

ZAVISNOST KOLIMACIJE TEODOLITA OD TEMPERATURE VAZDUHA

Gligorije PEROVIĆ — Beograd*

1. UVOD

Poznato je da vrednost kolimacije teodolita zavisi od temperature njegovih delova kao i to da temperatura tih delova zavisi od temperature vazduha, odnosno sredine u kojoj se teodolit nalazi — što praktično dovodi do zavisnosti kolimacije teodolita od temperature vazduha. Poznato je i to kakve sve probleme pri merenju uglova izaziva promena kolimacije nastala promenom temperature vazduha, zbog čega su izvođeni mnogobrojni eksperimenti laboratorijskog određivanja ove zavisnosti. Međutim promena temperature vazduha, a samim tim i delova teodolita, u terenskim — »realnim« uslovima ne odvija se »pravilno« kao u laboratorijskim uslovima, što, samo po sebi, izaziva i drugačije promene kolimacije od onih u laboratoriji. Zbog ovoga, kao i zbog iznalaženja odgovora na pitanje da li se u terenskim uslovima merenja može ustanoviti oblik zavisnosti kolimacije teodolita od temperature vazduha autor ovog rada se i odlučio na ovakav eksperiment.

Analizirana je vrednost dvostruke kolimacije teodolita pri raznim temperaturama vazduha, pri čemu je na raspolaganju bio veliki broj podataka (više od 1000) tako da se zaključci mogu smatrati pouzdanim.

2. OPIS METODE

Pri merenju uglova i dužina u poligonometrijskoj mreži grada Paraćina, pored ostalih veličina, merena je i temperatura vazduha. Merenja temperature izvođena su tzv. rudarskim termometrom neposredno po merenju uglova na stanici pri čemu su termometar i teodolit bili suncobranom zaštićeni od direktnog dejstva sunčevih zraka. Pri prelasku od stanice do stanice teodolit je, ili prenošen na stativu, ili u svojoj kutiji pri čemu je stalno bio suncobranom zaštićen od dejstva sunčevih zraka. Međutim, treba ovde napomenuti da, pri prenosu teodolita u kutiji, ponekad nije obezbeđivana zaštita suncobranom — što je za posledicu imalo to da je temperatura delova teodolita naglo rasla ukoliko je vreme bilo sunčano.

* Adresa autora: Doc. dr Gligorije Perović, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 11000 Beograd, Bul. revolucije 73.

Inače, merenja su izvedena u vremenskom intervalu od 8-og do 25-og septembra 1982. godine, po sunčanom vremenu i pri temperaturama od 18 do 33°C, dok su samo na dvema stanicama, 5-og novembra iste godine, izvršena merenja na temperaturi od 4°C.

Sva merenja obavljena su teodolitom Zeiss Theo 010A broj 398 339 ravnomerno i brzo, a izveo ih je Dušan Atanasković, apsolvant Geodetskog odseka Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, u okviru svog diplomskog rada.

3. REZULTATI MERENJA I TESTIRANJE HOMOGENOSTI I NORMALNOSTI

U Tabeli 1 date su srednje vrednosti dvostruke kolimacije na pojedinim temperaturama posle odbacivanja rezultata koji odskaku, pri čemu je odbacivanje izvršeno na osnovi kriterijuma značajnosti odstupanja od srednje vrednosti.

Tabela 1. Srednje vrednosti dvostruke kolimacije teodolita na raznim temperaturama po odbacivanju rezultata koji odskaku. Sa Y je označena vrednost dvostruke kolimacije

Redni broj	Temperatura vazduha t_1 [°C]	Srednje vrednosti dvostruke kolimacije \bar{Y}_i ["]	Broj merenja n_i	Srednji kvadrat odstupanja m_i^2
1	4	20,12	17	11,74
2	18	10,38	61	12,57
3	19	9,64	91	10,72
4	20	9,11	63	13,13
5	21	9,10	31	10,62
6	22	9,22	92	13,40
7	23	9,93	30	9,86
8	24	9,20	66	12,35
9	25	7,58	80	11,29
10	26	6,96	100	12,36
11	27	6,40	99	10,75
12	28	5,99	164	12,61
13	29	6,52	82	12,82
14	30	6,30	80	13,76
15	32	8,89	9	13,61
16	33	6,38	13	9,26

$$N = 1087 \quad m^2 = 12,1634$$

Pirsonovim χ^2 — kriterijumom testiran je raspored rezultata dvostruke kolimacije u svim grupama gde je broj rezultata bio veći od 50. U svim ispitivanim slučajevima Pirsonov χ^2 — test saglasnosti je pokazao značajnu saglasnost rasporeda rezultata sa normalnim.

Bartletov test jednakosti disperzija rezultata dvostruke kolimacije daje

$$\chi^2(15) = 4,43 < 25,00 = \chi_{0,95}^2(15),$$

na osnovi čega se sa visokim nivoom značajnosti može prihvatiti hipoteza o jednakosti disperzija.

Potvrda normalnosti daje nam za pravo da u daljem možemo koristiti matematičku teoriju obrade podataka zasnovanu na normalnom rasporedu, dok nam homogenost disperzija omogućuje da pri izboru regresije možemo koristiti model sa hemogenim disperzijama.

4. TESTIRANJE MODELA REGRESIJE

Prvo što se samo po sebi, nameće je pitanje da li je uopšte bilo promena dvostruke kolimacije u ovakvim uslovima merenja (pri promeni temperature od 4 do 33 stepena Celzijusa). Odgovor na ovo pitanje možemo naći uz pomoć jednofaktorske disperzione analize (videti, na primer, Hald 1957, ili Perović 1984). Tako, hipotezu o nepromenljivosti kolimacije teodolita možemo testirati test veličinom

$$F(f_2, f_1) = \frac{m_2^2}{m_1^2} \text{ sa } m_2^2 = \frac{1}{k-1} \sum_1^k n_j (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2 \text{ i } m_1^2 = 12,1634,$$

pri čemu je: m_1^2 — ocena »čiste greške« (odstupanja) unutar serija merenja sa $f_1 = N-k$ stepeni slobode; m_2^2 — ocena greške (odstupanja) između serija merenja sa $f_2 = k-1$ stepeni slobode, a k je broj serija (u ovom slučaju $k = 16$).

Pošto je

$$F(15; 1062) = \frac{359,65}{12,1634} = 29,57 > 1,67 = F_{0,95}(15; 1062)$$

to možemo govoriti o značajnoj promeni kolimacije u ovom temperaturnom intervalu.

Šta više je

$$F(15; 1062) = 29,57 > 2,06 = F_{0,99}(15, 1062),$$

što govori o visoko značajnoj promeni kolimacije teodolita.

Drugo, što se opet intuitivno nameće, je pitanje da li je ova promena bila linearna, odnosno, da li se ova zavisnost može opisati linearnim modelom

$$M(Y) = c + dt,$$

gde $M(\cdot)$ predstavlja znak matematičkog očekivanja.

Rezultati ocenjivanja metodom najmanjih kvadrata (videti, na primer, Hald 1957, ili Seber 1977) daju ocene

$$\hat{c} = 18,510 \text{ i } \hat{d} = -0,42972,$$

pa test adekvatnosti modela $F(LF)$, (LF — engleska skraćenica od lack of fit = adekvatnost), sa

$$F(LF) = F(14; 1062) = 4,43 > 1,70 = F_{0,95}(14; 1062),$$

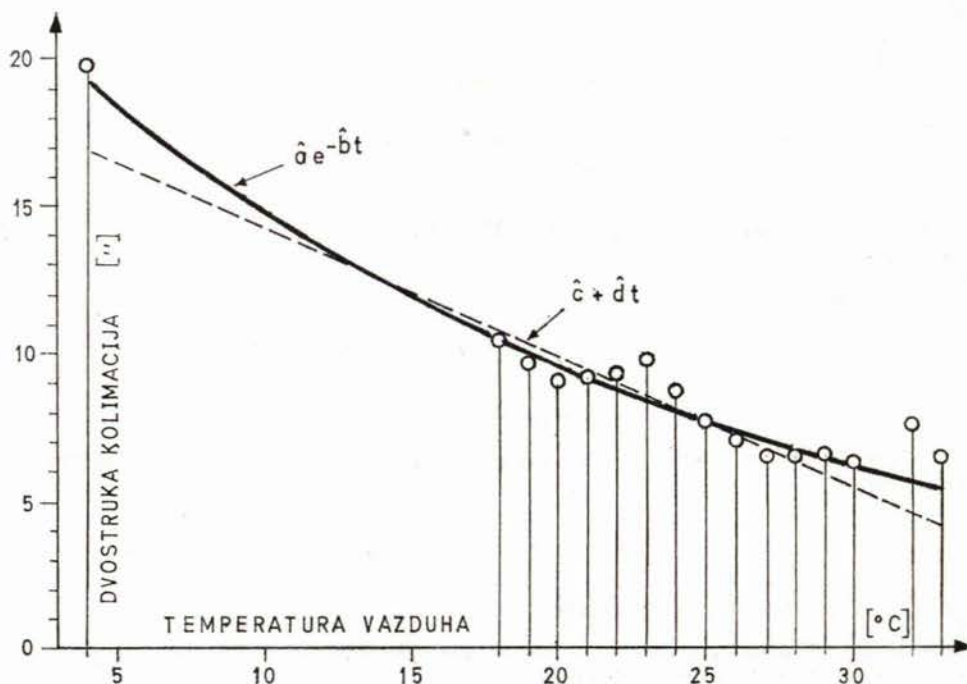
govori o značajnoj neadekvatnosti linearnog modela. I ovdje je $4,43 > 2,10 = F_{0,99}(14; 1062)$, pa sa visokim nivoom značajnosti odbacujemo hipotezu o adekvatnosti linearnog modela.

Mogli bismo ovde ispitivati adekvatnost i drugih modela kao, na primer modela $M(Y) = c + dt + et^2$ i sličnih. Međutim, moramo se setiti i fizičke teorije o promeni delova instrumenta-aparature zbog uticaja temperaturnih promena okolnog vazduha. Prema toj teoriji (videti, na primer, N. N. Markov i P. A. Sacerdotov 1976) ta zavisnost izražava se eksponencijalnim zakonom

$$M(Y) = ae^{-bt}. \quad (1)$$

Metod najmanjih kvadrata, sa primenom kriterijuma značajnosti odstupanja od regresione linije, pri čemu je odbačeno 0,1% rezultata, što je trebalo i očekivati s obzirom da je već primenjivan kriterijum značajnosti odstupanja od srednje vrijednosti \bar{Y}_j , daje ocene

$$\hat{a} = 22,924 \quad \text{i} \quad \hat{b} = 0,044135, \quad (2)$$



Sl. 1 Zavisnost kolimacije teodolita Zeiss Theo 010A broj 398339 od temperature vazduha dobijena u terenskim uslovima

pa veličina F (LF), gde je

$$F(LF) = F(14; 1048) = 1,35 < 1,70 = F_{0,95}(14; 1048),$$

govori o značajnoj saglasnosti rezultata sa modelom (1)

Tako je i ovim eksperimentom potvrđena iz fizike poznata teorija o promeni sastavnih delova instrumenata i njihovog međusobnog položaja izazvana temperaturnim promenama okolnog vazduha, odnosno tih delova.

Grafička ilustracija aproksimacije rezultata pravom linijom i eksponencijalnom krivom dati su na sl 1.

5. ZAKLJUČCI

1. Može se, dakle, na osnovi tzv. proizvodnih merenja potvrditi eksponencijalna zavisnost vrednosti kolimacije teodolita od temperature vazduha, ukoliko su ta merenja korektno izvedena.

2. Sa grafika Slike 1 može se zaključiti da ta promena, pri promeni temperature od 4 do 33 stepeni Celzijusa, iznosi 13,9", što u proseku iznosi 0,5"/1°C. Ovaj podatak je značajan pri optimizaciji metode merenja uglova, jer će, na primer, temperaturna razlika između delova teodolita i vazduha od 10°C izazvati promene kolimacije za 5", što može imati bitnog uticaja na tačnost merenja uglova.

LITERATURA:

- [1] Božinov, V., 1986. Analiza grešaka merenja — diplomski rad. Građevinski fakultet, Beograd.
- [2] Bunke, H., 1984. Parameter Estimation in Nonlinear Regression Models; in Handbook of Statistics 1 — Analysis of Variance, Second printing; Edited by P. R. Krishnaiah. North-Holland PC, Amsterdam—New York—Oxford.
- [3] Draper, N. R., Smith, H., 1981. Applied Regression Analysis, Second Edition. Wiley, New York.
- [4] Hicks, R. Ch., 1963. Fundamental Concepts in the Design of Experiments. Holt, Rinfhart and Winston, New York.
- [5] Hald, A., 1957. Statistical Theory with Engineering Applications, Third Printing. Wiley, New York.
- [6] Lehmann, E. L., 1959. Testing Statistical Hypotheses. Wiley, New York.
- [7] Markov, N. N. i Sacerdotov, P. A., 1976. Pagašnosti ot temperaturnih deformacij pri linjejnih izmerenijah. Mašinstrojenije, Moskva.
- [8] Perović, G., Ašanin, S., Atanasković, D., 1982. Poligonska mreža grada Paraćina — Elaborat knjiga 1 i knjiga 2. Građevinski fakultet — Institut za geodeziju — Beograd.
- [9] Perović, G., 1984. Račun izravnjanja knjiga 1 Teorija grešaka merenja. Naučna knjiga i Građevinski fakultet, Beograd.
- [10] Seber, G. A. F., 1977. Linear Regression Analysis. Wiley, New York—London—Sydney—Toronto.

REZIME

Ispitivana je zavisnost kolimacije optičkog teodolita od temperature vazduha. Eksperiment je obavljen u »realnim« uslovima, tj. promena kolimacije praćena je uz istovremeno merenje uglova i rastojanja u poligonometrijskoj mreži. Rezultati ispitivanja potvrđuju hipotezu o eksponencijalnoj zavisnosti kolimacije teodolita od temperature vazduha.

ABSTRACT

Dependence of optical theodolite collimation on air temperature has been investigated. The experiment has been performed under »realistic« conditions, i. e. collimation change has been observed while at the same time the measurement of angles and distances in traverse net has been undertaken. The results of the investigation confirm the hypothesis about exponential dependency of theodolite collimation on air temperature.

Key words. The design of Experiments; Analysis of Variance; Linear Regressions Analysis; Hypothesis Testing; Testing of Distributions.

Primljeno: 1987-10-26