luat măsura ca săptămânal să verifice hobanele cablu cu cablu și să întocmească fișe de observație ale sârmelor nefuncționale, pentru a stabili caracteristicile evoluției în timp a acestui gen de degradare.

Ținerea sub observație a podului s-a efectuat constant începând cu anul 2009, după sesizarea stării alarmante de degradare a elementelor acestuia. Timp de 20 de ani podul nu a beneficiat de lucrări de întreținere sau reabilitare consistente. Astfel, diagnosticarea posibilității producerii unui dezastru iminent a condus la adoptarea de urgență unor soluții tehnice fiabile. S-au efectuat o serie de studii, expertize, referate, măsurători topo-geodezice, s-au elaborat propuneri tehnice, toate acestea având ca obiectiv principal analiza stării tehnice a hobanelor și punerea în siguranță a Podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agiea.



Fig. 4.10. Starea de degradare a hobanelor cauzată de fenomenul de coroziune

## **4.5. Lucrări topo-geodezice de urmărire a deplasărilor și deformațiilor la Podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agiea în perioada 2012-2013**

### **4.5.1. Condiții de instituire a procedurii de urmărire specială**

În cadrul operațiunilor de revizuire a hobanelor recomandate prin expertiza din anul 2012, constructorul și consultantul au constatat că situația acestora se înrăutățește simțitor din cauza procesului de coroziune. În urma efectuării unor inspecții vizuale amănunțite, realizate în cadrul procedurii de urmărire curentă a sistemului de hohanare, a fost semnalată situația alarmantă privind stadiul de degradare al elementelor ce îl alcătuiesc. Drept urmare, beneficiarul a inițiat efectuarea unei noi expertize tehnice, având ca obiectiv principal analiza stării

tehnice a hobanelor și influența acestora asupra siguranței în exploatarea a podului. Astfel, s-a luat decizia începerii programului de monitorizare a podului prin măsurători topo-geodezice, care constau în urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcției, cu respectarea rigurozității impuse acestui gen de lucrări.

O importanță deosebită în analiza comportării construcțiilor în timpul exploatarei, sub influența sarcinilor care acționează asupra lor, o au datele privind deplasările pe verticală ale acestora. Dezvoltarea tehnicii măsurătorilor a creat posibilitatea de a observa și pune în evidență modul de comportare a construcțiilor studiate, valoarea deplasărilor acestora și compararea deplasărilor reale cu deplasările și deformațiile probabile. De asemenea, în urma unor cicluri de observații se poate analiza mărimea și direcția vectorului deplasării și se pot face previziuni, ceea ce contribuie în mod semnificativ la adoptarea unor decizii.

Amplasamentul reperilor se stabilește astfel încât să asigure sesizarea cât mai precisă a mișcărilor structurii și obținerea unor rezultate cât mai relevante. Specialistul geodez trebuie să planifice realizarea rețelei de monitorizare în așa fel încât să asigure încadrarea zonei de interes și o distribuție uniformă a reperilor de control. Reperii mobili încastrați în construcție se deplasează împreună cu construcția, putând fi stabilite valorile deplasărilor și dinamica acestora.

#### **4.5.2. Etape premergătoare**

Etapa premergătoare efectuării măsurătorilor topo-geodezice a constat în recunoașterea terenului și procurarea materialelor necesare.

Proiectarea rețelei de urmărire a fost efectuată cu respectarea cerințelor impuse de acest tip de lucrări, dar cu adaptare la condițiile speciale din teren, ținând cont de tipul și importanța construcției, particularitățile alcătuirii constructive și condițiile de exploatare ale structurii puse sub observație. La realizarea rețelei de urmărire s-a avut în vedere obținerea unei bune conformații geometrice, în scopul asigurării unei precizii care să satisfacă cerințele impuse. Eficiența metodei este cu atât mai mare cu cât numărul punctelor de control și al ciclurilor de observații este mai mare. Numărul mărcilor de tasare trebuie să asigure redarea fidelă a caracterului deplasărilor și deformațiilor construcției monitorizate. Această condiție a fost îndeplinită în cazul podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, fiind montate mărci de tasare în toate punctele caracteristice ale construcției.

Punctele rețelei de referință au îndeplinit rolul de a realiza un plan de comparație față de care s-au determinat deplasările punctelor de control de pe construcția aflată în studiu. Înaintea executării fiecărui ciclu de măsurători s-au făcut verificări cu privire la existența și stabilitatea punctelor caracteristice care formează rețeaua de referință și rețeaua de urmărire materializată în teren.

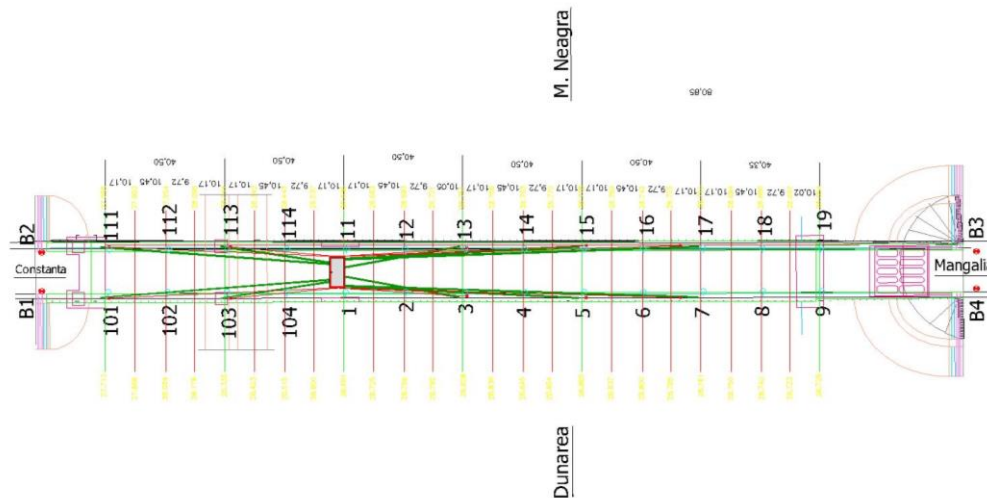
#### **4.5.3. Repartiția spațială și materializarea reperilor de referință și a mărcilor de tasare**

Ca regulă generală, mărcile de tasare (punctele de control) se încastrează în construcții, având rolul de a reda cât mai fidel componentele verticale ale deplasărilor unor elemente distincte ale construcției sau ale construcției în ansamblu. Ele se fixează, de obicei, în elementele de rezistență ale construcției, în apropierea colțurilor clădirii, pe culeele și pilele podurilor, pe stâlpii construcțiilor, pe plăcile de fundație, pe blocuri ale construcției separate de rosturile de dilatare, respectiv în tablierul podurilor și trebuie să asigure verticalizarea pe acestea a mirelor de nivelment.

O importanță deosebită în determinarea valorilor reale ale deplasărilor pe o construcție supusă solicitărilor o are modul în care punctele, atât cele de referință, cât și cele de control, sunt materializate, conservate și modul în care acestea alcătuiesc rețeaua de referință și rețeaua de observație. Specialistul geodez trebuie să planifice realizarea rețelei de monitorizare în așa fel încât să asigure încadrarea zonei de interes și o distribuție uniformă a reperilor de control.

În cadrul lucrărilor topo-geodezice la podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea s-au respectat condițiile necesare în proiectarea și materializarea rețelelor de nivelment, atât în ceea ce privește amplasarea în afara zonei de influență a structurii și numărul minim al reperilor ficși, care asigură o bună vizibilitate către mărcile de tasare și posibilitatea efectuării unui control reciproc al punctelor, cât și numărul și poziționarea mărcilor de tasare, care are un rol important în sesizarea caracterului deplasărilor și deformațiilor construcției studiate. Reperii de control au fost situați reciproc în așa fel încât stabilitatea fiecăruia dintre ei să poată fi apreciată cu ajutorul a cel puțin unei drumuri, care duce către un alt reper de control.

**Dispunerea reperilor de referință** s-a realizat astfel încât să asigure efectuarea în condiții optime a observațiilor pe perioada desfășurării măsurărilor, la intrarea și la ieșirea de pe pod, în perechi de câte două buloane, amplasate de o parte și de alta a căii podului, sub forma unui poligon care încadrează rețeaua de urmărire, astfel încât stabilitatea lor să poată fi controlată reciproc, așa cum se poate observa din Fig. 4.11.



**Fig. 4.11. Dispunerea reperilor de referință și a mărcilor de tasare**

**Dispunerea mărcilor de tasare** s-a efectuat după cum urmează:

- mărcile de tasare M 9 și M 19 sunt amplasate în dreptul pilei-culee de pe malul drept al canalului;
- mărcile de tasare M 8 și M 18 sunt amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele V și pila-culee de pe malul drept al canalului;
- mărcile de tasare M 7 și M 17 sunt amplasate în dreptul hobanelor V;
- mărcile de tasare M 6 și M 16 sunt amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele IV și hobanele V;
- mărcile de tasare M 5 și M 15 sunt amplasate în dreptul hobanelor IV;

- mărcile de tasare M 4 și M 14 sunt amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele III și hobanele IV;
- mărcile de tasare M 3 și M 13 sunt amplasate în dreptul hobanelor III;
- mărcile de tasare M 2 și M 12 sunt amplasate la mijlocul distanței dintre pilonul de susținere al podului și hobanele III;
- mărcile de tasare M 1 și M 11 sunt amplasate pe pilonul de susținere al podului;
- mărcile de tasare M 104 și M 114 sunt amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele II, respectiv pila de pe malul stâng al canalului și pilonul podului;
- mărcile de tasare M 103 și M 113 sunt amplasate în dreptul hobanelor II, pe pila de pe malul stâng al canalului;
- mărcile de tasare M 102 și M 112 sunt amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele II și hobanele I, respectiv între pila și culeea podului de pe malul stâng al canalului;
- mărcile de tasare M 101 și M 111 sunt amplasate în dreptul hobanelor I, pe culeea de pe malul stâng al canalului. (Fig. 4.11)

Numărul minim al reperilor de control într-o rețea de nivelment geometric pentru urmărirea tasărilor unei construcții, nu poate fi mai mic de trei, acest lucru rezultând din faptul că un număr mai mic de reperi de control, de exemplu doi, nu este suficient pentru a putea calcula și reprezenta care dintre aceștia și-a modificat poziția inițială (în cazul în care apare o diferență între cotele absolute ale acestora). Reperii de control trebuie să fie situați reciproc în așa fel încât stabilitatea fiecăruia dintre ei să poată fi apreciată cu ajutorul a cel puțin unei drumuri, care duce către un alt reper de control.

Așa cum am arătat anterior, la podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea mărcile de tasare au fost montate atât în dreptul pilonului central, al pilei-culee de pe malul drept al canalului, al pilei de pe malul stâng al canalului și în dreptul hobanelor, cât și la mijlocul distanței dintre aceste elemente, acolo unde dimensiunea săgeților atinge valori maxime, fiind definatorii pentru determinarea caracterului deplasării construcției, ca dimensiune și direcție. De asemenea, în alcătuirea rețelei s-a avut în vedere ca distanța dintre mărcile de tasare să fie uniformă, să se încadreze în intervalul 20 - 40m caracteristic pentru tipuri de structuri alungite, distanța între mărci fiind de aproximativ 20m.

**Materializarea rețelei de sprijin** s-a efectuat prin buloane metalice, executate din metal dur, inoxidabil, care permit încastrarea în suprastructura podului, conservarea acestora pe perioada desfășurării măsurărilor, sub influența factorilor externi și ținerea mirei de nivelment în poziție verticală, conform standardelor aplicabile în România și agreate de Uniunea Europeană. Au fost materializate patru puncte de referință, în afara zonei de influență a construcției, la o distanță față de structura propriu-zisă a podului care să permită prelevarea cu ușurință a datelor. Punctele rețelei de referință au fost numerotate, semnalizate și marcate prin vopsire în culori de contrast, pe asfalt, pentru a fi ușor de reperat.

**Materializarea mărcilor de tasare** s-a efectuat prin mărci de tip bulon metalic, cu cap emisferic, executate din metal dur, inoxidabil, încastrate vertical, în zona marginală a căii podului. Mărcile de tasare au fost numerotate, semnalizate și marcate prin vopsire în culori de contrast, pe asfalt și pe parapetii de protecție ai căii podului, pentru a fi ușor de reperat, așa cum se poate vedea în Fig. 4.12.

Forma și materialul mărcilor s-a ales în funcție de condițiile locale și de tipul construcției studiate, astfel încât să permită montarea acestora în asfalt și să limiteze posibilitățile de deteriorare sau distrugere a acestora pe perioada efectuării ciclurilor de măsurători. Montarea mărcilor de tasare la podul peste Canalul Dunăre

- Marea Neagră de la Agigea s-a făcut astfel încât acestea să fie fixe, stabile în timp și să permită așezarea verticală sigură a mirelor de nivelment.



**Fig. 4.12. Materializarea mărcilor de tasare**

Se poate spune că s-au luat toate măsurile pentru a fi eliminate erorile sistematice și pentru a reduce la minimum erorile întâmplătoare. La fiecare ciclu de măsurători s-a verificat stabilitatea punctelor din rețeaua de referință.

#### **4.5.4. Măsurători topo-geodezice prin metoda nivelmentului geometric**

Măsurătorile topo-geodezice au avut ca scop determinarea deplasărilor verticale ale podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, pe parcursul a zece luni de zile, în perioada 17.11.2012 - 05.09.2013. Măsurătorile s-au efectuat sub forma a douăzeci de cicluri de măsurători, considerându-se ca măsurătoare de referință "0" cea efectuată în data de 17.11.2012, la care s-au raportat toate celelalte cicluri de observații. Cotele punctelor care alcătuiesc rețeaua de nivelment s-au determinat în sistemul național de referință pentru altitudini „Marea Neagră 1975”.

##### **4.5.4.1. Tehnicile utilizate în urmărirea deplasărilor verticale**

Metoda aleasă pentru executarea măsurătorilor a fost metoda nivelmentului geometric de mijloc, de înaltă precizie, dus-întors și în circuit închis, fiind metoda care asigură precizia cea mai ridicată la măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor. În cadrul ciclurilor de observații efectuate asupra construcției, s-a urmărit respectarea unor principii de bază pentru eliminarea pe cât posibil a erorilor sistematice și a celor întâmplătoare. S-a avut în vedere ca lungimile porțelilor să fie aproximativ egale, conducând astfel la obținerea unor valori apropiate pentru erorile întâlnite. De asemenea, s-au respectat condițiile impuse la proiectarea drumurilor de nivelment geometric pentru urmărirea comportării în timp a construcțiilor, unde lungimea niveleurilor este preferabil să nu depășească 60m, iar numărul maxim de

niveleuri admise este 18, ceea ce conduce la limitarea lungimii drumurilor nivelitice de precizie la maxim 1000m. Observarea reperilor mobili s-a efectuat pornind de la același reper fix și respectând aceeași ordine pe parcursul tuturor ciclurilor de măsurători. Staționarea cu instrumentul de măsurat s-a efectuat, pe cât posibil, la mijlocul distanței dintre două puncte date, adică la mijlocul niveleului, contribuind la atât eliminarea influenței curburii pământului și a refracției atmosferice, cât și eventuala eroare produsă de neparalelismul dintre axa de vizare și directricea nivelei torice. Măsurătorile au fost efectuate cu rigurozitate, astfel încât metoda de determinare a diferențelor de nivel să elimine posibilitatea neverticalizării mirei.

Procesul de determinare a deplasărilor verticale ale mărcilor de tasare a respectat următoarele etape:

- etapa măsurătorilor de nivelment propriu-zise pentru fiecare ciclu de măsurători;
- etapa prelucrării măsurătorilor pentru calculul deplasărilor verticale ale construcției și evaluarea preciziei, care include: testarea stabilității reperilor fiși ai rețelei de referință, în raport cu care se efectuează măsurarea deplasărilor verticale ale construcției; constatarea unor modificări de poziție a reperilor fiși impune introducerea corecțiilor corespunzătoare;
- calculul deplasărilor verticale ale punctelor de control;
- evaluarea preciziei de determinare a deplasărilor verticale și stabilirea, pentru o probabilitate dată, a intervalelor de încredere în care se încadrează;
- întocmirea documentației tehnice.

Măsurătorile topo-geodezice s-au inițializat prin verificarea stabilității punctelor din rețeaua de referință și determinarea deplasărilor verticale ale acestora prin metoda nivelmentului geometric de precizie, dus-întors și în circuit închis, între reperii de referință B1, B2, B3 și B4, pentru a aplica corecțiile necesare.

**Tabel 4.1.** Cotele reperilor din rețeaua de referință

Reper de nivelment	Z (m)
B1	27.194
B2	27.198
B3	28.173
B4	28.288

De la reperii fiși la reperii de control, notați M101, M102, M103, M104, M111, M112, M113, M114, M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17, M18, M19, dispuși conform temei specifice de proiectare și a planului de amplasare al reperilor prezentat în Fig. 4.11., s-au executat observații de nivelment geometric de precizie, în vederea obținerii unor valori cu acuratețea impusă de acest gen de lucrări, care să reflecte comportamentul structurii podului prin sesizarea celor mai subtile mișcări ale unor elemente ale acestuia sau al structurii în ansamblu.

#### **4.5.4.2. Tehnologia utilizată în urmărirea deplasărilor verticale**

Măsurătorile au fost efectuate cu nivela electronică automată DNA 03, care asigură o precizie de 0,3mm pe km dublu de nivelment, raza de lucru fiind cuprinsă între 5,8m - 110m și având o distanță minimă de focusare de 0,6m. Mira utilizată



este o miră de invar Zeiss, având două scale pe care se realizează citirea. Mirele Zeiss sunt înzestrate la nivelul tălpii cu un inel care permite centrarea benzii de invar cu exactitate pe axa reperului. [80]

În ceea ce privește alegerea corectă a instrumentelor de măsurare în funcție de tipul de lucrare, de precizia solicitată și de condițiile atmosferice, nivela electronică automată DNA 03 răspunde favorabil condițiilor din teren. Acolo unde variațiile de temperatură sunt foarte mari, este recomandat să se folosească instrumente de nivelment automate, fără nivelă torică, cu influențe minore datorate temperaturii, caracteristicile acestora asigurând reducerea posibilității apariției erorilor. Nivela automată răspunde excelent în medii de lucru dure, în special la cele caracterizate de vibrații cum sunt podurile, ele fiind rezistente la șocuri. Aceste instrumente pot fi utilizate și în câmpuri magnetice, datorită compensatorului electronic încorporat, care înlesnește eliminarea măsurătorilor cu instrumental decalat. Atunci când constrângerile de proiectare impun asigurarea egalității lungimii vizelor, se pot așeza "broaște" stabile de nivelment (borne confecționate din metal sau plastic cu coeficient de deformabilitate redus) în puncte intermediare. În acest fel, "broasca" de nivelment se leagă de drumuirea principală de nivelment printr-o drumuire nivelitică scurtă față de reperul cel mai apropiat.

Instrumentele de nivelment utilizate sunt performante, fiind verificate tehnic înaintea efectuării fiecărui ciclu de măsurători. S-a constatat că acestea au fost în stare bună de funcționare la momentul utilizării.

#### 4.5.4.3. Condiții de realizare a măsurătorilor prin nivelment geometric

Efectuarea măsurătorilor topo-geodezice pentru determinarea variației pe verticală a elementelor construcției s-a realizat sub forma unor cicluri de observații efectuate în condiții variate de temperatură și umiditate, atât pe timp de zi, cât și pe timp de noapte, pe o perioadă de zece luni de zile, care a cuprins atât temperaturi joase specifice anotimpului friguros, cât și temperaturi ridicate specifice verii și climatului temperat-continental cu influențe marine, caracteristic regiunii. Nu au fost înregistrate situații excepționale.



Fig. 4.13. Nivelment geometric pe timp de zi

Nivelele digitale lucrează cu partea vizibilă sau de infraroșu a luminii naturale și nu necesită o iluminare suplimentară a mirelor de nivelment, abstracție făcând măsurătorile efectuate pe întuneric.



**Fig. 4.14. Nivelment geometric pe timp de noapte**

Executarea măsurătorilor pe timp de noapte a fost o măsură necesară a evita producerea unui ambuteiaj pe timpul executării determinărilor, întrucât podul asigură legătura cu litoralul românesc, iar traficul este întotdeauna intens. De asemenea, aceasta a fost o măsură necesară pentru reducerea acțiunii vibrațiilor provenite din trafic și a încălzirii podului pe timpul măsurătorilor, dar și pentru evitarea influenței temperaturilor ridicate și a refracției atmosferice asupra preciziei instrumentelor de măsurare.

Pentru diminuarea sau chiar eliminarea erorii cauzate de refracția atmosferică, s-au luat în calcul atât egalizarea distanțelor de citire înainte și înapoi, cât și evitarea efectuării măsurătorilor cu o oră înainte de răsăritul și apusul soarelui sau la temperaturi extrem de ridicate.

Pentru fiecare ciclu de observații s-au înregistrat informațiile cu privire la mediul ambiant: temperatura aerului, temperatura asfaltului, temperatura grinzii metalice, temperatura tablierului betonat, vânt, umiditate.

Condiția principală a fost ca podul să prezinte o stabilitate cât mai mare în timpul observațiilor, în vederea obținerii unor valori cât mai reale. Din aceste considerente, circulația a fost oprită înaintea fiecărui ciclu de măsurători.

#### **4.5.4.4. Etapa prelucrării măsurătorilor**

La faza de birou, observațiile preluate în teren cu nivela LEICA DNA 03 s-au descărcat în calculator, în vederea procesării și postprocesării datelor.

După fiecare ciclu de observații s-a executat prelucrarea datelor prelevate, calculul deplasării mărcilor de tasare, stabilirea preciziei măsurătorilor efectuate și verificarea încadrării în toleranțele admise. Determinarea valorilor absolute ale tasărilor unei construcții s-a realizat prin calculul deplasărilor față de cota de referință și prin aplicarea procedurii de compensare al acestora. Compensarea măsurătorilor de teren s-a efectuat prin metoda drumuirii de nivelment închisă pe punctul de plecare. Procesarea măsurătorilor de teren, respectiv compensarea măsurătorilor, am realizat-o cu ajutorul unui program specializat în prelucrarea automată a datelor, denumit Leica Geo Office Combined, care asigură obținerea unor rezultate foarte precise.

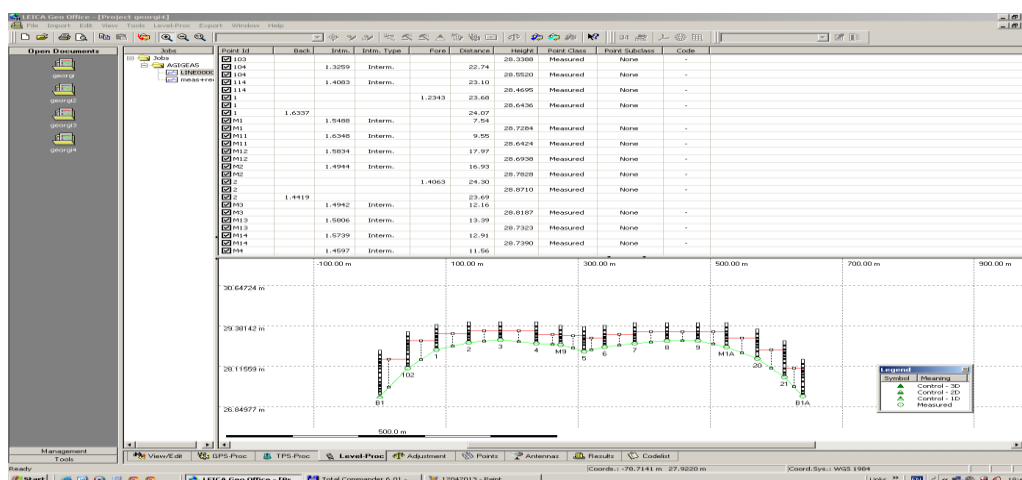


Fig. 4.15. Procesarea datelor obținute prin nivelment geometric

#### 4.5.5. Rezultate și interpretări

Pe baza datelor prelevate și a prelucrării acestora, s-au obținut diferențele de nivel dintre reperii fiși și reperii mobili, ulterior calculându-se tasările absolute ale punctelor "marcă" de pe construcție.

Diferențele de nivel astfel obținute se pot raporta fie la ciclul de referință, astfel exprimându-se tasarea totală, fie între ciclurile intermediare de măsurători, obținând astfel tasarea parțială a uneia sau a tuturor mărcilor de tasare. În prezenta lucrare s-au analizat rezultatele exprimate ca tasare totală față de ciclul de referință "0", din data de 17.11.2012, tasarea parțială fiind considerată "ipso facto".

Prin monitorizarea construcțiilor se pot determina o serie de deplasări și deformații ale structurilor, ca de exemplu: tasarea medie, tasarea relativă, înclinări ale fundațiilor sau ale construcției în ansamblu, încovoieri relative ale tălpilor continui de fundare, după care acestea se compară cu deplasările sau deformațiile antecalulate ce indică valorile maxime admise.

Indiferent de metoda de determinare a vectorilor deplasărilor verticale ale punctelor de control de pe construcția studiată, produsul final al determinărilor se materializează prin tabele, fișe și grafice. Evidențierea rezultatelor măsurătorilor în cadrul lucrărilor topo-geodezice realizate la podul peste canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, s-a efectuat atât în formă tabelară, cât și în formă grafică.

Pe baza datelor cuprinse în acestea, se poate determina caracterul și mărimea deplasărilor verticale ale structurii și se poate face o apreciere a parametrilor reprezentativi ce caracterizează eforturile și deformațiile construcției supuse observației, prin mijloace care au caracter interdisciplinar.

Un aspect la fel de important este faptul că există posibilitatea unei estimări a dinamicii construcției și se pot face previziuni asupra comportării în timp a construcției, contribuind astfel la adoptarea măsurilor necesare pentru evitarea apariției unor deteriorări ce pot afecta rezistența, stabilitatea și durabilitatea construcției, în scopul prezervării fondului național construit.

**Tabel 4.2. Valorile cotelor absolute ale mărcilor de tasare**

Marcă	COTA ABSOLUTA (m) CICUL 0	COTA ABSOLUTA (m) CICUL I	COTA ABSOLUTA (m) CICUL II	COTA ABSOLUTA (m) CICUL III	COTA ABSOLUTA (m) CICUL IV	COTA ABSOLUTA (m) CICUL V	COTA ABSOLUTA (m) CICUL VI	COTA ABSOLUTA (m) CICUL VII	COTA ABSOLUTA (m) CICUL VIII	COTA ABSOLUTA (m) CICUL IX	COTA ABSOLUTA (m) CICUL X	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XI	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XII	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XIII	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XIV	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XV	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XVI	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XVII	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XVIII	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XIX	COTA ABSOLUTA (m) CICUL XX	
101	27.739	27.736	27.737	27.738	27.737	27.736	27.737	27.737	27.737	27.737	27.737	27.739	27.741	27.742	27.742	27.742	27.743	27.743	27.743	27.744	27.744	27.744
102	28.051	28.052	28.053	28.058	28.057	28.055	28.057	28.058	28.058	28.058	28.058	28.059	28.060	28.061	28.062	28.062	28.062	28.062	28.063	28.062	28.062	28.062
103	28.342	28.340	28.339	28.338	28.343	28.337	28.337	28.338	28.338	28.338	28.338	28.338	28.341	28.344	28.343	28.344	28.345	28.345	28.345	28.345	28.345	28.345
104	28.557	28.554	28.552	28.552	28.549	28.548	28.549	28.549	28.550	28.551	28.550	28.550	28.553	28.554	28.554	28.554	28.555	28.555	28.555	28.556	28.556	28.556
1	28.730	28.730	28.729	28.729	28.726	28.724	28.726	28.726	28.727	28.727	28.728	28.730	28.731	28.735	28.736	28.737	28.737	28.737	28.737	28.738	28.738	28.737
2	28.766	28.774	28.775	28.783	28.776	28.776	28.778	28.779	28.783	28.783	28.784	28.799	28.799	28.802	28.802	28.802	28.802	28.802	28.802	28.803	28.803	28.800
3	28.778	28.791	28.799	28.818	28.809	28.807	28.810	28.814	28.820	28.821	28.841	28.848	28.847	28.850	28.850	28.849	28.849	28.851	28.853	28.853	28.848	28.848
4	28.795	28.805	28.820	28.853	28.839	28.835	28.840	28.841	28.846	28.854	28.871	28.882	28.880	28.883	28.883	28.881	28.880	28.883	28.885	28.884	28.878	28.878
5	28.785	28.787	28.812	28.853	28.836	28.835	28.840	28.845	28.859	28.858	28.868	28.882	28.887	28.888	28.888	28.880	28.883	28.885	28.888	28.887	28.874	28.874
6	28.755	28.753	28.783	28.823	28.806	28.805	28.809	28.817	28.832	28.832	28.833	28.851	28.846	28.850	28.850	28.845	28.843	28.850	28.850	28.845	28.839	28.839
7	28.738	28.734	28.760	28.792	28.776	28.774	28.779	28.785	28.800	28.799	28.800	28.818	28.821	28.817	28.817	28.813	28.811	28.817	28.817	28.811	28.807	28.807
8	28.723	28.718	28.735	28.750	28.742	28.739	28.742	28.746	28.757	28.758	28.756	28.768	28.766	28.769	28.766	28.766	28.765	28.768	28.767	28.767	28.762	28.762
9	28.797	28.795	28.794	28.794	28.790	28.792	28.792	28.792	28.793	28.795	28.794	28.796	28.795	28.798	28.798	28.798	28.798	28.798	28.798	28.798	28.797	28.797
11	27.758	27.756	27.756	27.757	27.756	27.756	27.756	27.756	27.756	27.756	27.756	27.759	27.761	27.762	27.762	27.762	27.763	27.763	27.763	27.763	27.764	27.764
112	27.961	27.962	27.962	27.967	27.965	27.964	27.964	27.967	27.967	27.967	27.967	27.973	27.973	27.974	27.974	27.974	27.974	27.974	27.974	27.975	27.975	27.975
113	28.252	28.250	28.249	28.248	28.247	28.247	28.246	28.246	28.248	28.248	28.248	28.256	28.259	28.259	28.259	28.259	28.259	28.260	28.260	28.260	28.260	28.260
11	28.644	28.644	28.643	28.642	28.639	28.639	28.639	28.639	28.642	28.642	28.642	28.645	28.649	28.650	28.650	28.650	28.651	28.652	28.652	28.651	28.651	28.651
114	28.682	28.688	28.689	28.694	28.687	28.688	28.689	28.692	28.694	28.695	28.705	28.709	28.710	28.713	28.713	28.713	28.713	28.713	28.714	28.714	28.712	28.712
13	28.702	28.711	28.717	28.732	28.723	28.723	28.726	28.731	28.736	28.737	28.756	28.763	28.763	28.766	28.766	28.764	28.765	28.767	28.767	28.766	28.761	28.761
14	28.695	28.700	28.711	28.739	28.726	28.727	28.730	28.736	28.743	28.743	28.759	28.771	28.769	28.773	28.773	28.770	28.773	28.774	28.774	28.771	28.767	28.767
15	28.772	28.768	28.792	28.826	28.812	28.812	28.816	28.822	28.833	28.842	28.856	28.856	28.856	28.856	28.857	28.854	28.852	28.856	28.858	28.854	28.848	28.848
16	28.746	28.741	28.768	28.802	28.787	28.787	28.791	28.800	28.813	28.815	28.833	28.833	28.832	28.833	28.828	28.828	28.826	28.832	28.832	28.830	28.823	28.823
17	28.730	28.736	28.749	28.778	28.763	28.763	28.767	28.774	28.787	28.789	28.789	28.806	28.809	28.807	28.806	28.801	28.799	28.805	28.804	28.799	28.794	28.794
18	28.726	28.721	28.737	28.751	28.743	28.740	28.744	28.749	28.759	28.759	28.759	28.770	28.768	28.772	28.774	28.772	28.770	28.772	28.771	28.771	28.765	28.765
19	28.849	28.847	28.846	28.846	28.842	28.845	28.845	28.845	28.847	28.847	28.845	28.849	28.848	28.850	28.850	28.851	28.851	28.851	28.851	28.851	28.851	28.851

**Tabel 4.3. Valorile tasărilor absolute ale mărcilor de tasare**

Marca	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL 0	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL I	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL II	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL III	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL IV	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL V	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL VI	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL VII	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL VIII	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL IX	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL X	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XI	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XII	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XIII	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XIV	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XV	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XVI	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XVII	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XVIII	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XIX	TASAREA ABSOLUTA (mm) CICLUL XX
M101	0	-3	-2	-2	-1	-2	-3	-2	-2	-2	-2	0	2	3	3	3	3	4	4	5	5
M102	0	1	2	7	6	3	4	6	7	7	7	8	9	10	11	10	11	11	11	12	11
M103	0	-2	-3	-4	1	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-4	-1	2	1	2	3	3	3	3	3
M104	0	-3	-5	-5	-8	-9	-8	-8	-8	-7	-6	-7	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	-1
M1	0	0	-1	-1	-4	-6	-4	-3	-3	-2	0	1	5	6	6	6	7	7	8	8	7
M2	0	8	9	17	10	10	12	13	17	17	28	33	33	36	36	36	36	36	37	37	34
M3	0	13	21	40	31	29	32	36	42	43	63	70	69	72	72	71	71	73	75	75	70
M4	0	10	25	58	44	44	46	51	59	59	76	87	85	88	88	86	85	88	90	89	83
M5	0	-2	27	68	51	50	55	60	74	73	83	97	102	98	98	95	95	98	100	94	89
M6	0	-4	22	54	38	36	41	47	62	61	62	80	83	79	79	75	73	79	79	90	84
M7	0	-5	12	27	19	16	19	23	34	35	33	45	43	46	43	43	42	45	44	44	39
M9	0	-2	-3	-3	-6	-7	-5	-5	-4	-2	-3	-1	-2	-1	0	1	1	1	1	1	0
M11	0	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	0	2	1	3	4	4	4	5	5	5	5	6
M12	0	1	1	6	4	3	3	6	6	6	6	12	12	13	14	13	13	13	14	14	14
M13	0	-2	-3	-4	-5	-5	-6	-4	-4	-4	-2	4	7	7	7	7	8	8	8	8	8
M14	0	-1	-4	-5	-7	-8	-8	-7	-6	-5	-5	-2	1	1	1	1	2	2	2	3	3
M11	0	0	-1	-2	-5	-5	-5	-2	-2	-2	0	1	5	6	6	6	7	8	8	8	7
M12	0	6	7	12	5	6	7	10	12	13	23	27	28	31	31	31	31	31	32	32	30
M13	0	9	15	30	21	21	24	29	34	35	54	61	61	64	64	62	63	65	65	64	59
M14	0	5	16	44	31	32	35	41	48	48	64	76	74	78	78	75	75	78	79	76	72
M15	0	-4	20	54	40	40	44	50	61	61	70	84	80	84	85	82	80	84	86	82	76
M16	0	-5	22	56	41	41	45	54	67	69	69	87	83	87	87	82	80	86	86	84	77
M17	0	-4	19	48	33	33	37	44	57	59	59	76	79	77	76	71	69	75	74	69	64
M18	0	-5	11	25	17	14	18	23	31	33	31	44	42	46	48	46	44	46	45	45	39
M19	0	-2	-3	-3	-6	-7	-4	-4	-4	-2	0	0	-1	1	1	2	2	2	2	2	2

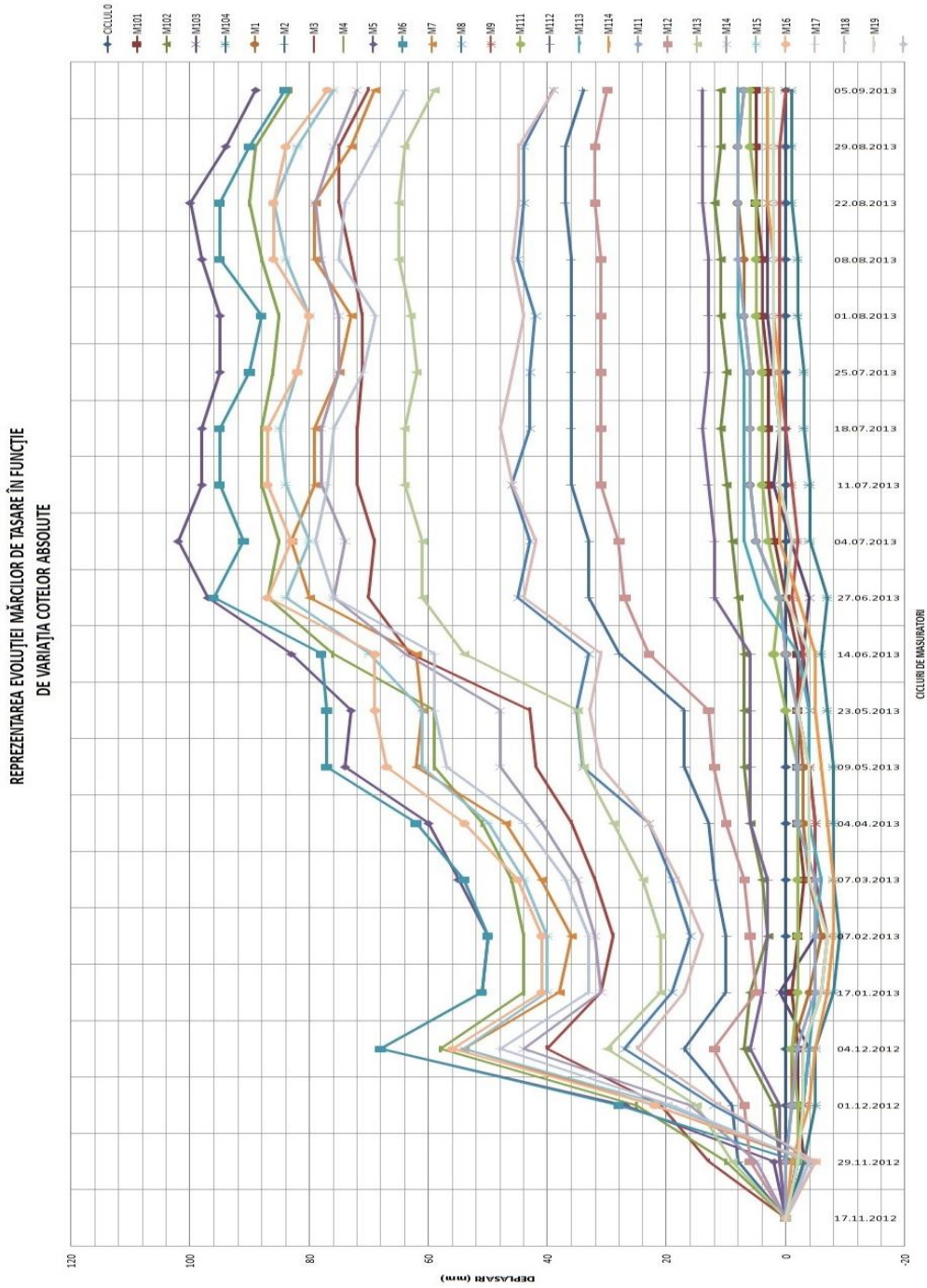
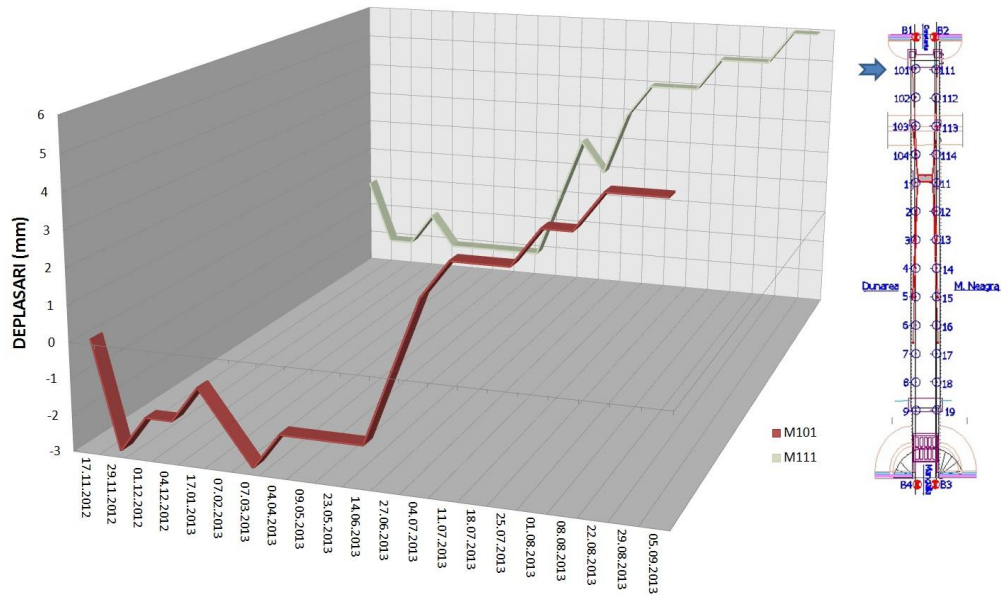
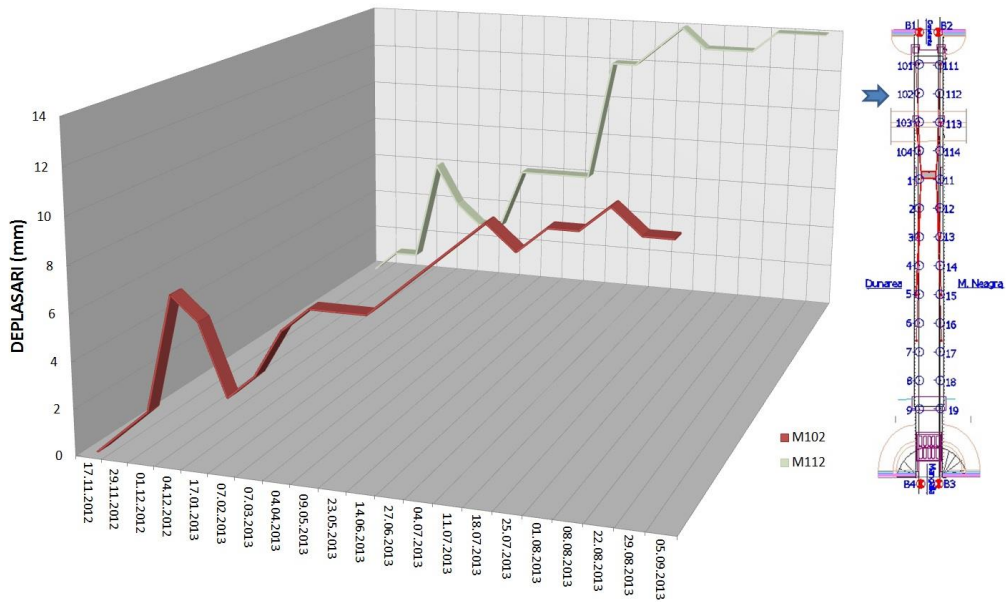


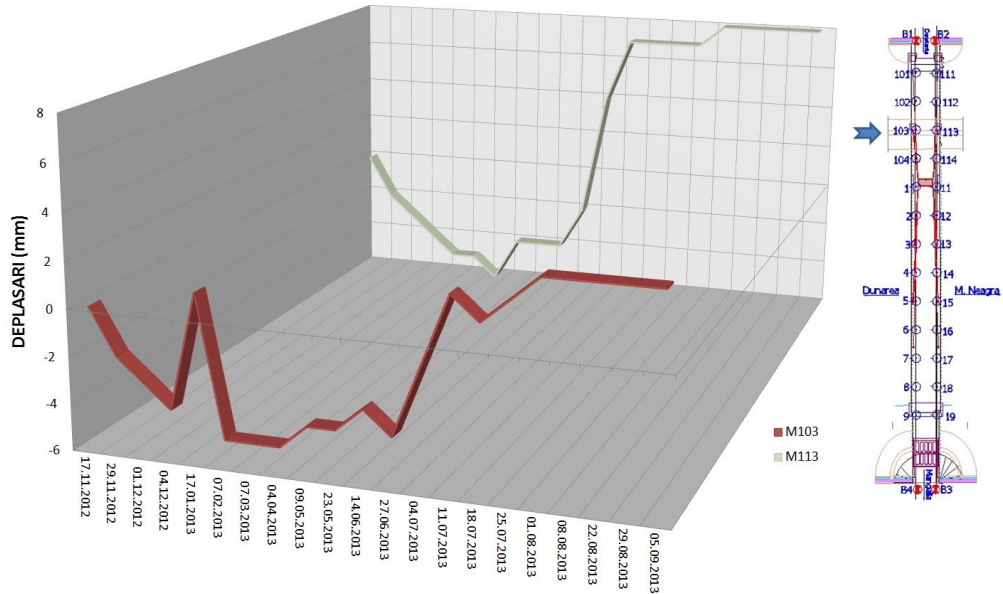
Fig. 4.16. Evoluția mărcilor de tasare în funcție de variația cotelor absolute



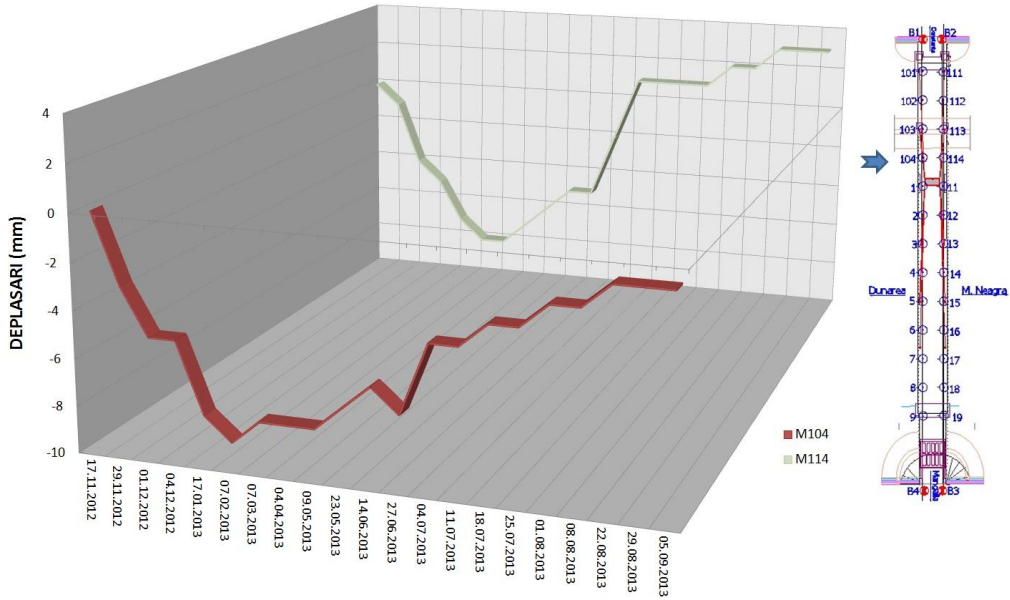
**Fig. 4.17. Evoluția mărcilor de tasare M 101 și M 111 în funcție de variația cotelor absolute**



**Fig. 4.18. Evoluția mărcilor de tasare M 102 și M 112 în funcție de variația cotelor absolute**

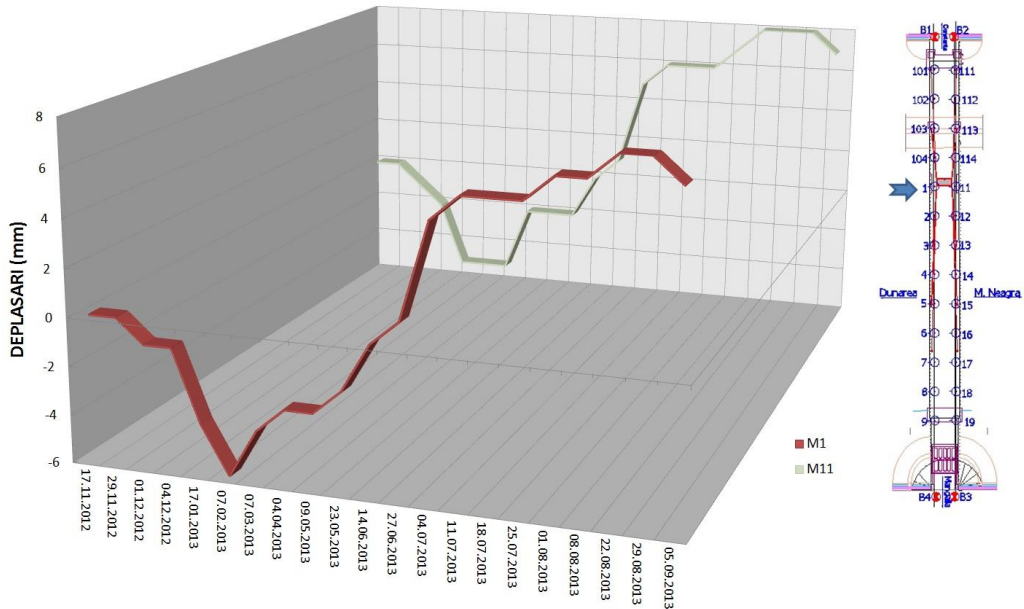


**Fig. 4.19. Evoluția mărcilor de tasare M 103 și M 113 în funcție de variația cotelor absolute**

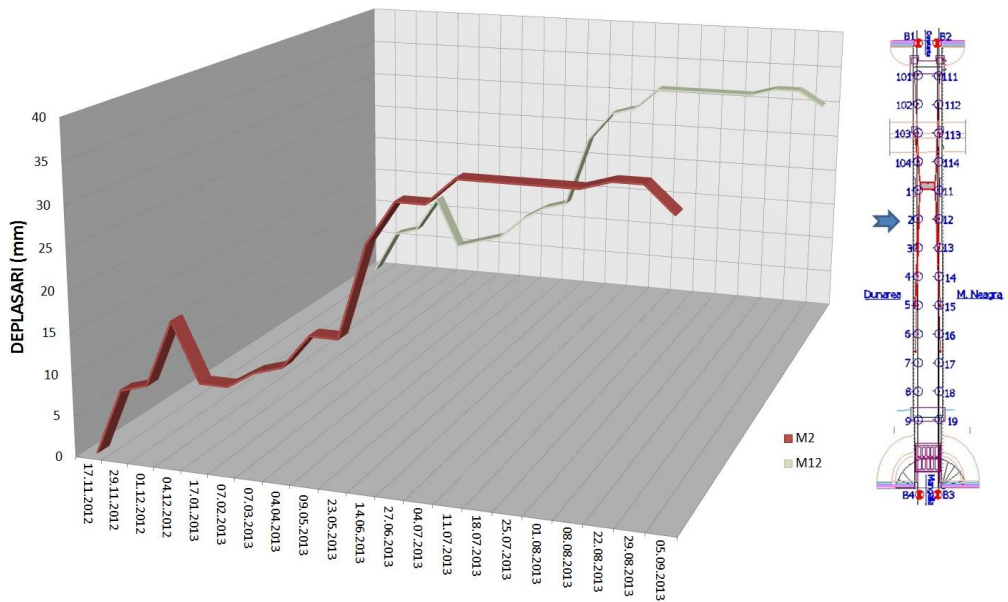


**Fig. 4.20. Evoluția mărcilor de tasare M 104 și M 114 în funcție de variația cotelor absolute**

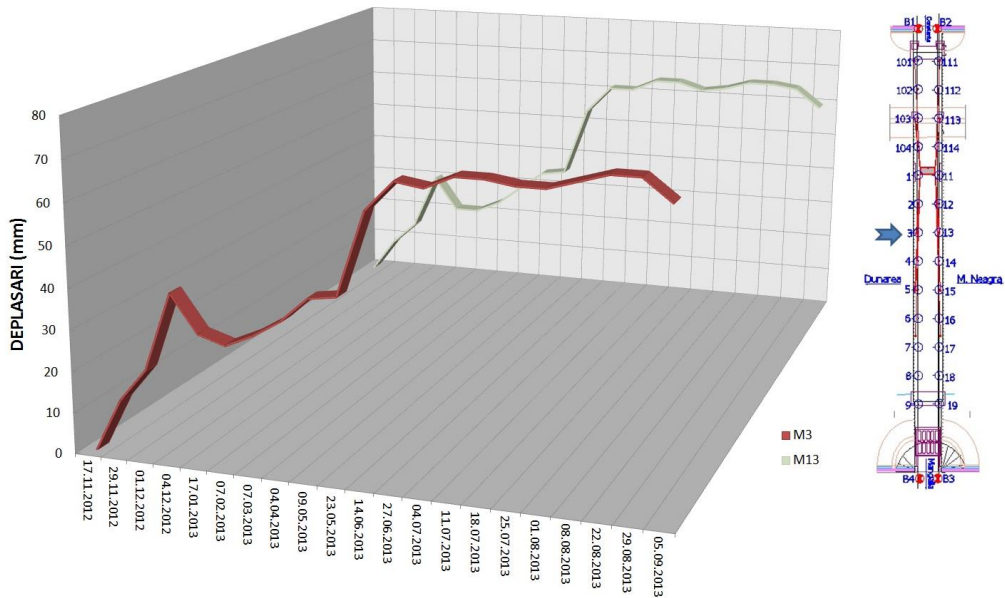




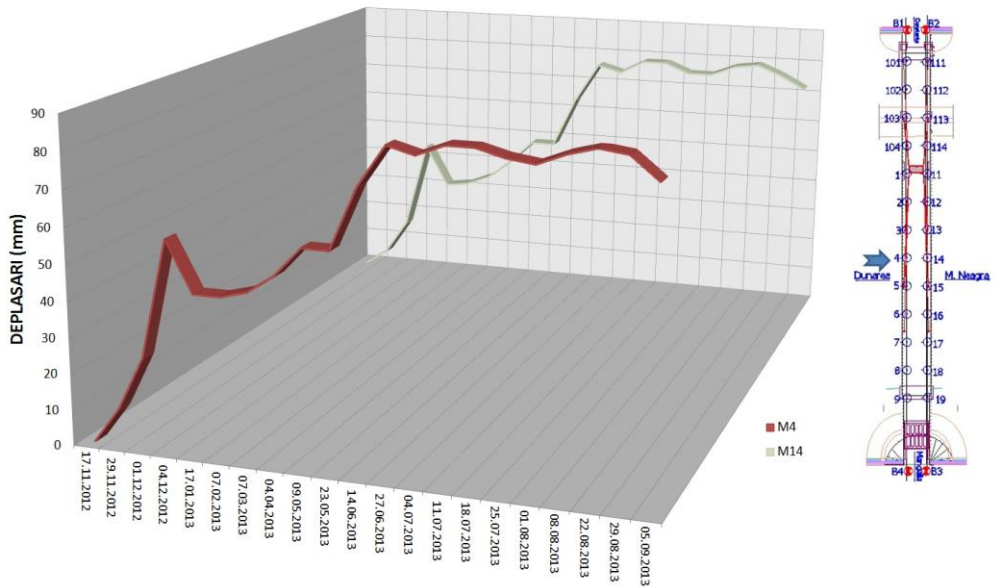
**Fig. 4.21. Evoluția mărcilor de tasare M 1 și M 11 în funcție de variația cotelor absolute**



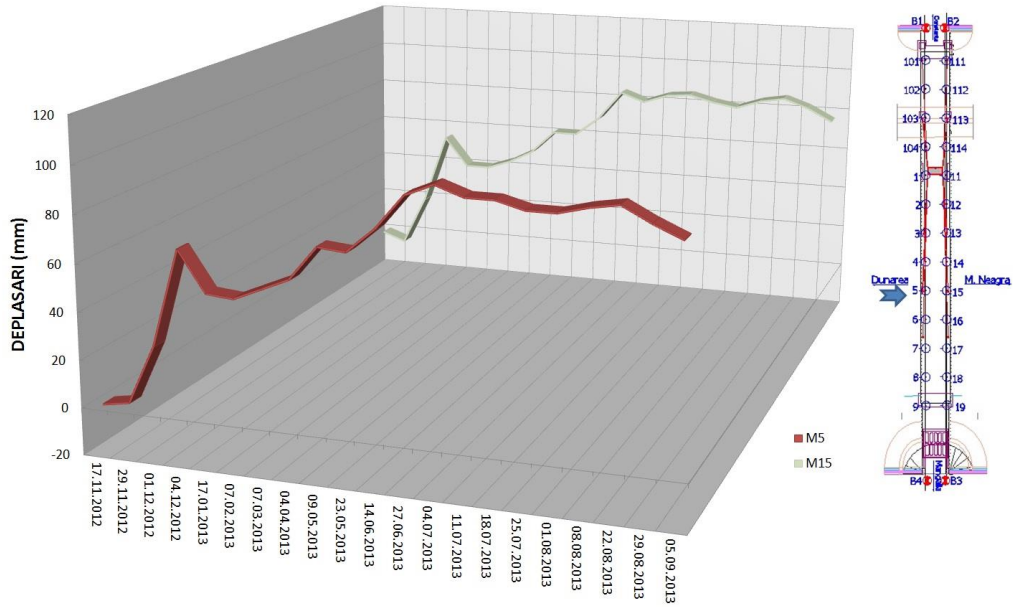
**Fig. 4.22. Evoluția mărcilor de tasare M 2 și M 12 în funcție de variația cotelor absolute**



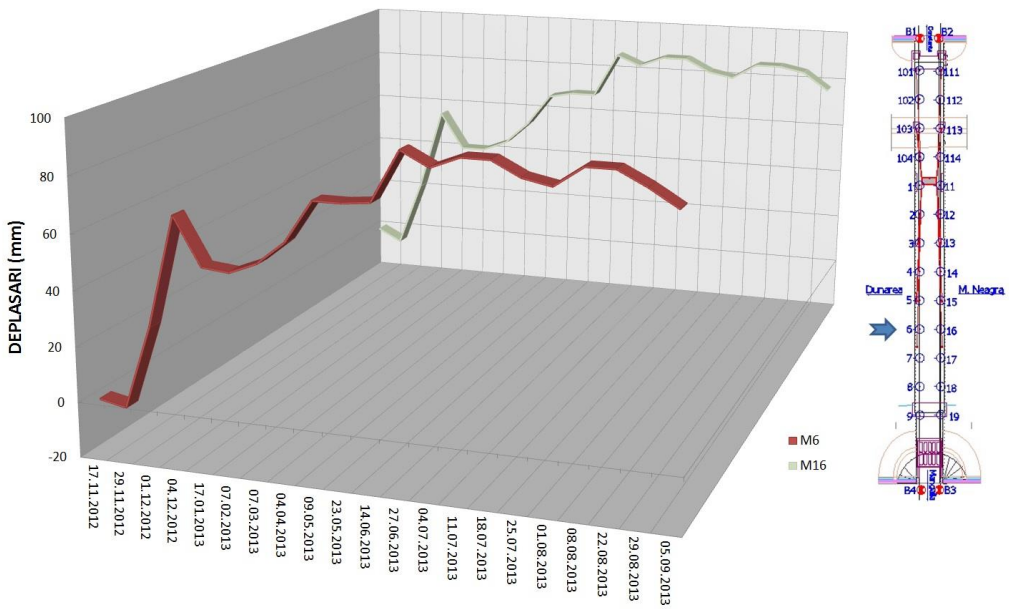
**Fig. 4.23. Evoluția mărcilor de tasare M 3 și M 13 în funcție de variația cotelor absolute**



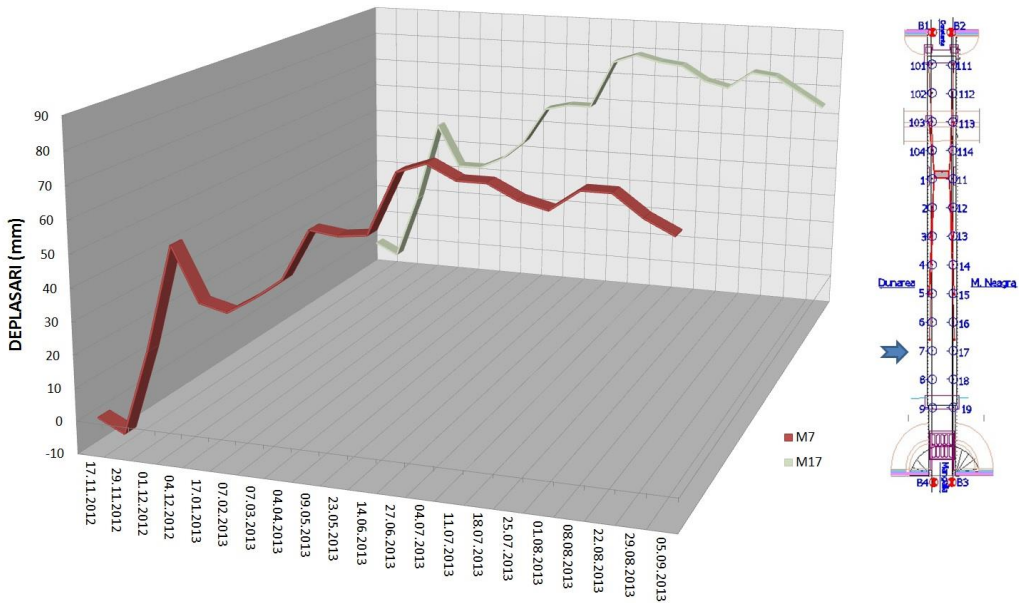
**Fig. 4.24. Evoluția mărcilor de tasare M 4 și M 14 în funcție de variația cotelor absolute**



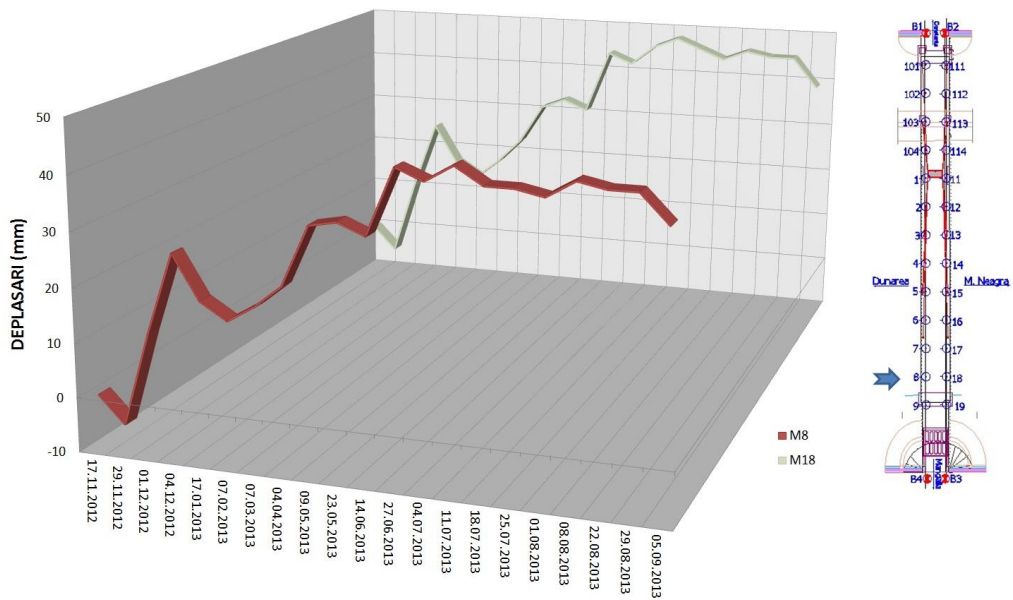
**Fig. 4.25. Evoluția mărcilor de tasare M 5 și M 15 în funcție de variația cotelor absolute**



**Fig. 4.26. Evoluția mărcilor de tasare M 6 și M 16 în funcție de variația cotelor absolute**



**Fig. 4.27. Evoluția mărcilor de tasare M 7 și M 17 în funcție de variația cotelor absolute**



**Fig. 4.28. Evoluția mărcilor de tasare M 8 și M 18 în funcție de variația cotelor absolute**

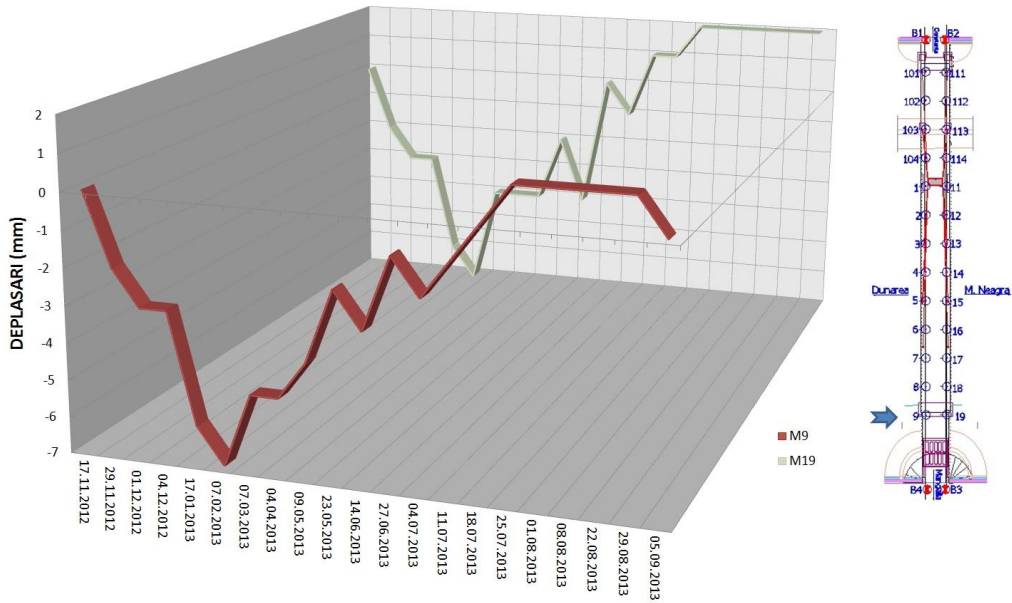


Fig. 4.29. Evoluția mărcilor de tasare M 9 și M 19 în funcție de variația cotelor absolute

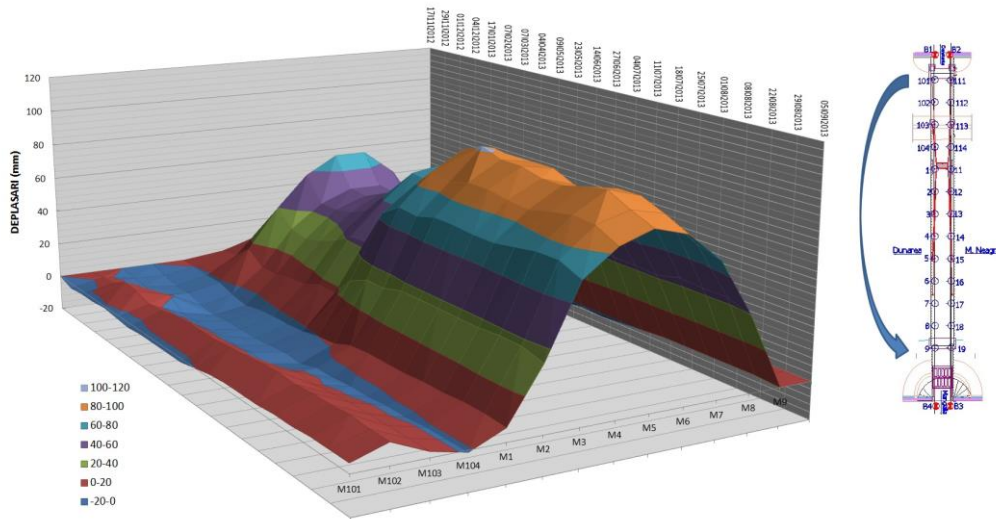
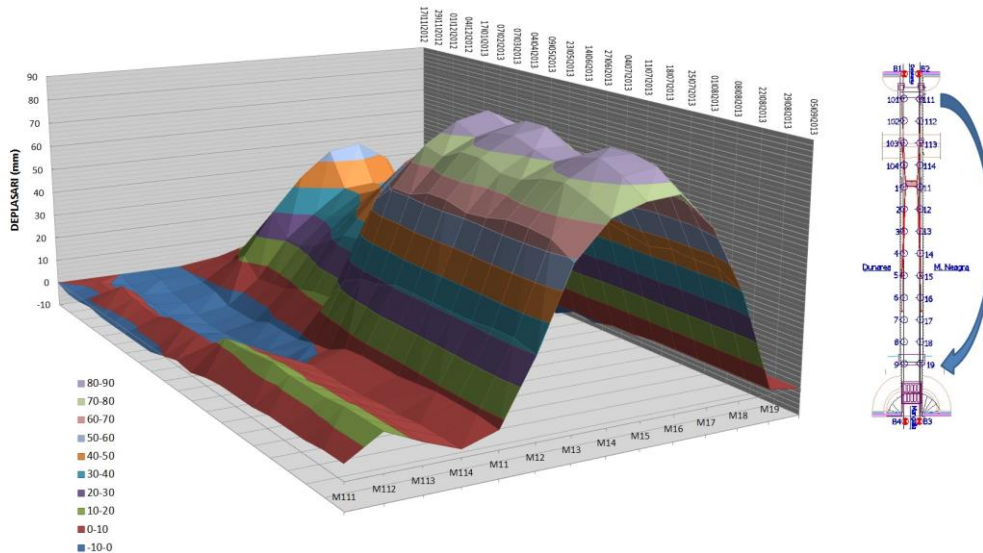


Fig. 4.30. Evoluția mărcilor de tasare în amonte în funcție de variația cotelor absolute



**Fig. 4.31. Evoluția mărcilor de tasare în aval în funcție de variația cotelor absolute**

Din analiza graficului de tasare, se poate observa că punctele care se află amplasate pe elementele de susținere a podului, respectiv în dreptul pilei, culelor și al pilonului, dar și punctele din imediata apropiere, prezintă deformabilitate mai redusă în raport cu punctele aflate la mijlocul distanței între acestea, în care valoarea deplasării depășește 100mm, sub acțiunea factorilor perturbatori și a tensionării hobanelor. Astfel, față de cota de referință "0", reprezentată de ciclul de măsurători efectuat în data de 17.11.2012, punctele situate în zone de deformabilitate maximă prezintă variații mult mai mari, concretizate printr-o creștere dinamică în prima parte a programului de măsurători, urmată de o stabilizare a valorilor acestora și în final, pe alocuri, de o ușoară descreștere, luând o formă gaussiană, așa cum se poate observa din figura 4.30 și figura 4.31.

Datorită numărului mare de mărci de tasare, reprezentarea grafică s-a efectuat pentru perechi de puncte situate de o parte și de alta a căii podului, în amonte și aval, pentru a evidenția similitudinea caracterului deplasărilor acestora. De asemenea, am efectuat o analiză a evoluției deplasărilor punctelor caracteristice față de ciclul de măsurători de referință, în amonte și aval, concretizată prin reprezentarea grafică a variației cotelor punctelor de pe aceeași parte a podului în scopul evidențierii săgeții în punctele cu deformabilitate maximă și a sesizării caracterului deplasărilor în plan longitudinal.

În punctele situate în zona de sprijinire a podului se constată deplasări și deformații cu valori relativ mici și cu caracter constant. De asemenea, s-a putut observa că, de regulă, valorile deplasărilor mărcilor de tasare amplasate în amonte sunt mai mari decât valorile punctelor corespondente din aval.

Dacă facem referire la perechi de puncte situate de o parte și de alta a căii podului, respectiv în amonte și în aval, se poate concluziona că acestea au un comportament similar, diferențele valorilor deplasărilor fiind mici, de unde rezultă că nu au existat fenomene de torsiune majore sau înclinări semnificative ale podului.

Mișcarea mărcilor de tasare a înregistrat următoarele valori minime și maxime:

- **mărcile de tasare M 9 și M 19** amplasate în dreptul pilei prezintă cele mai mici variații: valorile deplasărilor sunt cuprinse între -7...+2mm; marca 9 înregistrează valori maxime ale deplasărilor față de ciclul inițial, de -7mm, în data de 07.02.2013, respectiv în timpul ciclului V de măsurători, ulterior observându-se o tendință de descreștere, atingând valoarea minimă a deplasării față de ciclul de referință, de 0mm, în ciclurile de măsurători efectuate în data de 18.07.2013 și în 05.09.2013, respectiv în timpul ciclurilor XIV și XX de măsurători; marca 18 înregistrează valori maxime, de -7mm, în data de 07.02.2013, respectiv în timpul ciclului V de observații, ulterior observându-se o tendință de descreștere, înregistrând valori minime, de 0mm, în timpul ciclului de măsurători din data de 27.06.2013, după care rămâne relativ constantă.
- **mărcile de tasare M 8 și M 18** amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele V și pilă: valorile deplasărilor sunt cuprinse între -5...+48mm; marca 8 înregistrează o valoare minimă a deplasărilor față de ciclul de referință, de -5mm, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, atingând valori maxime, de +46mm, în data de 11.07.2013, respectiv în timpul ciclului XIII de observații, ulterior observându-se o tendință de descreștere; marca 18 înregistrează valori minime ale deplasărilor față de ciclul de referință, de -5mm, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, înregistrând valori maxime, de +48mm, în data de 18.07.2013, respectiv în timpul ciclului XIV de observații, ulterior observându-se o tendință de descreștere.
- **mărcile de tasare M 7 și M 17** amplasate în dreptul hobanelor V: valorile deplasărilor sunt cuprinse între -4...+83mm; marca 7 înregistrează o valoare minimă a deplasărilor față de ciclul de referință, de -4mm, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, atingând valori maxime ale deplasărilor față de ciclul de referință, de +83mm, în data de 04.07.2013, respectiv în timpul ciclului XII de măsurători, ulterior observându-se o ușoară tendință de descreștere; marca 17 înregistrează valori minime de -4mm în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, înregistrând valori maxime, de +79mm în data de 04.07.2013, respectiv în timpul ciclului XII de măsurători, ulterior observându-se o tendință de descreștere.
- **mărcile de tasare M 6 și M 16** amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele IV și hobanele V: valorile deplasărilor sunt cuprinse între -5...+96mm; marca 6 înregistrează o valoare minimă, de -2mm, față de ciclul de referință, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, atingând valori maxime ale deplasărilor, de +96mm în data de 27.06.2013 și +95mm în data de 22.08.2013, respectiv în timpul ciclului XI și XVIII de observații, ulterior sesizându-se o tendință de descreștere; marca 16 înregistrează valori minime ale deplasărilor față de ciclul de referință, de -5mm, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, înregistrând valori maxime, de +87mm, în data de 27.06.2013 și în data de 11.07.2013, respectiv în timpul ciclului XI și XIII de măsurători, ulterior observându-se o tendință de descreștere.
- **mărcile de tasare M 5 și M 15** amplasate în dreptul hobanelor IV: valorile deplasărilor sunt cuprinse între -4...+102mm; marca 5 înregistrează o valoare minimă a deplasărilor față de ciclul de referință, de +2mm, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, având cele mai mari valori ale

- deplasărilor, de +102mm, în data de 04.07.2013 și +100mm în data de 22.08.2013, respectiv în timpul ciclului XII și XVIII de măsurători, ulterior observându-se o tendință de descreștere; marca 15 înregistrează valori minime, de -4mm, față de ciclul inițial de măsurători, în primul ciclu de măsurători, atingând valoarea maximă a deplasărilor, de +86mm, în data de 22.08.2013, aferentă ciclului XVIII de observații, după care se observă o tendință de descreștere.
- **mărcile de tasare M 4 și M 14** amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele III și hobanele IV: valorile deplasărilor sunt cuprinse între +5...+90mm; marca 4 înregistrează valoarea minimă a deplasării, de +10mm, față de ciclul de referință, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, atingând valori maxime de +90mm în data de 22.08.2013, aferente ciclului XVIII de observații, după care se observă o tendință de descreștere; marca 14 înregistrează valori minime ale deplasărilor, de +5mm, în primul ciclu de măsurători, atingând valoarea maximă a deplasării de +79mm în data de 22.08.2013, aferentă ciclului XVIII de măsurători, după care se observă o tendință de descreștere.
  - **mărcile de tasare M 3 și M 13** amplasate în dreptul hobanelor III; valorile deplasărilor sunt cuprinse între +9...+75mm: marca 3 înregistrează valoarea minimă a deplasărilor față de ciclul de referință, de +13mm, în primul ciclu de măsurători din data de 29.11.2012, atingând valori maxime, de +75mm, în data de 22.08.2013, aferente ciclului XVIII de observații, după care înregistrează o ușoară descreștere; marca 13 înregistrează valori minime ale deplasărilor față de ciclul de referință, de +9mm, în primul ciclu de măsurători, atingând valoarea maximă a deplasării, de +65mm, în data de 08.08.2013, aferentă ciclului XVII de măsurători, după care se observă tendința de descreștere.
  - **mărcile de tasare M 2 și M 12** amplasate la mijlocul distanței dintre pilonul de susținere și hobanele III: valorile deplasărilor sunt cuprinse între +5...+37mm; marca 2 înregistrează valoarea minimă a deplasării, de +8mm, față de ciclul de referință, în primul ciclu de măsurători efectuat în data de 29.11.2012, atingând valori maxime, de +37mm, în data de 22.08.2013, aferentă ciclului XVIII de observații; marca 12 înregistrează valori minime ale deplasărilor, de -5mm, față de ciclul de referință, în 17.01.2013, respectiv în ciclul IV de observații, după care valorile devin strict crescătoare, atingându-se valoarea maximă a deplasării de +32mm.
  - **mărcile de tasare M 1 și M 11** amplasate pe pilonul de susținere: valorile deplasărilor sunt cuprinse între -6...+8mm; marca 1 atinge un punct de maxim al valorii negative a deplasării, respectiv valoarea de -6mm, în ciclul V de măsurători din data de 07.02.2013, ajungând la o valoare minimă de 0mm în ciclul X de măsurători, respectiv în data de 14.06.2013, după care atinge valoarea maximă a deplasării cu sens pozitiv, de +8mm, în ultimele cicluri de observații; marca 11 înregistrează valori negative în primele 10 cicluri de măsurători, atingând valoarea maximă negativă, de -5mm, în intervalul 17.01.2013 - 07.03.2013, respectiv în ciclurile IV, V, VI de observații, apoi atinge valoare minimă a deplasării, de 0mm, în ciclul X de măsurători, respectiv în data de 14.06.2013, după care valorile devin strict pozitive, putând fi observată tendința de stabilizare din ultimele cicluri de observații, când se ajunge la valoarea maximă a deplasării de +8mm.
  - **mărcile de tasare M 104 și M 114** amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele II, respectiv pilă și pilonul podului: valorile deplasărilor sunt



cuprinse în intervalul  $-9...+3\text{mm}$ ; marca 104 atinge un punct de maxim al deplasării față de ciclul de referință, respectiv valoarea de  $-9\text{mm}$ , în ciclul V de măsurători, atingând valori minime constante în intervalul 22.08.2013 - 05.09.2013, în ultimele cicluri de măsurători, respectiv valoarea de  $-1\text{mm}$ ; marca 114 înregistrează valori maxime în ciclul V de observații efectuat în data de 07.02.2013, respectiv valoarea de  $-8\text{mm}$ , atingând valori minime în intervalul 04.07.2013 - 25.07.2013, respectiv valoarea de  $-1\text{mm}$ , putând fi observată tendința de stabilizare din ultimele cicluri de observații, valorile devenind strict pozitive.

- **mărcile de tasare M 103 și M 113** amplasate în dreptul hobanelor II, pe pila podului: valorile deplasărilor sunt cuprinse în intervalul  $-6...+8\text{mm}$ ; marca 103 înregistrează o valoare minimă a deplasării, respectiv valoarea de  $\pm 1\text{mm}$ , în ciclul XII și XIV de măsurători, după care valorile devin strict pozitive și constante, atingând valori maxime în timpul ciclului V și VII de măsurători, cu sens negativ, respectiv valoarea de  $-5\text{mm}$ ; marca 113 înregistrează o valoare minimă a deplasării respectiv valoarea de  $-2\text{mm}$ , în primul ciclu de observații și în ciclul X de observații efectuat în data de 14.16.2013, atingând valori maxime în timpul ciclului XVI de măsurători executat în 01.08.2013, respectiv valoarea de  $8\text{mm}$ , după care rămâne constant până la finalul ciclurilor de observații.
- **mărcile de tasare M 102 și M 112** amplasate la mijlocul distanței dintre hobanele II și hobanele I, respectiv între pila și culeea podului: valorile deplasărilor sunt cuprinse între  $+1...+14\text{mm}$ ; marca 102 înregistrează o valoare minimă a deplasării față de ciclul de referință, respectiv valoarea de  $1\text{mm}$ , chiar la începutul ciclurilor de observații, în 29.11.2013 reprezentând ciclul I de măsurători, atingând valori maxime în timpul ciclului XVIII de măsurători din data de 22.08.2013, respectiv valoarea de  $12\text{mm}$ , după care înregistrează o ușoară scădere; marca 112 înregistrează o valoare minimă a deplasării față de ciclul de referință, respectiv valoarea de  $1\text{mm}$ , în ciclul I de observații efectuat în data de 29.11.2013, atingând valori maxime în timpul ciclului XIV de măsurători executat în 18.07.2013, respectiv valoarea de  $14\text{mm}$ , după care rămâne relativ constant.
- **mărcile de tasare M 101 și M 111** amplasate în dreptul hobanelor I, pe culee: valorile deplasărilor sunt cuprinse între  $-3...+6\text{mm}$ ; marca 101 înregistrează o valoare minimă a deplasării față de ciclul de referință, respectiv valoarea  $0\text{mm}$ , în 27.06.2013, atingând un punct de maxim în 05.09.2013, cu sens pozitiv, respectiv valoarea de  $5\text{mm}$ ; marca 111 înregistrează o valoare minimă a deplasării, respectiv valoarea  $0\text{mm}$ , în data de 3.05.2013, atingând un punct de maxim în 05.09.2013, cu sens pozitiv, respectiv valoarea de  $6\text{mm}$ .

Datele obținute prin metodele geometrice vor fi completate cu datele obținute prin metodele fizice, cu accent pe metoda bazată pe sisteme de senzori, care oferă o descriere permanentă și în timp real a comportamentului construcției studiate, asigurând totodată sesizarea celor mai subtile mișcări, deplasări sau deformații în structura supusă observației, oferind o imagine mai clară asupra dinamicii structurii. Observațiile topo-geodezice constituie baza realizării unor încercări pe modele, prin metode specifice ingineriei civile, pentru a determina comportarea structurii la solicitări statice și dinamice, în vederea adoptării unor decizii cu privire la soluția tehnică ce oferă gradul cel mai mare de eficacitate și rentabilitate, în raportul cost-beneficii. Rezultatele măsurătorilor au stat la baza deciziilor luate de către beneficiarul lucrării.

#### 4.5.6. Montarea hobanelor suplimentare

Urmare a sesizării stării critice a podului prin multitudinea de expertize efectuate, beneficiarul a solicitat elaborarea unei documentații pentru înlocuirea hobanelor existente, cu instituirea măsurilor de urgență pentru punerea în siguranță a podului. Toate expertizele efectuate au atras atenția asupra necesității înlocuirii vechiului sistem de hobane alcătuite din cabluri din sârme paralele din SBP I, cu hobane alcătuite din toroane, având calități superioare ale oțelului din care sunt alcătuite și protecție realizată cu materiale performante.

Soluția aprobată în cadrul proiectului de "Punere în siguranță a podului", implementat începând cu anul 2012, a prevăzut asigurarea susținerii tablierului prin montarea a zece hobane suplimentare alături de cele existente și instalarea unui jug la în partea superioară a podului. Aceste hobane cu caracter temporar au avut rolul de a asigura stabilitatea podului până la definitivarea lucrărilor de înlocuire a hobanelor vechi. Dispunerea hobanelor suplimentare s-a proiectat astfel încât fiecareia din hobanele existente să-i corespundă câte o hobană provizorie, conform Fig. 4.32 și Fig. 4.33.

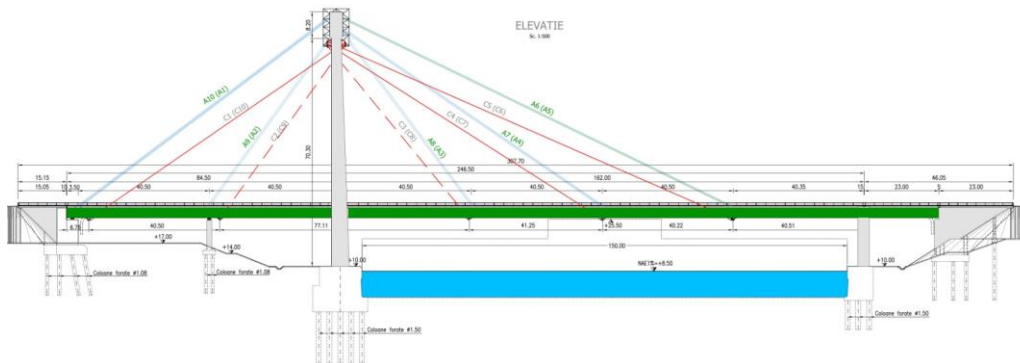


Fig. 4.32. Dispunerea hobanelor suplimentare. Elevație [99]

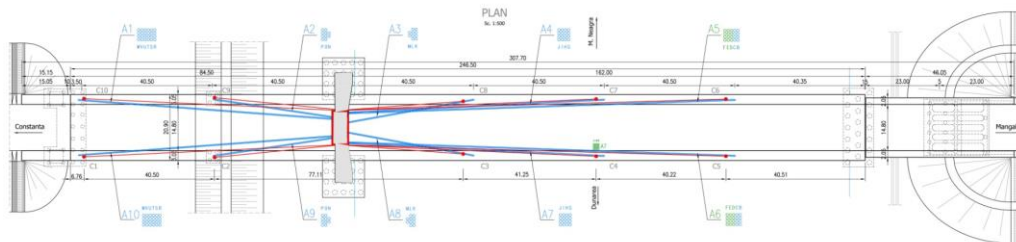


Fig. 4.33. Dispunerea hobanelor suplimentare. Vedere plană [99]

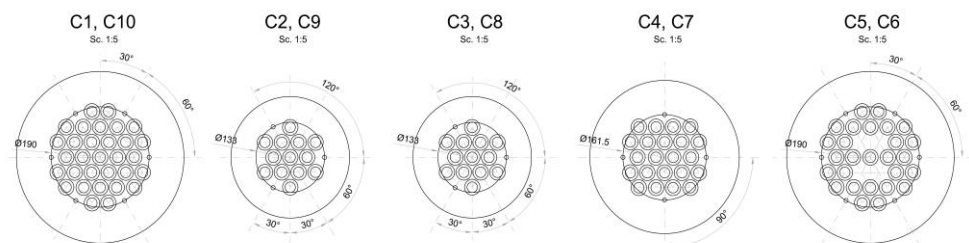
Pentru punerea în siguranță a podului a fost montat un jug în partea superioară a pilonului, activitate urmată de instalarea unor hobane suplimentare provizorii, evitându-se astfel riscul prabușirii tablierului podului. Conform specificațiilor din expertizele tehnice, în orice moment putea să apară o situație în care un număr foarte mare al sârmelor hobanelor existente să se rupă. Sistemul de hobane suplimentare provizorii a fost pus în operă prin montarea și tensionarea fiecărui toron în parte (Fig. 4.34).



**Fig. 4.34. Montarea jugului în partea superioară a pilonului și ridicarea toroanelor**

Alcătuirea hobanelor suplimentare:

- hobanele suplimentare la hobanele I (C1, C10) sunt alcătuite din câte 31 toroane;
- hobanele suplimentare la hobanele II (C2, C9) și III (C3, C8) sunt alcătuite din câte 13 toroane;
- hobanele suplimentare la hobanele IV (C4, C7) sunt alcătuite din câte 22 toroane;
- hobanele suplimentare la hobanele V (C5, C6) sunt alcătuite din câte 27 de toroane.



**Fig. 4.35. Detalii hobane suplimentare [99]**

Montarea hobanelor provizorii s-a efectuat etapizat, conform tehnologiei propuse de producătorul hobanelor, începând cu hobanele cele mai scurte din apropierea pilonului de susținere al podului, respectiv perechile de hobane II și III, continuând apoi cu cele aflate în extremități, respectiv perechile de hobane I, V, încheind cu perechea de hobane IV, după cum urmează:

- 1) hobanele C2 (L=67.13m, 13 toroane) și C9 (L=67.13m, 13 toroane);
- 2) hobanele C3 (L=69.20m, 13 toroane) și C8 (L=69.19m, 13 toroane);
- 3) hobanele C1 (L=97.54m, 31 toroane) și C10 (L=97.50m, 31 toroane);
- 4) hobanele C5 (L=137.13m, 27 toroane) și C6 (L=137.03m, 27 toroane);
- 5) hobanele C4 (L=101.02m, 22 toroane) și C7 (L=100.99m, 22 toroane).

Operațiunea de tensionare a noilor hobane s-a realizat pe etape, conform unui principiu similar, începând cu hobanele cele mai scurte din proximitatea pilonului podului, respectiv perechile de hobane II și III, continuând apoi cu cele

aflăte în extremități, respectiv perechile de hobane I, V, încheind cu perechea de hobane IV, astfel:

- hobanele C2, C9, C3 și C8 simultan, cu ajutorul a 4 prese;
- hobanele C1, C10, C5 și C6 simultan, cu ajutorul a 4 prese;
- hobanele C4 și C7 simultan, cu ajutorul a 2 prese.

Tensionarea hobanelor s-a realizat sub controlul contrasăgeților tablierului, astfel încât contrasăgeata maximă în dreptul hobanei C4 să aibă valoarea de 56mm  $\pm$  30%.

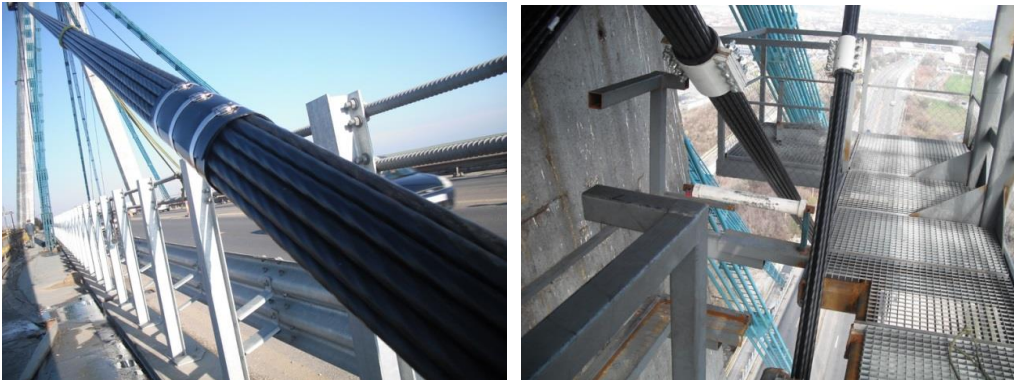


Fig. 4.36. Sistem paralel de toroane [11]

Montarea temporară a hobanelor suplimentare alături de cele existente, până la înlocuirea cu hobane corespunzătoare, a fost însoțită de următoarele precizări:

- întreținerea corespunzătoare a hobanelor existente;
- restricția de viteză de 30km/h;
- limitarea de tonaj până la 5 tone.

De asemenea, prin proiect s-a prevăzut inclusiv repararea capului pilonului.

#### 4.5.7. Înlocuirea vechiului sistem de hobane

Hobanele existente au fost înlocuite treptat cu *hobane definitive*, noi, care corespund standardelor europene, realizate din oțel de înaltă rezistență, alcătuite din toroane, cu ancoraje de tip metalic, cele active fiind amplasate la capătul superior al hobanelor, iar cele pasive la capătul inferior al hobanelor.

Toroanele folosite pentru hobane sunt manuchiuri de 7 fire răsucite cu pas uniform, protejate împotriva coroziunii prin galvanizare (strat de zinc pur). Hobanele se compun dintr-un sistem de cabluri de oțel paralele (toroane) cu diametrul de 15,7mm, introduse în interiorul unei teci extrudate de polietilenă de înaltă densitate.

Sistemele de protecție anticorozivă au fost aplicate prin vopsire, după pregătirea suprafețelor construcțiilor metalice.

Operația de înlocuire a hobanelor „cablu cu cablu”, având la bază un proces tehnologic, s-a desfășurat în paralel cu dezafectarea hobanelor existente, precum și a celor provizorii, fiecare hobană nouă luând, pe rând, locul uneia existente. Demontarea părților componente ale construcțiilor metalice a fost executată astfel încât demolarea unei părți din clădire sau a unui element de construcție să nu atragă prăbușirea neprevăzută a altei părți sau altui element. Lucrările de desfacere s-au executat pe un singur nivel, strict în amplasamentul elementului de construcție

supus demontării, fără dislocarea unor elemente de dimensiuni exagerate, pentru a evita introducerea de vibrații în elementele structurii (hobane, tablier) și implicit pierderea stabilității podului.



**Fig. 4.37. Dezafectarea hobanelor existente și montarea hobanelor noi**

Având în vedere situația precară a Podului peste Canalul Dunăre - Marea Neagră la Agigea, în 2010 a început construcția unui alt pod rutier, situat la km 0+540 al Canalului Dunăre- Marea Neagră, care face legătura între Autostrada Soarelui și Portul Constanța Sud Agigea. Acesta a fost proiectat special pentru preluarea traficului greu de pe vechiul traseu și pentru fluidizarea traficului spre litoralul românesc, prin conjuncția cu autostrada A1. Acest deziderat nu a fost atins până recent, întrucât, din cauza unor probleme de proiectare și execuție, finalizarea podului care urma să devină cea mai mare structură hobanată din România a suferit amânări, fiind deschis circulației abia în luna octombrie a anului 2015.

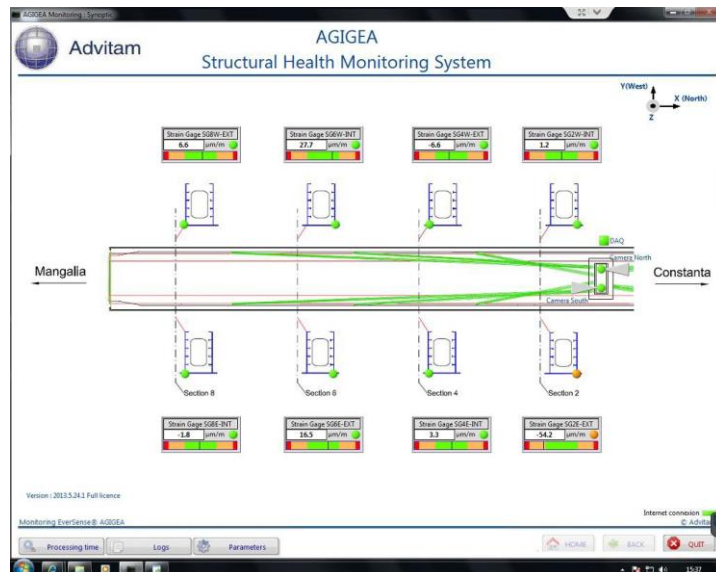
#### 4.5.8. Perfecționarea sistemului de monitorizare prin metode fizice

În luna august a anului 2013, s-a luat măsura instalării unui sistem de monitorizare permanentă cu mărci tensiometrice la Podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, cu scopul de a monitoriza evoluția eforturilor sub trafic și eforturile suplimentare în tablier sub greutatea proprie.



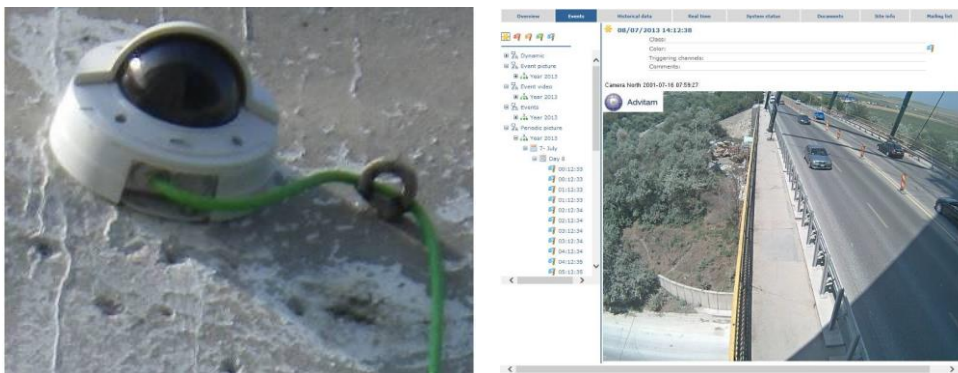
**Fig. 4.38. Senzor, cutie de jonctiune și sistem de achiziție de date**

Sistemul de senzori s-a instalat în patru secțiuni, care corespund mărcilor de tasare M2 - M12, M4 - M14, M6 - M16 și M8 - M18 din deschiderea principală a podului. Acest sistem este compus dintr-un număr de 8 mărci tensiometrice, amplasate în perechi de câte două în fiecare din cele patru secțiuni, pe tălpile inferioare ale grinzii metalice, în dreptul inimii.



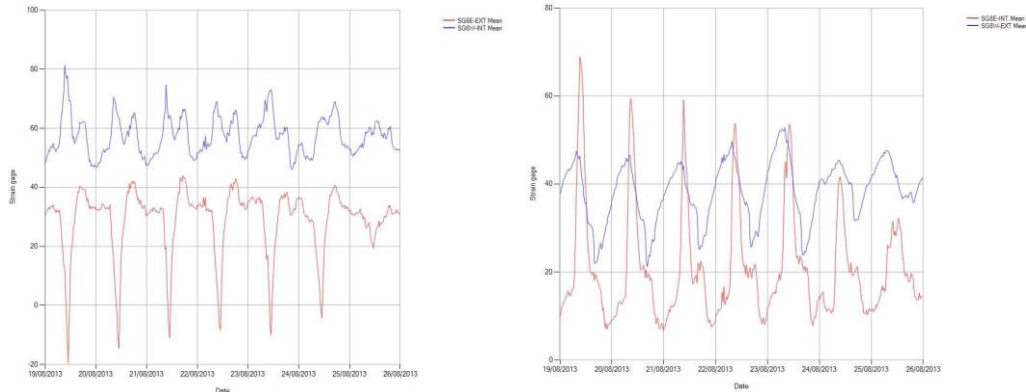
**Fig. 4.39. Arhitectura sistemului de monitorizare**

Pe pod au fost montate camere video de supraveghere (Fig. 4.40), care vin să completeze și să perfecționeze sistemul de senzori, ce asigură o monitorizare permanentă și în timp real, cu acces online prin internet și transmite mesaje de atenționare atunci când tensiunile ating limite superioare sau exced valori prestabilite (Fig. 4.42).



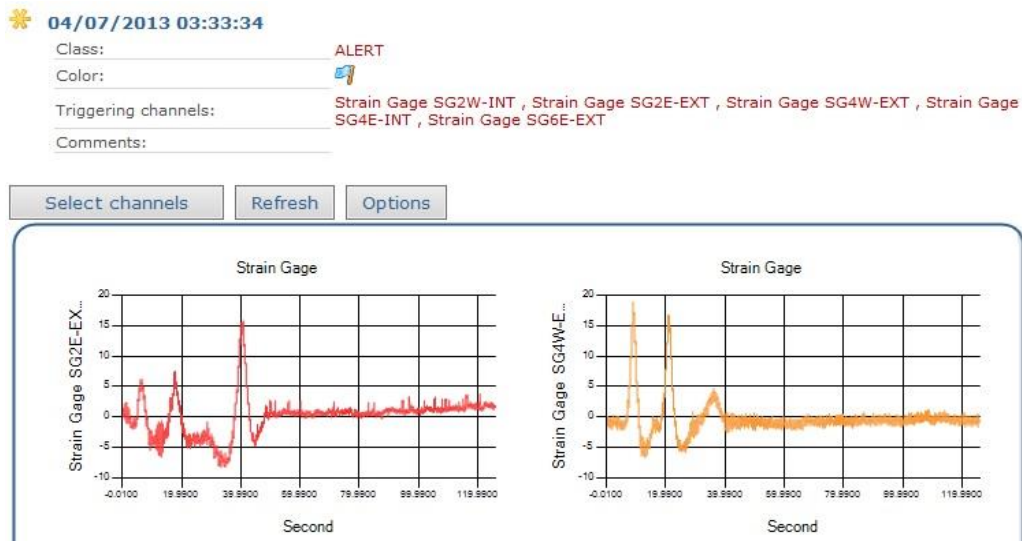
**Fig. 4.40. Sistem de supraveghere video**

Sistemul de senzori permite cunoașterea și evaluarea acțiunilor care pot influența stabilitatea unei structuri, constituindu-se într-un sistem automat de înregistrare și prelucrare a informațiilor. Informațiile pe care le oferă sistemul performant de monitorizare pot fi analizate sub formă numerică sau grafică, fiind posibilă evaluarea stării tehnice a construcției în timp real. În Fig. 4.41 se prezintă selectiv interfața datelor înregistrate într-o manieră automatizată, în perioada 19.08.2013-26.08.2013, în secțiunea 6-16 și secțiunea 8-18. Cele două reprezentări grafice evidențiază comportamentul diferit al structurii în secțiuni distincte, în aceeași perioadă de timp.



**Fig. 4.41. Analiza observațiilor sub formă grafică**

Sistemul de monitorizare bazat pe senzori înglobează un set de funcționalități, care îi oferă precizie foarte bună și randament crescut, venind în întâmpinarea și prevenirea unor evenimente în exploatarea în siguranță a podului. În Fig. 4.42 se prezintă interfața procedurii de atenționare și alarmare a persoanelor interesate în cazul constatării iminenței producerii unei avarii.



**Fig. 4.42. Funcția de atenționare și alarmare în timp real a sistemului de senzori**

## 4.6. Concluzii și recomandări

Construcția, reabilitarea și modernizarea căilor de comunicație și a lucrărilor de artă adiacente a cunoscut un avânt considerabil în ultimii ani, acestui domeniu fiindu-i alocate importante resurse financiare și tehnologice. De importanță majoră sunt lucrările de artă, parte integrantă a căilor de comunicație rutiere și feroviare, care presupun o atenție deosebită din perspectiva lucrărilor topografice și geodezice.

Podul hobanat peste canalul Dunăre – Marea Neagră la Agigea constituie o realizare de excepție a proiectanților și constructorilor români, cu limitele inerente ale perioadei în care a fost creat și ale condițiilor de execuție din acel moment. Podul se constituie ca o structură fractalică a fondului național construit, fiind considerat o lucrare de artă de referință, de unde derivă necesitatea adoptării unor măsuri urgente în scopul prezervării aptitudinii de exploatare în condiții depline de siguranță a acestuia.

Importanța acestor aspecte este maximizată de starea actuală de degradare, survenită ca urmare a uzurii în exploatare, a interacțiunii cu mediul ambiant și a curenței măsurilor de intervenție. Un factor la fel de important, care trebuie luat în considerare, este calitatea materialelor de construcție utilizate și modul de punere în operă al acestora, care nu au corespuns normelor și cerințelor impuse de anvergura obiectivului. Practica impusă de condițiile politico-sociale de la acea vreme implica deseori reducerea costurilor de investiție prin diminuarea cantităților de material utilizat comparativ cu cele din proiecte și utilizarea de materiale ieftine, de calitate inferioară.

În contextul dezvoltării economice permanente și implicit, al creșterii solicitărilor din trafic, soluția constructivă trebuia adaptată la nevoile și condițiile de exploatare actuale, care, de la sine înțeles, nu mai coincid cu cele estimate din faza de proiectare. Lipsa acestor măsuri de intervenție, constând în lucrări de reabilitare în vederea consolidării structurii și îmbunătățirii capacității portante a acesteia au condus la destabilizarea construcției și la diminuarea abilităților de funcționare și a siguranței în exploatare, existând riscul prăbușirii podului în orice moment, fără avertizare, generând pagube materiale majore și pierderi de vieți omenești. Un eventual dezastru de acest gen ar fi afectat România din punct de vedere economic, politic și social.

Aderarea la Uniunea Europeană a impus obligativitatea alinierii la standardele europene în privința asigurării unui nivel ridicat de performanță al infrastructurii, adaptat la cerințele actuale de calitate și fiabilitate. În acest context, specialiști în domeniu, provenind atât din cadrul unor societăți private, cât și din mediul academic, din țară și din străinătate, la solicitarea beneficiarului (administratorului) Compania Națională de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România S.A., au efectuat o serie de expertize, succedate de propuneri și recomandări în vederea adoptării unor măsuri urgente de punere în siguranță a podului.

În cadrul măsurilor de punere în siguranță a podului, s-au solicitat măsurători topo-geodezice în vederea urmăririi în timp a comportamentului construcției, care fac obiectul prezentului studiu de caz. Lucrările topo-geodezice au avut ca scop urmărirea specială a comportamentului structurii podului hobanat de la Agigea pe parcursul a zece luni de zile, fiind efectuate sub forma a douăzeci de cicluri de măsurători, în perioada 17.11.2012 – 05.09.2013.

Măsurătorile topo-geodezice s-au efectuat prin metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie, fiind metoda care asigură cel mai înalt nivel de precizie în determinarea deplasărilor verticale ale construcțiilor, utilizând nivela electronică automată DNA 03 și mira de invar Zeiss. Tehnologia performantă și metoda aleasă asigură precizia submilimetrică necesară acestui tip de lucrări.

Au fost respectate exigențele în ceea ce privește repartiția și densitatea punctelor care alcătuiesc rețeaua de referință și rețeaua de observație. Un număr mai mare de reperi de control oferă posibilitatea prelevării unei cantități mai mari de informații cu privire la comportamentul construcției, conducând astfel la îmbunătățirea preciziei și a relevanței rezultatelor măsurătorilor.



De asemenea, modul corespunzător de aplicare în teren a tehnicilor și metodelor topo-geodezice de măsurare a contribuit semnificativ la sesizarea caracteristicilor imanente ale structurii și la diagnosticarea distopiei unor elemente sau a structurii în ansamblu, generată de acțiunea unor factori exogeni. Mărimea și direcția deplasărilor au relevat caracteristicile și dinamica structurii, gradul de instabilitate, fiind totodată un indicator al nivelului de risc.

O imagine clară a stării „de facto” a construcției este vitală, în scopul cuantificării consecințelor randamentale și perioadei remanente de exploatare a structurii. Metodele de cercetare empirică a factorilor care intervin și a fenomenelor cu rol cauzal sau corelativ, stau la baza identificării unor soluții tehnice inovative și selecționării procedurilor optime de sporire a randamentului global al structurii.

Informațiile provenite din inspectarea “in situ” a construcției, atât prin cercetarea vizuală a elementelor constructive și înregistrarea datelor pe fișe de inspecție, cât și prin observații efectuate prin mijloace și metode topo-geodezice, au stat la baza luării unor decizii cu privire la punerea în siguranță a podului.

Rezultatele au fost procesate și postprocesate, fiind livrate atât în formă tabelară, cât și grafică, modelele obținute relevând o deplasare de formă gaussiană, săgeata fiind insesizabilă în punctele de control amplasate pe elementele de rezistență ale construcției și accentuată în punctele din mijlocul deschiderii podului. În scop explicativ, acest mod de configurare al dinamicii structurii oferă o imagine concretă a stării tehnice a construcției, confirmând totodată veridicitatea informațiilor provenite din inspectarea “in situ”.

În urma constatării nivelului de degradare al structurii, s-a luat decizia înlocuirii imediate a sistemului de hobanare. Procesul efectiv de punere în operă a soluției tehnice avizate pentru montarea hobanelor noi cu proprietăți tehnice net superioare, a fost precedat de montarea unor hobane suplimentare și a unui jug în partea superioară a podului, pentru a susține structura pe perioada efectuării lucrărilor de înlocuire a hobanelor existente. Odată cu acestea, s-au luat măsuri de restricționare parțială a traficului, limitare a vitezei la 30 km/h și gabaritului la 5t, circulația efectuându-se o perioadă doar pe două benzi. De asemenea, traficul a fost deviat pe cât posibil pe rute ocolitoare, în timpul lucrărilor fiind deseori necesară închiderea accesului pe pod.

Din punct de vedere topo-geodezic, se recomandă continuarea monitorizării acestei importante lucrări de artă, prin mijloacele specifice urmăririi speciale, în perioada ulterioară acestor operațiuni, la intervale prestabilite, conform legislației aflate în vigoare în țara noastră, pe baza unui program precis și judicios, elaborat de către o instituție specializată în acest gen de lucrări, care să cunoască foarte bine atât dispozitivele și procedurile de monitorizare, cât și alcătuirea constructivă și structurală a lucrării. În plus, se recomandă menținerea sistemului de monitorizare permanentă și în timp real bazat pe senzori, care oferă posibilitatea unei alarmări în cazul atingerii sau excederii unor valori prestabilite, imperios necesar la construcții de asemenea amploare și complexitate, a căror avariere sau distrugere ar putea implica riscuri majore constând în pierderi de vieți omenești sau bunuri materiale importante.

## **5. CERCETĂRI PROPRII, REZULTATE ȘI INTERPRETĂRI OBȚINUTE PRIN URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR LA UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ SI FARMACIE "GRIGORE T. POPA" IAȘI**

### **5.1. Importanța și actualitatea problemei abordate**

Dezvoltarea zonelor urbane din ultimii 50 de ani a condus la creșterea riscului de producere a hazardelor. [49] Administrarea responsabilă a teritoriului, în contextul dezvoltării durabile, presupune cercetarea riscurilor privind producerea unor hazarduri naturale, cum ar fi seismele, inundațiile sau alunecările de teren. Prin caracterul lor accidental, hazardurile reprezintă unul dintre cele mai importante impedimente în calea dezvoltării durabile. Astfel, sunt necesare măsuri de evaluare a evoluției în timp a fenomenelor, concretizate prin hărți de risc, pentru a putea face estimări și prognoze, care să conducă eminamente la diminuarea distrugerilor materiale și a pierderilor de vieți omenești. Aceste măsuri se pot adopta în urma unei prelucrări și analize minuțioase a datelor obținute în urma măsurătorilor geodezice și geotehnice inginerești, manevrate cu programe specializate în acest sens. [94]

Caracteristicile geologice, hidrogeologice, geomorfologice, geotehnice, tectonice și climatice ale teritoriului aferent municipiului Iași, plasează regiunea în categoria zonelor de risc. Stabilitatea solurilor poate fi influențată, în egală măsură, de acțiunea factorilor permanenți, respectiv condițiile geologice, geomorfologice, structurale, care dau calitatea terenului de fundare și de acțiunea factorilor temporari, precum condițiile climatice, hidrologice, seismice, silvice și antropice, concretizate prin precipitații abundente, creșterea nivelului apei freatică, eroziunea albiilor râurilor, fenomenul de îngheț-dezghet, vibrații, șocuri seismice, tixotropia rocilor, acțiuni antropice de tipul defrișărilor sau excavațiilor adânci, care pot conduce la destabilizarea versanților și taluzurilor și la producerea alunecărilor de teren. Astfel, este necesară cercetarea tuturor factorilor naturali și antropogeni care generează degradarea solurilor, favorizând apariția fenomenului de instabilitate.

Din perspectiva gradului de ocupare al zonelor cu expunere la risc de pe teritoriul județului Iași, conform datelor furnizate de Oficiul de Studii Pedologice și Agrochimice Iași, alunecările de teren afectează suprafața de 69.262ha pe teritoriul județului din totalul de 547.600ha, inundabilitatea afectând nu mai puțin de 19.142ha, iar eroziunea de adâncime afectează 8.047ha [123], ceea ce plasează județul Iași în categoria teritoriilor cu grad ridicat de expunere la riscul producerii hazardelor.

Strategia Națională pentru dezvoltare durabilă a României, elaborată în anul 2008 și actualizată, confirmă existența catastrofelor naturale produse de seisme, alunecări de teren sau inundații pe teritoriul țării noastre și necesitatea adoptării unor măsuri preventive. Inundațiile din 2005 și 2006 de pe teritoriul României au avut efecte devastatoare asupra populației, afectând peste 1,5 milioane persoane (93 morți) și generând pagube materiale estimate la 2 miliarde de euro. [113]

Conform statisticilor, teritoriul județului Iași a fost una dintre cele mai afectate zone în urma inundațiilor din perioada 2005-2010.

Este limpede faptul că societatea trebuie să se îndrepte spre prevenirea problemelor de mediu cu ajutorul dezvoltării unor soluții viabile, constând în metode, programe, proiecte și acțiuni în domeniul planificării spațiale și al managementului integrat al deșeurilor, dar și spre eficientizarea intervențiilor după producerea acestor hazarduri, prin crearea unor unități operative speciale, dotarea acestora cu echipamente și personal instruit. Obiectivele principale ale strategiei naționale pentru dezvoltare durabilă a României vizează instituirea unui management durabil al hazardurilor în zonele expuse la risc și implementarea unor sisteme de avertizare și informare a populației.

## 5.2. Prezentarea generală a zonei studiate

### 5.2.1. Așezarea geografică

Din punct de vedere geografic, județul Iași este situat în partea nord-estică a României și central-estică a Moldovei, între paralelele 46°50' și 47°36' latitudine nordică și între meridianele 26°33' și 28°07' longitudine estică. Municipiul Iași este reședința județului Iași și principalul centru urban din nord-estul României. Facultatea de Bioinginerie Medicală face parte din Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” din Iași, fiind situată într-un cartier rezidențial din nordul municipiului, pe terasa superioară Copou.

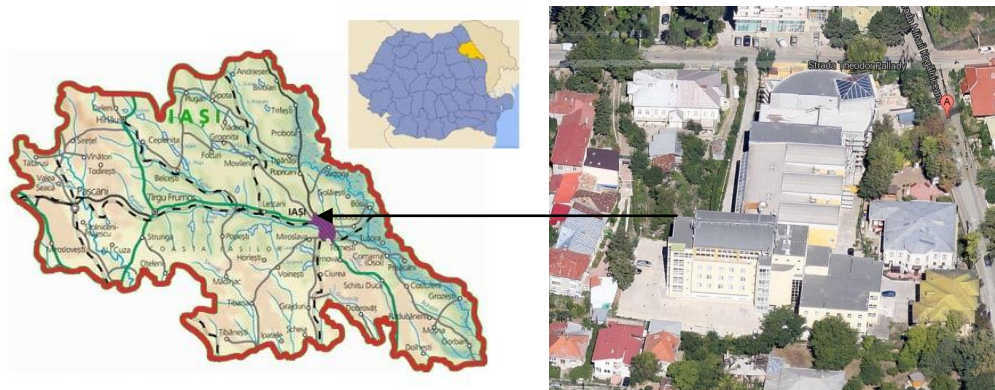
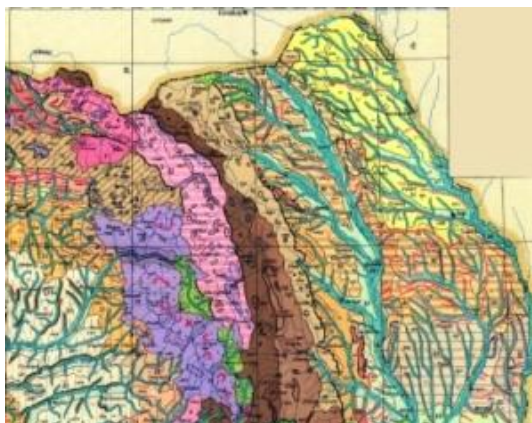


Fig. 5.1. Încadrarea în teritoriu a zonei de studiu

### 5.2.2. Date asupra condițiilor geologice, geomorfologice, geotehnice și tectonice

Din punct de vedere **geologic**, teritoriul județului Iași aparține unității structurale a Podișului Moldovei (Platformei Moldovenești), cea mai veche unitate de platformă de pe teritoriul României [48], caracterizată printr-o alcătuire geologică relativ simplă, mobilitate tectonică redusă, structură și litologie destul de uniforme. Morfologia podișului pune în evidență prezența a două trepte mari: una înaltă, în vest și sud, sub formă de masive deluroase și platouri, ușor înclinate spre sud-est, cu altitudini medii de 300 – 350m și alta mai joasă, în nord și nord-est, cu aspect de câmpie colinară și altitudini medii de 100 – 150m. [103]

Pe fondul acestui substrat geologic, s-a creat un relief cu o fragmentare preponderent colinar-deluroasă în cadrul unității de câmpie colinară, predominante fiind formațiunile argilo-marnoase cu intercalații de nisipuri. Platforma Moldovenească este alcătuită dintr-un soclu metamorfic străbătut de intruziuni magmatice granitoidice și o cuvertură sedimentară formată din depozite cvasiorizontale, care reflectă stadiile de evoluție geologică. [48]



**Fig. 5.2. Extras din harta geomorfologică a României, scara 1: 1.500.000 (după Coteț, 1960)[91]**

Fundamentul este constituit din roci cristaline cutate cu importante intruziuni granitice de varstă precambriană, peste care se dispune o cuvertură sedimentară cu grosimi între 1000 - 2000m, formată din depozite ordovician-siluriene, cretacice și neogene. Ultimele depozite din seria neogenă sunt cele sarmațiene, cu o grosime de 280m la Iași. Peste depozitele sarmațiene și meoțiene sunt dispuse formațiuni cuaternare aluvio-coluviale, deluviale, eluviale, reprezentate prin nisipuri, pietrișuri, argile, argile nisipoase, luturi loessoide.

Din punct de vedere **geotehnic**, depozitele argiloase sarmațiene și cuaternare pot fi atribuite clasei argilelor grase, plastic-vârtoase, iar luturile loessoide pământurilor macroporice și sensibile la umezire, constituind în general terenuri dificile de fundare, care impun măsuri specifice de fundare.

Din punct de vedere **tectonic**, falia Siretului și falia Bistritei delimitează marginile Platformei Moldovenești, la exteriorul acesteia fiind situate platforme mai tinere. Falia Siretului este considerată stabilă, astfel că nu produce fenomene geologice care să influențeze activitatea antropică. Studiile geologice evidențiază ușoare ridicări ale scoarței, care ating în nordul și vestul teritoriului valori de 3-4mm/an, iar în sud 2-3mm/an. [117]

Condițiile geologice și fizico-geografice situează România în categoria țărilor cu potențial ridicat de producere a unor fenomene de instabilitate, în special a alunecărilor de teren. Ariile cu potențial ridicat în ceea ce privește probabilitatea de declanșare a unor alunecări de teren sunt legate de condițiile de relief, fiind situate în cea mai mare parte în zonele subcarpatice ale țării noastre. În afară de condițiile de relief, ariile cu potențial ridicat de declanșare a unor alunecări de teren se suprapun, în bună parte, peste zonele cu seismicitate ridicată. [37]

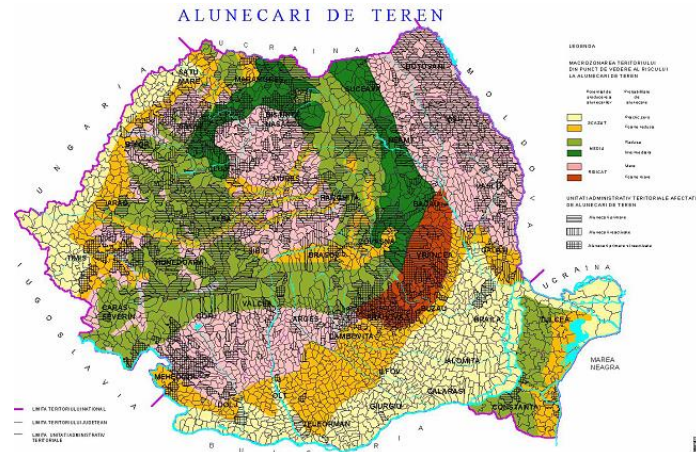


Fig. 5.3. Zone de risc natural la alunecări de teren [93]

Datele cu privire hazardurile din ultimele decenii relevă frecvența producerii acestora preponderent în zonele subcarpatice ale țării noastre, respectiv în județele Vrancea, Botoșani, Iași, Vaslui, Buzău, Vâlcea și Gorj, dar nu numai.

România se situează printre țările europene cu risc seismic mare [87], având pe teritoriul zona tectonică activă Vrancea, situată în regiunea de curbură a Carpaților, generatoare de cutremure catastrofale cu o magnitudine de peste 7 grade pe scara Richter. Astfel de cutremure s-au înregistrat în 26 noiembrie 1802, 10 noiembrie 1940 și 4 martie 1977, soldate cu importante pierderi materiale și vieți omenești.

Regiunea Vrancea este o regiune seismică complexă de convergență continentală, cu cel puțin trei unități tectonice în contact: placa Est-Europeană și subplăcile Intra-Alpină și Moesică. Platforma Moldovenească este terminația sud-vestică a Platformei Est-Europene, ceea ce face ca, din perspectiva riscului seismic, teritoriul județului Iași să intre sub incidența regiunii Vrancea. [48], [118]

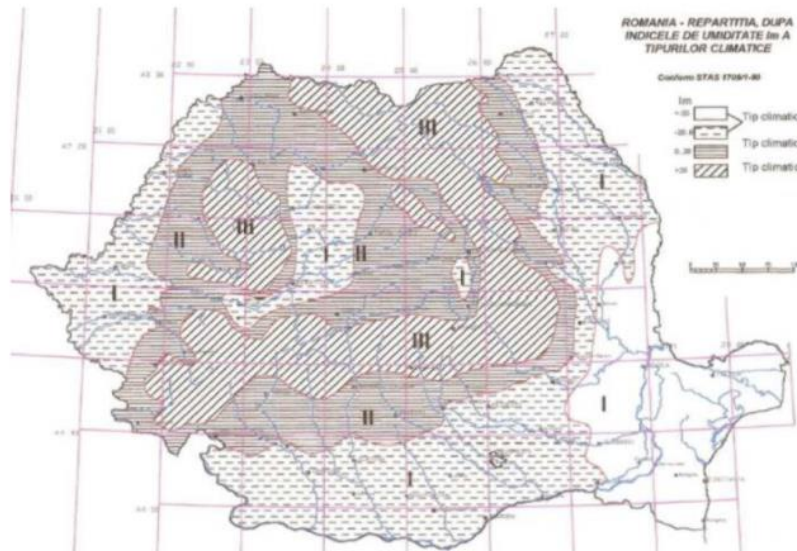
### 5.2.3. Date asupra condițiilor climatice și hidrogeologice

Datorită așezării geografice, România este situată într-o zonă cu *climat temperat-continental*, aflat sub influența directă a anticlonilor atlantic și euro-asiatic, caracterizat prin ploi torențiale (în special în sezonul cald), generând o varietate de riscuri climatice, care pot fi grupate, în funcție de sezon, în hazarduri și riscuri climatice de vară sau de iarnă. [91]

Caracteristic pentru *regimul pluviometric* al județului este atât abundența, cât și deficitul de precipitații, ambele fenomene având repercursiuni asupra mediului și economiei. Din totalul precipitațiilor, aproximativ 40% cad vara, 30% primăvara, 23% toamna și 17% iarna.

*Temperatura* medie anuală înregistrată în județul Iași în perioada 1901–2000 a fost de +9,5°C, variind între –36°C și +40°C, valori care au avut caracter accidental [108], [97]. Cele mai mari valori medii lunare se înregistrează în luna iulie, iar cele mai mici valori se înregistrează în ianuarie. Temperatura medie anuală înregistrată în municipiul Iași este de 10–11°C, mai mare decât în restul regiunilor, fiind o caracteristică a zonelor urbane. De regulă, cel mai înalt nivel de expunere la temperaturi ridicate este înregistrat de aglomerările urbane, unde temperaturile

sunt amplificate de prezența betonului și asfaltului ce înmagazinează o cantitate mare de căldură.



**Fig. 5.4. Harta cu repartitia tipurilor climatice**

*Fenomenul de îngheț* este o caracteristică termică specifică intervalului noiembrie-martie. Numărul mediu al zilelor cu îngheț este de 75–100 zile/an, iar a podului de gheață de 50-65 de zile/an. Aceste aspecte sunt relevante întrucât fenomenul de dezgheț, care se produce în perioada martie-aprilie, este unul din factorii principali care conduc la creșterea bruscă a debitelor râurilor și implicit, la producerea de inundații.

Fenomenele hidroclimatice extreme constituie factori de risc cu un mare potențial distructiv. Inundațiile reprezintă unul dintre cele mai dezastruoase fenomene naturale extreme, declanșate ca urmare a relației de cauzalitate directă dintre factorii atmosferici (precipitații) și cei hidrici. Producerea inundațiilor este rezultatul interacțiunii dintre precipitații, ca factor generator și bazinul hidrografic, care răspunde într-un mod specific impulsului meteorologic, în funcție de parametri lui hidrologici. La aceștia se adaugă în multe situații și factorii geomorfici și cei antropici. [6], [83], [42]

Evidențiez aici legătura de interdependență dintre elementele hidrologice și cele climatice, fenomenele hidrologice extreme fiind generate și întreținute de cele climatice. Prin urmare, viiturile, specifice zonei temperate și anotimpului cald, sunt determinate de existența unor precipitații bogate, cu caracter torențial, fiind caracteristice zonei studiate.

*Seceta* și fenomenele asociate acesteia, respectiv *aridizarea* (coborârea excesivă a nivelului freatic) și *deșertificarea* (reducerea suprafeței de sol acoperită de vegetație și o considerabilă sărăcire și eroziune a solurilor), [103] au influență negativă asupra calității solurilor ca terenuri de fundare, fiind, de asemenea, fenomene răspândite în zona studiată.

Rețeaua hidrografică a județului Iași este formată din râuri cu dimensiuni variabile, precum Prut, Siret, Jijia, Bahlui, dintre care râul Bahlui străbate municipiul

Iași, dar și dintr-un număr important de lacuri, iazuri și heleștee. Alimentarea râurilor se face în principal din ploi și secundar din zăpezi și surse subterane. [117]

*Hazardele hidrologice* din zona județului Iași sunt favorizate în special de densitatea rețelei hidrografice ce fragmentează Podișul Moldovei, de condițiile climatice specifice și de activitatea antropică (construcții în zone inundabile, neîntreținerea albiilor râurilor, subdimensionări constructive ale podurilor). La acestea se pot adăuga caracteristicile bazinelor hidrografice, precum suprafața, forma, altitudinea medie, pantele, gradul de împădurire, care influențează durata, debitele și volumele maxime ale viiturilor.

*Gradul scăzut de împădurire* datorat defrișărilor masive, respectiv 7% din suprafața bazinelor hidrografice și 17,82 % din suprafața totală a județului Iași [103], favorizează deteriorarea pământului de fundare și apariția alunecărilor de teren, mai ales în luncile și terasele râurilor, care ocupă 30% din teritoriul județului.

Conform datelor Direcției Județene de Statistică, din 1995 până în prezent au avut loc un număr important de evenimente cauzate de precipitații abundente, intensificări de vânt, grindină, curgeri de versanți, fenomene de iarnă pe cursurile de apă și creșteri ale cursurilor de apă cu depășirea cotelor caracteristice de apărare ale acestora. Contextul sinoptic general al viiturilor din anii 2005, 2006, 2008 și 2010 este aproape identic [42], fiind generate de masele de aer care traversează Câmpia Română, ajungând deasupra Mării Negre, unde se reîncarcă puternic cu umezeală și evoluează ciclonic, adică în sensul invers acelor de ceasornic, către est.

Din punct de vedere **hidrogeologic**, apele subterane sunt reprezentate atât prin *strate acvifere de adâncime* (captive), cât și prin *strate acvifere libere*.

Apele de adâncime sunt strate acvifere sub presiune, puternic mineralizate, acumulate în depozite sedimentare nesectionate de văile râurilor, cu caracter ascensional sau chiar artezian, fiind interceptate prin foraje.

Stratele acvifere libere, înmagazinate în formațiunile sarmațiene sectionate de văi, sunt puternic influențate de precipitații, caracterizându-se prin lipsa presiunii și mineralizare accentuată, unele fiind sulfatate, magneziene și sodice, cum sunt cele de la Breazu, Copou, Tomești sau Picioru Lupului, iar altele sulfuroase, bicarbonatate și sodice, precum cele de la Strunga, Raducăneni sau Pârcovaci.

Cele mai importante strate acvifere libere sunt însă apele freatice, situate la partea superioară a platourilor și interfluviilor, la adâncimi de 10 – 30m sau la baza teraselor și șesurilor din lungul văilor principale. Ele sunt ușor alcaline, având pH cuprins între 7 și 7,5, au o temperatură de aproximativ 9°C și o durtate totală de 16 – 260 grade germane, constituind sursa care asigură alimentarea localităților. [117], [102], [108], [11] Din studiile efectuate de specialiști în zona studiată, nivelul apei subterane se situează la adâncimi de aproximativ 7,6m față de cota terenului natural.

#### 5.2.4. Caracteristicile terenului de fundare

Prin studiul geotehnic efectuat în anul 1998 s-a stabilit *tipul litologic*, respectiv *argilă prăfoasă, galben-cafenie, plastic-vârtoasă, loessoidală, sensibilă la umezire* și caracteristicile fizico-mecanice ale terenului de fundare. Conform acestuia, s-a stabilit următoarea stratificație:

- un strat de umplutură de pământ cu bucăți de piatră și cărămizi cu grosime de 1,50 - 1,80m;
- un strat de argilă prăfoasă, galben-cafenie, plastic-vârtoasă, loessoidală, sensibilă la umezire cu grosime de aproximativ 5,40m;
- un strat de argilă galbenă, plastic-vârtoasă.

Pământurile sensibile la umezire colapsibile sunt pământuri coezive macroporice nesaturate, care la contactul cu apa suferă modificări bruște și ireversibile ale structurii interne, reflectate prin tasări suplimentare cu caracter de prăbușire și scăderi ale valorilor parametrilor geotehnici de comportament mecanic. Din această categorie fac parte loessurile. [105]

Loessurile sunt depozite mobile, pulverulente, relativ omogene, slab consolidate, cu aspect masiv, lipsite de stratificație, friabile, cu porozitate ridicată, având tendință de desprindere după plane verticale. Acestea sunt permeabile, apele de infiltrație determinând procese de sufoziune, care conduc la tasare. [44] Formațiunile loessoidale au o culoare predominant galbuie, iar în stare naturală au umiditate redusă și plasticitate cuprinsă între 6 - 28%. Făcând parte din categoria pământurilor sensibile la umezire, loessurile se caracterizează prin faptul că, în condiții de umiditate ridicată, au deformații mari sub acțiunea încărcărilor exterioare sau a greutateii proprii. Această particularitate a lor, respectiv sensibilitatea la umezire, exprimă capacitatea acestor pământuri de a-și reduce brusc volumul de goluri pentru o presiune dată, atunci când sunt supuse inundării, ca urmare a distrugerii structurii lor, conducând la apariția unor tasări neuniforme ale fundațiilor. Mărimea și durata de producere a deformațiilor depind de natura încărcării, de dimensiunile și forma suprafeței de încărcare, gradul de umezire al pământului.

Din punct de vedere *mineralogic*, depozitele loessoide conțin cuarț, feldspații, mică, caolinit și montmorillonit. În structura pământurilor sensibile la umezire se mai întâlnesc carbonați de calciu și magneziu până la 10 - 25%. [107]

Caracteristicile terenului de fundare îl plasează în categoria pământurilor dificile de fundare. Prin pământuri dificile ca teren de fundare se înțeleg, în general, pământurile care sunt caracterizate prin compresibilitate mare și rezistență la forfecare scăzută, precum și cele care manifestă agresivitate față de materialele din care se execută fundațiile construcțiilor.

Sub incidența transformărilor mecanice și a poluării cu elemente și substanțe chimice provenite din emisiile industriale, emisiile din transporturi ori din deșeurile industriale sau menajere, solurile din aglomerărilor urbane sunt puternic afectate, conducând la scăderea calității lor ca terenuri de fundare. Conform cercetărilor efectuate de specialiști în domeniul geotehnicii asupra solurilor din municipiul Iași, s-a constatat că, într-o proporție de 10% până la 50% [50], structura acestora este afectată datorită intervențiilor antropice, o pondere mare având deșeurile industriale provenite din activități de construcții sau din activitatea gospodărească.

Fenomenele naturale extreme, frecvente în zona municipiului Iași, au contribuit, de asemenea, la deteriorarea în timp a terenului de fundare și la diminuarea capacității portante, ipso facto la scăderea aptitudinii de exploatare în condiții de siguranță, fiind necesare măsuri speciale de consolidare atât a terenului, cât și a construcțiilor.

### 5.2.5. Date privind alcătuirea constructivă a clădirilor

Ansamblul clădirilor ce deservește Facultății de Bioinginerie Medicală din Iași este alcătuit din patru corpuri distincte, separate prin rosturi de tasare de 15cm, având regim de înălțime diferit și anume: corpul A, cu destinație de spații administrative și învățământ, are un regim de înălțime D+P+2E; corpul B, destinat sălilor de seminar și amfiteatrelor, are un regim de înălțime D+P+2E; corpul C1, în care se găsesc laboratoare speciale, are un regim de înălțime S+D+P+3E; corpul C2, în care se găsesc laboratoare generale, are un regim de înălțime S+D+P+1E.



Infrastructura clădirilor este realizată din tălpi de fundații din beton armat. Dimensiunile grinzilor de fundații sunt de 60x120 cm, cu tălpi variind între 1,20 – 1,80m. Sistemul de fundare formează o rețea de grinzi continue încrucișate, dispusă pe două direcții ortogonale, care leagă stâlpii structurii de rezistență în plan transversal și longitudinal. Suprastructura clădirilor este realizată din cadre și planșee din beton armat monolit. Dispunerea clădirilor se poate observa în Fig. 5.5.

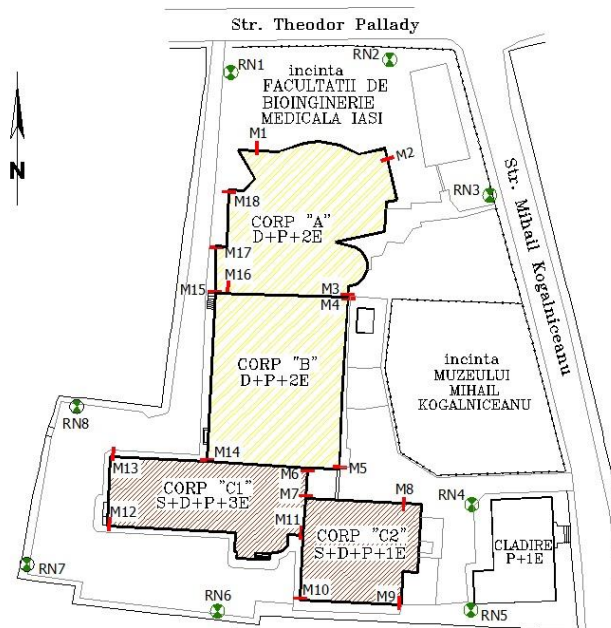


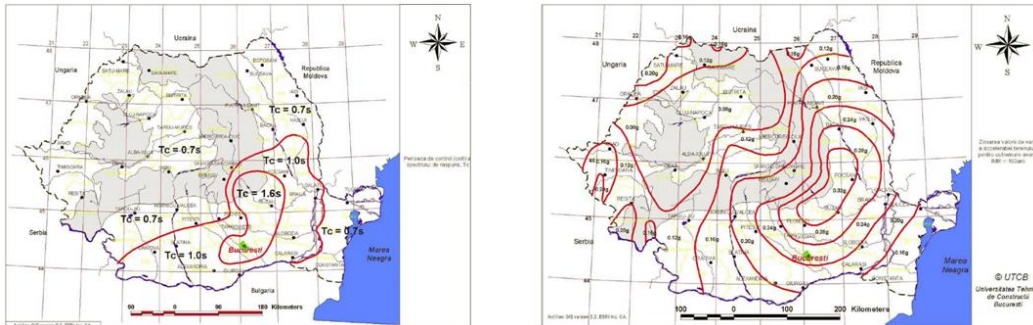
Fig. 5.5. Plan de situație cu dispunerea rețelei de urmărire

### 5.2.6. Date privind destinația, seismicitatea, clasa și categoria de importanță a construcțiilor

Cele patru clădiri ce deservește Facultatea de Bioinginerie Medicală din Iași au destinație publică și implicit, o importanță sporită, prin natura activităților ce se desfășoară în cadrul acestora și numărul persoanelor pe care le adăpostesc zilnic, actualmente acesta fiind de aproximativ 6000.

Importanța construcțiilor depinde de consecințele prăbușirii acestora asupra vieții oamenilor, de importanța lor pentru siguranța publică și protecția civilă în perioada imediată producerii cutremurelor și de consecințele sociale și economice ale prăbușirii sau avarierii grave. Conform normativului 10101/0-75, "Principii generale de verificare a siguranței construcțiilor" și P100/1992 "Proiectarea seismică a construcțiilor social-culturale", clasa de importanță stabilită pentru corpurile nou construite, A și B, este **II**, iar pentru corpurile vechi, C1 și C2, clasa de importanță este **III**. Factorul de importanță pentru acțiunea seismică este 1,2. Conform normativului P100/1992, "Proiectarea seismică a construcțiilor social-culturale", amplasamentul se situează în **zona de intensitate seismică "C"**, echivalentă cu gradul VIII, având  $K_s=0,2$  și o perioadă de control (de colț)  $T_c=1,0$  sec. Încadrarea în **categoria de importanță "C"** normală a fost stabilită conform Regulamentului

privind stabilirea categoriei de importanță a construcțiilor, aprobat de Guvern prin HGR 766/1997 din 21.11.1997, capitolul II, articolul 6.



**Fig. 5.6. Zonarea teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare ag pentru cutremure având intervalul mediu de recurență IMR = 100 ani și în termeni de perioadă de control (colț), TC a spectrului de răspuns Codul de proiectare seismică P100-1/2006**

### 5.2.7. Date privind amplasarea construcțiilor în zone protejate

Unitatea de învățământ se află într-o zonă protejată, inclusă pe lista monumentelor, ansamblurilor și șiturilor istorice, fiind situată în imediata apropiere a muzeului memorial "Mihail Kogălniceanu", construcție care datează din anul 1936 și care face parte din patrimoniul cultural al țării. De asemenea, clădirile ce deservește Facultatea de Bioinginerie Medicală sunt amplasate în zona Parcului Copou, amenajat în anul 1834 prin directiva domnitorului Mihail Sturdza [108], care face parte din patrimoniul natural național, fiind prima grădină publică din Iași.

### 5.3. Cadrul legislativ privind necesitatea instituirii procedurii de urmărire "in situ" a construcțiilor

*Cadrul legislativ* care invocă necesitatea instituirii procedurii de urmărire "in situ" cuprinde un ansamblu de legi și normative, care impun adoptarea unor măsuri de urmărire în anumite cazuri, precum construcția unor clădiri noi în proximitatea unor clădiri aflate deja în exploatare sau după producerea unor fenomene extreme, cum sunt cutremurele sau inundațiile, în scopul observării modificărilor ce apar în structura acestora și adoptării măsurilor de intervenție ce se impun. De asemenea, o atenție deosebită se acordă construcțiilor cu destinație publică și construcțiilor amplasate pe terenuri dificile de fundare, care prezintă un grad de risc ridicat în privința consecințelor pe care le poate avea depășirea valorilor limită sau producerea unor avarii asupra vieții și sănătății oamenilor.

Data fiind destinația publică a clădirilor ce deservește Facultății de Bioinginerie Medicală "Grigore T. Popa" din Iași și importanța acestora, statul român, în calitate de proprietar, prin administratorul imobilului, are obligația de a asigura condițiile corespunzătoare pentru păstrarea aptitudinii de exploatare a construcțiilor. Datorită modificărilor survenite în structura clădirilor vechi, constând în fisuri și crăpături vizibile, ca urmare a executării unor excavații în incinta campusului universitar și efectuării unor lucrări de construcție și modernizare a unor corpuri de clădire (corpul B și corpul A), s-au luat măsuri pentru instituirea de

urgență a unui program de urmărire specială pentru punerea sub observație a întregului ansamblu de clădiri și a zonelor adiacente.

De asemenea, legislația în vigoare solicită o atenție sporită în ceea ce privește impactul și consecințele pe care noile construcții le pot avea asupra clădirilor din vecinătate și adoptarea unor măsuri de consolidare a acestora, dacă se constată necesitatea unor acțiuni de acest gen. Pe de altă parte, legislația impune efectuarea, în prealabil, a unor studii cu privire la cele menționate mai sus (zona de influență a noilor construcții, inclusiv să nu depășească limita de proprietate), în scopul prevenirii degradării construcțiilor existente și al păstrării fondului construit.

Activitatea de urmărire a deformațiilor și deplasărilor construcțiilor pe durata existenței acestora este reglementată de legea 10 din 1995, privind calitatea în construcții, normativul privind comportarea în timp a construcțiilor P130-1999 [66], stasul 3300-1-85, care reglementează principiile generale pentru calculul și urmărirea comportării terenului de fundare și stasul ST-016-97 aprobat prin ordinul 57/N din 11.03.1997, privind criteriile și metodele pentru determinarea prin măsurători a tasării construcțiilor și instrucțiunile tehnice pentru determinarea prin metode topo-geodezice a deplasării construcțiilor datorate deformațiilor terenului de fundare. Obligatorietatea urmăririi deplasărilor și deformațiilor tuturor categoriilor de construcții, generate de tasarea terenului de fundare, atât în timpul execuției, cât și în exploatare, prin metode topo-geodezice este reglementată și prin stas 2745-90, cu respectarea prevederilor din stas 10493-91. Astfel, se poate face distincție între obligativitatea instituirii unui program de urmărire a deplasărilor și deformațiilor, în anumite condiții, pentru construcții noi și pentru construcții existente, aflate deja în exploatare.

Cazurile în care este obligatorie urmărirea specială a unor **construcții noi** depind de *natura terenului de fundare, calculul la starea limită de deformații, sistemul de fundare, înălțimea construcției* și sunt următoarele:

- construcții noi ale căror fundații se execută pe pământuri cu caracteristici îmbunătățite (prin compactare, procedee chimice sau piloți de pământ) sau pe pământuri de umplutură;
- construcții noi ale căror fundații se execută pe pământuri cu proprietăți speciale, respectiv pământuri sensibile la umezire, pământuri contractile, pământuri organice, terenuri nestabile;
- construcții noi înalte, având înălțimea mai mare de 20m, al căror raport între înălțimea construcției și dimensiunea minimă a construcției în plan orizontal este mai mare decât 3;
- construcții noi importante, fondate pe piloți flotanți, chesoane sau alte procedee speciale de fundare sau a căror fundații sunt calculate ca elemente rezemate pe mediu elastic;
- construcții noi pentru care tasările antecalulate depășesc jumătate din valoarea admisibilă a tasării medii indicată în tabelul 7 din STAS 3300/1-85 sau pentru care valorile antecalulate ale diferențelor de tasare, înclinărilor sau încovoierilor relative sunt apropiate de valorile maxime admise indicate în tabelul antemenționat.

Din perspectiva urmăririi deplasărilor și deformațiilor la clădirile nou construite din cadrul Facultății de Bioinginerie Medicală "Grigore T. Popa" din Iași, instituirea unui program de monitorizare a construcțiilor până la stabilizarea deformațiilor a fost necesară întrucât terenul de fundare face parte din categoria pământurilor dificile de fundare, loessoidale, sensibile la umezire, cu caracteristici îmbunătățite.

Cazurile în care este obligatorie urmărirea specială a unor **construcții existente** sunt următoarele:

- construcții existente la care, datorită terenului de fundare, au apărut deplasări, denivelări sau deformații constatate vizual (fisuri, crăpături) ori s-au produs înclinări față de verticală mai mari decât cele admisibile (4‰);
- construcții existente în apropierea cărora pot acționa sarcini provenite din supraîncărcări ale terenului de fundare, precum lucrări de terasamente, construcții înalte, surse de trepidații permanente;
- construcții existente care au suferit modificări importante ale condițiilor de exploatare, prin modificări structurale generatoare de supraîncărcări ale fundațiilor;
- după producerea unor calamități naturale, precum inundații, seisme sau alunecări de teren.

Din perspectiva urmării deplasărilor și deformațiilor la clădirile existente care deservește Facultății de Bioinginerie Medicală "Grigore T. Popa" din Iași, instituirea unui program de monitorizare a construcțiilor a fost necesară întrucât amplasarea unor construcții noi în proximitatea celor existente a generat încărcări suplimentare ale terenului de fundare, conducând la apariția unor degradări vizibile ale pereților clădirilor aflate în exploatare, sub forma unor crăpături și fisuri de dimensiuni considerabile și înclinări față de verticală ale structurilor. De asemenea, trebuie luat în considerare faptul că zona care face obiectul cercetării nu a fost ocolită de calamități naturale, precum inundații, seisme și alunecări de teren, ci dimpotrivă, este o zonă cu grad ridicat de risc, în care s-au manifestat frecvent astfel de fenomene.

Conform specificațiilor tehnice reglementate prin **ST-016-97**, pentru determinarea prin măsurători a tasării construcțiilor, deformațiile terenului de fundare sunt generate de starea de tensiuni provocată de încărcările transmise de construcție. Deplasările pe verticală ale terenului de fundare sau a fundațiilor, sub forma tasărilor, pot conduce la apariția unor modificări esențiale în starea de solicitare a elementelor de rezistență ale suprastructurii, când acestea sunt sisteme static determinate. Totodată, deformațiile pot fi acompaniate de solicitări de *compresiune, încovoiere, întindere, torsiune sau forfecare*. Astfel, deformațiile terenului de fundare produc asupra construcțiilor:

- deplasări verticale, respectiv tasări și ridicări, datorate, de regulă, îndesării terenului sub acțiunea încărcărilor transmise de fundații;
- deplasări orizontale (lunecări);
- rotiri;
- încovoiere relativă, exprimată prin raportul între săgeată și lungimea părții de construcție care se încovoie.

Pe lângă tasări, următoarele **cauze** pot conduce la deplasări verticale ale construcțiilor:

- contracții și umflări ale argilelor;
- goluri formate în subteran prin excavații subterane, dizolvarea unor roci solubile sau antrenarea pământului;
- prăbușiri ale structurii pământurilor macroporice, sensibile la umezire, ca urmare a saturării;
- lichefierea nisipurilor;
- mișcări seismice;
- alunecări de teren.

Deplasările verticale pot fi datorate unui nivel ridicat al compresibilității terenului de fundare și neuniformității acesteia, umezirii intense a terenului de

fundare, influenței unor construcții noi executate în vecinătatea celor existente, supraîncărcării terenului prin depozitarea unor materiale în apropiere, coborârii nivelului apei subterane, executării în zonă a unor foraje sau excavații, realizării unor lucrări de construcții subterane sau lucrări de construcții în imediata apropiere.

*Măsurarea deformațiilor* terenului de fundare trebuie efectuată atât pe întreaga durată a perioadei de execuție a construcțiilor, cât și pe parcursul exploatării lor, până la stabilizarea deformațiilor prevăzute prin proiectul de execuție. Oportunitatea urmăririi tasărilor construcțiilor noi se stabilește de către proiectant, iar al celor existente de către beneficiar.

Măsurarea tasărilor **pe parcursul execuției** permite prognozarea evoluției în timp a deformațiilor și a mărimii deformațiilor totale probabile ale construcției.

Principalele obiective ale urmăririi deformațiilor:

- determinarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor generate de tasări ale terenului de fundare, ca de exemplu: tasarea absolută, tasarea medie, tasarea relativă, înclinări ale fundațiilor sau ale construcției în ansamblu, încovoieri relative ale tălpilor continue de fundare și compararea acestora cu deplasările sau deformațiile estimate prin proiect;
- determinarea prin calcul a eforturilor și deformațiilor suplimentare ale elementelor construcțiilor și obținerea de date necesare în clarificarea cauzelor unor degradări ale construcțiilor;
- stabilirea unor elemente pentru definitivarea programului de execuție și a regimului de exploatare a construcției;
- obținerea de date necesare îmbunătățirii metodelor de calcul a terenului de fundare.

Acestea stau la baza îmbunătățirii metodelor de calcul și stabilirii valorilor deplasărilor și deformațiilor admisibile. De asemenea, prin interpretarea rezultatelor pot fi stabilite valori ale unor caracteristici ale pământurilor și rocilor din alcătuirea terenului de fundare.

Cu datele obținute:

- se poate verifica îndeplinirea condițiilor de siguranță și de exploatare normală a construcției;
- este posibilă obținerea unor elemente pentru perfecționarea metodelor de calcul al tasărilor, pentru stabilirea valorilor deplasărilor sau deformațiilor admisibile atât din punct de vedere tehnologic, cât și al structurii de rezistență și ale unor caracteristici de comportare a pământurilor și rocilor din terenul de fundare;
- se clarifică cauzele unor degradări ale construcțiilor;
- se definitivează programul de execuție și regimul de exploatare a construcției.

### **5.3.1. Măsurile de consolidare ale pământurilor de fundare sensibile la umezire și ale clădirilor amplasate pe acestea**

Pentru asigurarea rezistenței și exploatării normale a construcțiilor fundate pe pământuri sensibile la umezire, sunt necesare măsuri speciale, care privesc atât terenul de fundare, cât și sistemul constructiv al infrastructurii și suprastructurii construcțiilor. Eliminarea sensibilității la umezire prin consolidarea terenului se efectuează conform procedurilor indicate în "Normativ privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe prin procedee mecanice" indicativ C29-85 și C29/VIII-96. Calculul terenului de fundare și dimensionarea fundațiilor se realizează conform STAS 3300/1-85, STAS 3300/2-85 (calculul structurilor la efectul tasărilor inegale),

normativului privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire 125/2010 și P7/2000. Caracteristicile de rezistență și de deformație ale terenului consolidat trebuie determinate corespunzător, prin încercări de laborator și de teren, pentru pământul în stare de inundare, la gradul de compactare prevăzut prin proiect.

Metodele de îmbunătățire a terenului de fundare sensibil la umezire constau în măsuri de eliminare a sensibilității la umezire a terenului și micșorarea influenței deformațiilor neuniforme ale acestuia asupra construcțiilor:

- adoptarea unor soluții constructive adecvate pentru evitarea infiltrării în teren a apelor de suprafață, prin sistematizarea verticală și în plan a amplasamentului pentru asigurarea colectării și evacuării rapide a apelor meteorice și evitarea stagnării apelor în jurul construcțiilor sau perturbării echilibrului hidrogeologic și ridicării nivelului apei subterane;
- aplicarea unor măsuri pentru asigurarea conclucrării elementelor structurii, fiind preferate infrastructurile cu rigiditate mare, de exemplu structurile cu diafragme din beton armat, diafragme continue, fără decalări în plan, pe toată lungimea tronsonului, iar pentru infrastructură pereți din beton continui pe cele două direcții principale, care împreună cu tălpile de fundație și planșeul peste subsol să formeze o structură casetată;
- separarea construcțiilor în tronsoane delimitate prin rosturi de tasare;
- prevederea unor deschideri corespunzătoare ale rosturilor de dilatație-tasare, astfel încât să permită rotirea independentă a tronsoanelor, ca urmare a tasării inegale;
- forma construcțiilor să fie cât mai simplă și regulată; de evitat este amplasarea alăturată a unor construcții de înălțimi și încărcări foarte diferite.

Aceste măsuri se regăsesc și în codul de seismicitate P100/2013, care reglementează câteva aspecte de bază ale concepției de proiectare a structurilor, urmărindu-se realizarea unei construcții sigure în raport cu hazardul seismic asociat amplasamentului.

Aspectele conceptuale de bază se referă la: simplitatea structurii; redundanța structurii; geometria structurii și a clădirii, în întregul ei, cu considerarea modului de distribuire a elementelor structurale, nestruurale și a maselor; rezistența și rigiditatea laterală, în orice direcție; realizarea planșeelor ca diafragme orizontale; realizarea unor fundații adecvate.

Toate acestea militează pentru realizarea unor structuri simple, compacte, simetrice, întrucât modelarea, calculul, dimensionarea și execuția structurilor simple sunt supuse unor incertitudini mult mai mici ceea ce conferă construcției un grad ridicat de încredere în comportarea seismică dorită.

Având în vedere tipul și caracteristicile terenului de fundare, stabilite prin studiul geotehnic, respectiv argilă prăfoasă, galben-cafenie, plastic-vârtoasă, loessoidală, sensibilă la umezire **grupa A**, s-au prevăzut măsuri de consolidare a terenului de fundare prin îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale acestuia utilizând procedee mecanice. Acestea au constat în realizarea unei perne generale de argilă cu grosimea de 1,20m, sub tălpile de fundație, cu o evazare pe toate laturile față de limitele fundațiilor cu 1,20m. Datorită configurației terenului, perna de argilă s-a executat pentru toate cele patru clădiri, prin înlăturarea completă a stratului de umplutură și așternerea succesivă a straturilor de argilă prăfoasă cu grosime de 28cm, care după compactare prin cilindrare ajung la 20cm, până la realizarea grosimii de 1,20m. Pe terenul astfel îmbunătățit, studiul geotehnic recomandă pentru fundații o capacitate portantă de 220kPa în gruparea de sarcini fundamentale și 285 kPa în gruparea de sarcini extraordinare.

Aceste măsuri au fost adoptate în conformitate cu prevederile normativului privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire 125/2010, punctul 7.2.2. Din analiza caracteristicilor clădirilor ce deservește Facultatea de Bioinginerie Medicală din Iași, se poate constata faptul că cel mai mare grad de risc îl prezintă corpul A, datorită formei neregulate și regimului de înălțime. De aceea, la proiectarea și construcția acestuia s-a impus adoptarea unor măsuri suplimentare pentru creșterea siguranței în exploatare în raport cu seismicitatea zonei de amplasare.

## 5.4. Descrierea fenomenului de instabilitate

Necesitatea instituirii unui program de monitorizare al clădirilor ce deservește Facultății de Bioinginerie Medicală din Iași a apărut ca urmare a lucrărilor de modernizare a corpului B și ulterior, a construcției unei clădiri noi aferente corpului A, în proximitatea celor existente. Astfel, lucrările de mansardare și compartimentare efectuate la corpul B, au generat tensiuni suplimentare asupra terenului de fundare, care au condus la apariția unor fisuri și crăpături vizibile în zidurile corpurilor C1 și C2, atât în interior, cât și pe exterior, după cum se poate observa în Fig. 5.7.

Ulterior, executarea excavațiilor în amplasament pentru construcția noului corp de clădire A, a condus la apariția fenomenului de instabilitate, manifestat prin propagarea fisurilor în structura de rezistență a tuturor clădirilor, fiind necesare măsuri speciale de consolidare pentru prevenirea unor avarii și instituirea unui program de monitorizare a comportării construcțiilor.



Fig. 5.7. Fisuri și crăpături apărute în pereții clădirilor

### 5.4.1. Observarea sistematică a fisurilor și crăpăturilor din pereții clădirilor prin metode fizice

În urma inspecțiilor vizuale efectuate în cadrul procedurii de urmărire curentă, beneficiarul a constatat apariția unor degradări ale pereților clădirilor, solicitând urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor prin metode specifice urmăririi "in situ", respectiv prin metode geometrice, topo-geodezice și fizice, prin măsurarea directă a fisurilor și crăpăturilor cu ruleta, pentru evaluarea riscurilor ce ar fi putut să apară în exploatarea construcțiilor. Astfel, fiecare ciclu de măsurători a fost însoțit de observații sistematice asupra fisurilor apărute în elementele portante ale structurilor și fotografierea acestora (Fig. 5.8). Urmărirea evoluției fisurilor s-a

efectuat reperând extremitățile acestora cu liniuțe vopsite, conform STAS 2745-90, prin notarea descrierii acestora în fișe de monitorizare și fotografiere. Aceste observații au fost înscrise ulterior în cartea tehnică a construcției.



**Fig. 5.8. Observarea sistematică a fisurilor și crăpăturilor din pereții clădirilor**

Conform reglementărilor tehnice din "Codul de proiectare pentru structuri din zidărie", indicativ CR 6 – 2013, propagarea fisurilor înclinate de la un nivel la altul poate conduce la prăbușirea peretelui sub efectul combinat al acțiunii seismice în planul peretelui și perpendicular pe plan.

## **5.5. Lucrări topo-geodezice de urmărire a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor**

În urma efectuării unor inspecții vizuale amănunțite, realizate în cadrul procedurii de urmărire curentă, a fost semnalată situația alarmantă privind dinamica apariției fisurilor și crăpăturilor în corpurile de clădire existente. Studiul aplicativ, prin care au fost concretizate o serie de aspecte teoretice prezentate în capitolele anterioare ale tezei de doctorat, a presupus monitorizarea comportării construcțiilor aferente Facultății de Bioinginerie Medicală din Iași, pe o perioadă de zece luni.

### **5.5.1. Etape premergătoare**

Etapele premergătoare efectuării măsurătorilor topo-geodezice au constat în recunoașterea terenului, planificarea măsurătorilor și procurarea materialelor necesare. În cadrul acțiunilor preliminare, s-au făcut studii cu privire la istoricul amplasamentului și condițiile din teren, s-au consultat planurile și hărțile existente și s-a efectuat inspecția vizuală propriu-zisă. Ulterior, pe baza datelor obținute, s-a procedat la stabilirea programului de monitorizare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, alegerea metodei și a instrumentelor de măsurare, stabilirea configurației geometrice a punctelor rețelei de referință și a poziției mărcilor de tasare.



### 5.5.2. Repartiția spațială reperilor de referință și a mărcilor de tasare

**Reperii de referință** s-au amplasat, pe cât posibil, în zone stabile, situate în afara zonei de influență a construcțiilor, astfel încât să asigure efectuarea în condiții optime a observațiilor pe perioada desfășurării măsurărilor, încadrarea zonei de interes, distribuția uniformă în amplasament, buna vizibilitate către mărcile de tasare, posibilitatea efectuării unui control reciproc al punctelor și redarea cât mai fidelă a caracterului deplasărilor. Rețeaua de referință este constituită sub forma unui poligon care încadrează rețeaua de urmărire, fiind alcătuită din opt reperi de referință, denumiți R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 și R8. Configurația geometrică a rețelei de referință este prezentată în Fig. 5.5.

**Mărcile de tasare** au fost încastrate în elementele de rezistență ale construcției, în apropierea colțurilor clădirii, pe plăcile de fundație, pe blocuri ale construcției separate de rosturile de tasare, astfel încât să asigure verticalizarea mirelor de nivelment. Numărul mărcilor de tasare, respectiv optsprezece, este suficient de mare pentru a asigura sesizarea caracterului deplasărilor și deformațiilor construcției studiate. Acestea au fost denumite: M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17 și M18. În scop explicativ, mărcile de tasare M1, M2, M3, M15, M16, M17 și M18 au fost amplasate în structura corpului A, iar M4, M5 și M14 au fost montate pe corpul B. Mărcile de tasare amplasate în corpurile de clădire vechi sunt: M6, M7, M11, M12 și M13 aferente corpului C1, iar M6, M7, M8, M9 și M10, încastrate în structura de rezistență a corpului C2. Reperii de control au fost situați reciproc în așa fel încât stabilitatea fiecăruia dintre ei să poată fi apreciată cu ajutorul a cel puțin unei drumuri, care duce către un alt reper de control.

### 5.5.3. Materializarea reperilor de referință și a mărcilor de tasare

Materializarea punctelor din rețeaua de referință s-a efectuat în conformitate cu prevederile legislative în vigoare. Având în vedere natura terenului de fundare format din argilă galben-cafenie, plastic-vârtoasă, loessoidală, sensibilă la umezire, tipul de reper de referință ales a fost reperul de adâncime cu con indicat în specificația tehnică ST-016-097 (Fig. 5.9).

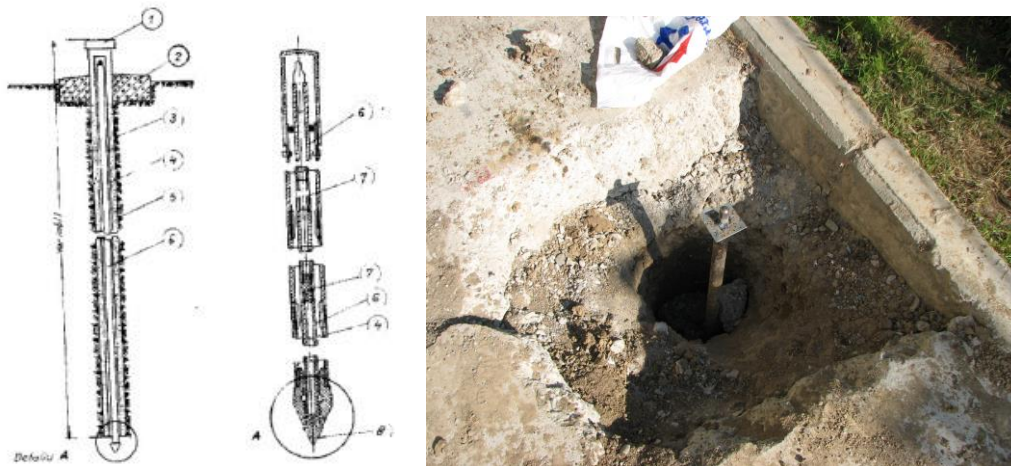
Reperul de adâncime cu con prezintă următoarele caracteristici:

- placa reper de bază este alcătuită dintr-un varf conic
- montarea în teren a ansamblului format din țeava de protecție și tije cu vârful conic se face prin presare sau batere, după cum se dispune un echipament de penetrare statică sau dinamică.

Reperul constă într-un con cu diametrul bazei de 38 mm și înălțimea de 52 mm, ce se continuă cu o tijă metalică ( $\Phi$  este 28mm) alcătuită din tronsoane de 1,0m lungime, îmbinate prin intermediul unor manșoane. Tija centrală culisează în interiorul unei țevi ( $\Phi$  exterior de 45 mm), în așa fel încât, odată cu tasarea conului, tija centrală sa culiseze liber, fără frecare laterală. Între con și prima țeavă se află o piesă intermediară, numită *port vârf*, prevăzută cu un locaș pentru fixarea unei garnituri care împiedică pătrunderea apei în interiorul țevii. Când reperul a ajuns la cotă, prin ansamblul cap-presare-tijă conul înaintează încă 10cm. În acest fel, conul urmărește tasarea stratului respectiv.

Pentru amplasarea reperilor de referință s-au executat foraje cu o adâncime de aproximativ 10m. S-au avut în vedere specificațiile tehnice conform cărora

capătul inferior al reperului de adâncime se încastrează minim 2m în stratul de argilă plastic vâtoasă, dispus sub stratul de argilă sensibilă la umezire.



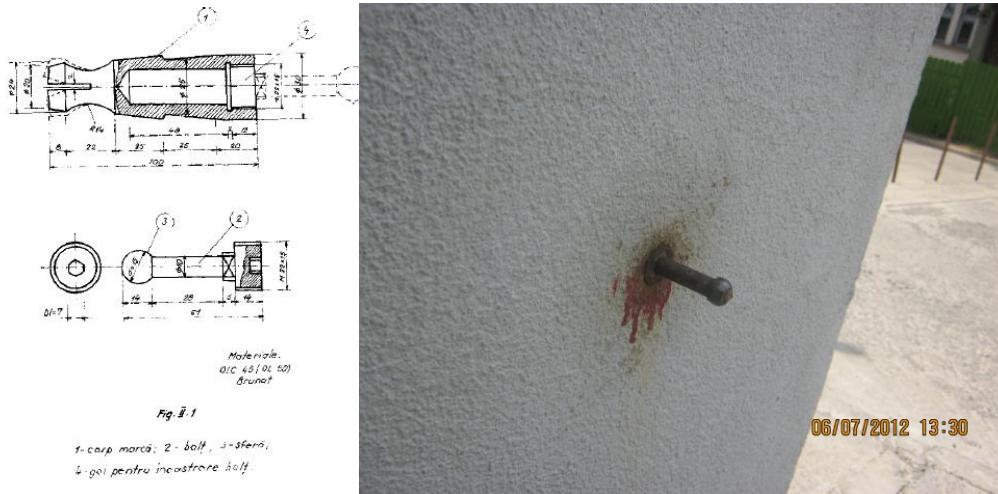
**Fig. 5.9. Materializarea punctelor din rețeaua de referință**

Reperii de referință au fost numerotați, semnalizați și marcați prin vopsire în culori de contrast, pentru a fi ușor de reperat, așa cum se poate vedea în figura 5.10. Materializarea rețelei de referință s-a realizat astfel încât să se asigure protecția reperilor în timp și scurgerea apelor pluviale.



**Fig. 5.10. Marcarea rețelei de referință**

**Materializarea rețelei de observație** s-a efectuat, conform specificației tehnice ST-016-097, prin mărci de tasare cu bolț sferic, executate din metal dur, inoxidabil, încastate în poziție orizontală în elementele de construcții, pe exteriorul clădirii, în elementele de rezistență ale structurii, în puncte caracteristice, la aproximativ 60cm de la nivelul trotuarului sau al platformei betonate. Acestea sunt protejate prin înșurubarea bolțului cu cap sferic, pe care se așează mira în poziție verticală. Tipul de materializare al mărcilor de tasare este evidențiat în figura 5.11.



**Fig. 5.11. Materializarea mărcilor de tasare**

Forma și materialul mărcilor s-a ales în funcție de condițiile locale și de tipul construcției studiate, astfel încât să permită montarea acestora în zidăria din beton armat și să limiteze posibilitățile de deteriorare sau distrugere ale acestora pe perioada efectuării ciclurilor de măsurători. Mărcile de tasare au fost numerotate, semnalizate și marcate prin vopsire în culori de contrast, pentru a fi ușor de reperat.

#### **5.5.4. Măsurători topo-geodezice prin metoda nivelmentului geometric**

Măsurătorile topo-geodezice au avut ca scop determinarea deplasărilor verticale ale ansamblului de clădiri ce deservește Facultății de Bioinginerie Medicală din Iași, pe parcursul a zece luni de zile, în perioada septembrie 2011 – iulie 2012. Programul de monitorizare a cuprins o serie de observații efectuate la intervale prestabilite de timp, conform caietului de sarcini și a proiectului de urmărire a deplasărilor construcțiilor, în perioada ulterioară materializării reperilor de referință și a mărcilor de tasare, măsurători care s-au desfășurat după cum urmează:

- la 2 săptămâni de la montarea reperilor, reprezentând ciclul de referință "0";
- la 4 săptămâni de la montarea reperilor;
- la 14 săptămâni de la montarea reperilor;
- 2 măsurători în următorul an, care s-au efectuat la interval de 7 luni și 10 luni de la montarea reperilor.

Măsurătorile s-au efectuat sub forma a cinci de cicluri de măsurători, considerându-se ca măsurătoare de referință "0" cea efectuată în septembrie 2011, la care s-au raportat celelalte patru cicluri de observații. Cotele punctelor care alcătuiesc rețeaua de nivelment s-au determinat în sistemul național de referință pentru altitudini „Marea Neagră 1975”.

##### **5.5.4.1. Tehnici utilizate în urmărirea deplasărilor și deformațiilor**

Metoda aleasă pentru executarea măsurătorilor a fost metoda nivelmentului geometric de mijloc, de înaltă precizie, dus-întors și în circuit închis, fiind metoda

care asigură precizia cea mai ridicată la măsurarea deplasărilor verticale ale construcțiilor.

În cadrul ciclurilor de observații efectuate asupra construcției, s-a urmărit respectarea unor principii de bază pentru eliminarea pe cât posibil a erorilor sistematice și a celor întâmplătoare. S-a avut în vedere ca porțele să aibă aproximativ aceleași lungimi, conducând astfel la obținerea unor valori egale pentru erorile întâlnite. De asemenea, s-au respectat condițiile impuse la proiectarea drumurilor de nivelment geometric pentru urmărirea comportării în timp a construcțiilor, unde lungimea niveleurilor este preferabil să nu depășească 60m, iar numărul maxim de niveleuri să fie 18. În cazul de față, drumuirea a avut o lungime de aproximativ 320m. Observarea reperilor mobili s-a efectuat pornind de la același reper fix și respectând aceeași ordine pe parcursul tuturor ciclurilor de măsurători. Staționarea cu instrumentul de măsurat s-a efectuat, pe cât posibil, la mijlocul distanței dintre două puncte date, adică la mijlocul niveleului, contribuind la atât eliminarea influenței curburii pământului și a refracției atmosferice, cât și eventuala eroare produsă de neparalelismul dintre axa de vizare și directricea nivelei torice. Măsurătorile au fost efectuate cu rigurozitatea impusă de acest gen de lucrări, astfel încât metoda de determinare a diferențelor de nivel să elimine posibilitatea neverticalizării mirei.

Fiecare ciclu de măsurători topo-geodezice s-a inițializat prin verificarea stabilității punctelor din rețeaua de referință și determinarea deplasărilor verticale ale acestora prin metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie, dus-întors și în circuit închis, între reperii ficși R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 și R8, pentru a aplica corecțiile corespunzătoare.

#### **5.5.4.2. Tehnologia utilizată în urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor**

Măsurătorile au fost efectuate cu nivela electronică automată DNA 03, care asigură o precizie de 0,3mm pe km dublu de nivelment, raza de lucru fiind cuprinsă între 5,8m - 110m și având o distanță minimă de focusare 0,6m.

Pentru construcțiile fondate pe terenuri dificile, care se încadrează în **clasa C**, valoarea tasării maxime admise este de 8cm, precizia necesară măsurătorilor topografice încadreându-se în **clasa convențională de precizie B**, adică precizie ridicată. Astfel, se constată că metoda și instrumentele alese pentru efectuarea măsurătorilor satisfac cerințele de precizie.



**Fig. 5.12. Observații efectuate prin metoda nivelmentului geometric**

În ceea ce privește alegerea corectă a instrumentelor de măsurare în funcție de tipul de lucrare, de precizia solicitată și de condițiile atmosferice, nivela electronică automată DNA 03 răspunde favorabil condițiilor din teren.

Instrumentele de nivelment utilizate sunt performante, fiind verificate din punct de vedere tehnic înaintea efectuării fiecărui ciclu de măsurători. Acestea au fost în stare bună de funcționare la momentul utilizării.

### 5.5.4.3. Etapa prelucrării măsurătorilor

Etapa de birou a constat în descărcarea în calculator a datelor prelevate din teren sub forma observațiilor ciclice cu ajutorul nivelei electronice LEICA DNA 03 și prelucrarea acestora.

Pe baza datelor obținute, s-a efectuat calculul deplasării mărcilor de tasare aferent fiecărui ciclu de măsurători față de ciclul de referință și față de ciclul anterior, pentru a obține valoarea tasărilor absolute și a tasărilor parțiale. De asemenea s-a procedat la evaluarea preciziei măsurătorilor efectuate și verificarea încadrării în toleranțele admise. Eliminarea erorilor de măsurare s-a realizat prin aplicarea procedurii de compensare a observațiilor, obținând astfel valoarea cea mai probabilă a mărimilor măsurate. Compensarea măsurătorilor de teren s-a efectuat prin metoda drumuirii de nivelment închisă pe punctul de plecare, utilizând un program specializat în prelucrarea automată a datelor, denumit Leica Geo Office Combined, care asigură obținerea unor rezultate foarte precise.

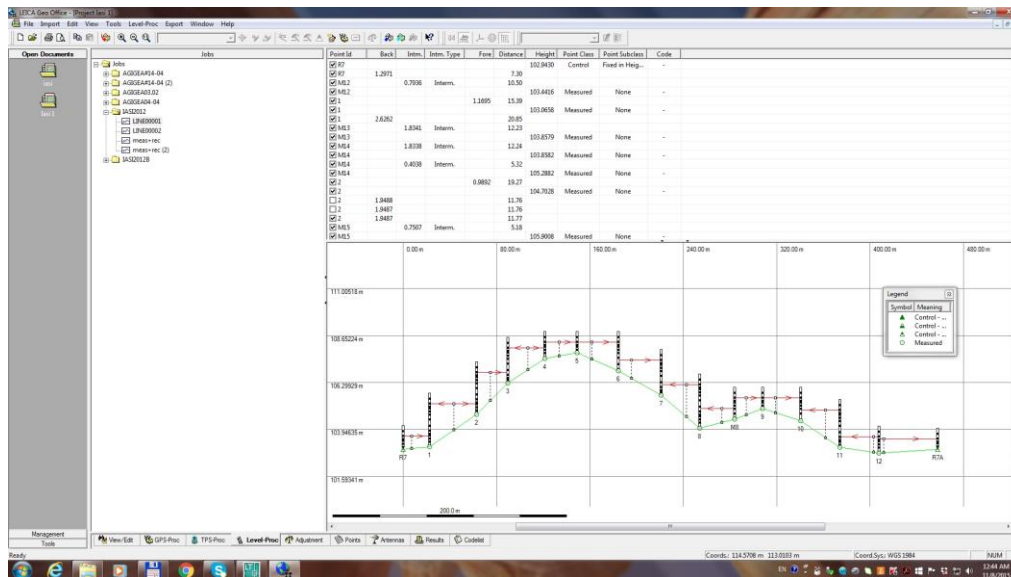


Fig. 5.13. Procesarea datelor obținute prin nivelment geometric

### 5.5.5. Rezultate și interpretări

Evidențierea rezultatelor măsurătorilor în cadrul lucrărilor topo-geodezice realizate la Facultatea de Bioinginerie Medicală, Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” din Iași, s-a efectuat atât în formă tabelară, cât și în formă grafică.

Premergător efectuării fiecărui ciclu de măsurători topo-geodezice, s-a procedat la verificarea stabilității punctelor din rețeaua de referință și aplicarea corecțiilor corespunzătoare. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 5.1.

**Tabel 5.1. Verificarea stabilității punctelor din rețeaua de referință**

REPERI DE REFERINȚĂ	STARE	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI "0" septembrie 2011	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI I octombrie 2011	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI II decembrie 2011	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI III aprilie 2012	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI IV iulie 2012	TASARE ABSOLUTĂ (mm) CICLUL DE MĂSURĂTORI IV	TASARE PARȚIALĂ (mm) Decembrie 2011 - Aprilie 2012
R1	Buna	107.8336	107.8345	107.8347	107.8354	107.8363	2.7	0.9
R2	Buna	108.5841	108.5843	108.5841	108.5850	108.5835	-0.6	-1.5
R3	Buna	107.2145	107.2144	107.2148	107.2155	107.2155	1.0	0.0
R4	Buna	103.5812	103.5808	103.5801	103.5808	103.5808	-0.4	0.0
R5	Buna	102.7300	102.7306	102.7306	102.7316	102.7316	-1.6	0.0
R6	Buna	102.7362	102.7357	102.7359	102.7355	102.7355	-0.7	0.0
R7	Buna	102.9430	102.9430	102.9430	102.9430	102.9430	0.0	0.0
R8	Buna	103.3766	103.3775	103.3774	103.3773	103.3773	0.7	0.0

În urma efectuării celor cinci cicluri de măsurători pe parcursul unui an calendaristic, atât pe timp de vară, cât și pe timp de iarnă, la temperaturi cuprinse între +5°C...+28°C, s-au observat deplasări ale construcțiilor și ale reperilor de referință, care au avut atât valori negative, cât și pozitive.

Se constată că deplasarea maximă s-a înregistrat la reperul R1, în timpul ciclului IV de măsurători efectuat în iulie 2012, valoarea acesteia fiind de 2,7mm. Deplasările reperului R1 față de poziția inițială s-au încadrat în intervalul 0,9 - 2,7mm. Cota reperului R1 a înregistrat creșteri succesive datorită ridicărilor (umflărilor) produse în terenul de fundare.

De asemenea, reperul R2 a înregistrat valori cuprinse între -0,6...0,9mm. Valoarea maximă a deplasărilor a fost atinsă în luna aprilie de 0,9mm, care poate fi pusă pe seama precipitațiilor abundente caracteristice perioadei de primăvară, ca urmare a fenomenului de dezgheț. Ulterior, în luna iulie 2012, s-a produs o tasare absolută a acestuia de -0,6mm.

Cei doi reperi, R1 și R2, sunt amplasați, conform planului de situație cu schița reperilor, în proximitatea corpului de clădire A, aflat în execuție, ceea ce poate motiva, de asemenea, variația și instabilitatea acestora, ca urmare a excavațiilor și vibrațiilor.

Reperul R3 atinge valori maxime de 1,0mm în luna aprilie a anului 2012, menținându-se și în ciclul următor, ceea ce induce ideea de stabilizare. Valoarea minimă a deplasării reperului R3, de -0,1mm, înregistrată în ciclul I de măsurători, a fost și singura care s-a manifestat ca tasare (valoare negativă).

Reperul R4 prezintă un comportament similar reperului R3, în sensul că nu s-au constatat modificări ale cotei în ultimele două cicluri de măsurători. În schimb, valoarea tasării maxime de -1,1mm a fost înregistrată în ciclul de măsurători efectuat în luna decembrie 2011.

Reperul R5 a înregistrat deplasări cuprinse între -1,6...1,6mm, valoarea tasării absolute maxime fiind atinsă în ultimul ciclu de măsurători din iulie 2012.

Reperul R6 a înregistrat valori ale deplasărilor față de valoarea de referință cuprinse în intervalul -0,3...-0,7mm, valoarea tasării absolute maxime fiind atinsă în ultimele două cicluri de măsurători, relevând o tendință de stabilizare.

Reperul R7 nu a prezentat tasări pe parcursul efectuării celor patru cicluri de măsurători, fiind considerat stabil.

Reperul R8 a înregistrat valori ale deplasărilor cuprinse în intervalul 0,7...0,9mm, observându-se tendința de stabilizare a reperului în ultimele două cicluri de măsurători.

O privire de ansamblu asupra valorilor obținute conduce la concluzia că reperul R7 prezintă cea mai mare stabilitate. Cu excepția reperilor de referință R1, R2 și R5, se constată tendința de stabilizare a deplasărilor în ultimele două cicluri de măsurători. Având în vedere faptul că precizia măsurătorilor este condiționată de o stabilitate cât mai bună a reperilor care alcătuiesc rețeaua de referință, conchid că valorile deplasărilor înregistrate față de valorile inițiale din ciclul de măsurători "0" se încadrează în toleranțele admise, fiind cuprinse în intervalul -1,6...2,7mm.

Pentru fiecare dintre aceștia s-au aplicat corecțiile corespunzătoare, în scopul eliminării posibilității de propagare a erorilor în timpul efectuării măsurătorilor și obținerii unor valori reale ale diferențelor de nivel dintre planul de referință constituit din reperii ficși și punctele caracteristice amplasate pe construcții.

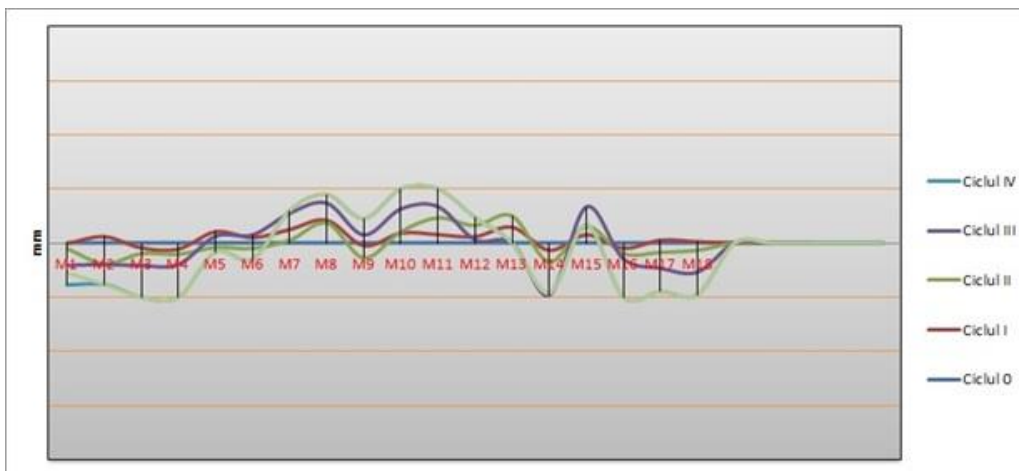
Evoluția mărcilor de tasare este prezentată numeric în tabelul 5.2, tabelul 5.3 și grafic, în figura 5.14. Se consideră oportună analiza acestora atât din perspectiva distribuției lor pe corpurile de clădire studiate, cât și ca formă de manifestare în timpul ciclurilor de observații efectuate periodic, în condiții climatice diferite. Cunoașterea valorilor deplasărilor acestor construcții contribuie la stabilirea dinamicii și a caracterului acestora, oferind o imagine de ansamblu asupra comportamentului structurilor și asupra transformărilor care se produc. Astfel, pot fi identificate cauzele apariției acestora și pot fi luate măsuri de contracarare sau eliminare a lor.

**Tabel 5.2.** Valorile cotelor absolute ale mărcilor de tasare

MARCA DE TASARE	STARE	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI "0" septembrie 2011	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI I octombrie 2011	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI II decembrie 2011	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI III aprilie 2012	COTA ABSOLUTĂ (m) CICLUL DE MĂSURĂTORI IV iulie 2012
M1	Buna	108.0576	108.0575	108.0569	108.0535	108.0528
M2	Buna	108.3720	108.3728	108.3728	108.3710	108.3695
M3	Buna	106.2771	106.2764	106.2761	106.2754	106.2726
M4	Buna	106.2569	106.2562	106.2561	106.2557	106.2531
M5	Buna	105.0700	105.0705	105.0692	105.0705	105.0693
M6	Buna	105.4278	105.4280	105.4272	105.4283	105.4269
M7	Buna	105.4535	105.4540	105.4532	105.4545	105.4536
M8	Buna	104.4656	104.4664	104.4653	104.4663	104.4659
M9	Buna	103.2936	103.2934	103.2930	103.2953	103.2948
M10	Buna	103.3847	103.3854	103.3851	103.3863	103.3861
M11	Buna	103.3828	103.3837	103.3844	103.3840	103.3847
M12	Buna	103.4433	103.4437	103.4438	103.4424	103.4447
M13	Buna	103.8617	103.8624	103.8621	103.8605	103.8617
M14	Buna	105.2945	105.2938	105.2932	105.2913	105.2947
M15	Buna	105.9061	105.9066	105.9067	105.9073	105.9050
M16	Buna	108.9363	108.9360	108.9362	108.9360	108.9341
M17	Buna	107.6222	107.6225	107.6213	107.6205	107.6197
M18	Buna	107.7303	107.7305	107.7293	107.7270	107.7269

**Tabel 5.3.** Valorile tasărilor absolute ale mărcilor de tasare

MARCA DE TASARE	STARE	TASARE ABSOLUTĂ (mm)	TASARE ABSOLUTĂ (mm)	TASARE ABSOLUTĂ (mm)	TASARE ABSOLUTĂ (mm)
		CICLUL DE MĂSURĂTORI I octombrie 2011	CICLUL DE MĂSURĂTORI II decembrie 2011	CICLUL DE MĂSURĂTORI III aprilie 2012	CICLUL DE MĂSURĂTORI IV iulie 2012
M1	Buna	-0.1	-0.7	-4.1	-4.8
M2	Buna	0.8	0.8	-1.0	-2.5
M3	Buna	-0.7	-1.0	-1.7	-4.5
M4	Buna	-0.7	-0.8	-1.2	-3.8
M5	Buna	0.5	-0.8	0.5	-0.7
M6	Buna	0.2	-0.6	0.5	-0.9
M7	Buna	0.5	-0.3	1.0	0.1
M8	Buna	0.8	-0.3	0.7	0.3
M9	Buna	-0.2	-0.6	1.7	1.2
M10	Buna	0.7	0.4	1.6	1.4
M11	Buna	0.9	1.6	1.2	1.9
M12	Buna	0.4	0.5	-0.9	1.4
M13	Buna	0.7	0.4	-1.2	0.0
M14	Buna	-0.7	-1.3	-3.2	0.2
M15	Buna	0.5	0.6	1.2	-1.1
M16	Buna	-0.3	-0.1	-0.3	-2.2
M17	Buna	0.3	-0.9	-1.7	-2.5
M18	Buna	0.2	-1.0	-3.3	-3.4

**Fig. 5.14.** Reprezentarea grafică a evoluției mărcilor de tasare

Deplasările verticale ale mărcilor de tasare M1, M2, M3, M15, M16, M17 și M18, amplasate în structura corpului A, s-au încadrat în intervalul -4,8...1,2mm.

Valorile deplasărilor pe care le înregistrează mărcile de tasare M4, M5 și M14, montate pe corpul B, s-au încadrat în intervalul -3,8...0,5mm.

Mărcile de tasare M6, M7, M11, M12 și M13 amplasate în corpul de clădire vechi C1, au înregistrat deplasări cuprinse în intervalul -1,2...1,9mm.

Mărcile de tasare M8, M9 și M10, încastrate în structura de rezistență a corpului de clădire C2, au relevat deplasări cuprinse în intervalul -0,6...1,7mm.



Analizând valorile deplasărilor pe verticală ale construcțiilor pe cicluri de măsurători, se poate observa că valoarea maximă a deplasării în primul ciclu de măsurători, respectiv 0,9mm, s-a înregistrat la marca M11, valorile deplasărilor mărcilor de tasare fiind cuprinse în intervalul -0,7...0,9mm.

În ciclul II de măsurători, deplasările înregistrate au avut valori cuprinse între -1,3...1,6mm, valoarea maximă regăsindu-se tot la marca M11.

În ciclul III de măsurători, deplasările verticale se încadrează în intervalul -4,1...1,7mm, valoarea maximă față de poziția inițială fiind atinsă de marca M1, care se tasează cu -4,1mm.

Măsurătorile din iulie 2012 relevă valori mai mari ale deplasărilor, cuprinse în intervalul 1,9...-4,8mm, valoarea tasării maxime regăsindu-se la marca M1.

Se poate concluziona, astfel, că mărcile de tasare amplasate pe construcția aflată în execuție înregistrează cele mai mari deplasări pe verticală, dar acestea nu ating valori alarmante la momentul efectuării măsurătorilor.

Valorile obținute au fost comparate cu cele probabile, antecalulate conform STAS 3300/1-85. Nu s-au consemnat situații excepționale sau excedente ale valorilor admise. Observațiile efectuate asupra mărcilor de tasare montate pe construcțiile noi au relevat o evoluție normală a acestora, constatându-se tasări graduale ale fundațiilor, care fac parte din procesul de stabilizare.

La polul opus, valorile absolute ale cotelor mărcilor de tasare amplasate pe construcțiile vechi au înregistrat atât ridicări, cât și tasări ale fundațiilor, ca urmare a solicitărilor suplimentare din terenul de fundare provocate de avansarea stadiului de execuție al noului corp de clădire A. Analizând variația în plan a cotelor, se constată apariția unor deformații ale construcțiilor studiate, materializate prin mici înclinări și rotiri ale fundațiilor clădirilor vechi față de poziția inițială.

Extrapolând, pe baza conceptelor teoretice prezentate anterior, se poate corela apariția fisurilor și crăpăturilor din pereții corpurilor de clădire C1 și C2 cu efectuarea lucrărilor de renovare a corpului de clădire B, demonstrând influența încărcărilor provenite din execuția unor construcții noi asupra clădirilor existente în apropiere. Cu toate acestea, ca urmare a analizei valorilor obținute s-a constatat că variația mărimilor rezultate, se încadrează în valorile prevăzute în anexa C, STAS 3300/2-85, privind construcțiile de clasă C (construcții pe terenuri dificile).

## 5.6. Hazardul-vulnerabilitate, risc, măsuri de combatere

În literatura de specialitate există diferite definiții pentru **vulnerabilitate**: *vulnerabilitatea* reprezintă susceptibilitatea unui sistem de obiecte, obiective, amplasat într-o anumită zonă, de a suferi avarii sau pierderi în urma unui eveniment natural și/sau provocat de activitățile umane și se poate exprima în termeni probabilistici (cu scop previzionar), sau în termeni statistici (cu scopul prelucrării rezultatelor cercetării postdezastru) [89]; *vulnerabilitatea* reprezintă totalitatea condițiilor determinate de factori sau procese fizice, sociale, economice și de mediu care sporesc susceptibilitatea unei comunități de a suferi impactul unui pericol [56]; vulnerabilitatea este definită ca acele condiții determinate de factori fizici, sociali, economici și ecologici sau procese, care intensifică expunerea uneia sau mai multor comunități influenței pericolelor [98]; cea mai elocventă definiție este aceea dată de Bălțeanu [7], anume *vulnerabilitatea* reprezintă măsura în care un sistem poate fi afectat în urma impactului cu un hazard și cuprinde totalitatea condițiilor fizice, sociale, economice și de mediu care măresc susceptibilitatea sistemului respectiv.

**Reducerea vulnerabilității** se poate face prin:

- planificarea spațiului și a utilizării terenurilor, îmbunătățiri ale infrastructurii (ex: coduri de construcții, tehnici), monitorizarea anumitor fenomene (ex. monitorizarea alunecărilor de teren prin abordări interdisciplinare);
- managementul durabil al resurselor (ex: sisteme de depozitare a alimentelor în stocuri);
- stabilirea de structuri sociale și organizaționale pentru analiza riscurilor, măsuri preventive și pentru îmbunătățirea reacțiilor la fenomene naturale extreme;
- studierea interdisciplinară a hazardurilor, vulnerabilității și riscului;
- implicarea organizațiilor neguvernamentale în prevenirea riscului de dezastre;
- conceperea unor programe de asigurări astfel încât să crească încrederea clienților în capacitatea pieței de a onora obligațiile în urma unei calamități naturale;
- instruire și promovare pentru populație și instituții. Dezastrele pot fi reduse în mare măsură dacă populația este bine informată privind riscurile la care este expusă și privind eventualele opțiuni și măsuri pe care le poate lua pentru a-și reduce vulnerabilitatea și pentru a se pregăti mai bine. Sensibilizarea opiniei publice cu privire la reducerea riscului de dezastre poate fi consolidată prin difuzarea de informații privind riscurile de dezastre către autoritățile competente și către populațiile locale, pentru a da posibilitatea persoanelor vizate să se protejeze mai bine și să ia măsurile necesare pentru a crește rezistența mijloacelor lor de subsistență în fața dezastrelor. Media poate juca un rol important. Copiii, în special, pot fi sensibilizați cu privire la reducerea riscului de dezastre prin includerea unor materiale referitoare la acest subiect în activitățile formale, informale și informale de educație și de formare, precum și prin facilitarea accesului la informații privind riscurile de dezastre și mijloacele de protecție. [96]

**Riscul** reprezintă estimarea matematică a probabilității producerii de pierderi umane și pagube materiale pe o perioadă de referință, respectiv viitoare și într-o zonă dată, pentru un anumit tip de dezastru. *Riscul* este definit ca produs între probabilitatea de producere a fenomenului generator de pierderi umane/pagube materiale și valoarea pagubelor produse. [4] O altă definiție consideră *riscul* ca fiind probabilitatea urmărilor negative și pierderilor prevăzute, care rezultă din interacțiunea fenomenelor periculoase de proveniență naturală și antropogenă și a condițiilor de vulnerabilitate. [98]

Riscul implică pierderi de vieți omenești și răniri, pagube materiale majore sau efecte de mediu și este cu atât mai ridicat cu cât probabilitatea producerii hazardurilor este mai mare, iar bunurile materiale aflate sub incidența acestora sunt mai numeroase și mai vulnerabile. [72]

Tipurile de riscuri se clasifică în funcție de factorii generatori, în riscuri naturale (geologice, geografice) și tehnologice (antropice). Analiza riscului oferă răspuns la întrebarea: "Ce se poate întâmpla într-un anumit context?" [3]

În literatura de specialitate s-a consemnat producerea unei confuzii între noțiunea de „hazard” și noțiunea de „risc”, singura tangentă a acestora fiind faptul că hazardul se poate constitui, în anumite circumstanțe, într-o sursă de risc. Hazardul reprezintă o categorie fenomenologică, ce se referă la obiecte, fenomene, la caracteristicile și acțiunile acestora, pe când riscul este văzut ca o categorie de stare, care desemnează conjunctura relațională rezultată ca urmare a asumării hazardului de către cei care posedă capacitate de percepere a evenimentelor. [51]

Sinonimiile nejustificate decurg din neconcordanțele de fond dintre semnificațiile semantice tradiționale și accepțiile științifice actuale.

Exceptând dificultățile de aplicare a strategiilor la nivelul Uniunii Europene, în țara noastră trebuie avute în vedere o serie de probleme particulare, precum programe de consolidare a clădirilor cu risc ridicat de prăbușire la cutremure din orașele importante; reabilitări termice și funcționale a blocurilor din panouri mari prefabricate; fluidizarea traficului și montarea unor panouri de antifonare; colectarea selectivă a deșeurilor și construirea de fabrici unde acestea pot fi colectate, reciclate sau incinerate pentru a obține energie; renunțarea la îndiguirea generalizată a albiilor majore și a luncilor și realizarea polderelor, ca spații de „respiro” în perioadele cu inundații; realizarea lucrărilor antierozionale în bazinele de recepție ale râurilor, decolmatarea albiilor minore și interzicerea oricărui gen de construcții în apropierea acestora. La ora actuală se pune accent, la nivel global, pe monitorizarea unor obiective, suprafețe, regiuni sau chiar a întregii planete cu scopul de a avertiza populația. [91]

Cunoașterea riscurilor naturale reprezintă o necesitate a societății moderne, constituind o condiție sine-qua-non în realizarea studiilor de impact, a planurilor de amenajare teritorială și, în general, o condiție a gestionării eficiente a resurselor naturale sau a elaborării unor proiecte de dezvoltare durabilă. [63]

## 5.7. Concluzii și recomandări

Schimbările climatice afectează starea de sănătate a populației crescând riscul de îmbolnăvire, ca urmare a creșterii temperaturii aerului și a apei oceanelor, a riscului crescut de incendii, inundații, secetă, diminuarea rezervelor de apă potabilă și reducerea resurselor naturale vegetale și animale, maximizată de efectul degradării resurselor naturale și modificării ecosistemelor.

Hazardurile naturale au cunoscut o amploare tot mai mare în ultimele decenii, atât datorită schimbărilor climatice care au loc la nivel global, cât și creșterii vulnerabilității structurilor social-economice. Încălzirea globală, perturbările survenite la nivelul circulației atmosferice au accentuat manifestările extreme ale fenomenelor climatice. La nivel regional, defrișările masive contribuie la accentuarea scurgerii de suprafață, în defavoarea infiltrației și, implicit, la destabilizarea versanților susceptibili la procese de alunecare.

Strategia Uniunii Europene privind schimbările climatice și efectele asupra mediului urban, sănătății și calității vieții, impune adoptarea unor măsuri de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră și creștere a eficienței energetice prin folosirea surselor regenerabile.

Prin efectuarea unor măsurători topo-geodezice, sub forma a cinci cicluri de observații, a fost posibilă determinarea modificărilor de poziție ale mărcilor de tasare încastrate în construcțiile studiate și compararea deplasărilor reale cu deplasările și deformațiile probabile admise, în conformitate cu prevederile STAS 3300/1-85. Cunoașterea mărimii și direcției vectorului deplasării a oferit o imagine clară asupra stării construcției, ceea ce a contribuit în mod semnificativ la adoptarea unor decizii și soluții tehnice în vederea asigurării stabilității construcțiilor și a terenului de fundare sensibil la umezire, precum realizarea unei perne de argilă sub tălpile de fundație ale clădirilor amplasate.

Deplasările fundațiilor construcțiilor au înregistrat valori cuprinse în intervalul -4,8...1,9mm. Am considerat oportună analiza modificărilor survenite, atât din perspectiva observării vectorului deplasării în funcție de gruparea mărcilor de tasare pe corpurile de clădire studiate, cât și în funcție de condițiile climatice

specifice perioadei de execuție a ciclurilor de observații. Astfel, observațiile efectuate asupra mărcilor de tasare montate pe construcțiile noi au relevat o evoluție normală a acestora, în sensul că s-au constatat tasări graduale ale fundațiilor, manifestare caracteristică procesului de stabilizare. Mărcile de tasare amplasate pe corpul de clădire A, aflată în execuție la momentul efectuării măsurătorilor, a înregistrat cele mai mari deplasări pe verticală, construcția nefiind încă stabilizată și asupra ei acționând sarcini crescânde.

La polul opus, valorile absolute ale cotelor mărcilor de tasare amplasate pe construcțiile vechi, aflate în exploatare, au înregistrat atât ridicări, cât și tasări ale fundațiilor, ca urmare a încărcărilor suplimentare din terenul de fundare provocate de modificările aduse structurii corpului de clădire B prin mansardare și avansarea stadiului de execuție al noului corp de clădire A. Analiza variației în plan a cotelor mărcilor de tasare a relevat apariția unor deformații ale construcțiilor studiate, ca urmare a tasării neuniforme a terenului de fundare, constituite sub forma unor înclinări ale fundațiilor clădirilor vechi față de poziția inițială.

Proiectarea și materializarea rețelei de urmărire s-a efectuat ținând cont de prevederile indicativului ST 016-97.

În efectuarea măsurătorilor topo-geodezice s-au luat toate măsurile pentru a fi eliminate erorile sistematice și pentru a reduce la minimum erorile întâmplătoare. La fiecare ciclu de măsurători s-a verificat stabilitatea punctelor din rețeaua de referință și s-au aplicat corecțiile corespunzătoare.

Procedura de urmărire specială a comportării construcțiilor s-a constituit atât din monitorizarea deplasărilor și deformațiilor elementelor structurilor, cât și din observații sistematice efectuate asupra fisurilor și crăpăturilor din pereții clădirilor existente. Cu ajutorul acestui program de monitorizare a fost posibilă detectarea, măsurarea, înregistrarea și interpretarea mișcărilor structurilor și a altor schimbări apărute la clădirile existente, ca urmare a excavațiilor executate în amplasament, a efectelor vibrațiilor și a fenomenelor meteorologice care au afectat stabilitatea terenului de fundare. Toate datele obținute au fost înregistrate în cartea tehnică a construcțiilor.

Pentru o analiză completă a stabilității ansamblului de clădiri ce deservește Facultății de Bioinginerie Medicală din Iași și a eficienței măsurilor de consolidare adoptate, recomand continuarea programului de monitorizare în timp a deplasărilor și deformațiilor utilizând metode specifice urmăririi "in situ", conform legislației în vigoare, cu o periodicitate de minim două cicluri de măsurători pe an, până la diminuarea completă a acestor valori și stabilizarea construcțiilor. De asemenea, recomand instalarea unui sistem de monitorizare permanentă, prin senzori cu fibră optică sau mărci tensiometrice, cu acces online, de tipul celui testat în cadrul cercetării efectuate la podul peste Canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, care asigură funcția de alarmare și prevenție în cazul producerii unor avarii, care pot genera importante pierderi materiale și de vieți omenești.

Studiul de caz efectuat în cadrul Facultății de Bioinginerie Medicală din Iași prezintă particularități diferite față de precedentul studiu efectuat la podul peste canalul Dunăre - Marea Neagră de la Agigea, prin specificul construcției studiate, al amplasamentului din punct de vedere geografic, urbanistic și arhitectural, al destinației, al modului de alcătuire al rețelei de urmărire și al materializării reperilor care o alcătuiesc.

Se poate aprecia că urmărirea comportării "in situ" a construcțiilor se constituie, deopotrivă, ca sursă de inspirație pentru idei inovatoare în domeniul construcțiilor, prin varietatea situațiilor și problemelor ce le rezolvă. [68]

## **6. CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE DE CERCETARE**

### **6.1. Observații și concluzii finale**

Ca urmare a interacțiunii cu mediul ambiant, natural și tehnologic, rezistența și stabilitatea construcțiilor se diminuează și odată cu acestea scade aptitudinea lor pentru satisfacerea exigențelor cu privire la siguranță, confort și economie. Aplicarea metodelor topo-geodezice moderne la studiul comportării diferitelor tipuri de construcții reprezintă o condiție esențială în evidențierea reală a evoluției în timp a unui element al construcției sau a întregii structuri în ansamblu. Măsurarea, prelucrarea, calcularea și reprezentarea deformațiilor, a deplasărilor orizontale/verticale sau a înclinărilor construcțiilor, poate fi făcută azi cu ajutorul tehnologiilor topo-geodezice moderne, automatizate, care asociate cu aplicarea corectă a unor metode specifice și programe specializate, conferă garanția unei evidențieri corecte a fenomenelor de instabilitate a clădirilor. Pe de altă parte, deplasările sau deformațiile neuniforme ale construcțiilor contribuie la crearea unor eforturi suplimentare în elementele structurilor, favorizând astfel apariția fisurilor și ulterior la crăpăturilor în elementele de zidărie sau de beton armat, respectiv rotirea sau încovoierea elementelor structurilor metalice afectate.

Sesizarea timpurie a acestor fenomene, prin urmărirea comportării "in situ" a construcțiilor, oferă posibilitatea adoptării unor măsuri de intervenție, mentenanță sau reabilitare, capabile să redea sau să perfecționeze calitățile pierdute prin degradare. Utilizarea celor două funcții majore în monitorizarea construcțiilor, respectiv diagnoza și prognoza, conferă un plus de siguranță în exploatarea construcției supusă observațiilor, atât în timpul realizării acesteia, dar mai ales după punerea în funcțiune a întregului ansamblu.

Monitorizarea construcțiilor, fiind un proces foarte complex, necesită o planificare riguroasă. Pentru a putea obține un diagnostic și pentru a concepe un program de urmărire adecvat este forțat necesară o analiză amănunțită a structurii, mai cu seamă a materialelor din care este realizată, a factorilor ce acționează asupra ei și a stării actuale a structurii, ținând cont de condițiile de exploatare și de previziunile de degradare.

Urmărirea specială constă în măsurarea, înregistrarea, prelucrarea și interpretarea sistematică a parametrilor ce definesc măsura în care construcțiile îndeplinesc condițiile de rezistență, stabilitate și durabilitate, prin mijloace și cu personal specializat, în conformitate cu prevederile proiectului de urmărire specială prin care a fost instituită. În activitatea de management a construcțiilor sunt implicate în mod obligatoriu inspecții periodice și măsurători în vederea urmăririi comportării în timp a construcțiilor, acestea având caracter de predicțiune și prevenție. Intervențiile tardive pot influența negativ costul global al investiției, generând cheltuieli suplimentare de întreținere, dar și posibile pagube materiale cu efect devastator asupra populației și mediului înconjurător.

Pe baza evaluărilor teoretice efectuate în cazul tezei propuse, am realizat o corelație între cauzele ce produc fenomenele de instabilitate care contribuie la deformarea construcțiilor și necesitatea aplicării metodelor topo-geodezice pentru

determinarea acestora. În acest sens, cauzele care determină urmărirea în timp a comportării construcțiilor sunt:

- ↳ Combinarea diferitelor tipuri de structuri și materiale, obținându-se în ultimul timp construcții monumentale ca întindere, volum și greutate, prin folosirea betonului, metalului sau sticlei ca elemente constitutive ale clădirii;

- ↳ Alegerea unor structuri complexe ca soluții tehnice constructive complică sistemele statice, prezentând sensibilitate față de tasările necuprinse în calcul, chiar dacă oferă anumite avantaje economice;

- ↳ Construcțiile se degradează în timp sub acțiunea factorilor perturbatori mecanici, fizici și chimici, care au consecințe nefaste asupra siguranței în exploatare și durabilității acestora, fiind necesară observarea permanentă a comportamentului structurilor pentru evitarea unor accidente sau avarii;

- ↳ Tendința de creștere a înălțimilor clădirilor de locuit sau a clădirilor tip birouri și hoteluri, la un regim de înălțime de peste P+10E, ajungându-se la înălțimi ale clădirilor de P+18E (bloc locuințe – Cartierul Militari din București) până la P+22E (Clădire birouri București);

- ↳ Amplasarea construcțiilor noi, cu înălțime mare, de peste 20m, în imediata vecinătate a unor construcții inferioare ca înălțime și capacitate portantă.

Materialul bibliografic studiat, dar și realitatea practică relevă faptul, că aplicarea metodelor topo-geodezice la studiul comportării unei construcții se realizează prin interdependența mai multor domenii ale măsurătorilor terestre, cât și legătura acestora cu alte științe ingineresti. Astfel, pe baza studiului realizat și a rezultatelor concrete obținute în diferitele etape ale studiilor de caz, am constatat că alegerea unei metode corecte și a tehnologiei corespunzătoare, reprezintă certitudinea unei interpretări corecte a valorilor măsurate și prelucrate ulterior pe baza tehnologiilor de calcul sprijinite pe conceptele de prelucrare a observațiilor din teoria erorilor de măsurare.

Determinarea valorilor reale ale deplasărilor și deformațiilor clădirilor studiate, este în mare măsură condiționată de modul de materializare al punctelor de observație care alcătuiesc rețeaua de urmărire, dar și de asigurarea conservării acestor reperi pe toată perioada desfășurării programului de monitorizare, aspect urmărit și în cazul obiectivelor studiate.

Analiza paradigmei deplasărilor și deformațiilor construcțiilor implică estimarea mărimilor ce urmează a fi măsurate, care permite definirea periodicității observațiilor, domeniului de aplicabilitate, rezoluției, preciziei și tipului instrumentelor de măsurare. După efectuarea observațiilor, am procedat la procesarea și postprocesarea lor într-o manieră sistematizată.

Conchid că un număr cât mai mare de date prelevate înlesnește stabilirea unui diagnostic cu privire la fenomenele constatate, oferind o imagine de ansamblu asupra dinamicii construcției studiate. Astfel, am putut realiza analize pertinente cu privire la starea "de facto" a construcției prin măsurători ciclice, care au permis cercetarea empirică și comprehensiunea paradigmei de deplasare, în scopul cuantificării perioadei remanente de exploatare și identificării soluțiilor optime de punere în siguranță a structurilor.

Tendința actuală în domeniul monitorizării construcțiilor este de realizare a măsurătorilor prin intermediul unor sisteme automatizate moderne de achiziție de date, care să ofere informații în timp real, să poată prelua date pe distanțe de sute de km prin intermediul unui singur dispozitiv, iar informația să fie disponibilă on-line din orice parte a globului. În acest sens, am constatat că, pe fondul dezvoltării tehnologice, în prim plan a ajuns utilizarea pe scară largă a senzorilor cu fibră optică, care și-a găsit aplicabilitate în cele mai variate domenii de activitate.

Cu ajutorul noilor metode fizice și tehnologii geodezice cu grad înalt de automatizare, domeniul observării comportamentului construcțiilor supuse diferiților factori perturbatori, a devenit o ramură de maximă actualitate cu aplicabilitate la diferite tipuri de construcții civile, industriale sau de lucrări de artă deosebite. Astfel, problema măsurării și reprezentării deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, a diferitelor obiective, impune în continuare studii și cercetări interdisciplinare, creând legături între știința măsurătorilor terestre și ingineria civilă.

La nivel național, în contextul politico-social-economic actual, se urmărește crearea unui cadru legal în vederea constituirii unui sistem național de monitorizare a comportării construcțiilor, care să reglementeze obligativitatea proprietarilor de construcții de a asigura urmărirea „in situ” a construcțiilor cu personal calificat și de a adopta măsurile necesare de intervenție. Procesul de monitorizare oferă totodată posibilitatea observării viabilității acestor soluții în practică, fiind folosit ca metodă de cercetare empirică în actualizarea reglementărilor legislative la nivel național.

Readuc în atenția specialiștilor din domeniu și a persoanelor avizate necesitatea adoptării unor măsuri de prevenire a hazardelor și protecție a construcțiilor existente, prin activități de conștientizare a populației și a autorităților publice ale statului.

Pe baza măsurătorilor și determinărilor efectuate, în urma ciclurilor de măsurători, se pot evidenția următoarele concluzii:

- Utilizarea tehnologiilor geodezice moderne la monitorizarea diferitelor tipuri de clădiri, prezintă în mod cert o serie de avantaje deosebite: precizia oferită corespunde prevederilor legislative, oferă posibilitatea măsurării unor puncte caracteristice aflate sau dispuse în locuri sau zone ale construcției greu accesibile, efectuarea unui număr mare de observații într-un ecart de timp scurt;
- Pentru fiecare marcă de tasare se pot determina valorile maxime și minime ale deplasărilor și/sau deformațiilor survenite între ciclurile de măsurători. Valorile tasărilor obiectivelor studiate au avut variații cuprinse între -9mm și 102mm pentru Podul peste canalul Dunăre – Marea Neagră de la Agigea și valori cuprinse în intervalul -4,8...1,9mm pentru Facultatea de Bioinginerie Medicală de la Iași, încadrându-se în toleranțele admise pentru clasa de importanță aferentă fiecăreia dintre ele;
- Studiul formelor de interacțiune dintre construcții și mediul exterior contribuie eminent la comprehensiunea paradigmei comportării în timp a sistemelor complexe, conducând la stabilirea factorilor cu rol cauzal sau corelativ care acționează asupra acestora și oferind o imagine realistă asupra consecințelor randamentale;
- Utilizarea sistemelor de monitorizare prin senzori devine din ce în ce mai pregnantă, datorită colectării unui volum mare de informații în timp real și posibilității de acces online din orice parte a lumii prin intermediul internetului, aplicabilitatea unui astfel de sistem fiind testată în cadrul monitorizării podului peste canalul Dunăre – Marea Neagră de la Agigea.

Teza de doctorat realizată pe parcursul ultimilor 4 ani, pledează pentru aplicarea noilor tehnologii topo-geodezice sub forma unor sisteme de control permanente, care să monitorizeze comportarea în timp a obiectivelor de importanță deosebită, cu sesizarea eficientă, în timp real, a oricărei modificări care poate conduce la un dezechilibru al întregului ansamblu urmărit. Această soluție este deja utilizată cu succes pe plan mondial, în special pentru lucrările de artă și obiective strategice, fiind o soluție pentru lucrările de inginerie civilă care devin tot mai îndrăznețe.

## 6.2. Contribuții personale în abordarea tematicii propuse

- ✚ Realizarea unui studiu bibliografic asupra tematicii abordate care a cuprins deopotrivă cărți de specialitate, teze de doctorat, lucrări științifice din domeniu, redactate atât în limba română, cât și în limbă străină, concretizate în 123 de titluri bibliografice;
- ✚ Abordarea interdisciplinară a tematicii tezei, pe de o parte din prisma inginerului geodez, iar pe de altă parte prin corelarea domeniului măsurătorilor terestre cu domenii conexe specifice științelor ingineresti;
- ✚ Explicitarea cauzelor și fenomenelor favorizante în producerea deformațiilor și deplasărilor construcțiilor;
- ✚ Sintetizarea metodelor topo-geodezice care se pot utiliza la urmărirea comportării în timp a construcțiilor pentru rezolvarea problemelor legate de instabilitatea acestora și identificarea măsurilor de intervenție ce se impun;
- ✚ Prezentarea metodelor de calcul și compensare a observațiilor geodezice prin exemplificarea concretă a principiilor de determinare a valorilor absolute pentru tasările construcțiilor studiate;
- ✚ Evidențierea schemei de dispunere și a modului de materializare al reperilor de control utilizați la realizarea măsurătorilor și observațiilor topo-geodezice, în funcție de amplasament și de condițiile de exploatare, dar și a diferitelor mărci de tasare specifice diferitelor tipuri de construcții;
- ✚ Analiza tendințelor în ceea ce privește tehnologia de monitorizare a construcțiilor și sintetizarea unor propuneri elaborate de colective de cercetare recunoscute în plan internațional;
- ✚ Studiarea comportării în timp a unor obiective cu specific diferit, afectate de fenomene de instabilitate, anume o structură de pod hobanat și o clădire cu funcțiuni social-culturale, ambele de importanță deosebită, prin executarea de măsurători geodezice la intervale prestabilite de timp, folosind tehnologii de ultimă oră, care permit prelucrarea și analiza datelor obținute în vederea stabilirii unui diagnostic și evaluării stării tehnice a construcțiilor respective;
- ✚ Crearea și implementarea unui program de monitorizare prin metode topo-geodezice a podului peste canalul Dunăre – Marea Neagră de la Agigea, care s-a desfășurat pe durata a zece luni de zile. Programul de monitorizare a cuprins un număr de douăzeci de cicluri de măsurători, desfășurate în perioada noiembrie 2012 – septembrie 2013;
- ✚ Crearea și implementarea unui program de monitorizare prin metode topo-geodezice la Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” din Iași, Facultatea de Bioinginerie Medicală, care s-a desfășurat pe durata a zece luni de zile. Programul de monitorizare a cuprins un număr de cinci cicluri de măsurători, desfășurate în perioada septembrie 2011 – iulie 2012;
- ✚ Realizarea măsurătorilor terestre, inventarierea și stocarea datelor măsurate, prelucrarea și managementul seturilor de date pe baza unor programe de compensare a observațiilor geodezice;
- ✚ Evaluarea preciziei de determinare a mărcilor de tasare de pe obiectivele studiate;
- ✚ Reprezentarea datelor obținute sub forma unor diagrame de tasare pentru mărcile obiectivelor monitorizate și interpretarea acestora;
- ✚ Implementarea și testarea funcționalității unui sistem de monitorizare permanentă și în timp real, bazat pe senzori (mărci tensiometrice) la podul peste canalul Dunăre – Marea Neagră de la Agigea;



- ✚ Evidențierea datelor obținute prin metode geometrice (topo-geodezice), comparativ cu date obținute prin metode fizice (sistem de senzori);
- ✚ Descrierea unor măsuri de intervenție concretizate prin soluții tehnice inovative pentru punerea în siguranță a structurii hobanate monitorizate.

### 6.3. Perspective de cercetare

Ca și perspective de cercetare pe viitor, pe baza studiilor realizate și prezentate în teza de doctorat, propun următoarele direcții de abordare:

- ✚ Continuarea programului de monitorizare în cazul la podului peste canalul Dunăre – Marea Neagră de la Agigea, după finalizarea lucrărilor de reabilitare și darea în exploatare, conform prevederilor legislative în vigoare, cu precădere în perioada lunilor iunie-septembrie, perioadă în care nivelul traficului este foarte ridicat;
- ✚ Menținerea sub observație a sistemului de urmărire cu mărci tensiometrice implementat la podul peste canalul Dunăre – Marea Neagră de la Agigea;
- ✚ Implementarea unui sistem de monitorizare permanentă similar celui testat în cadrul programului de urmărire a deplasărilor și deformațiilor la podul de la Agigea, prin completarea programului de urmărire specială de la Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa” din Iași, Facultatea de Bioinginerie Medicală, cu o rețea de urmărire bazată pe senzori cu fibră optică, ce pot constitui un sistem de achiziție de date în timp real, cu acces online, oferind astfel o imagine concludentă a comportării construcțiilor sub acțiunea diferiților factori perturbatori;
- ✚ Crearea unui sistem informatic geografic local, prin care sistemul de monitorizare să poată colecta și stoca volumul foarte ridicat de informații pe care îl poate furniza un sistem de monitorizare permanentă.

### 6.4. Valorificarea rezultatelor cercetării pe parcursul derulării programului de cercetare doctorală

Pe parcursul derulării programului de cercetare doctorală am participat la conferințe naționale și internaționale în domeniul măsurătorilor terestre, construcțiilor și acusticii, ce s-au concretizat într-un număr de 12 lucrări științifice publicate în calitate de autor și coautor și două referate. Aceste publicații au apărut în baze de date internaționale indexate sau aflate în curs de indexare, patru dintre acestea fiind apărute în **Web of Science-WoS (ISI) Proceedings** sau **reviste indexate Web of Science - WoS (ISI)**, la data susținerii tezei de doctorat.

#### Lucrări publicate în volume ale conferințelor internaționale

**Rusu G.**, Mușat C., *"Modern concepts of 3D modeling in geodetic works"*, GeoCAD 2012 Scientific Conference with International Participation, 11-12 mai 2012, Alba Iulia, România, Journal of Geodesy and Cadastre RevCad Alba Iulia, ISSN 1583-2279, Vol. 13, pp 137-146.

Mușat C., **Rusu G.**, *"Actual trends regarding the usage of 3D cadastre for an efficient administration"*, Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM), 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo SGEM, 16-22 iunie 2013, Albena, Bulgaria, ISBN: 978-954-91818-9-0; ISSN: 1314-2704; DOI: 10.5593/sgem2013, VOL. I, pp 613-620.

Grecea C., **Rusu G.**, Mușat C., Moscovici A-M, "*Challenges in Implementing the Systematic Land Registration in Romania*", 1st European Conference Of Geodesy and Geomatics Engineering (GENG' 13), Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering, 8-10 octombrie 2013, Antalya, Turcia, ISBN 978-960-474-335-3; ISSN: 2227-4359; PP 98-106.

**Rusu G.**, Grecea C., Mușat C., "*Research on systematic land registration as an efficient tool for urban development and noise mapping in Romania*", GeoCAD 2014 Scientific Conference with International Participation, 9-10 mai 2014, Alba Iulia, România, Journal of Geodesy and Cadastre RevCad Alba Iulia, ISSN 1583-2279, Vol. 17, pp 98-105.

Herban S., **Rusu G.**, Grecea O., Bărlă G-A, "*Using the laser scanning for research and conservation of cultural heritage sites. Case study: Ulmetum citadel*", Journal of Environmental Protection and Ecology 15, Geoinformatic and environment, Nr. 3, 2014, pp 1172-1180.

Herban S., Grecea C., **Rusu G.**, Alionescu A., "*Evaluation of structure deformation using geodetic methods*", 2nd European Conference of Geodesy & Geomatics Engineering (GENG '14) Advances in Environmental Development, Geomatics Engineering and Tourism, 26-28 iunie 2014, Brașov, România, ISBN: 978-960-474-385-8; ISSN: 2227-4359; pp 157-162.

**Rusu G.**, Herban S., Bălă A-C, Grecea C., "*Mathematical Support for three-dimensional transformation points from geocentric reference system in local reference system*", International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2014, 22-28 September 2014, Rhodos, Greece, ISBN: 978-0-7354-1287-3; ISSN: 0094-243X; Vol. 1648, pp 670011-1-670011-4.

**Rusu G.**, Mușat C., Teșilă R., "*3D modeling of landslides in relation with environmental protection*", ECOTERRA - Journal of Environmental Research and Protection, Nr. 12(3), 2015, ISSN: 1584-7071, pp 127-134.

Teșilă R., **Rusu G.**, Vîlceanu B., Alionescu A., "*Targeting Displacements' Monitoring of Constructions through Mathematical Methods*", International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM, 23-29 September 2015, Rhodos, Greece, ISBN: 978-0-7354-1287-3; ISSN: 0094-243X.

#### Lucrări publicate în volume ale conferințelor naționale

**Rusu G.**, Costescu I., Grecea C., "*Considerații privind utilizarea materialelor geosintetice în lucrările de infrastructură rutieră*", Zilele Academice Timișene, ediția a XIII-a, Simpozion "Drumul și mediul înconjurător", 23 - 24 mai 2013, Timișoara, Romania, Editura Solness Timișoara, ISSN 2247-3807, pp 214-221.

**Rusu G.**, Mușat C., Costescu I., "*Considerații privind urmărirea în timp a comportării construcțiilor utilizând metode topo-geodezice moderne*", Zilele Academice Timișene, ediția a XIV-a, Simpozion "Drumul și mediul înconjurător", 28-29 mai 2015, Timișoara, Romania, Editura Solness Timișoara, ISSN 2247-3807, pp 181-189.

Moscovici A-M, **Rusu G.**, "*Comparative study of the noise pollution level in major areas from Timișoara city*", Buletinul Științific al Universității „Politehnica” Timișoara, Seria Mecanică, 2015, ISSN 1224-6077.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. Alba M., Roncoroni F., Scaioni M. (2008) - Investigations about the accuracy of target measurement for deformation monitoring, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B5, Beijing, pp 1053-1060.
- [2]. Allen P. K., Stamos I., Troccoli A., Smith B., Leordeanu M., Hsu Y.C. (2003) - 3D Modeling of Historic Sites Using Range and Image Data, *International Conference of Robotics and Automation*, Taipei, Taiwan, pp. 145-150.
- [3]. Armaş I. (2006) - Risc și vulnerabilitate. Metode de evaluare în geomorfologie, Editura Universității din București, ISBN 973-725-545-3.
- [4]. Asociera: S.C. Urban Team S.R.L., S.C. Velplan Design S.R.L. , S.C. Urban Profesional Consulting S.R.L. (2011) - Plan de Amenajare a Teritoriului Județean Timiș. Studiu de fundamentare. Zonele de risc tehnologic și zonele expuse la riscuri naturale.
- [5]. Bakht B., Mufti A. A., Wegner L. D. (2011) - Monitoring Technologies for Bridge Management, ISBN 978-1-907132-27-8, pp 536
- [6]. Bălțeanu D., Alexe Rădița (2001) - Hazarde naturale și antropice, Editura Corint, București.
- [7]. Bălțeanu D., Chendeș V., Sima M., Enciu P. (2010) - A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania, Elsevier, *Geomorphology*, Vol. 124, ISSN: 0169-555X, pp 102-112.
- [8]. Brebu F.M, Marin M., Bălă A.C. (2010) - Monitoring of the building energy in connection with the requirements of the sustainable urban development and of the environmental protection, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, International Workshop Global and Regional Environmental Protection, Timișoara, ISSN 1311-5065, vol. 2 (abstracts), pp.266-270.
- [9]. Brebu F.M. (2011) - Contribuții privind evaluarea topo-geodezică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Teză de Doctorat, Editura Politehnica, Timișoara.
- [10]. Brebu F.M., Bălă A.C. (2011) - Monitoring of special construction using 3D laser scanning, *Scientific Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnica*, ISSN 1224-6042, România, vol. 2, pp. 71-75.
- [11]. Bulgariu D, Juravle D, Bulgariu Laura, Macoveanu M, Rusu C. (2008) - Distribution and Migration of Chrome in Urban Soils - case study: Iasi City (Industrial Zone), *Environmental Engineering and Management Journal (A)*, ISSN: 1582-9596, vol. 7, nr. 3, pp 277-288.
- [12]. Chang C. (2010) - Fiber-optic smart structures for monitoring and managing the health of transportation infrastructures, *Final Report METTRANS*, pp 6-8.
- [13]. Chrzanowski A., Szostak-Chrzanowski A. (2009) - Deformation monitoring surveys - old problems and new solutions, *Reports on Geodesy, The Journal of Warsaw University of Technology*, Vol. 2/87, ISSN: 0867-3179, pp 85-103.
- [14]. Ciutina A., Ungureanu V., Grecea D., Dubină D. (2013) - Calificarea în parametrii de dezvoltare durabilă a clădirilor cu structură metalică, a XIII-a Conferință Națională De Construcții Metalice, 21-22 Noiembrie, 2013, București, pp 283-292
- [15]. Coșarcă C. (2003) - Topografie inginerească, Editura Matrix ROM, București, ISBN: 973-685-560-0, pp 276-278.

- [16]. Coșarcă C. (2009) - Sisteme de măsurare în industrie, Editura Conpress, București, ISBN 978-973-100-077-0.
- [17]. Coșarcă C. (2011) - Măsurători inginerești, Aplicații în domeniul construcțiilor, Partea I, Editura Matrix Rom, București, ISBN 978-973-755-717-9
- [18]. Coșarcă C., Neuner J., Didulescu C. (2005) - Utilizarea tehnicilor moderne de măsurare la inventarierea siturilor istorice, RevCad, nr. 5, Univ. "1 Decembrie 1918", Alba Iulia, ISSN 1583-2279.
- [19]. Coșarcă C., Sărăcin A., Dragomir P.I., Docan D.C., Clinci T.S. (2014) - Măsurători geodezice inginerești, Editura Conpress, București, ISBN 978-973-100-326-9, pp 183.
- [20]. Cristescu N. (1978) - Topografie inginerească, Editura Didactică și Pedagogică, București.
- [21]. Dana I.F., Jacobsen K., Zavoianu F. (2008) - DEM Generation Using Optical / Radar Satellite Images - A Comparative Study, RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre, pp 37-46.
- [22]. Fowler A., France J.I., Truong M. (2011) - Application of advanced laser scanning technology in geology. [www.rieglusa.com/pdf/applications-of-advanced-laser-scanning-technology-ingeology-ananda-fowler-final.pdf](http://www.rieglusa.com/pdf/applications-of-advanced-laser-scanning-technology-ingeology-ananda-fowler-final.pdf)
- [23]. Fung S.S.Y., Robertson I.N. (2003) - Seismic monitoring of dynamic bridge deformations using strain measurements, Research Report.
- [24]. Glisic B, Inaudi D. (2007) - Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring, ISBN 978-0470-061-142-8, pp 1-7.
- [25]. Grecea C., Rusu G., Mușat C., Moscovici A-M (2013) - Challenges in Implementing the Systematic Land Registration in Romania, 1st European Conference Of Geodesy and Geomatics Engineering (GENG' 13), Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering, Antalya, Turcia, ISBN 978-960- 474-335-3; ISSN: 2227-4359, pp 98-106.
- [26]. Grecea C., Sturza M., Mușat C. (2006) - Elemente de măsurători terestre, Vol. 1, Editura Politehnica, Timișoara, pp 319.
- [27]. Grecea C., Sturza M., Mușat C. (2009) - Elemente de măsurători terestre, Vol. 1, Ediție Revizuită, Editura Politehnica, Timișoara.
- [28]. Gridan M.R. (2012) - Folosirea metodelor moderne din topografie pentru urmărirea comportării construcțiilor speciale, Teză de doctorat, Editura Politehnica Timișoara, ISBN 978-606-554-502-1, ISSN 1842-581X.
- [29]. Grosse C.U., Krueger M. (2008) - Structural health monitoring in civil engineering-applications using wireless sensor networks, Emerging technologies in non-destructive testing, ISBN: 978-0-415-46476-5, pp 313-318.
- [30]. Haida V., Marin M., Mirea M. (2004) - Mecanica pământurilor, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara.
- [31]. Hann F.E.I. (2013) - COR - Monitorizarea comportării in situ a construcțiilor, EDITORIAL - Despre experți și expertize, Comisia Națională Comportarea In Situ A Construcțiilor, Buletinul Informativ, ISSN 1584-6687, Nr. 6, Anul XVI, pp 2.
- [32]. Hann F.E.I. (2013) - Ocupațiile din activitatea de monitorizare a comportării in situ a construcțiilor (I), Revista Construcțiilor, ISSN 1841-1290, nr. 99, pag. 56-58.
- [33]. Hann F.E.I. (2014) - În actualitate: monitorizarea comportării in situ a construcțiilor, Revista Construcțiilor, ISSN 1841-1290, nr. 104, pp. 30-36.
- [34]. Hann F.E.I. (2014) - Ocupațiile din activitatea de monitorizare a comportării in situ a construcțiilor (II), Revista Construcțiilor, ISSN 1841-1290, nr. 100, pag. 58-63.
- [35]. Hann F.E.I. (2015) - Sistemul Național de Monitorizare a Comportării in Situ a Construcțiilor, Revista Construcțiilor, ISSN 1841-1290, nr. 117, pp. 44-45.

- [36]. Harms T., Sedigh S., Bastianini F. (2010) - Structural health monitoring of bridges using wireless sensor networks, *IEEE Instrumentation Measurement Magazine*, ISSN: 10946969, DOI: 10.1109/MIM.2010.5669608, Vol. 13, Issue 6, Publisher Techno-Press, pp 99-102.
- [37]. Herban I.S. (2006) - Contribuții la aplicarea metodelor topografice la studiul și urmărirea deplasărilor construcțiilor și ale terenului, Teză de Doctorat, Editura Politehnica, Timișoara.
- [38]. Herban I.S., Sturza M., Baciuc A. (2006) - The influence of the landsliding on stability and resistance of construction. Risk maps, *RevCAD*, ISSN 1583-2279.
- [39]. Herban I.S., Vîlceanu C.B. (2011) - 3D modeling using terrestrial Leica C 10 Scanstation, *Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnica*, ISSN 1224-6042, România, vol. 2, pp. 95-98.
- [40]. Herban S., Grecea C., Rusu G., Alionescu A. (2014) - Evaluation of structure deformation using geodetic methods, 2nd European Conference of Geodesy & Geomatics Engineering (GENG '14) Advances in Environmental Development, Geomatics Engineering and Tourism, Brașov, România, ISBN: 978-960-474-385-8; ISSN: 2227-4359; pp 157-162.
- [41]. Herban S.I., Rusu G., Grecea O., Birla G.A. (2014) Using the Laser Scanning for Research and Conservation of Cultural Heritage Sites. Case Study: Ulmetum Citadel, *Journal of Environmental Protection and Ecology* 15, Nr. 3, pp 1172-1180.
- [42]. Hociung C. (2010) - Studiul și managementul fenomenelor naturale de risc și hazard de pe teritoriul județului Suceava, rezumat teză de doctorat, Universitatea din București, Facultatea de Geografie, Școala Doctorală „Simion Mehedinți”, [www.unibuc.ro](http://www.unibuc.ro)
- [43]. Iacobescu O., Barnoaiea I. (2014) Topografie - Note de curs pentru învățământul la distanță, Partea I, Universitatea „Ștefan Cel Mare” Suceava, Facultatea de Silvicultură.
- [44]. Ielenic M., Comănescu L., Nedelea A., Mihai B., Oprea R., Pătru I. (1999) - Dicționar de geografie fizică, Editura Corint, ISBN 973-9413-77-3, pp 242-243.
- [45]. Inaudi D. (1997) - Fiber optic sensor network for the monitoring of civil engineering structures, Teză de doctorat, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne.
- [46]. Inaudi D., Elamarib A., Pflug L., Gisinb N., J. Breguetb, S. Vurpillot (1994) - Low-coherence deformation sensors for the monitoring of civil engineering structures, *Elsevier, Sensors and Actuators A* 44, SSDI 0924-4247(94)00797-L, pp 125-130.
- [47]. Ionescu I. (2005) - Fotogrametrie inginerească. Modelarea altimetrică a terenului, Editura Matrix Rom, București, ISBN 973-685-734-4, pp 14.
- [48]. Juravle D-T. (2009) - Geologia României - curs online, vol. I - Geologia terenurilor est-carpătice: Paltformele și Orogenul Nord-Dobrogean, Editura Digitală Stef, Iași, ISBN 978-973-1809-55-7. [www.editurastef.ro/universitara.html](http://www.editurastef.ro/universitara.html).
- [49]. Lan H.X., Martin C.D., Froese C.R., Kim T.H., Morgan A.J., Chao D., Chowdhury S. (2009) - A web-based GIS for managing and assessing landslide data for the town of Peace River, Canada, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 9, issue 4, pp 1433-1443, doi:10.5194/nhess-9-1433-2009.
- [50]. Lăcătușu R., Rîșnoveanu I., Breabăn I.G., Rusu C., Lungu M., Kovacsovics B. (2005) - Soluri urbane în municipiul Iași, *Factori și Procese Pedogenetice din Zona Temperată* (Online), Editura Universității Alexandru Ioan Cuza din Iași, ISSN: 2285-5696, ISSN-L:1582-4616, pp 135-143
- [51]. Mac I., Petrea D. (2002) - Polisemia evenimentelor geografice extreme, *Revista UBB Cluj, Vol. I*, pp 17.

- [52]. Manea G., Călin A. (2005) - Caracteristicile fotogrametriei digitale în raport cu cea analogică și cu cea analitică, Simpozionul Științific Internațional de Cadastru GeoCAD Alba-Iulia, RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre, nr. 5, pp 301-310.
- [53]. Mărgărint M.C. (2010) - Utilizarea teledeteției în studiul geografic al teritoriului județului Iași, Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza”, Iași, ISBN 978-973-703-345-1, pp 39-63.
- [54]. Meng X., Roberts G.W., Cosser E., Dodson A.H. (2003) - Real-time bridge deflection and vibration monitoring using an integrated GPS/accelerometer/pseudolite system, Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece.
- [55]. Moiescu A.I. (2014) - Evaluarea stării de siguranță în exploatare a amenajărilor hidrotehnice, prin sisteme de achiziție, transmitere și prelucrare a parametrilor semnificativi, Teză de doctorat - Rezumat, Universitatea Tehnică de Construcții București.
- [56]. Mork N.P. (2007) - Raport Trocaire, Agenția Catholică Irlandeză pentru Dezvoltare Globală, Reducerea riscului de dezastre, Învățând pentru subzistență, Seria nr. 1.
- [57]. Moscovici A-M, Rusu G. (2015) - Comparative study of the noise pollution level in major areas from Timișoara city, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Seria Mecanica, ISSN 1224-6077.
- [58]. Mușat C., Pinteș D., Belea Gh., Grecea C., Gridan M.R., Vâlceanu C.B. (2012) - Măsurători terestre - Concepte - Volumul I, Editura Politehnica, Timișoara.
- [59]. Mușat C., Rusu G. (2013) - Actual trends regarding the usage of 3D cadastre for an efficient administration, 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo SGEM, Albena, Bulgaria, ISBN: 978-954-91818-9-0; ISSN: 1314-2704, Vol. I, pp 613-620.
- [60]. Mușat C.C. (2006) - Contribuții privind stabilirea tasărilor și deformațiilor construcțiilor utilizând metode și tehnici topo-geodezice moderne, Teză de Doctorat, Editura Politehnica, Timișoara.
- [61]. Mușat C.C., Herban I.S.- Determinate dynamic deformation of construction using the integrated system Leica 1200, Journal of Geodesy and Cadastre, Alba Iulia, RevCad no.10, pp 145-153
- [62]. Neamțu M., Onose D., Neuner J. (1988) - Măsurarea topografică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Institutul de Construcții București.
- [63]. Niacșu L., Secu C., Rusu C. (2007) - Legenda hârților. Aplicații SIG în bazinul Pereschiv (Colinele Tutovei). În: „Impactul riscurilor hidro-climatice și pedo-geomorfologice asupra mediului în bazinul Bârladului”. Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza” Iași, pp 121-136.
- [64]. Nistor Gh. (1995) - Teoria prelucrării măsurătorilor geodezice, Editura Ghe. Asachi, Iași.
- [65]. Nuttens T., De Wulf A., Bral L., De Wit B., Carlier L., De Ryck M., Stal C., Constaes D., De Backer H. (2010) - High Resolution Terrestrial Laser Scanning for Tunnel Deformation Measurements, FIG Congress 2010: Facing the Challenges - Building the Capacity, Sydney, Australia, pp. 2.
- [66]. Onu C. (2011) - Current trends on monitoring the deformations of studied constructions, RevCad Journal of Geodesy and Cadastre, ISSN 1583-2279, No. 11, pp. 168-178.
- [67]. Park H.S., Lee H.M., Adeli H., Lee I. (2007) - A new approach for health monitoring of structures: terrestrial laser scanning, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 22, Published by Blackwell Publishing, pp 19-30.

- [68]. Pohrib D.M. (2015) - Impactul indus de comportamentul specific al unor depozite sedimentare asupra fundării construcțiilor, *Revista Construcțiilor*, ISSN 1841-1290, nr. 116, pp. 44-45
- [69]. Popa V. (2012) - Comportarea in situ a construcțiilor – componentă importantă a existenței acestora, *Revista construcțiilor*, ISSN 1841-1290, nr. 80, pp 76.
- [70]. Popa V. (2013) - Despre experți și expertize, *Comisia Națională Comportarea In Situ A Construcțiilor*, *Buletinul Informativ*, ISSN 1584-6687, Nr. 6, Anul XVI, pp 1
- [71]. Popa V. (2013) - Structuri mixte cu conlucrare (oțel – beton) utilizate la construcția podurilor rutiere, *A XIII-a Conferință Națională de Construcții Metalice – Tendințe actuale în ingineria structurilor metalice*, București, Editura Conpress, ISBN 978-973-100-306-1, pp 293-302
- [72]. Răileanu P., Mușat V., Țibichi E. (2001) – Alunecări de teren, *Studiu și combatere*, ISBN 973-8174-08-2, Casa de Editură Venus, Iași.
- [73]. Roberts G., Hirst L. (2005) - Deformation Monitoring and Analysis of Structures Using Laser Scanners, *From Pharaohs to Geoinformatics*, *FIG Working Week and GSDI-8*, Cairo, Egypt.
- [74]. Roberts G.W., Brown C.J., Ogundipe O. (2010) - Monitoring Bridges by GNSS, *FIG Congress 2010, Facing the Challenges – Building the Capacity*, Sydney, Australia, 4452.
- [75]. Roberts G.W., Brown C.J., Tang X., Ogundipe O. (2014) - Tale of Five Bridges; the use of GNSS for Monitoring the Deflections of Bridges, *Journal of Applied Geodesy*, ISSN: 1862-9024, DOI: 10.1515/jag-2014-0013, Vol. 8, Issue 4, pp 241-264
- [76]. Roberts G.W., Brown C.J., Tang X., Ogundipe O. (2014) - The use of GNSS to aid the structural health monitoring of the seven suspension bridge's suspension cables and support towers, *FIG Congress 2014, Proceedings, Engaging the Challenges - Enhancing the Relevance*, Kuala Lumpur, Malaysia, 7188.
- [77]. Rusu G., Costescu I., Grecea C. (2013) - Considerații privind utilizarea materialelor geosintetice în lucrările de infrastructură rutieră", *Zilele Academice Timișene*, ediția a XIII-a, Simpozion "Drumul și mediul înconjurător", Timișoara, Romania, Editura Solness Timișoara, ISSN 2247-3807, pp 214-221.
- [78]. Rusu G., Grecea C., Mușat C. (2014) - Research on systematic land registration as an efficient tool for urban development and noise mapping in Romania, *GeoCAD 2014 Scientific Conference with International Participation*, Alba Iulia, România, *Journal of Geodesy and Cadastre RevCad Alba Iulia*, ISSN 1583-2279, Vol. 17, pp 98-105.
- [79]. Rusu G., Herban S., Bălă A-C, Grecea C. (2014) - Mathematical support for three-dimensional transformation points from geocentric reference system in local reference system, *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2014*, Rhodos, Greece, ISBN: 978-0-7354-1287-3; ISSN: 0094-243X; Vol. 1648, pp 670011-1-670011-4.
- [80]. Rusu G., Mușat C., Costescu I. (2015) - Considerații privind urmărirea în timp a comportării construcțiilor utilizând metode topo-geodezice moderne", *Zilele Academice Timișene*, ediția a XIV-a, Simpozion "Drumul și mediul înconjurător", Timișoara, Romania, Editura Solness Timișoara, ISSN 2247-3807, pp 181-189.
- [81]. Rusu G., Mușat C.C. (2012) - Modern concepts of 3D modeling in geodetic works, *RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre*, vol. 13, pp 137-146.

- [82]. Savu A. (2010) – Perfecționări ale lucrărilor topografice și geodezice în domeniul căilor de comunicații, Teză de Doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Geodezie, Catedra de Topografie și Cadastru.
- [83]. Sorocovschi V. (2002) - Riscuri hidrice, în Riscuri și catastrofe, I, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj Napoca.
- [84]. Sternberg H. (2006) - Deformation measurements at historical buildings with terrestrial laser scanners, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, Part 5, Dresden, pp 303-308.
- [85]. Sturza M., Grecea C., Novac Ghe., Bălă A., Herban I.S., David V. (2009) – Elemente de măsurători terestre, Vol.2, ISBN: 978-973-625-830-5, Ediție Revizuită, Editura Politehnica, Timișoara.
- [86]. Sturza M., Novac G., David V., Herban I.S., Baci A. (2007) – Elemente de măsurători terestre, Vol. 2, ISBN: 978-973-625-377-5, Editura Politehnica, Timișoara.
- [87]. Teșilă R., Rusu G., Vîlceanu B., Alionescu A. (2015) - Targeting Displacements' Monitoring of Constructions through Mathematical Methods, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM, 23-29 September, Rhodes, Greece, ISBN: 978-0-7354-1287-3; ISSN: 0094-243X.
- [88]. Tiron M. (1973) – Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate, Editura Tehnică, București.
- [89]. Udrea F. (2011) - Managementul riscurilor de mediu, Universitatea Spiru Haret București, Editura Uffman, ISBN 978-606-8222-68-4.
- [90]. Uva G., Porco F., Fiore A., Porco G. (2014) - Structural monitoring using fiber optic sensors of a pre-stressed concrete viaduct during construction phases, Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation, Elsevier, ISSN: 2214-6571, Volume 2, pp 27-37.
- [91]. Vîlceanu C.B. (2014) - Utilizarea tehnologiilor geodezice moderne pentru monitorizarea, prelucrarea și analiza unor alunecări de teren și construcții din pământ armat, Teză de Doctorat, Editura Politehnica Timișoara, ISSN: 1842-581X, ISBN: 978-606-554-754-4.
- [92]. Vîlceanu C.B., Bălă A.C. (2013) - Crearea modelului digital al terenului utilizând tehnologia de scanare laser terestră pentru alunecarea de teren – drum de acces între localitatea Orsova și platoul Topleț, culmea Dranic, județul Mehedinți, Revista Română de Inginerie Civilă, Vol. 4, Nr. 2, Editura Matrix Rom, pp 131-141.
- [93]. Vîlceanu C.B., Bălă A.C. (2013) – Crearea modelului digital al terenului utilizând tehnologia de scanare laser terestră pentru alunecarea de teren – drum de acces între localitatea Orșova și platoul Topleț, culmea Dranic, județul Mehedinți, Revista Română de Inginerie Civilă, Volumul 4, Numărul 2, Editura Matrix Rom, pp 131-141.
- [94]. Vîlceanu C.B., Marin M. (2011) – Utilizarea tehnologiei GIS pentru evaluarea condițiilor de riscuri, Zilele Academice Timișene, Ediția a XII-a, Timișoara România, Infrastructuri Eficiente pentru transporturi terestre, Editura Solness, ISSN 2247-3807, ISSN-L = 2247-3807.
- [95]. Yong Yu J., Shao X.D., Meng X.L., Feng Li L. (2014) - Experimental research on dynamic monitoring of bridges using GNSS and accelerometer, Zhongguo Gonglu Xuebao/China Journal of Highway and Transport, ISSN: 10017372, Vol. 27, Issue 2, Publisher: Xi'an Highway University, pp 62-69.
- [96]. \*\*\* Comisia Comunităților Europene (2009) – Comunicare a Comisiei către Consiliu și către Parlamentul European. Strategia UE de sprijinire a reducerii riscului de dezastre în țările în curs de dezvoltare.



- [97]. \*\*\* Institutul Național de Statistică, Direcția Județeană de Statistică Iași, Geografia în județul Iași, [www.iasi.insse.ro](http://www.iasi.insse.ro)
- [98]. \*\*\* International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) (2004) – United National Summit, Geneva.
- [99]. \*\*\* IPTANA (2012) - Măsură pentru punerea în siguranță a podului pe DN 39 la km 8+988 la Agigea, piese desenate.
- [100]. \*\*\* Learning tools for advanced three-dimensional surveying in risk awareness project (3D RiskMapping), Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning, Training material based on practical applications.
- [101]. \*\*\* Măsurători terestre (2001) – Fundamente Vol. II, III, Editura MatrixRom, București.
- [102]. \*\*\* Memoriu de prezentare a Județului Iași, [www.prefecturaiasi.ro](http://www.prefecturaiasi.ro)
- [103]. \*\*\* Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor Agenția Națională pentru Protecția Mediului Iași (2014) - Raport privind starea mediului în județul iași pentru anul 2014, pp 111.
- [104]. \*\*\* Normativ I.N.C.E.R.C. – Normativ pentru determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61-64.
- [105]. \*\*\* NP 125/2010 - Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire (MO 158/04.03.2011).
- [106]. \*\*\* Ordin 847/02.06.2014 - Procedura privind activitățile de control efectuate pentru aplicarea prevederilor legale privind urmărirea curentă și specială a comportării în exploatarea construcțiilor - indicativ PCU 004, Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, București, 2014.
- [107]. \*\*\* P 7/2000 - Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire (proiectare, execuție, exploatare).
- [108]. \*\*\* Planul Integrat de Dezvoltare pentru Polul de Creștere Iași 2009 – 2015, Consiliul Județean Iași
- [109]. \*\*\* Popa V. (2012) - Raport de expertiză
- [110]. \*\*\* Programul de guvernare 2013-2016, Mari Proiecte de Infrastructură
- [111]. \*\*\* Programul Operațional Infrastructură Mare 2014-2020
- [112]. \*\*\* Regulamentul (UE) nr. 1316/2013 al Parlamentului European și al Consiliului Uniunii Europene de instituire a Mecanismului pentru Interconectarea Europei, de modificare a Regulamentului (UE) nr. 913/2010 și de abrogare a Regulamentului (CE) nr. 680/2007 și (CE) nr. 67/2010, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene.
- [113]. \*\*\* Strategia Națională pentru Dezvoltare Durabilă a României Orizonturi 2013-2020-2030
- [114]. \*\*\* <http://masuratori-terestre.blogspot.ro/p/nivela.html>
- [115]. \*\*\* <http://www.3dlasermapping.com/zeb1-indoor-mapping>
- [116]. \*\*\* [http://www.expertpai.ro/servicii\\_geodezie.php](http://www.expertpai.ro/servicii_geodezie.php)
- [117]. \*\*\* <http://www.rasfoiesc.com/educatie/geografie/Scurta-prezentare-a-judetului-67.php>
- [118]. \*\*\* <http://www.vremea-iasi.ro/clima>
- [119]. \*\*\* <http://www.wylerag.com/en/produkte/messinstrumente/bluesystem-sigma-das-original/>
- [120]. \*\*\* [https://ro.wikipedia.org/wiki/Nivelă\\_topografică](https://ro.wikipedia.org/wiki/Nivelă_topografică)
- [121]. \*\*\* [www.eurocoduri.ro](http://www.eurocoduri.ro)
- [122]. \*\*\* [www.iptana.ro/romania/download/PARTEA%20III\\_Poduri](http://www.iptana.ro/romania/download/PARTEA%20III_Poduri)
- [123]. \*\*\* [www.ospa-iasi.ro](http://www.ospa-iasi.ro)