

PRELUCRAREA DATELOR GEODEZICE ÎNTR-O DRUMUIRE DE NIVELMENT

Alexandra HROLOVICI*, Vlada ȘLEPAC

Departamentul Inginerie Civilă și Geodezie, grupa IGC-2203, Facultatea Construcții, Geodezie și Cadastru,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Alexandra Hrolovici, e-mail: alexandra.hrolovici@icg.utm.md

Îndrumătorul/Coordonatorul științific Ana VLASENCO, dr., conf. univ.,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. Actual, în contextul măsurătorilor terestre, participăm la o fluctuație științifică dinamică a tehnologiilor moderne, care optimizează modalitățile de gestionare a timpului, asigurarea acurateții și coerenței în domeniu. Datorită dispozitivelor de vârf, ne situăm la zenitul secolului, în ceea ce privește calitatea preciziei și a compensării riguroase. În acest studiu, se va investiga o compensare matematică, matricială a măsurătorilor de nivelment, având ca scop corectarea erorilor, abordând tipurile acestora și minimizarea discrepanțelor sistematice pentru ajustarea rețelei de măsurători și compensarea acestora, astfel asigurând consistența și fiabilitatea efectelor pentru o analiză și o bună interpretare a rezultatelor obținute. Finalmente, contribuind semnificativ la promovarea dezvoltării geodezice și a domeniului în ansamblu.

Cuvinte cheie: compensare, nivelment, erori, metode matematice.

Introducere

În esență, nivelmentul este ansamblul de operații și de lucrări tehnice, executate pentru a determina altitudinile diferitelor puncte de pe suprafața terestră, față de o suprafață de referință dată [1]. Acest proces este utilizat și la monitorizarea deplasărilor pe verticală pentru a detecta și măsura schimbările în înălțime ale unui obiect sau a unei structuri în timp. Monitorizarea deplasărilor pe verticală poate fi importantă în diverse aplicații, cum ar fi monitorizarea riscurilor de alunecare a terenului, evaluarea structurilor înalte (cum ar fi clădiri, turnuri, poduri etc.) pentru a detecta eventuale deplasări și deformări, sau în proiectele de construcție pentru a asigura durabilitatea structurilor în conformitate cu cerințele de siguranță și normativele în vigoare [2]. Principiul monitorizării mișcărilor și schimbărilor în înălțime implică identificarea în mod repetat a nivelurilor punctelor de referință, numite și puncte de control, marcate pe obiectivul supus observațiilor, în comparație cu anumite puncte fixe de referință, numite repere, amplasate pe terenuri stabile și în afara zonei afectate de construcție.

Metodele topo-geodezice, prin precizia ridicată a măsurătorilor efectuate ca și prin modalitățile de preluare a datelor și de estimare a rezultatelor, reprezintă un sistem de bază în amplul proces de studiere a obiectivelor. În acest sens, pentru a asigura o precizie înaltă se utilizează nivelmentul geometric, iar pentru aceasta e necesar de a stabili configurația rețelei, drumuirii de nivelment în cadrul căreia se vor efectua observațiile [3].

Pentru acest studiu de caz, se consideră o rețea de nivelment geometric sub forma unei drumuirii sprijinite la capete pe două repere de control, notate cu A și B , ale căror cote sunt cunoscute cu o acuratețe maximă (figura 1). Punctele 1, 2, 3, 4 și 5 sunt punctele de studiu pentru care se vor determina cotele față de cele două repere de referință. Determinarea valorilor altitudinilor acestor puncte se poate realiza prin aplicarea procedurii de compensare și calcul prin metoda observațiilor indirecte. Valorile luate în calcul sunt ale diferențelor de nivel măsurate pe teren între punctele drumuirii (figura 1) cu ajutorul unui instrument de nivelment digital de precizie ridicată, puncte ce sunt amplasate la anumite distanțe.

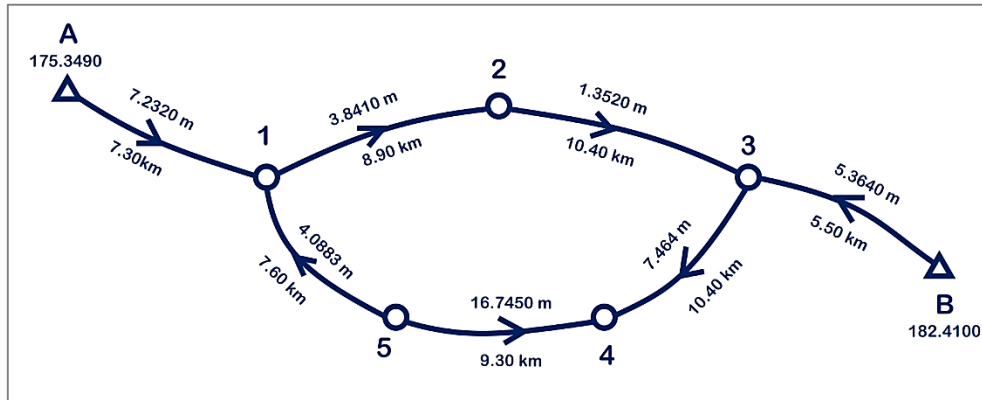


Figura 1. Schița drumuirii de nivelment

Totuși este important să menționăm, că orice lucrare topo-geodezică, indiferent cu ce scop ar fi utilizată, este urmată de un șir de erori. Pentru a minimiza impactul acestor erori, se va aplica o compensare riguroasă prin metode matematice adecvate, în scopul diminuării și prelucrării acestora la atingerea acurateții și corectitudinii datelor colectate din teren.

Prelucrarea riguroasă a măsurătorilor

Pentru efectuarea calculului de compensare a măsurătorilor într-o drumuire de nivelment trebuie să se determine următoarele elemente [4]:

- diferențele de nivel măsurate Δh_{ij}^0 prin metoda nivelmentului geometric (figura 1);
- lungimile traseelor D_{ij} , necesare pentru determinarea ponderilor P_{ij} ($P_{ij} = 1/D_{ij}$);
- altitudinile provizorii H_i^0 pentru toate punctele noi din drumuirea considerată în corespundere cu punctele de reper de cotă cunoscută.
- Cu ajutorul acestor elemente printr-o prelucrare riguroasă se vor determina:
- valorile absolute (cele mai probabile) ale altitudinilor punctelor noi din rețea în sistemul de altitudini adoptat ($H_i = H_i^0 + x_i$);
- precizia de determinare a acestor valori prin procesul de prelucrare (abaterilor standard);
- valorile absolute compensate ale diferențelor de nivel pe traseele pe care acestea au fost măsurate ($\Delta h_{ij} = \Delta h_{ij}^0 + v_i$).

Compensarea și prelucrarea datelor se va efectua prin metoda măsurătorilor indirecte ponderate, care se va începe cu determinarea ecuațiilor de corecții de forma:

$$V = AX + L, \quad (1)$$

unde: V - vectorul corecțiilor; A - matricea coeficienților; L - vectorul termenilor liberi; V - vectorul necunoscutelor.

Forma ecuațiilor de corecție depinde de situațiile care le avem pe direcția tronsonului de nivelment, a cărui ecuație se determină, spre exemplu [4]:

- $H_A + \Delta h_{Ai}^0 + v_{Ai} = H_i^0 + x_i$ (unde $H_i^0 - H_A - \Delta h_{Ai}^0 = L_{Ai}$ - se consideră termenul liber) - între un reper vechi și un reper nou;
- $H_i^0 + x_i + \Delta h_{iA}^0 + v_{iA} = H_A$ (unde $H_A - H_i^0 - \Delta h_{iA}^0 = L_{iA}$ - termenul liber) - între un reper nou și un reper vechi;
- $H_i^0 + x_i + \Delta h_{ij}^0 + v_{ij} = H_j^0 + x_j$ (unde $H_j^0 - H_i^0 - \Delta h_{ij}^0 = L_{ij}$ - termenul liber) - ambele repere de la capetele tronsonului de nivelment sunt noi.

Tabelul 1 reprezintă tabelul coeficienților ecuațiilor de corecție determinate în corespundere cu situațiile expuse mai sus. Sistemul de ecuații ale corecțiilor obținut se poate rezolva utilizând condiția impusă de metoda celor mai mici pătrate: $V^T P V = \min$, unde P este matricea ponderilor. Pentru acest caz se va utiliza metoda matricială de rezolvare.

Tabelul 1

Tabelul coeficienților ecuațiilor de corecție

Linia de nivelment	Ponderi P_{ij}	Necunoscutele x (mm)					Termen liber L_{ij} (mm)	Suma	Corecții v_{ij} (mm)
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5			
		a_i	b_i	c_i	d_i	e_i			
A-1	0.14	1					0.00	1.00	0.0376
1-2	0.11	-1	1				0.00	0.00	-0.0304
2-3	0.10		-1	1			0.00	0.00	-0.0356
3-4	0.10			-1	1		0.00	0.00	-0.0892
5-4	0.11				-1	1	0.00	0.00	-0.0797
5-1	0.13	1				-1	-0.30	-0.30	-0.0652
B-3	0.18			1			0.00	1.00	-0.0283

Sa exploaram citeva exemple:

Conform condiției de minim impus de metoda celor mai mici pătrate vom avea [1]:

$$(AX + L)^T * P(AX + L) \rightarrow \min . \quad (2)$$

$$\text{Deci: } A^T P(AX + L) + A^T P(AX + L) = 0 \rightarrow 2A^T PAX + 2A^T PL = 0 , \quad (3)$$

$$\text{de unde: } X = -\frac{A^T PL}{A^T PA} = -(A^T PA)^{-1} * A^T PL = -N^{-1}A^T PL . \quad (4)$$

Având determinate vectorul necunoscutelor X se trece la determinarea vectorului corecțiilor V după relația (1). Rezultatele compensării diferențelor de nivel sunt trecute în tabelul 2, iar a cotelor punctelor noi de nivelment în tabelul 3.

Tabelul 2

Diferențele de nivel compensate

Linia de nivelment	Diferența de nivel măsurată (m)	Corecțiile v_{ij} (mm)	Diferența de nivel compensată (m)	Abaterea standard a diferenței de nivel (mm)
A-1	7.2320	0.0376	7.23203	0.097
1-2	3.8410	-0.0304	3.84097	0.107
2-3	1.3520	-0.0356	1.35196	0.116
3-4	7.4640	-0.0892	7.46391	0.116
5-4	16.7450	-0.0797	16.74492	0.109
5-1	4.0883	-0.0652	4.08823	0.099
B-3	5.3640	-0.0283	5.36397	0.084

Tabelul 3

Cotele compensate ale punctelor noi din drumuirea de nivelment

Reper de nivelment	Cote punctelor vechi/ cote punctelor noi (m)	Necunoscutele x_i (mm)	Cote compensate (m)	Abaterea standard a necunoscutelor (mm)
A	175.3490	-	175.3490	-
B	182.4100	-	182.4100	-
1	182.5810	0.03762	182.58104	0.081
2	186.4220	0.00720	186.42201	0.101
3	187.7740	-0.02835	187.77397	0.074
4	195.2380	-0.11750	195.23788	0.111
5	178.4930	-0.19722	178.49280	0.108

Abaterea standard (eroarea medie pătratică) a unității de pondere a fost determinată după relația:

$$s_0 = \sqrt{\frac{v^T p v}{m-n}}, \quad (5)$$

în care m reprezintă numărul observațiilor efectuate în rețeaua de nivelment, iar n numărul necunoscutelor (pentru cazul nostru $m=7$, iar $n=5$) [4].

Abaterea standard a necunoscutelor (a mărimilor determinate indirect) se determină astfel:

$$s_{x_j} = s_0 \sqrt{Q_{jj}}, \quad (6)$$

unde coeficienții de pondere, corespunzător necunoscutei x_j , se extrag de pe diagonala principală a matricei inverse a sistemului de ecuații normale [4].

Algoritmizarea calculului într-un limbaj de programare

Pentru compensarea și prelucrarea datelor geodezice s-a creat un algoritm de calcul în limbajul de programare Python conform etapelor descrise în figura 2. Acest program este esențial în domeniul geodeziei și topografiei, care implică transformarea operațiilor matematice și geodezice într-un set de instrucțiuni pas cu pas, pe care un calculator le poate înțelege și executa.

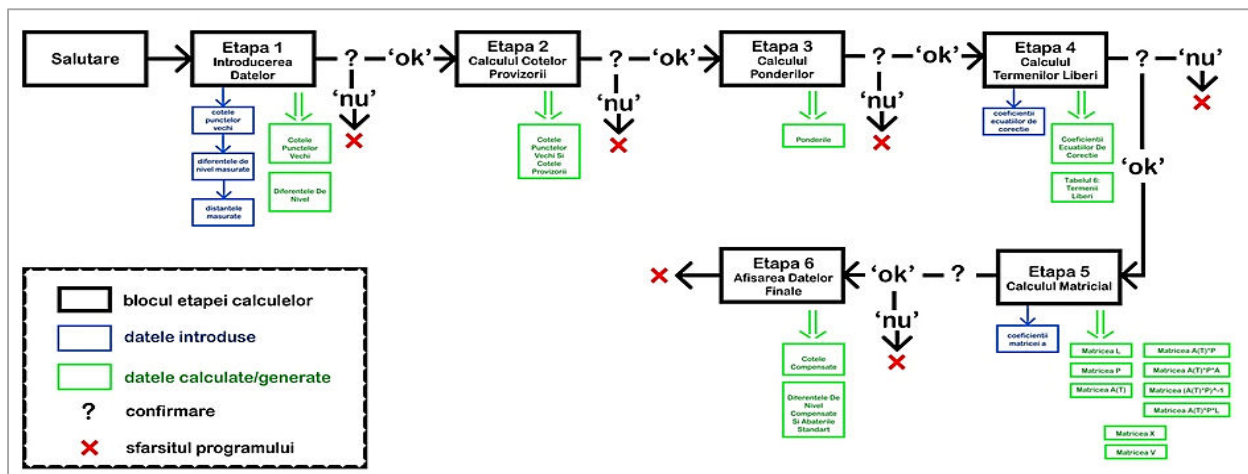


Figura 2. Etapele de calcul în limbajul de programare Python

Concluzii

Prelucrarea măsurătorilor geodezice într-o drumuire de nivelment prin metoda observațiilor indirecte reprezintă un proces esențial pentru determinarea exactă a altitudinilor punctelor. Utilizarea unui limbaj de programare în analiza și prelucrarea datelor poate îmbunătăți semnificativ eficiența și exactitatea procesului, facilitând luarea deciziilor și accelerând progresul în diverse domenii. O abordare riguroasă și atentă, în acest caz va tinde spre obținerea de rezultate precise în cadrul proiectelor geodezice, de inginerie și de mediu.

Referințe bibliografice

- [1] D. Onose, A. Savu, A.F.C. Negrilă, D. Răboj. *Topografie*. Editura: MatrixRom, București, 2014, 464 p.
- [2] T. Adrian, G.M. Rădulescu, Gh. M. T. Rădulescu. *Urmărirea comportării terenurilor și a construcțiilor*. Metode, tehnologii și instrumente. Editura: U.T.PRESS, Cluj-Napoca, 2017, 175 p.
- [3] C.C. Mușat. *Contribuții privind stabilirea tasărilor și deformațiilor construcțiilor utilizând metode și tehnici topo-geodezice moderne*. Teză de doctorat. Timișoara, 2006, 251 p.
- [4] C. Moldoveanu. *Geodezie*. Noțiuni de geodezie fizică și elipsoidală, poziționare. Editura: MatrixRom, București, 2002, 535 p.