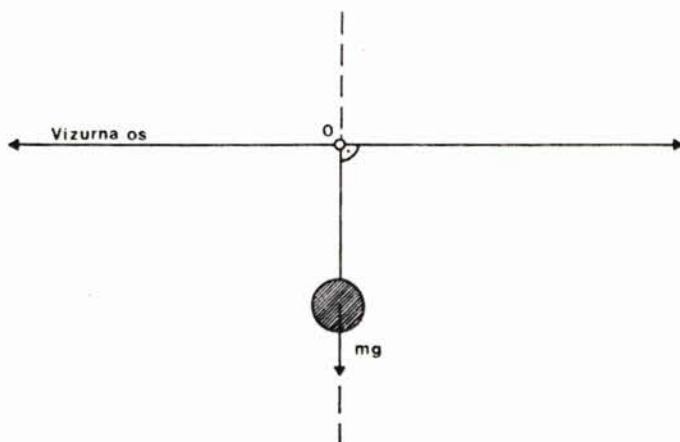


UTJECAJ GEOMAGNETIZMA NA ODREĐIVANJE VISINSKIH RAZLIKA AUTOMATSKIM NIVELIRIMA

Nevio ROŽIĆ — Zagreb*

Početkom osamdesetih godina u geometrijskom je nivelmanu [1] uočen, do tada nepoznat, sistematski utjecaj koji narušava točnost određivanja visinskih razlika. Istraživanjima je utvrđeno da je to utjecaj magnetskog polja Zemlje na kompenzatorske uređaje modernih nivelira, kod kojih se vizurna os automatski postavlja, u prostoru, u horizontalni položaj.

Iako, ovisno o proizvođaču, postoji više tipova konstruktivnih rješenja [7], kompenzatore možemo općenito predočiti dobro prigušenim mehaničkim njihalima. U realnom polju sile teže njihalo se postavlja, u položaju ravnoteže, u smjer težišnice, a vizurna os, fiksirana pod pravim kutem u odnosu na os njihala, u horizontalnu ravninu, čime je ostvaren postav za opažanje letava, sl. 1.

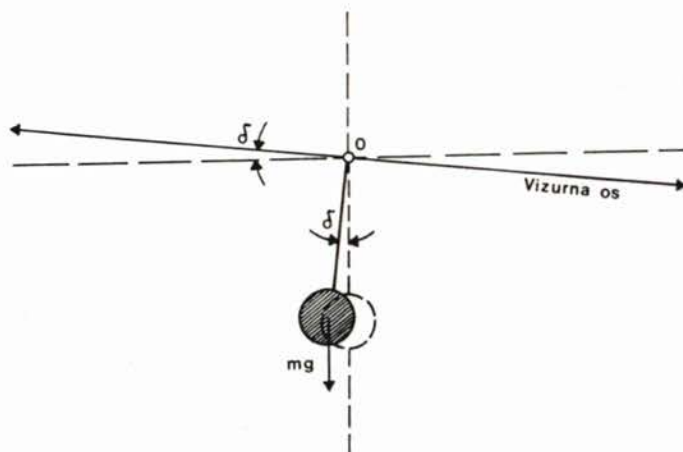


Sl. 1. Prikaz kompenzatora kao mehaničkog njihala

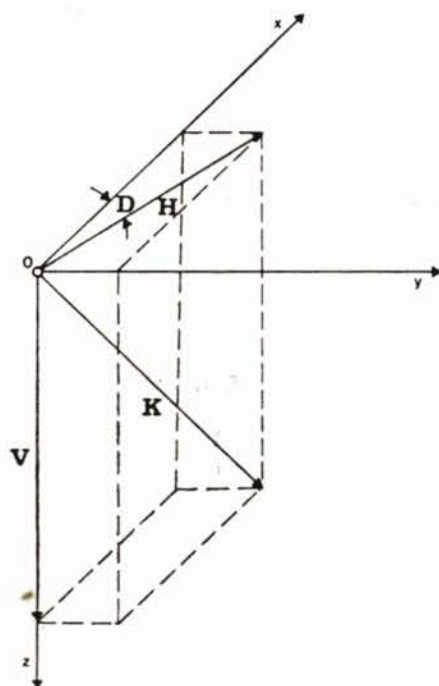
Budući da se kompenzatorski uređaji redovito sastoje i od metalnih dijelova (vijci, suspenzijske invarne niti i slično) evidentna je njihova podložnost

* Nevio Rožić, dipl. inž., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26 Zagreb.

utjecajima sila geomagnetskog polja. Uslijed djelovanja tih sila njihalo se otklanja od smjera težišnice za kut δ zauzimajući novi položaj ravnoteže. Istovremeni pomak vizurne osi za isti kut rotacije, dovodi do pogreške visinske razlike, sl. 2.



Sl. 2. Otklon kompenzatora uslijed djelovanja geomagnetskih sila.

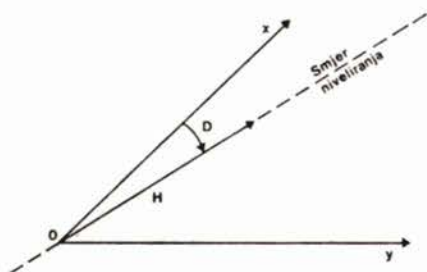


Sl. 3. Komponente vektora jakosti geomagnetskog polja

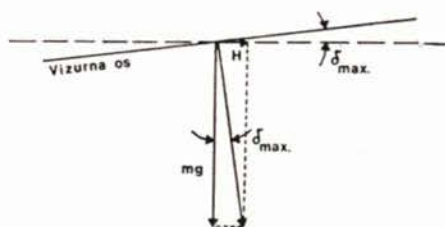
Prema [8], u najekstremnijim slučajevima odklon δ poprima iznos od 0."3 što pri prosječnoj duljini vizure (cca 30 metara), na jednom stajalištu, dovodi do pogreške visinske razlike od 0.1 mm. Očigledno je da ovakav sistematski utjecaj značajno prelazi kriterije točnosti preciznog nivelmana ili nivelmana visoke točnosti, pa ga je iz rezultata mjerenja nužno eliminirati.

Na metalne dijelove kompenzatora djeluje, u magnetskom polju Zemlje, vektor jakosti geomagnetskog polja K ili vektor totalnog intenziteta. Možemo ga prikazati [5] rastavljenog na karakteristične komponente u prostornom koordinatnom sistemu, sl. 3. U horizontalnoj xy ravnini nalazi se horizontalna komponenta H , a u smjeru z osi (smjer vertikale) vertikalna komponenta V . Uvodi se i deklinacija (magnetski azimut) D , kut priklona komponente H u odnosu na x -os usmjerenu u pravcu geografskog sjevera, sl. 3.

Utvrđeno je, [3] i [6], da se utjecaj vertikalne komponente eliminira metodom rada. Naime, i na prednjoj i na zadnjoj letvi pogreška čitanja je ista, pa se u razlici čitanja poništava. Prema tome, odklon vizurne osi je prvenstveno izazvan utjecajem horizontalne komponente. Ukoliko se vizurna os nalazi u ravnini magnetskog meridijana, sl. 4, očigledno će i odklon njihala biti maksimalan, sl. 5, a ako je na nju okomita utjecaj neće postojati.

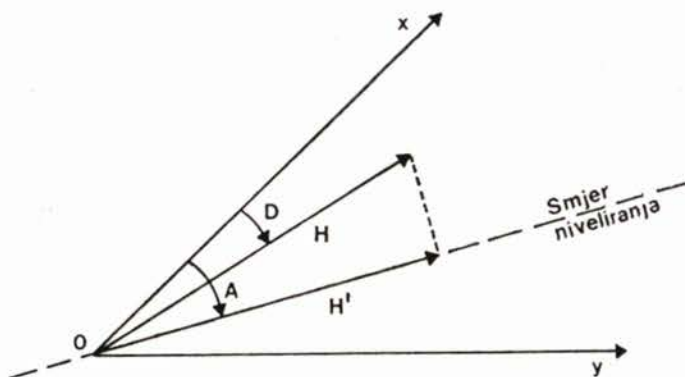


Sl. 4.



Sl. 5.

Kut odklona njihala, odnosno pogreška visinske razlike, direktno ovisi o projekciji horizontalne komponente H na smjer niveliranja. Uvođenjem azimuta smjera niveliranja A , izražavamo projekciju H' , sl. 6.



Sl. 6. Projekcija horizontalne komponente vektora jakosti geomagnetskog polja na smjer niveliranja.

$$H' = H \cdot \cos(A - D) \quad (1)$$

Ako za svaki pojedini nivelir uvedemo tzv. magnetsku korekciju konstantu C , konstantu koja određuje veličinu magnetskog utjecaja, možemo prema [4] izraziti ukupnu pogrešku visinske razlike neke nivelmanske strane,

$$M = C \cdot H' \cdot S, \quad (2)$$

gdje je S duljina te strane projicirana na magnetski meridijan. Pogreška je zbog sistematskog karaktera tim veća što je strana dulja. Nakon supstitucije

$$a = H \cos(A - D) S \quad (3)$$

slijedi

$$M = a \cdot C. \quad (4)$$

Prema tome da bi za neku konkretnu nivelmansku stranu izrazili pogrešku visinske razlike izazvanu utjecajem geomagnetizma na kompenzator automatskog nivelira, treba odrediti:

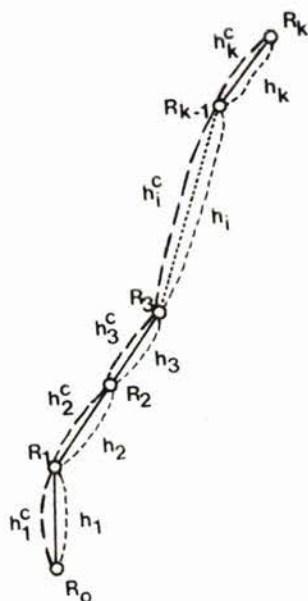
- A i S iz poznatih koordinata y , x repera koji definiraju tu nivelmansku stranu,
- H i D iz usvojenog normalnog geomagnetskog polja, [5].

Jedina nepoznanica je magnetska korekciona konstanta C . Specifična je i različita za svaki pojedini instrument čak i unutar istog modela. Može se odrediti na dva načina; laboratorijski i uvjetno rečeno empirijski. Utvrđeno je da empirijski način daje osjetno bolje rezultate, jer se temelji na stvarnim terenskim mjerenjima u realnom okruženju.

Empirijsko se određivanje provodi terenskim mjerenjima pogodne nivelmanske linije. Linija se nivelira dva puta. Jednom automatskim niveliranjem koji je podložan geomagnetskim utjecajima i čiju konstantu C određujemo i drugi puta klasičnim niveliranjem. Nužno je da mjerenja budu iste točnosti, provedena pod istim uvjetima od strane istog opažača, rektificiranim instrumentima i oslobođena svih drugih sistematskih utjecaja. Prema tome, za svaku nivelmansku stranu u liniji raspoložemo s dvije visinske razlike, sl. 7. Automatskim niveliranjem mjerene visinske razlike h_i^* i klasičnim niveliranjem razlike h_i .

Uvođenjem modela klasičnog izjednačenja posrednih mjerenja [2], u kojem nepoznanicama smatramo magnetsku korekciju konstantu C i najvjerojatnije vrijednosti visinskih razlika nivelmanskih strana h_i^* formiramo dva sistema jednadžbi popravaka:

$$\begin{aligned} v_1^c &= -a_1 C + dh_1^* && + h_1^0 - h_1^c \\ v_2^c &= -a_2 C && + dh_2^* && + h_2^0 - h_2^c \\ &\vdots && && \\ v_k^c &= -a_k C && + dh_k^* && + h_k^0 - h_k^c \end{aligned} \quad (5)$$



Sl. 7.

i

$$\begin{array}{rcl}
 v_1 = & dh_1^* & + h_1^0 - h_1 \\
 v_2 = & dh_2^* & + h_2^0 - h_2 \\
 \vdots & & \\
 v_k = & & dh_k^* + h_k^0 - h_k
 \end{array} \quad (6)$$

U jednadžbama (5) i (6) uvedene su približne vrijednosti za nepoznannice tj.

$$h_i^* = h_i^0 + dh_i^*. \quad (7)$$

Približna je vrijednost nepoznanice C, budući da je mala, jednaka nuli. Član $a_i C$ u jednadžbama (5) predstavlja pogrešku visinske razlike uslijed geomagnetskog utjecaja, dok je a_i koeficijent jednadžbi popravaka uz nepoznanicu C i računa se prema izrazu (3).

Sistemi (5) i (6) formiraju jedinstveni sistem jednadžbi popravaka

$$v = A x - l. \quad (8)$$

Kako je ukupni broj mjerenja $n = 2k$, a broj nepoznanica $u = k+1$ moguće je provesti izjednačenje metodom najmanjih kvadrata (k je broj visinskih razlika).

Nakon formiranja normalnih jednadžbi

$$N x - n = 0 \quad (9)$$

slijedi rješenje

$$x = N^{-1} n \quad (10)$$

i ocjena točnosti mjerenja

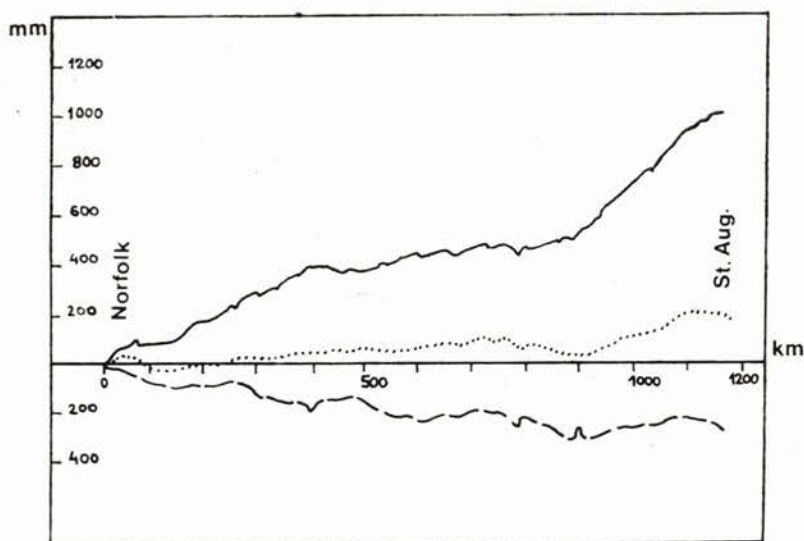
$$m^2 = \frac{v^t v}{n - u}, \quad (11)$$

a prema potrebi i nepoznanica.

Na taj način je određena tražena magnetska korekciona konstanta C kojom možemo korigirati sva dalja ili već provedena mjerenja. Važno je, međutim, upozoriti na činjenicu da jednom određena konstanta ne vrijedi zauvijek jer se magnetske osobine kompenzatora mijenjaju. Pogotovo nakon servisiranja instrumenta ili izlaganja jakom umjetnom magnetskom polju, na primjer pri mjerenju pored velikih transformatora i slično.

Kod navedenog postupka od velikog je značaja odabir odgovarajuće nivelmanske linije. To može biti jedna od linija već postojeće državne nivelmanske mreže položena barem približno u smjer sjever—jug na stabilnom terenu. Poželjno je da se linija sastoji od nekoliko stotina nivelmanskih strana [4] jer se na linijama veće duljine C točnije obuhvaća. Treba izbjeći i umjetna magnetska polja koja stvaraju tehnička postrojenja (visokonaponski vodovi, transformatori). Opisani postupak daje vrlo dobre rezultate. Može se primjetiti istovremeno, ne samo za kalibraciju jednog, već i više automatskih nivelira simultano.

Da utjecaj geomagnetizma nije samo predmet pukog teoretiziranja izrazito pokazuje dijagram preuzet iz [4], sl. 8. Naime, nivelmanska linija duž atlanske obale SAD, od Norfolka (Virginia) do St. Augustine (Florida), duljine cca 1150 km, nivelirana klasičnim instrumentima u periodu 1955—1963, ponovo je nivelirana od 1974 do 1980 god. magnetski osjetljivim nivelirima (model Zeiss Ni-1). Međusobna odstupanja visinskih razlika ovih nivelmana prikazana su u obliku dijagrama ukupnih nesuglasica; kako za izvorna mjerenja, tako i za mjerenja popravljena laboratorijski, odnosno empirijski određenim magnetskim korekcijama. Dijagram jasno pokazuje da ukupna razlika od 1m na duljini linije od 1150 km nije zanemariva i ujedno da magnetski utjecaj određen empirijskom metodom daje izrazito bolje rezultate.



- Razlike nivelmana bez magnetske korekcije,
 nakon uvođenja emp. određenih mag. korekcija i
 - - - nakon uvođenja laborat. određenih mag. korekcija.

Sl. 8.

LITERATURA

- [1] Beckers, H.: Influence of magnetism on precise levelling shown in the Rhine-land-Palatine part of the German first — order levelling network, Workshop on Precise Levelling, Hannover 1983.
- [2] Feil, L.: Teorija pogrešaka i račun izjednačenja, rukopis, Zagreb 1988.
- [3] Geßler, J.: Some results of determination of the geomagnetic influence on automatic levelling instruments, Workshop on Precise Levelling, Hannover 1983.
- [4] Holdal, R. S., Strange, E. W., Harris, J. R.: Empirical calibration of Zeiss Ni-1 level instruments to account for magnetic errors, Symposium on Height Determination and Recent Crustal Movements, Hannover 1986.
- [5] Klak, S.: Geofizika, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1984.
- [6] Leitz, H.: The influence of geomagnetic field on the Zeiss Ni-1 precision level, Workshop on Precise Levelling, Hannover 1983.
- [7] Macarol, S.: Praktična geodezija, Tehnička knjiga, Zagreb 1978.
- [8] Pelzer, H.: Systematic instrumental errors in precise levelling, Workshop on Precise Levelling, Hannover 1983.

SAŽETAK

U ovom su radu ukratko prikazana načela djelovanja geomagnetskih sila na kompenzatorske uređaje nekih automatskih nivelira. Objasnjen je način empirijskog određivanja magnetske korekzione konstante koja omogućuje otklanjanje ovog sistematskog utjecaja iz rezultata mjerenja.

ABSTRACT

In this paper is presented influence of geomagnetism on automatic levels and empirical approach to estimate the scale of magnetic error.

Primljeno: 1988-06-20