

„Contribuții în domeniul analizei deformațiilor și deplasărilor construcțiilor și terenurilor”

elaborată de drd. ing. Adrian Marius TRIFAN

1. CONSIDERAȚII GENERALE

Odată cu evoluția tehnologică, societatea umană a devenit capabilă să producă modificări majore a habitatului prin crearea construcțiilor ingineresti de mare amploare: baraje, poduri, viaducte, imobile cu înălțimi de peste 500m. Totodată a apărut necesitatea dezvoltării tehnologiilor topo-geodezice care să asigure asistență tehnică la materializarea elementelor caracteristice ale construcțiilor, controlul diferitelor stadii ale execuției și monitorizarea urmării comportării în timp a acestor obiective dar și a mediului înconjurător.

În cadrul proiectelor de monitorizare, urmărirea comportării în timp a construcțiilor se desfășoară pe toată perioada de viață a acestora, începând chiar din momentul execuției și reprezintă o activitate de culegere, interpretare a informațiilor rezultate din observare și măsurători efectuate pentru a determina modificările de poziție survenite în decursul timpului, astfel încât să fie asigurată stabilitatea și siguranța în exploatare.

Rezultatele furnizate în cadrul unor proiecte de urmărire a comportării în timp a construcțiilor și terenurilor constituie informații de o importanță vitală necesare pentru a stabili dacă acestea pot fi exploatate în siguranță. Pentru a limita pagubele materiale și eventualele pierderi de vieți omenești dorim ca informațiile referitoare la comportarea în timp a obiectului studiat să fie de încredere și furnizate cât mai rapid posibil. Din punct de vedere geodezic, informații “de încredere” presupune că acestea să fie precise. În contextul actual al crizei economice mondiale când bugetele suferă restructurări considerabile, costurile necesare pentru un proiect de monitorizare trebuie să fie cât mai reduse. Rezumând cele mai sus expuse , informațiile trebuie furnizate : rapid, precis si cu costuri minime.

1.1 MOTIVAȚIE

Diversitatea metodelor și sistemelor moderne de monitorizare a comportării în timp a construcțiilor prezentate în cadrul acestei lucrări de doctorat demonstrează fiabilitatea acestora din punctul de vedere al preciziei rezultatelor furnizate. Din păcate metodele clasice studiate au un dezavantaj major întrucât determină deplasarea sau deformația numai în puncte discrete amplasate în prealabil pe corpul obiectului studiat.

Discretizarea prin puncte a obiectului monitorizat presupune determinarea modificărilor de poziție a acestor puncte, dar scopul final al unui proces de urmărire a comportării în timp este să furnizeze informații cu privire la modificarea formei întregului corp. Trebuie astfel ales un

număr de puncte obiect reprezentative dispuse uniform pe obiectul cercetat și materializate prin ținte reflectorizante sau prisme de monitorizare. Cu cât numărul de puncte obiect este mai mare, cu atât este determinată mai exact “mișcarea” întregului obiect studiat, dar și costul necesar implementării unui astfel de sistem crește considerabil. De asemenea există situații când efectiv nu pot fi instalate un număr mare de puncte obiect întrucât aspectul vizual al obiectului studiat ar avea de suferit.

Metodele clasice geodezice de determinare a deformațiilor impun instalarea de ținte reflectorizante sau prisme de monitorizare pe corpul obiectului studiat, integrarea acestora într-o rețea geodezică de urmărire și compararea coordonatelor rezultate în urma măsurării și compensării rețelei la diferite momente de timp. Rezultatele întregului proces de monitorizare sunt furnizate cu întârziere doar după ce sunt efectuate măsurătorile către toate punctele incluse în rețeaua geodezică de monitorizare.

Un alt dezavantaj al metodelor clasice de monitorizare apare în momentul schimbării configurației rețelei geodezice cazul în care algoritmi matematici de depistare și localizare a deplasărilor se complică considerabil.

Având în vedere aceste aspecte se observă că metodele clasice îndeplinesc doar unul din cele trei deziderate fiind doar precise dar de multe ori nefiind rapide iar costurile de implementare sunt mari.

1.3 SCOP ȘI OBIECTIVE

Scopul principal al acestei teze de doctorat a fost elaborarea unei metode complet noi de efectuare a măsurătorilor în cadrul proiectelor de monitorizare a comportării în timp a construcțiilor și terenurilor, metoda care elimină complet necesitatea materializării punctelor obiect și care oferă posibilitatea automatizării integrale a procesului de măsurare, analiza statistică a parametrilor monitorizați și furnizarea informațiilor.

2. CONȚINUTUL TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat este alcătuită din șapte capitole, și este împărțită în două părți distincte : prima parte formată din capitolele : 2 și 3 în care este prezentat stadiul actual privind metodele moderne de măsurare și prelucrare a măsurătorilor și metodele frecvent utilizate în practică pentru analiza statistică a deformațiilor și deplasărilor și a doua parte formată din capitolele : 4, 5 și 6 ce reprezintă contribuții și precizări ale autorului. Primul capitol al tezei este dedicat părții introductive, iar ultimul capitol tratează concluziile și contribuțiile autorului precum și câteva perspective de cercetare viitoare.

Teza conține un număr de 189 pagini inclusiv bibliografia constând în 35 de titluri și 4 surse de internet. Partea finală a lucrării conține anexe , 35 pagini nenumerate, ce constau în rapoarte generate prin intermediul programului de calcul Detect. Fiecare raport anexat este

numerotat individual. In total lucrarea conține 239 de pagini, inclusiv cuprinsul, lista figurilor în număr de 100 , a tabelor în număr de 18, cele șapte capitolele, bibliografia și anexele finale.

Primul capitolul , intitulat “**Introducere**” este format din 3 pagini și are caracter introductiv. S-a avut în vedere o fundamentare a importanței temei studiate prin prezentarea motivației autorului și a direcțiilor de cercetare abordate (scop și obiective).

Capitolul 2, intitulat “**Metode moderne de măsurare și prelucrare a măsurătorilor**” este format din 34 pagini și 13 subcapitole. Capitolul începe cu prezentarea câtorva noțiuni introductive utilizate frecvent în studiul deplasărilor și deformațiilor construcțiilor și terenurilor : sunt prezentate metodele geometrice prin intermediul cărora se determină mărimile absolute și relative ale deplasărilor pe verticală, orizontală sau spațial, și metodele fizice care produc rezultate rapid, în general fără prelucrări laborioase dar care furnizează mărimile deplasărilor relative ale unor elemente din structura construcției. Tot în partea introductivă a capitolului sunt identificate cauzele ce provoacă deformația, problematica discretizării în domeniul geometric, delimitarea domeniului de deformație, discretizarea în domeniul timpului și alegerea metodei de măsurare în funcție de natura deformației.

În subcapitolul doi este prezentată metoda nivelmentului geometric de precizie înaltă care a fost și este, cea mai folosită metodă în studiul deplasărilor și deformațiilor construcțiilor. Este prezentat detaliat modelul funcțional-stohastic în cazul compensării rețelelor de nivelment geometric, modul de formare a ecuațiilor de corecție, normalizarea și rezolvarea sistemului de ecuații de corecție și modul de calcul al estimatorilor de precizie.

Al treilea subcapitol prezintă metoda nivelmentului trigonometric, modelul funcțional-stohastic în cazul compensării rețelelor de nivelment trigonometric cazul observațiilor unghiulare zenitale unilaterale, în ipoteza acceptării unui singur coeficient de refracție pentru întreaga rețea, modul de formare a ecuațiilor de corecție, normalizarea și rezolvarea sistemului de ecuații de corecție și modul de calcul al estimatorilor de precizie. La finalul acestui subcapitol sunt specificate alte ipoteze posibile de compensare : cu acceptarea coeficienților de refracție diferiți pentru fiecare stație inclusă în rețea sau cu utilizarea unui coeficient de refracție global neafectat de eroare.

Subcapitolul patru prezintă nivelmentul hidrostatic utilizat în practică în cazul în care trebuie efectuată măsurarea deplasărilor verticale relative ale unui număr mare de puncte, ceea ce ar prezenta dificultăți dacă se utilizează alte metode.

În subcapitolul cinci este prezentată o metodă de determinare a deplasărilor verticale prin utilizarea măsurătorilor GNSS. Preciziile de determinare a altitudinilor prin intermediul măsurătorilor GNSS sunt comparabile cu cele obținute utilizând metoda nivelmentului trigonometric, în schimb avantajul determinărilor GNSS constă în lungimea mare dintre punctele rețelei și rapiditatea metodei.

Metoda aliniamentului este pe larg prezentată în cadrul subcapitolului șase. Metoda este încă folosită în practică pentru determinarea deplasărilor plane și comporta două procedee de baza : procedeul vizării în lungul aliniamentului și procedeul măsurării unghiurilor paralactice.

Subcapitolele șapte, opt și nouă prezintă cele mai dese metode folosite în practică pentru determinarea deplasărilor sau a deformațiilor plane a construcțiilor și terenurilor . Aceste subcapitole tratează în amănunt metoda rețelelor de triangulație, trilaterație și metoda rețelelor comune triangulație și trilaterație în care sunt efectuate măsurători combinate : distanțe și direcții azimutale. Sunt specificate modelele funcțional-stohastice utilizate în cazul compensării rețelelor de triangulație, trilaterație și triangulație-trilaterație, modul de formare a ecuațiilor de corecție, normalizarea și rezolvarea sistemului de ecuații de corecție și modul de calcul al estimatorilor de precizie.

Subcapitolul zece descrie metoda rețelelor poligonometrice ca posibilitate de utilizare în cadrul proiectelor de monitorizare a comportării în timp a terenurilor.

În cadrul subcapitolului 11 este prezentată metoda determinărilor GNSS pentru determinarea deplasărilor plane cu specificarea celor două posibilități de compensare a datelor : utilizând coordonatele relative ale vectorilor rețelei și analiza statistică doar a componentei planimetrice sau prin utilizarea distanțelor reduse la orizontală și compensarea mărimilor ca în cazul rețelelor de trilaterație.

Subcapitolul 12 tratează metoda combinată triangulație, trilaterație și nivelment trigonometric pentru determinarea deplasărilor spațiale. Prelucrarea are ca rezultat determinarea, într-un sistem unitar, a poziției în spațiu cu trei dimensiuni a rețelei geodezice. Un alt specific al prelucrării constă în faptul ca în rețelele geodezice tridimensionale se are în vedere ansamblul tuturor măsurătorilor geodezice posibile, raportate la un singur sistem de referință unitar adoptat.

În cadrul subcapitolului 13, este prezentată metoda determinărilor GNSS pentru depistarea deplasărilor spațiale. Pentru rețelele geodezice de urmărire a comportării construcțiilor și terenurilor în care se dorește determinarea deplasărilor spațiale ale punctelor într-un sistem unitar de coordonate, metoda determinărilor GNSS reprezintă cea mai optimă și rapidă metodă geodezică. Tehnicile de măsurare GNSS s-au impus rapid în domeniul urmăririi comportării în timp a construcțiilor și terenurilor, oferind avantaje semnificative față de tehnicile de poziționare clasice .

Capitolul 3, intitulat „*Analiza statistică a deformațiilor și deplasărilor*” este format din 27 de pagini și este structurat pe 10 subcapitole, unde sunt prezentate pe larg metodele clasice de determinare și localizare a deplasărilor.

Subcapitolul 1 prezintă modelele matematice utilizate frecvent în cadrul proiectelor de monitorizare a comportării în timp a construcțiilor și terenurilor. În al doilea subcapitol este prezentată o metoda de analiză a stabilității reperilor în rețelele altimetrice și planimetrice.

Subcapitolul trei prezintă în mod detaliat metoda testului global de congruență dezvoltată în anii 70 și utilizată frecvent în practică. Metoda constă în principiu în compararea coordonatelor punctelor

rețelei măsurate la etape diferite, practic se testează dacă rețelele formează sau nu figuri congruente. Sunt tratate ambele cazuri de aplicare a testului : când configurația rețelei geodezice rămâne neschimbată pe parcursul tranșelor de măsurători și când configurația este schimbată, caz în care metoda poate fi aplicată după compensarea independentă a rețelelor geodezice utilizând doar informațiile aferente punctelor comune sau utilizând în compensare toate punctele măsurate prin aducerea rețelelor la un datum comun prin intermediul transformării S.

Aplicarea testului global de congruență pune în evidență faptul că în intervalul de timp analizat au apărut deplasări semnificative fără indicarea punctelor unde acestea au survenit, contribuind la necongruența rețelei. În cadrul subcapitolelor patru – opt sunt prezentate câteva metode de localizare a deplasărilor : metoda testului Student prin intermediul căruia sunt analizate punctele rețelei în lungul axelor de coordonate, testul Fisher, metoda discrepanțelor maxime, metoda ipotezei implicite, și metoda transformării S, care analizează stabilitatea punctele rețelei în ansamblul său.

Subcapitolul nouă tratează o modalitate de implementare a filtrului recursiv Kalman prin utilizarea modelelor cinematice în cadrul proiectelor de urmărire a comportării în timp a construcțiilor și terenurilor.

Subcapitolul 10 este destinat concluziilor, sunt descrise avantajele și dezavantajele metodelor clasice de analiză a deformațiilor și deplasărilor și este propusă o nouă metodologie de lucru care elimină dezavantajul principal al metodelor clasice : materializarea punctelor obiect.

Capitolul patru intitulat “*Metoda reflectorless de determinare a deplasărilor*” este format din 53 de pagini și 25 subcapitole. În cadrul acestui capitol este prezentată noua metodă de determinare a deplasărilor numită metoda reflectorless.

La începutul capitolului este prezentat un studiu comparativ privind monitorizarea comportării în timp a unei fațade de clădiri utilizând ambele metode : clasic și reflectorless cu evidențierea avantajelor și dezavantajelor fiecărei metode.

Subcapitolul trei descrie pe larg principiul metodei reflectorless care elimină complet necesitatea materializării punctelor obiect pe corpul obiectului studiat. Subcapitolul patru și cinci tratează modul de determinare a deplasărilor plane și verticale determinate pe o singură direcție când amplasamentul și înălțimea punctelor de stație rămâne neschimbat pe parcursul tranșelor succesive de măsurători.

În cadrul subcapitolelor 6 -12 sunt detaliate și pe larg descrise condiționările în utilizarea metodei reflectorless : utilizarea stațiilor totale servo-motorizate, utilizarea stațiilor totale cu precizii unghiulare ridicate, eliminarea sau diminuarea efectului de reflectivitate diferită a punctelor obiect, aplicarea corecțiilor atmosferice pentru distanțele măsurate, selecția vizuală a punctelor obiect în tranșa de referință și eliminarea sau diminuarea erorilor sistematice apărute în

cazul când între două trase de măsurători efectuate obiectul studiat suferă rotații sau rotații și translații prin aplicarea unei corecții de discretizare.

Subcapitolele 13-17 descriu modul de efectuare a măsurătorilor : dintr-o singură stație cu păstrarea poziției și înălțimii aparatului, dintr-o singură stație fără păstrarea poziției și înălțimii aparatului, din două stații cu păstrarea poziției și înălțimii aparatului și din două stații fără păstrarea poziției și înălțimii aparatelor, pentru determinarea parametrilor monitorizați : variația distanței plane și spațiale, deplasarea planimetrică pe o direcție aprioric cunoscută, deplasarea planimetrică corectată cu corecția de discretizare, deplasarea verticală și deplasarea verticală corectată cu corecția de discretizare.

În cadrul subcapitelor 18-24 sunt descrise pe larg modalitățile particulare de analiză statistică a variațiilor parametrilor monitorizați prin intermediul testului statistic Student de comparare a mediilor a două populații caracterizate de abateri standard de determinare egale.

Ultimul subcapitol, 25, conține o parte de concluzii în cadrul căruia sunt evidențiate avantajele metodei reflectorless de monitorizare a variațiilor de distanța și a deplasărilor construcțiilor și terenurilor.

Capitolul cinci intitulat “**Programul de calcul Detect**” este format din 28 de pagini și 20 subcapitole. În cadrul acestui capitol este prezentat programul de calcul Detect dezvoltat de subsemnatul ; programul are implementată metoda reflectorless de monitorizare a deplasărilor și variațiilor de distanța și este dezvoltat pe interfața web, accesul se efectuează prin intermediul unui browser de internet la adresa : www.tsdetect.ro .

Acest capitol descrie pe larg modul de utilizare a programului de calcul Detect, fiind conceput ca un manual de utilizare. Sunt descrise pe larg următoarele operațiuni : accesul în aplicație (subcapitolul 2), meniul creare cont (subcapitolul 3), meniul administrare cont – informații utilizator (subcapitolul 4), meniul administrare cont – schimbare parolă (subcapitolul 5), meniul info – echipamente (subcapitolul 6), meniul info- calculator ppm (subcapitolul 7), meniul ajutor (subcapitolul 8), meniul adaugare proiect (subcapitolul 9), meniul accesare proiect (subcapitolul 10), meniul date generale proiect (subcapitol 11), meniul măsurători (subcapitol 12) meniul încărcare măsurători (subcapitol 13), sintaxa fișier pentru proiecte de tip 1 și 2 (subcapitol 14), sintaxa fișier pentru proiecte de tip 3 și 4 (subcapitol 15), generarea rapoartelor standard (subcapitol 16), generarea rapoartelor particulare (subcapitol 17), vizualizarea rapoartelor standard și particulare (subcapitol 18), generarea rapoartelor pe punct (subcapitol 19), tipărirea rapoartelor standard și particulare (subcapitol 20).

Programul se accesează doar prin intermediul browserelor de internet fără instalarea în prealabil a altor programe. Pentru utilizarea programului, calculatoarele trebuie să aibă o configurație minimă astfel încât să permită accesul la internet și utilizarea browserelor de internet .

Programul permite determinarea și analiza stabilității pentru următorii parametri :

- Variația distanțelor plane
- Variația distanțelor spațiale
- Deplasări plane determinate pe o anumită direcție
- Deplasări plane corectate cu corecția de discretizare determinate pe o anumită direcție
- Deplasări verticale
- Deplasări verticale corectate cu corecția de discretizare

Capitolul șase intitulat “*Studiul de caz*” este format din 24 de pagini și 8 subcapitole. Pentru verificarea practică a metodei de determinare a deplasărilor și a variațiilor de distanță prin metoda reflectorless cât și pentru verificarea programului de calcul DETECT , s-a efectuat un studiu de caz unde s-au testat următoarele metode de lucru :

- Determinarea deplasărilor plane măsurate dintr-o singură stație , cu păstrarea poziției și înălțimii stației totale între tranșele de măsurători succesive.
- Determinarea deplasărilor plane corectate cu corecția de discretizare măsurate dintr-o singură stație prin procedeul scanării, cu păstrarea poziției și înălțimii stației totale între tranșele de măsurători succesive.
- Determinarea deplasărilor plane corectate cu corecția de discretizare măsurate din două stații , cu păstrarea poziției și înălțimii stației totale între tranșele de măsurători succesive.

În primul subcapitol, intitulat “Date generale”, este prezentată microrețeaua geodezică din care s-au efectuat măsurătorile , compusă din 4 puncte de stație : 100, 101, 102, și 103. Măsurătorile au fost executate din stațiile 101, 102 și 103, stația 100 fiind utilizată pentru verificarea orientărilor. Măsurătorile au fost efectuate utilizând trei stații totale : stația totală servomotorizată Trimble S8 cu precizie unghiulară de 2” și precizie pe distanțe în mod reflectorless 2mm + 2ppm ; stația totală servomotorizată Trimble S6 cu precizie unghiulară de 3” și precizie pe distanțe în mod reflectorless 3mm + 2 ppm și stația totală Sokkia SET2030R3 cu precizie unghiulară de 2” și precizie pe distanțe în mod reflectorless 3mm + 2ppm. Cu stația totală Trimble S8 s-au efectuat măsurători din stația 103, cu stația totală Trimble S6 au fost efectuate măsurători din stația 101 iar cu stația totală Sokkia SET2030R3 au fost efectuate măsurători din stația 102. Sistemul de coordonate a fost astfel ales încât direcția axei OX a sistemului de coordonate să coincidă cu direcția de referință de determinare a deplasărilor plane.

În al doilea subcapitol este prezentat obiectul studiat . Pentru a testa dacă metoda reflectorless oferă rezultate optime în cazul deformațiilor complexe, s-a ales că obiectul studiat să imite comportamentul complex de deformare al barajelor. Astfel s-a instalat o placă de lemn (osb) iar prin intermediul unui cric mecanic s-a indus o deformare negativă astfel încât în tranșa 1 de măsurători forma obiectului studiat sa fie curba pentru a imita forma barajelor. Între tranșele de măsurători succesive deplasările obiectului studiat au fost mărite, efectuându-se măsurători reflectorless după fiecare deplasare indusă. Poziția cricului a fost aleasă pe partea inferioară a plăcii de osb pentru a avea deplasări diferite atât pe orizontală cât și pe verticală.

În subcapitolul 3 este prezentat modul de efectuare al măsurătorilor : pentru compararea deplasărilor determinate prin metoda reflectorless cu valorile determinate clasic, măsurătorile

efectuate cu stația totală Sokkia SET2030R3 s-au efectuat în toate tranșele de măsurători pe punctele 1000-1035 marcate pe placă de osb. Măsurătorile de distanțe au fost efectuate reflectorless într-o singură poziție a lunetei iar coordonatele punctelor obiect au fost calculate prin intermediul softului TerraModel 10.41. Măsurătorile de distanțe efectuate cu stațiile totale Trimble S8 și S6 au fost realizate în ambele poziții ale lunetei, câte cinci măsurători pentru fiecare determinare. Coordonatele tridimensionale ale punctelor obiect au fost determinate cu distanța spațială medie L_{med} calculată din cele două determinări (poziția 1 și poziția 2).

În tranșa 1 de măsurători punctele 1000-1035 au fost măsurate reflectorless cu stația totală Trimble S8 și S6 pe punctele obiect marcate pe placa de osb, similar cum s-a procedat și cu stația totală Sokkia SET2030R3. Pentru a vedea dacă măsurătorile sunt comparabile (întrucât s-au utilizat echipamente diferite cu specificații tehnice diferite) coordonatele X măsurate în tranșa 1 prin intermediul celor trei stații totale au fost centralizate pentru a fi comparate.

Din analiza măsurătorilor s-a observat că diferențele între coordonatele măsurate se pastrează în valorile specificate de producător pentru precizia de determinare a distanțelor respectiv ± 2.3 mm, deci chiar dacă s-au utilizat echipamente diferite cu specificații tehnice diferite măsurătorile au fost comparabile.

În tranșele de măsurători 2, 3 și 4 cu stația totală Sokkia SET2030R3 au fost efectuate măsurători de fiecare dată cu punctare manuală pe punctele obiect materializate pe obiectul studiat. Cu stațiile totale Trimble S8 și Trimble S6 au fost efectuate măsurători prin metoda reflectorless cu punctare semiautomată către punctele obiect măsurate în tranșa 1 (tranșa de referință). Măsurătorile au fost efectuate simultan cu toate cele 3 stații totale.

După efectuarea măsurătorilor în fiecare tranșă către punctele obiect 1000-1035, cu stația totală Trimble S8 s-a efectuat și o măsurătoare prin scanarea obiectului studiat. Întrucât prin metoda scanării punctarea se efectuează complet automat, măsurătorile executându-se foarte rapid, în fiecare tranșă de măsurători au fost înregistrate un număr de 216 puncte dispuse astfel : 9 rânduri a câte 24 puncte pe rând.

În subcapitolul 4 este prezentat modul de determinare a deplasărilor plane determinate prin procedeul clasic. Deplasările plane maxime sunt înregistrate în punctul 1031, punct de unde s-a aplicat forța ce a determinat apariția deplasărilor. În figura 1 este prezentat graficul deplasărilor plane determinate clasic în cele patru tranșe de măsurători. În tranșa T1, tranșă de referință deplasările sunt nule, deplasarea maximă -6.5cm a fost înregistrată în punctul 1031 în tranșa 4 de măsurare.

În subcapitolul 5 este prezentat modul de determinare a deplasărilor plane măsurate dintr-o singură stație prin metoda reflectorless. În figura 2 este prezentat graficul deplasărilor plane determinate dintr-o singură stație prin metoda reflectorless în cele patru tranșe de măsurători. În

tranșa T1, tranșa de referință deplasările sunt nule, deplasarea maxima -6.9cm a fost înregistrată în punctul 1031 în tranșa 4 de măsurare.

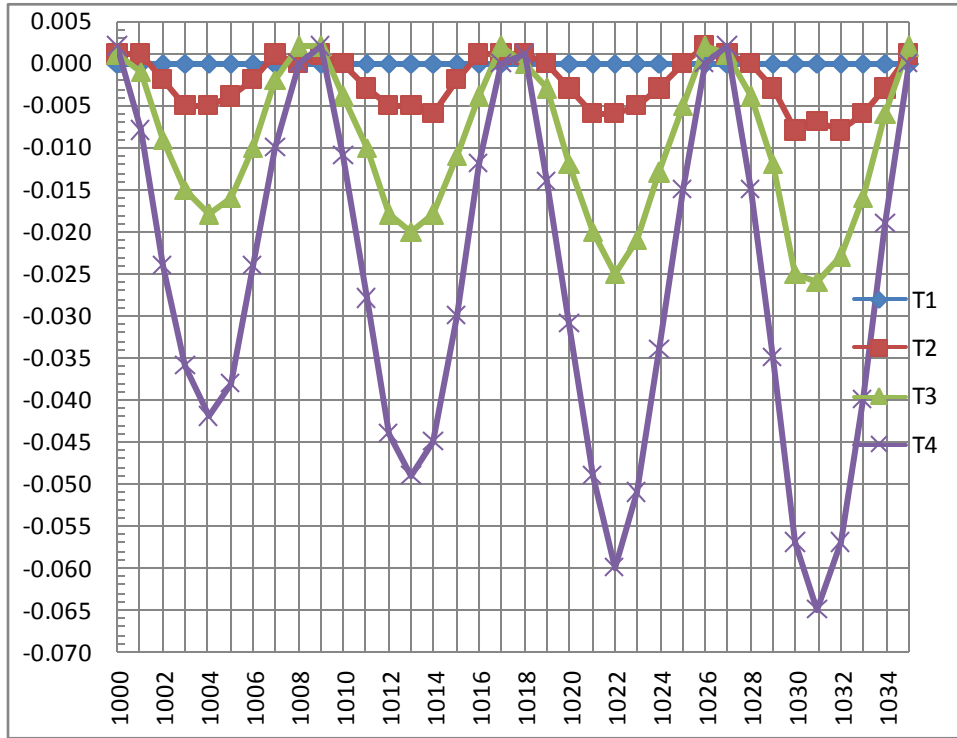


Fig.1 Grafic cu deplasările plane determinate prin metoda clasică

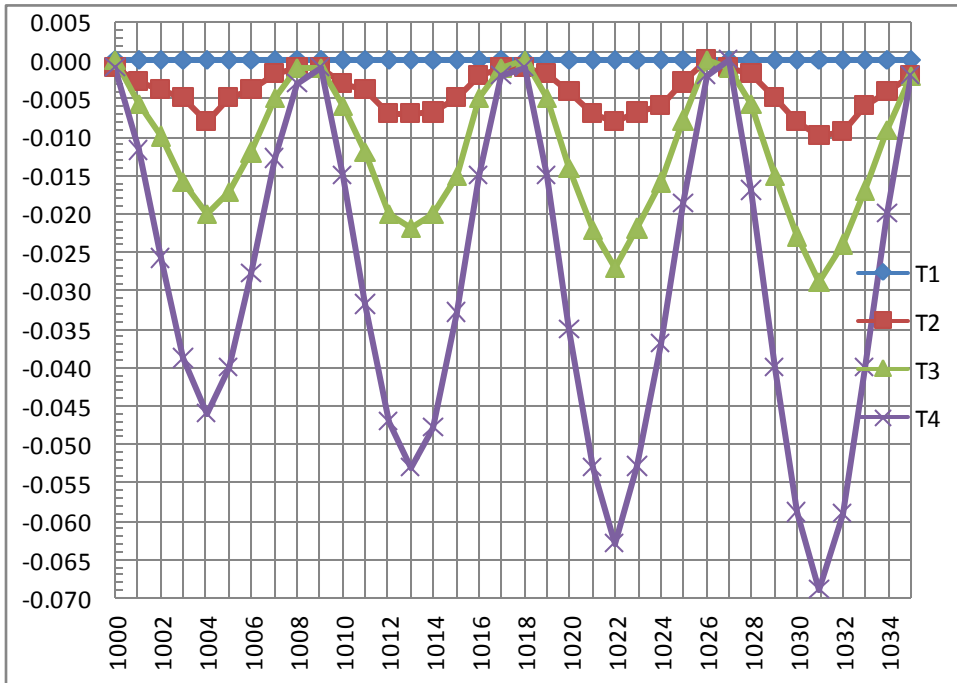


Fig.2 Grafic cu deplșările plane determinate dintr-o singură stație prin metoda reflectorless

Diferența între mărimile determinate clasic și cele determinate prin metoda reflectorless sunt comparabile și se încadrează în toleranță de $\pm 2..3$ mm cât este precizia de determinare a distanțelor pentru cele două stații totale utilizate .

Subcapitolul 6 trateaza modul de determinare a deplasărilor plane corectate cu corecția de discretizare măsurate dintr-o singură stație prin metoda reflectorless – scanare. Stația totală Trimble S8 cu care s-au efectuat măsurătorile permite măsurarea obiectului studiat prin aplicarea procedurii de scanare. Această funcție automatizează complet întreg procesul de măsurare, punctele incluse in zona definită pentru măsurare (grid) sunt măsurate fără intervenția operatorului.

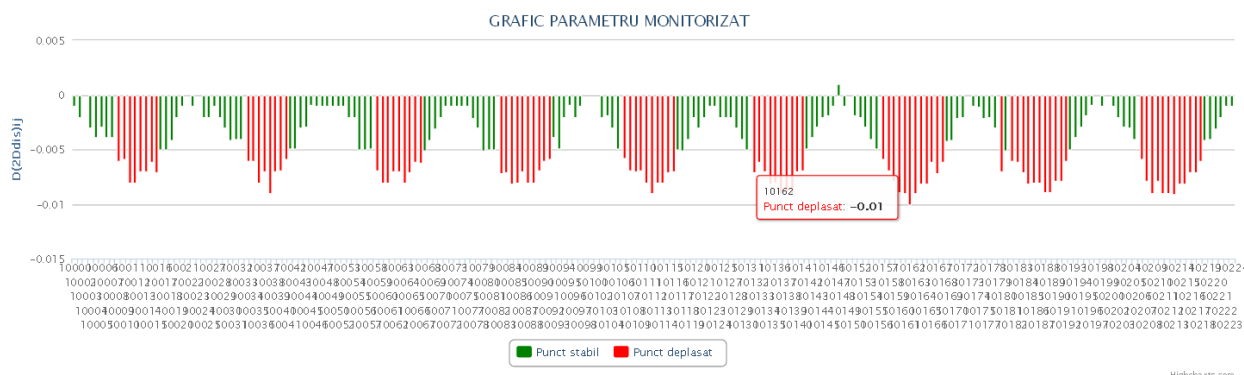


Fig.3 Captură soft DETECT, grafic deplasări plane corectate cu corecția de discretizare pentru tranșele T1-T2

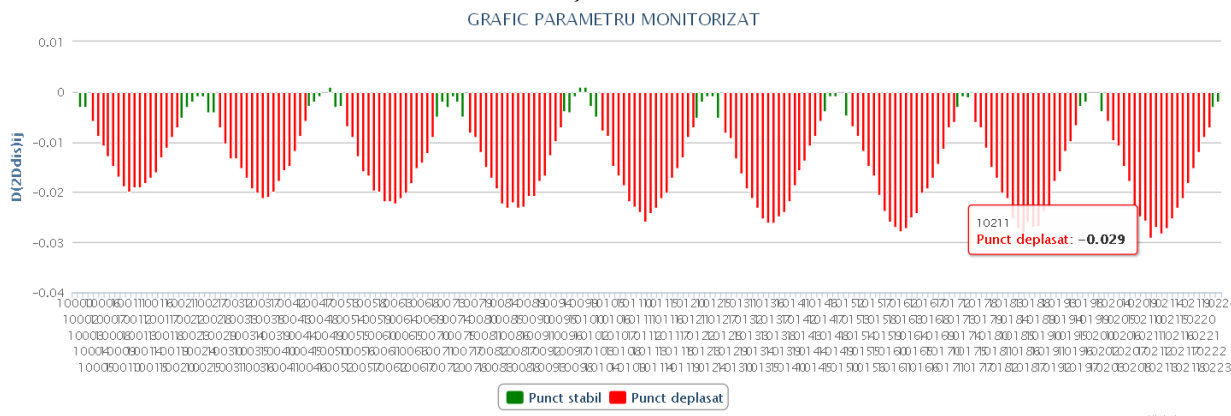


Fig.4 Captură soft DETECT, grafic deplasări plane corectate cu corecția de discretizare pentru tranșele T1-T3

In figurile 3,4 si 5 sunt prezentate graficele deplasarilor plane determinate pentru transele T2, T3 si T4, calculate prin intermediul programului de calcul Detect.

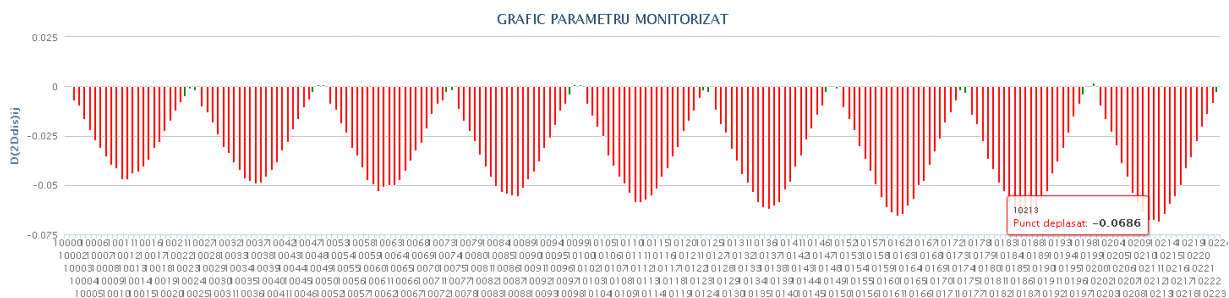


Fig.5 Captură soft DETECT, grafic deplasări plane corectate cu corecția de discretizare pentru tranșele T1-T4

În acest caz verificarea corectitudinii rezultatelor prin comparație cu metoda clasică este dificilă întrucât punctele măsurate au fost diferite (ca număr și poziție) în cele două metode de măsurare. O verificare simplă s-a putut totuși efectua prin compararea valorilor maxime ale deformațiilor plane determinate prin cele două metode : clasic și reflectorless cu scanare. Diferențele între cele două determinări se încadrează în toleranță de $\pm 2..3$ mm cât este precizia de determinare a distanțelor pentru cele două stații totale utilizate.

În subcapitolul 7 este prezentat modul de determinare a deplasărilor plane corectate cu corecția de discretizare măsurători din două stații prin metoda reflectorless. Pentru acest caz deplasările plane au fost măsurate prin metoda reflectorless cu punctare semiautomată utilizând stațiile totale Trimble S8 și Trimble S6. Măsurătorile efectuate cu stația totală Trimble S8 s-au efectuat din stația 103, iar măsurătorile efectuate cu stația totală Trimble S6 s-au efectuat din stația 101. Măsurătorile au fost efectuate în ambele poziții ale lunetei cu 5 determinări pentru fiecare punct măsurat. Și în acest caz diferențele între mărimile determinate clasic și cele reflectorless sunt comparabile și se încadrează în toleranța de $\pm 2..3$ mm cât este precizia de determinare a distanțelor pentru cele două stații totale utilizate .

În ultimul subcapitol sunt prezentate concluziile autorului privind studiul de caz : toate cele trei metode de măsurare au furnizat mărimi comparabile între ele și comparabile cu mărimile determinate prin procedeul clasic. Diferențele între valorile determinate se încadrează în precizia de determinare a distanțelor specifică stațiilor totale cu care au fost efectuate testele.

Capitolul șapte intitulat “*Concluzii și perspective de cercetare*” este format din 8 pagini și 3 subcapitole. În primul subcapitol sunt prezentate considerațiile finale ale autorului. Al doilea subcapitol evidențiază contribuțiile autorului și avantajele metodei reflectorless:

Metoda reflectorless de determinare a deplasărilor și variațiilor de distanță

Această metodă elimină complet materializarea punctelor obiect, și astfel numărul de puncte unde sunt efectuate determinări este practic nelimitat. În cazul metodei reflectorless nu există costuri de instalare a punctelor obiect, întrucât acestea nu sunt materializate.

Principiul metodei reflectorless se bazează pe determinarea variației distanțelor spațiale măsurate în două tranșe de măsurători succesiv efectuate. Variația distanțelor măsurate sunt determinate în lungul axei de vizare definită de poziția punctului de stație și punctele obiect măsurate în tranșa de referință. În celelalte tranșe de măsurători stația totală servomotorizată se poziționează unghiular pe direcția punctelor măsurate în tranșa de referință și efectuează noi determinări ale distanțelor spațiale.

Prin utilizarea metodei reflectorless se pot determina următorii parametri :

- variația distanțelor spațiale L_{ij} măsurate sau distanțele reduse la orizontala D_{ij}
- deplasările în lungul unei direcții de deplasare aprioric cunoscută, determinate într-un sistem planimetric sau altimetric
- deplasarea cu corecția de discretizare ce reprezintă deplasarea calculată ținând cont de discretizarea obiectului studiat.

Parametrii ce pot fi monitorizați prin utilizarea metodei reflectorless depind de păstrarea sau nu a amplasamentului identic a punctelor de stație cat și a înălțimii aparatului în diferite tranșe de măsurători.

Abordare statistică nouă pentru depistarea parametrilor monitorizați, semnificativi din punct de vedere statistic

Pentru testarea statistică a parametrilor monitorizați s-a elaborat o metodologie ce utilizează testul statistic “Student” de comparare a medilor a două populații caracterizate de abateri standard de determinare cunoscute. Astfel testarea statistică este simplificată putând avea rezultate rapide (în cazul proiectelor de monitorizare în timp real) imediat după ce sunt efectuate măsurători către fiecare punct obiect . Metoda implementată elimină complet necesitatea compensării rețelei geodezice, fiind necesar doar păstrarea datumului comun între tranșe succesive de măsurători . Algoritmii de identificare a punctelor obiect deplasate nu se complică (ca în cazul metodelor clasice) când configurația punctelor obiect este modificată.

Programul de calcul DETECT

Deși calculele necesare pentru determinarea parametrilor monitorizați și testarea statistică a acestora sunt cu mult mai simple decât în cazul metodelor clasice, acestea sunt totuși laborioase și nu se pretează pentru calcul manual . Din acest motiv a fost dezvoltat de subsemnatul în colaborare cu o firma specializată de dezvoltare de software un nou program de calcul (“DETECT”) ce permite calculul variațiilor de distanță , a deplasărilor plane sau verticale determinate prin metoda reflectorless. Pe baza calculelor statistice programul identifică deplasările sau variațiile de distanță semnificative și permite exportarea rezultatelor în formate standardizate.

Programul permite determinarea și analiza stabilității pentru următorii parametri :

- Variația distanțelor plane
- Variația distanțelor spațiale
- Deplasării plane determinate pe o anumită direcție
- Deplasării plane corectate cu corecția de discretizare determinate pe o anumită direcție
- Deplasării verticale
- Deplasării verticale corectate cu corecția de discretizare

Programul permite aplicarea corecțiilor atmosferice pentru distanțele măsurate și exportarea rezultatelor în formate standardizate.

Studiul de caz

Pentru verificarea practică a metodei de determinare a deplasărilor prin metoda reflectorless cât și pentru verificarea softului de analiză DETECT s-a efectuat un studiu de caz unde s-au testat următoarele metode de lucru :

- Determinarea deplasărilor plane măsurate dintr-o singură stație , cu păstrarea poziției și înălțimii stației totale între tranșele de măsurători succesive.
- Determinarea deplasărilor plane corectate cu corecția de discretizare măsurate dintr-o singură stație prin procedeul scanării, cu păstrarea poziției și înălțimii stației totale între tranșele de măsurători succesive.
- Determinarea deplasărilor plane corectate cu corecția de discretizare măsurate din două stații , cu păstrarea poziției și înălțimii stației totale între tranșele de măsurători succesive.

Toate cele trei metode de măsurare au furnizat mărimi comparabile între ele și comparabile cu mărimile determinate prin procedeul clasic. Diferențele între valorile determinate se încadrează în precizia de determinare a distanțelor specifică stațiilor totale cu care au fost efectuate testele.

Algoritmii de localizare a punctelor deplasate au furnizat rezultatele scontate, metoda de testare statistică implementată în softul DETECT furnizează informații precise și rapide chiar dacă configurația punctelor obiect suferă modificări între tranșele de măsurători succesive.

Metoda de monitorizare reflectorless cu punctare automată furnizează rezultate comparabile cu metoda clasică și din acest motiv poate fi utilizată cu succes în cadrul proiectelor de monitorizare.

Singurul dezavantaj al metodei de monitorizare reflectorless cu vizare automată este reprezentat de faptul că deplasările plane sunt determinate doar pe o direcție aprioric cunoscută. Când sunt așteptate deplasări ale obiectului studiat pe două direcții, măsurătorile trebuie efectuate din două stații dispuse astfel încât să fie posibilă determinarea compusă a deplasărilor plane.

Metoda reflectorless poate fi utilizată în conjuncție cu metoda clasică ; pe corpul obiectului studiat fiind amplasate și tinte de monitorizare care vor fi măsurate clasic pentru a verifica în permanență mișcarea 3D a obiectului studiat.

Avantajele metodei “reflectorless” (în comparație cu metodele clasice)

Metoda reflectorless de monitorizare prezentată are numeroase avantaje față de metoda clasică:

- Punctele monitorizate nu sunt materializate pe corpul obiectului studiat.
- Eliminarea completă a vizării / punctării manuale . Măsurătorile pot fi efectuate cu unghiuri de pantă chiar și de 100^g .
- Măsurătorile se pot colecta în mod semiautomatizat sau chiar complet automatizat (prin scanare) fără utilizarea prismelor de monitorizare.
- Viteza mai mare de colectare a datelor față de metoda clasică.
- Costuri mai mici pentru materializarea punctelor rețelei geodezice prin eliminarea materializării punctelor obiect.
- Costuri mai mici pentru efectuarea măsurătorilor datorită utilizării metodei de colectare a datelor automata sau semiautomata.
- Algoritmi simplificați și mai rapizi pentru depistarea deplasărilor sau a variațiilor de distanțe plane și verticale.
- În cazul utilizării metodei de monitorizare reflectorless în timp real putem avea disponibile valorile și testările statistice a parametrilor monitorizați imediat după efectuarea măsurătorii către fiecare punct. În cazul clasic de monitorizare în timp real rezultatele sunt disponibile doar după efectuarea întregului ciclu de măsurători.
- Sunt eliminate complet calculele de compensare a rețelei geodezice fiind necesar să se asigure doar același datum între tranșe de măsurători diferite.
- Configurația punctelor obiect poate fi modificată între tranșele de măsurători fără complicarea algoritmilor de calcul și testare statistică a parametrilor monitorizați.
- În cazul determinării deplasărilor prin aplicarea corecției de discretizare punctele de stație nu trebuie să fie materializate.

În cadrul ultimului subcapitol sunt prezentate câteva perspective de cercetare : efectuarea măsurătorilor prin scanare doar în puncte predefinite anterior încărcate în memoria stației totale, dezvoltarea unui program de calcul care să permită utilizarea metodei reflectorless în timp real și dezvoltarea unui soft de analiză care să combine metoda clasică și metoda reflectorless.