

FOLOSIREA METODELOR MODERNE DIN TOPOGRAFIE PENTRU URMĂRIREA COMPORTĂRII CONSTRUCȚIILOR SPECIALE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE CIVILĂ
de către

Ing. Maria - Roberta GRIDAN

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Marin MARIN
Referenți științifici: prof.univ.dr. Maricel PALAMARIU
conf.univ.dr.ing. Constantin BOFU
conf.univ.dr.ing. Carmen GRECEA

Ziua susținerii tezei: 11 septembrie 2012

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din 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, 2006

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” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

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

Urmărirea comportării în timp a construcțiilor se desfășoară pe toată perioada de viață a acestora începând cu execuția ei și este o activitate sistematică de culegere și valorificare a informațiilor rezultate din observare și măsurători asupra unor fenomene și mărimi ce caracterizează proprietățile construcțiilor în procesul de interacțiune cu mediul ambiant și tehnologic.

Capitolul 1 - Introducere - În acest capitol sunt prezentate considerațiile generale referitoare la deformațiile și tasările construcțiilor hidrotehnice și cauzele care le produc. Se pune în evidență încă din această fază actualitatea, oportunitatea și importanța social - economică a cercetării efectuate în cadrul prezentei teze.

Capitolul 2 - Tehnici și tehnologii geodezice pentru monitorizarea construcțiilor - Acest capitol realizează o sistematizare complexă și completă a tehnicilor și tehnologiilor utilizate pentru monitorizarea construcțiilor speciale, de la cele clasice până la cele mai moderne și actuale.

Capitolul 3 - Metode topo-geodezice pentru studiul și urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor - Capitolul analizează pertinent și critic metodele topo - geodezice pentru studiul și urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor.

Capitolul 4 - Principii de compensare și prelucrare a măsurătorilor geodezice specifice urmăririi în timp a construcțiilor - În cadrul acestui capitol se pune accent pe principiile de compensare și prelucrare a măsurătorilor topo - geodezice urmărindu-se aplicarea concretă a acestora pentru obiectivul studiat.

Capitolul 5 - Analiza factorilor ce influențează deformarea construcțiilor speciale - Face trecerea spre partea aplicativă a prezentei teze de doctorat. Capitolul începe cu aspectele generale ale construcțiilor hidrotehnice, urmând ca pe parcursul acestuia să explice concret condițiile de amplasare ale barajelor și factorii care le influențează soluțiile constructive, justificând astfel de ce s-a studiat un baraj de greutate (incidența mare a unor astfel de baraje și de asemenea sunt evidențiate cauzele ce produc fenomenele de instabilitate și efectul pe care acestea îl au asupra construcțiilor speciale).

Capitolul 6 - Urmărirea deformațiilor barajului Petrimanu prin metode topo - geodezice - Acest capitol reprezintă partea aplicativă a tezei de doctorat și începe cu prezentarea generală a amenajării. Aici sunt arătate toate aspectele relevante ale barajului. Cea mai importantă parte a acestui capitol o reprezintă măsurătorile topo-geodezice. În cadrul acestui capitol s-a urmărit nu doar valoarea "fizică" a deplasărilor, ci și evoluția acestora în timp, care are un impact major asupra fiabilității construcției, cu toate aspectele practice și de securitate pentru utilitățile din aval existente.

Capitolul 7 - Concluzii și contribuții personale - Prezintă o sinteză a cercetărilor efectuate și contribuțiile personale.

Pe această cale doresc să mulțumesc conducătorului de doctorat, **Prof. Dr. Ing. Marin MARIN**, pentru consilierea permanentă și atenta îndrumare pe tot parcursul realizării lucrării.

Adresez mulțumiri deosebite doamnei **Conf. Dr. Ing. Carmen GRECEA** pentru sprijinul acordat și pentru sfaturile și ajutorul direct pe toată perioada desfășurării doctoratului.

Doresc să le mulțumesc pe această cale și profesorilor din cadrul Departamentului Căi de Comunicație Terestră și Cadastru, al Facultății de Construcții, care m-au ajutat pe întreg parcursul cercetării doctorale.

Mulțumesc de asemenea membrilor comisiei de doctorat, **Prof. Dr. Ing. Maricel PALAMARIU** și **Conf. Dr. Ing. Constantin BOFU**, în calitate de referenți și domnului **Prof. Dr. Ing. Gheorghe LUCACI**, în calitate de președinte al comisiei.

Țin să mulțumesc doamnei **Ing. Diana ȘERB**, de la C.H.E. Lotru - Ciunget, pentru facilitarea accesului la obiectivul studiat dar și la arhiva instituției.

De asemenea vreau să mulțumesc prietenului meu, familiei și prietenilor care m-au susținut din toate punctele de vedere pe parcursul celor 3 ani de cercetare doctorală.

GRIDAN, MARIA - ROBERTA

FOLOSIREA METODELOR MODERNE DIN TOPOGRAFIE PENTRU URMĂRIREA COMPORTĂRII CONSTRUCȚIILOR SPECIALE

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 92, Editura Politehnica, 2012, 172 pagini, 75 figuri, 21 tabele.

ISSN: 1842-581X, ISBN: 978-606-554-502-1

Cuvinte cheie: construcții speciale, microtriangulație, nivelment gemetric, baraj, prelucrarea măsurătorilor, deplasare, deformație

Rezumat,

Urmărirea comportării în timp a construcțiilor se desfășoară pe toată perioada de viață a acestora începând cu execuția ei și este o activitate sistematică de culegere și valorificare a informațiilor rezultate din observare și măsurători asupra unor fenomene și mărimi ce caracterizează proprietățile construcțiilor în procesul de interacțiune cu mediul ambiant și tehnologic.

Numeroasele aparate și dispozitive realizate în ultimul timp urmăresc perfecționarea procedeelelor de determinare a acestor deplasări, în sensul adaptării acestora la anumite condiții de măsurare impuse de anumite genuri de construcții, sau adaptarea lor la anumite tipuri de deplasări care interesează în cadrul problemei complexe de cercetare a construcțiilor, urmărind în același timp și obținerea unei precizii de măsurare corespunzătoare.

Prin studiile teoretice și practice efectuate în teză sunt prezentate cele mai importante aspecte legate de tematica abordată, cu evidențierea avantajelor utilizării tehnologiilor de măsurare topo-geodezice moderne în ingineria civilă.

CUPRINS

ACKNOWLEDGEMENT	8
CAPITOLUL 1. INTRODUCERE	9
1.1. Considerații generale	9
1.2. Cauzele producerii tasărilor și deformațiilor construcțiilor	13
CAPITOLUL 2. TEHNICI ȘI TEHNOLOGII GEODEZICE PENTRU MONITORIZAREA CONSTRUCȚIILOR	17
2.1. Aparate utilizate de-a lungul timpului pentru măsurarea construcțiilor speciale	17
2.1.1. Teodolitul	17
2.1.2. Tahimetrul	17
2.1.3. Nivelă	18
2.1.4. Stația totală	19
2.2 Metode moderne folosite în măsurarea și urmărirea deplasărilor a construcțiilor speciale	20
2.2.1. Metoda fotogrametrică	20
2.2.2. Tehnologia GPS (Global Positioning Systems)	21
2.2.3. Metode electrice	22
2.2.4. Metoda scanării laser	25
CAPITOLUL 3. METODELE TOPO-GEODEZICE ȘI APORTUL ACESTORA LA STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR	27
3.1. Metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor orizontale ale construcțiilor	27
3.1.1. Metoda microtriangulației	27
3.1.2. Metoda aliniamentelor	30
3.1.3. Metoda poligonometrică	32
3.2. Metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor	38
3.2.1. Marcarea punctelor rețelelor de nivelment utilizate la urmărirea deformațiilor construcțiilor	39
3.2.2. Materializarea reperilor de control	39
3.2.3. Metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie	43
3.2.4. Metoda nivelmentului trigonometric de precizie	44
3.2.5. Utilizarea nivelmentului hidrostatic în determinarea deplasărilor construcțiilor masive	50
3.3. Erorile întâlnite în nivelmentul geometric pentru determinarea tasărilor și modul de eliminare a acestora	52

3.3.1. Neorizantalitatea liniei de vizualizare a lunetei	52
3.3.2. Neaplicarea corecției de sfericitate, refracție și temperatură	52
3.3.3. Neverticalitatea mirei și excentricitatea benzii de invar față de axa reperului	53
CAPITOLUL 4. PRINCIPII DE COMPENSARE ȘI PRELUCRARE A MĂSURĂTORILOR GEODEZICE SPECIFICE URMĂRIII CONSTRUCȚIILOR	56
4.1. Aspecte generale în studiul teoriei erorilor de măsurare	56
4.2. Importanța teoriei erorilor de măsurare	57
4.3. Măsurători și erori de măsurare	58
4.3.1. Clasificarea măsurătorilor	58
4.3.2. Clasificarea erorilor de măsurare	59
4.4. Proprietățile erorilor întâmplătoare	61
4.4.1. Alte tipuri de erori	62
4.5. Concepte statistice în prelucrarea măsurătorilor	63
4.5.1. Repartiții de frecvențe	64
4.5.2. Repartiția empirică a erorilor întâmplătoare	64
4.5.3. Histograma	65
4.6. Studiul repartiției erorilor întâmplătoare	66
4.6.1. Valori tipice folosite în studiul repartiției teoretice a erorilor întâmplătoare	66
4.6.2. Valori tipice de selecție folosite la prelucrarea rezultatelor obținute din măsurători	66
4.7. Determinarea tasărilor prin stabilitatea reperilor de control	69
4.7.1. Calculul tasărilor prin metoda măsurătorilor condiționate	69
4.7.2. Calculul tasărilor prin metoda măsurătorilor indirecte	75
CAPITOLUL 5. ANALIZA FACTORILOR CE INFLUENȚEAZĂ DEFORMAREA CONSTRUCȚIILOR SPECIALE	85
5.1. Aspecte generale referitoare la construcțiile hidrotehnice	85
5.2. Tipuri de construcții hidrotehnice și elementele care le definesc	86
5.3. Baraje de greutate	89
5.3.1. Scurt istoric	89
5.3.2. Elemente constructive componente	92
5.3.3. Condiții geologice ale zonei de amplasare	93
5.3.4. Condiții morfologice ale amplasamentului	96
5.3.5. Elemente geometrice și constructive caracteristice barajelor de greutate	96

5.3.6. Forțele care acționează asupra barajelor de greutate	102
5.3.7. Stabilitatea la alunecare a barajelor de greutate	102
CAPITOLUL 6. URMĂRIREA DEFORMĂȚILOR BARAJULUI PETRIMANU PRIN METODE TOPO - GEODEZICE	104
6.1. Prezentarea generală a amenajării	104
6.1.1. Amplasarea	104
6.1.2. Deținătorul / administratorul	106
6.1.3. Funcțiile lucrării hidrotehnice, clasa și categoria de importanță	106
6.1.4. Construcțiile și instalațiile aferente ale lucrării hidrotehnice	106
6.1.5. Date caracteristice pentru lucrarea hidrotehnică	108
6.1.6. Scurt istoric al amenajării	109
6.2. Condiții naturale în amplasament	110
6.2.1. Situația hidrologică	110
6.2.2. Situația geologică	113
6.2.3. Situația hidrogeologică	118
6.2.4. Seismicitatea zonei	119
6.3. Descrierea lucrărilor din frontul de retenție	121
6.3.1. Date constructive	121
6.3.2. Lucrări de etanșare și drenaj	122
6.3.3. Evacuatori, echipament hidromecanic și disipatori	124
6.4. Dotarea construcției cu aparate de măsură și control și dispozitive de urmărire	124
6.5. Măsurători topo - geodezice	125
6.5.1. Aparate și dispozitive auxiliare pentru urmărirea construcției	141
6.6. Modul de urmărire a barajului folosind metoda observațiilor directe (urmărire vizuală)	141
6.7. Frecvența măsurătorilor și a observațiilor directe	143
CAPITOLUL 7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	144
ANEXE	153
A1	154
A2	157
A3	166
BIBLIOGRAFIE	169

**"Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin
parțial din grantul strategic
POSDRU/88/1.5/S/50783, ID 50783
cofinanțat din Fondul Social European
"Investește în oameni", în cadrul
Programului Operațional Sectorial
Dezvoltare Resurse Umane 2007-2013"**

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

1.1. Considerații generale

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

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

Actualitatea temei abordate este dată de faptul că în ultimele decenii schimbările climatice au produs dereglări ale precipitațiilor, astfel că pot apărea cantități mari de apă în unele zone, unde cu câțiva ani în urmă nu se întâmpla acest lucru. Astfel solicitările asupra barajelor pot fi mai mari decât cele calculate inițial, și deci, vor trebui monitorizate permanent pentru a preveni eventuale catastrofe.

Gradul mare de actualitate îl constituie situațiile recente la nivel mondial (accidentul de la hidrocentrala Sayano Shushenskaya – Rusia, 17 august 2009) și național (microfisuri la unele baraje - barajul Secu din zona Reșița, Caraș – Severin) cu influențele nefaste pe plan uman, social și economic.

În încercarea de a depăși problemele tehnice ivite, s-au creat legături interdisciplinare între domeniul ingineriei civile și cel al măsurătorilor terestre, prin care aportul inginerului geodez la aplicarea pe teren a proiectelor de construcții a devenit hotărâtor.

Cercetările efectuate au un pronunțat caracter multidisciplinar, ele înglobând atât elemente de construcții, geologie, dar mai ales topografie și tehnici moderne de urmărire în timp a construcțiilor.

Obiectul cercetării îl constituie deformațiile unei construcții hidrotehnice (baraj), mai exact urmărirea acestor deformații (atât orizontale cât și verticale), în timp, cu ajutorul tehnologiilor moderne.

Partea aplicativă a prezentei cercetări o constituie barajul Petrimanu. Acest baraj a fost ales pentru faptul că asupra sa este posibil să intervină eforturi neobișnuite. În contextul re tehnologizării centralei hidroelectrice Ciunget, lacurile de acumulare ce fac parte din ansamblul de aducțiuni au fost golite. Această golire schimbă forțele care acționează asupra barajelor, prin reducerea presiunii asupra acestora. De asemenea, la reumplerea lacurilor de acumulare forțele cresc într-un interval scurt, existând riscuri în ceea ce privește stabilitatea construcțiilor hidrotehnice.

Acesta constituie principalul motiv pentru care am ales prezenta temă de cercetare, adică urmărirea deformațiilor barajului Petrimanu în intervalul anilor 2009-2011.

Apariția tehnologiilor geodezice spațiale a făcut posibilă monitorizarea permanentă a comportării unor obiective strategice deosebite (poduri suspendate, centrale nucleare), obținându-se în orice moment raporturi privitoare la fenomenele care influențează stabilitatea de ansamblu a structurii. Pe baza acestor tehnici s-au dezvoltat concomitent și modalitățile grafice de reprezentare a rezultatelor obținute.

În ultimul timp s-a impus instalarea de dispozitive permanente de măsurare pe o perioadă lungă de timp, care înregistrează automat deformațiile într-o epocă și pe parcursul timpului între epocile de măsurare; utilizarea acestor dispozitive constituie și obiectul cercetării doctorale.

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

În studiul comportării construcției se pot defini următoarele două aspecte:

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

Măsurarea deplasărilor și deformațiilor poate avea:

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

Totodată, măsurarea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor poate avea:

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

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

1. Deplasări și deformații liniare formate din:

- *deplasările pe orizontală* ale unor elemente de construcție sau a construcției în întregime, datorită unor forțe orizontale sau modificării echilibrului terenului de fundare a construcției;
- *deplasările pe verticală în jos sau tasările* fundațiilor construcțiilor și ale terenului de fundare;
- *lăsările de teren*, care au caracter de prăbușire fiind provocate de modificările radicale ale structurii terenului;
- *ridicările, bombările, sau deplasările pe verticală în sus* ale fundației construcțiilor, ca urmare a modificării echilibrului presiunii în structura terenului;
- *înclinările față de verticală* a construcțiilor rigide;
- *denivelările* construcțiilor relativ rigide, măsurate prin diferențele maxime ale tasărilor neuniforme a câte două reazeme vecine, raportate la distanța dintre ele;

- *crăpăturile și fisurile*, care reprezintă rupturi în planuri sau părți separate ale construcțiilor, ca urmare a tasărilor neuniforme (diferențiate) și apariției tensiunilor suplimentare în structura construcției;
- *săgețile* unor elemente de construcție (plăci, stâlpi, grinzi).

Deformarea terenului de fundare ca urmare a stării de tensiune generată de încărcarea dată de construcție, se concretizează în deplasări ale suprafeței de rezemare a fundației, față de poziția pe care aceasta o avea înainte de execuția construcției. Deplasările pe verticală ale fundațiilor și implicit ale construcțiilor, datorate deformării terenului de fundare, poartă denumirea de tasări.

Se pot defini următoarele tipuri de tasări:

- tasarea absolută (s), definită ca fiind deplasarea pe verticală a unui punct al fundației, sau a întregii fundații izolate sau continue (Fig.1.1. a);
- tasarea medie a construcției (s_m), calculată ca medie a tasărilor absolute a cel puțin trei fundații izolate ale construcției respective; se pune condiția ca abaterea față de tasarea medie, a tasării fiecăreia din fundațiile considerate, să nu depășească 50% din valoarea medie, adică

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

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

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

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

$$tg\theta = (s_{max} - s_{min}) / l \quad (1.3)$$

- încovoierea relativă (f), care reprezintă raportul dintre săgeata și lungimea părții de construcție care se încovoie (l); acest fenomen este caracteristic fundațiilor flexibile cu lungime mare, cum sunt grinzile de fundație (Fig. 1.2. b), la care încovoierea relativă poate fi exprimată cu relația:

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

Deformarea terenului de fundare:

- Deformarea uniformă a terenului de fundare nu este periculoasă pentru stabilitatea și rezistența construcțiilor, dar poate influența în mod defavorabil asupra condițiilor de exploatare a acestora.
- Deformarea neuniformă a terenului de fundare conduce la tasarea inegală a diferitelor părți ale construcției, care poate afecta negativ atât rezistența construcției prin introducerea de eforturi suplimentare în elementele suprastructurii, cât și stabilitatea acesteia. Tasarea unei construcții determinată prin calcul în faza de proiectare, constituie tasarea probabilă (posibilă), iar cea măsurată prin metode topografice și instrumente adecvate în timpul execuției sau exploatării construcției, reprezintă tasarea reală.

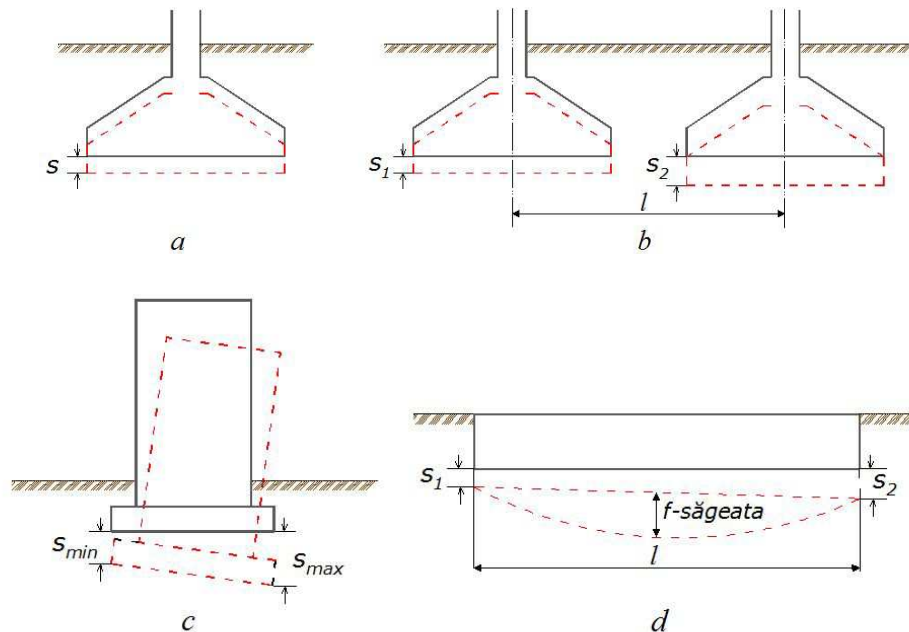


Fig. 1.1. Tipuri de deformații
 a - tasarea absolută (s); b - tasarea relativă (s_1, s_2); c- înclinarea fundației (s_{min}, s_{max}); d - încovoierea relativă f

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

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

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

Precizia cu care se obțin mărimile măsurabile experimental, determină și precizia celorlalte mărimi. În acest sens, alegerea aparatelor și metodelor de măsurare se va face în strânsă corelare cu sensibilitățile și preciziile lor, astfel încât, valoarea unei mărimi care nu poate fi măsurată direct să se obțină cu o precizie corespunzătoare, indiferent de mărimea măsurată experimental. În afara

elementelor obținute prin încercarea construcțiilor în faza de concepție și proiectare, foarte multe alte elemente pot fi cunoscute și pe baza experienței acumulate într-o perioadă îndelungată de timp, pe baza studiului și analizei comportării în timp a construcțiilor în condiții de exploatare.

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

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

1.2. Cauzele producerii tasărilor și deformațiilor construcțiilor

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

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

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

Cauzele speciale se datorează în special cercetării, proiectării, executării lucrării, cât și exploatarea construcțiilor. Aceste fenomene pot fi clasificate după cum urmează:

Organizarea incorectă a șantierului, cum ar fi o slabă evacuare a apelor atmosferice și orice inundație;
Unele inexactități în cercetările inginerești, geologice și hidrogeologice;
Coborârea sau ridicarea artificială a apelor subterane în timpul execuției;
Umezirea loessurilor și dezghețarea terenului înghețat;
Executarea unor lucrări subterane atrag în unele cazuri deplasări ale întregii stratificații aflate deasupra lucrărilor subterane;
Executarea unor lucrări de construcții masive în imediata apropiere a unor obiective mai vechi;
Modificarea presiunii, care poate proveni din unele modificări ale construcției sau din cauza unor sarcini variabile, altele decât cele proiectate;

Repartizarea neuniformă a presiunii pe talpa fundației prin executarea construcției în trepte sau prin încărcarea cu sarcină utilă a construcției în mod neuniform - cazul silozurilor agricole;

Forma, dimensiunile și rigiditatea fundației construcțiilor;

Vibrații produse asupra fundațiilor datorită unor utilaje, mașini sau a unor transporturi intensive.

Cu toate că multe din cauzele speciale au un caracter de impreviziune și o probabilitate mică de a se manifesta, este necesar să fie luate în considerare la proiectarea construcțiilor importante, urmărindu-se un grad maxim de siguranță în exploatare. Este cazul barajelor, podurilor, viaductelor, tunelurilor, construcțiilor civile și industriale, turnurilor înalte, a căror importanță economică și socială mare justifică soluții tehnice realizate cu un grad mare de siguranță.

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

Tabelul 1.1 – Valori orientative ale deplasărilor sau deformațiilor admise pentru construcții [83]

Tipul construcției		Deplasări sau deformații admisibile ale fundațiilor			
		Deformații		Deplasări (tasări)	
		Tipul deformației	Valoare admisă (%)	Tipul deplasării	Val. adm. (cm)
1	Construcții civile și industriale cu structura de rezistență în cadre a) Cadre din beton armat fără umplutură de zidărie sau panouri	Tasare relativă	0,002	tasare absolută maximă, s_{max}	8
	b) Cadre metalice fără umplutură de zidărie sau panouri	Tasare relativă	0,004	tasare absolută maximă, s_{max}	12
	c) Cadre din beton armat cu umplutură de zidărie	Tasare relativă	0,001	tasare absolută maximă, s_{max}	8
	d) Cadre metalice cu umplutură de zidărie sau panouri	Tasare relativă	0,002	tasare absolută maximă, s_{max}	12
2	Construcții în structura cărora nu apar eforturi suplimentare datorită tasărilor neuniforme.	Tasare relativă	0,006	tasare absolută maximă, s_{max}	15
3	Construcții multietajate cu ziduri portante din: a) panouri mari	Încovoiere relativă	0,0007	tasare medie, s_m	10
	b) zidărie din blocuri sau cărămidă, fără armare	Încovoiere relativă	0,001	tasare medie, s_m	10

1.2 – Cauzele producerii tasărilor și deformațiilor construcțiilor 15

	c) zidărie din blocuri sau cărămidă armată sau cu centuri armate	Încovoiere relativă	0,0012	tasare medie, sm	15
	d) independent de materialul zidurilor	Înclinare transversală $tg\theta_{tr}$	0,005	-	-
4	Construcții înalte, rigide Silozuri din beton armat: - turnul elevatoarelor și grupurilor de celule sunt turnate monolit și reazemă pe același radier continuu	Înclinarea longitudinal. sau transversală $tg\theta$	0,003	tasare medie, sm	40
	- turnul elevatoarelor și grupurile de celule sunt din beton armat prefabricat și reazemă pe același radier continuu	Înclinarea longitudinal. sau transversală $tg\theta$	0,003	tasare medie, sm	30
	- turnul elevatoarelor reazemat pe un radier independent	Înclinare transversală, $tg\theta_{tr}$	0,003	tasare medie, sm	25
		Înclinare longitudinal., $tg\theta_{tr}$	0,004	tasare medie, sm	25
	- grupuri de celule turnate monolit rezemat pe un radier independent	Înclinarea longitudinal. sau transversală $tg\theta$	0,004	tasare medie, sm	40
	- grupuri de celule din beton armat prefabricat rezemat pe un radier independent	Înclinarea longitudinal. sau transversală $tg\theta$	0,004	tasare medie, sm	30
	b) Coșuri de fum industriale cu înălțimea H:	înclinare, $tg\theta$	0,005	tasare medie, sm	40
	H < 100 m				
	$100 \leq H \leq 200$ m	înclinare, $tg\theta$	$\frac{1}{2H^2}$	tasare medie, sm	30
	$200 < H \leq 300$ m	înclinare, $tg\theta$	$\frac{1}{2H^2}$	tasare medie, sm	20
	H > 300 m	înclinare, $tg\theta$	$\frac{1}{2H^2}$	tasare medie, sm	10
	c) alte construcții înalte, rigide cu înălțime până la 100 m	înclinare, $tg\theta$	0,004	tasare medie, sm	20

Teza de doctorat pornește de la prezentarea stadiului actual al conceptelor, metodelor, instrumentelor topo-geodezice utilizate pentru urmărirea construcțiilor supuse deformațiilor, cu exprimarea valorilor obținute în urma măsurătorilor de teren efectuate și a concluziilor care s-au deprins în urma studiului efectuat.

Rezultatele ce se așteaptă în urma cercetării efectuate sunt:

- Urmărirea deformațiilor verticale ale obiectului cercetat;
- Urmărirea deformațiilor orizontale ale obiectului cercetat;
- Corelarea datelor obținute anterior prin metode clasice cu cele obținute prin metode moderne.

CAPITOLUL 2. TEHNICI ȘI TEHNOLOGII GEODEZICE PENTRU MONITORIZAREA CONSTRUCȚIILOR

2.1. Aparate utilizate de-a lungul timpului pentru urmărirea comportării construcțiilor speciale

2.1.1. Teodolitul

Teodolitul (Fig. 2.1.) (engl. the „alhidade”, din arabă: „al idhâdah” = „arată / semicerc”) este un instrument de măsurare a unghiurilor orizontale (față de zenit) și verticale (față de orizont) , fiind utilizat în lucrările de determinare a rețelelor geodezice de triangulație, de îndesire a acestor rețele, în trasarea pe teren a proiectelor și la urmărirea comportării construcțiilor, adică în cadrul ridicărilor geodezice și ale topografiei inginerești.

Clasificarea teodolitelor

După vechime:

- teodolite clasice cu cercuri gradate din metal cu piesele componente la vedere, lecturile pe cercurile gradate realizându-se cu dispozitive mecanice, precum vernierul;
- teodolite moderne realizate pe același principiu constructiv, dar cu perfecționări în ceea ce privește partea mecanică și optică, cercurile gradate sunt realizate din sticlă iar lecturile se realizează cu dispozitive micrometrice;
- teodolitele moderne care au un grad mare de automatizare, având incorporat un microprocesor, un afișaj, mini-tastatură, memorii precum și interfață cu calculatorul.

După principiul constructiv:

- clasice;
- electronice

După precizie:

- teodolite de precizie slabă; (Theo 020)
- teodolite de precizie medie (folosite pe șantier);
- teodolite de precizie și înaltă precizie — (Theo 010)
- teodolite astronomice

După gradul de libertate al cercului gradat orizontal:

- simple - se poate deplasa numai alidada;
- repetitoare - limbul se poate deplasa simultan cu alidada;
- reiteratoare - limbul se poate deplasa independent de alidadă. [30]

2.1.2. Tahimetrul

Tahimetria este acea parte a topografiei care se ocupă cu efectuarea ridicărilor tahimetrice. Ele reprezintă ridicări topografice complete, adică planimetrice și nivelitice (altimetrice) în același timp. Ridicările tahimetrice se

folosesc în cazul suprafețelor de teren cu relief variat și frământat, asigurând un randament ridicat măsurărilor (Fig. 2.2.).

2.1.3. Nivelă

Nivelă (Fig. 2.3.) este un instrument optic sau electronic de mare precizie folosit la măsurarea unghiurilor orizontale și a distanțelor prin citirea pe mire sau prin decodarea unui semnal reflectat de o baliză electronică, radio sau laser, folosit în efectuarea măsurărilor topografice sau trasarea cotelor din planul topografic în teren. 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 2 puncte.

Principiul de bază al ridicărilor de nivelment îl constituie modul de determinare al diferențelor de nivel între puncte.

2.1.3.1. Nivelă automată

Pentru execuția rețelelor de nivelment geometric de înaltă precizie și a măsurării unor deformații ale diferitelor construcții, s-au realizat, o serie nouă de instrumente, și anume, nivelele digitale. În acest scop s-a implementat în nivelă un detector electronic integrat, iar mira clasică de nivelment a fost înlocuită cu alta, care poartă o riglă codificată (cod de bare).

Nivelele automate oferă un randament de lucru foarte ridicat pe teren, în prisma faptului că permit înregistrarea automată a citirilor și realizarea unor controale și calcule intermediare, pe teren. De asemenea oferă posibilitatea înregistrării automate a tuturor măsurărilor, efectuate în memoria internă a aparatului, sub forma unor linii de informații.

Nivelele automate au o comportare excelentă la lucru în medii dure, ele fiind foarte rezistente la șocuri și ideale pentru lucru în medii caracterizate de vibrații. **Ele oferă posibilitatea de a lucra în câmpuri magnetice,** datorită compensatorului utilizat.

Aceste nivele sunt folosite în realizarea rețelelor de nivelment geometric de ordinul III sau IV precum și în realizarea diverselor lucrări din domeniul construcțiilor inginerești.

Nivelmentul este partea topografiei care se ocupă cu studiul metodelor de determinare a diferențelor de nivel între puncte, precum și a poziției pe verticală a punctelor de pe suprafața topografică, față de o suprafață de referință. Pe această bază se efectuează reprezentarea reliefului și terenului pe planuri și hărți topografice. [55]

Nivelmentul are mai multe aplicații, printre care se pot aminti:

- ✓ trasarea liniilor de pantă
 - ✓ trasarea cotelor
 - ✓ deplasarea pe verticală a unei construcții
 - ✓ proiectarea rețelelor de nivelment geometric pentru determinarea tasărilor
- Principalele tipuri de nivelment sunt:
- ✓ nivelmentul geometric (direct)
 - ✓ nivelmentul trigonometric (indirect)



Fig. 2.1 Teodolitul



Fig. 2.2 Tahimetrul



Fig. 2.3 Nivelă clasică



Fig. 2.4. Nivelă automată

2.1.4. Stația totală

Stațiile totale reprezintă o generație nouă de aparate care cuprind realizări de vârf ale mecanicii fine, ale electronicii și ale opticii. Concepția constructivă a unei stații totale reunește în cadrul unei singure unități portabile, de dimensiunile și aspectul unui teodolit obișnuit, componentele necesare măsurării cu ajutorul undelor electromagnetice a următoarelor elemente:

- unghiuri orizontale și verticale
- distanțe înclinate și/sau distanțe reduse la orizont
- coordonate rectangulare relative
- diferențe de nivel

Utilizarea stațiilor totale în măsurătorile topo – geodezice asigură obținerea datelor de teren în formă digitală și automatizarea procesului de prelucrare, arhivare și editare a bazelor de date.



Fig. 2.5. Stație totală

Stațiile totale au o varietate de aplicații. Cu ajutorul lor se pot efectua măsurători referitoare la:

- ✓ Trasări
 - de unghiuri orizontale
 - de distanțe
 - de cote
 - de linii de pantă
 - de construcții
- ✓ Profile
- ✓ Relevee
- ✓ Determinări de înălțimi

2.2 Metode moderne folosite în măsurarea și urmărirea deplasărilor construcțiilor speciale

Apariția tehnologiilor geodezice spațiale a făcut posibilă monitorizarea permanentă a comportării unor obiective deosebite (poduri suspendate, centrale nucleare), obținându-se în orice moment raporturi privitoare la fenomenele care influențează stabilitatea de ansamblu a structurii. Pe baza tehnologiilor moderne s-au dezvoltat concomitent și modalitățile grafice de reprezentare a rezultatelor obținute.

2.2.1. Metoda fotogrametrică

Ridicările fotogrametrice se deosebesc esențial de celelalte ridicări, atât ca aparatură, cât și ca metodă de lucru și în bună măsură chiar ca rezultate.

La baza ridicărilor fotogrametrice stau fotografiile, care pot fi prelucrate una câte una sau două câte două. În primul caz se obțin rezultate numai în plan, adică în sistem bidimensional (X, Y), când produsul cel mai obișnuit este planul

fotogrametric, adică un plan care redă imaginea terenului sub aspect fotografic. Dacă exploatarea fotogramelor se face două câte două, terenul este văzut în relief și atunci, prin cote și linii de nivel, se poate reda nu numai planimetria ci și altimetria. Planul astfel obținut este un plan grafic restituit, de aspect foarte asemănător cu planurile care se obțin prin metode topografice. [19]

Pentru ca planurile fotogrametrice să fie exacte, este necesar ca fotografiile să îndeplinească anumite condiții: să fie clare, să fie luminoase și să fie perspective centrale de caracteristici perfect cunoscute.

Ridicările fotogrametrice sunt superioare ridicărilor topografice și prin aceea că redau terenul sub aspectul lui natural și că asigură redarea mai multor elemente. Dezvoltându-se legăturile fotogrametriei cu anumite discipline, s-a ajuns la ramuri ale fotogrametriei, precum: fotogrametria forestieră, fotogrametria minieră, fotogrametria în arhitectură etc.

Fotogrametria are o deosebită importanță în domeniul măsurării comportării deformațiilor construcțiilor, cu avantajul că fixează cu precizie deformațiile constante și cele temporare care au loc sub acțiunea solicitărilor statice și dinamice și pot fi aplicate în diferite scopuri tehnico – inginerești.



Fig. 2.6. Ortofotoplan

2.2.2. Tehnologia GPS (Global Positioning System)

Principiul de funcționare al GPS-ului este folosirea câtorva sateliți din spațiu ca puncte de referință pentru localizarea la sol. Sistemul NAVSTAR dispune la ora actuală în total de 24 sateliți, care se afla la o înălțime de 20.183 km de suprafața Pământului. Printr-o măsurare foarte exactă a distanței în linie dreaptă dintre receptor și cel puțin 4 sateliți vizibili se poate determina poziția oricărui punct de pe Pământ (latitudine, longitudine, altitudine). În mod normal, pentru determinarea poziției 3D a unui punct de pe suprafața terestră cu ajutorul sateliților ar fi nevoie de doar trei distanțe (trei sateliți), deoarece metoda care se utilizează este cea a triangulației. Totuși, este nevoie și de a patra distanță, pentru minimizarea erorilor de poziționare datorate ceasurilor receptoarelor, care nu sunt suficient de exacte în comparație cu ceasurile atomice ale sateliților utilizați. Distanța dintre satelit și receptor se calculează prin cronometrarea timpului de care are nevoie semnalul radio să ajungă de la satelit la receptor. Știind că semnalul radio se deplasează cu 300.000 km/s (viteza luminii), dacă se cronometrează timpul lui de propagare de la

22 Tehnici și tehnologii geodezice pentru monitorizarea construcțiilor - 2

satelit la receptor se poate deduce distanța dintre aceștia. Fiecare satelit are semnalul propriu (*Pseudo Random Code*), astfel încât receptorul știe exact despre ce sateliți este vorba. [40]

Recepționarea semnalelor emise de sateliți și calculul poziției se poate face în două moduri: modul absolut și modul diferențial.

- Modul absolut folosește un singur receptor GPS, iar precizia de poziționare este de circa 10-15 m.
- Modul diferențial presupune folosirea a două receptoare, dintre care unul are rolul de stație de bază, fiind instalat într-un punct fix cu coordonate cunoscute. Se măsoară diferența dintre coordonatele punctului cunoscut și cele rezultate pentru același punct din analiza semnalelor GPS. Aceste diferențe se folosesc pentru corectarea coordonatelor determinate cu un receptor mobil în alte puncte din zona respectivă. Acest mod de lucru este foarte precis (1-5 cm), dar distanța dintre receptorul mobil și stația de bază fixă nu are voie să depășească 30 km.

În lucrările de construcții GPS-ul este folosit la crearea rețelelor de urmărire și la monitorizarea obiectivelor de interes (Fig. 2.7.).

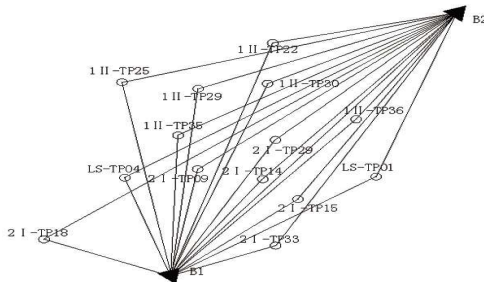


Fig. 2.7. Rețea de urmărire cu ajutorul GPS



Fig. 2.8. Stație de monitorizare GPS situată pe un baraj

2.2.3. Metode electrice

În ultimul timp s-a impus instalarea de dispozitive permanente de măsurare pe o perioadă lungă de timp, care înregistrează automat deformațiile într-o epocă și pe parcursul timpului între epocile de măsurare.

Practic, aceste dispozitive oferă o quasidescriere continuă a mărimilor măsurate.

Cu ajutorul acestor dispozitive sunt determinate, în afara mărimilor specifice domeniului deformațiilor și mărimi geometrice:

- distanțe
- unghiuri
- diferențe de nivel
- înclinări etc.

Aceste mărimi trebuie mai întâi transformate în semnale electrice și apoi prin intermediul unor dispozitive automate, se prelucrează, se transportă și se înregistrează.

Pentru transformarea semnalelor electrice se utilizează diferite legi ale fizicii:

- transformarea inductivă a semnalului

- transformarea capacitivă
- transformarea fotoelectrică
- transformarea ohmică
- transformarea piezoelectrică și piezorezistivă

Pornind de la aceste principii, se poate schița paleta largă de dispozitive de măsurare a diverselor mărimi geometrice, care se pot construi într-un sistem de măsurare.

2.2.3.1 Tehnica senzorilor [13]

Un senzor este un detector (un element electric) care transformă mărimi neelectrice:

- fizice (alungiri, dilatări, temperaturi, diferențe de presiune etc.)
- chimice (combinații de gaze și lichide),

în mărimi electrice măsurabile (deplasarea în impulsuri electrice).

Prin conexiunea între senzori și circuite microelectronice, la pregătirea semnalului rezultă o nouă calitate a dispozitivului de măsurare.

Trebuie sesizată deosebirea între:

- element senzor, ca modul de transformare a unei mărimi neelectrice într-o mărime electrică
- sistem senzor, care se compune din elemente senzor conexe cu unități de prelucrare microelectronice
- tehnica senzorilor, ca totalitate a unităților Hardware și Software de prelucrare pentru descrierea uneia sau a mai multor combinații de mărimi măsurate prin semnale automate

Actualmente există o largă gamă de oferte de senzori care se bazează pe principiile de funcționare menționate mai sus și care sunt utilizați la sistemele de măsurare inginerești. Dintre aceștia, pot fi amintiți:

- senzori de elongații
- senzori de înclinări
- senzori de temperatură
- senzori de presiuni
- senzori optoelectronici

Construcția acestor senzori se bazează pe diverse materiale și tehnologii: tehnica semiconductorilor, conductori plastici sau optici.

Pornind de la descrierea principiului de funcționare a diverselor dispozitive de transformare a semnalelor care intervin în tehnica măsurătorilor, de cele mai multe ori, acestea sunt găsite în literatura de specialitate sub denumirea de traductori de deplasări sau dispozitiv înregistrator de deplasări. Adaptarea acestora la problemele puse de tehnica măsurătorilor se poate face prin accesorii constructive și circuite tehnice. În multe cazuri, această adaptare se face prin rigle, fire, orizontalitatea unor lichide, transmitere prin pârghii sau pinioane, presiunea asupra unui arc, servomotoare etc.

Împreună cu aceste componente se poate construi un sistem de măsurare, pe care îl putem denumi traductor, înregistrator de valori măsurate sau senzor. Cu utilizări tipice în domeniul tehnicii măsurătorilor sunt de menționat următorii senzori:

- benzi de măsurare a întinderilor
- traductori inductivi
- traductori capacitivi

- traductori cu coardă oscilantă
- nivele electronice (senzor pentru înclinări)
- senzori optoelectronici

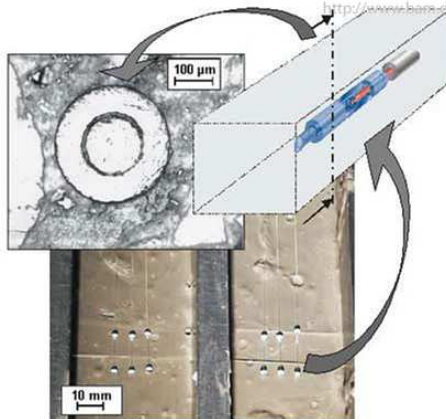


Fig. 2.9. Traductor (senzor) de urmărire în timp a deformațiilor

Ca reprezentanți ai acestei categorii de măsurători se pot enumera:

- extensometrul cu bară metalică
- extensometrul cu fir invar
- extensometrul mobil de foraj (utilizat la tunele)
- deflectometrul
- sistem de măsurători hidrostatice
- înclinometre
 - o sistemul Talyvel
 - o sistemul Niveltronic
- nivelele electronice.

Obiectivele ce se urmăresc în prezent cu ajutorul tehnologiei senzorilor sunt următoarele:

- baraje
- tuneluri
- clădiri
- poduri

2.2.3.2. Utilizarea senzorilor cu fibră optică în urmărirea deformațiilor construcțiilor hidrotehnice

Senzorii cu fibră optică posedă numeroase proprietăți optice date de lumina care traversează fibra optică, acestea putând fi modificate de unele acțiuni cum ar fi: presiunea, efortul sau temperatura care acționează asupra fibrei.

După distribuția în spațiu a măsurătorii, senzorii cu fibră optică se pot clasifica astfel:

- senzori singulari (punctuali): măsurătoarea este realizată în spațiu într-un singur punct;
- senzori de integrare: măsoară valoarea medie a parametrului fizic urmărit într-un spațiu bine determinat și furnizează o singură valoare;

- senzori quasi-distribuiți sau multiplexați: măsurătorile sunt realizate într-un număr fix discret de puncte în lungul unui cablu de fibră optică;
- senzori distribuiți: parametrul urmărit este măsurat cu anumită rezoluție spațială în orice punct din lungul unui cablu de fibră optică.

Principalele avantaje ale senzorilor cu fibră optică:

- sunt complet pasivi;
- pot măsura un domeniu larg de parametri fizici și chimici;
- prezintă potențial pentru măsurători cu caracteristici foarte bune;
- izolație electrică completă împotriva descărcării electrice;
- pot fi operați de la distanțe foarte mari, de ordinul "km".

2.2.4. Metoda scanării laser

Pentru multe lucrări de topografie, scannerele laser 3D s-au dovedit a reduce durata de lucru pe teren și costurile, comparativ cu metodele tradiționale.

Tehnologia scanării laser se numără printre cele mai recente metode de colectare a geodatelor. Are aplicabilitate mai ales în domeniile în care se folosesc date 3D cu precizie ridicată.

Principiul scanării laser este următorul: se trimite un fascicul laser care măsoară distanța de la sursă la suprafața sau obiectul cercetat. În același timp, se înregistrează și direcția. Prin evaluarea parametrilor se obțin informații despre un anumit obiect de pe suprafața terestră. Dispozitivul laser poate fi amplasat static, pe pământ (scanare laser terestră) sau într-un aparat de zbor (scanare laser aeriană). Pentru aplicații speciale, scanerele laser pot fi amplasate într-un vehicul.

Produsul principal al scanării laser este un set de coordonate 3D ale punctelor reflectate - "nor de puncte". Cu ajutorul procedurilor automate, semi-automate și manuale, aceste puncte sunt clasificate prin procesări ulterioare. În unele cazuri, poate fi folosită informația intensității reflexiei, eventual culoarea reală a fiecărei reflexii (în cazul achizițiilor simultane a imaginilor digitale ale obiectelor este posibilă colorarea "norului" cu ajutorul acestor fotografii). Rezultatul final al prelucrării datelor scanate laser, poate fi, spre exemplu, un model foarte detaliat al terenului sau al suprafeței sub forma unui model de triangulație sau un model vector 3D general. [36]

În cazul șantierelor, scannerele laser se folosesc pentru ridicări de locații din șantier, de la cele mai mici până la cele de ordinul sutelor de hectare, reducând costul și numărul de vizite la locația șantierului. Clădirile și structurile, atât cele mici cât și cele mari, pot fi scanate la exterior și interior. Pot fi adăugate fotografii pentru un realism mai mare.



Fig. 2.10. Laser scanner

CAPITOLUL 3. METODELE TOPO-GEODEZICE PENTRU STUDIUL ȘI URMĂRIREA DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR

3.1. Metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor orizontale ale construcțiilor

3.1.1. Metoda microtriangulației

Se folosește la determinarea vectorului deplasării orizontale a punctelor de control fixate pe construcția luată în studiu, în raport cu un sistem de referință constituit din puncte fixate în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției, formând astfel rețeaua punctelor de triangulație. [18]

Metoda microtriangulației este folosită la urmărirea comportării în timp a construcțiilor masive (baraje, ecluze, viaducte, poduri), ca și a terenurilor din jurul acestora. Construcția rețelei de microtriangulație se realizează cu precizie foarte mare.

Determinarea vectorului deplasării orizontale a construcției necesită efectuarea măsurătorilor repetate (ciclice) ale rețelei de microtriangulație, cu aceeași precizie cu care a fost construită inițial. Calculele de compensare trebuie executate riguros, prin metoda celor mai mici pătrate, cu scopul de a se obține valorile cele mai probabile ale coordonatelor punctelor rețelei, avându-se posibilitatea aprecierii preciziei rezultatelor compensării, deci și a preciziei de determinare a vectorului deplasării orizontale a punctelor de control, de pe construcția studiată.

În componența rețelei de microtriangulație se regăsesc următoarele categorii de puncte:

- Puncte de control, numite și mărci de tasare ce sunt fixate pe construcția ce urmează a fi observată. Aceste puncte au rolul de a evidenția cu exactitate mărimile și direcțiile deplasărilor. Semnalizarea lor se face cu mărci speciale de diferite forme, confecționate din bronz cromat spre a rezista la coroziune. Cercetările au arătat că cele mai bune sunt semnalele sub formă de disc, diametrul cercului reprezentând 1:20 din distanța medie de la punctul fix de determinat.
- Puncte de stație, din care se fac observații repetate spre punctele de control de pe construcție. Aceste puncte sunt marcate prin pilaștri de beton armat, cu fundație adâncă, având la partea superioară piese speciale de centrare și prindere a instrumentului. Amplasarea lor se face în apropierea construcției, la maximum 300...500 m, numărul lor fiind de cel puțin două. La partea superioară a pilastrului se fixează o placă de oțel în mijlocul căreia se află dispus un reper cu filet ce înlocuiește șurubul pompă, pentru o mai bună centrare a teodolitului și a semnalelor de vizare pe punctele de stație.

- Punctele de referință de la care se determină eventualele schimbări în poziția punctelor de stație sunt amplasate în terenuri stabile și la distanțe de 200...300 m de construcția observată, în scopul eliminării oricărei influență a acesteia asupra lor.
- Punctele de orientare sunt amplasate la distanțe mai mari, în terenuri care prezintă un grad ridicat în privința stabilității, indicate în studiile geotehnice.

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

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

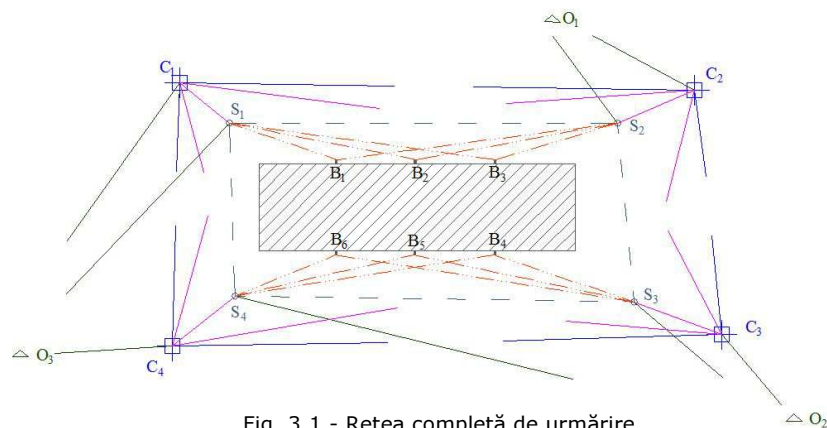


Fig. 3.1 - Rețea completă de urmărire

]

$B_1, B_2 \dots B_n$ – repere fixate pe obiectiv
 $S_1, S_2 \dots S_n$ – stații de observație
 $C_1, C_2 \dots C_n$ – puncte de control
 $O_1, O_2 \dots O_n$ – puncte de orientare

- *rețea incompletă*, când nu sunt asigurate vizele reciproce între punctele de stație și punctele de referință (Fig. 3.2);

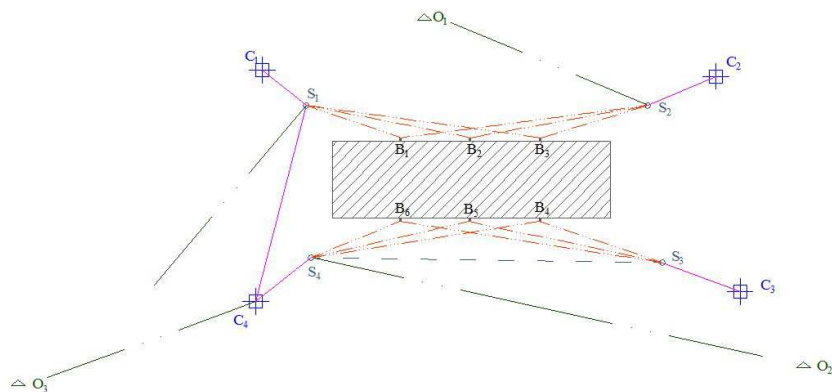


Fig. 3.2 - Rețea incompletă de urmărire

- *rețea simplă*, compusă din puncte de stație și puncte de referință (Fig. 3.3).

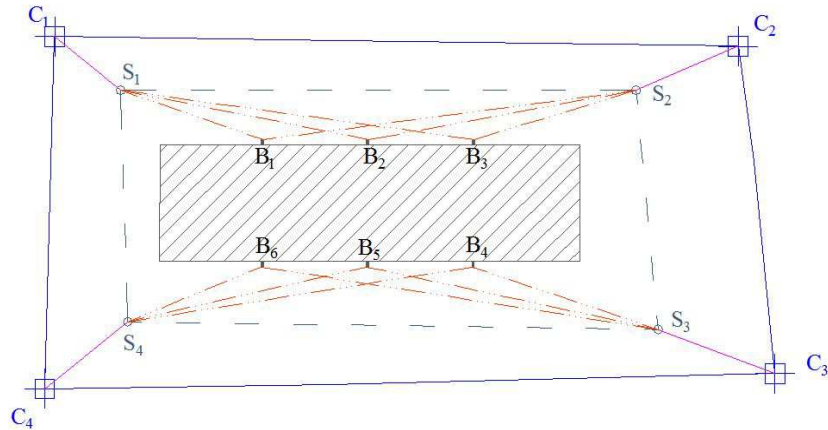


Fig. 3.3 - Rețea simplă de urmărire

La realizarea rețelei de microtriangulație se urmărește obținerea unei bune conformații a figurilor geometrice componente, în vederea obținerii unei precizii antecalculată care să satisfacă pe deplin cerințele impuse. Se alege un sistem rectangular de axe care să coincidă cu axele principale ale construcției observate. De exemplu, în cazul urmăririi unui baraj sau a unei lucrări de artă (pod, viaduct), deformațiile rezultate pe axa Y , paralelă cu axa obiectivului, sunt mai mici decât cele pe verticală, adică după axa Z (Fig. 3.4).

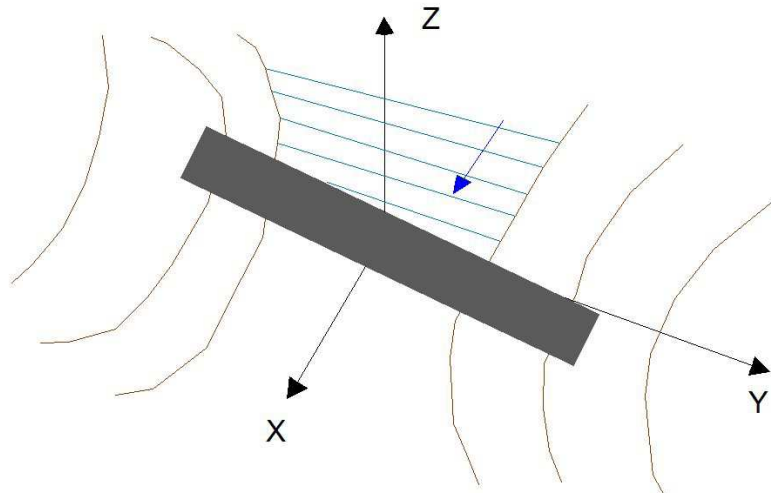


Fig. 3.4 – Alegerea sistemului de referință pentru urmărirea unui baraj

Observațiile în punctele rețelei de triangulație se execută cu precizie corespunzătoare rețelei de ordinul I (1 punct/500km²), II (1 punct/150km²), uneori chiar III (1 punct/50km²), prin metoda seriilor complete (reiterațiilor) sau metoda Schreiber. În timpul măsurătorilor se iau toate măsurile pentru a se elimina complet influența erorilor sistematice și pentru a reduce la minimum erorile aleatoare. [29]

La calculul deplasărilor orizontale ale construcției, unghiurile, orientările și coordonatele punctelor din ciclul inițial de măsurători devin, după compensare, elemente de referință. Față de acestea se raportează toate elementele obținute în ciclurile următoare de observații.

Schimbările în poziția de control de pe construcția studiată, se determină prin metoda intersecției, pe cale trigonometrică, analitică sau prin metoda celor mai mici pătrate.

În fiecare ciclu de observații se verifică stabilitatea în poziția punctelor de stație; în cazul deplasării unora din ele, se va proceda la introducerea corecțiilor corespunzătoare.

Procesul determinării vectorului deplasării orizontale a punctelor de control de pe construcția studiată, cuprinde următoarele etape:

- etapa măsurătorilor unghiulare și liniare în locul experimentării - în laborator sau pe teren - în fiecare ciclu de observații și care cuprinde:
 - măsurarea direcțiilor orizontale din toate punctele de stație și a distanțelor;
 - compensarea direcțiilor orizontale măsurate în fiecare punct de stație prin metoda riguroasă a măsurătorilor indirecte sau, în cazul unor experimentări mai puțin precise, prin metoda empirică;
 - evaluarea preciziei măsurătorilor unghiulare și liniare;
 - cercetarea stabilității punctelor de stație și calculul modificărilor în direcțiile punctelor observate.
- etapa prelucrării măsurătorilor pentru calculul vectorului deplasării construcției și evaluarea preciziei, care cuprinde:
 - testarea stabilității punctelor fixe în raport cu care se efectuează măsurarea vectorului deplasării; dacă se constată că unele puncte fixe și-au modificat poziția se calculează mărimi la deplasările punctelor fixe, ca și direcțiile deplasărilor și se introduc corecțiile corespunzătoare;
 - calculul vectorului deplasării orizontale a punctelor de control de pe construcția studiată;
 - evaluarea preciziei de determinare a vectorului deplasării și stabilirea, pentru o probabilitate dată, a intervalelor și domeniilor de încredere în care se află;
 - întocmirea documentației tehnice. [40]

3.1.2. Metoda aliniamentelor

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

Aceasta presupune determinarea poziției planimetrice a unui șir de puncte de control dispuse pe un aliniament, a căror abatere de la linia ce unește punctele de capăt să nu fie mai mică de 3...4 cm.

În acest scop, în afara punctelor materializate pe construcția ce urmează a fi observată, se fixează punctele de bază ale aliniamentului, în locuri stabile și în

afara zonei de influență a construcției. În planul vertical al aliniamentului, în punctele caracteristice ale construcției, se fixează punctele de control. În aceste puncte se amplasează semnale sau mărci de vizare prin observarea cărora se determină valorile abaterilor față de aliniamente.

Metoda alinamentului este simplă, precisă și necesită un volum redus de lucrări de teren și de birou, aceasta permițând repetarea ei la intervale scurte de timp. Deplasarea orizontală a unui punct de control între două cicluri de observații va rezulta din diferența abaterilor punctului față de aliniament, măsurate în ciclul final și în ciclul inițial (deplasări totale) sau între ciclul actual și ciclul inițial (deplasări parțiale). [54]

Metodele optice de observare a aliniamentului sunt cele mai complete pentru lucrările de cercetare. Ele folosesc teodolite sau aliniametre, la care partea principală este luneta cu putere de mărire de 40...50 X și semnalele sau mărcile de vizare, fixe sau mobile.

Când condițiile terenului nu permit amplasarea punctelor de bază ale aliniamentului în terenuri nedeformabile, acestea se pot amplasa și în terenuri deformabile, pe construcție sau în interiorul construcției. În aceste cazuri, metoda aliniamentului se combină cu metoda microtriangulației, iar la determinarea abaterilor fiecărui punct de control față de aliniament și implicit a deplasărilor, se va ține seama și de deplasarea punctelor de bază ale aliniamentului.

Determinarea deplasărilor orizontale ale punctelor de control, de fapt a abaterilor față de aliniament, se face prin observarea unui singur aliniament pe toată lungimea lui, prin măsurarea unghiurilor paralactice, prin observarea aliniamentelor paralele suplimentare sau prin observarea aliniamentelor intersectate.

Indiferent de situație, determinarea abaterilor punctelor de control de pe construcția studiată, față de aliniament se poate executa prin metoda mărcii mobile, metoda măsurării unghiurilor paralactice sau prin metoda măsurării unghiurilor apropiate de 200^g.

3.1.2.1. Metoda observării aliniamentelor intersectate

Metoda aliniamentului unic se aplică în general la construcțiile care au în plan o configurație liniară dreaptă. Construirea barajelor de formă circulară, eliptică sau parabolică, fac imposibilă aplicarea metodei obișnuite a aliniamentului. [55]

Pentru simplificarea măsurării deplasărilor punctelor de control de pe coronamentul barajelor se poate utiliza metoda aliniamentelor intersectate.

Această metodă constă în alegerea unui aliniament (I), care trebuie să fie perpendicular pe direcția presiunii apei din bazin. La alegerea altor aliniamente este necesar a se menține unghiul dintre direcția presiunii apei și aliniamente în intervalul 100^g...150^g, unghiurile mai ascuțite ducând la creșterea lungimii aliniamentului și la scăderea preciziei (Fig. 3.5).

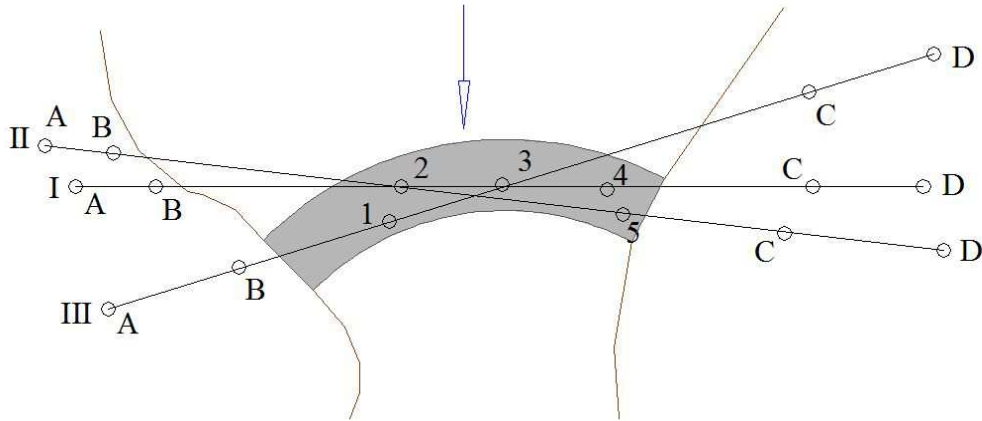


Fig. 3.5 – Metoda observării aliniamentelor intersectate

După fixarea punctelor de bază, se măsoară unghiurile dintre primul aliniament (I) și următoarele (II, III), ele rămânând constante pentru toate ciclurile de observații. Organizarea lucrărilor, metodica și precizia de măsurare rămâne aceeași ca în metoda aliniamentului unic. Pentru reducerea măsurătorilor de pe toate aliniamentele la aliniamentul de bază I, este necesar ca abaterile măsurate să fie înmulțite cu cosinusul unghiului dintre primul aliniament și al doilea, al treilea până la ultimul aliniament.

Pentru controlul stabilității punctelor de capăt este necesar ca pe fiecare mal aliniamentele să fie fixate cu câte două puncte de bază, dispuse la distanțe mai mari de 20 m unul de altul.

Instrumentul se așează în punctul de capăt B, după care se vizează punctele D, C și semnalele de vizare ale punctelor de control dispuse pe aliniamentul respectiv. Ulterior se mută instrumentul în punctul de capăt C și se vizează punctele A, B și punctele de control (Fig. 3.5).

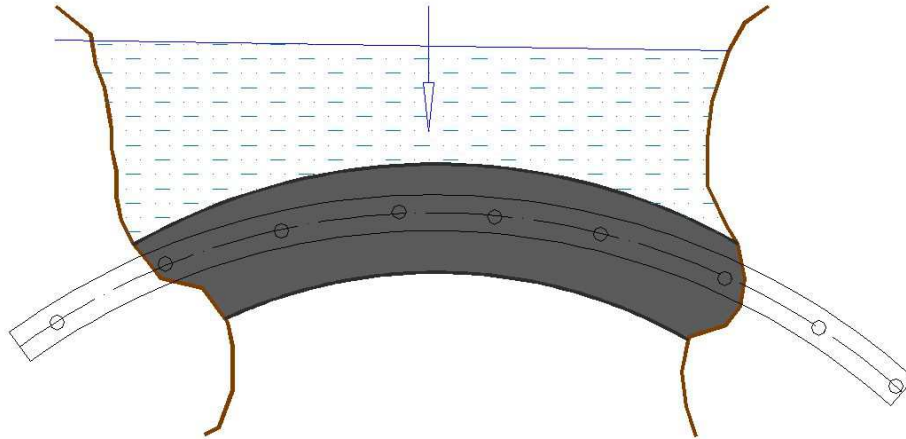
Această metodă prezintă o serie de avantaje fiind o metodă rentabilă din punct de vedere economic, reducând foarte mult timpul de staționare în teren, numărul membrilor echipei de lucru putând fi de 2 persoane. Totodată, metoda observării aliniamentelor intersectate, oferă o precizie cel puțin egală cu oricare metodă de determinare a deplasărilor orizontale a punctelor de control utilizând măsurarea aliniamentelor. [18]

3.1.3. Metoda poligonometrică

Metoda poligonometrică, care mai este cunoscută și sub denumirea de metoda drumirii planimetrice de precizie, se folosește la determinarea vectorului deplasării orizontale a construcțiilor curbate sau a construcțiilor de lungime mare de genul: barajelor în arc, tuneluri, galerii subterane, pasaje de nivel curbate.

Metoda se aplică atunci când prin microtriangulație sau metoda aliniamentului, se obțin erori de măsurare foarte mari sau aplicarea acestora în funcție de condițiile naturale este foarte dificilă.

Metoda drumuirii de precizie se poate folosi cu multă eficiență la determinarea alunecărilor de teren, unde deplasările produse sunt cu mult mai mari, iar precizia necesară este mai redusă decât în cazul studierii comportării



construcțiilor.

Fig. 3.6 – Determinarea deplasărilor orizontale prin metoda drumuirii planimetrice

Pentru exemplificarea metodei poligonometrice se consideră un baraj arcuit, pentru care se prezintă forma drumuirii planimetrice de precizie în raport cu care se efectuează determinarea vectorului deplasării orizontale (Fig. 3.6). Se alege un sistem rectangular de axe astfel ca punctele de sprijin B și C ale drumuirii să fie dispuse pe axa Y (Fig. 3.7). [55]

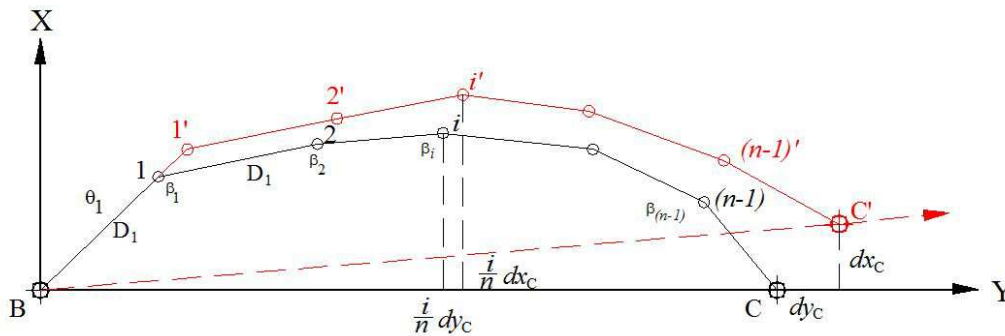


Fig. 3.7 – Traseul deplasat al drumuirii planimetrice de precizie

Metoda constă în măsurarea ciclică a unghiurilor orizontale și a laturilor drumuirii planimetrice. Componentele vectorului deplasării orizontale a unui punct de control i sunt date de diferențele coordonatelor rezultate din

compensarea măsurătorilor efectuate în ciclurile de observații, actual și inițial sau de referință:

$$\begin{aligned}\Delta X_i &= X_i^1 - X_i^0 \\ \Delta Y_i &= Y_i^1 - Y_i^0\end{aligned}\quad (3.1)$$

în care: X_i^0, Y_i^0 - coordonate rezultate în ciclul inițial;

X_i^1, Y_i^1 - coordonatele din ciclul actual.

Cunoscând aceste valori, pe baza componentelor se calculează vectorul deplasării orizontale și orientarea acestuia folosind următoarele relații:

$$\begin{aligned}L &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \\ \theta_L &= \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}\end{aligned}\quad (3.2)$$

Problema cea mai importantă constă în calculul apriori al preciziei de determinare a coordonatelor și deplasărilor tuturor punctelor și determinarea preciziei punctului de control central, care corespunde locului unde deplasarea construcției este maximă.

Erorile medii pătratice de determinare a coordonatelor oricărui punct de control al drumuirii planimetrice de precizie de formă curbă, pentru $m_{\beta_1} \approx m_{\beta_2} \approx \dots \approx m_{\beta_{n-1}} = m_{\beta}$ și $m_{D1} \approx m_{D2} \approx \dots \approx m_{Dn} = m_D$ sunt exprimate de relațiile următoare:

$$\begin{aligned}m_{X_i}^2 &= \pm \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left[\sum_{k=1}^{i-1} \left(\Delta Y_{i-k} - \frac{i}{n} \Delta Y_{B-k} \right)^2 + \left(\frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta Y_{B-k}^2 \right] + \\ &+ m_D^2 \left[\left(1 - \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^i \cos^2 \theta_k + \left(\frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=i+1}^n \cos^2 \theta_k \right]\end{aligned}\quad (3.3)$$

$$\begin{aligned}m_{Y_i}^2 &= \pm \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left[\sum_{k=1}^{i-1} \left(\Delta X_{i-k} - \frac{i}{n} \Delta X_{B-k} \right)^2 + \left(\frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta X_{B-k}^2 \right] + \\ &+ m_D^2 \left[\left(1 - \frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=1}^i \sin^2 \theta_k + \left(\frac{i}{n} \right)^2 \sum_{k=i+1}^n \sin^2 \theta_k \right]\end{aligned}\quad (3.4)$$

unde:

ρ = factorul de transformare în sistemul centezimal și are valoarea 636620^{cc}

n = numărul de puncte

Aceste relații permit, pe lângă calculul erorilor medii pătratice ale coordonatelor punctului de control i și calculul componentelor acestor erori datorită erorilor unghiulare și liniare de măsurare. Eroarea medie pătratică în poziția punctului de control i va fi:

$$m_i = \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2}\quad (3.5)$$

Deoarece componentele vectorului deplasării construcției sunt reprezentate explicit de coordonatele rectangulare rezultate din cele două cicluri de măsurători, erorile medii pătratice ale componentelor deplasării orizontale a construcției vor fi exprimate de relațiile următoare:

$$m_{\Delta X_i} = \pm \sqrt{m_{X_i^1}^2 + m_{X_i^0}^2}, m_{\Delta Y_i} = \pm \sqrt{m_{Y_i^1}^2 + m_{Y_i^0}^2} \quad (3.6)$$

În funcție de erorile de-a lungul axelor de coordonate, se calculează eroarea medie pătratică a vectorului deplasării orizontale a punctului de control i cu relația următoare:

$$m_{L_i} = \sqrt{m_{\Delta X_i}^2 + m_{\Delta Y_i}^2} \quad (3.7)$$

Pe baza analizării relațiilor definite, creșterea preciziei de determinare a deplasării orizontale a construcțiilor prin metoda drumuirii planimetrice de precizie, este posibilă numai prin creșterea preciziei de determinare a mărimilor unghiulare, erorile măsurătorilor liniare influențând într-o foarte mică măsură precizia. Precizia de măsurare a elementelor liniare este de 1:2000, fapt care conduce la nerepetarea măsurătorilor liniare în ciclurile ulterioare ciclului de referință. [6]

Influența fundamentală asupra determinării deplasărilor orizontale ale punctelor de control revine așadar variației unghiurilor orizontale. De aceea, în cadrul metodei de determinare a deplasării punctului de control, valorile obținute sunt direct influențate de diferențele unghiurilor orizontale (Fig. 3.8).

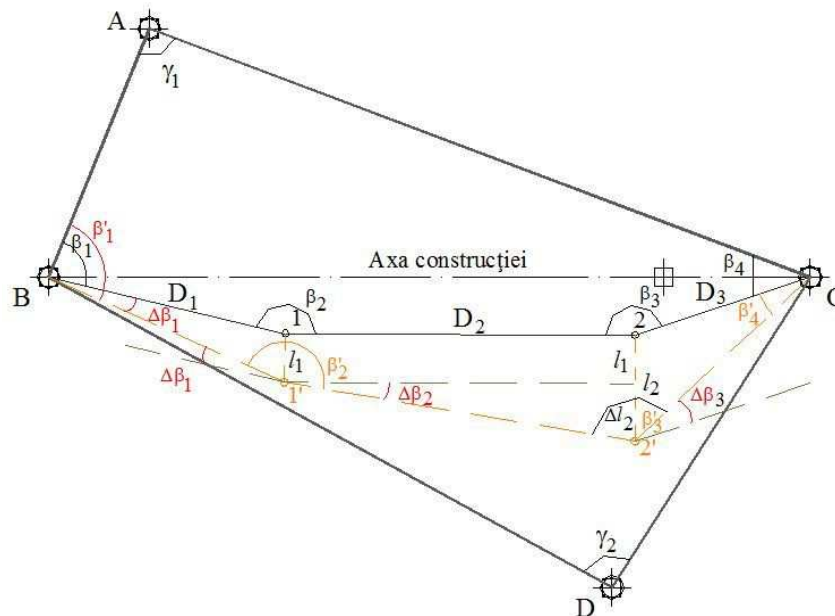


Fig. 3.8 – Deplasările orizontale ale punctelor de control

Punctele de control s-au deplasat din poziția inițială 1 și 2 (Fig. 3.8), în poziția actuală 1' și 2'. La modificările mici ale unghiurilor orizontale măsurate, lungimile laturilor, practic nu se schimbă, astfel încât ele se vor considera

constante în toate ciclurile de observații. Deplasările orizontale ale punctelor de control de pe construcția studiată vor fi exprimate de relațiile:

$$\begin{aligned}
 l_1 &= D_1 \frac{\Delta\beta_1^{cc}}{\rho^{cc}} \\
 l_2 &= l_1 + \Delta l_2 = l_1 + D_2 \frac{\Delta\beta_2^{cc}}{\rho^{cc}} \\
 &\dots\dots\dots \\
 l_n &= l_{n-1} + \Delta l_n = l_{n-1} + D_n \frac{\Delta\beta_n^{cc}}{\rho^{cc}}
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

unde:

D_i = distanțele dintre puncte de control

l_i = deplasările dintre puncte

β_i = unghiurile dintre punctele de control

ρ^{cc} = factorul de transformare în sistemul centezimal și are valoarea 636620^{cc}

Diferențele unghiulare sunt date de formulele:

$$\begin{aligned}
 \Delta\beta_1^{cc} &= (\beta'_1 - \beta_1) = \delta\beta_1^{cc} \\
 \Delta\beta_2^{cc} &= (\beta'_2 - \beta_2) + \Delta\beta_1^{cc} = \delta\beta_2^{cc} + \Delta\beta_1^{cc} \\
 &\dots\dots\dots \\
 \Delta\beta_n^{cc} &= (\beta'_n - \beta_n) + \Delta\beta_{n-1}^{cc} = \delta\beta_n^{cc} + \Delta\beta_{n-1}^{cc}
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

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

$$m_{l_n}^2 = m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2 + \dots + m_{l_{n-1}}^2 + \frac{m_{\Delta\beta}^2}{\rho^2} D_n^2 = \frac{2m_{\beta}^2}{\rho^2} (D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2)
 \tag{3.10}$$

În cazul în care s-au deplasat și punctele de sprijin ale drumirii, diferențele unghiulare trebuie corectate. Dacă punctul se sprijin s-a deplasat din poziția B în B' se determină componentele deplasării pe cele două axe, δx_B și δy_B . față de punctele fixe ale rețelei de microtriangulație. [30]

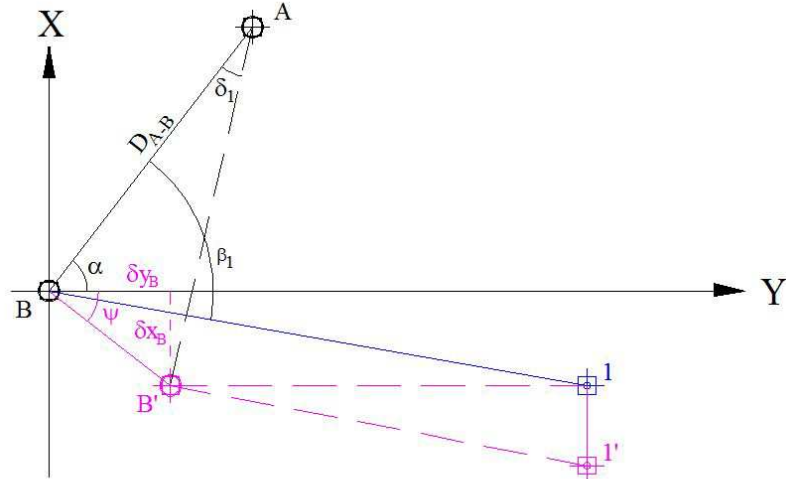


Fig. 3.9 – Deplasarea punctului B în poziția actuală B'

Folosind notațiile din figură se pot scrie relațiile:

$$l = \sqrt{\delta x_B^2 + \delta y_B^2} \sin \psi = \operatorname{arctg} \frac{\delta x_B}{\delta y_B} \quad (3.11)$$

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

$$\begin{aligned} h_A &= l \sin(\alpha + \psi) \\ h_1 &= l \sin[\psi - (\beta_1 - \alpha)] \end{aligned} \quad (3.12)$$

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

$$\begin{aligned} \delta_1^{cc} &= \rho^{cc} \frac{h_A}{D_{AB}} \\ \delta_2^{cc} &= \rho^{cc} \frac{h_1}{D_1} \end{aligned} \quad (3.13)$$

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

$$\beta'_1 = \beta + \delta_1^{cc} - \delta_2^{cc} + \Delta\beta_1^{cc} \quad (3.14)$$

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

$$\Delta\beta_1^{cc} = (\beta'_1 - \beta_1) + (\delta_2^{cc} - \delta_1^{cc}) \quad (3.15)$$

Indiferent de metoda de determinare a vectorilor deplasărilor și deformațiilor horizontale ale tuturor punctelor de control de pe construcția studiată, în final se întocmesc tabele, fișe și grafice. Pe baza datelor pe care le cuprind acestea se poate face o apreciere precisă asupra parametrilor ce caracterizează eforturile și deformațiile construcției supuse observației.

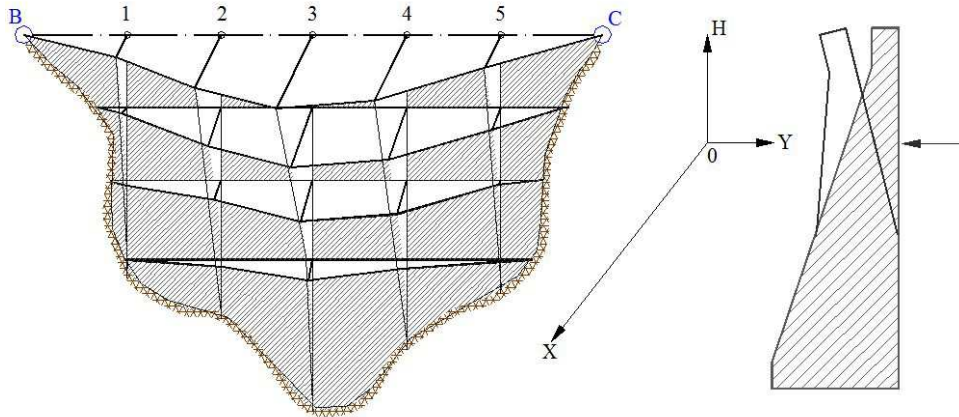


Fig. 3.10 – Graficul deplasării unui baraj de greutate

3.2. Metode topo-geodezice de măsurare a deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor

O importanță deosebită în analiza comportării construcțiilor, atât în timpul încercărilor pe modele sau la scară naturală, cât și după darea lor în folosință și exploatare o au datele privind deplasările pe verticală ale acestora. [39]

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

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**, mărci amplasate în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției. Punctele de control încastrate în construcție se deplasează împreună cu construcția și deci prin observații efectuate asupra lor, se pot stabili valorile deplasărilor verticale. [18]

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

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

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

Alegerea se face în funcție de natura și precizia cercetării efectuate.

3.2.1. Marcarea punctelor rețelelor de nivelment utilizate la urmărirea deformațiilor construcțiilor

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

3.2.2. Materializarea reperilor de control

Reperii de control se pot marca pe clădiri, pe stânci stabile sau pe pilaștri de beton construiți pe teren.

Dacă se dorește amplasarea acestora pe clădiri se ține cont de faptul că acestea trebuie să fie consolidate, să fie exploatate de cel puțin cinci ani și să nu fie expuse diferitelor influențe interioare sau exterioare (trepidații din cauza exploatării, terenuri inundabile). Din acest punct de vedere cel mai bine corespund clădirile publice, iar reperul se așează în apropierea colțurilor, unde stabilitatea acestora este normală. În literatura de specialitate se consideră că dacă asupra unei construcții nu intervin sarcini continue și crescânde, aceasta se poate considera după o perioadă de cinci ani de la darea ei în exploatare stabilizată.

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

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

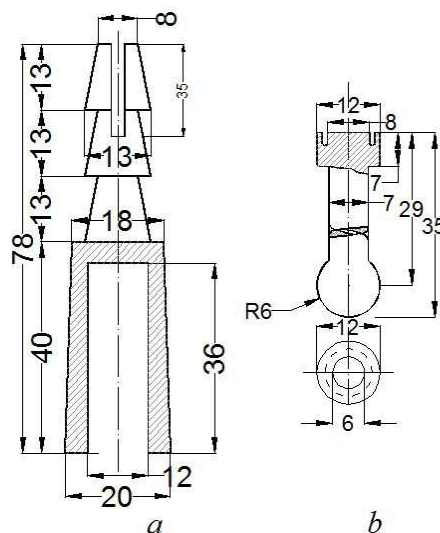


Fig. 3.11. Reperi de control I.N.C.E.R.C. montați pe construcții în România

a - Corpul mărcii sau reperului; b - Capac cu bulon sferic al mărcii sau reperului

Reperii de control fixați pe pământ sunt de două tipuri:

- reperi de suprafață;
- reperi de adâncime.

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

În figurile următoare sunt prezentate câteva tipuri de reperi de control de suprafață utilizați la studiul comportării construcțiilor în Germania, Cehia, Ungaria și România. [55]

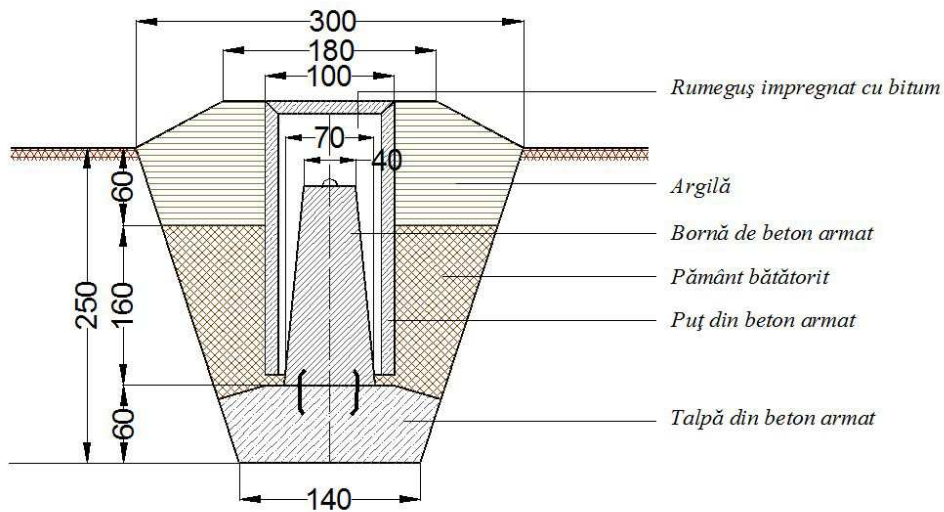


Fig. 3.12. Reperi de control de suprafață - Polonia

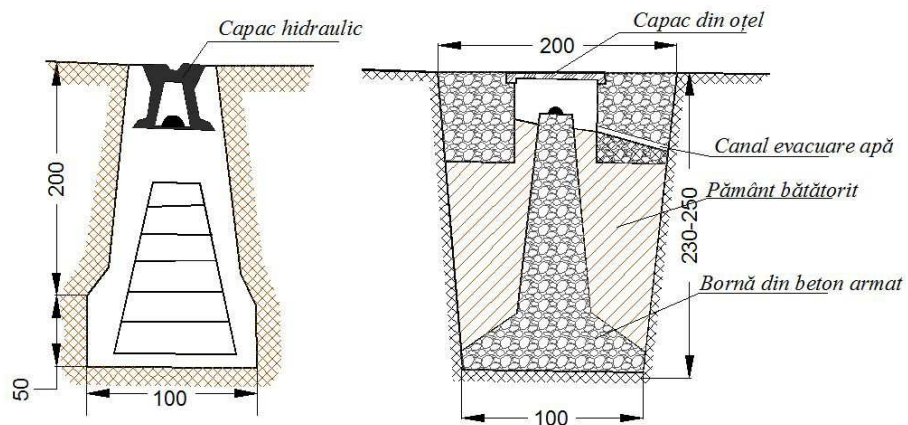


Fig. 3.13. Reperi de control de suprafață - Cehia, Ungaria

Dacă reperul nu este montat în rocă masivă ci pe pietriș sau pe un teren moale, talpa lui trebuie să se afle la o adâncime de cel puțin 2,50 m (adâncime care este variabilă în funcție și de adâncimea de îngheț specifică zonei respective). Borna de beton armat care poartă reperul (pastilă semisferică) pe care se așează mira sau prisma topografică, se protejează împotriva deplasărilor de teren prin intermediul puțului de beton armat prevăzut la partea superioară cu un capac metallic de protecție. [55]

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

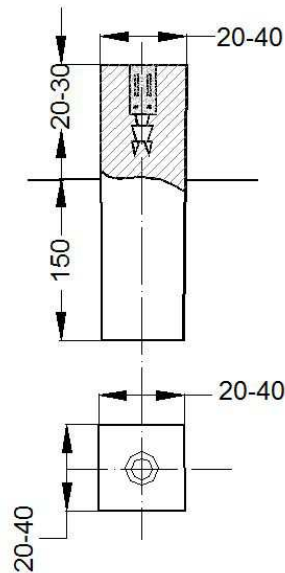


Fig. 3.14. Reperi de control de suprafață în România

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

În cazul pământurilor macroporice sau cu contracții mari, borna de beton va fi plantată la o adâncime de minim 2 m, iar în jurul bornei se va crea o movilă de pământ cu raza de 1-1,5 m pentru scurgerea apelor meteorice. [30]

Drept reperi de control se admit și reperii nivelmentului de precizie de stat de ordin superior, reperi de teren și reperi de zidărie. Reperul de teren se compune din două părți distincte:

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

Acești reperi se acoperă cu pământ pentru a fi protejați și numai când se așează mira pe ei se degajează de pământ, la finalizarea măsurătorilor aceștia acoperindu-se din nou pentru conservare. [18]

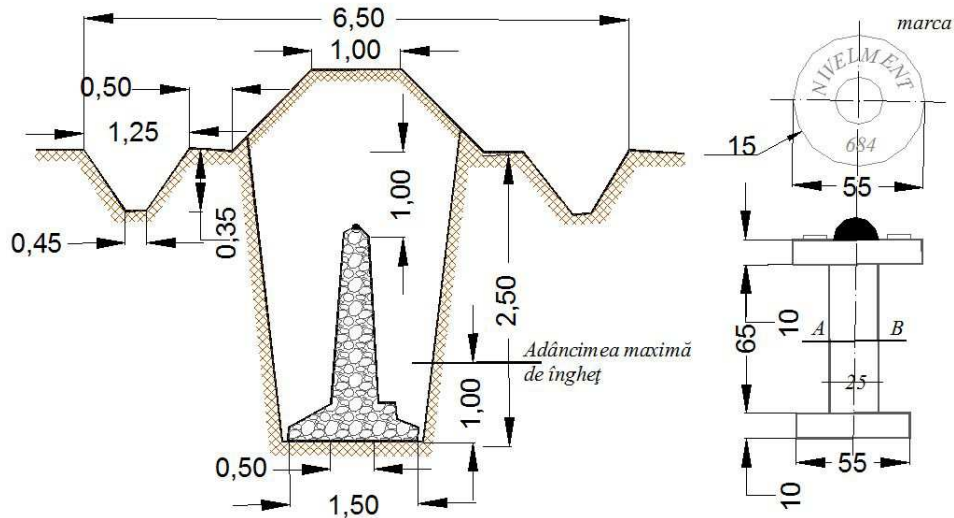


Fig. 3.15. Reperi de teren în România

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

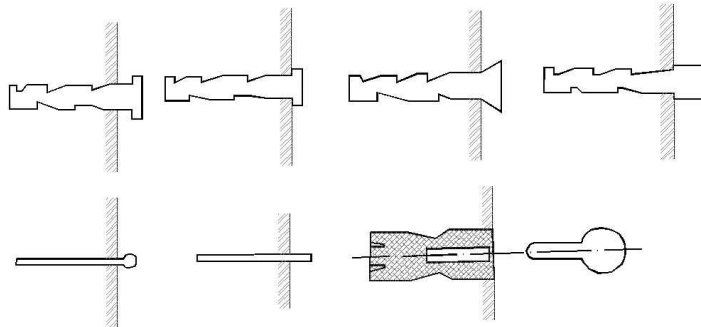


Fig. 3.16. Reperi de nivelment de zidărie în România

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

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

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

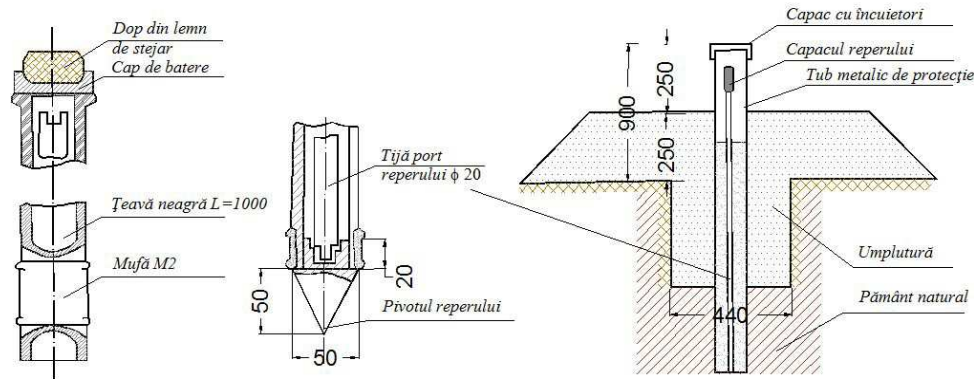


Figura 3.17 – Reper de adâncime INCERC – poziție de batere și poziție definitivă [40]

În contextul în care aspectul economic are o dimensiune importantă în țara noastră se propune eficientizarea creării reperilor de control, atât prin simplificarea modului de construcție a acestora cât și prin ușurința modului de punere în operă sau materializare pe teren.

3.2.3. Metoda nivelmentului geometric de înaltă precizie

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

- > mărci sau puncte de control, fixate pe construcția care este supusă cercetării, numite în cazul acestei metode și mărci de tasare sau reperi mobili;
- > reperi fiși, numiți și reperi de referință, amplasați în terenuri nedeformabile și în afara zonei de influență a construcției studiate. [13]

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

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

În afară de acestea se mai pot folosi și alte modalități de materializare a punctelor de control (mărci de tasare) cum ar fi: mărci gradate, reprezentate de

mire de invar suspendate sau rigle obișnuite cu diviziuni milimetrice, mărci bulon, mărci cui, mărci pastilă.

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, de sistematizarea terenului în jurul construcției studiate. Numărul reperilor ficși va fi de minim doi, dispuși astfel încât să acopere cât mai uniform zona înconjurătoare a construcției. Reperii ficși se pot clasifica în reperi de suprafață și reperi de adâncime. Reperii ficși de adâncime și în mai mică măsură cei de suprafață au rolul de a asigura stabilitatea planului orizontal de referință, față de care se determină deplasările verticale ale punctelor de control, încastrați pe construcție.

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

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. [16]

3.2.4. Metoda nivelmentului trigonometric de precizie

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

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

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

Principiul metodei nivelmentului trigonometric de precizie constă în determinarea cotelor punctelor de control după care, deplasările verticale se obțin din diferențele cotelor din ciclul actual și al corespondentelor din ciclul inițial. [14]

Măsurarea unghiurilor orizontale și verticale (zenitale) trebuie făcută cu teodolite 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 100 m, corecția totală datorită efectului de curbură a pământului și de refracție atmosferică este foarte mică. În cazul determinării deplasărilor verticale ale construcțiilor prin nivelment trigonometric de precizie, influența curburii pământului și refracției atmosferice se poate elimina aproape în întregime prin modul de lucru, respectiv prin diferența măsurărilor între două cicluri de observații.

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

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

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^n [S_i + (400^s - D_i)]}{2n} \quad (3.16)$$

Eroarea medie pătratică a unui unghi zenital măsurat este:

$$m_{z_i} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (3.17)$$

unde:

n = numărul de măsurători

$[vv]$ = suma pătratelor erorilor întâmplătoare

Eroarea medie pătratică a unui unghi zenital mediu este:

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = \pm \frac{m_{z_i}}{\sqrt{n}} \quad (3.18)$$

Datorită faptului că, în cazul distanțelor scurte, precizia de determinare a cotelor punctelor prin metoda nivelmentului trigonometric este ridicată, această metodă poate fi folosită cu rezultate bune în cazul unor studii pe modele, în special când măsurarea deplasărilor orizontale și verticale se face concomitent. Determinarea deplasărilor verticale din diferența cotelor punctelor obținute în ciclul actual și ciclul inițial presupune un volum de calcul important. [61]

Se consideră o bază fixă, față de punctele de capăt ale acesteia A și B (Fig. 3.18). Odată cu măsurarea elementelor necesare determinării deplasărilor orizontale se efectuează și măsurarea elementelor necesare determinării deplasărilor verticale ale punctului de pe construcția supusă observării.

$$H_1' = H_A' + h_1'; \quad (3.23)$$

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

$$\Delta H_1 = H_1' - H_1 = (H_A' - H_A) + (h_1' - h_1) = \Delta H_A + \Delta h_1 \quad (3.23)$$

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

$$\Delta H_2 = H_2' - H_2 = (H_B' - H_B) + (h_2' - h_2) = \Delta H_B + \Delta h_2 \quad (3.24)$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= H_A' - H_A = d_A (\operatorname{ctg} Z_A - \operatorname{ctg} Z_A') \\ \Delta H_B &= H_B' - H_B = d_B (\operatorname{ctg} Z_B - \operatorname{ctg} Z_B') \end{aligned} \quad (3.25)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_A &= \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} \\ \Delta H_B &= \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} \end{aligned} \quad (3.26)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= \Delta H_A + \Delta h_1 = \frac{d_A}{\rho^{cc} \sin^2 Z_A} \Delta Z_A^{cc} - \frac{b \sin \beta}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_1} \Delta Z_1^{cc} \\ \Delta H_2 &= \Delta H_B + \Delta h_2 = \frac{d_B}{\rho^{cc} \sin^2 Z_B} \Delta Z_B^{cc} - \frac{b \sin \alpha}{\rho^{cc} \sin(\alpha + \beta) \sin^2 Z_2} \Delta Z_2^{cc} \end{aligned} \quad (3.27)$$

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

$$\Delta H_I = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} \quad (3.28)$$

sau media ponderată a celor două valori:

$$\Delta H_I = \frac{p_1 \Delta H_1 + p_2 \Delta H_2}{p_1 + p_2} \quad (3.29)$$

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

$$p_1 = \frac{1}{m_{\Delta H_1}^2} \quad \text{și} \quad p_2 = \frac{1}{m_{\Delta H_2}^2} \quad (3.30)$$

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

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

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

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

$$m_{\Delta H_A}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial d_A} \right]^2 \cdot m_{d_A}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial Z_A} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_A)}{\partial(\Delta Z_A)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_A}}{\rho} \right)^2 \quad (3.31)$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial d_B} \right]^2 \cdot m_{d_B}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial Z_B} \right]^2 \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H_B)}{\partial(\Delta Z_B)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_B}}{\rho} \right)^2 \quad (3.32)$$

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

$$m_{\Delta H_A}^2 = \Delta H_A^2 \left(\frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + 4\Delta H_A^2 \text{ctg}^2 Z_A \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_A}{\Delta Z_A} \right)^2 m_{\Delta Z_A}^2 \quad (3.33)$$

$$m_{\Delta H_B}^2 = \Delta H_B^2 \left(\frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + 4\Delta H_B^2 \text{ctg}^2 Z_B \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_B}{\Delta Z_B} \right)^2 m_{\Delta Z_B}^2 \quad (3.34)$$

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:

$$\begin{aligned}
 m_{\Delta H_i}^2 = & \left(\frac{\Delta H_A}{2} \right)^2 \left(\frac{m_{d_A}}{d_A} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_B}{2} \right)^2 \left(\frac{m_{d_B}}{d_B} \right)^2 + (\Delta H_A \operatorname{ctg} Z_A)^2 \left(\frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \\
 & (\Delta H_B \operatorname{ctg} Z_B)^2 \left(\frac{m_{Z_B}}{\rho} \right)^2 + \frac{\Delta H_A^2}{2\Delta Z_A} m_{\Delta Z_A}^2 + \frac{\Delta H_B^2}{2\Delta Z_B} m_{\Delta Z_B}^2
 \end{aligned} \quad (3.35)$$

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

$$m_{\Delta H_i} = \left[\left(\Delta H \frac{m_d}{d} \right)^2 + \left(\sqrt{2} \Delta H \operatorname{ctg} Z_A \frac{m_{Z_A}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{\sqrt{2} \Delta Z_A} m_{\Delta Z_A} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.36)$$

Erorile medii pătratice ale deplasărilor verticale, mai precis ale diferențelor de nivel determinate din cele două puncte de stație, se exprimă cu relațiile (3.37):

$$\begin{aligned}
 m_{\Delta h_1}^2 = & \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial b} \right]^2 m_b^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial \alpha} \right]^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial \beta} \right)^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial Z_1^2} \right) \left(\frac{m_{Z_1}}{\rho} \right)^2 + \\
 & + \left[\frac{\partial(\Delta h_1)}{\partial(\Delta Z_1)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_1}}{\rho} \right)^2 \\
 m_{\Delta h_2}^2 = & \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial b} \right]^2 m_b^2 + \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial \alpha} \right]^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial \beta} \right)^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial Z_2^2} \right) \left(\frac{m_{Z_2}}{\rho} \right)^2 + \\
 & + \left[\frac{\partial(\Delta h_2)}{\partial(\Delta Z_2)} \right]^2 \left(\frac{m_{\Delta Z_2}}{\rho} \right)^2
 \end{aligned} \quad (3.37)$$

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

$$\begin{aligned}
m_{\Delta h_1}^2 &= \Delta h_1^2 \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_1^2 \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \left(\frac{m_\alpha}{\rho^{cc}} \right)^2 + \Delta h_1^2 [\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \right)^2 + \\
&+ 4\Delta h_1^2 \operatorname{ctg}^2 Z_1 \left(\frac{m_{Z_1}}{\rho^{cc}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h_1}{\Delta Z_1} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_1}^2,
\end{aligned}
\tag{3.38}$$

$$\begin{aligned}
m_{\Delta h_2}^2 &= \Delta h_2^2 \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \Delta h_2^2 [\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)]^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho^{cc}} \right)^2 + \Delta h_2^2 \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \left(\frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \right)^2 + \\
&+ 4\Delta h_2^2 \operatorname{ctg}^2 Z_2 \left(\frac{m_{Z_2}}{\rho^{cc}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h_2}{\Delta Z_2} \right)^2 \cdot m_{\Delta Z_2}^2,
\end{aligned}
\tag{3.39}$$

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 dintre punctele de stație și punctul de control, este cu atât mai mică cu cât mărimea unghiului zenital se apropie de 100° .

3.2.5. Utilizarea nivelmentului hidrostatic în determinarea deplasărilor construcțiilor masive

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

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

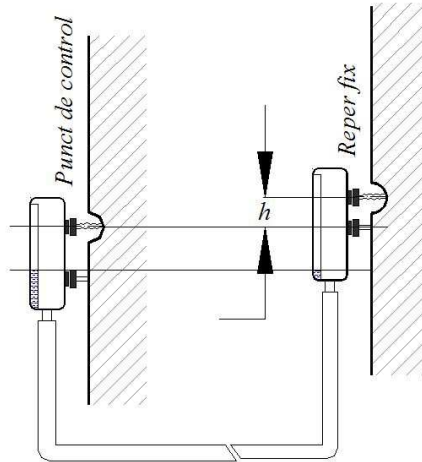


Fig. 3.19. Principiul nivelmentului hidrostatic

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. La acestea trebuie adăugat faptul că, realizarea nivelmentului geometric de înaltă precizie, pentru cazul studierii unor construcții aflate în execuție sau exploatare, întâmpină foarte multe greutăți. De multe ori nu există posibilitatea instalării aparatului fără dispozitive speciale, nu se poate realiza ținerea mirei în punctele de control de pe construcția observată, nu se poate opri procesul de producție pentru efectuarea măsurătorilor. Toate aceste inconveniente se elimină prin folosirea nivelmentului hidrostatic care se execută mult mai rapid decât nivelmentul geometric de precizie. Aparatura folosită este de construcție simplă, este ieftină, se poate păstra și depozita foarte ușor.

Metoda nivelmentului hidrostatic este fundamentată de principiul vaselor comunicante. În punctele de control, de pe construcția studiată, sunt fixate tuburi gradate, care sunt unite între ele printr-un furtun (Fig. 3.19). Diferența citirilor pe tuburile gradate, corespunzător nivelului apei din tuburi, prezintă diferența de nivel dintre cele două puncte. În sistemul hidrostatic se mai include și un rezervor suplimentar care joacă rol de compensator.

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

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

În cel de-al doilea caz, determinarea deplasărilor verticale se face ca în cazul nivelmentului geometric, adică se calculează diferența de nivel dintre tuburile gradate și legate între ele, amplasate în punctul de control respectiv în reper. [59]

3.3. Erorile întâlnite în nivelmentul geometric pentru determinarea tasărilor și modul de eliminare a acestora

3.3.1. Neorizantalitatea liniei de vizare a lunetei instrumentului

Eroarea datorită neorizantalizării liniei de vizare a instrumentului topografic (nivelă topografică sau după caz, teodolit), are în aparență un caracter întâmplător, dar în cazul măsurătorilor ea poate avea și un caracter sistematic. [74]

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

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

$$m_{\tau} = \pm 0,09 \cdot \sqrt{\tau^{cc}} \quad (3.40)$$

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:

$$m_{\Delta h} = \pm \frac{d \cdot m_{\tau}}{\rho^{cc}} \quad (3.41)$$

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

3.3.2. Neaplicarea corecției de sfericitate, refracție și temperatură

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

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

Mărimea erorii provocate de refracție crește cu pătratul lungimii de vizare și proporțional cu diferența de nivel. La vizele deasupra terenului pentru altitudini mai mici de 50 cm, crește foarte repede gradientul de temperatură și prin aceasta și eroarea provocată de refracție. Refracția maximă apare în timpul răsăritului și apusului de soare. Pentru a evita erorile de refracție, este recomandat ca nivelmentul să nu se execute pe timp foarte călduros și nu cu o oră înainte de răsăritul și apusul soarelui. Refracția depinde și de suprafața terenului, ea fiind mai mare dacă terenul este acoperit cu asfalt, beton, piatră și este mai mică dacă este acoperit cu iarbă. De asemenea, mărimea refracției este influențată de suprafețele acvatice, care prezintă variații de temperatură față de aer. [61]

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

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

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

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

În vecinătatea instalațiilor mecanice, erorile pot fi și mai mari. Variația de temperatură produce și erori în citirea pe miră, care se pot calcula cu relația:

$$m_t = \pm l \cdot k_t \cdot m_{\Delta t} \quad (3.42)$$

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

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

3.3.3. Neverticalitatea mirei și excentricitatea benzii de invar față de axa reperului

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

În cazul înclinării mirei cu un unghi ε , banda de invar a mirei nu se găsește peste punctul cel mai înalt conform figurii următoare; astfel, în loc de valoarea l_0 se va citi valoarea l , mai mare. [59]

Acestei citiri este necesar a i se aplica o corecție:

$$l + \Delta l = l'_0 \quad (3.43)$$

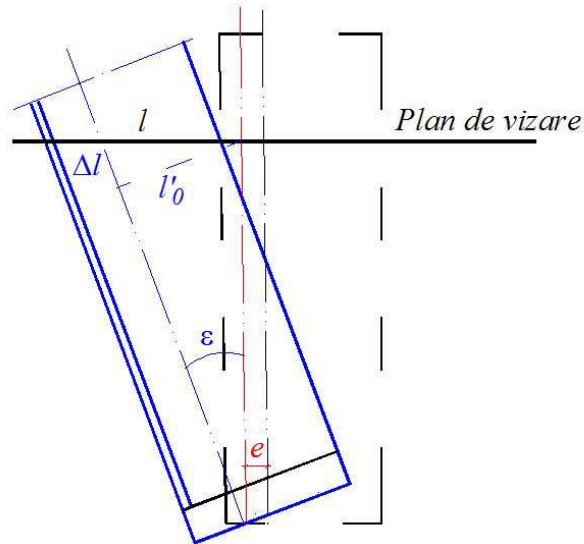


Fig.3.20 – Determinarea corecției de excentricitate a benzii de invar
Rezultă în continuare:

$$\begin{aligned}\Delta l &= l'_0 - l \\ \Delta l &= l_0 - l \\ \Delta l &= l \cos \varepsilon - l \\ \Delta l &= -l(1 - \cos \varepsilon) \\ \Delta l &= -2l \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}\end{aligned}\tag{3.44}$$

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

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

$$\Delta l = -\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{2} \pm \frac{e_1 \cdot \varepsilon}{\rho}\right)\tag{3.45}$$

Primul termen din paranteză nu depinde de punctul pe care așezăm mira, influența lui este unilaterală și proporțională cu înălțimea axei de vizare.

Al doilea termen din paranteză depinde de valorile e_1 și ε , dar depinde de înălțimea de vizare și are în general un caracter întâmplător. Valoarea acestui termen este mai mare decât a primului și poate să aibă un efect unilateral, dacă nivela sferică de pe miră este așezată prea sus astfel încât operatorul de la miră nu vede perpendicular bula nivelei și produce o eroare de centrare pe reper.

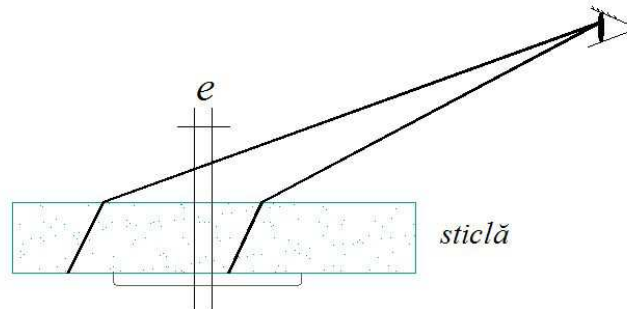


Fig. 3.21 - Excentricitate datorată neperpendicularității razei vizuale

În timpul verticalizării mirei cu ajutorul nivelei sferice se poate induce o eroare de $2 - 10^{\text{cc}}$. Mirele Zeiss sunt înzestrate la talpa lor inferioară cu un inel care permite centrarea benzii de invar cu exactitate pe axa reperului. Cu toate aceste măsuri (mirele de invar având două scale pe care se realizează citirea), citirile nu pot fi totuși considerate în axa mirei. Eroarea provocată de această abatere poate să ajungă la valori de $\pm 0,05\text{mm}$.

La o lungime a porțelor mai mare de 50 m, precizia nivelmentului este mai mare, iar vizările mai scurte. [18]

CAPITOLUL 4. PRINCIPII DE COMPENSARE ȘI PRELUCRARE A MĂSURĂTORILOR GEODEZICE SPECIFICE URMĂRIII ÎN TIMP A CONSTRUCȚIILOR

4.1. Aspecte generale în studiul teoriei erorilor de măsurare

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

Scopul unei cercetări științifice constă în descoperirea legilor care dirijează fenomenele naturale, spre a fi puse în slujba activității umane. Pentru aceasta, este necesară îmbinarea cercetării științifice cu aplicația tehnică – practică, fără de care orice speculație abstractă devine sterilă. [55]

Pentru realizarea acestui deziderat, prima condiție în alegerea mărimilor fizice, înțelegând prin aceasta și mărimile care intervin în tehnică și în practică, este ca ele să fie măsurabile.

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

$$Q = n \cdot q \quad (4.1)$$

în care :

Q – mărimea fizică măsurată;

q – unitatea de măsură;

n – număr oarecare.

Este de remarcat faptul că membrul al doilea al ecuației (4.1) denumită uneori și ecuația fundamentală a măsurării, este un produs de doi factori caracteristici distincți: unul cantitativ n , factor numeric, iar celalalt calitativ q , care definește natura mărimii rezultante Q .

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

Din punctul de vedere al subordonării metrologice, se deosebesc mijloace de măsurat etalon și de lucru. Etaloanele servesc la reproducerea și păstrarea unităților de măsură, precum și la verificarea altor mijloace de măsurat. Mijloacele de măsurat de lucru servesc la executarea operațiilor de măsurare efectivă în procese tehnologice, în lucrări de laborator.

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

Cauza acestor neconcordanțe se datorează erorilor care afectează întotdeauna o măsurătoare, făcând ca valoarea adevărată a mărimii măsurate să nu poată fi cunoscută niciodată. Practic, neputând fi determinată valoarea adevărată a mărimii măsurate, se caută să se determine o valoare apropiată de aceasta, într-un grad mai mare sau mai mic funcție de scopul pentru care se execută măsurătorile. Aproximarea mărimii determinate față de valoarea sa adevărată caracterizează precizia măsurătorii. [26]

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

4.2. Importanța teoriei erorilor de măsurare

Informațiile, care constituie baza concretă de date necesară rezolvării problemelor geodezice, fotogrametrice și topografice, provin din observațiile efectuate asupra unor mărimi cu care se lucrează frecvent și care, în principal, sunt reprezentate de măsurătorile de unghiuri și distanțe. **Calitatea** informațiilor obținute din aceste măsurători este funcție directă de **volumul** observațiilor și de **precizia** instrumentelor de măsurat. [30]

Se impune așadar, ca pornind de la scopul pentru care sunt efectuate măsurătorile să se stabilească valorile corespunzătoare ca mărime și precizie, luând în considerare aspectul economic referitor la volumul strict necesar și suficient al observațiilor care se impun.

Teoria erorilor de măsurare sau teoria prelucrării măsurătorilor geodezice intervine cu succes și rezolvă favorabil aceste aspecte.

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

Cunoscându-se cât mai exact mărimile erorilor medii ale fiecărui argument măsurabil în parte, se poate determina eroarea medie a unei funcții de aceste argumente. În acest fel, se poate rezolva problema inversă a erorilor de măsurare, în cadrul căreia, față de o eroare maximă impusă apriori unei funcții ce urmează a se determina, se va stabili încă din faza de proiect, care trebuie să fie erorile maxime cu care se vor măsura pe teren argumentele componente.

Aceasta dă posibilitatea stabilirii preciziei optime de măsurare, cu avantaje economice importante. Astfel, la realizarea unei rețele de triangulație, necesară ridicărilor topografice, a unei rețele de microtriangulație, necesară pentru urmărirea comportării unei construcții, studiul preciziei de determinare a poziției punctelor rețelei se face încă din faza de proiectare, funcție de configurația rețelei și de precizia cu care se vor executa măsurătorile pe teren. Acest studiu va urmări ca erorile în poziția punctelor, să se încadreze în toleranțele impuse anticipat. La sfârșit, prin compararea erorilor post-compensare cu erorile stabilite anticipat, se va putea aprecia corectitudinea studiului realizat. [30]

Studiul erorilor de măsurare prezintă o importanță cu totul deosebită în acele domenii ale măsurătorilor terestre (Geodezie, Fotogrametrie și Topografie inginerească), în care exigențele impuse în privința preciziei sunt deosebit de ridicate.

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

Introducerea automatizării în prelucrarea observațiilor constituie un salt calitativ important, cu consecințe remarcabile în domeniul măsurătorilor terestre, ca și în studiul erorilor de măsurare.

Teoria matematică a informației formulează legile generale ale comenzii, controlului și comunicațiilor și stabilește principiile de codificare, prelucrare, păstrare și transmitere a informației, asociindu-se cu tehnica de calcul automat. Această nouă direcție constituie o etapă superioară în dezvoltarea metodelor de prelucrare a rezultatelor obținute din măsurători.

4.3. Măsurători și erori de măsurare

S-a văzut că prin măsurare se înțelege determinarea valorii unei mărimi fizice prin raportarea acesteia la o altă mărime de aceeași natură, adoptată ca etalon, folosind un instrument sau un aparat de măsură. [65]

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

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

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

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

4.3.1. Clasificarea măsurătorilor [30]

Măsurătorile pot fi clasificate după următoarele criterii:

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

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

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

- diferența dintre două mărimi măsurate direct (exemplu: diferența de nivel rezultată prin scăderea citirilor pe miră),
- produsul dintre o mărime măsurată și o constantă.

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

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

- **După condițiile în care sunt executate:**

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

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

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

- **După legătura dintre ele:**

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

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

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

- **După numărul lor:**

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

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

4.3.2. Clasificarea erorilor de măsurare [55]

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

$$e = M - X \quad (4.2)$$

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

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

Erorile pot fi clasificate după cum urmează:

- **După modul de alegere a mărimii nominale:**

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

$$\varepsilon_i = M_i - X \quad (4.3)$$

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

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

$$\pm v_i = M_i - M \quad (4.4)$$

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

• **După mărimea lor:**

a) erori evitabile (erori grosolane, greșeli)

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

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

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

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

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

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

Aceste erori pot fi clasificate după modul de acționare astfel:

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

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

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

- printr-o reglare mai bună a aparatelor

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

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

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

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

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

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

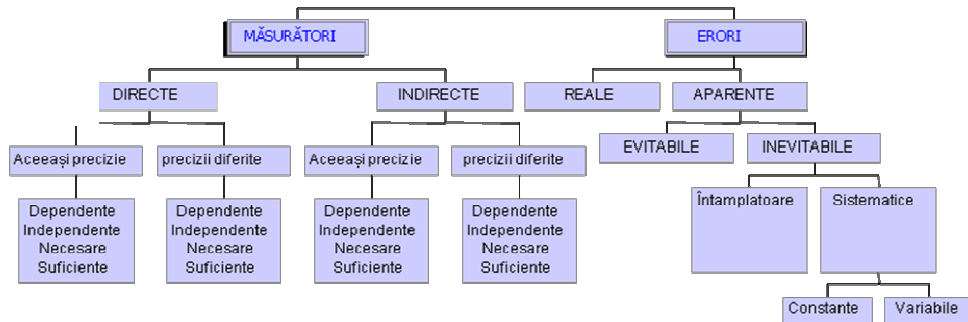


Fig. 4.1 – Corelația măsurătoare - eroare

4.4. Proprietățile erorilor întâmplătoare

Proprietățile erorilor întâmplătoare sunt deduse din practică, ele permițând studierea științifică a erorilor prin aplicarea calculului probabilităților. [8]

- Erorile mici, în valoarea absolută, sunt mai frecvente sau mai probabile decât cele mari. Această proprietate determină **principiul cazualist**.

Deci, avem cazuri mai multe cu erori mici decât cu erori mari.

- Toate erorile sunt mai mici decât o anumită limită care ar corespunde erorii datorită sumei totale a cauzelor de erori. Prin această proprietate se definește **principiul limitativ**.
- Făcând un număr foarte mare de măsurători, rezultă un număr egal de erori pozitive cât și negative, suma lor fiind sensibil egală cu zero. Rezultă astfel **principiul distributiv**.
- Probabilitatea ca să avem o anumită eroare este funcție numai de mărimea erorii respective. Este definit astfel **principiul probabilistic**.

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

$$P = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} dx \quad (4.5)$$

în care:

- e reprezintă baza logaritmilor naturali ($e = 2,71828\dots$);

- h este modulul de precizie, care caracterizează precizia instrumentului utilizat pentru măsurători.

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

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

Dacă curba este alungită înseamnă că avem mai multe erori mici care se grupează în jurul valorii zero; când clopotul este turtit erorile mari predomină. [29]

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

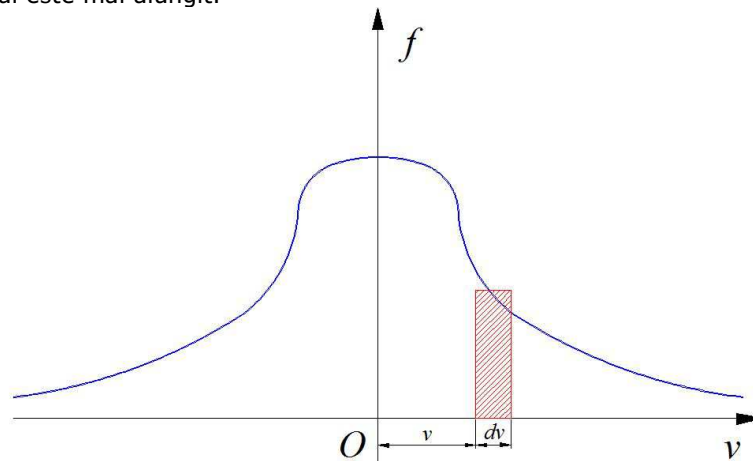


Fig. 4.2 - Graficul de distribuție al erorilor - Clopotul Gauss

4.4.1. Alte tipuri de erori [55]

Eroarea relativă sau eroarea pe unitatea de măsură.

$$e_r = \frac{e}{M} \quad (4.6)$$

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

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

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

$$e_p = \pm \frac{2}{3} m \quad (4.7)$$

$$e_p = \pm \frac{2}{3} e_m \quad \text{în care: } m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}};$$

$$e_m = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (4.8)$$

Precizia unei măsurători:

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

$$P = \frac{1}{\frac{M}{e}} \quad (4.9)$$

Numitorul expresiei arată de câte ori eroarea comisă la măsurare se cuprinde în mărimea măsurată.

Eroarea relativă "e" se poate exprima prin una din erorile: m , e_m , e_p .

4.5. Concepte statistice în prelucrarea măsurătorilor

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

$$P = \frac{\text{nr.cazuri favorabile}}{\text{nr.cazuri posibile}} \quad (4.10)$$

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

În această situație putem afirma că este vorba de o incertitudine matematică.

Statistica este ramura matematicii aplicate care studiază culegerea, analiza și interpretarea datelor privind fenomenele de masă. [30]

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

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

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

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

Pentru studiul matematic al fenomenelor cu caracter întâmplător, se introduce noțiunea de "*variabilă aleatoare*", adică o variabilă care în cadrul unei experiențe poate primi oricare dintre valorile posibile, specifice experienței respective. Variabilele aleatoare pot fi *discrete*, adică pot lua doar anumite valori, (de exemplu, numărul obținut la aruncarea unui zar), sau *continui*, adică pot lua orice valoare într-un interval finit sau infinit (de exemplu, rezultatul măsurării unei lungimi). [55]

În geodezie în general sunt necesari și suficienți doi indicatori cantitativi și anume: *media și dispersia*.

4.5.1. Repartiții de frecvențe

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

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

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

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

$$f_i = \frac{F_i}{N} \quad (4.11)$$

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

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

4.5.2. Repartiția empirică a erorilor întâmplătoare

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

- ☞ Efectuându-se un număr de N măsurători asupra mărimii fizice x , se obțin rezultatele x_1, x_2, \dots, x_n . Gruparea acestor rezultate în funcție de valoarea caracteristicilor comune furnizează informații prețioase despre valoarea adevărată a mărimii fizice măsurate. Numărul de măsurători cu aceeași valoare a caracteristicii definește frecvența absolută, iar suma frecvențelor absolute pentru toate grupele studiate formează volumul selecției.
- ☞ De regulă, pentru a obține o precizie cât mai bună, asupra mărimii fizice considerate se execută mai multe serii de măsurători sau, mai multe selecții. Variațiile rezultatelor de la o selecție la alta se numesc fluctuații de selecție și formează obiectul prelucrării statistice a măsurătorilor.
- ☞ Deoarece sub forma lor brută rezultatele obținute din măsurători constituie o mulțime dezordonată de valori, pentru o mai ușoară interpretare, acestea se reprezintă grafic. Există mai multe metode de reprezentare grafică a rezultatelor obținute din măsurători. Printre acestea se pot menționa histograma și poligonul de frecvențe. Pentru oricare din acestea, intervalul de variație a rezultatelor se împarte în intervale elementare de aceeași lungime, înregistrând numărul de valori corespunzătoare pentru fiecare astfel de interval. Pentru N rezultate obținute din măsurători se calculează diferența

dintre termenul maxim și cel minim. Lungimea intervalului de grupare d se calculează cu ajutorul formulei lui Sturges :

$$d = \frac{\Delta_{\max} - \Delta_{\min}}{1 + 3.22 \lg N} \quad (4.12)$$

Deoarece în marea majoritate a cazurilor lungimea intervalului d este un număr zecimal, acesta se rotunjește la un număr întreg care se apropie cel mai mult de valoarea găsită. [61]

4.5.3. Histograma

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

- se grupează valorile variabilei în intervale (clase, (Δ_i, Δ_{i+1}))
- se înscriu pe abscisă limitele claselor și pe ordonată frecvențele (absolute sau relative) acestora (numărul de valori cuprinse în fiecare clasă)
- pentru fiecare înălțime se trece frecvența clasei

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

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

$$f_i = \frac{F_i}{N} \quad (4.13)$$

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

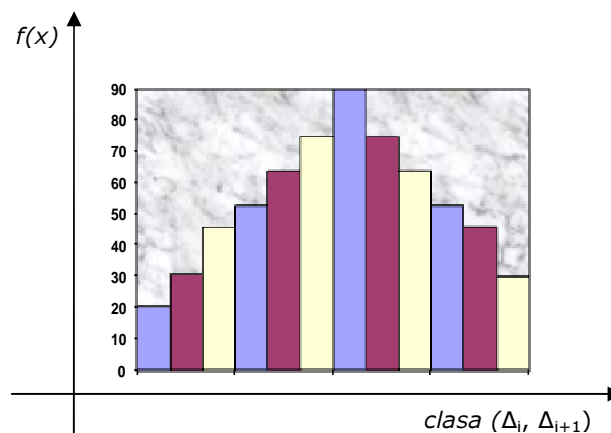


Fig. 4.3 - Histograma [55]

4.6. Studiul repartiției erorilor întâmplătoare

4.6.1. Valori tipice folosite în studiul repartiției teoretice a erorilor întâmplătoare

Considerăm un câmp unidimensional F probabilitizat, finit sau infinit.

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

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

$$M(X) = \int_a^b x \cdot \varphi(x) dx \quad (4.14)$$

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

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot \varphi(x) dx \quad (4.15)$$

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

$$D(X) = M\{X - M(X)\}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \{x - M(x)\}^2 \cdot \varphi(x) dx \quad (4.16)$$

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

$$m_k = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - A)^k \cdot \varphi(x) dx \quad (4.17)$$

4.6.2. Valori tipice de selecție folosite la prelucrarea rezultatelor obținute din măsurători

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

4.6.2.1. Media aritmetică și proprietățile acesteia [55]

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

$$\bar{x} = \sum_i^k f_i \cdot x_i \quad (4.18)$$

în care f_i se calculează cu ajutorul relației:

$$f_i = \frac{F_i}{N} \quad (4.19)$$

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

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.20)$$

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

Media aritmetică pentru date grupate are următoarele proprietăți :

☞ *Media aritmetică calculată din valori egale este întotdeauna egală cu valoarea acestora*

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k f_i \cdot x_0 = x_0 \sum_{i=1}^k f_i = x_0 \quad (4.21)$$

☞ *Suma abaterilor valorilor observate de la media aritmetică este egală cu 0*

Într-adevăr, dacă în relația (4.18) se introduce diferența $v_i = x_i - \bar{x}$, se obține :

$$\sum_{i=1}^k f_i \cdot v_i = \sum_{i=1}^k f_i \cdot x_i - \bar{x} \sum_{i=1}^k f_i = 0 \quad (4.22)$$

☞ *Suma pătratelor abaterilor valorilor observate x_i față de media aritmetică \bar{x} este mai mică decât suma pătratelor abaterilor aceluiași valori față de orice alt număr*

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k f_i (x_i - x_0)^2 &= \sum_{i=1}^k f_i \{ (x_i - \bar{x}) - (x_0 - \bar{x}) \}^2 = \\ &= \sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x})^2 - 2(x_0 - \bar{x}) \sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x}) + (x_0 - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^k f_i \end{aligned} \quad (4.23)$$

Având în vedere relația (4.22) ultima expresie devine :

$$\sum_{i=1}^k f_i (x_i - x_0)^2 = \sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x})^2 + (x_0 - \bar{x})^2 \quad (4.24)$$

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

4.6.2.2. Dispersia

Dacă rezultatele obținute din măsurători sunt afectate numai de erori întâmplătoare atunci

$$\begin{aligned}\Delta_i &= x_i - X \\ v_i &= x_i - \bar{x}\end{aligned}\quad (4.25)$$

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

x_i – rezultatul unei măsurători

\bar{x} – media aritmetică obținută din cele n rezultate

Δ_i – eroarea întâmplătoare adevărată

v_i – eroarea întâmplătoare aparentă

Dispersia (varianța) exprimă gradul de împrăștiere a variabilelor aleatoare discrete.

$$D^2(x) = \sigma^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} = M \left\{ (x_i - \bar{x})^2 \right\} \quad (4.26)$$

4.6.2.3 Abaterea standard și proprietățile acesteia

Abaterea standard a unei variabile reprezintă o măsură a dispersiei valorilor acesteia în jurul uneia considerate mijlocii. Se mai numește și abatere medie pătratică. [55]

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{D^2} \quad (4.27)$$

Mărimile M , D^2 și σ , adică, media, dispersia și abaterea standard, reprezintă parametri statistici care definesc o repartiție. Pentru o variabilă discretă bidimensională se definește covarianța de selecție ca fiind:

$$\text{cov}(x, y) = \sigma(x, y) = M \left\{ (x - \bar{x})(y - \bar{y}) \right\} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (4.28)$$

iar,

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1} \quad (4.29)$$

- este coeficientul de corelație

$$r_{x,y} = \frac{\sigma_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (4.30)$$

Atunci când variabilele sunt independente, relația devine :

$$r_{x,y} = 0 \quad (4.31)$$

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

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdot & \cdot & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdot & \cdot & \sigma_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdot & \cdot & \sigma_{nn} \end{pmatrix} \quad (4.32)$$

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

4.7. Determinarea tasărilor prin stabilitatea reperilor de control

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

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

Determinarea valorilor absolute ale tasărilor unei construcții se poate realiza prin aplicarea procedurii de compensare și calcul al observațiilor condiționate sau indirecte.

4.7.1. Calculul tasărilor prin metoda măsurătorilor condiționate [18]

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

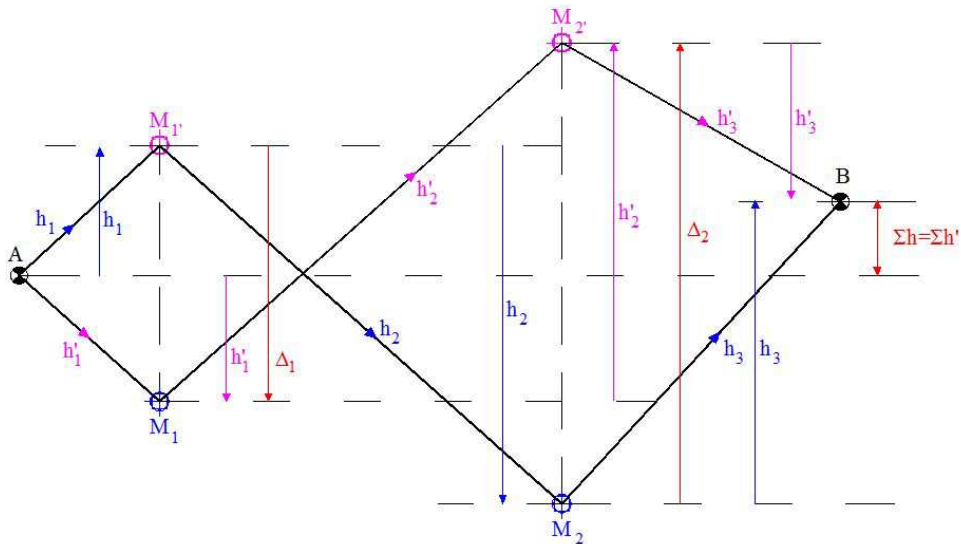


Fig. 4.4 – Rețea nivelment sub formă de drumuire sprijinită la capete

În figură s-au folosit următoarele notații:

- A și B – reperi de control fiși;
- M_1 și M_2 – mărcile de tasare de pe construcție în poziția inițială (ciclul I);
- $M_{1'}$ și $M_{2'}$ - mărcile de tasare de pe construcție în poziția actuală (ciclul II);
- h_1, h_2, h_3 – diferențele de nivel deduse din observațiile inițiale (ciclul I);
- $h'_{1'}, h'_{2'}, h'_{3'}$ - diferențele de nivel deduse din observațiile actuale (ciclul II);
- v_1, v_2, v_3 – corecțiile diferențelor de nivel măsurate inițial;
- $v'_{1'}, v'_{2'}, v'_{3'}$ – corecțiile diferențelor de nivel măsurate actual;
- Δ_1, Δ_2 – deplasările verticale (tasările) mărcilor 1 și 2 în intervalul dintre cele două cicluri de măsurători.

Considerăm pentru început eliminarea valorilor h_3 și $h'_{3'}$ și raportăm deplasările mărcilor 1 și 2 numai la un singur reper de control A; se obține:

$$\begin{aligned} h_1 + \Delta_1 &= h'_{1'} \\ h_1 + h_2 + \Delta_2 &= h'_{1'} + h'_{2'} \end{aligned} \quad (4.33)$$

Rezultă:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= h'_{1'} - h_1 \\ \Delta_2 &= (h'_{1'} + h'_{2'}) - (h_1 + h_2) = \Delta_1 + (h'_{2'} - h_2) \end{aligned} \quad (4.34)$$

Exprimând relația sub formă generală se poate scrie:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} + h_1' - h_i \quad (4.35)$$

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:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_1' + v_1' + h_2' + v_2' + h_3' + v_3' \quad (4.36)$$

Această relație duce la următoarea ecuație de condiție, a corecțiilor:

$$v_1 - v_1' + v_2 - v_2' + v_3 - v_3' + w = 0 \quad (4.37)$$

În ecuația de mai sus w se exprimă sub forma:

$$w = \sum (h_i - h_i') \quad (4.38)$$

Dacă cele două puncte de reper formează o rețea alcătuită din două drumuri de nivelment sprijinite la capete pe aceleași două repere de control A și B și notând cu $M_1, M_2 \dots M_3$ mărcile de tasare de pe obiectivul examinat, iar cu $h_1, h_2 \dots h_7$ diferențele de nivel măsurate în ciclul I (Fig. 4.5) se pot scrie următoarele ecuații:

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_1' + v_1' + h_2' + v_2' + h_3' + v_3' \quad (4.39)$$

$$h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = h_4' + v_4' + h_5' + v_5' + h_6' + v_6' + h_7' + v_7' \quad (4.40)$$

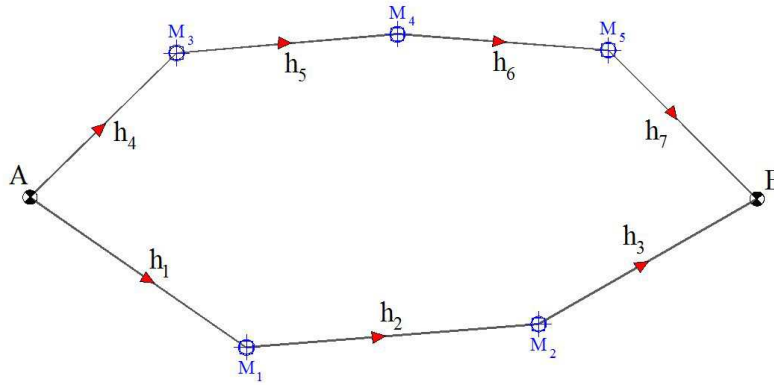


Figura 4.5 - Rețea de nivelment cu două drumuri sprijinite la capete

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

$$h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 = h_4 + v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 \quad (4.41)$$

$$h_1' + v_1' + h_2' + v_2' + h_3' + v_3' = h_4' + v_4' + h_5' + v_5' + h_6' + v_6' + h_7' + v_7' \quad (4.42)$$

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, se poate determina și stabili numărul de ecuații de condiție independente.

Astfel, în drumuirea de nivelment AM_1M_2B , deplasarea mărcii M_1 poate fi determinată pe baza măsurării de două ori a unei singure diferențe de nivel h_1 adică h_1 și h'_1 , iar deplasările mărcilor M_1 și M_2 pe baza măsurătorilor duble a două diferențe de nivel h_1 și h_2 .

Măsurarea inițială și actuală a diferențelor de nivel h_3 , creează de asemenea 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 afirmațiile de mai sus, rezultă că în drumuirile nivelitice izolate, adică în drumuirile care se sprijină la ambele capete pe repere de control, numărul ecuațiilor de condiție independente este:

$$N = D - M \quad (4.43)$$

în care: D – numărul diferențelor de nivel măsurate de două ori;
 M – numărul mărcilor mobile.

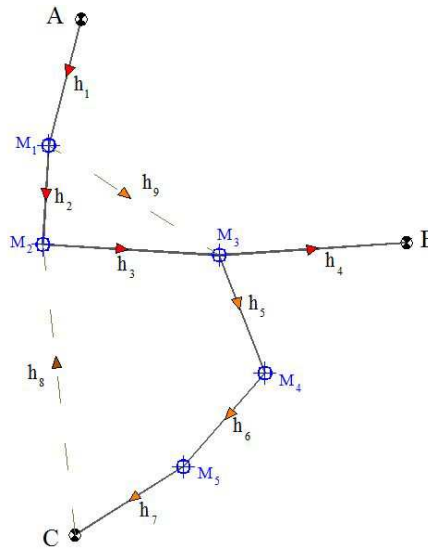


Figura 4.6 – Rețea de nivelment cu 3 repere de sprijin (A,B,C)

Această formulă poate fi verificată în următoarea rețea sub forma unei drumuri de nivelment formată din 3 reperi A , B și C (Fig. 4.6), pentru care se pot scrie următoarele ecuații:

$$\begin{aligned} h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 - \\ -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 \\ h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 &= h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + \\ + h'_3 + v'_3 + h'_3 + v'_3 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_7 + v'_7 & \end{aligned} \quad (4.44)$$

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

$$N = D - M + I \quad (4.45)$$

în care: I reprezintă numărul închiderilor.

Relația de mai sus se poate verifica tot în rețeaua din figura de mai sus completată cu drumurile suplimentare care formează închideri (linii întrerupte).

Astfel se poate scrie: $D=9$; $M=5$; $I=2$, rezultă $N=6$.

Ecuațiile caracteristice care se scriu pe baza rețelei nivelitice din figura 4.6 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. $-h_8 - v_8 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 = -h'_8 - v'_8 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4$

$$\begin{aligned}
11. \quad & -h_4 - v_4 + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_7 + v_7 = -h'_4 - v'_4 + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + \\
& + h'_7 + v'_7 \\
12. \quad & h_2 + v_2 + h_8 + v_8 - h_7 - v_7 - h_6 - v_6 - h_5 - v_5 - h_9 - v_9 = 0 \\
13. \quad & h'_2 + v'_2 + h'_8 + v'_8 - h'_7 - v'_7 - h'_6 - v'_6 - h'_5 - v'_5 - h'_9 - v'_9 = 0 \quad (4.46)
\end{aligned}$$

Din ecuațiile 4.45, primele 6 sunt independente, celelalte provenind din combinațiile primelor 6. Alegând din egalitățile de mai sus, oricare 6 ecuații independente le putem transforma în 6 ecuații de condiție independente ale corecțiilor.

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

$$\begin{aligned}
a_1 v_1 - a'_1 v'_1 + a_2 v_2 - a'_2 v'_2 + a_8 v_8 - a'_8 v'_8 + w_a &= 0 \\
b_1 v_1 - b'_1 v'_1 + b_4 v_4 - b'_4 v'_4 + b_9 v_9 - b'_9 v'_9 + w_b &= 0 \\
c_2 v_2 + c_3 v_3 - c_9 v_9 + w_c &= 0 \\
d'_2 v'_2 + d'_3 v'_3 - d'_9 v'_9 + w_d &= 0 \\
e_3 v_3 + e_5 v_5 + e_6 v_6 + e_7 v_7 - e_8 v_8 + w_e &= 0 \\
f'_3 v'_3 + f'_5 v'_5 + f'_6 v'_6 + f'_7 v'_7 - f'_8 v'_8 + w_f &= 0 \quad (4.47)
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
w_a &= (h_1 + h_2 + h_8) - (h'_1 + h'_2 + h'_8) \\
w_b &= (h_1 + h_4 + h_9) - (h'_1 + h'_4 + h'_9) \\
w_c &= (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \\
w_d &= (h_2 + h_3 + h_9) - (h'_2 + h'_3 + h'_9) \\
w_e &= (h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8) - (h'_3 + h'_5 + h'_6 + h'_7 + h'_8) \\
w_f &= (h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8) - (h'_3 + h'_5 + h'_6 + h'_7 + h'_8) \quad (4.48)
\end{aligned}$$

Tabel 4.1 – Coeficienții ecuațiilor de condiție ale corecțiilor

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

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

$$\begin{aligned}
\left[\frac{aa}{p}\right] K_1 + \left[\frac{ab}{p}\right] K_2 + \dots + \left[\frac{af}{p}\right] K_6 + w_a &= 0 \\
\left[\frac{ab}{p}\right] K_1 + \left[\frac{bb}{p}\right] K_2 + \dots + \left[\frac{bf}{p}\right] K_6 + w_b &= 0 \\
\left[\frac{ac}{p}\right] K_1 + \left[\frac{bc}{p}\right] K_2 + \dots + \left[\frac{cf}{p}\right] K_6 + w_c &= 0 \\
\left[\frac{ad}{p}\right] K_1 + \left[\frac{bd}{p}\right] K_2 + \dots + \left[\frac{df}{p}\right] K_6 + w_d &= 0 \\
\left[\frac{ae}{p}\right] K_1 + \left[\frac{be}{p}\right] K_2 + \dots + \left[\frac{ef}{p}\right] K_6 + w_e &= 0 \\
\left[\frac{af}{p}\right] K_1 + \left[\frac{bf}{p}\right] K_2 + \dots + \left[\frac{ff}{p}\right] K_6 + w_f &= 0
\end{aligned} \tag{4.49}$$

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

$$\begin{aligned}
v_i &= \frac{a_i}{p_i} K_1 + \frac{b_i}{p_i} K_2 + \dots + \frac{f_i}{p_i} K_6 \\
v'_i &= \frac{a'_i}{p'_i} K_1 + \frac{b'_i}{p'_i} K_2 + \dots + \frac{f'_i}{p'_i} K_6
\end{aligned} \tag{4.50}$$

Prin aplicarea acestor corecții la diferențele de nivel măsurate se determină valorile definitive ale acestora. Cunoșcând valorile compensate ale diferențelor de nivel dintre ciclul de referință și ciclul actual al măsurătorilor, se calculează apoi deplasările verticale (tasările) mărcilor, calcul care se poate realiza pe mai multe căi, luând ca bază pentru control diferite repere stabile.

$$\begin{aligned}
1. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2) - (h_1 + v_1 + h_2 + v_2) \\
2. \Delta M_2 &= (-h'_4 - v'_4 - h'_3 - v'_3) - (-h_4 - v_4 - h_3 - v_3) \\
3. \Delta M_2 &= (-h'_8 - v'_8) - (-h_8 - v_8) \\
4. \Delta M_2 &= (h'_1 + v'_1 + h'_9 + v'_9 - h'_3 - v'_3) - (h_1 + v_1 + h_9 + v_9 - h_3 - v_3)
\end{aligned} \tag{4.51}$$

4.7.2. Calculul tasărilor prin metoda măsurătorilor indirecte [40]

Pentru aplicarea metodei măsurătorilor indirecte, se pornește de la ecuația stabilită în cazul observațiilor condiționate, respectiv:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} + h_i' - h_i \quad (4.52)$$

Se introduc corecțiile observațiilor și se obține:

$$\begin{aligned} -\Delta_{i-1} + \Delta_i + (h_i + v_i - h_i' - v_i') &= 0 \\ v_i - v_i' - \Delta_{i-1} + \Delta_i + (h_i - h_i') &= 0 \end{aligned} \quad (4.53)$$

S-a obținut o ecuație de condiție pentru diferență de nivel măsurată de două ori, în care Δ_{i-1} reprezintă deplasarea reperului din spate, iar Δ_i deplasarea reperului din față.

Se poate scrie un sistem de ecuații de tipul celei de mai sus, prin rezolvare se obțin deplasările diferitelor puncte din rețeaua de nivelment. Această rezolvare poate fi urmărită și în cazul determinării deplasărilor orizontale ale punctelor de observație (stațiilor) ale construcțiilor.

Considerăm că $M_1^0, M_2^0, \dots, M_n^0$ sunt valori medii ale unor mărimi determinate direct (rezultate din măsurători directe), iar x_1, x_2, \dots, x_h , mărimi ce urmează a fi determinate indirect.

Presupunem că între mărimile fizice măsurate direct și mărimile determinate, există următoarele relații:

$$\begin{aligned} M_i^0 + v_i &= F_i(x_1, x_2, \dots, x_h) \\ i &= 1, 2, \dots, n \text{ și } n > h \end{aligned} \quad (4.54)$$

Considerația că $n > h$ (adică numărul ecuațiilor de condiție să fie mai mare decât numărul necunoscutelor) se impune în vederea depistării eventualelor greșeli cât și pentru mărirea preciziei.

Problema care se pune este, ca din sistemul (4.54) să se deducă cele mai bune valori x_1, x_2, \dots, x_h . Dacă măsurătorile M_i^0 ar fi perfect riguroase (neafectate de erori), acest sistem s-ar prezenta sub forma:

$$\begin{aligned} M_i^0 &= F_i(x_1, x_2, \dots, x_h) \\ i &= 1, \dots, n \text{ și } n > h \end{aligned} \quad (4.55)$$

Acest sistem ar fi compatibil și rezolvabil, în raport cu necunoscutele x_1, x_2, \dots, x_h . Deci, operațiile de măsurare s-ar reduce la atâtea măsurători câte necunoscute sunt.

În practică însă, măsurătorile de orice natură sunt afectate în mod inerent de erori.

Datorită acestor erori de măsurare, sistemul (4.55) este incompatibil, de aceea mărimilor măsurate direct trebuie să li se aplice niște corecții " v_i " astfel ca sistemul să devină compatibil cu necunoscutele x_1, x_2, \dots, x_h .

Valorile cele mai probabile ale corecțiilor se determină aplicând metoda celor mai mici pătrate. Deci mărimile " v_i " reprezintă corecțiile ce trebuie aplicate mărimilor măsurate direct, pentru a fi satisfăcute toate ecuațiile de tipul (4.55) ce pot fi întocmite pentru rezolvarea unei anumite probleme.

4.7.2.1. Liniarizarea ecuațiilor

În majoritatea cazurilor funcțiile F_i din relația (4.54) nu sunt liniare, compensarea este foarte greoaie. Pentru ușurarea calculelor de compensare, aceste ecuații se aproximează cu niște ecuații liniare, obținute prin dezvoltare în serie Taylor, în vecinătatea unor valori x_i^0 , apropiate de cele adevărate.

Aceste valori apropiate $x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0$, se cunosc fie dintr-o măsurătoare anterioară, fie prin rezolvarea sistemului în care se iau în considerație numai " h " ecuații și se consideră $v_i = 0$.

Valorile probabile ale necunoscutelor vor fi:

$$X_i = x_i^0 + x_i, \quad i = 1, 2, \dots, h \quad (4.56)$$

în care: "x_i" reprezintă corecții ce urmează a fi determinate prin procesul de compensare.

Aceste corecții însă, trebuie să fie suficient de mici, astfel încât în dezvoltarea în serie să putem neglija termenii de ordinul II și mai mari.

Introducând relația (4.56) în (4.60) obținem:

$$M_i^0 + v_i = F_i(x_1^0 + x_1, x_2^0 + x_2, \dots, x_h^0 + x_h) \quad (4.57)$$

Deci, corecția:

$$v_i = F_i(x_1^0 + x_1, x_2^0 + x_2, \dots, x_h^0 + x_h) - M_i^0 \quad (4.58)$$

Dezvoltând această expresie în serie Taylor și neglijând termenii de ordinul II și superiori, rezultă:

$$v_i \cong F_i(x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0) - M_i^0 + \left(\frac{\partial F_i}{\partial x_1} \right)_0 x_1 + \left(\frac{\partial F_i}{\partial x_2} \right)_0 x_2 + \dots + \left(\frac{\partial F_i}{\partial x_h} \right)_0 x_h \quad (4.59)$$

$i = 1, \dots, n$

Se fac următoarele notații:

$$\left(\frac{\partial F_i}{\partial x_1} \right)_0 = a_i$$

$$\left(\frac{\partial F_i}{\partial x_2} \right)_0 = b_i$$

$$\dots$$

$$\left(\frac{\partial F_i}{\partial x_h} \right)_0 = h_i$$

$$F_i(x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0) - M_i^0 = l_i \quad (4.60)$$

Cu aceste notații expresia (4.59) devine:

$$v_i = a_i x_1 + b_i x_2 + \dots + h_i x_h + l_i \quad (4.61)$$

$i = 1, \dots, n$ și $n > h$

Această relație poartă denumirea de sistemul liniar al ecuațiilor de corecții.

Observații:

1. Fiecare măsurătoare generează câte o ecuație de corecție.
2. Din expresiile coeficienților și a termenului liber se observă că mărimea măsurată direct M_i^0 , deci cea care este afectată de erori intervine numai în termenul liber.

Rezultă deci, că eroarea unei ecuații de corecție este egală cu eroarea termenului liber, iar coeficienții a_i, b_i, \dots, h_i se consideră constante lipsite de erori.

3. Dacă mărimile măsurate direct M_i^0 sunt determinate cu aceeași precizie atunci și ecuațiile sistemului liniar vor fi de aceeași precizie.

În caz contrar, vom avea un sistem liniar al ecuațiilor corecțiilor ponderate.

4. Sistemul liniar poate fi înmulțit cu aceeași constantă, rezultatul final rămânând neschimbat. În cazul în care ecuațiile sistemului liniar ar fi înmulțite cu constante diferite, s-ar modifica și ponderile în mod diferit.

5. Sistemele ponderate (de precizii diferite) pot fi reduse la sisteme neponderate, dacă fiecare ecuație se multiplică cu $\sqrt{p_i}$, adică:

$$\bar{v}_i = v_i \sqrt{p_i} = a_i \sqrt{p_i} x_1 + b_i \sqrt{p_i} x_2 + \dots + h_i \sqrt{p_i} x_h + l_i \sqrt{p_i} \quad (4.62)$$

Acest nou sistem poartă denumirea de "ecuații omogenizate" și au toate ponderea egală cu 1.

6. Din expresia termenului liber: $l_i = F_i(x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0) - M_i^0$, rezultă regula practică de calcul a acesteia: **Termenul liber = valoare calculată - valoare măsurată.**

7. Dacă coeficienții unei necunoscute, spre exemplu a_i sunt mult mai mici sau mai mari decât b_i, c_i, \dots, h_i , atunci pentru necunoscuta x_i se poate introduce o necunoscută auxiliară.

Pentru a nu se modifica sistemul liniar al ecuațiilor de corecție, se va împărți coeficientul a_i cu 10^n , rezultând relația:

$$v_i = \frac{a_i}{10^n} X_1^* + b_i X_2 + c_i X_3 + \dots + h_i X_h + l_i \quad (4.63)$$

Din rezolvarea sistemului normal va rezulta X_1 , apoi deducem relația:

$$X_1 = X_1^* 10^n \quad (4.64)$$

4.7.2.2. Obținerea sistemului normal în cazul măsurătorilor indirecte de aceeași precizie

Din sistemul liniar al ecuațiilor de corecții în care presupunem că toate ecuațiile au aceeași pondere, valorile cele mai probabile ale corecțiilor se deduc utilizând metoda celor mai mici pătrate, adică:

$$[vv] = \min. \quad (4.65)$$

Dacă în acest sistem înlocuim valorile corecțiilor " v_i " obținem:

$$\begin{aligned} [vv] = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = & (a_1 x_1 + b_1 x_2 + \dots + h_1 x_h + l_1)^2 + \\ & + (a_2 x_1 + b_2 x_2 + \dots + h_2 x_h + l_2)^2 + \\ & + \dots + \\ & + (a_n x_1 + b_n x_2 + \dots + h_n x_h + l_n)^2 = \min \end{aligned} \quad (4.66)$$

Aceasta reprezintă o funcție de " x ", adică:

$$[vv] = F(x_1, x_2, \dots, x_h) \quad (4.67)$$

Pentru determinarea minimumului acestei funcții de mai multe variabile, trebuie ca derivatele parțiale de ordinul întâi ale funcției în raport cu fiecare din necunoscute să fie zero.

Efectuând aceste derivate obținem:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x_1} = & 2a_1(a_1 x_1 + b_1 x_2 + \dots + h_1 x_h + l_1) + \\ & + 2a_2(a_2 x_1 + b_2 x_2 + \dots + h_2 x_h + l_2) + \\ & + \dots + \\ & + 2a_n(a_n x_1 + b_n x_2 + \dots + h_n x_h + l_n) = 0. \end{aligned} \quad (4.68)$$

1. Tabloul coeficienților ecuațiilor de corecție:

Nr. crt.	a_i	b_i	.....	h_i	l_i	S_i	Control
1	a_1	b_1	.....	h_1	l_1	S_1	$S_1 = a_1 + b_1 + \dots + h_1 + l_1$
2	a_2	b_2	.....	h_2	l_2	S_2	$S_2 = a_2 + b_2 + \dots + h_2 + l_2$
.....
n	a_n	b_n	.....	h_n	l_n	S_n	$S_n = a_n + b_n + \dots + h_n + l_n$
Σ	$[a]$	$[b]$	.....	$[h]$	$[l]$	$[S]$	$\Sigma = [a] + [b] + \dots + [h] + [l]$

2. Tabloul coeficienților ecuațiilor normale

$[aa]$	$[ab]$	.....	$[ah]$	$[al]$	$[as]$	Control
	$[bl]$	.....	$[bh]$	$[bl]$	$[bs]$	
	
			$[hh]$	$[hl]$	$[hs]$	
				$[ll]$	$[ls]$	

Pentru calculul corect al coeficienților sistemului normal se fac următoarele controale:

în tabloul coeficienților ecuațiilor de corecție, se fac sumele atât pe orizontală (pentru fiecare ecuație) cât și pe verticală, sumele generate $[S]$ și Σ_i trebuind să fie identice.

4.7.2.3. Rezolvarea sistemelor de ecuații normale

Metodele de rezolvare a sistemelor liniare se împart în două grupe:

1. Metode exacte, care dau un algoritm finit pentru calculul soluției (exemplu: regula lui Cramer, metoda eliminării succesive Gauss).

2. Metode iterative, care permit găsirea soluției cu o eroare oricât de mică dar nenulă printr-un proces unic numit proces de iterație.

Metodele iterative sunt simple și comode în cazul în care se folosesc calculatoarele electronice.

Rezolvarea sistemelor de ecuații normale prin metoda eliminării (Gauss):

Considerăm un sistem normal de 3 ecuații:

$$\begin{aligned} [aa]x_1 + [ab]x_2 + [ac]x_3 + [al] &= 0 \\ [ab]x_1 + [bb]x_2 + [bc]x_3 + [bl] &= 0 \\ [ac]x_1 + [bc]x_2 + [cc]x_3 + [cl] &= 0 \end{aligned} \quad (4.76)$$

Metoda de rezolvare constă din reducerea de necunoscute, prin eliminări succesive:

Din prima ecuație a sistemului se scoate necunoscuta " x_1 " și se introduce în celelalte două:

$$x_1 = -\frac{[ab]}{[aa]}x_2 - \frac{[ac]}{[aa]}x_3 - \frac{[al]}{[aa]} \quad (4.77)$$

$$\begin{aligned} [ab]\left(-\frac{[ab]}{[aa]}x_2 - \frac{[ac]}{[aa]}x_3 - \frac{[al]}{[aa]}\right) + [bb]x_2 + [bc]x_3 + [bl] &= 0 \\ -\frac{[ab]^2}{[aa]}x_2 - \frac{[ab][ac]}{[aa]}x_3 - \frac{[ab][al]}{[aa]} + [bb]x_2 + [bc]x_3 + [bl] &= 0 \\ \left\{[bb] - \frac{[ab]^2}{[aa]}\right\}x_2 + \left\{[bc] - \frac{[ab][ac]}{[aa]}\right\}x_3 + \left\{[bl] - \frac{[ab][al]}{[aa]}\right\} &= 0 \end{aligned} \quad (4.78)$$

În cea de-a treia ecuație vom obține:

$$\begin{aligned} [ac]\left(-\frac{[ab]}{[aa]}x_2 - \frac{[ac]}{[aa]}x_3 - \frac{[al]}{[aa]}\right) + [bc]x_2 + [cc]x_3 + [cl] &= 0 \\ -\frac{[ab][ac]}{[aa]}x_2 - \frac{[ac]^2}{[aa]}x_3 - \frac{[ac][al]}{[aa]} + [bc]x_2 + [cc]x_3 + [cl] &= 0 \\ \left\{[bc] - \frac{[ab][ac]}{[aa]}\right\}x_2 + \left\{[cc] - \frac{[ac]^2}{[aa]}\right\}x_3 + [cl] - \frac{[ac][al]}{[aa]} &= 0 \end{aligned} \quad (4.79)$$

Notăm:

$$\begin{aligned}
 [bb] - \frac{[ab]^2}{[aa]} &= [bb.1] \\
 [bc] - \frac{[ab][ac]}{[aa]} &= [bc.1] \\
 [bl] - \frac{[ab][al]}{[aa]} &= [bl.1] \\
 [cc] - \frac{[ac][ac]}{[aa]} &= [cc.1]; \\
 [cl] - \frac{[ac][al]}{[aa]} &= [cl.1]
 \end{aligned}
 \tag{4.80}$$

Aceste expresii poartă denumirea de "algoritmii Gauss" de ordinul I. Cu ajutorul lor, ecuațiile se vor scrie:

$$\begin{aligned}
 [bb.1]x_2 + [bc.1]x_3 + [bl.1] &= 0 \\
 [bc.1]x_2 + [cc.1]x_3 + [cl.1] &= 0
 \end{aligned}
 \tag{4.81}$$

În continuare, vom elimina necunoscuta " x_2 " procedând analog: din prima ecuație scoatem " x_2 " și înlocuim în cea de-a doua:

$$x_2 = -\frac{[bc.1]}{[bb.1]}x_3 - \frac{[bl.1]}{[bb.1]}
 \tag{4.82}$$

Rezultă:

$$\begin{aligned}
 [bc.1] \left(-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}x_3 - \frac{[bl.1]}{[bb.1]} \right) + [cc.1]x_3 + [cl.1] &= 0 \\
 -\frac{[bc.1]^2}{[bb.1]}x_3 - \frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]} + [cc.1]x_3 + [cl.1] &= 0 \\
 \left\{ [cc.1] - \frac{[bc.1]^2}{[bb.1]} \right\} x_3 + \left\{ [cl.1] - \frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]} \right\} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{4.83}$$

Adoptând următoarele notații:

$$[cc.1] - \frac{[bc.1]^2}{[bb.1]} = [cc.2]$$

$$[cl.1] - \frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]} = [cl.2]$$

(4.84)

care poartă denumirea de "algoritmii Gauss" de ordinul II, ecuația finală va fi:

$$[cc.2]x_3 + [cl.2] = 0$$

(4.85)

Rezultă:

$$x_3 = -\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$$

(4.86)

Prin eliminări succesive am reușit să aducem sistemul la o formă triunghiulară.

Pornind în ordine inversă, se determină apoi x_2 și x_1 .

Toate calculele se fac într-un tabel numit "schema Gauss-Doolittle".

Schema Gauss-Doolittle redusă

x_1	x_2	x_3	L	S	Control
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
[aa]	[ab]	[ac]	[al]	[as]	---
-1	$-\frac{[ab]}{[aa]}$	$-\frac{[ac]}{[aa]}$	$-\frac{[al]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	Se adună coloanele 1+2+3+4=5
	[bb]	[bc]	[bl]	[bs]	---
	[bb.1]	[bc.1]	[bl.1]	[bs.1]	Se adună coloanele 2+3+4=5
	-1	$-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	Se adună coloanele 2+3+4=5
		[cc]	[cl]	[cs]	---
		[cc.2]	[cl.2]	[cs.2]	Se adună coloanele 3+4=5
		-1	$-\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	Se adună coloanele 3+4=5

Relația de verificare a soluțiilor obținute:

$$[(S - L)x_i] = -[L] \quad (4.87)$$

Soluțiile se mai pot verifica introducându-le în toate ecuațiile, pe care trebuie să le satisfacă. Această verificare va fi satisfăcută în limita preciziei de calcul - precizie care depinde de numărul de cifre utilizat în calcule, de numărul ecuațiilor și mai ales de conformarea sistemului.

CAPITOLUL 5. ANALIZA FACTORILOR CE INFLUENȚEAZĂ DEFORMAREA CONSTRUCȚIILOR SPECIALE

5.1. Aspecte generale referitoare la construcțiile hidrotehnice

În prezentul capitol se analizează factorii ce influențează deformarea construcțiilor speciale de tipul amenajărilor hidrotehnice.

Construcțiile hidrotehnice sunt lucrări ingineresti care intră în contact nemijlocit cu apa și care, împreună cu echipamentele și instalațiile cu caracter mecanic sau electric, cu care sunt dotate, servesc fie pentru folosirea în diverse scopuri a potențialului de care dispun sursele hidraulice, fie pentru combaterea efectelor, uneori dăunătoare ale apelor.

Acest gen de construcții care se realizează în cadrul amenajărilor hidrotehnice, ce pot fi constituite fie dintr-o lucrare hidrotehnică fie dintr-un ansamblu de construcții hidrotehnice, sunt : baraje, derivații, centrale hidroelectrice, diguri, prize de apă. În acest caz amenajarea poate avea un caracter complex, valorificând parțial sau total potențialul sursei de apă.

Într-o accepțiune mai largă, potențialul hidraulic reprezintă capacitatea unei surse hidraulice de a satisface la un moment dat necesitățile specifice ale dezvoltării materiale a societății umane. Construcțiile hidrotehnice valorifică potențialul hidraulic al surselor curgătoare, în prezent ajungându-se ca în multe țări să fie aproape în întregime folosit.

Construcțiile hidrotehnice au o serie de caracteristici și particularități prin care se diferențiază de celelalte construcții ingineresti, dintre care se menționează următoarele :

- sunt supuse intens acțiunii apei și anume :
 - ✚ acțiunea mecanică, manifestată ca presiune hidrostatică și hidrodinamică;
 - ✚ acțiune fizică, manifestată prin degradări, sufuzii chimice, coroziuni;
 - ✚ acțiune biologică asupra materialelor de construcții, exercitată prin intermediul algelor, bacteriilor, ciupercilor.
- sunt condiționate de o multitudine de factori locali (geomorfologie, hidrologie, tectonică, hidrogeologie) care au o mare variabilitate de la un amplasament la altul, ceea ce conferă un caracter de originalitate, de unicat fiecărei amenajări hidrotehnice.
- implică volume mari de lucrări (excavații, umpluturi, betonări de suprafață și în subteran, devieri de ape, injectări în fundații etc.), care necesită eforturi deosebite din punct de vedere tehnic și financiar
- fac parte, de cele mai multe ori, direct din procesul tehnologic al producției în care sunt angrenate, motiv pentru care pot fi asimilate ca utilaje de producție
- pot produce efecte grave când suferă distrugerii, afectând atât scopul pentru care construcția a fost realizată, cât și o serie de alte activități și

mai ales siguranța așezărilor omenești din zona situată în aval de construcții.

Construcțiile hidrotehnice se pot clasifica după mai multe criterii :

- după folosință : construcții pentru alimentare cu apă, pentru irigații, producere de energie, portuare, transport, atenuarea viiturilor, apărarea împotriva inundațiilor, piscicultură, ameliorarea microclimatului, sporturi nautice, agrement
- după amploarea folosințelor : de la construcții cu folosințe complexe la construcții cu o singură folosință
- după importanța în cadrul amenajării : construcții principale și secundare
- după durata de funcționare planificată : construcții definitive și provizorii
- după relația cu mediul înconjurător : construcții cu efecte importante și fără importanță pentru mediul înconjurător
- după efecte posibile în caz de distrugere : cu efecte mari asupra producției și zonei înconjurătoare ; cu efecte importante numai asupra producției; cu efecte reduse asupra producției, practic fără efecte asupra producției sau asupra mediului înconjurător

Principalele construcții ale amenajărilor hidrotehnice sunt lucrările care realizează retenții prin bararea cursurilor râurilor în vederea regularizării sau captării sursei de apă (baraje), transportului debitelor la consumatori (sisteme de derivații) și valorificării potențialului energetic al râurilor (centrale hidroelectrice). Aceste tipuri de construcții pot, în anumite condiții, să cedeze, ca orice lucrare din sfera realizărilor materiale. Rezultă de aici implicații deosebit de importante, care sunt analizate cu scopul de a îmbunătăți condițiile lor de realizare, funcționare și fiabilitate.

5.2. Tipuri de construcții hidrotehnice și elementele care le definesc

Construcțiile hidrotehnice sunt acele construcții care fac parte integrantă din amenajările hidrotehnice, alături de alte construcții, echipamente și instalații cu caracter mecanic sau electric.

În general amenajările hidrotehnice sunt alcătuite din următoarele tipuri de construcții hidrotehnice :

Barajele de derivație sau de acumulare care au rolul de a ridica nivelul apei în măsura necesară pentru a putea fi derivată într-o aducțiune sau de a concentra căderea și a acumula apele în vederea regularizării lor.

În funcție de materialele din care sunt construite, barajele sunt de trei tipuri și anume :

- baraje de beton
- baraje din anrocamente
- baraje de pământ

Barajele de beton, la rândul lor, se împart în trei categorii :

- baraje de greutate
- baraje în arc
- baraje cu contraforți

Barajele de greutate sunt construcții masive care rezistă împingerii apei prin acțiunea greutății proprii, care asigură stabilitatea barajului la răsturnare, prin momentul creat față de piciorul aval, și la alunecare, prin forțele de frecare care

acționează de-a lungul suprafeței de fundație. Secțiunea transversală de înălțime maximă reprezintă profilul barajului. Acesta a suferit, în timp, modificarea formei sale de la triunghi curbiliniu la triunghi sau poligon. Profilul barajului este caracterizat de următoarele elemente :

- ✚ unghiurile de înclinare ale paramentelor amonte și aval
- ✚ grosimea la bază a barajului (B)
- ✚ înălțimea a barajului (H)
- ✚ valoarea raportului ($\lambda = \text{Raport grosime bază} / \text{înălțime}$)
- ✚ grosimea a coronamentului (b)

$$\lambda = \frac{B}{H} = 0.75 \div 0.85 \quad (5.1)$$

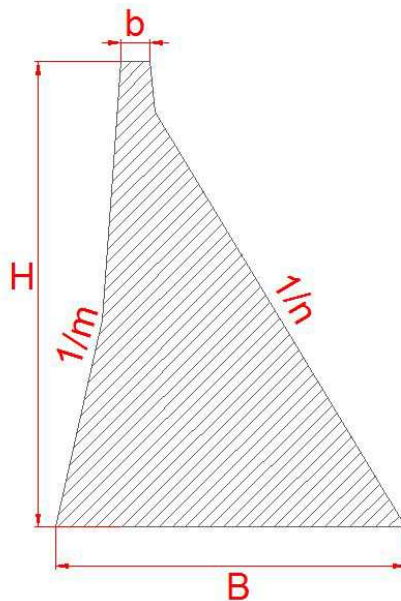


Fig.5.1. Profilul unui baraj de greutate

Barajele de beton arcuite sunt cele mai recente baraje. Ele au dimensiuni reduse, comparativ cu barajele de greutate și diferă față de acestea și prin modul de preluare și transmitere a sarcinilor la care sunt supuse. Aceste sarcini sunt preluate atât după verticală cât și după orizontală. Pentru un baraj arcuit este caracteristică secțiunea transversală prin planul în care înălțimea barajului este maximă. Această secțiune, care servește la trasarea și definirea formei geometrice a barajului, poartă denumirea de secțiunea maestră sau secțiunea centrală. Secțiunile maestre sunt definite de :

- ✚ raportul dintre lungimea L a corzii și înălțimea H a barajului
- ✚ raportul dintre pătratul înălțimii (H^2) și produsul dintre lățimea la bază (B) și raza de curbură la coronament (r)
- ✚ grosimea relativă
- ✚ grosimea la coronament b
- ✚ înălțimea barajului H

- grosimea la bază B
- lățimea văii sau coarda coronamentului L
- lungimea desfășurată a coronamentului L_d

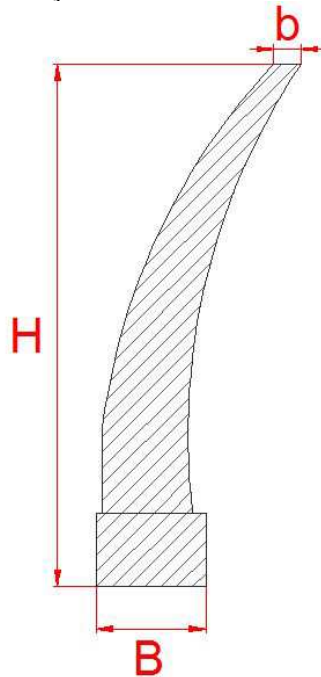


Fig.5.2. Profilul unui baraj arcuit

Barajele cu contraforți au apărut prin aplicarea ideii de a crea goluri în interiorul barajelor de greutate. Eforturile care acționează în cele mai solicitate zone ale acestor baraje, sunt situate în general sub valorile de care este capabil betonul, rezultă că o reducere a secțiunilor active, care determină creșterea eforturilor efective conduce la o utilizare mai rațională a materialului de construcție. Elementele caracteristice ale acestor baraje sunt :

- unghiurile de înclinare ale paramentului amonte și aval
- forma și dimensiunile contraforților
- înălțimea barajului (H)
- grosimea la coronament (b)
- grosimea la bază (B)
- lungime la coronament

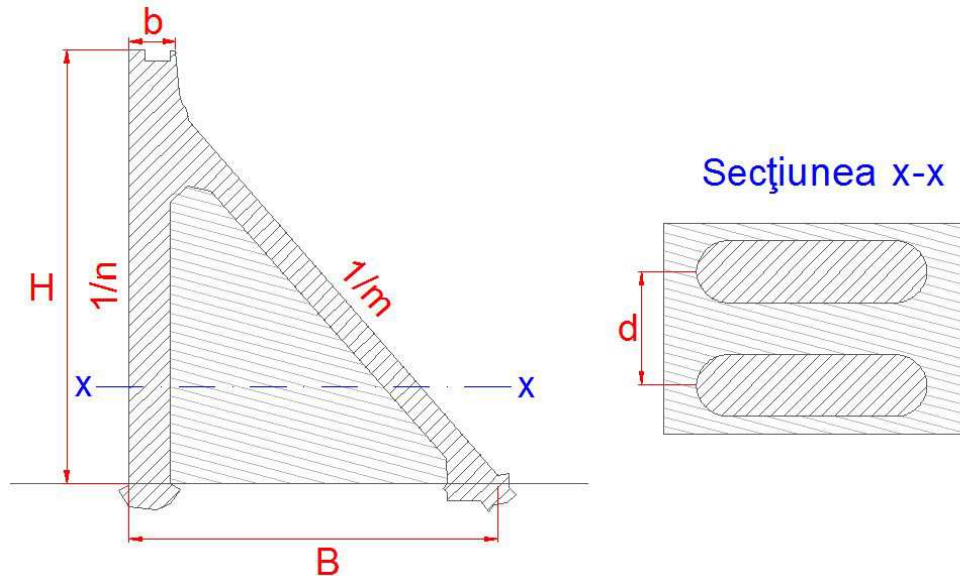


Fig.5.3. Profilul unui baraj cu contraforți

Barajele din anrocamente sau barajele de piatră se cunosc din secolele XVI - XVII. Acestea pot fi din piatră aruncată, piatră așezată regulat, piatră și pământ. Elementul de etanșare al unui baraj de piatră poate fi dispus în interiorul lui sau pe paramentul amonte al acestuia. Elementele caracteristice ale unui astfel de baraj sunt :

- ✚ unghiurile de înclinare ale paramentului amonte și aval
- ✚ lățimea la bază
- ✚ lățimea la coronament
- ✚ înălțimea barajului
- ✚ lungimea coronamentului
- ✚ forma, poziția și dimensiunile elementului de etanșare.

Obiectul cercetării din cadrul tezei de doctorat îl reprezintă DEFORMAREA BARAJELOR DE GREUTATE.

5.3. Baraje de greutate

5.3.1. Scurt istoric

Crearea de lacuri artificiale prin construcția de baraje reprezintă o idee foarte veche, introdusă în Spania de către romani. Mărturie stau două baraje care au supraviețuit din acea vreme — *Proserpina* ($H = 12$ m, $L_{\text{coronament}} = 420$ m) și *Cornalvo* ($H = 19,50$ m, $L_{\text{coronament}} = 195$ m). Ambele sunt construcții complexe, din pereți depiatră și zidărie, susținuți de contraforți și îmbrăcați în umpluturi masive de pământ. [66]

Cele mai vechi baraje de greutate propriu-zise s-au construit tot în Spania: Almonacid (1220), Almansa (1395), Alicante (1579) și mai târziu Puentes (1791) și Nijar (1850). Profilele primelor trei sunt prezentate în figura 5.4, fiind de remarcant alcătuirea și dimensiunile deosebite, rezultate ale intuiției constructorilor. Barajele Almansa și Alicante prezintă o ușoară curbură în plan, pentru cel din urmă aceasta fiind probabil o măsură suplimentară de siguranță, având în vedere că a deținut recordul de înălțime mai bine de 300 de ani. [66]

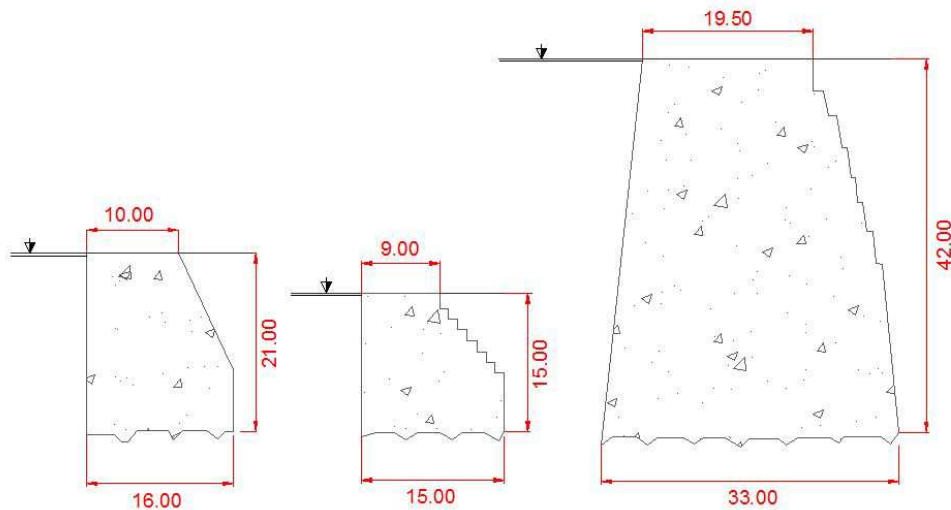


Fig. 5.4. Primele baraje de greutate.

Până în prima jumătate a secolului XIX s-au construit baraje de greutate cu profile diverse. Se cunosc în Franța, din perioada 1830—1850, barajele *Chazilly*, *Glomel*, *Settons*, în Rusia un baraj de piatră pe râul *Neglinnaia*, datînd din 1616, etc. În anul 1855, în Franța, se pun bazele calculului static pentru barajele de greutate. Barajul *Furens* (Fig. 5.5.), construit între 1861 și 1866, este considerat prototipul barajelor de greutate moderne. După această dată barajele de greutate, construite din zidărie de piatră, cunosc o mare dezvoltare atît în țările europene cît și în S.U.A. La începutul secolului XX se trece la construcția barajelor din beton, care se răspîndesc cu repeziciune în toate țările.

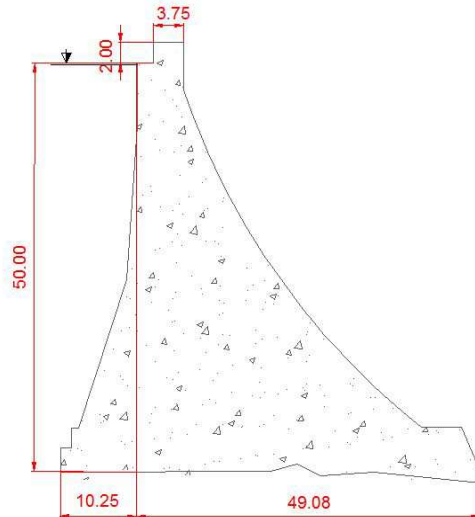


Fig.5.5. Barajul Furens

Cele mai mari baraje

Deși la volum maxim de beton prezintă minimum de siguranță, barajele de greutate au atins în ultimele decenii înălțimi considerabile, deținând astăzi recordul față de celelalte tipuri. În tabelul 5.1 se dau caracteristicile celor mai înalte baraje din lume.

Tabelul 5.1. Cele mai înalte baraje din lume

Denumirea	Înălțimea (m)	Țara	Locația pe pe râul
1. Jinping I Dam	305	China	Yalong Jiang
2. Nurek Dam	300	Tadjikistan	Vakhsh River
3. Xiaowan Dam	292	China	Mekong
4. Grande Dixence Dam	285	Elvetia	Dixence
5. Xiluodu Dam	273	China	Jinsha Jiang
6. Inguri Dam	271.50	Georgia	Enguri
7. Vajont Dam	261.60	Italia	Vajont
8. Manuel Moreno Torres (Chicoasén) Dam	261	Mexic	Grijalva
9. Tehri Dam	261	India	Bhagirathi
10. Álvaro Obregón Dam	260	Mexic	Rio Yaqui

Din punctul de vedere al acumulărilor realizate și al indicatorului - metru cub de apă raportat la metru cub de beton, se remarcă barajele de greutate din tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Baraje de greutate de mare performanță [66]

Denumirea (țara)	Înălțimea (m)	Volumul de apă acumulat (10^6 mc)	Volum de beton (10^6 mc)	mc apă
				mc beton
Bratsk (Rusia)	125	169 400	17,00	9 960
Krasnoiarsk (Rusia)	124	73 300	4,35	16 800
Zeya (Rusia)	113	68 000	8,00	8 500
Sanmen Hsia (China)	107	65 000	7,20	9 020
Bukhtarma (Rusia)	90	53 000	1,17	45 300
Boulder (S.U.A.)	221	38 296	3,36	10 520

În România recordul de înălțime în categoria barajelor de greutate îl deține barajul *Izvorul Muntelui-Bicaz*, construit pe râul Bistrița. El are 127 m înălțime, un volum de 1,62 mil. mc beton și realizează un lac de acumulare de 1,20 miliarde mc. Acumularea specifică, de 730 mc apă/mc beton, figurează printre cele mai ridicate din țară.

5.3.2. Elemente constructive componente

Barajele de greutate moderne sunt construcții masive executate din beton. Ele rezistă împingerii apei prin acțiunea greutății proprii. Aceasta asigură stabilitatea barajului la răsturnare, prin momentul creat față de piciorul aval, și la alunecare, prin forțele de frecare care acționează de-a lungul suprafeței de fundație.

Pentru a se evita fisurarea, provocată în principal de fenomenele de contracție a betonului și de cele de deformare ale terenului de fundație, corpul unui baraj de greutate se fragmentează prin *rosturi transversale*, situate la 12—15—18 m distanță, care merg până la suprafața de fundație. Aceste elemente componente poartă denumirea de *ploturi*.

Secțiunea transversală de înălțime maximă reprezintă *profilul barajului*. La primele baraje de greutate moderne acest profil avea forma unui triunghi curbiliniu (Fig. 5.6). La barajele de greutate moderne, profilul este triunghiular sau poligonal, din considerente de simplificare a execuției.

Linia orizontală, situată la mijlocul coronamentului, care leagă un versant de celălalt constituie axul barajului. În general axul unui baraj de greutate este rectiliniu. Sunt însă cazuri în care, din motive morfologice, geologice sau funcționale, axul are o formă frântă sau curbilinie.

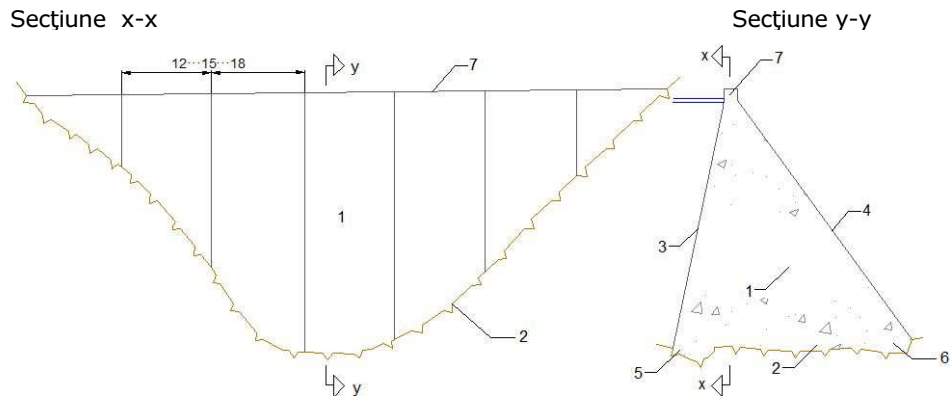


Fig. 5.6. Elemente caracteristice la un baraj de greutate:

1 — corpul barajului; 2 — talpă de fundație; 3 — parament amonte; 4 — parament aval; 5 — picior amonte; 6 — picior aval; 7 — coronament

5.3.3. Condiții geologice ale zonei de amplasare

Condițiile geologice și hidrologice ale unui amplasament de baraj influențează în mod considerabil concepția, execuția, siguranța și economicitatea lucrării. O statistică la nivel mondial arată că din totalul catastrofelor care s-au produs, 5% sunt datorate defectelor proprii ale barajelor, 15 % unei insuficiente capacități de evacuare a apelor mari și 80% condițiilor de fundare necorespunzătoare.

Un exemplu cunoscut din acest punct de vedere îl constituie prăbușirea barajului *St. Francis* din S.U.A., care a avut loc în martie 1928. Catastrofa a provocat moartea a 400 de oameni și pagube materiale însemnate. Barajul, cu axul ușor arcuit în plan, avea înălțimea de 64 m și un volum de beton de 105 000 mc. Cele 47 mil. mc de apă acumulată în lac asigurau necesarul de apă potabilă al orașului Los Angeles.

Pe malul drept barajul a fost fundat pe un conglomerat argilos, separat de micașturile care se extindeau pe malul stâng printr-o falie umplută cu argilă. Prăbușirea s-a produs prin acțiunea lentă, în decurs de doi ani, a apei de infiltrație care a înmuiat și spălat conglomeratele de sub talpa barajului și a provocat creșterea subpresiunilor. Blocuri de beton de diferite mărimi au fost antrenate de un front de undă de 24 m înălțime până la mari distanțe. Numai zona centrală a alunecat pe 15 cm, regăsindu-și apoi echilibrul.

5.3.3.1. Calitățile terenului de fundare

În general, un teren bun de fundare pentru un baraj de beton trebuie să aibă următoarele calități:

- rezistență suficientă pentru preluarea sarcinilor date de construcție;
- compresibilitate redusă și uniformă; în cazul barajelor înalte, terenul de fundație trebuie să fie practic incompresibil;
- permeabilitate mică și stabilitate la acțiunea apelor de infiltrație;
- structură monolită, caracterizată prin lipsa de crăpături, de dislocări, de zone de alterare profundă sau de dezagregare;
- conservarea formei sub acțiunea fenomenelor fizico-geologice

(surpări, alunecări de straturi, prăbușiri etc.).

— în natură se găsesc destul de rar amplasamente care să îndeplinească în măsură egală calitățile indicate mai sus. În majoritatea cazurilor sunt necesare lucrări de ameliorare a terenurilor de fundație, pentru a le face capabile să preia sarcinile date de baraj și rezistente la acțiunea apelor. Aceste lucrări se execută când volumul și costul lor nu depășesc limitele considerate raționale din punct de vedere tehnico-economic.

5.3.3.2. Proprietățile fizico-mecanice ale rocii de fundație

Proprietățile care trebuie determinate într-o primă etapă pentru a caracteriza din punct de vedere fizico-mecanic terenul de fundație sunt deformabilitatea, capacitatea de rezistență normală și tangențială, permeabilitatea și eventual starea inițială de efort.

Întrucât roca de fundație este un mediu complex, cu variații însemnate ale proprietăților mecanice și cu multe discontinuități, este bine ca determinările corespunzătoare să fie precedate de un studiu geologic extins, care să precizeze distribuția accidentelor tectonice, stratificația, planurile de intercalații, structura petrografică, gradul de alterare etc.

Se cunoaște că modulul de elasticitate E al unui material caracterizează compresibilitatea acestuia, adică deformabilitatea sub acțiunea solicitărilor. Cu cât valoarea acestuia este mai mare cu atât materialul este mai puțin compresibil (ceea ce face ca în cazul rocilor de fundație pentru baraje să se recomande moduli de elasticitate cât mai mari). În funcție de viteza de aplicare a solicitărilor, valorile găsite pentru E sunt diferite, distingându-se un modul de elasticitate static E_s , determinat prin aplicarea lentă a sarcinilor și un modul de elasticitate dinamic E_d determinat prin aplicarea practic instantanee a sarcinilor. [66]

Modulul de elasticitate static E_s se determină plecând de la ipoteza că roca este un mediu elastic, omogen și izotrop. Încercările de laborator nu sunt reprezentative (ele conduc la valori foarte ridicate) deoarece comportarea "in situ" a rocii este puternic influențată de fisurație. Există două metode folosite curent pentru determinarea pe teren a modulului E_s .

Prima metodă constă în încărcarea cu presiune hidrostatică a conturului unei galerii (de preferință circulare) practicate în amplasament și măsurarea defor-

mațiilor radiale produse; pe baza deformațiilor se calculează modulul. Prin orientarea galeriilor în direcții diferite și prin măsurarea deformațiilor pe mai multe radiale se determină variația caracteristicilor elastice. Acest tip de încercare este mai

adekvat pentru studiul galeriilor hidrotehnice, dar este deseori utilizat și pentru investigarea fundațiilor de baraje.

A doua metodă constă în măsurarea deformațiilor unei suprafețe plane, încărcate cu sarcini normale. Încercarea se face de obicei cu ajutorul preselor hidraulice, în galerii special excavate în amplasament. Peretele opus al galeriei constituie baza de împingere. În practică se aplică sarcini de 300... 600 t pe arii de circa 1 m^2 , dar tendința actuală este de a aplica sarcini mai mari, pe arii mai extinse. Măsurând deformațiile normale pe suprafața considerată mediu elastic semiinfinite, pe baza relațiilor lui Boussinesq se determină modulul de elasticitate.

Pentru coeficientul lui Poisson se admit valori cuprinse între 0 și 0,15, variația acestuia conducând la erori sub 2%.

❖ *Modulul de elasticitate dinamic E_d* se determină cu metode seismice, măsurând vitezele de propagare ale undelor de presiune longitudinale și transversale, generate de o explozie. Valorile modulului dinamic sunt mai puțin semnificative în studiul caracteristicilor mecanice ale rocilor de fundație, mai ales că până în prezent nu s-au găsit corelații satisfăcătoare cu modulul static. Metoda seismică permite însă determinarea grosimii pachetelor de straturi cu caracteristici diferite, orientarea discontinuităților etc. [66]

❖ *Rezistențele admisibile de compresiune σ_{ad}* se stabilesc pe baza încercărilor de compresibilitate, urmărind evitarea unor deformații mari sau supărătoare și menținerea comportării rocii în limita elastică. În ceea ce privește rezistențele de tensiune ale rocilor, acestea sunt reduse datorită discontinuităților și fisurării. De altfel, valoarea lor nu condiționează proiectarea barajelor.

❖ *Rezistențele de alunecare τ* caracterizează capacitatea de rezistență tangențială a rocilor, determinând stabilitatea la alunecare a unui baraj. Ca și în cazul deformabilității, este preferabil ca aceste determinări să se facă pe teren, pe zone cât mai extinse. În galeriile de încercare, praguri de rocă lăsate în radier sunt supuse lunecării prin aplicarea de forțe laterale cu ajutorul preselor plate (Fig. 5.7.). Forța normală pe planul de lunecare este controlată de un al doilea set de prese. Este indicat ca prin încercări diferite să se depisteze planurile de lunecare cele mai probabile, iar determinarea *coeziunii c* să corespundă acestora. Întrucât fundația barajului va fi în contact direct cu apa din lac, încercările se fac pe roca saturată.

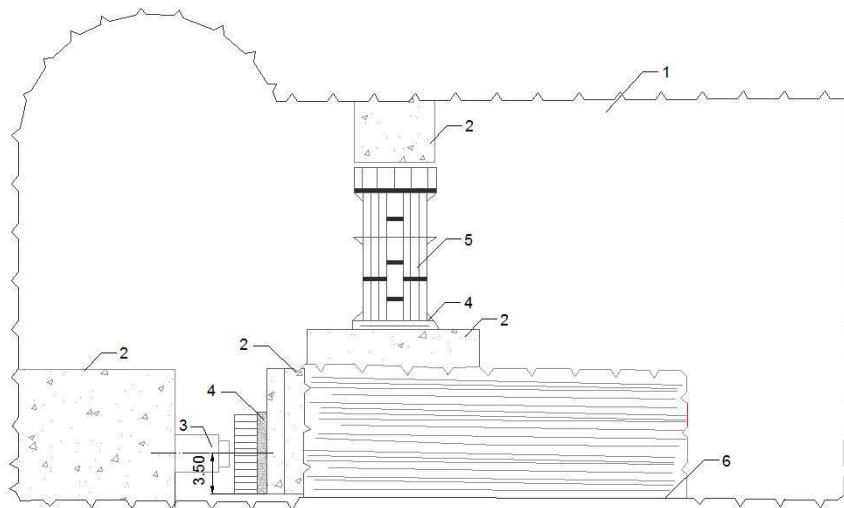


Fig.5.7. Schema unei încercări de coeziune — frecare:
1 — galerie de prospecțiuni; 2 — bloc de beton; 3 — presă (300 t); 4 — prese plate; 5 — coloane de transmitere a presiunii; 6 — suprafață de forfecare.

Pentru determinarea *coeficientului de frecare statică* beton-rocă $f = \text{tg}\phi$ se efectuează încercări similare, în care pragul de rocă este înlocuit de un bloc de beton, fundat în aceleași condiții ca barajul.

Dat fiind costul și dificultățile încercărilor de rupere prin lunecare „in situ”, acestea sunt limitate și completate cu încercări triaxiale de laborator. Pentru scopurile practice, ambele arată că legea lui Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad 5.2)$$

dă o indicație satisfăcătoare asupra rezistenței de lunecare τ . Efortul normal efectiv σ și unghiul de frecare internă φ se determină pentru situația rocii saturate.

Permeabilitatea terenului de fundație are la rândul ei influență însemnată asupra comportării barajului, apa de infiltrație afectând stabilitatea acestuia.

5.3.4. Condiții morfologice ale amplasamentului

Când condițiile geologice sunt favorabile, un baraj de greutate poate fi construit în văi cu secțiuni transversală de orice formă. Sunt de preferat formele continue, fără proeminențe sau depresiuni locale prea importante. Prin faptul că un baraj de greutate se execută din ploturi independente, separate prin rosturi de dilatație, comportarea sa în ansamblu nu este influențată de morfologia văii.

✚ Rigole de eroziune

Surprize destul de neplăcute sunt oferite de așa-numitele rigole de eroziune, ascunse sub albiile actuale ale râurilor. Unul dintre exemplele cele mai cunoscute de acest gen este acela al barajului Schräh din Elveția: rigola de eroziune pătrunde sub nivelul râului pe o adâncime de 44,50 m și era colmatată cu aluviuni. Conturul terenului de fundație a fost determinat prin puțuri și galerii excavate în versanți, transversal și în lungul văii. Costul lucrărilor a fost afectat serios de prezența acestei rigole, la început neașteptate. [66]

✚ Influența formei văii asupra comportării barajului

Faptul că forma văii influențează alegerea tipului de baraj se confirmă odată în plus în situațiile în care barajele de greutate se execută în văi înguste. În aceste condiții este evident că presiunea hidrostatică este preluată în mai mare măsură după orizontală, ca în cazul unui baraj arcuit, decât după verticală. Într-o secțiune orizontală, dacă se exclud zonele tensionate, se obțin bolți active, care sunt adevăratele elemente de rezistență. Iată deci că până la urmă forma văii determină modul de comportare al barajului construit.

5.3.5. Elemente geometrice și constructive caracteristice barajelor de greutate

5.3.5.1. Profile caracteristice

Profilele barajelor de greutate construite după anul 1900 au în majoritatea lor formă triunghiulară, mai rațională decât forma dreptunghiulară sau trapezoidală a barajelor spaniole, construite în Evul Mediu. Cu toate acestea, modul în care este repartizat betonul în profilele triunghiulare diferă de la o țară la alta, ținând seama de condițiile naturale locale și de criteriile de dimensionare admise. [67]

Din punctul de vedere al formei geometrice, profilele barajelor de greutate se clasifică în:

- profile cu ambele paramente *înclinate*;
- profile cu paramentul amonte vertical;
- profile cu paramente frânte (poligonale).

Din punctul de vedere al posibilităților de evacuare a apelor mari, profilele se clasifică în:

- profile *nedeversante*;
- profile *deversante*.

5.3.5.2. Structura fundației

Ca și dispoziția generală a barajului, alcătuirea fundațiilor este direct influențată de condițiile geologice din amplasament. Rezistența și omogenitatea rocii, gradul de alterare și fisurație, sunt elementele de care depind dimensiunile și adâncimile fundațiilor.

În mod normal, suprafața de fundație se excavază neregulat, cu proeminențe și adâncituri care să mărească stabilitatea la alunecare a barajului (fig. 5.8.). În cazul rocilor sedimentare, în special când stratificația este orientată defavorabil, sau când coeficientul de frecare statică beton-rocă este redus, barajul se încastrează în teren pe adâncimi mari, pentru a folosi și rezistența straturilor din aval . [67]

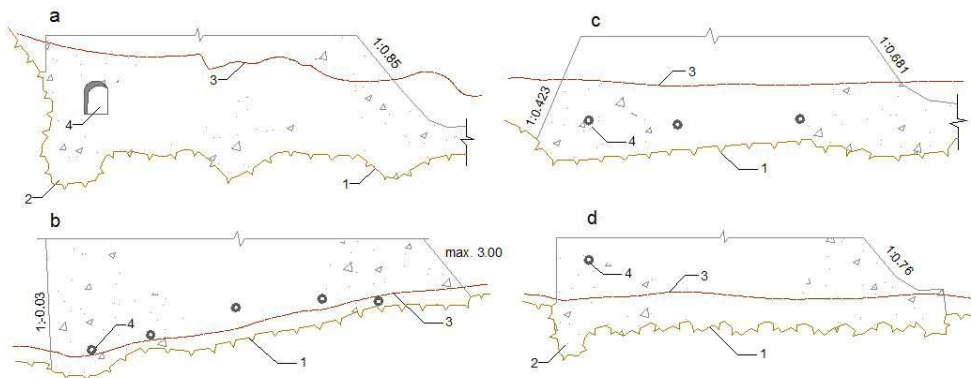


Fig. 5.8. Exemple de fundare a barajelor de greutate:
a—In den Schlagen; b — Grande Dixence; c — Izvorul Muntelui—Bicaz; d — Bao — Puente Bibery;
1—linia fundației; 2 — pinten; 3— teren natural; 4 — galerie de picior.

În același scop, suprafața de fundație se înclină uneori spre amonte, cu pante de ordinul 1 : 20, 1 : 15, 1 : 10, micșorându-se pe această cale forțele tangențiale. Înclinarea se poate realiza profitând de orientarea generală a rocii de bază, ca în cazul barajului *Grande—Dixence* (fig. 5.8, *b*), sau prin crearea de redane, după cum s-a procedat la barajul de la *Bicaz* (fig. 5.8, *c*).

În vederea opririi infiltrațiilor care s-ar putea produce de-a lungul suprafeței de fundație și a antrenării masivului stâncos în preluarea forțelor horizontale, majoritatea barajelor sunt prevăzute cu un pinten la piciorul amonte, care pătrunde pe adâncimi de ordinul metrilor în terenul de fundație (fig. 5.8, *d*).

Sunt situații în care, din cauza profilului terenului de fundație sau a fenomenelor de eroziune din albie, fundațiile iau forme neobișnuite. Spre exemplu, în cazul barajului *Chambon* (Franța), fundat într-o vale glaciară, la

descoperită s-au identificat două rigole de eroziune foarte dezvoltate la picioarele amonte și aval.

✓ **Alcătuirea în secțiune longitudinală**

După axul longitudinal al barajului, fundațiile urmăresc în general profilul văii barate. Pentru a se evita fisurarea betoanelor, este recomandabil a se amenaja terenul, înlăturându-se proeminențele stâncoase locale, care, prin discontinuitatea lor, favorizează acest fenomen.

În scopul asigurării unei bune stabilități longitudinale a ploturilor componente, fundațiile barajelor masive executate în trecut se realizau în trepte. După cum se vede în figura 5.9. a, un plot putea rezema pe 3 ... 4 asemenea trepte, cu înălțimea limitată la circa 3 m. Pe lângă dificultățile de execuție pe care le comportau, aceste trepte măreau pericolul de fisurare a betoanelor. La barajele moderne s-a renunțat la această dispoziție, suprafața de fundație excavându-se cu neregularități, dar având o continuitate generală (fig. 5.9, b). Pentru a se evita eventuala alunecare spre mijlocul văii a ploturilor turnate pe versanți, este recomandabil ca betonarea să se efectueze începând din vale spre versanți. Procedând astfel, ploturile situate la cote superioare pot rezema pe cele turnate la cote inferioare. [67]

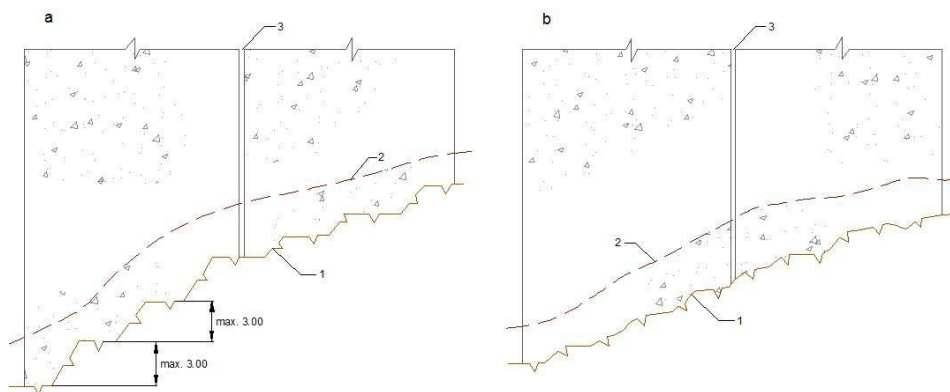


Fig. 5.9. Fundarea în secțiune longitudinală:

a—în trepte; b—continuă;
1—suprafață de fundație; 2—linia terenului natural; 3—rost.

✓ **Execuția excavațiilor**

În condiții geologice normale pentru a feri roca de fundație de fisurări, excavațiile se execută în două faze principale: excavații grosiere și excavații de finisaj.

Excavațiile grosiere se atacă începând de la partea superioară a versanților spre talveg. Materialul provenit din săpături se rostogolește spre platformele intermediare de evacuare, sau, la înălțimi mai reduse direct în talveg, de unde este transportat în halda de steril. În apropierea limitei acestei faze, excavațiile se execută cu încărcături reduse (200 g/gaură).

Excavațiile de finisaj au drept scop profilarea definitivă a fundațiilor prin înlăturarea ultimului strat de rocă, cu grosimea în jur de 1,00 ... 1,50 m. Cea mai mare parte a acestui strat se excavează cu încărcături de circa 100 g/gaură, ultimii

decimetri înlăturându-se cu ciocanul de abataj, sau în cazuri excepționale, cu încărcături de 50 g/gaură.

După terminarea excavațiilor, suprafața de fundație se pregătește pentru betonare. Această operație începe prin îndepărtarea rocii fisurate și a bucăților de stâncă rămase de la excavații și curățirea de praf sau corpuri străine. După curățire se trece la spălarea suprafeței cu un jet de apă sub o presiune de circa 4 at și apoi cu un jet combinat de apă cu aer, la aceeași presiune. Spălarea încetează când apa se scurge limpede. După prima spălare, suprafața de fundație se curăță îngrijit, cu perii metalice și se suflă apoi cu aer comprimat la o presiune de circa 4 at. Dacă este cazul, aceste operații se pot repeta.

La terenurile de fundație alcătuite din roci care după dezvelirea lor se alterează în contact cu aerul (șisturi, argile silicioase, argilite, eventual cu alternanțe de calcare sau gresii), se excavează porțiuni reduse, astfel încât aceste suprafețe să rămână descoperite cât mai puțin timp.

✓ **Tratarea fundației**

După curățirea suprafeței de fundație se trece la tratarea zonelor fisurate și a faliilor. Filoanele de argilă și faliile cu grosimi de 1 ... 20 cm se curăță de materialul alterat pe o adâncime de 1,5 ori lățimea, în orice caz mai mare de 30 cm. Zonile fisurate se excavează suplimentar în conformitate cu indicațiile geologice. Plombarea se face odată cu începerea betonării, fie cu mortar de granulație mai mare, fie cu beton de aceeași calitate cu cel din corpul barajului.

Pe lângă aceste tratamente superficiale, uneori se aplică măsuri constructive în vederea uniformizării proprietăților fizico-mecanice ale suprafeței de fundație.

✓ **Consolidarea rocii de fundație [67]**

Când prezintă o fisurație importantă, terenul de fundație se consolidează prin injectare cu suspensie de ciment. Această operație are drept scop:

- umplerea fisurilor și a golurilor pentru realizarea unui masiv omogen de rocă;
- micșorarea permeabilității terenului și deci reducerea infiltrațiilor de apă și a subpresiunilor exercitate de acestea;
- realizarea unei legături solide și etanșe a fundațiilor cu stâncă.

Injectiile de consolidare se efectuează în găuri de foraje. Adâncimea până la care pătrund în rocă variază între 5 și 15 m în raport cu tipul construcției. Forajele pentru injectare, care acoperă în mod uniform suprafața de injectat, se situează la o distanță de ordinul a 2... 3 ... 4 m unele de altele. Densitatea lor variază în raport cu aceiași factori, fiind cuprinsă între 7,5 și 25 m² suprafață de fundație gaură de foraj. Suprafața specifică de 15 ... 20 m²/gaură este frecvent adoptată. În roci tari, în general slab fisurate și la baraje cu înălțimea peste 30 m, adâncimea de injectare curent folosită este de circa 5 m.

O atenție deosebită se acordă injectării zonelor de fisurație intensă, dislocațiilor, faliilor și în general deranjamentelor tectonice care apar în fundație sau în apropierea ei. Forajele se îndesesc în aceste sectoare, iar injectarea se extinde și în zonele accidentate adiacente fundației. Când crăpăturile rocii sunt mari (peste 3 mm) găurile se execută cu ciocane perforatoare grele.

Este recomandabil ca injectarea să se facă după ce terenul de fundație a fost acoperit cu primele lamele de beton. În acest fel se evită ieșirea suspensiei de ciment injectate prin fisuri, la suprafață. Vechimea stratului de beton străbătut trebuie să fie de minimum 5 zile (sau să aibă o rezistență de 25 kg/cm²), pentru a permite ulterior fixarea dispozitivelor de injectare. Valoarea presiunii de injectare se stabilește în raport cu proprietățile rocii și grosimea stratului de beton de încărcare. Presiunile uzuale sunt

de 1 ... 2... 3 at, fără a depăși 6 at. La suprafața terenului presiunea se limitează în general la 1 at.

Injecțiile de legătură între beton și rocă se execută când roca de fundație este suficient de rezistentă și nefisurată și injecțiile de consolidare nu mai sunt necesare. Ele se pot face fie lăsând în beton o tubație, care are amenajat la contactul cu fundația un cuib de pietriș, prin care pătrunde suspensia de ciment în planul fundației, fie tot prin foraje, duse însă numai până în suprafața de fundație. Întotdeauna trebuie să existe grija de a nu se efectua asemenea injecții cu presiuni mai mari decât cele create de coloana de beton. În caz contrar, în locul unei legături, se provoacă desprinderi care pot compromite lucrarea.

✓ **Lucrări de etanșare**

Când roca de fundație are permeabilitate mare și pierderile de apă devin inadmisibile, se prevăd operații de injectare în adâncime cu suspensie de ciment, realizând *voaluri* sau *perdele de etanșare*.

În funcție de poziția lor se clasifică în perdele frontale și de larg. În zona barajului injectarea se efectuează de obicei din galerii special prevăzute la piciorul amonte, mai rar de pe versanți, înainte de betonare. În zonele laterale, operațiile de injectare se efectuează de la suprafață sau din galerii ce străbat amplasamentul.

5.3.5.3. Deversoare

Din componența barajelor fac parte și deversoarele. Acestea sunt descărcătoare de ape mari, deci uvraje special realizate în corpul barajelor sau adiacente acestora, cu scopul de a permite tranzitarea, din bieful amonte în bieful aval a debitelor maxime ce apar pe cursurile de apă în perioadele de ape mari, precum și descărcarea apei din lac în caz de revizii sau avarii ale barajului sau chiuvetei lacului de acumulare.

Deversoarele sunt descărcătoare de suprafață și se clasifică după mai multe criterii, unul dintre acestea fiind dispunerea lor față de baraj. Cele mai frecvente dispuneri sunt în zona centrală a barajului (deversoare centrale), respectiv în lateral (deversoare laterale). [66]

5.3.5.4. Deversoare laterale

 **Domenii de aplicare**

Deversoarele laterale sunt descărcători la care creasta deversantă este plasată în lungul versantului, paralel cu partea superioară a canalului de descărcare. Debitul deversează spre peretele opus, se întoarce cu 90° și apoi se scurge spre canalul sau galeria de evacuare. Se disting trei elemente caracteristice: pragul deversant, canalul colector și canalul sau galeria de evacuare.

Descărcarea apelor mari prin deversoare laterale se adoptă, în general, la barajele de pământ sau de anrocamente situate în văi cu versanți abrupti, care urcă mult peste cota coronamentului. Când deversarea frontală nu este posibilă, iar realizarea unui deversor canal rezultă ca fiind neeconomică, se execută deversoare laterale și pentru alte tipuri de baraje.

Din cauza mișcării turbulente, a impactului și vibrațiilor din canalul colector, nu se admite însă execuția deversoarelor laterale decât pe rocă sănătoasă.

Deși are o eficiență hidraulică redusă și costul soluției este destul de ridicat, este indicat să se analizeze adoptarea unui deversor lateral când:

- se urmărește o lamă deversantă redusă și deci un front mare de deversare;
- se urmărește dirijarea curgerii către o galerie existentă în vecinătate.

Elemente constructive

Pragul deversant, trasat sub forma unui profil practic, se execută din beton masiv, fundat pe rocă. Calculul de rezistență se face ca la barajele de greutate deversante. La lungimi mari, frontul poate fi fragmentat prin pile intermediare. Uneori pragul este echipat cu stavile, reducând supraînălțările din lac la trecerea viiturilor.

Canalul colector are secțiunea transversală trapezoidală, păstrând lățimea la fund constantă. Mărirea capacității de transport, corespunzătoare variației debitului colectat, se face prin panta fundului. În condiții speciale se poate prevedea și variația lățimii la bază. Proportțiile secțiunii sunt dictate de condițiile de deversare și de racordul cu versantul. Când raportul dintre lățime și adâncime este mare, înălțimea de curgere este redusă și difuzarea apei deversate se face dificil. Optimul hidraulic se realizează când acest raport este minim, lățimea la bază rezultând din condițiile de execuție (gabaritul utilajelor).

Înscrierea în versant se poate face fie cu excavații minime, dar cu un volum de beton mare în pragul deversant, fie cu excavații mari și reducerea corespunzătoare a volumului de beton. Soluția economică este aceea pentru care suma costurilor pentru excavații și betoane este minimă. Este însă necesară verificarea stabilității versantului, care ar putea fi compromisă prin executarea unei tranșee prea adânci la baza lui.

Pentru a asigura un regim lent de curgere în canalul colector trebuie găsită combinația de prag sau strâmtorare aval și pantă longitudinală, care să dea înălțimea maximă de curgere, fără să înece deversorul de intrare. Spre exemplu, încercările făcute pentru deversorul barajului *Boulder* au indicat ca optimă prevederea unui prag în secțiunea de racord cu galeria și în același timp o îngustare care să compenseze zona ocupată de lama deversantă. Pentru o soluție rațională trebuie studiate mai multe variante de lățime la bază, pantă și secțiune de control din care să se aleagă soluția economică. [66]

Canalul rapid, care evacuează debitul spre albie, se realizează cu aceleași dispoziții constructive ca la deversoarele canal. Când înscrierea canalului de evacuare nu se poate face în condiții economice, evacuarea apei din canalul colector se face printr-o galerie. Deseori, executarea galeriei este indicată când se poate utiliza parțial fosta galerie de deviere. După terminarea execuției barajului, zona amonte se betonează sau se închide cu dopuri de beton și se amenajează zona de deșeu, corespunzător noilor debite ce se evacuează. Astfel de galerii s-au amenajat pentru cele două deversoare laterale ale barajului *Boulder*, capabile de un debit de 2×5650 mc/s.

În funcție de dimensiunile sale și de debitul evacuat, galeria poate funcționa cu nivel liber sau sub presiune. Funcționarea sub presiune pentru întreaga gamă de debite evacuate este mai indicată, deoarece, în acest caz, evacuarea plutitorilor este asigurată, iar în curent nu apar vibrații și cavitație.

Pentru prezenta cercetare deversoarele laterale sunt deosebit de importante. Barajul Petrimanu are în componență un deversor lateral pe partea dreapta, reperii de nivelment R2 și reperii de microtriangulație M1 și M3 fiind situați în imediata apropiere a deversorului iar M2 în mijlocul acestuia.

5.3.6. Forțele care acționează asupra barajelor de greutate

În vederea determinării eforturilor care solicită corpul unui baraj, respectiv roca pe care este construit și a stabilirii dimensiunilor sale, este necesar a se cunoaște forțele care acționează asupra lui. Cele mai exacte metode de calcul nu pot asigura stabilitatea construcției dacă evaluarea solicitărilor nu este corectă. Cu toate acestea, la aprecierea unora dintre forțe se fac o serie de aproximații inerente. Diverse normative, instrucțiuni și publicații de specialitate prezintă moduri diferite de interpretare și evaluare, care însă nu se diferențiază prea mult între ele din punct de vedere calitativ. Rămâne ca prin studiile și măsurătorile care se fac pe lucrări executate să se soluționeze și aceste probleme. [67]

În mod obișnuit, când se analizează solicitările asupra barajelor, se prezintă forțele care acționează asupra barajelor de greutate, deoarece în acest caz trebuie să se țină seama de cele mai multe forțe exterioare care să apară la o construcție de retenție.

✚ Clasificarea solicitărilor

Solicitările se pot împărți funcție de durata, de frecvența și de importanța lor

I. *solicitări normale* — cu un caracter permanent sau cu frecvență mare;

II. *solicitări accidentale* — cu o frecvență mică și foarte mică și cu un efect relativ redus;

III. *solicitări extraordinare* — cu o frecvență foarte mică, dar cu un efect important.

Solicitările normale provin din:

- presiunea hidrostatică pentru condiții normale de exploatare;
- presiunea hidrodinamică pentru condiții normale de exploatare;
- subpresiunea în condiții normale de funcționare a sistemelor de drenaj
- presiunea aluviunilor și a depunerilor din lac;
- greutatea proprie, a suprastructurilor și a echipamentului;
- precomprimarea barajului și a unei părți din roca de fundație;
- variațiile de temperatură ale mediilor exterioare.

Solicitările accidentale provin din:

- presiunea valurilor;
- presiunea statică și dinamică a gheții;
- presiunea vântului

Solicitările extraordinare provin din:

- presiunea hidrostatică în cazul viiturilor catastrofale;
- presiunea hidrodinamică în condițiile exploatarei excepționale;
- subpresiunea în condițiile nefuncționării sistemului de drenaj;
- acțiuni seismice.

Luarea în considerație sau neglijarea unor forțe sau a altora depinde de tipul barajului și de înălțimea lui.

5.3.7. Stabilitatea la alunecare a barajelor de greutate

Sub acțiunea diferitelor forțe care acționează asupra lui, un baraj trebuie să se găsească în permanență în echilibru, adică să fie stabil. Este necesar ca stabilitatea barajului să fie asigurată și în cazuri excepționale, când forțele care îl solicită au depășit valorile normale de calcul. Se cere deci ca barajul să aibă o rezervă de stabilitate care se exprimă prin coeficientul de siguranță.

Cedarea unui baraj se poate produce teoretic prin:

- *alunecarea spre aval*, pe terenul de fundație;
- *răsturnarea* în jurul piciorului aval;
- *ridicarea din fundație*, sub acțiunea subpresiunilor (plutirea construcției).

Pentru barajele de tipuri și forme obișnuite, stabilitatea la alunecare este cea care determină, împreună cu condițiile de rezistență, dimensiunile construcției. În majoritatea cazurilor un baraj stabil la alunecare satisface și celelalte condiții de stabilitate, la răsturnare și plutire.

Măsuri constructive

Pentru a spori stabilitatea la alunecare a barajelor, se iau de obicei unele măsuri constructive, al căror efect nu se poate traduce întotdeauna în cifre. În afară de tratarea specială a suprafeței de fundație și de injecțiile de legătură și consolidare, însăși forma geometrică a tălpii barajului poate aduce rezerve importante de stabilitate. [67]

În prezenta teză de doctorat a fost ales barajul de greutate Petrimanu. Partea aplicativă este în continuare prezentată pe parcursul capitolului următor.

CAPITOLUL 6. URMĂRIREA DEFORMĂȚILOR BARAJULUI PETRIMANU PRIN METODE DE TOPO - GEODEZICE

6.1. Prezentarea generală a amenajării

Amplasarea

Barajul Petrimanu (Fig. 6.1) este amplasat pe râul Latorița, la cca. 25 km amonte de confluența acestuia cu râul Lotru, 5km aval de barajul Galbenul și face parte din bazinul hidrografic al râului Lotru (cod cadastral VIII - 1 - 135 - 13), Fig.6.2.

Accesul în amplasament este asigurat prin drumul forestier Ciunget - Petrimanu - Galbenul. Accesul la baraj se face de la Râmnicu Vâlcea pe drumul E15A până la Brezoi, apoi pe drumul 7A, cca. 30km și în direcția Ciunget la 25km amonte de confluența cu râul Lotru.

Lacul de acumulare asigură colectarea și compensarea debitelor derivate de ramura sud a sistemului de captări și aducțiuni secundare a UHE Lotru - Ciunget. Din lacul de acumulare Petrimanu apa va fi pompată în lacul Vidra, prin aducțiunea Petrimanu - Vidruța. [62]

Bazinul râului în secțiunea amplasamentului are o suprafață de 71 km², debitul mediu al diferenței de bazin este de cca. 0,5 mc/s.

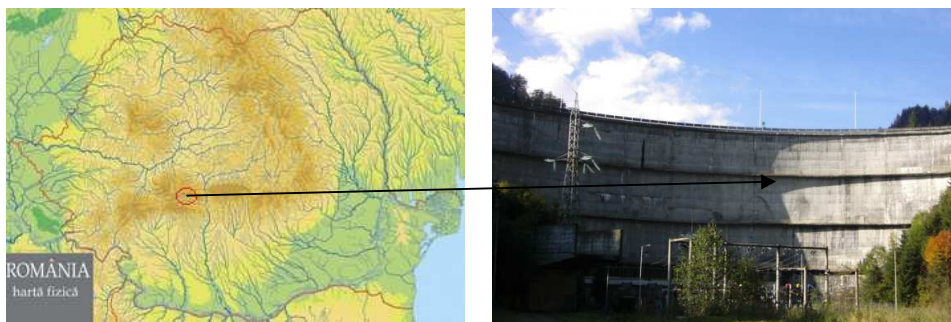


Fig.6.1. Barajul Petrimanu

6.1.2. Deținătorul / Administratorul

Amenajarea aparține patrimoniului S.C. Hidroelectrica S.A., fiind în administrarea Sucursalei Hidroelectrica Râmnicu Vâlcea.

6.1.3. Funcțiile lucrării hidrotehnice, clasa și categoria de importanță

Barajul Petrimanu servește regularizării debitului zilnic pentru trei pompe orizontale. Scopul amenajării este acela de a colecta și dirija (gravitațional și prin pompaj) apele derivate din ramura Sud a sistemului de captări și aducțiuni secundare UHE Lotru – Ciunget în acumularea principală Vidra, printr-o galerie de 6200 m lungime, aducțiunea Petrimanu – Vidruța (Fig.6.3).

Nivelul normal de retenție are cota 1130 mdM.

Clasa de importanță a barajului , conform STAS 4273 – 61 este II.

Conform Normelor Tehnice ale Lucrărilor Hidrotehnice (NTLH) – 021 categoria de importanță a lucrării hidrotehnice și construcțiilor aferente este B – construcție de importanță deosebită.

6.1.4. Construcțiile și instalațiile aferente lucrării hidrotehnice

Lucrarea hidrotehnică constă în:

- a) Baraj de beton în arc cu deversor fără stavile, cu două deschideri de 10 m plasate lateral la coronament;
- b) Golirea de fund constituită dintr-o tubulatură de Ø 1000 mm, amplasată în plotul 8;
- c) Stația de pompare echipată cu două vane fluture, la piciorul aval al barajului cu rost între baraj și stația de pompe.

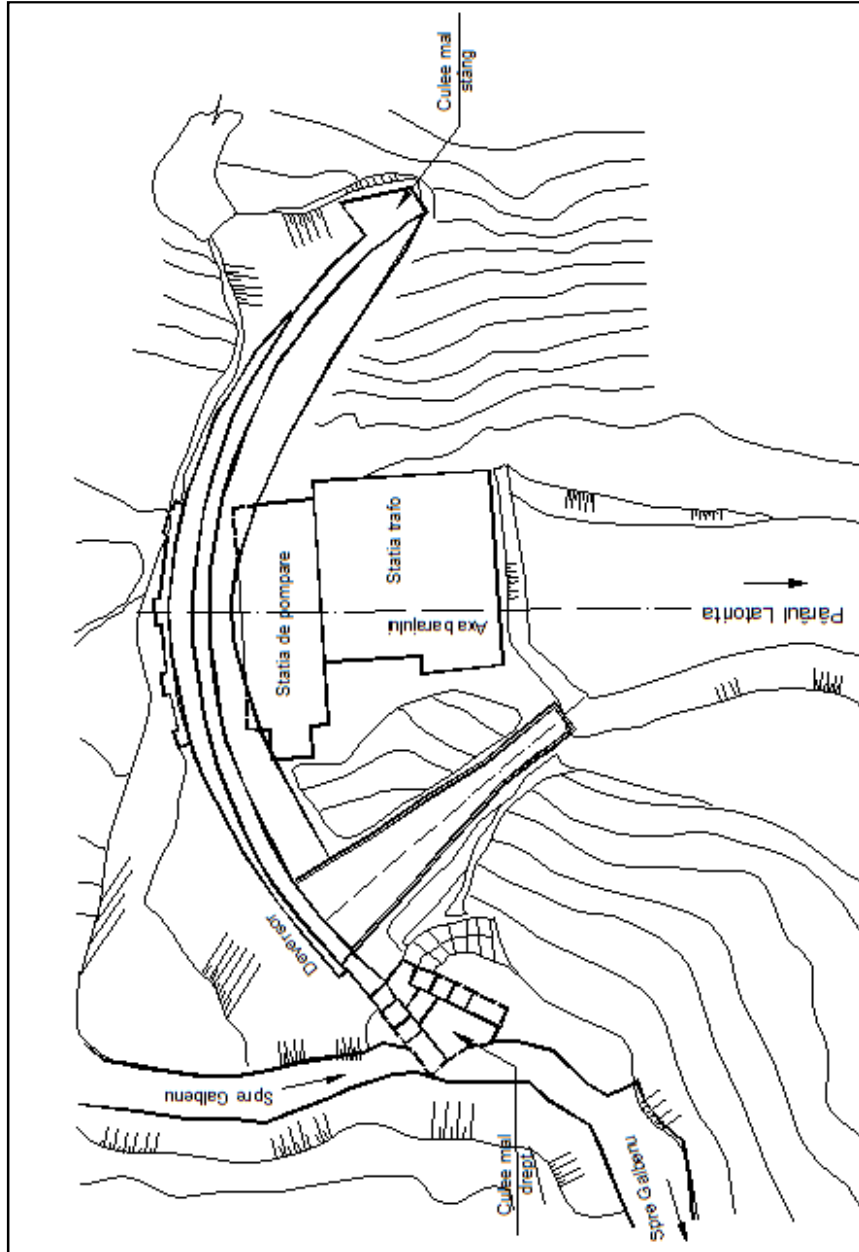


Fig. 6.3. Barajul Petrimanu - Plan de situație

6.1.5. Date caracteristice pentru lucrarea hidrotehnică [96]

Datele caracteristice ale lucrării hidrotehnice sunt prezentate mai jos:

✚ Nivele caracteristice:

Cota coronament	1134 mdM
Nivelul normal de retenție	1130 mdM
Nivel minim de exploatare	1114 mdM
Cota albiei naturale	1085 mdM
Cota radier - golirea de fund	1092,50 mdM
Cota radier priză	1198 mdM

✚ Volume caracteristice:

Volumul lacului (total)	2,5 mil.mc
Volumul util	1,3 mil.mc
Volumul de atenuare a viiturilor	700 mii mc
Suprafața lacului la NNR	17,2 ha
Suprafața bazinului hidrografic	71 km ²

✚ Caracteristici constructive:

➤ Barajul:

Tipul barajului	din beton de greutate în arc
Cota coronamentului	1134 mdM
Înălțime maximă	49,00 m
Lungime la coronament	170,00 m
Lungimea corzii la coronament	150,00 m
Lățime la coronament	3,00 m
Raza la coronament	98,00 m
Unghi la centru	112°
Număr de ploturi	19 buc.
Lățimea ploturilor	10,00 m
Raportul coardă/înălțime (L/H)	3,00
Lungime coronament / înălțime (L/H)	3,40
Raport grosime bază / înălțime (B/H)	0,26

➤ Evacuatori:

- Deversor fără stavile, cu creasta la cota 1130,00 mdM, cu două deschideri de 10 m plasate lateral la coronament, continuat cu un canal rapid lung de cca. 50 m, terminat cu o trambulină în consolă, pe sub care trece drumul de acces la stația de pompare. Debitul de calcul este de $Q_{c2\%} = 200 \text{ mc/s}$, cu o lamă deversoare de 3,20m ; iar debitul de verificare este de $Q_{v0,5\%} = 284 \text{ mc/s}$ cu o lamă deversoare de 3,96m.
- Golirea de fund amplasată în plotul 8, constituită dintr-o tubație de Ø 1000mm, echipată cu două vane fluture amplasate în clădirea stației; Capacitatea de evacuare a golirii de fund este de cca. 9 mc/s la nivel minim de exploatare și de 12 mc/s la NNR.

➤ Prize:

- a. priza golirii de fund: avand cota radierului la 1092,50 mdM

b. priza de aspirație de pompaj:

➤ **Stația de pompare:**

- amplasament : la baza barajului si echipata cu 3 pompe PRO
- realizează pompajul în lacul Vidra a debitelor adunate în lac de la captările secundare Sud ($Q_{inst} = 3 \times 4,66$ mc/s)
- debit instalat 15 mc/s
- $P_i = 31,5$ KW
- Înălțimea de refulare 185 m
- Lungimea conductei de refulare 465 m

➤ **Echipament hidromecanic:**

1. Golirea de fund

- batardou 1,2 x 1,9m² 2 bucăți
- vana fluture cu diametrul nominal 1000mm 2 bucăți
- grătar rar 2 x 4 m, lumina 100 mm

2. Prizele de aspirație ale pompelor (6 bucăți)

- grătar des 2(2 x 4)m, lumina 30 mm 6 bucăți
- Batardou 1,2 x 1,9 m² 2 bucăți
- Ghidaje pentru fiecare priză 6 bucăți

6.1.6. Scurt istoric al amenajării

Pentru trasarea barajului s-a proiectat și materializat pe teren o rețea de microtriangulație predată către TCH prin procesul verbal din 30.05.1972.

Execuția barajului a început în anul 1973, în acel an și în anul următor realizându-se devierea apelor și excavațiile.

Oprirea devierii provizorii a fost realizată în luna mai 1977, prin lansarea batardoului metalic de închidere. Golul din baraj a fost umplut cu beton, luându-se măsuri pentru asigurarea unei cât mai bune solidarizări a betonului nou cu betonul vechi.

După închiderea devierii, tronsonul aval al canalului a fost demolat, pe ampriza sa extinzându-se platforma stației de pompare și a stației de transformare.

Măsurătorile și observațiile efectuate după punerea sub sarcină arată o comportare normală a barajului. Deformațiile construcției se datoresc aproape exclusiv variațiilor de temperatură. Drenajele au intrat în funcțiune pe măsura ridicării nivelului lacului, cu debite mici. Nu s-a semnalat apariția de izvoare sau de deformații vizibile ale versanților.

✓ **Documentația de bază:**

a) Titularul de investiție:

- Ministerul Energiei Electrice – Centrala Industrială de Producere a Energiei Electrice și Termice (CIPEET) București
- Întreprinderea de Hidrocentrale Râmnicu Vâlcea
- RENEL cu F.E. Râmnicu Vâlcea
- CONEL cu S.C. HIDROELECTRICA S.A.
- Sucursala Hidrocentrale Râmnicu Vâlcea

b) Proiectant (unități de proiectare): general și de specialitate:

- Proiectant general: Inst. de Studii și Proiectări Hidroenergetice (ISPH)
- Proiectant de specialitate: ISPH

c) Constructor sau unități de construcții – montaj:

110 Urmărirea deformațiilor barajului Petrimanu prin metode topo - geodezice - 6

- Antreprenor general TCH – București
- Energomontaj București
- d) Perioada de execuție și anul punerii în funcțiune:
 - perioada de execuție: 1973 – 1977
 - Anul punerii în funcțiune: 1977
- e) Proiecte folosite pentru întocmirea acestei documentații:
 - Documentația de Sinteză – Vol. XVI a ; Barajul Petrimanu
 - Volumul de calcule statice – baraj Petrimanu
 - Baraj Petrimanu și Lacul de acumulare. Condiții geologice și geotehnice. Faza de Punere în Execuție (P.E.).

6.2. Condiții naturale în amplasament

6.2.1. Situația hidrologică

Acest subcapitol tratează următoarele probleme:

- elementele hidrografelor de viitură
- volumele undelor de viitură
- debitele solide

Clasa de importanță, debitele maxime de dimensionare și verificare, precum și capacitatea maximă de evacuare a deversorului Petrimanu sunt următoarele:

Nr. crt.	Baraj	Clasa de importanță	Qc (mc/s)	P%	Qv (mc/s)	P%	Capacitatea maximă de evacuare mc/s)
1	Petrimanu	III	200	2	284	0,5	300

• Elementele hidrografelor de viitură:

Râul	Secțiunea	F (kmp)	L (kmp)	H (m)	Tcr (ore)	Tt (ore)	γ	$h_{1\%}$ (mm)	$V_{1\%}$ (mil.mc)	$Q_{1\%}$ (mc/s)
Latorița	b. Petrimanu	71	6,50	1700	13,5	57	0,19	133	9,47	243

• Volumele undelor de viitură:

P%	20	10	5	2	1	0,5	0,1
V (mil.mc)	3,31	4,44	5,93	7,80	9,47	11,1	15,0

Se menționează că acumularea Petrimanu precum și acumularea Galbenu (din amonte) au volume mici de atenuare (Petrimanu: 0,625 mil. mc; Galbenu: 0,600 mil. mc) în comparație cu volumele viiturilor și ca urmare atenuarea debitelor maxime nu este semnificativă.

• **Regimul aluvionar**

Râul	Secțiunea	F (kmp)	H (m)	\bar{R}_s (kg/s)	$\bar{\rho}$ (gr/mc)	\bar{R}_t (kg/s)	\bar{R}_T (kg/s)	Regim
Latorița	b. Petrimanu	71	1700	0,15	60	0,66	0,81	natural
				0,08	50	0,26	0,34	amenajat

Datorită faptului că în zonă rocile predominante sunt șisturile cristaline de epizonă și mezozonă, granițe, granodiorite și gneise, eroziunea terenului este slabă. Zonele cu pornituri de teren, cu grohotișuri, surpări și solifluxiuni sunt restrânse ca areal. Datorită acestui lucru și debitul solid în suspensie și târât este redus în comparație cu alte bazine hidrografice sau chiar cu alți afluenți ai râului Olt. În bazinul râului Lotru și pe afluenții acestuia, procesele geomorfologice importante sunt eroziunea fluviatilă și depunerea de aluviuni în lacuri. Mai puțin evidentă este eroziunea malurilor.

Volumele de aluviuni ce se pot depune în lacul Petrimanu, în regim amenajat, sunt următoarele:

Râul	Secțiunea	V (t/an)	V (mc/an)	V _{5ani} (mc)	V _{10ani} (mc)	V _{26ani} (mc)
Latorița	Ac. Petrimanu	10722	6733	33665	67336	175058

În regim amenajat, datorită existenței lacului din amonte, Galbenu, debitul tarat care intră în lacul Petrimanu este numai de pe diferența de bazin dintre Galbenu și Petrimanu. Acumularea Galbenu tranzitează în aval în jur de 30-40% din debitul solid în suspensie la viituri. În 26 de ani de funcționare, lacul Petrimanu s-a colmatat cu 175000 mc (7%).

6.2.2. Situația geologică

🚧 Geomorfologia amplasamentului:

Morfologia regiunii est tipic montană, caracterizată printr-o mare energie de relief și o accentuată fragmentare și erodare subaeriană.

Amplasamentul studiat în jurul cotei 1190,00 mdM se caracterizează prin versanți simetrici, cu înclinări de 30 – 35°, prezentând în amonte o pantă redusă și o lărgire a văii în amonte, favorabilă realizării unei acumulări de apă.

🚧 Geologia amplasamentului:

Amplasamentul barajului Petrimanu, ca și al lacului omonim, se situează pe roci aparținând complexului epimetamorfic al „seriei de Parâng”, reprezentate prin: șisturi cuarțitice calcaroase, șisturi cuarțitice-muscovitice grafitoase, șisturi cuarțo-clorito-sericitoase, local șisturi epidotice cuarțoase.

🚧 Caracteristici mineralo-petrografice:

- Șisturile cuarțitice calcaroase afloră în versantul stâng până la cota 1120,00 mdMm ca pachete cu grosimi variabile în alternanță cu șisturile cuarțitice grafitoase și ca intercalații centimetrice în acestea din urmă.
- Roca de bază este constituită din calcit 60%, cuarț 25%, muscovit plus clorit 10%, sporadic pirită, apatit, titanit și prezintă o structură granoblastică și o textură șistoasă, local mai rubanată.

- șisturile cuarțo-muscovitice cu grafit se extind în zona de albie și versant drept până la partea superioară unde prezintă intercalații de șisturi epidotice-cuarțoase. Roca este constituită din: cuarț 65%, calcit 15% , muscovit 10%, substanță grafitică 10%, sporadic rutil, turmalină, feldspat. Roca este intens cutată, injectată cu cuarț în formă amigdaloidă și piritizată.
- Șisturile cuarțo-clorito-sericitoase afloră la partea superioară a versantului stâng și în alternanță cu șisturile grafitoase în versantul drept, asemănătoare macroscopic, dar de care se diferențiază prin absența grafitului , ponderea mare de clorit și, local, prin îmbogățiri în cuarț și feldspați.

Depozitele acoperitoare sunt reprezentate prin materiale eluviale (grohotișuri), coluviale, deluviale și aluviale care sunt constituite din fragmente de roci parțial rulate, cu grade diferite de alterare, asociate cu nisip și argilă, prezente cu grosimi de 0,5-5,0m, local 15m.

✚ **Condiții structural-tectonice:**

Amplasamentul barajului se situează în seria epimetamorfică a autohtonului danubian în vecinătatea contactului tectonic cu corpurile granitoidice, cu orientare est-vest, localizat în versantul stâng al râului Latorița, la cote superioare coronamentului.

Rocile șistoase prezintă o dispoziție spațială similară cu această discontinuitate majoră, alcătuind un monoclin est-vest cu înclinări nordice de 25 – 60° (conform cu valea și înclinări spre versantul stâng).

Rezistența mecanică diferită a rocilor în mișcările tectonice au generat sisteme diferențiate de falii și fisuri pe tipuri de roci. Astfel în șisturile cuarțitice sericitoase și grafitoase sunt prezente falii și flexuri concordante (az. c.33° / 25°–85°) sau oblice cu șistozitatea (az. c.10° / 40°–65°). Din această categorie fac parte faliile F₁, F₂, F₃ din versantul drept și F₅, F₆ din versantul stâng.

Șisturile calcaroase masive sunt afectate de falii de mică amploare, cu zone de zdrobire, orientate perpendicular pe șistozitate și cu înclinări mari spre amonte și aval (az. c.10°-30°/ 60°–70°).

Sistemul de fisurație cel mai frecvent este orientat perpendicular pe șistozitate (az. c. 75°/ 40°) cu înclinări spre versant.

Existența alternanțelor de pachete cu rezistențe geomecanice diferite a generat zone microcutate și zone tectonizate cu oglinzi de fricțiune, milonitizări, breccifieri (galeriile F, C și pe limitele unor pachete petrografice).

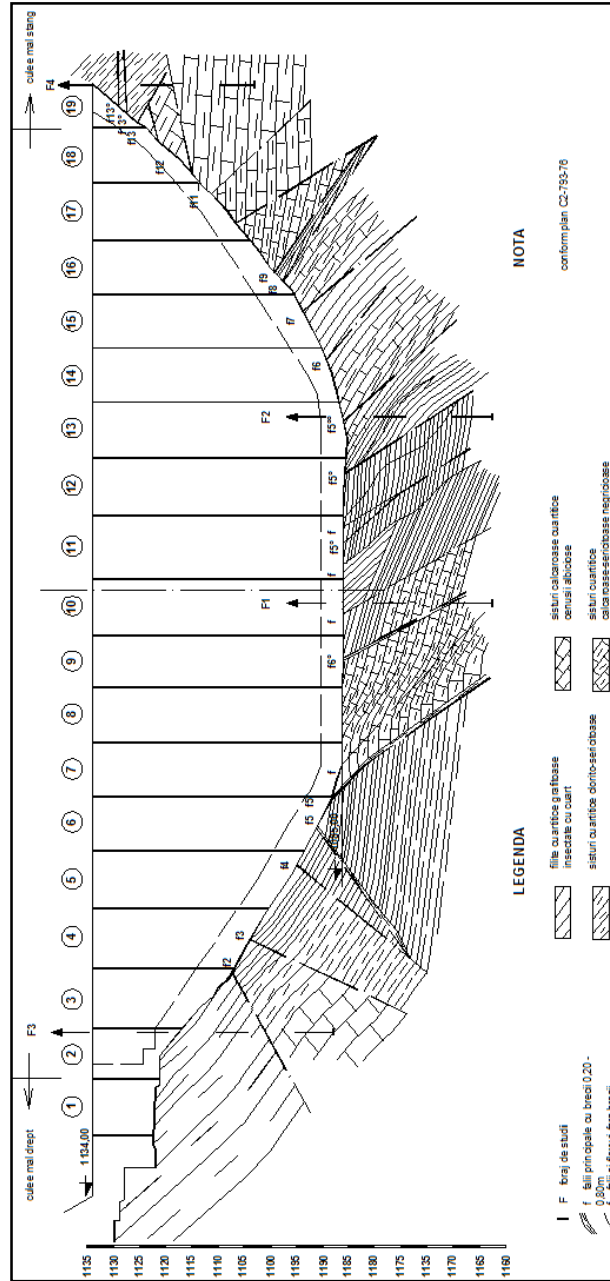


Fig.6.5. Barajul Petrimanu- Secțiune longitudinală prin axa coronamentului. Geologie

✚ **Lacul de acumulare:**

Morfologic, lacul de acumulare este realizat pe râul Latorița amonte de confluența cu pârâul Petrimanu, într-o zonă de lărgire a văii.

La cota retenției maxime (1134,00mdM) lungimea acumulării este de cca. 1km, prezintă o suprafață de 17,2ha și un volum total de 2,5 mil.m³ din care 1,3mil. m³ volum util.

Geologic, în cuprinsul său s-au evidențiat aceleași formațiuni litologice și tipuri petrografice ca și în amplasamentul barajului, cu poziții spațiale similare (monoclin nordic), dispunere, grad de tectonizare și fisurare similar, mai pregnante fiind fracturile și faliile orientate nord-sud cu înclinări mari spre amonte și aval.

Elementul de discontinuitate major (contactul șisturi / granitoide), cu grosimi brecciate de 1,0m se menține la cote superioare acumulării, începând de la coada lacului, unde marchează axul văii, spre aval urcând lin curbele de nivel deasupra nivelului de retenție maxim pe care îl atinge la extremitatea superioară a pr. Petrimanu, poziție ce exclude posibilitatea unor exfiltrări pe acest element ruptural, ca de altfel și pe marea majoritate a faliilor evidențiate.

Versanții lacului sunt acoperiți cu materiale deluvio-colviale relativ stabile care local prin suprasaturare cu apă, pot favoriza alunecări de mică amploare.

O problemă importantă o constituie aportul mare de materiale aluviale transportate de rețeaua hidrografică, suplimentat de materialele rezultate din activitatea antropogenă, care în final va produce o colmatare rapidă a lacului.

✚ **Caracteristicile geotehnice ale rocilor**

Roca de bază:

Determinarea caracteristicilor geomecanice ale rocilor din fundația barajului s-au efectuat „în situ” în galeriile și forajele de studii, precum și în laborator, pe probe prelevate din foraje.

Din analiza rezultatelor obținute, pentru dimensionarea barajului s-au adoptat coeficienții geotehnici pe rocă tratată, conform tabelului 6.1

Tabel nr.6.1. Coeficienți geotehnici folosiți pentru dimensionarea barajului

Tipul rocii	Coeficienți geotehnici						Obs.
	γ_w t/ m ³	E_e Kg/c m ²	$E_{def.}$ Kg/c m ²	σ Kg/c m ²	tg. ϕ r/r	taluz	
Șisturi cuarțo-calcaroase; versant drept și ½ albie	2, 8	6000 0	3000 0	30	0, 45	5/1	Pt. h=10 m
Șisturi cuarțo-muscovitice- grafitoase; versant drept + ½ albie	2, 6	4500 0	2000 0	15- 20	0, 40	2/1	Pt. h=5m, conf. șistoz.
Șisturi clorito-sericitoase; versant stâng	2, 6	4500 0	2000 0	15- 20	0, 40	5/1	Pt. h=5m

Coeficienții menționați s-au recomandat ținându-se cont de faptul că roca trebuie tratată corespunzător la cota de fundare (spălare, plombare, efectuarea injecțiilor de legătură, consolidare, drenare, impermeabilizare)

Formațiuni acoperitoare:

Pentru determinarea taluzelor și construcțiilor anexe s-au recomandat coeficienții geotehnici din tabelul 6.2

Tabel nr.6.2. Coeficienți pentru determinarea taluzelor și construcțiilor anexe

Tipul formațiunii	Coeficienți geotehnici					Obs.
	γ_w t/m ³	σ Kg/cm ²	ϕ°	c kg/cm ²	taluz	
Deluviu argilos-nisipos	1,8-1,9	1-1,5	10-15	0,1-0,2	1/2	Pt. h=3m
Aluviuni	2,6	2-3	35-40	-	1/1	Pt. h=3m

6.2.3. Situația hidrogeologică

Prin testele hidrogeologice s-a pus în evidență existența unei circulații de apă la nivelul deluviu / rocă de bază (galeria C versant drept), în șisturile sericito-grafitoase și la nivelul zonelor fisurate din cadrul șisturilor calcaroase din versantul stâng. Aceste infiltrații se drenează la nivelul râului Latorița.

Permeabilitate rocii de bază a fost determinată în foraje pe baza absorbțiilor specifice a diferitelor tipuri de roci, prin metoda injectării cu apă la presiunea de 4 – 6 atm., pe tronsoane de 5m lungime.

Rezultatele obținute relevă diferențieri ale valorilor absorbțiilor specifice pe tipuri petrografice, constatându-se o permeabilitate mai mare în șisturile calcaroase până la adâncimea de 10 m, în timp ce sub această adâncime ca și în șisturile sericito-calcaroase și sericito-grafitoase valorile fiind mai reduse.(conform Tabel 6.3)

Tabel nr. 6.3. Valorile absorbțiilor specifice pe tipuri petrografice

Tip rocă	Absorbție specifică $q = l / m / \text{min.} / \text{atm.}$		
	min.	max.	med*
Șisturi cuarțitice calcaroase	0	0,9 – 1,0	0,33
Șisturi cuarțo-sericito-clarito-grafitoase	0	0,13	0,05**

* valorile medii s-au calculat prin medierea aritmetică a valorilor q pe tronsoanele probate

** sub adâncimile de 10 m de la suprafață, rocile sunt practic impermeabile

Probele de permeabilitate efectuate pe șisturile clorito-sericitoase din zona crestei existente în versantul stâng indică valori foarte mici, astfel că este puțin probabilă existența unei circulații de apă din golful lacului de acumulare de pe Valea Petrimanu.

Permeabilitatea formațiunilor acoperitoare este apreciată astfel:

- aluviuni: $k = 600 - 700$ m/zi
- deluviu – proluviu: $k = 50 - 100$ m/zi

Analizele chimice efectuate pe probe de apă recoltate din râul Latorița și afluenții săi, în zona lacului de acumulare indică ape cu agresivitate de dezcalcinizare față de betoane.

6.2.4. Seismicitatea zonei

La data execuției amplasamentului barajului Petrimanu s-a situat în zona cu gradul de seismicitate 7, conf. Avizului Comitetului Geologic nr. 183/199 din 23.02.1965. Actualmente acest amplasament se încadrează în zona „7₁” pe scara MSK cu o perioadă medie de revenire de 50 ani (STAS 11100/1 – 1991), respectiv zona seismică de calcul „E” cu $K_s = 0,12$ și perioada de colț $T_c = 0,7$ sec. (Normativ NP – 076/2002, PE 729 – 93).

Pentru urmărirea comportării versanților și amprizei barajului Petrimanu se determină vitezele de propagare ale undelor longitudinale, prin măsurători seismice efectuate în cele 8 foraje seismice. Se urmărește evoluția în timp a vitezelor de propagare a undelor elastice în scopul determinării variației în timp a calităților elastice ale rocii de fundare.

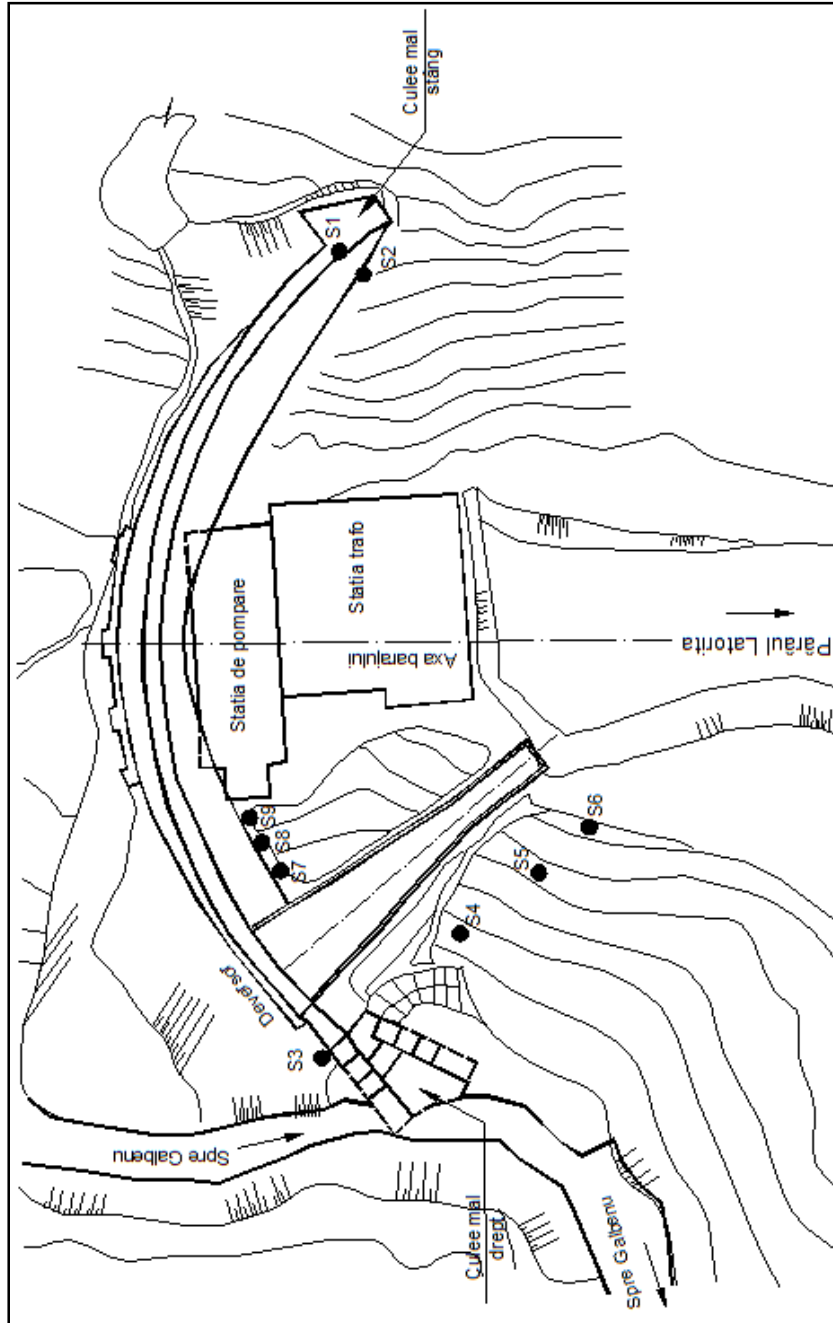


Fig.6.6. Barajul Petrimanu- Amplasamentul forajelor seismice

6.3. Descrierea lucrărilor din frontul de retenție

6.3.1. Date constructive [96]

Nodul hidrotehnic este compus din: baraj de beton în arc, un descărcător de suprafață constituit dintr-un deversor fără stavile cu două deschideri de 10m, priza de apă. Stația de pompare este amplasată în aval la cca. 3m de baraj, despărțită prin rost.

a. Barajul și deversorul

Barajul Petrimanu este un baraj de greutate, în arc, având cota coronamentului la 1134,00mdM.

Corpul barajului este format din 19 ploturi cu lățimea medie de 10m, turnate în lamele de 1 și 2m înălțime. Rosturile dintre ploturi au fost injectate cu lapte de ciment în luna mai a anului 1976 și reinjectate în aprilie 1977.

Pe versanți, în zona coronamentului, barajul reazemă pe două culei masive. De-a lungul fundației, între culei, talpa barajului este lărgită local sub formă de soclu. Lungimea coronamentului între culei este de aproximativ 165 m.

Culeea mal drept a fost încastrată în rocă între 2-6 m, la cotele cuprinse între 1121,00 – 1123,00 mdM.

Închiderea mal drept s-a realizat cu o diafragmă de beton - de 40m lungime, executată din galeria de închidere (cu radierul la cota 1132 mdM). De la cota radierului galeriei s-a realizat voalul de etanșare de închidere în versant.

Lățimea la coronament este de 2,00m, iar în secțiunea maestră grosimea maximă la bază este de 9,00 m. Drumul de pe coronament este necarosabil.

Descărcătorul de suprafață este situat pe versantul drept, începând din corpul barajului, în ploturile 3 și 4. El este constituit dintr-un deversor fără stavile, cu creasta la cota 1130,00 mdM, cu două deschideri de 10m, continuat cu un canal rapid lung de cca. 50m, terminat cu o trambulină în consolă, pe sub care trece drumul de acces la stația de pompare.

b. Golirea de fund

Golirea de fund este amplasată în plotul 8, la baza versantului drept, având radierul prizei la cota 1092,50 mdM și este constituită dintr-o tubație de Ø 1000mm, care traversează barajul, stația de pompare și platforma stației.

Instalația de vane a golirii de fund este amplasată la subsolul stației de pompare în zona platformei de montaj și este echipată cu două vane fluture, amplasate în clădirea stației cu diametrul nominal 1000 mm, cu acționare hidraulică cu servomotor.

Vana fluture aval are rolul de vană de lucru, iar vana amonte de vană de revizie și siguranță.

Poziția de funcționare a vanelor este complet deschis sau complet închis. Nu este permisă funcționarea golirii de fund cu deschideri parțiale pentru vanele fluture datorită apariției fenomenelor de vibrație, cavitație și uzură prematură a vanelor.

Capacitatea de evacuare a golirii de fund este de 9m³/s la nivelul minim de exploatare și de cca. 12 m³/s la NNR.

c. Prizele:

1. <u>priza golirii de fund înglobată în corpul barajului</u>	(1 bucată)
- cota radierului	1092,50 mdM
- batardouri 1,2 x 1,9m ²	2 bucăți
- vana fluture cu diametrul nominal 1000mm	2 bucăți
- grătar rar 2 x 4 m, lumina 100 mm	2 bucăți

2. priza de aspirație de pompaj înglobată în corpul barajului (6 bucăți)

- batardou 1,2 x 1,9m² 2 bucăți

- grătar des 2(2 x 4) m, lumina 30 mm

- se pot închide numai două prize, celelalte fiind întotdeauna în exploatare

Batardourile se manevrează pe verticală cu ajutorul unui dispozitiv tip ERDIR; iar pe orizontală cu un palan cu melc și cărucior manual care rulează pe o șină I22. Când nu se folosesc, dispozitivul ERDIR și palanul se depozitează în stație;

Batardourile se depozitează în două nișe prin rezemare pe doi suportși laterali. Ridicarea lor se va face numai după închiderea vanelor și umplerea tronsonului de conductă dintre batardou și vană.

Ghidajele, grătarele și celelalte confecții expuse la apă și aer vor fi curățate de rugină și vopsite ori de cate ori se consideră necesar;

d. Lacul de acumulare

Lacul de acumulare Petrimanu are următoarele caracteristici:

- Nivelul normal de retenție	1130 mdM
- Nivel minim de exploatare	1114 mdM
- Cota coronament baraj	1134 mdM
- Cota albiei naturale	1032 mdM
- Volumul lacului (total)	2,5 mil.mc
- Volumul util	1,3 mil.mc
- Volumul de atenuare a viiturilor	700 mii mc
- Suprafața lacului la NNR	17,2 ha
- Lungimea lacului la NNR	cca. 1km.

6.3.2. Lucrări de etanșare și drenaj

Voalul de etanșare a fost prevăzut pentru prevenirea infiltrațiilor de apă din lac pe sub baraj sau ocolind barajul. Voalul de etanșare s-a prevăzut cu L = 20m și d = 2 m în șisturi calcaroase și cu L = 15m și d = 3m în șisturi grafitoase, executat în trei etape. Forajele din etapa I , cu caracter de explorare au fost prevăzute cu lungimi de 30m.

Voalul de etanșare cuprinde un singur șir de foraje ce se închide în versantul drept perpendicular pe culee, pe distanța de 28m, iar în versantul stâng se închide oblic pe baraj pe o distanță de 15m, cu foraje dispuse în evantai.

S-a preconizat execuția voalului de pe rocă, pentru a permite devansarea lucrărilor de injecții față de betonare.

Forajele cu injecții de legătură și consolidare s-au executat la distanța de 3 – 4m între șiruri și de 4m între forajele unui șir cu adâncimea de 5m în rocă, executate de pe primele două lamele de beton.

Forajele de drenaj, executate de-a lungul piciorului aval al barajului, înclinat spre amonte și spre versanți, la distanțe de câte 3 – 3,5m, cu adâncimi de 15 – 18m în rocă.

Pentru reducerea subpresiunilor, a fost suplimentat față de proiectul inițial numărul forajelor de drenaj astfel: în versantul stâng se vor executa trei șiruri de foraje a 4 foraje în evantai de pe plotul 19; iar în versantul drept se vor executa 12 foraje dispuse pe 3 șiruri în evantai din plotul 2.

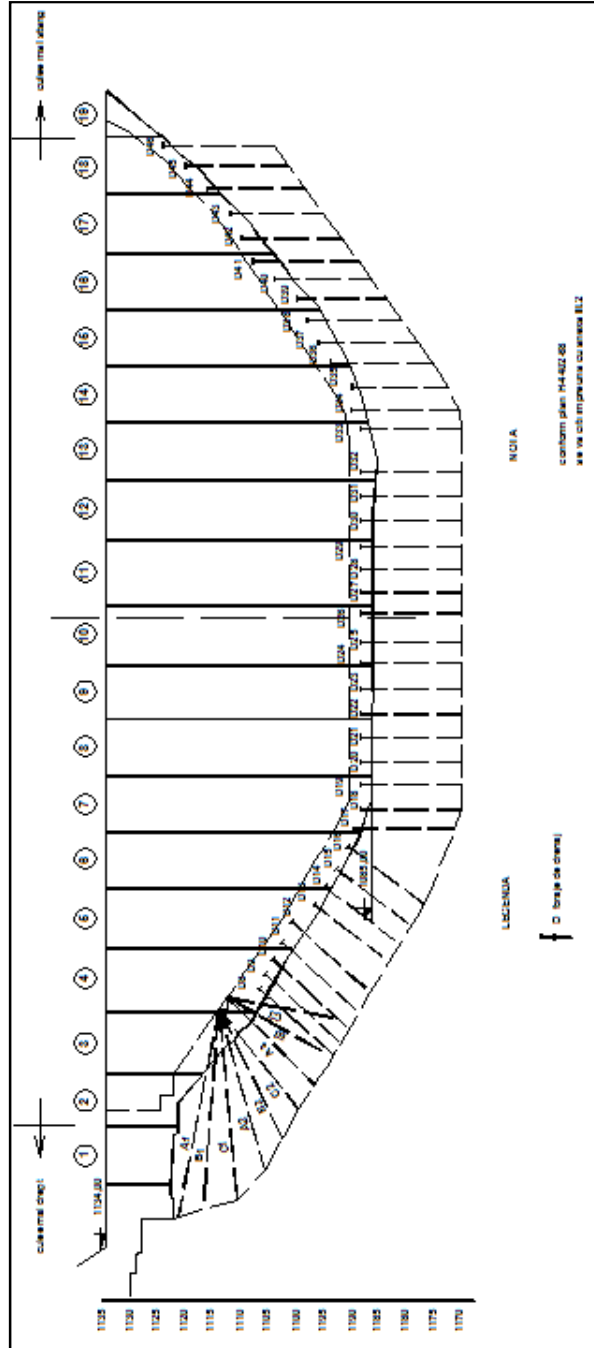


Fig. 6.7. Barajul Petrimanu- Amplasarea forajelor de drenaj

Adaptări ale proiectului în cursul execuției

Forajele pentru voalul de etanșare s-au executat în întregime de pe beton; ca urmare s-a renunțat la execuția șirului amonte de injecții de legătură – consolidare, sporind în schimb lungimea forajului în beton;

În etapa a IIIa s-a redus lungimea forajelor voalului până la 10m, în fundația ploturilor 15, 16, 19.

S-au suplimentat forajele cu injecții de legătură în plotul 19, ca urmare a consumurilor mari de ciment din zona de contact beton-rocă de la unele foraje din voal.

S-a adaptat traseul voalului, în partea superioară a versantului drept, la situația rezultată în urma întâlnirii unei terase, care a necesitat execuția unei culei de reazem și a unei diafragme de străpungere a terasei, executate din galerie, în continuarea culei.

S-au prevăzut injecții suplimentare de legătură – consolidare în fundația culei versant drept, dată fiind extinderea suprafeței acesteia.

S-a renunțat la execuția forajelor de drenaj din ploturile 1-3 și 18-19, a căror deșeuare se situa la cote prea ridicate.

S-au prevăzut foraje de drenaj suplimentare, dispuse în trei evantaie, executate în fundația culeelor versant drept și stâng.

S-au executat 5 foraje de control, amplasate în ploturile 4, 6, 10, 16, 18.

6.3.3. Evacuatori, echipament hidromecanic și disipatori

Nodul hidrotehnic este compus din : lacul de acumulare, baraj de greutate în arc cu deversor de suprafață, golirea de fund, priza golirii de fund și prizele de aspirație ale pompelor.

Descărcătorul de suprafață este constituit dintr-un deversor fără stavile, cu două deschideri de 10m situate în ploturile 3 și 4. Deversorul este calculat pentru un debit $Q_{c_{2\%}} = 200\text{m}^3/\text{s}$, cu o lamă deversoare de 3,20m.

Golirea de fund situată la baza versantului drept, în plotul 8, având radierul prizei la cota 1092,50mdM, și este dotată cu două vane fluture cu diametrul nominal de 1000 mm. Capacitatea de evacuare este de $12\text{m}^3/\text{s}$ la lac plin. În fața golirii se află un grătar rar de 2x4m.

Priza golirii de fund este la cota 1092,50mdM. Este echipată cu un grătar rar 2x4m, cu lumina 100mm. Închiderea se face cu două batardouri de 1,2 x 1,9 m². Există ghidaje pentru fiecare priză.

Prizele de aspirație pentru pompe, în număr de 6 buc., sunt echipate fiecare cu câte un grătar de 2(2x4)m cu lumina 30mm și cu ghidaje pentru fiecare priză.

6.4. Dotarea construcției cu aparate de măsură și control și dispozitive de urmărire

Pentru urmărirea comportării barajului Petrimanu pe parcursul construcției, punerii sub sarcină cât și în timpul exploatării curente s-au prevăzut și montat următoarele aparate de măsură și control și dispozitive alese în funcție de natura și valoarea mărimilor de măsurat.

1. **Pendule** pentru măsurarea deplasărilor în plan ale barajului;
2. **Telepresmetre** pentru măsurarea eforturilor pe talpa fundației;
3. **Teleformetre** pentru determinarea deformațiilor în beton ;

4. **Bolțuri deformatrice** amplasate la fiecare rost pentru măsurarea deschiderii rosturilor, sau deplasărilor orizontale relative ale ploturilor;
5. **Dispozitive hidrometrice** pentru determinarea subpresiunilor pe talpa de fundație ;
6. **Foraje de drenaj** pentru măsurarea debitelor infiltrate pe sub talpa de fundație a barajului;
7. **Foraje seismice** pentru determinarea vitezelor de propagare longitudinală în versanți și ampriza barajului;
8. **Reperi de microtriangulație** pentru determinarea deplasărilor în plan ale barajului;
9. **Reperi de nivelment** pentru determinarea deplasărilor verticale ale barajului;
10. **Mire** pentru măsurarea variației nivelului apei în lac;
11. **Termometre** pentru măsurarea temperaturii aerului;
12. **Pluviometru** pentru măsurarea precipitațiilor;

6.5. Măsurători topo-geodezice

Având în vedere rețehnologizarea hidrocentralei Ciunget, este necesară monitorizarea construcțiilor hidrotehnice. Pe parcursul rețehnologizării, barajul Petrimanu a fost golit, forțele ce acționează asupra acestuia fiind neobișnuite.

Măsurătorile pe care le-am efectuat la barajul Petrimanu au drept scop determinarea deplasărilor, atât orizontale cât și verticale, ale reperilor de urmărire. Pentru determinarea deplasărilor s-au folosit patru cicluri de măsurare: măsurătoarea "zero" (05.10.1976)- asigurată de către conducerea UHE Lotru - Ciunget, ciclul de măsurare 1 (01.09.2009), ciclul de măsurare 2 (01.08.2010) și ciclul de măsurare 3 (04.10.2011). Primul ciclu de măsurare l-am efectuat în condiții deosebite deoarece în această perioadă lacul a fost golit, în timpul celui de al doilea ciclu de măsurare lacul a fost reumplut, iar în timpul efectuării măsurătorilor din ciclul trei lacul a fost complet plin. În timpul efectuării măsurătorilor condițiile atmosferice au fost bune (nu au fost precipitații, temperatura mediului înconjurător a variat între 12°C și 15°C), asigurând condiții de lucru bune.

Procesul determinării deplasării punctelor de control pe barajul studiat cuprinde următoarele etape:

1. Măsurarea direcțiilor orizontale și compensarea acestora
2. Prelucrarea măsurătorilor
3. Generarea elipsei erorilor (Fig. 6.16, Fig. 6.17)
4. Interpretarea rezultatelor

Deplasările le-am obținut prin diferența dintre coordonatele planimetrice, respectiv cotele, determinate prin măsurătoarea "zero" și aceleași elemente determinate în ciclul actual de măsurare.

Pentru determinarea deplasărilor orizontale ale barajului (direcția amonte – aval și mal stâng – mal drept) se efectuează măsurători topografice la reperii de microtriangulație de pe paramentul aval al barajului și la reperii de nivelment de pe coronament.

La barajul Petrimanu rețeaua de microtriangulație (Fig. 6.23) pentru urmărire topografică este formată dintr-un număr de 6 puncte de stație materializate prin pilaștrii de beton în care sunt încastrate bolțurile pentru centrarea forțată a aparatului și un număr de 20 de reperi de parament fixați pe paramentul aval al barajului în trei trepte:

- la cota 1109 – 5 reperi;

- la cota 1124 – 6 reperi;
- la cota 1134 – 9 reperi;



Fig. 6.8. Barajul Petrimanu- Reperi ficși din rețeaua de microtriangulație

În rețeaua de microtriangulație măsurătorile le-am efectuat cu o stație totală Leica TC 805 care are o precizie de măsurare de 3^{cc} . Instalarea aparatului pe capul pilastrului s-a făcut prin centrare mecanică (forțată) cu ajutorul unui dispozitiv cu nucă de centrare. Pe ceilalți pilaștri din rețea au fost instalate mire de vizare tip Wild.

Metoda de măsurare a unghiurilor în rețeaua de urmărire planimetrică a barajului a fost metoda seriilor, efectuându-se două serii complete. În triunghiurile formate neînchiderile rezultate nu depășesc 20^{cc} . Măsurătorile au fost prelucrate pe calculator cu ajutorul programului APORT 2000. În urma prelucrării măsurătorilor, am evidențiat atât tabelar cât și grafic evoluția deplasărilor pe orizontală a reperilor de microtriangulație față de măsurătoarea "zero".

Tabelul 6.4. Rezultatul depiasărilor reperilor din rețeaua de microtriangulație

Marcă Etapa de măsurare		D1			D2			D3			S1			S2			S3			
		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13							
octombrie 1976		0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	-1.90	0.00	0.00	1.80	0.60	1.80	-0.70							
sept. 2009		-53.41	4.58	fix	fix	31.24	-8.97	6.75	-19.85	-5.18	-14.94	fix	fix							
august 2010		-56.45	12.6	fix	fix	30.26	-10.32	12.3	18.33	-2.31	-17.55	fix	fix							
octombrie 2011		-60.75	12.93	fix	fix	30.42	-7.99	10.51	-20.94	-5.84	-16.84	fix	fix							

a) Deplasare reperilor fiși din rețeaua de microtriangulație față de măsurătoarea "zero"

Marcă Etapa de măsurare		M1			M2			M3			M4			M5			M6			M7			M8			M9			
		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		dx	dy		
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18										
octombrie 1976		inactiv	-0.10	-1.20	0.70	-1.60	1.30	-0.20	-0.10	-0.20	-0.30	-0.30	-1.20	0.70	-2.20	1.20	-1.70	0.40	-0.90										
sept. 2009		inactiv	35.84	-25.90	41.27	-8.85	38.11	-0.25	36.36	4.29	28.11	11.73	14.90	18.36	10.89	12.88	0.99	10.98											
august 2010		inactiv	35.25	-19.13	38.89	-11.32	42.09	-3.23	39.37	1.10	31.44	9.78	18.69	17.03	13.68	12.08	2.27	7.57											
octombrie 2011		inactiv	37.79	-23.91	42.58	-10.14	38.56	-0.01	35.50	3.82	27.18	11.58	18.59	10.01	14.00	1.64	15.57												

b) Deplasarea reperilor de microtriangulație, M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8-M9, de pe paramentul barajului, aflați la cota 1134,00m

Diferențe față de etapa de referință (mm)														
Marcă	M10		M11		M12		M13		M14		M15		M15	
	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
octombrie 1976	0.10	-0.80	0.60	-1.50	1.40	-1.40	0.50	-1.60	0.30	-1.30	0.50	-1.50		
sept. 2009	40.89	-9.04	38.20	-0.72	35.31	4.28	27.79	11.54	18.56	13.02	9.48	11.23		
august 2010	46.08	15.75	42.06	-3.54	40.08	2.17	31.15	10.21	21.36	12.95	12.05	11.39		
octombrie 2011	43.04	10.02	39.03	-0.12	35.14	4.79	27.04	12.11	18.06	14.57	8.61	13.77		

c) Deplasarea reperilor de microtriangulație, M10-M11-M12-M13-M14-M15, de pe paramentul barajului aflați la cota 1124,00m

Diferențe față de etapa de referință (mm)														
Marcă	M16		M17		M18		M19		M20		M20		M20	
	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
octombrie 1976	-1.60	-0.40	2.70	-1.70	3.10	-0.60	2.30	-1.50	2.10	-0.60				
sept. 2009	32.63	-4.62	34.67	-1.42	32.92	3.44	23.64	8.87	16.74	6.67				
august 2010	36.17	-8.15	38.51	-1.98	35.98	3.42	25.76	7.90	17.52	8.07				
octombrie 2011	36.29	-9.51	37.13	2.60	34.06	7.94	23.03	12.69	14.31	13.05				

d) Deplasarea reperilor de microtriangulație, M16-M17-M18-M19-M20, de pe paramentul barajului aflați la cota 1109,00m

În graficele de mai jos am evidențiat deplasările pe direcția amonte - aval a reperilor de pe paramentul barajului.

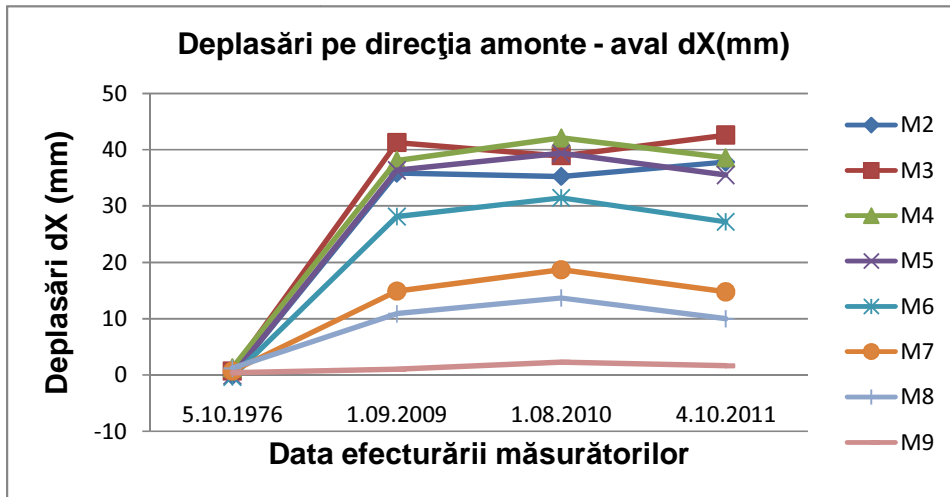


Fig. 6.9. Evoluția deplasărilor pe axa X a reperilor de microtriangulație, M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8-M9 de pe paramentul barajului, aflați la cota 1134,00m

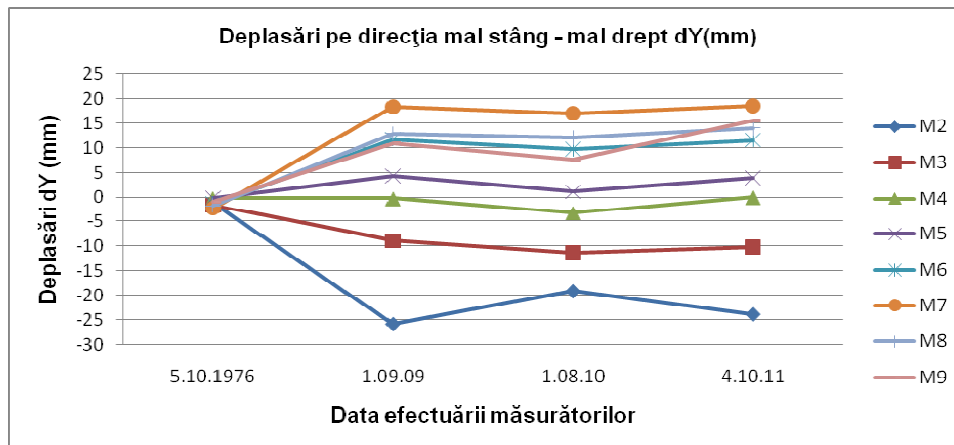


Fig. 6.10. Evoluția deplasărilor pe axa Y a reperilor de microtriangulație, M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8-M9 de pe paramentul barajului, aflați la cota 1134,00m

Analizând evoluția deplasării reperilor de pe paramentul barajului de la cota 1134,00 se observă că deplasarea cea mai mare pe axa X se întâlnește la reperul M3 de 42,58mm (în anul 2011 - când barajul a fost plin), iar pe axa Y la reperul M2 de -25,90mm (în anul 2009 - când lacul a fost golit) - deplasările datorându-se poziției celor doi reperi lângă deversorul barajului (Fig. 6.23).

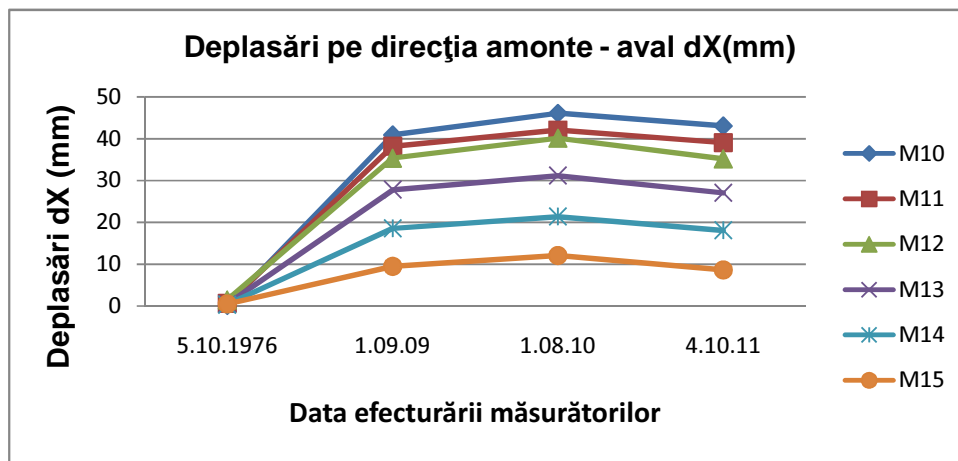


Fig. 6.11. Evoluția deplasărilor pe axa X a reperilor de microtriangulație, M10-M11-M12-M13-M14-M15, pe paramentul barajului aflați la cota 1124,00m

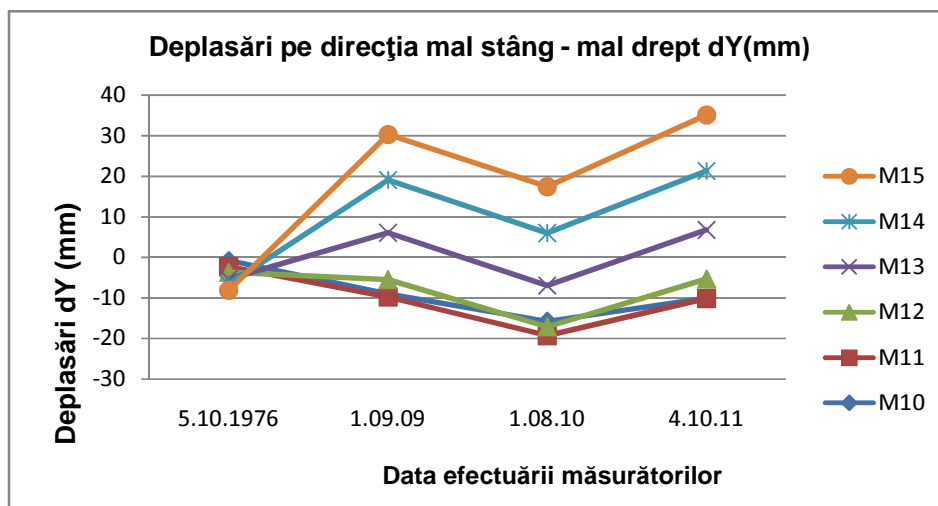


Fig. 6.12. Evoluția deplasărilor pe axa Y a reperilor de microtriangulație, M10-M11-M12-M13-M14-M15, pe paramentul barajului aflați la cota 1124,00m

În urma evoluției deplasării reperilor de pe paramentul barajului de la cota 1124,00 se observă că deplasarea cea mai mare pe axa X cât și pe axa Y se întâlnește la reperul M10 de 46,08mm respectiv -15,75mm (în anul 2010- când lacul a fost reumplut) - deplasările datorându-se poziției reperului în partea dreaptă sub deversorul barajului (Fig. 6.23).

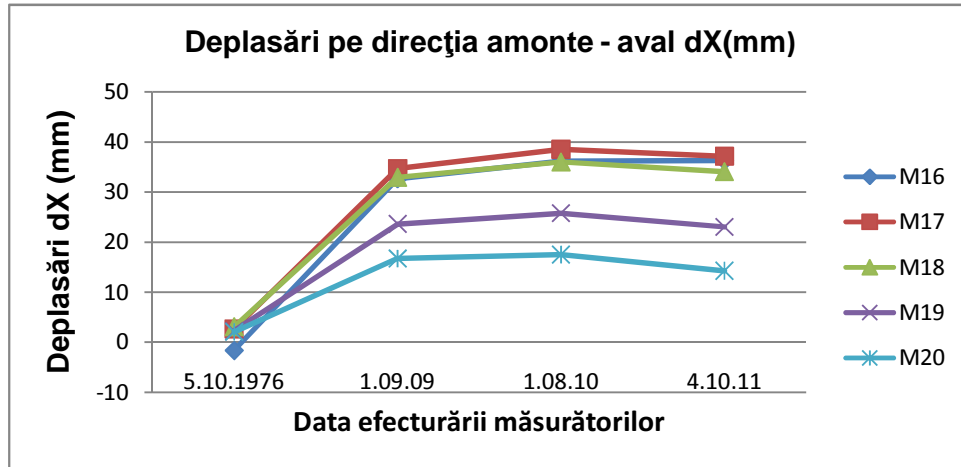


Fig. 6.13. Evoluția deplasărilor pe axa X a reperilor de microtriangulație, M16-M17-M18-M19-M2, pe paramentul barajului aflați la cota 1109,00m

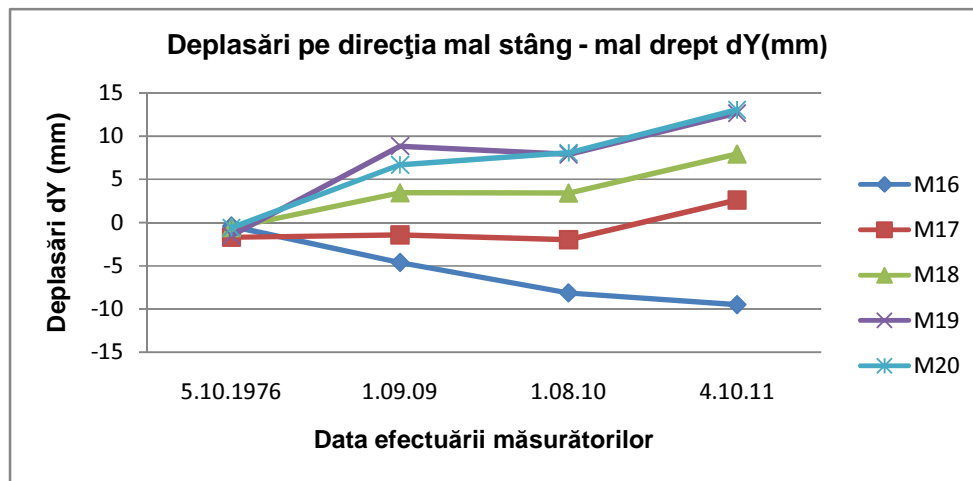


Fig. 6.14. Evoluția deplasărilor pe axa Y a reperilor de microtriangulație, M16-M17-M18-M19-M2, pe paramentul barajului aflați la cota 1109,00m

Analizând evoluția deplasării reperilor de pe paramentul barajului de la cota 1109,00 se observă că deplasarea cea mai mare pe axa X se întâlnește la reperul M17 de 38,51mm (în anul 2010- când lacul a fost reumplut), iar pe axa Y la reperul M20 de 13,05mm (în anul 2011 - când barajul a fost plin) - deplasările datorându-se poziției celor doi reperi (Fig. 6.23).

Deplasarea maximă determinată în urma măsurătorilor a fost pe axa X la reperul M10 de 46,08mm și pe axa Y la reperul M2 de -25,90mm.



Fig. 6.15. Reper de microtriangulație pe paramentul barajului Petrimanu

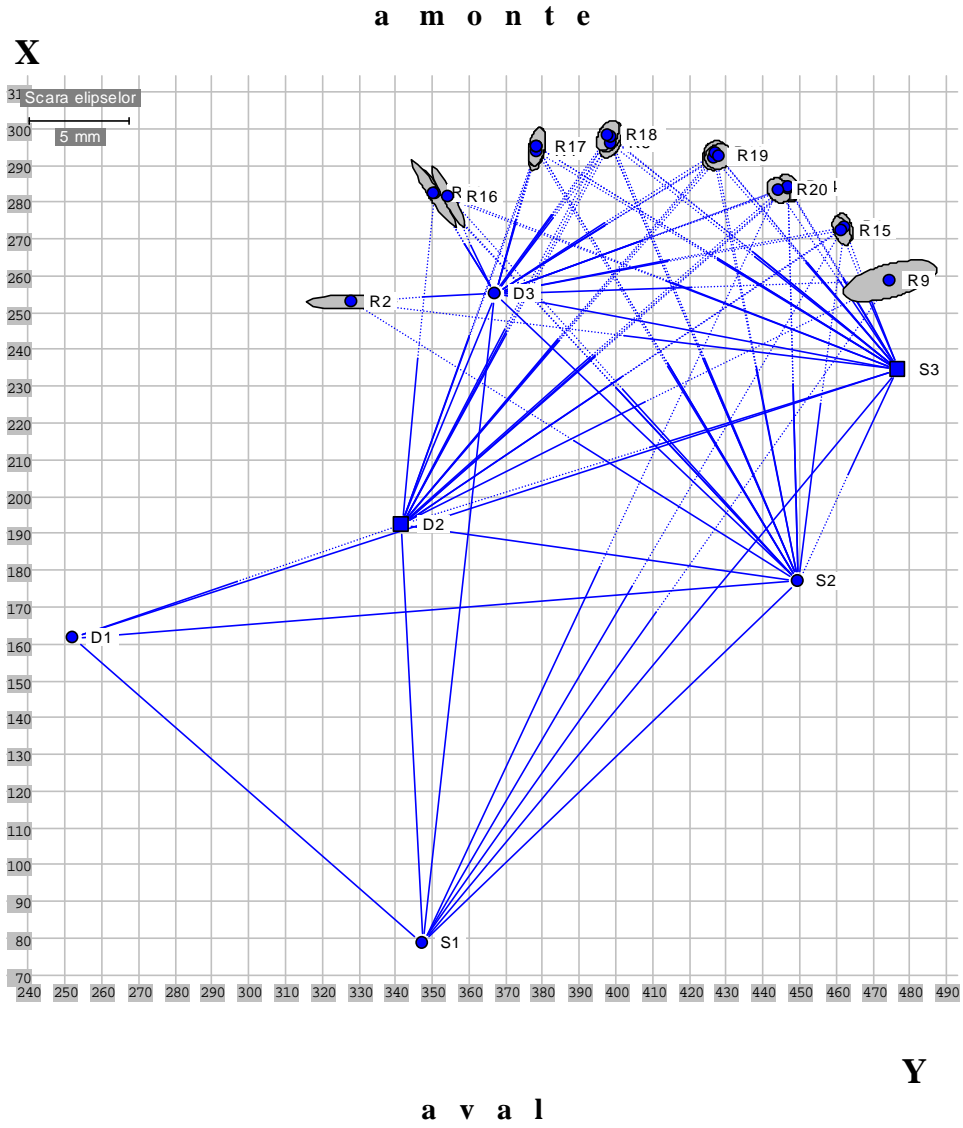


Fig 6.16. Elipsa erorilor pentru reperii de pe parament

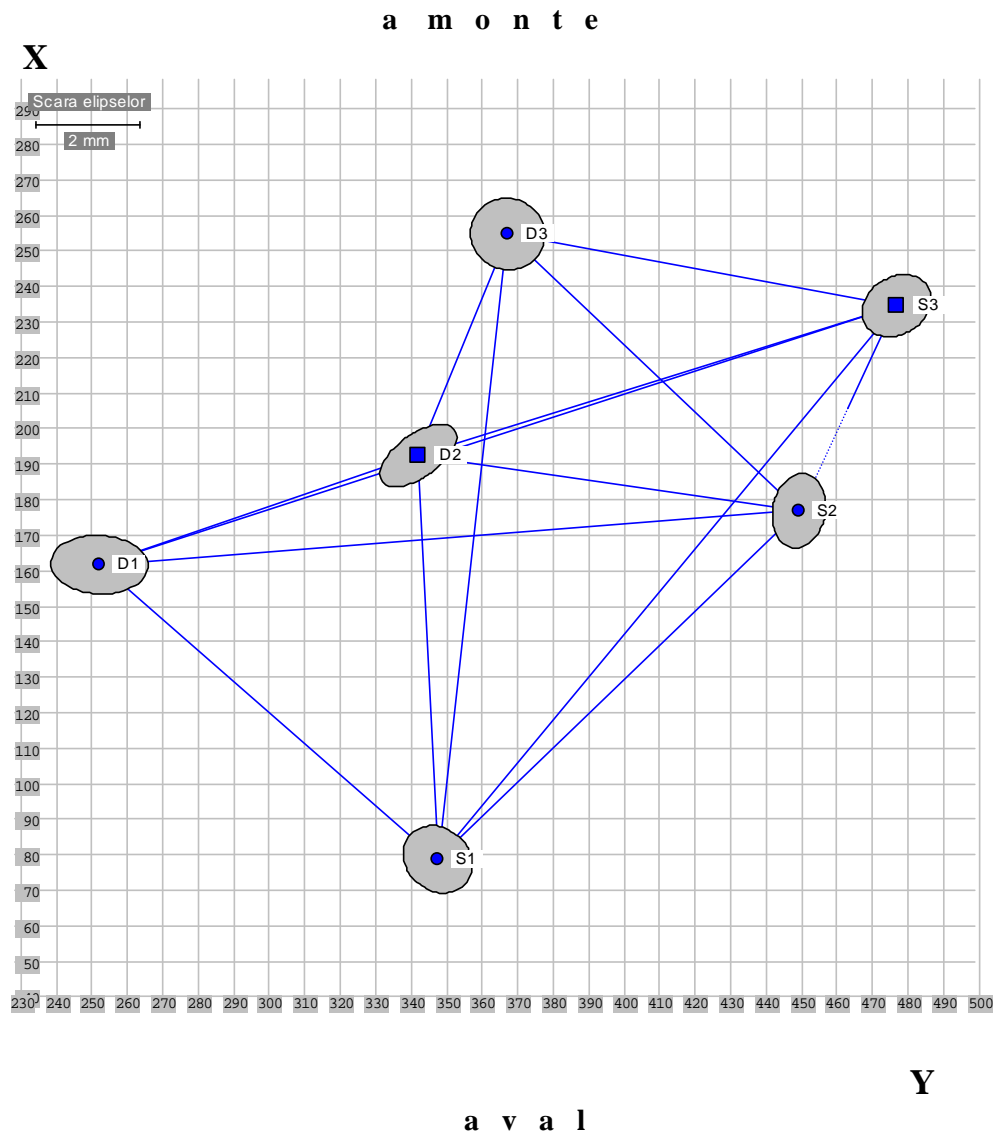


Fig 6.17. Elipsa erorilor pentru reperii rețelei fixe

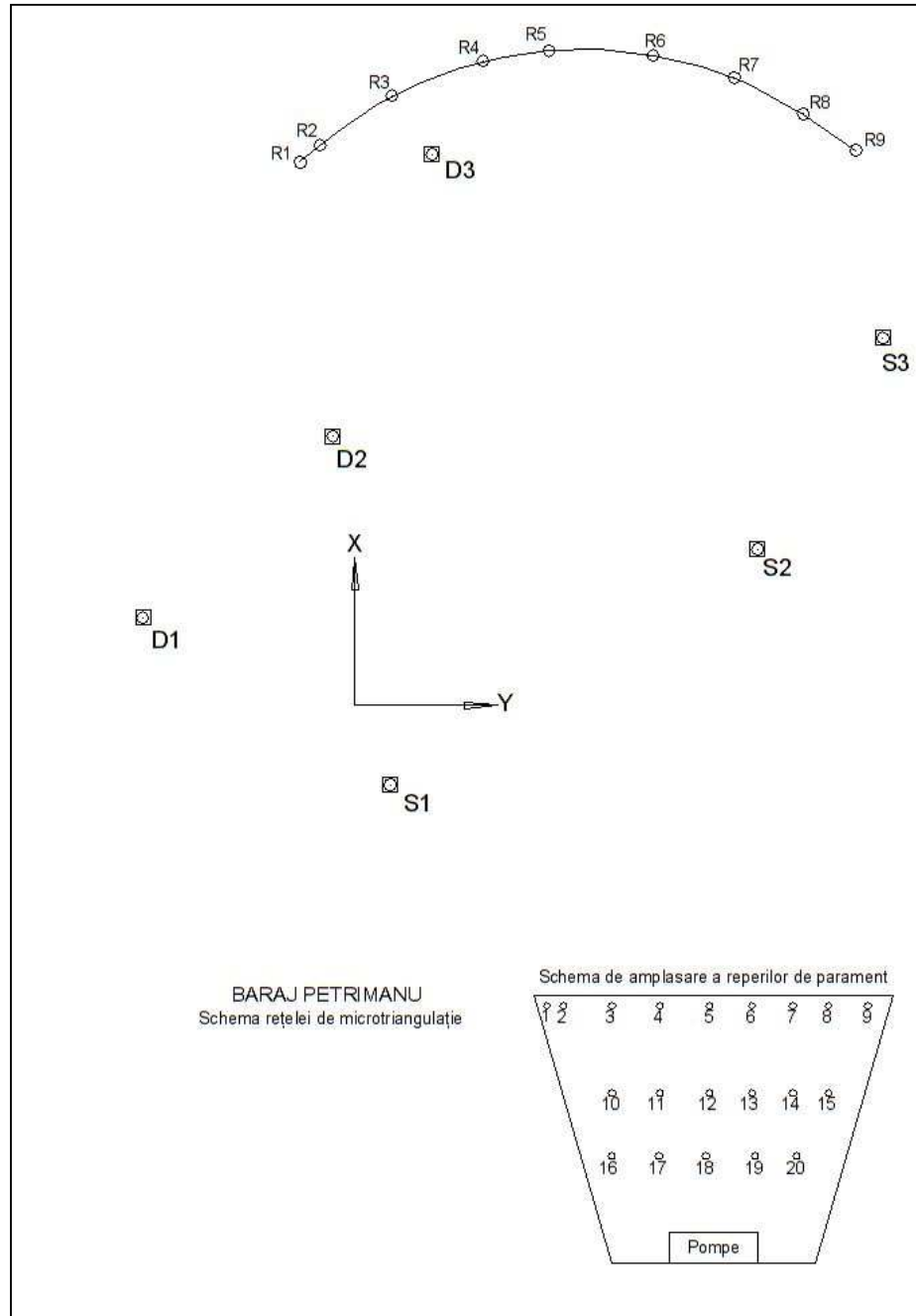


Fig. 6.18. Schița rețelei de microtriangulație a barajului Petrimanu

Pentru determinarea deplasărilor verticale ale barajului am efectuat măsurători în rețeaua de nivelment. Aceasta este formată din 12 reperi de nivelment montați la coronamentul barajului și 3 reperi ficși (puncte de stație materializați prin pilaștri de beton).



Fig. 6.19. Barajul Petrimanu- Reper fix din rețeaua de nivelment



Fig. 6.20. Reperi de nivelment pe coronamentul barajului Petrimanu

Măsurătorile în rețeaua de nivelment le-am efectuat cu un instrument de nivelment de tip Leica DNA 03, care asigură o precizie de 0.3 mm/1km de dublu nivelment. Citirile au fost efectuate pe o miră de invar cu cod de bare.

Pentru compensarea măsurătorilor a fost folosită metoda drumirii de nivelment sprijinită la capete sau închisă pe punctul de plecare, în funcție de condițiile din teren.

Măsurătorile au fost prelucrate pe calculator cu ajutorul programului APORT 2000.

Rezultatele obținute în urma prelucrării măsurătorilor, le-am prezentat în cele ce urmează atât sub formă tabelară, cât și sub formă grafică.

Tabelul6.5. Rezultatul deplasărilor reperilor din rețeaua de nivelment

Nr. reper	Diferențe față de tranșa de bază(mm)				Obs.
	Etapa	Etapa	Etapa	Etapa	
	mai. 1980	sept. 2009	sept. 2010	oct.2011	
1	2	3	4	5	6
RN1					fix
RFD					fix
RFS					fix
R1	0.00	3.08	3.40	3.93	
R2	0.00	3.52	3.39	3.34	
R3	0.00	4.59	4.73	5.38	
R4	0.00	4.39	4.43	4.67	
R5	0.00	5.25	5.47	6.13	
R6	0.00	3.65	4.09	4.9	
R7	0.00	4.08	4.44	6.16	
R8	0.00	2.41	3.20	4.47	
R9	0.00	0.95	1.93	3.3	
R10	0.00	0.89	1.80	3.30	
R11	0.00	-0.38	0.44	1.91	
R12					inactiv

În graficul de mai jos am evidențiat deplasările reperilor de nivelment de pe coronamentul barajului.

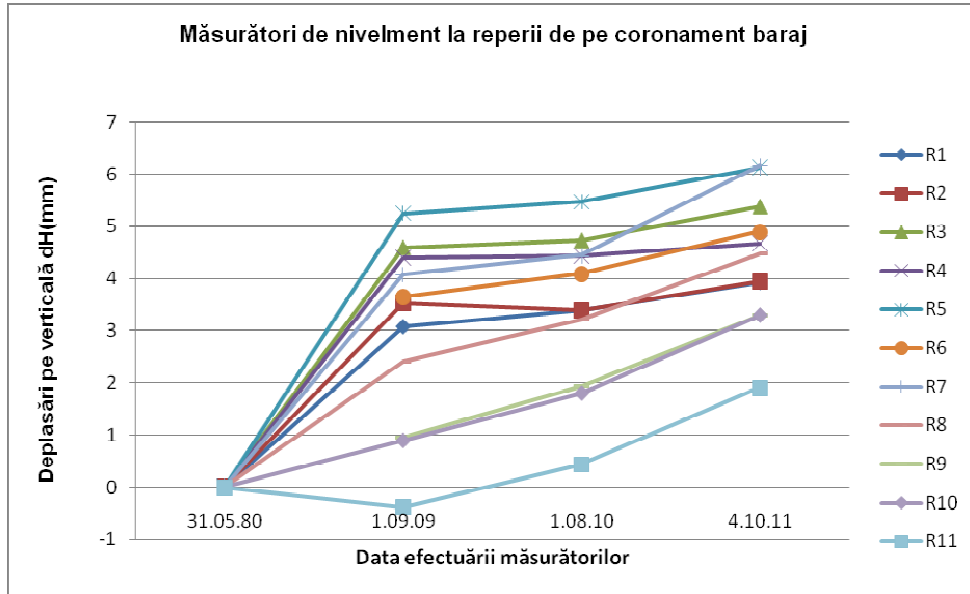


Fig. 6.21. Deplasarea reperilor de nivelment de pe coronamentul barajului

Precizia de determinare a tasărilor punctelor din rețeaua de nivelment este de 0.25 mm. Deplasarea maximă determinată pentru reperii de pe coronamentul barajului este de 6,16 mm la R7.

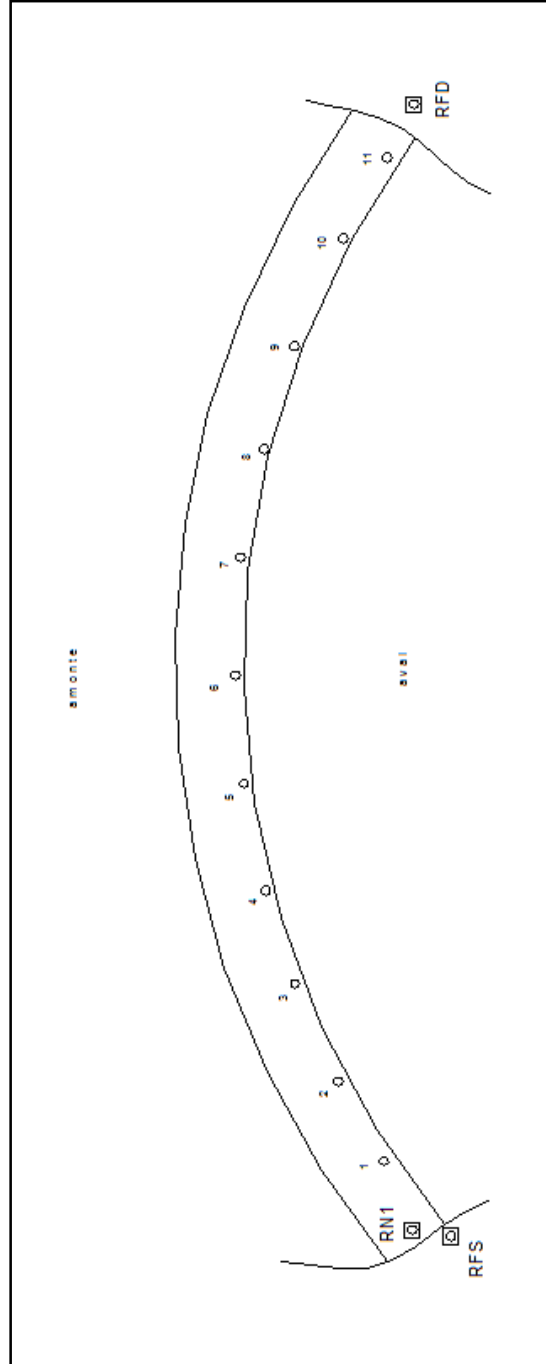


Fig. 6.22. Schița rețelei de nivelment a Barajului Petrimanu

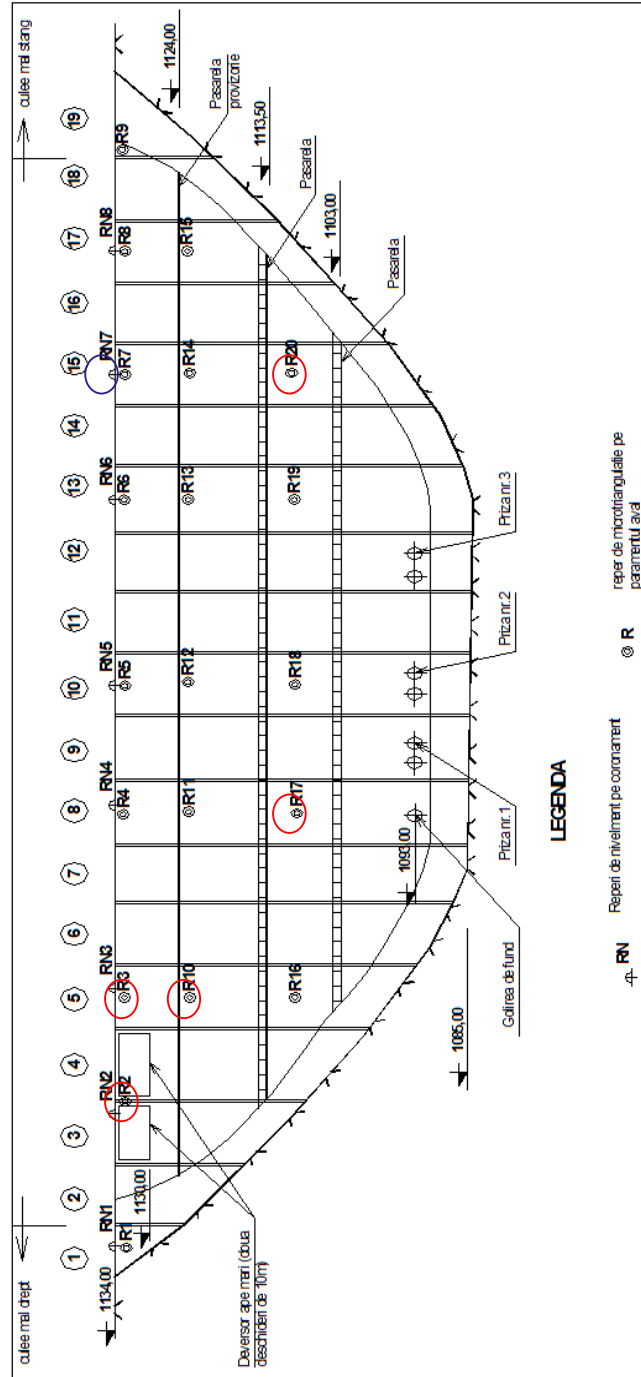


Fig. 6.23. Barajul Petrimanu - Secțiune longitudinală prin axa coronamentului. Amplasamentul reperilor pe coronament și pe parament.

Din măsurările efectuate și analizând graficele rezultate putem concluziona următoarele:

- Deplasări semnificative s-au semnalat în anii 2009 și 2010 (pe axa X la reperul M10 de 46,08 mm în anul 2010, iar pe axa Y la reperul M2 de -25,90 mm în anul 2009) .
- Analizând însă evenimentele ce au dus la aceste deplasări (în anul 2009 s-a golit lacul Petrimanu împreună cu lacurile Galbenu și Vidra datorită măsurilor de retehnologizare ale CHE Lotru - Ciunget, iar în anul 2010 s-au reumplut lacurile) putem spune că aceste deplasări sunt normale, deci nepericuloase.
- Deși aceste deplasări nu sunt periculoase ele trebuie în continuare monitorizate pentru a observa efectele în timp ale golirii barajului.

6.5.1. Aparat și dispozitive auxiliare pentru urmărirea comportării construcției

- mire pentru citirea cotei apei în lac;
- termometre pentru urmărirea temperaturii aerului în amplasament;
- pluviometre pentru măsurarea cantităților de precipitații;

6.6. Modul de urmărire a barajului folosind metoda observațiilor directe (urmărire vizuală)

În urmărirea comportării construcției, în afară de urmărirea cu aparatură, o importantă deosebită o are urmărirea vizuală. În cadrul acesteia se urmăresc:

Lacul și chiuveta lacului

Modificările morfologice deasupra nivelului lacului, stabilitatea versanților, crăpături, denivelări, alunecări, desprinderi, eroziuni, degradări;

- Prezența și grosimea gheții pe lac;
- transportul de material solid în stare de plutire sau prin târâre;

Mediul înconjurător

- starea vremii;
- aspectul apei în lac;

Versanții și fundația barajului

- alunecări, crăpături, desprinderi, eroziuni, fisuri, izvoare, infiltrații, degradări etc.

Se urmăresc aspectele de la punctul de mai sus, în amonte până la coada lacului, în aval până la 500 m de baraj.

- turbiditatea apei infiltrate.

Corpul barajului

- aspectul paramenților: fisuri, exfolieri, degradări, umeziri, deschideri în rosturi, depuneri de material organic și calcită, infiltrații concentrate prin beton;
- la coronament - conservare generală, aliniere structurală, deplasări ale ploturilor, dezintegrarea betonului, eroziuni, fisuri, iluminat.
- starea dispozitivelor de măsură (foraje de drenaj, hidrometre, starea bolțurilor deformetrice – deteriorări, lipsă de capace etc.)

Descărcătorul de ape mari

- fisuri, exfolieri, degradări, infiltrații etc;
- deficiențe la evacuare, blocarea funcționării (material plutitor în exces), eroziuni în aval;

Clădirea stației de pompaj

- deformații, fisuri, exfolieri, crăpături, dezalcalinizări, infiltrații, degradări, funcționarea instalațiilor;

Echipament hidromecanic

- starea echipamentelor, protecție anticorozivă, ungere mecanisme, pierderi la garnituri;
- funcționalitate echipamente și instalații.

Golirea de fund

- starea golirii de fund;
- eroziuni în aval.

Partea de construcție a stației de transformare

- deplasări ale stâlpilor și consolelor, deteriorarea lor, aspectul rigolelor (eroziuni, colmatări).

Masivele de ancoraj ale conductei de refulare

- deplasări, fisuri, degradări, exfolieri.

Observații: se urmăresc la 30 de zile și după ploi intense.

Partea de construcție a conductei de refulare și bazinul de refulare

- deplasări, fisuri, infiltrații, degradări – la 30 de zile;

Casa vanelor fluture

- deplasări, fisuri, crăpături, dezalcalinizări, infiltrații, degradări;

Castelul de echilibru

- la exterior- fisuri exfiltrații, deteriorări, stabilitate taluz, starea sorbului conductei de dezaerare

Senalul aval și zona aval de senal (500 m aval de baraj)

- deformații ,eroziuni, colmatări, alunecări.

Pentru fisuri: martori de sticla lipiți cu ipsos, așezați perpendicular pe fisură;

- marcaje cu vopsea de o parte și de alta a fisuri, măsurarea distanței între marcaje;
- măsurarea deschiderilor.

Pentru alunecări de teren:

- borne de nivelment și măsurători topografice;

Pentru izvoare:

- amenajarea colectării (captarea) și măsurarea volumetrică (cu vas gradat și cronometru)

6.7. Frecvența măsurătorilor și a observațiilor directe

Nr. crt.	Aparate și dispozitive de urmărire	Frecvența în condiții normale	Frecvența în situații excepționale
1.	Pendule	1/7 zile	3 /zi
2.	Telepresmetre	-	-
3.	Teleformetre	-	-
4.	Hidrometre	1/7 zile	1 /zi
5.	Bolțuri deformatrice	1/30 zile	3 /zi
6.	Foraje drenaj	1/7 zile	1 /zi
7.	Nivelul apei în lac	6 /zi	6-24 /zi
8.	Temperatura aer	6/ zi	6-24 /zi
9.	Precipitații	2/zi	2-24 /zi
10.	Foraje seismice	1/3 ani	Imediat după eveniment
11.	Măsurători topografice	1/ an	Imediat după eveniment

CAPITOLUL 7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Construcțiile hidrotehnice sunt menționate în istoria omenirii încă din antichitate. Primele baraje au fost cele de pământ și anrocamente. Barajul Saad-El-Katara din Egipt a fost construit cu peste 4800 de ani în urmă. De asemenea au fost construite baraje în urmă cu peste 3000 de ani pe râurile Amu-Daria și Sîr-Daria, respectiv în urmă cu peste 2000 de ani în Ceylon, Siria, India și Japonia. Barajele din pământ și anrocamente construite în India și Japonia, în jurul anului 1000, mai sunt și astăzi în funcțiune. Necesitatea realizării unor acumulări de ape tot mai mari și tot mai numeroase s-a făcut simțită tot mai mult odată cu trecerea timpului. Dacă în vechime numărul barajelor din întreaga lume era relativ mic, pe măsura trecerii timpului acesta a crescut foarte mult.

Necesitatea urmării comportării în timp a construcțiilor hidrotehnice, în general și a barajelor, în special, s-a făcut simțită odată cu apariția primelor accidente la construcțiile hidrotehnice sau chiar ruperi de baraje. O activitate sistematică de urmărire a comportării barajelor a fost începută în Elveția în perioada 1920-1930. La barajele Montsalvens, Pfaffensprung și Rempen au fost efectuate măsurători sistematice ale deformațiilor și deplasărilor structurale și a terenului de fundație.

Urmărirea comportării construcțiilor hidrotehnice asigură atât reducerea posibilității de rupere, cât și reducerea consecințelor în cazul ruperii. Cunoșcând în permanență starea construcției, dar și tendințele de evoluție ale acesteia, se pot depista comportările atipice sau fenomenele anormale. Dacă acestea au caracter evolutiv spre o stare care afectează siguranța structurală, atunci prin măsuri constructive și restricții de exploatare ruperea poate fi prevenită. În cazul în care starea lucrării are o evoluție rapidă către rupere sau atunci când se creează o stare critică datorită viiturilor sau cutremurelor, activitatea de supraveghere depistează fenomenele premergătoare ruperii și declanșează măsurile de alarmare și evacuare a populației din zona potențial afectată.

De o deosebită importanță este urmărirea comportării în timp a unei astfel de construcții deoarece printr-o urmărire corespunzătoare pot fi prevenite evenimente nedorite care se pot transforma în adevărate dezastre sociale, economice, ecologice, etc. și totodată se pot înlătura, într-o anumită măsură efectele greșelilor de proiectare, execuție și chiar de exploatare. Urmărirea comportării în timp a unor astfel de construcții se face atât prin metode fizice cât și prin metode topografice. Avantajul metodelor fizice este că acestea, prin aparatura pe care o folosesc, furnizează informații despre comportarea construcției urmărite la intervale de timp mici (de ordinul orelor, zilelor, săptămânilor). Aceste informații însă au un caracter relativ deoarece măsurătorile se fac asupra unor elemente ale construcției raportate la alte elemente ale aceleiași construcții. Metodele topografice au un caracter absolut deoarece măsurătorile se execută față de un sistem de referință independent față de construcție. Periodicitatea acestor măsurători însă este mult mai mică, acestea executându-se, în condiții normale, de două ori pe an și numai în condiții deosebite la intervale de timp mai mici. Neajunsurile acestor metode, luate individual, pot fi eliminate prin corelarea rezultatelor măsurătorilor

efectuate prin cele două metode. Desigur că această corelare este o problemă complexă, având în vedere faptul că măsurătorile se execută în sisteme independente unul de altul, se determină mărimi diferite sau, de exemplu deplasările orizontale, se determină la momente diferite, cu periodicitate diferită, față de elemente diferite și cu precizii diferite. Rezolvarea nu este simplă dar așa cum și multe alte probleme deosebit de grele, la un anumit moment, au fost rezolvate în timp, chiar dacă la rezolvarea lor a contribuit distrugerea unor construcții, sunt convins că în condițiile oferite astăzi de cunoștințele din domeniu, de dezvoltarea ultra rapidă a tehnicii de calcul, a tehnicii de urmărire, etc. și această problemă își va găsi rezolvarea. Contribuția pe care au avut-o, o au și o vor avea specialiștii din diverse domenii, oamenii de știință împreună cu descoperirile din domeniu și din alte domenii, aplicate la construcțiile hidrotehnice, au contribuit și vor contribui la rezolvarea tuturor problemelor ridicate de acestea și ne dau convingerea că, măcar în viitor, se vor executa amenajări hidro-energetice cu un înalt grad de siguranță care să excludă în proporție tot mai ridicată posibilitatea cedărilor acestora și efectelor devastatoare pe care le produc.

Cercetările efectuate au un pronunțat caracter multidisciplinar, ele înglobând atât elemente de meteorologie, geologie, dar mai ales topografie și tehnici moderne de urmărire în timp a construcțiilor.

Obiectul cercetării îl constituie deformațiile unei construcții hidrotehnice (baraj), mai exact urmărirea acestor deformații (atât orizontale cât și verticale), în timp, cu ajutorul tehnologiilor moderne.

Prezenta teză de doctorat este structurată pe 7 capitole după cum urmează:

- ✚ Capitolul 1 - Introducere - În acest capitol sunt prezentate considerațiile generale referitoare la deformațiile și tasările construcțiilor hidrotehnice și cauzele care le produc.
- ✚ Capitolul 2 - Tehnici și tehnologii geodezice pentru monitorizarea construcțiilor - În acest capitol sunt prezentate principalele aparate folosite de-a lungul timpului pentru monitorizarea construcțiilor speciale
 - Teodolitul;
 - Tahimetrul;
 - Nivelă;
 - Stația Totală;
 - Nivelă Automată.

De asemenea sunt prezentate metodele moderne folosite în măsurarea și urmărirea deplasărilor construcțiilor speciale, și anume:

- Metoda fotogrametrică;
- Tehnologia GPS;
- Metodele Electrice (Tehnica senzorilor)
- Metoda scanării laser
- ✚ Capitolul 3 - Metode topo-geodezice pentru studiul și urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor. Aici sunt prezentate metodele prin care se studiază și se urmăresc deplasările orizontale și verticale ale construcțiilor, cu explicații grafice și matematice ale acestor metode. Sunt explicate și demonstrate cu ajutorul a 45 de formule și 21 de figuri, principiile matematice ce stau la bază și guvernează metodele microtriangulației, nivelmentelor, aliniamentelor intersectate, poligonometrică, materializarea reperilor de control, nivelmentului geometric de înaltă precizie, nivelmentului trigonometric de precizie și nivelmentului hidrostatic. De asemenea sunt prezentate principalele erori ce pot apărea pe parcurs și posibilitățile de compensare a acestora.

- ✚ Capitolul 4 - Principii de compensare și prelucrare a măsurătorilor geodezice specifice urmăririi în timp a construcțiilor. Acest capitol prezintă tipurile de măsurători și erori care pot apărea în pe parcursul acestora. De asemenea este scoasă în evidență teoria erorilor de măsurare. Prin subcapitolul - Concepte statistice în prelucrarea măsurătorilor se definește noțiunea de probabilitate matematică urmată de explicațiile detaliate, pentru reperi de control ai construcțiilor speciale.
- ✚ Capitolul 5 - Analiza factorilor ce influențează deformarea construcțiilor speciale - face trecerea spre partea aplicativă a prezentei teze de doctorat. Capitolul începe cu aspectele generale al construcțiilor hidrotehnice, urmând ca pe parcursul a 24 de pagini să explice concret condițiile de amplasare ale barajelor și factorii care le influențează soluțiile constructive, justificând astfel de ce barajul luat în studiu este baraj de greutate și totodată face o introducere către următorul capitol.
- ✚ Capitolul 6 - Urmărirea deformațiilor barajului Petrimanu prin metode topo - geodezice - Acest capitol reprezintă partea aplicativă a tezei de doctorat și începe cu prezentarea generală a amenajării. Aici sunt arătate toate aspectele relevante ale barajului cum sunt
 - Amplasarea;
 - Deținătorul;
 - Funcțiile lucrării hidrotehnice, clasa și categoria de importanță;
 - Construcțiile anexă;
 - Datele tehnice caracteristice;
 - Istoricul

Capitolul continuă cu condițiile naturale ale amplasamentului urmate de descrierea lucrărilor din frontul de retenție urmate și dotarea construcției cu aparatură de măsură și control și urmărire.

Cea mai importantă parte a acestui capitol o reprezintă măsurătorile topo-geodezice.

Pentru determinarea deplasărilor orizontale ale barajului (direcția amonte – aval și mal stâng – mal drept) se efectuează măsurători topografice la reperi de microtriangulație de pe paramentul aval al barajului și la reperi de nivelment de pe coronament. În rețeaua de microtriangulație măsurătorile le-am efectuat cu o stație totală Leica TC 805 care are o precizie de măsurare de 3cc și mire de vizare tip Wild.

Metoda de măsurare a unghiurilor în rețeaua de urmărire planimetrică a barajului a fost metoda seriilor, efectuându-se două serii complete. În triunghiurile formate neînchiderile rezultate nu depășesc 20^{cc}. Măsurătorile au fost prelucrate pe calculator cu ajutorul programului APORT 2000.

Cu ajutorul graficelor și tabelelor au fost evidențiate principalele deplasări și deformații ale barajului.

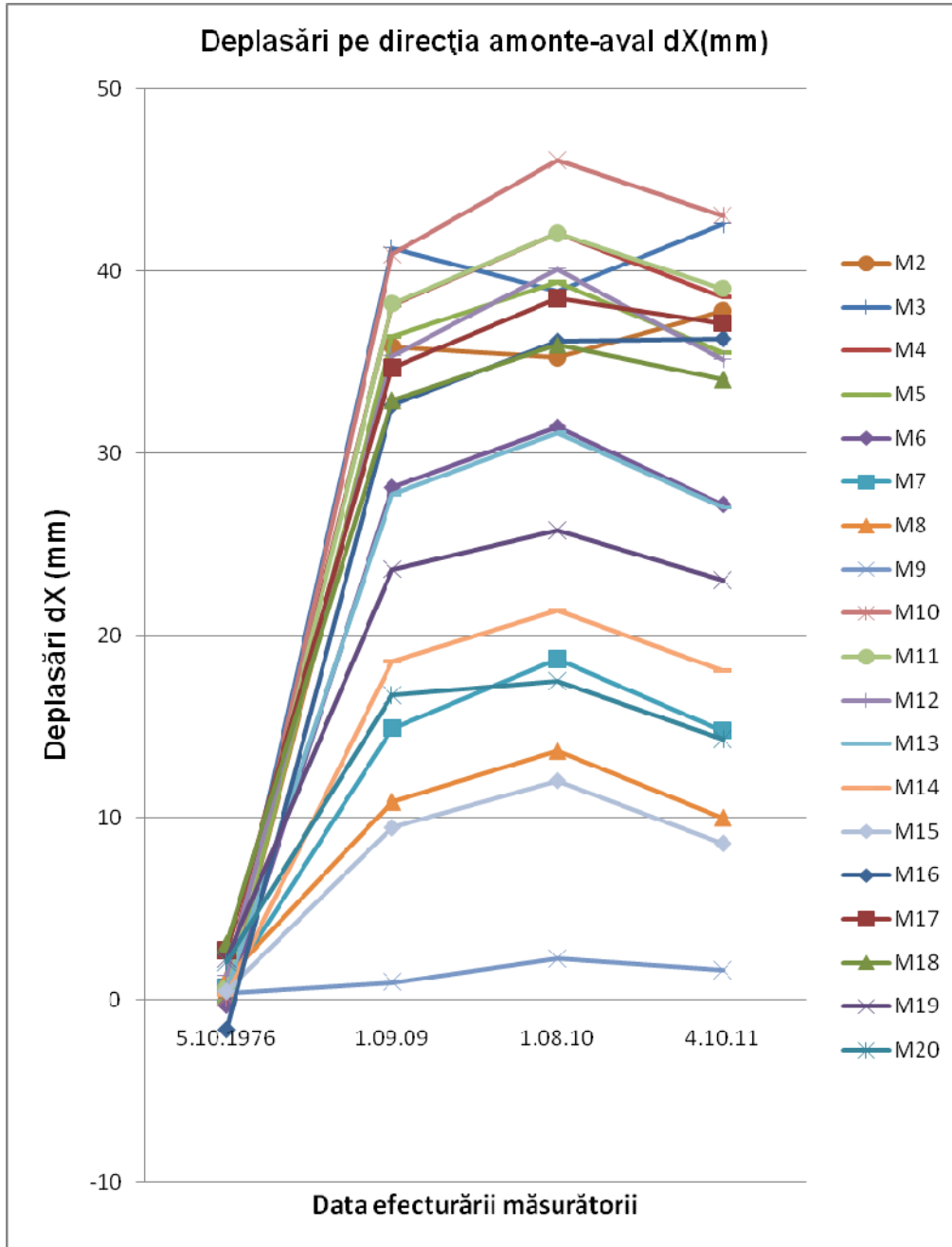


Fig. 7.1. Evoluția deplasărilor reperilor de microtriangulație pe direcția amonte-aval

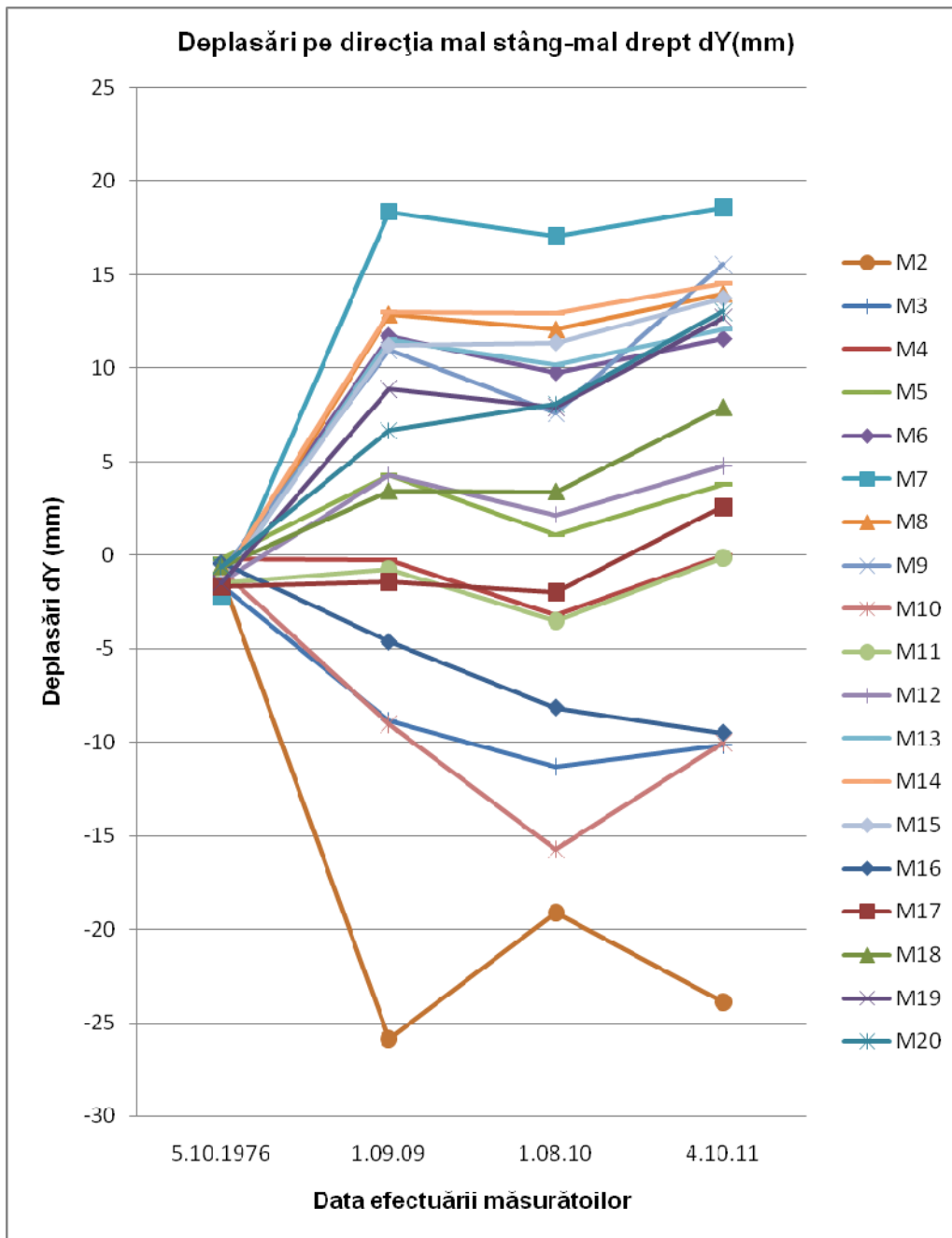


Fig. 7.2. Evoluția deplasărilor reperilor de microtriangulație pe direcția mal stâng-mal drept

De aici se pot trage următoarele concluzii:

- Analizând evoluția deplasării reperilor de pe paramentul barajului de la cota 1134,00 se observă că deplasarea cea mai mare pe axa X se întâlnește la reperul M3 de 42,58mm (în anul 2011 - când barajul a fost plin), iar pe axa Y la reperul M2 de -25,90mm (în anul 2009 - când lacul a fost golit) - deplasările datorându-se poziției celor doi reperi lângă deversorul barajului.
- În urma evoluției deplasării reperilor de pe paramentul barajului de la cota 1124,00 se observă că deplasarea cea mai mare pe axa X cât și pe axa Y se întâlnește la reperul M10 de 46,08mm respectiv - 15,75mm (în anul 2010 - când lacul a fost reumplut) - deplasările datorându-se poziției reperului în partea dreaptă sub deversorul barajului.
- Analizând evoluția deplasării reperilor de pe paramentul barajului de la cota 1109,00 se observă că deplasarea cea mai mare pe axa X se întâlnește la reperul M17 de 38,51mm (în anul 2010 - când lacul a fost reumplut), iar pe axa Y la reperul M20 de 13,05mm (în anul 2011 - când barajul a fost plin) - deplasările datorându-se poziției celor doi reperi.
- Deplasarea maximă determinată în urma măsurătorilor a fost pe axa X la reperul M10 de 46,08mm (în anul 2010 - când lacul a fost reumplut) și pe axa Y la reperul M2 de -25,90mm (în anul 2009 - când lacul a fost golit).
- În urma măsurătorilor au fost calculate elipsele erorilor pentru reperii de pe parament și reperii rețelei fix. Toate erorile se încadrează în toleranțele admise.

Pentru determinarea deplasărilor verticale ale barajului am efectuat măsurători în rețeaua de nivelment.

Măsurătorile în rețeaua de nivelment le-am efectuat cu un instrument de nivelment de tip Leica DNA 03, care asigură o precizie de 0.3 mm/1km de dublu nivelment. Citirile le-am efectuat pe o miră de invar cu cod de bare.

Metoda pe care am folosit-o pentru compensarea măsurătorilor a fost aceea a drumirii de nivelment sprijinită la capete sau închisă pe punctul de plecare, în funcție de condițiile din teren.

Măsurătorile au fost prelucrate pe calculator cu ajutorul programului APORT 2000.

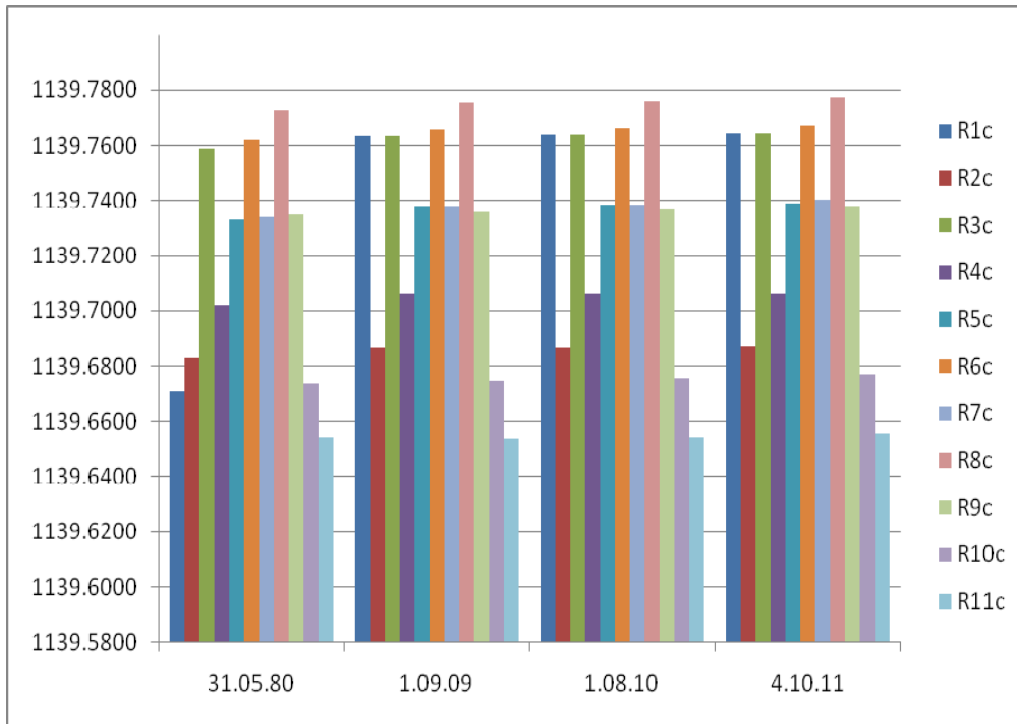


Fig. 7.3. Evoluția deplasărilor verticale ale reperilor de nivelment

- Analizând măsurătorile se poate observa că reperul de nivelment R7 prezintă cea mai mare deplasare pe verticală în anul 2011. Acest fapt se poate explica prin faptul că este amplasat deasupra reperului de microtriangulație M20 (situat în apropierea culeei dinspre malul stâng), care de asemenea prezintă cea mai mare deplasare pe axa Y (deplasare dinspre malul stâng spre malul drept) în 2011.
- Alte concluzii importante ce se pot trage din aceste măsurători sunt:
- Deplasări semnificative s-au semnalat în anii 2009 (deplasarea maximă determinată pe axa X la reperul M10 de 46,08mm) și 2010 (deplasarea maximă determinată pe axa Y la reperul M2 de -25,90mm).
 - Analizând însă evenimentele ce au dus la aceste deplasări (în anul 2009 s-a golit lacul Petrimanu împreună cu lacurile Galbenu și Vidra datorită măsurilor de retehnologizare ale CHE Lotru - Ciunget, iar în anul 2010 s-au reumplut lacurile) putem spune că aceste deplasări sunt normale, deci nepericuloase.
 - Deși aceste deplasări nu sunt periculoase ele trebuie în continuare monitorizate pentru a observa efectele în timp ale golirii barajului.

Principalele contribuții aduse prin elaborarea prezentei teze de doctorat sunt:

- ✚ O sinteză a metodelor topo - geodezice utilizate pentru urmărirea în timp a construcțiilor speciale;
- ✚ O sistematizare a metodelor de compensare și prelucrare a metodelor măsurare ale construcțiilor hidrotehnice;
- ✚ O structurare a tipurilor de reperi de teren și modul de materializare a acestora pentru țara noastră;
- ✚ Sinteza metodelor topo-geodezice utilizate pentru urmărirea comportării în timp, cu exemplificarea metodelor aplicate la determinarea deplasărilor orizontale și deplasărilor verticale (tasărilor) construcțiilor hidrotehnice specifice;
- ✚ Sinteza metodelor de compensare și prelucrare a observațiilor topo-geodezice, privite sub aspectul prelucrărilor observațiilor prin metoda măsurătorilor condiționate și indirecte;
- ✚ Studiul și sinteza cauzelor ce produc fenomenele de instabilitate și efectul pe care acestea îl au asupra construcțiilor speciale;
- ✚ Concretizarea conceptelor teoretice sub forma unui studiu de caz, asupra unui obiectiv de importanță deosebită, barajul de greutate Petrimanu;
- ✚ Efectuarea de măsurători de înaltă precizie a barajului Petrimanu și prelucrarea acestor măsurători într-o etapă deosebit de riscantă în ceea ce privește stabilitatea construcției și anume la golirea și reumplerea lacului de acumulare;
- ✚ Corelarea măsurătorilor topo-geodezice cu programul și frecvența măsurătorilor impuse de administrația barajului Petrimanu;
- ✚ Măsurarea, inventarierea, stocarea, prelucrarea, gestiunea datelor măsurate pe baza unor programe de compensare a măsurătorilor topo-geodezice;
- ✚ Calculul și evidențierea mărimii elementelor elipsei erorilor pentru fiecare reper de pe paramentul barajului Petrimanu;
- ✚ Evaluarea preciziei de determinare a poziției planimetrice a reperilor din rețeaua fixă de urmărire;
- ✚ Reprezentarea datelor obținute prin crearea unor diagrame de urmărire a tasărilor celor 11 reperi de nivelment ale obiectivului și celor 19 reperi de microtriangulație;

Ca strategie de viitor într-un asemenea program de monitorizare precum studiul făcut pentru barajul Petrimanu, ca propunere personală, aș sugera continuarea acestui proiect prin amplasarea de senzori și stații de referință pentru monitorizare (GNSS) precum și urmărirea periodică 3D prin scanare laser a zonelor strategice ale amplasamentului (Fig. 7.4). Dacă procesul de urmărire se continuă încă o perioadă pe linie clasică atunci în mod obligatoriu măsura de urgență impusă este de a se repune în funcțiune reperii M1 (reper de microtriangulație) și R1 (reper de nivelment), aceștia fiind dispuși în zone strategice ale barajului, pentru a se menține parametrii de precizie impuși.

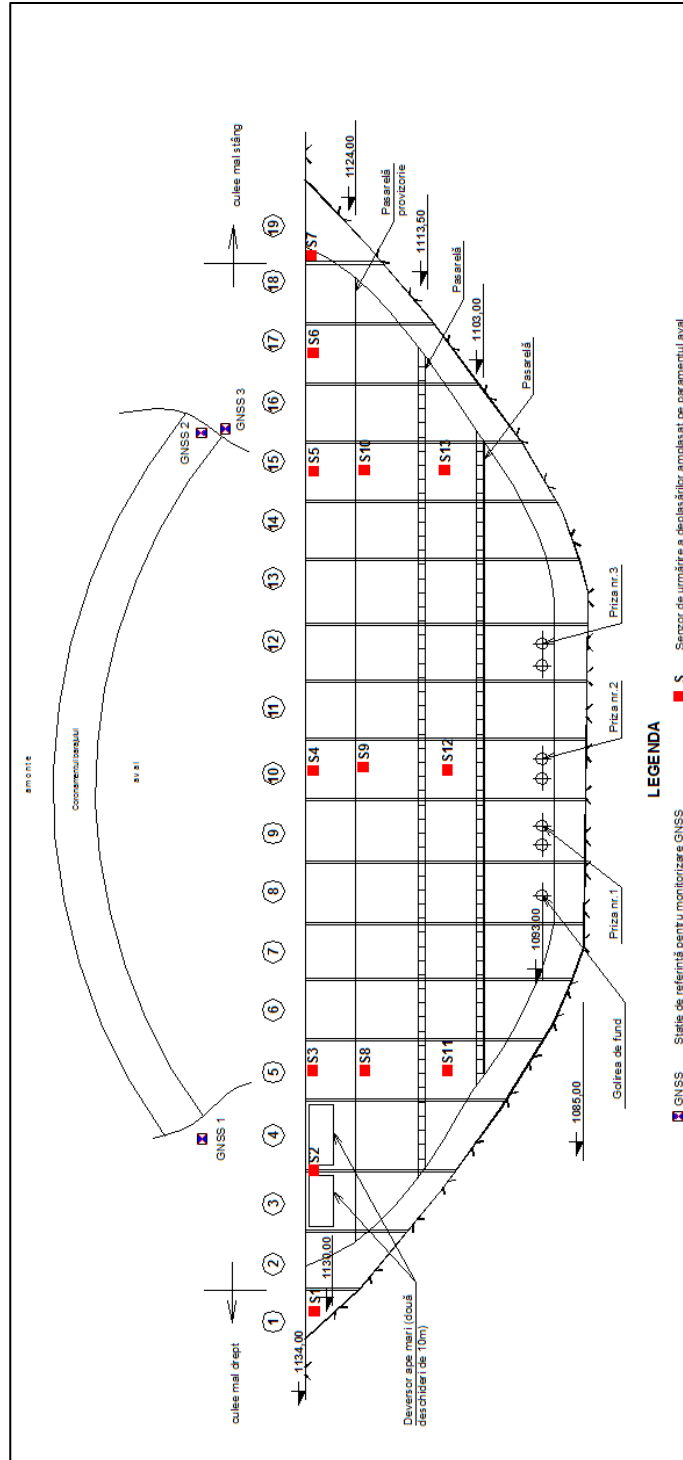


Fig. 7.4. Propunere pentru amplasarea senzorilor de urmărire și a stațiilor de referință pentru monitorizare pe barajul Petrimanu

ANEXE

154 Anexe

Data raport: 14-OCT-2011, ora 13:47:42
Obiectiv: Baraj Petrimanu - microtriangulatie
Folder: D:\APORT\Microtriangulatie\Petrimanu

COMPENSARE ETAPA IN PLAN

Etapa: OCT_2011

Compensare planimetrie de sprijin
Retea libera

Prelucrare retea de sprijin (treapta 1)

PUNCTE ÎN RETEA

Nr. crt	Denumire punct	X [m]	Y [m]	Tip
1	D1	161.7083	252.2442	NOU
2	D2	192.2840	341.8340	NOU
3	D3	254.9360	367.0370	NOU
4	S1	78.5440	347.4440	NOU
5	S2	176.8390	449.3830	NOU
6	S3	234.6190	476.6400	NOU

MASURATORI INCLUSE ÎN COMPENSARE

DIRECTII MASURATE

Statia: D1 [1]

S2	S1	D2	S3		
0.000000	50.589960	383.918600	384.879360		

Statia: D2 [1]

S1	D1	D3	S3	S2	
0.000000	82.148360	227.456800	283.754130	312.210900	

Statia: D3 [1]

S1	D2	S3	S2		
0.000000	17.284160	304.640230	341.286400		

Statia: S3 [1]

D1	D2	D3	S2	S1	
0.000000	0.644060	31.699800	348.091330	364.042460	

Statia: S2 [1]

D1	D2	D3	S1		
0.000000	13.977830	53.225360	356.058030		

Statia: S1 [1]

D1	D2	D3	S3	S2	
0.000000	51.178260	61.348930	98.331700	105.468160	

NUMAR DE MASURATORI / PUNCT

8/D1	10/D2	8/D3	10/S1	9/S2	9/S3
------	-------	------	-------	------	------

REZUMAT CONDITII DE PRELUCRARE

Masuratori:

Statii directii orizontale:	6
Directii orizontale:	27
Distante:	0

Necunoscuta:

dx, dy:	12
dw:	6
dm:	0
Retea libera;	defect: 4

REZULTATE COMPENSARE

Ab.standard medie (precizie retea): 0.96 mm.

INVENTAR DE COORDONATE

Punct	Coordonate provizorii	Cor. [mm]	Coordonate compensate	Ab.st. [mm]	Axe el. [mm]	Or.el. [grd]
D1	161.7083 252.2442	-43.03 15.81	161.6653 252.2600	0.56 0.94	0.94 0.56	103.39
D2	192.2840 341.8340	6.36 6.56	192.2904 341.8406	0.61 0.74	0.86 0.41	60.23
D3	254.9360 367.0370	33.97 3.04	254.9700 367.0400	0.69 0.72	0.72 0.69	119.67
S1	78.5440 347.4440	17.02 -23.91	78.5610 347.4201	0.65 0.66	0.71 0.60	147.18
S2	176.8390 449.3830	-7.56 -12.45	176.8314 449.3705	0.72 0.52	0.72 0.51	11.84

156 Anexe

S3	234.6190	-6.76	234.6122	0.60	0.71	63.84
	476.6400	10.94	476.6509	0.67	0.55	

MASURATORI COMPENSATE

Directii horizontale

Statie	Punct vizat	Directie masurata	Cor. [sec.]	Directie compensata	Orientare
D1	S2	0.000000	4.31	0.000431	95.111322
	S1	50.589960	3.04	50.590264	145.701151
	D2	383.918600	-7.47	383.917853	79.028748
	S3	384.879360	0.13	384.879373	79.990265
D2	S1	0.000000	-2.90	399.999710	196.879264
	D1	82.148360	8.33	82.149193	279.028748
	D3	227.456800	-8.91	227.455909	24.335466
	S3	283.754130	7.97	283.754927	80.634479
	S2	312.210900	-4.49	312.210451	109.090005
D3	S1	0.000000	4.23	0.000423	207.051416
	D2	17.284160	3.07	17.284467	224.335466
	S3	304.640230	-6.61	304.639569	111.690560
	S2	341.286400	-0.69	341.286331	148.337321
S3	D1	0.000000	-1.32	399.999868	279.990265
	D2	0.644060	0.22	0.644082	280.634479
	D3	31.699800	3.66	31.700166	311.690560
	S2	348.091330	1.47	348.091477	228.081871
	S1	364.042460	-4.02	364.042058	244.032455
S2	D1	0.000000	-5.26	399.999474	295.111322
	D2	13.977830	3.24	13.978154	309.090005
	D3	53.225360	1.15	53.225475	348.337321
	S1	356.058030	0.88	356.058118	251.169968
S1	D1	0.000000	-2.85	399.999715	345.701151
	D2	51.178260	-4.40	51.177820	396.879264
	D3	61.348930	10.45	61.349975	7.051416
	S3	98.331700	-6.86	98.331014	44.032455
	S2	105.468160	3.66	105.468526	51.169968

 Data raport: 14-OCT-2011, ora 14:02:41
 Obiectiv: Baraj Petrimanu - microtriangulatie
 Folder: D:\APORT\Microtriangulatie\Petrimanu

COMPENSARE ETAPA IN PLAN

Etapa: OCT_2011

 Compensare planimetrie in trepte
 Retea constransa

Prelucrare retea de sprijin (treapta 1)

PUNCTE ÎN RETEA

Nr. crt	Denumire punct	X [m]	Y [m]	Tip
1	D1	161.7083	252.2442	NOU
2	D2	192.2840	341.8340	FIX
3	D3	254.9360	367.0370	NOU
4	S1	78.5440	347.4440	NOU
5	S2	176.8390	449.3830	NOU
6	S3	234.6190	476.6400	FIX

MASURATORI INCLUSE ÎN COMPENSARE

DIRECTII MASURATE

Statia: D1 [1]

S2	S1	D2	S3		
0.000000	50.589960	383.918600	384.879360		

Statia: D2 [1]

S1	D3	S2			
0.000000	227.456800	312.210900			

Statia: D3 [1]

S1	D2	S3	S2		
0.000000	17.284160	304.640230	341.286400		

Statia: S3 [1]

D1	D2	D3	S2	S1	
0.000000	0.644060	31.699800	348.091330	364.042460	

Statia: S2 [1]

D1	D2	D3	S1		
----	----	----	----	--	--

158 Anexe

0.000000 | 13.977830 | 53.225360 | 356.058030 | |

 Statia: S1 [1]

D1 | D2 | D3 | S3 | S2 |
 0.000000 | 51.178260 | 61.348930 | 98.331700 | 105.468160 |

NUMAR DE MASURATORI / PUNCT

 7/D1 | 8/D2 | 8/D3 | 10/S1 | 9/S2 | 8/S3

REZUMAT CONDITII DE PRELUCRARE

Masuratori:
 Statii directii orizontale: 6
 Directii orizontale: 25
 Distanțe: 0

 Necunoscute:
 dx, dy: 8
 dw: 6
 dm: 0
 Retea constransa

REZULTATE COMPENSARE

Ab.standard medie (precizie retea): 1.45 mm.

INVENTAR DE COORDONATE

Punct	Coordonate provizorii	Cor. [mm]	Coordonate compensate	Ab.st. [mm]	Axe el. [mm]	Or.el. [grd]
D1	161.7083 252.2442	-56.45 12.60	161.6519 252.2568	1.19 1.61	1.71 1.05	72.75
D2			192.2840 341.8340		PUNCT FIX	
D3	254.9360 367.0370	30.26 -10.32	254.9663 367.0267	0.59 0.63	0.73 0.46	53.94
S1	78.5440 347.4440	12.30 -18.33	78.5563 347.4257	1.38 0.89	1.38 0.89	199.55
S2	176.8390 449.3830	-2.31 -17.55	176.8367 449.3654	0.74 0.59	0.79 0.52	31.43
S3			234.6190 476.6400		PUNCT FIX	

MASURATORI COMPENSATE

Directii orizontale

Statie	Punct vizat	Directie masurata	Cor. [sec.]	Directie compensata	Orientare
D1	S2	0.000000	2.15	0.000215	95.105284
	S1	50.589960	-0.85	50.589875	145.694938
	D2	383.918600	-1.43	383.918457	79.023531
	S3	384.879360	0.12	384.879372	79.984444
D2	S1	0.000000	2.81	0.000281	196.872438
	D3	227.456800	-3.75	227.456425	24.328588
	S2	312.210900	0.94	312.210994	109.083151
D3	S1	0.000000	2.89	0.000289	207.044622
	D2	17.284160	0.87	17.284247	224.328588
	S3	304.640230	-1.32	304.640098	111.684429
	S2	341.286400	-2.44	341.286156	148.330487
S3	D1	0.000000	1.25	0.000125	279.984444
	D2	0.644060	-1.31	0.643929	280.628247
	D3	31.699800	3.13	31.700113	311.684429
	S2	348.091330	3.16	348.091646	228.075962
	S1	364.042460	-6.23	364.041837	244.026155
S2	D1	0.000000	0.08	0.000008	295.105284
	D2	13.977830	0.42	13.977872	309.083151
	D3	53.225360	-1.49	53.225211	348.330487
	S1	356.058030	1.00	356.058130	251.163409
S1	D1	0.000000	0.43	0.000043	345.694938
	D2	51.178260	-7.27	51.177533	396.872438
	D3	61.348930	7.89	61.349719	7.044622
	S3	98.331700	-4.49	98.331251	44.026155
	S2	105.468160	3.45	105.468505	51.163409

Prelucrare retea de urmarire (treapta 2)

PUNCTE ÎN REȚEA

Nr. crt	Denumire punct	X [m]	Y [m]	Tip
1	D1	161.6519	252.2568	FIX
2	D2	192.2840	341.8340	FIX
3	D3	254.9663	367.0267	FIX

160 Anexe

4	S1	78.5563	347.4257	FIX
5	S2	176.8367	449.3654	FIX
6	S3	234.6190	476.6400	FIX
7	R2	252.7860	328.2230	NOU
8	R3	282.3010	350.6940	NOU
9	R4	293.6180	378.5530	NOU
10	R5	296.0220	398.5770	NOU
11	R6	292.1710	426.9760	NOU
12	R7	283.7910	446.8220	NOU
13	R8	273.0010	462.1410	NOU
14	R9	258.7080	474.7980	NOU
15	R10	282.3870	350.6110	NOU
16	R11	295.0460	378.3680	NOU
17	R12	297.7270	398.5830	NOU
18	R13	293.3270	427.3320	NOU
19	R14	284.0590	446.8090	NOU
20	R15	272.3780	461.3560	NOU
21	R16	281.6550	354.2430	NOU
22	R17	295.0950	378.6740	NOU
23	R18	298.2990	397.7110	NOU
24	R19	292.5870	428.0410	NOU
25	R20	283.2490	444.2120	NOU

MASURATORI INCLUSE ÎN COMPENSARE

DIRECTII MASURATE

 Statia: D1 [1]

S2	S1	D2	S3		
0.000000	50.589960	383.918600	384.879360		

 Statia: D2 [1]

S1	R3	R11	R4	D3	R5
0.000000	209.363600	224.864400	225.249800	227.456800	234.983200

R18	R12	R13	R6	R19	R20
234.001050	234.551650	247.829500	248.059600	248.320750	256.878500

R14	R7	R8	R15	R9	S2
257.389200	257.487250	265.504850	265.541000	273.633800	312.210900

 Statia: D3 [1]

S1	D2	R2	R3	R10	R16
0.000000	17.284160	89.441850	158.688700	158.634500	164.535750

R11	R17	R4	R18	R12	R5
210.488300	210.920200	211.381950	232.159350	233.403000	234.639950

R13	R6	R19	R20	R14	R7
256.869700	257.576550	257.764950	270.584750	270.683800	270.879400

R8	R15	R9	S3	S2	
281.019900	281.329250	290.745400	304.640230	341.286400	

Statia: S3 [1]

D1	D2	R2	D3	R10	R16
0.000000	0.644060	27.784750	31.699800	43.097850	43.387950

R4	R11	R17	R5	R12	R18
54.509900	55.131650	55.242100	62.467600	63.320250	63.253200

R6	R13	R19	R7	R14	R20
74.715100	75.565550	75.617700	85.340550	85.478600	82.593250

R15	R8	S2	S1		
95.554150	97.047950	348.091330	364.042460		

Statia: S2 [1]

D1	D2	R2	D3	R3	R10
0.000000	13.977830	40.553250	53.225360	57.020900	57.020950

R16	R4	R11	R17	R5	R18
57.987650	70.201100	70.470450	70.603100	79.257350	79.304600

R12	R6	R13	R14	R7	R8
79.585000	92.695500	93.001900	103.384500	103.390050	113.308300

S1					
356.058030					

Statia: S1 [1]

D1	D2	D3	R9	R15	R20
0.000000	51.178260	61.348930	93.486250	88.136650	82.423750

S3	S2				
98.331700	105.468160				

NUMAR DE MASURATORI / PUNCT

7/D1	23/D2	27/D3	13/S1	24/S2	25/S3
3/R2	3/R3	4/R4	4/R5	4/R6	4/R7
4/R8	3/R9	3/R10	4/R11	4/R12	4/R13
4/R14	4/R15	3/R16	3/R17	4/R18	3/R19
4/R20					

REZUMAT CONDITII DE PRELUCRARE

Masuratori:

Statii directii orizontale: 6
 Directii orizontale: 94
 Distanțe: 0

Necunoscute:

dx, dy: 38
 dw: 6
 dm: 0
 Retea constransa

REZULTATE COMPENSARE

Ab.standard medie (precizie retea): 1.30 mm.

INVENTAR DE COORDONATE

Punct	Coordonate provizorii	Cor. [mm]	Coordonate compensate	Ab.st. [mm]	Axe el. [mm]	Or.el. [grd]
D1			161.6519 252.2568		PUNCT FIX	
D2			192.2840 341.8340		PUNCT FIX	
D3			254.9663 367.0267		PUNCT FIX	
S1			78.5563 347.4257		PUNCT FIX	
S2			176.8367 449.3654		PUNCT FIX	
S3			234.6190 476.6400		PUNCT FIX	
R2	252.7860 328.2230	35.25 -19.13	252.8212 328.2039	0.35 2.26	2.26 0.35	99.05
R3	282.3010 350.6940	38.89 -11.32	282.3399 350.6827	1.20 0.70	1.36 0.29	168.14
R4	293.6180 378.5530	42.09 -3.23	293.6601 378.5498	0.92 0.41	0.94 0.36	14.33
R5	296.0220 398.5770	39.37 1.10	296.0614 398.5781	0.71 0.56	0.78 0.45	34.19
R6	292.1710	31.44	292.2024	0.61	0.62	34.46

	426.9760	9.78	426.9858	0.59	0.58	
R7	283.7910 446.8220	18.69 17.03	283.8097 446.8390	0.65 0.53	0.68 0.48	171.63
R8	273.0010 462.1410	13.68 12.08	273.0147 462.1531	0.71 0.41	0.74 0.36	181.14
R9	258.7080 474.7980	2.27 7.57	258.7103 474.8056	1.02 2.33	2.40 0.82	82.83
R10	282.3870 350.6110	46.08 -15.75	282.4331 350.5952	1.68 1.11	2.00 0.29	163.37
R11	295.0460 378.3680	42.06 -3.54	295.0881 378.3645	0.95 0.41	0.96 0.37	13.14
R12	297.7270 398.5830	40.08 2.17	297.7671 398.5852	0.73 0.56	0.80 0.46	32.06
R13	293.3270 427.3320	31.15 10.21	293.3581 427.3422	0.62 0.59	0.63 0.59	27.19
R14	284.0590 446.8090	21.36 12.95	284.0804 446.8219	0.65 0.53	0.68 0.49	172.05
R15	272.3780 461.3560	12.05 11.39	272.3900 461.3674	0.71 0.45	0.76 0.37	175.47
R16	281.6550 354.2430	36.17 -8.15	281.6912 354.2348	1.52 0.83	1.71 0.27	169.24
R17	295.0950 378.6740	38.51 -1.98	295.1335 378.6720	0.95 0.42	0.97 0.39	12.28
R18	298.2990 397.7110	35.98 3.42	298.3350 397.7144	0.75 0.55	0.81 0.46	30.72
R19	292.5870 428.0410	25.76 7.90	292.6128 428.0489	0.62 0.69	0.70 0.61	74.58
R20	283.2490 444.2120	17.52 8.07	283.2665 444.2201	0.62 0.60	0.68 0.53	154.39

MASURATORI COMPENSATE

Directii orizontale

Statie	Punct vizat	Directie masurata	Cor. [sec.]	Directie compensata	Orientare
D1	S2	0.000000	2.15	0.000215	95.105284
	S1	50.589960	-0.91	50.589869	145.694938
	D2	383.918600	-1.38	383.918462	79.023531

164 Anexe

	S3	384.879360	0.15	384.879375	79.984444

D2	S1	0.000000	5.89	0.000589	196.872438
	R3	209.363600	-1.92	209.363408	6.235262
	R11	224.864400	-4.81	224.863919	21.735772
	R4	225.249800	-4.72	225.249328	22.121180
	D3	227.456800	-0.61	227.456739	24.328588
	R5	234.983200	-3.21	234.982879	31.854731
	R18	234.001050	0.55	234.001105	30.872956
	R12	234.551650	-4.05	234.551245	31.423097
	R13	247.829500	-1.84	247.829316	44.701166
	R6	248.059600	-2.69	248.059331	44.931182
	R19	248.320750	-0.96	248.320654	45.192504
	R20	256.878500	-3.45	256.878155	53.750005
	R14	257.389200	2.03	257.389403	54.261253
	R7	257.487250	4.23	257.487673	54.359522
	R8	265.504850	5.37	265.505387	62.377236
	R15	265.541000	1.91	265.541191	62.413040
	R9	273.633800	4.26	273.634226	70.506075
	S2	312.210900	4.02	312.211302	109.083151

D3	S1	0.000000	4.32	0.000432	207.044622
	D2	17.284160	2.37	17.284397	224.328588
	R2	89.441850	1.44	89.441994	296.486158
	R3	158.688700	2.39	158.688939	365.733105
	R10	158.634500	1.56	158.634656	365.678817
	R16	164.535750	0.44	164.535794	371.579963
	R11	210.488300	2.08	210.488508	17.532720
	R17	210.920200	0.27	210.920227	17.964434
	R4	211.381950	0.82	211.382032	18.426246
	R18	232.159350	0.67	232.159417	39.203620
	R12	233.403000	1.31	233.403131	40.447339
	R5	234.639950	0.88	234.640038	41.684246
	R13	256.869700	0.31	256.869731	63.913929
	R6	257.576550	-0.43	257.576507	64.620705
	R19	257.764950	0.52	257.765002	64.809197
	R20	270.584750	2.89	270.585039	77.629231
	R14	270.683800	-2.19	270.683581	77.727774
	R7	270.879400	-6.74	270.878726	77.922919
	R8	281.019900	-8.55	281.019045	88.063237
	R15	281.329250	-1.56	281.329094	88.373286
	R9	290.745400	-1.83	290.745217	97.789407
	S3	304.640230	0.08	304.640238	111.684429
	S2	341.286400	-1.04	341.286296	148.330487

S3	D1	0.000000	5.54	0.000554	279.984444
	D2	0.644060	2.98	0.644358	280.628247
	R2	27.784750	-7.54	27.783996	307.767884
	D3	31.699800	7.40	31.700540	311.684429
	R10	43.097850	3.15	43.098165	323.082050
	R16	43.387950	1.23	43.388073	323.371961
	R4	54.509900	-4.71	54.509429	334.493315

R11	55.131650	0.60	55.131710	335.115595
R17	55.242100	1.17	55.242217	335.226103
R5	62.467600	-1.35	62.467465	342.451349
R12	63.320250	-1.08	63.320142	343.304026
R18	63.253200	3.08	63.253508	343.237393
R6	74.715100	-3.32	74.714768	354.698652
R13	75.565550	-1.06	75.565444	355.549329
R19	75.617700	0.17	75.617717	355.601603
R7	85.340550	-6.00	85.339950	365.323836
R14	85.478600	-1.55	85.478445	365.462330
R20	82.593250	1.01	82.593351	362.577237
R15	95.554150	-0.34	95.554116	375.538002
R8	97.047950	-4.86	97.047464	377.031349
S2	348.091330	7.42	348.092072	228.075962
S1	364.042460	-1.95	364.042265	244.026155

S2

D1	0.000000	-3.90	399.999610	295.105284
D2	13.977830	-3.53	13.977477	309.083151
R2	40.553250	2.21	40.553471	335.659143
D3	53.225360	-5.47	53.224813	348.330487
R3	57.020900	-8.58	57.020042	352.125714
R10	57.020950	-9.92	57.019958	352.125629
R16	57.987650	-3.20	57.987330	353.093003
R4	70.201100	6.87	70.201787	365.307459
R11	70.470450	-1.49	70.470301	365.575972
R17	70.603100	-1.85	70.602915	365.708587
R5	79.257350	2.65	79.257615	374.363287
R18	79.304600	-4.79	79.304121	374.409794
R12	79.585000	2.38	79.585238	374.690909
R6	92.695500	6.21	92.696121	387.801793
R13	93.001900	2.27	93.002127	388.107799
R14	103.384500	2.38	103.384738	398.490411
R7	103.390050	10.31	103.391081	398.496753
R8	113.308300	10.42	113.309342	8.415015
S1	356.058030	-2.96	356.057734	251.163409

S1

D1	0.000000	1.34	0.000134	345.694938
D2	51.178260	-6.26	51.177634	396.872438
D3	61.348930	8.88	61.349818	7.044622
R9	93.486250	-3.30	93.485920	39.180724
R15	88.136650	0.83	88.136733	33.831537
R20	82.423750	-2.44	82.423506	28.118310
S3	98.331700	-3.49	98.331351	44.026155
S2	105.468160	4.45	105.468605	51.163409

 Data raport: 14-OCT-2011, ora 14:50:42
 Obiectiv: Baraj Petrimanu - nivelment
 Folder: D:\APORT\Nivelment\Petrimanu

COMPENSARE ETAPA NIVELMENT

Etapa: OCT_2011

 Compensare nivelment în bloc
 Retea constransa

Prelucrare retea completa

Nr. crt	Denumire punct	H [m]	Tip	Nr. crt	Denumire punct	H [m]	Tip
1	RN1	1140.0000	FIX	2	R1	1139.6717	NOU
3	R2	1139.6830	NOU	4	R3	1139.7598	NOU
5	R4	1139.7024	NOU	6	R5	1139.7330	NOU
7	R6	1139.7628	NOU	8	R7	1139.7343	NOU
9	R8	1139.7732	NOU	10	R9	1139.7358	NOU
11	R10	1139.6744	NOU	12	R11	1139.6541	NOU
13	RFS	1141.6258	FIX	14	RFD	1140.1805	FIX

DIFERENȚE DE NIVEL MĂSURATE

De la	La	Val.mas.	De la	La	Val.mas.
R11	RFD	0.5259	R7	RFD	0.4416
R10	R11	-0.0217	R9	R10	-0.0615
R8	R9	-0.0387	R7	R8	0.0377
R5	R7	0.0002	R6	R7	-0.0282
R5	R6	0.0284	R3	R5	-0.0262
R4	R5	0.0316	R3	R4	-0.0578
R1	R3	0.0893	R2	R3	0.0781
R1	R2	0.0112	RFS	R1	-1.9507
RN1	RFS	1.6255	RN1	R1	-0.3252
RN1	RFS	1.6255	RN1	R1	-0.3252

NUMAR DE MASURATORI / PUNCT

2/RN1	4/R1	2/R2	4/R3	2/R4	4/R5
2/R6	4/R7	2/R8	2/R9	2/R10	2/R11
2/RFS	2/RFD				

REZUMAT CONDITII DE PRELUCRARE

Masuratori:

Diferențe de nivel: 18

Necunoscute:

dh: 11

Rețea constransă

REZULTATE COMPENSARE

Ab.standard medie (precizie rețea): 0.15 mm

INVENTAR DE COTE

Nr. crt	Denumire punct	Tip	H prov [m]	Cor. [mm]	H comp [m]	Ab.st. [mm]
1	RN1	FIX			1140.0000	
2	R1	NOU	1139.6717	3.40	1139.6751	0.07
3	R2	NOU	1139.6830	3.39	1139.6864	0.13
4	R3	NOU	1139.7598	4.73	1139.7645	0.13
5	R4	NOU	1139.7024	4.43	1139.7068	0.16
6	R5	NOU	1139.7330	5.47	1139.7385	0.14
7	R6	NOU	1139.7628	4.09	1139.7669	0.17
8	R7	NOU	1139.7343	4.44	1139.7387	0.13
9	R8	NOU	1139.7732	3.20	1139.7764	0.17
10	R9	NOU	1139.7358	1.93	1139.7377	0.18
11	R10	NOU	1139.6744	1.80	1139.6762	0.18
12	R11	NOU	1139.6541	0.44	1139.6545	0.15
13	RFS	FIX			1141.6258	
14	RFD	FIX			1140.1805	

MASURATORI

DE	LA	LA	Dif.niv. măsurată	Cor. [mm]	Dif.niv. compensată
R11	RFD		0.5259	0.01	0.5260
R7	RFD		0.4416	0.19	0.4418

168 Anexe

R10	R11	-0.0217	0.01	-0.0217
R9	R10	-0.0615	0.01	-0.0615
R8	R9	-0.0387	0.01	-0.0387
R7	R8	0.0377	0.01	0.0377
R5	R7	0.0002	0.12	0.0003
R6	R7	-0.0282	0.08	-0.0282
R5	R6	0.0284	0.04	0.0284
R3	R5	-0.0262	0.12	-0.0261
R4	R5	0.0316	0.06	0.0316
R3	R4	-0.0578	0.06	-0.0577
R1	R3	0.0893	0.11	0.0894
R2	R3	0.0781	0.05	0.0781
R1	R2	0.0112	0.06	0.0113
RFS	R1	-1.9507	-0.00	-1.9507
RN1	RFS	1.6255	0.26	1.6258
RN1	R1	-0.3252	0.26	-0.3249

BIBLIOGRAFIE

- [1.] Ackroyd N., Lorimer R., - *Global navigation – a GPS user’s guide*, Lloyd’s of London, 1990
- [2.] Albotă M. G., Atudorei M., Năstase A., Neamțu M., Ulea E., Zegheru A. - *Dicționar enciclopedic de geodezie, topografie, fotogrammetrie, teledetecție, cartografie, cadastru*, Editura Nemira, București, 2009
- [3.] Astasenkov G. - *Deformations messungen an Fundamenten und Laufrigen von Drehofen – Verm. – Tech.*, 5, 1974
- [4.] Atudorei M. - *Măsurători geodezice prin unde*, Institutul de Construcții București, 1981
- [5.] Boș N., Iacobescu O. - *Topografie modernă*, Editura C.H. Beck, București, 2007
- [6.] Botez P.M., Ghițău, D., Ionescu, C - *Compensarea riguroasă automată a rețelelor de nivelment prin variația altitudinilor*, Rd GOT, 5, 1966
- [7.] Botez M. - *Geodezie, volumul I*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1969
- [8.] Botez P.M., Atudorei, M., Fotescu, N - *Manualul inginerului geodez – volumul I, Secțiunea III, Teoria erorilor măsurărilor și metoda celor mai mici pătrate*, Editura Tehnică București, 1972
- [9.] Botez P.M., Dragomir, V., ș.a. - *Manualul inginerului geodez – volumul I, Secțiunea VI, Geodezia*, Editura Tehnică București, 1973
- [10.] Brebu Floarea, Gridan Maria- Roberta, Bălă Alina, Mușat C. - *Data quality obtained using modern topographical methods for special constructions monitoring*, International UAB- BEnA Conference „Environmental Engineering and Sustainable Development”, Alba- Iulia, Romania, Editura: Alternitas Publishing House, ISBN: 978-606-613-002-8
- [11.] Collins J. - *The satellite solution to surveying – Professional Surveyor*, 1982
- [12.] Costăchel A., Cristescu, N. ș.a. - *Topografie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970
- [13.] Coșarcă C. - *Topografie inginerească*, Editura Matrix Rom, București, 2003
- [14.] Coșarcă C. - *Sisteme de măsurare în industrie*, Editura Conspress, București, 2009
- [15.] Coșarcă C., Sărăcin A. - *Topografie curs, aplicații practice*, Editura Conspress, București, 2009
- [16.] Cristescu N. - *Topografie inginerească*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978
- [17.] Cross. P. - *Geodetic networks and the surveyor*, London, 1987
- [18.] David Viorica, Herban S., Sturza Mihaela, Baci Anca, Novac Gh. - *Măsurători Terestre, Volumul II*, Editura Politehnica, Timișoara, 2007
- [19.] Dinescu A. - *Introducere în geodezia geometrică spațială*, Editura Tehnică București, 1980
- [20.] Doandeuș V.- *Topografie generală și inginerească*, Editura Politehnica, 2000
- [21.] Doandeuș V.- *Topografie aplicată*, Editura Politehnica, 2005
- [22.] Dragomir P., Sărăcin A. - *Măsurători terestre - Fundamente - Topografie inginerească*, Editura MatrixRom, București, 2002
- [23.] Filimon R., Botez P.M., Costăchel A., Russu A., - *Topografie generală*, Editura Tehnică București, 1958

- [24.] Fotescu N – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate, Institutul de Construcții București, 1975*
- [25.] Ghițău D. – *Geodezie – Triangulație, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973*
- [26.] Ghițău D. – *Prelucrarea măsurătorilor geodezice, Editura Topoexim, București, 2009*
- [27.] Grafarend E.W., Sanso, F. – *Optimisation and design of geodetic networks, Springer Verlag, 1985*
- [28.] Grecea Carmen, Arcereanu, G. – *Instrumente topografice pentru cadastru, Universitatea Politehnica din Timișoara, 1995*
- [29.] Grecea, Carmen – *Geodezie, Editura Mirton, Timișoara, 2005*
- [30.] Grecea Carmen, Sturza Mihaela, Mușat C. – *Măsurători Terestre, Volumul I, Editura Politehnica, Timișoara, 2007*
- [31.] Grecea Carmen, Gridan Maria- Roberta - *Geospatial technology for 3D city and urban modelling, RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre, ISSN: 1583 -2279, Editura: Alternitas Publishing House Alba- Iulia, Alba- Iulia, Romania, vol. 11, 2011*
- [32.] Gridan Maria- Roberta - *Monitoring dams- a new engineering method in environmental protection, Workshop-ul nr. 2 "Interdisciplinaritatea si anagementul cercetarii", Timisoara, Romania , 2011*
- [33.] Gridan Maria- Roberta, Bălă Alina, Grecea Carmen - *Dam monitoring- a modern method in environment engineering, Research Journal of Agricultural Science, ISSN: 2066-1843, Editura: Agroprint Editorial, Timișoara, Romania, vol. 43 (3) 1 - 529 (2011), 2011*
- [34.] Gridan Maria- Roberta, Alionescu A., Herban S.I. - *The concept of sustainable development applied to retooling CHE Brădișor, International Symposium „Trends in the European Agriculture Development”, Editura: USAMBVT, Timișoara, 2012*
- [35.] Gridan Maria- Roberta, Grecea Carmen - *“Surfer” sollution, tool for terrain modelling, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2012*
- [36.] Gridan Maria- Roberta, Grecea Carmen - *3D MODELING USING laser scanning technology, The 12th International GeoConference SGEM 2012, Bulgaria, 2012*
- [37.] Haida V., Marin M. – *Geotehnică, Universitatea Tehnică Timișoara, 1994*
- [38.] Haida V., Marin M., Mirea Monica – *Mecanica pământurilor, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004*
- [39.] Herban I. S. - *Topografie inginerească, Îndrumător de aplicații și lucrări practice, Editura Politehnică, Timișoara, 2006*
- [40.] Herban S., Grecea Carmen, Sturza Mihaela, David Viorica, Bălă Alina, Brebu Floarea – *Măsurători Terestre - Concepte - Volumul II, Editura Politehnica, Timișoara, 2012*
- [41.] Hoffmann – Wellenhof, B. Lichtenegger H., Collins J. – *GPS – Theory and practice, third revised edition, Springer – Verlag Wien, 1994*
- [42.] Hoffmann – Wellenhof B., Kienast G., Lichtenegger H. – *GPS in der Praxis, Springer, Wien, New York, 1994*
- [43.] Ingensan M., Kyle S. – *Modern survey technics, Leica Heerbrugg, 1994*
- [44.] Jackson P. – *Instruments Wild measures optiques, Wild Heerbrugg, 1994*
- [45.] Kenned J.B., Neville A.M. – *Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists, New York, 1976*
- [46.] Klinger I. – *Triangulație geodezică, Institutul de Construcții București, 1958*
- [47.] Leick A. – *GPS Satellite Surveying, John WILEY & Sons Inc. USA, 1990*
- [48.] Leoveanu G. – *Metode topogeodezice de calcul pentru urmărirea stabilității construcțiilor, Rd GOT, 3, 1967*

- [49.] Mohalenbrick W. - *Vorlesung - Ursachen und Wirkungen von Bauwerksdeformationen*, Universitat Stuttgart, 2005
- [50.] Moldoveanu C. - *Geodezie*, Editura Matrix Rom, București, 2002
- [51.] Montgomery H. - *GPS - the next generation*, GPS World, 2, 1991
- [52.] Mușat C. - *Considerații privind tipurile de rețele de microtriangulație particularizate la studiul deplasărilor în construcții*, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2003
- [53.] Mușat C. - *Determinarea deplasărilor și deformațiilor rețelelor geodezice pentru lucrări hidrotehnice*, Buletinul Științific al Universității Politehnice din Timișoara, Tomul 49 (63), Fascicola 1, 2005
- [54.] Mușat C. - *Contribuții privind stabilirea tasărilor și deformațiilor construcțiilor utilizând metode și tehnici topo-geodezice moderne*, Timișoara, 2006
- [55.] Mușat C., Pinteș D., Belea Gh., Grecea Carmen, Gridan Maria-Roberta, Vilceanu Beatrice - *Măsurători Terestre - Concepte - Volumul I*, Editura Politehnica, Timișoara, 2012
- [56.] Neamțu M., - *Complemente de topografie inginerească*, Institutul de Construcții București, 1973
- [57.] Neamțu M. - *Contribuții la perfecționarea tehnologiei de măsurare și a metodelor de calcul pentru determinarea deplasărilor liniare și unghiulare ale construcțiilor*, Institutul de Construcții București, 1976
- [58.] Neamțu M. - *Instrumente topografice și geodezice*, Editura Tehnică București, 1982
- [59.] Neamțu M., Onose D., Neuner J. - *Măsurarea topografică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor*, Institutul de Construcții București, 1988
- [60.] Nistor Gh. - *Geodezie aplicată la studiul construcțiilor*, Editura Gh. Asachi, Iași, 1993
- [61.] Nistor Gh. - *Teoria prelucrării măsurătorilor geodezice*, Editura Gh. Asachi, Iași, 1995
- [62.] Pîrăianu C-tin, Șahinian I., Pîrăianu V., Sporiș M., Sima F., Bălan Emilia - *Hidrocentrala Lotru - 40 de ani de la începerea lucrărilor*, Editura Conphys, 2007
- [63.] Ortelecan M., Pop N. - *Metode topografice de urmărire a construcțiilor și terenurilor*, Editura Academic Prese, Cluj Napoca, 2006
- [64.] Peltzer H. - *Criteria for the reliability and geodetic networks*, Budapest, 1979
- [65.] Plăcișteanu I. - *Teoria erorilor de măsurare*, București, 1980
- [66.] Prișcu R. - *Construcții Hidrotehnice, Volumul I*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974
- [67.] Prișcu R. - *Construcții Hidrotehnice, Volumul II*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974
- [68.] Ruland R., Leick A. - *Application of GPS to a High - Precision Engineering Survey Network, Proceedings: Washington D.C., National Geodetic Information Center, 1985*
- [69.] Rumșiski L.Z. - *Prelucrarea matematică a datelor experimentale*, Editura Tehnică București, 1974.
- [70.] Russu A. - *Topografie cu elemente de geodezie și fotogrammetrie*, Editura Ceres, București, 1968
- [71.] Seeber G. - *Satellite Geodesy*, Walter de Gruyter & Co. Berlin, 1993
- [72.] Schofield W., Breach M. - *Engineering Surveying, Sixth edition*, Editura ELSEVIER, Oxford, UK, 2007
- [73.] Tămăioagă Gh., Tămăioagă Daniela - *Automatizarea lucrărilor de cadastru*, Editura Matrix Rom, București, 2007

172 Bibliografie

- [74.] Tiron M. – *Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate*, Editura Tehnică București, 1973
- [75.] Ursea V. – *Topografie aplicată în construcții*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974
- [76.] Ursea V., Mihăilă M. – *Manualul inginerului geodez, volumul III, Secțiunea XII, Geodezie aplicată*, Editura Tehnică București, 1974
- [77.] Vaicum A. – *Tasarea construcțiilor, Aplicații, volumul I*, Editura Tehnică București, 1988
- [78.] Willian I. – *Surveying for Construction, 4th edition*, MCGraw-Hill Book Company Europe, England, 1995
- [79.] Wolf H. – *Geometrie Connections and Re-Orientation of Three – Dimensional Triangulation Nets*, Bulletin Geodesique, 68,1963
- [80.] Wolfgang N. - *Ausgleichsrechnung*, Editura Walter de Gruyter, Berlin, 2008
- [81.] Wolfgang T. - *Geodäsie*, Editura Walter de Gruyter, Berlin, 2003
- [82.] *** - Normativ I.N.C.E.R.C. – *Normativ pentru determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C.61-64*
- [83.] *** - STAS 2745 – 69 – *Urmărirea tasării construcțiilor prin metode topografice*
- [84.] *** - *Perfecționarea metodelor de lucru și a tehnologiilor în topografia inginerească*, București, 1979
- [85.] *** *Măsurători terestre – fundamente, volumul I, Modulul B și C*, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002
- [86.] *** *Măsurători terestre – fundamente, volumul II, Modulul D și F*, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002
- [87.] *** *Măsurători terestre – fundamente, volumul III, Modulul G*, Facultatea de Geodezie București, Editura Matrix Rom, București, 2002
- [88.] *** *Ground Based LiDar - Rock Slope Mapping and Assesment*, Publication No. FHWA CFL/TD -08-006Lakewood, USA, 2008
- [89.] *** www.leica-geosystems.com
- [90.] *** www.trimble-navigation.com
- [91.] *** www.automation.ro/fuzibar/rezultate.php 92.
- [93.] *** www.dams.org/docs/report/wcdreport.pdf
- [94.] *** www.icold-cigb.net/
- [95.] *** www.worldwatercouncil.org/index.php?id=1511
- [96.] S.C. Hidroelectrica S.A.- C.H.E. Lotru