

KOMPARACIJA OPTIČKIH DALJINOMJERA

Inž. Miroslav HERDA CSc - Praha

Uvod

Optički daljinomjeri su još uvijek veoma mnogo korišteni pribori za mjerenje dužina. Naročito se redukcioni tehimeter Redta 002, proizvod tvornice Zeiss Jena, pokazao prikladan pri mjerenju poligonalnih mreža. Zadovoljava u pogledu tačnosti i brzine rada. Da bi njegova tačnost mogla biti u potpunosti iskorištena, što vrijedi također i za ostale optičke daljinomjere, potrebno je poznavati pravu vrijednost daljinomjernih konstanti. Potrebno je imati na umu, da se pogreške daljinomjernih konstanti pojavljuju u rezultatima mjerenja kao sistematske pogreške, koje se pri izjednačenju samo u ograničenoj mjeri isključuju, prema načinu izjednačenja i mjerenja. Kakve pogreške utječu na vrijednost daljinomjernih konstanti pokazat će se za daljinomjere sa dvostrukim slikama, jer za njih ima povećanje tačnosti najviše značenje.

Utjecaj pogrešaka daljinomjera s dvostrukim slikama

Dužina mjerenja daljinomjerima s dvostrukim slikama, dakle auto-redukcionim daljinomjerima, data je poznatim izrazom

$$s = K \cdot l \pm c$$

gdje je K multiplikaciona konstanta jednaka 100, l je pročitani odsječak na daljinomjernoj letvi, dok je adicione konstanta c nula.

Tačnost rezultata dobivenih ovim daljinomjerima moguće je osjetno povećati ako se odredi stvarna veličina obiju konstanti, jer se sistematske pogreške instrumenta, opažaća i vanjske sredine, odrazuju na njihovu promjenu. Za daljnje razmatranje bit će uputno navesti glavne pogreške spomenutih skupina.

Pogreške instrumenta i pribora jesu:

- a) pogreška u brušenju daljinomjernih klinova,
- b) sistematske pogreške podjele daljinomjerne letve,
- c) pogreška u položaju daljinomjernih klinova u sistemu durbina i pogreška daljinomjernog mikrometra,
- d) pogreške u položaju i obliku daljinomjerne letve (odstupanje letve od okomice na smjer mjerene dužine, iskrivljenost letve, odstupanje letve od vodoravnog položaja, sistematska pogreška centriranja i nesimetrija odsječka na letvi).

Osobna greška opažača prouzrokovana je nepravilnostima očne leće, koje mijenjaju kut otklona klina.

Vanjski utjecaj okoline pojavljuje se djelovanjem temperature na klinove i letvu, te djelovanjem boje svjetlosti na kut otklona klina. Boja svjetla ujedno utječe na osobnu pogrešku. Nadalje se utjecaj okoline pojavljuje u obliku horizontalne (bočne) refrakcije, koja djeluje kao nepravilna sistematska pogreška. Navedene sistematske pogreške djeluju, tako da prava multiplikaciona konstanta nije jednaka sto, nego je promijenjena o vrednost dK, a također da se pojavljuje i adicione konstanta dC.

Prikladna metoda za određivanje pravih vrednosti konstanti je komparacija na poljskom komparatoru — osnovici. Prije razmatranja tačnosti komparacije potrebno je spomenuti pogrešku redukcionog uređaja. Ta pogreška se pri mjerenju automatski uklanja, ako su mjerenja obostrana — tamo i natrag. Ako se dužine poligonskih strana mjere polovljenjem, tada je mjera uklanjanja ovisna o ravnomjernosti nagiba terena. Zato je potrebno redukcioni uređaj kontrolirati i rektificirati, najbolje na pokusnoj dužini s velikim nagibom. Tu je moguće postići, da razlika između mjerenja u oba smjera, za dužinu od 80 do 100 m, ne pređe 3 do 4 cm.

Razmatranje tačnosti komparacije

U prvom dijelu ovog poglavlja potrebno je detaljnije razmotriti tačnost s kojom je potrebno poznavati konstante daljinomjera, za stano-vitu vrstu radova. Pri tome treba uzeti u obzir maksimalno odstupanje pri mjerenju dužina.

Instrukcija za tehničko-gospodarske planove u ČSSR-u za mjerila 1 : 500 do 1 : 5000 koristi za određivanje maksimalnog odstupanja dvostrukih mjerenja dužina poligonskih mreža povećane tačnosti, formulu

$$s = 0,5 (0,00015s + 0,005 \sqrt{s} + 0,015) \text{ u m.}$$

Utjecaj sistematskih pogrešaka u tom izrazu izražen je prvim članom

$$s_{\text{sist}} = 0,5 \cdot 0,0015 s \dots \text{ u m.}$$

Za dužinu od 100 m je dakle $s_{\text{sist}} = 0,75 \text{ cm.}$

Uz pretpostavku da je maksimalno odstupanje dvostruka ili trostruka srednja pogreška, potrebno je da srednja vrednost sistematskog utjecaja ima veličinu od

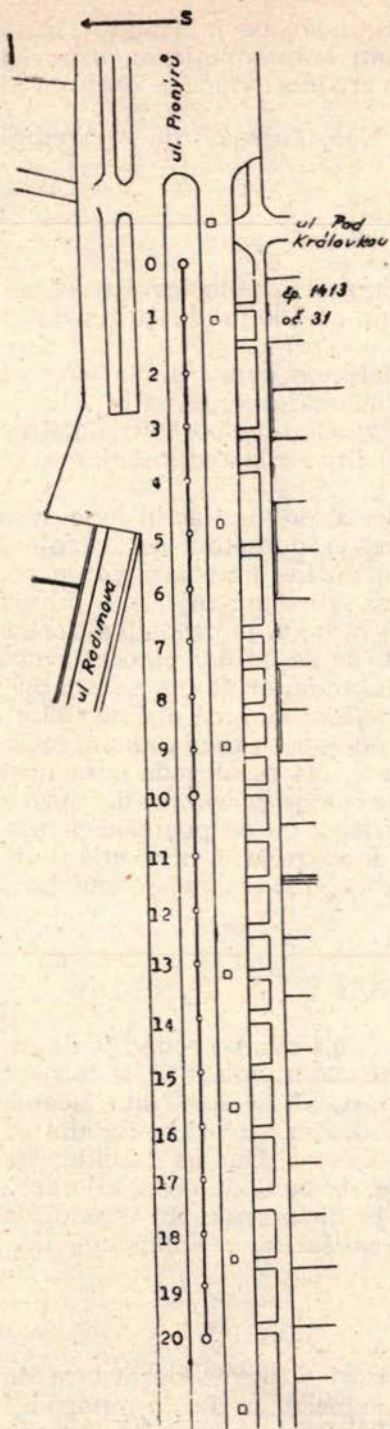
$$m_{\text{sist}} = 0,17 \cdot 0,00015 s \quad \text{u m}$$

do

$$m_{\text{sist}} = 0,25 \cdot 0,00015 s \quad \text{u m}$$

Za dužinu od 100 m to bi bilo 0,3 do 0,4 cm.

Kako se u daljinomjerima sa dvostrukom slikom pojavljuje utjecaj sistematskih pogrešaka promjenom daljinomjernih konstanti, to navedena veličina određuje približno tačnost, s kojom je potrebno poznavati veličine obiju konstanti. Iz daljnjeg računanja proizlazi da se sred-



Slika 1

Tablica 1 — Vrijednosti težina za daljinomjer »Redta«

s	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
p	0,80	0,76	0,71	0,66	1,22	1,12	1,01	0,92	0,82	0,74	1,02	0,93	0,84	0,78	0,69	0,63	0,60
n	2		3			3				4				4			

$$\text{Vrijednosti težina } p = \frac{n}{2m s}$$

nja pogreška određivanja popravke multiplikacione konstante i ostataka adicione konstante određuje, prilikom komparacije na osnovici, približno sa istom srednjom pogreškom (vrednost odnosa obiju srednjih pogrešaka $\sqrt{\frac{[p_{bb}]}{[p_{aa}]}}$ je 1,3 odnosno 1,5). To znači da su srednje pogreške obiju konstanti

$$m_{dk} = m_{dc} \pm 0,2 \text{ cm}$$

Određiti obje konstante s tom tačnošću znači jednostavnije rečeno, da je potrebno prilikom komparacije dužinu od 100 m određiti sa srednjom pogreškom od $\pm 0,2$ cm. Uzme li se u obzir da je srednja pogreška dužine od 100 m mjerena jedanput daljinomjerom Redta 002 približno ± 2 cm, bilo bi potrebno odprilike 100 opažanja, da se ta veličina postigne. Taj broj opažanja potrebno je zgodno rasporediti obzirom na domet daljinomjera i zakon pogrešaka mjerenja daljinomjerom.

Osnovica za komparaciju

Izbor dužine i broja odsječaka osnovice za komparaciju uvjetovan je zahtjevom da bude od prilike 100 opažanja, dometom daljinomjera i zakonom pogrešaka tj. odnosom između dužine i njene srednje pogreške. Također je potrebno voditi računa o načinu mjerenja dužine osnovice. Ako se koriste invarne žice od 24 m onda je prikladna dužina jednog odsječka od 12 m. To će omogućiti da se odredi položaj svake druge tačke pomoću invarnih žica. Za daljinomjer Redta se odabire osnovica sa odsječcima od 20 m tj. 14 odsječaka ukupne dužine 180 m. Ako atmosferske prilike nisu povoljne, tj. postoji vibracija zraka, može se dužina osnovice skratiti na 11 odsječaka tj. 144 m, ali tada je tačnost komparacije dakako manja. Razumljivo je, da je potrebno da dužina komparatora bude poznata s takvom tačnošću, da se pogreška u njegovoj dužini može zanemariti u usporedbi s pogreškom mjerenja daljinomjerom. Pogreška m_z u dužini osnovice (komparatora) je sadržana u pogreškama konstanti prema izrazu

$$m_{sist} = \sqrt{m_{komp}^2 + m_z^2}$$

Ako se zahtijeva da m_{sist} bude $\pm 0,3$ do $\pm 0,4$ cm, potrebno je da m_z bude jednako ili manje od 0,1 cm. U relativnom smislu to je tačnost od 1 : 200000, što je relativno velika tačnost, ali se invarnim žicama može lako postići. Stabilizacija mora biti također temeljita. Zgodni su betonski blokovi sa čavlom ili željeznom šipkom. Dubina stabilizacije mora biti ispod dubine zamrzavanja zemlje, da ne dođe do pomjeranja tačaka. Osnovica mora biti razumljivo na približno ravnom terenu, da tačnost komparacije ne bude opterećena greškama redukcionog uređaja.

Tehnologija komparacije

Traženu tačnost komparacije i veliki broj opažanja opravdava da se za računanje konstanti koristi račun izjednačenja. To će omogućiti također računanje srednje pogreške konstanti i komparacije i da se

na taj način ovjeri ispravnost navedenih razmatranja o potrebnoj tačnosti komparacije.

Prava dužina mjerena redukcionim daljinomjerom data je izrazom

$$s^i = (100 + dK) \cdot l_i + dC$$

Ako se označi razlika

$$100 \cdot l_i - s_i = u^i$$

gdje je s prava dužina odsječka komparatora bit će popravci

$$v_i = dK \cdot l_i + dC + u_i$$

koeficijenti jednadžbi popravaka jesu tada

$$a_i = l_i \quad b_i = 1$$

Težine se izvode iz zakona pogrešaka daljinomjera s dvostrukim slikama. Zgodno je za određivanje težina koristiti formulu, koju je izveo Forstner za daljinomjer Redta

$$m_s = \pm 1,1 \sqrt{1 + s^2}$$

gdje je s u hm, m_s u cm (tab. 1). Broj čitanja se porastom dužine povećava. Okretanjem mikrometra u oba smjera, obzirom na zahtjeve koincidencije, nastaju dvostruka čitanja — mjerenja. Označi li se broj čitanja sa n , to će biti težina

$$p = \frac{n}{2m_s^2}$$

Za prva tri odsječka uzima se broj čitanja 2, za daljnih 5 odsječaka 4 a zaostatak osnovice 6. Težine je moguće također izvesti i iz jednostavnih izraza koji vrijede približno za ove daljinomjere.

$$p = \frac{n}{2s^2} \quad \text{ili} \quad p = \frac{n}{2s}$$

Međutim prethodni izraz za težinu za srednjom pogreškom je najpriklađniji. Utjecaj pojedinih mjerenih veličina na obje konstante najbolje odgovara prvoj tačnosti daljinomjera Redta 002.

Dalje se postupa na uobičajeni način — izvedu se normalne jednadžbe za uvjet minimuma sume kvadrata

$$[paa] dK + [pab] dC + [pau] = 0$$

$$[pbb \cdot 1] dc + [pbu \cdot 1] = 0$$

Izjednačene vrednosti konstanti računaju se najbolje Gausovom eliminacijom.

Ispravnost računanja kontrolira se pomoću poznatih sigma proba. Za računanje srednje pogreške treba poznavati izraz $[pvv]$.

Srednja pogreška jedinice težine mjerene dužine data je formulom

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{r - 2}}$$

gdje je r broj odsječaka komparatora.

Srednja pogreška ostatka adicione konstante

$$m_{ac} = \frac{m_0}{\sqrt{[pbb \cdot 1]}}$$

dok multiplikacione konstante

$$m_{ak} = m_{ac} \sqrt{\frac{[pbb]}{[paa]}}$$

Zgodno je računanje provesti u zajedničkom formularu sa zapisnikom mjerenja. Pri tome će, za stalne komparatore i određeni radni postupak biti niz veličina konstantan. To su izrazi [paa], [pab], [pbb], [pbb. 1]. Daljne izraze za sume moguće je izračunati jednostavnije.

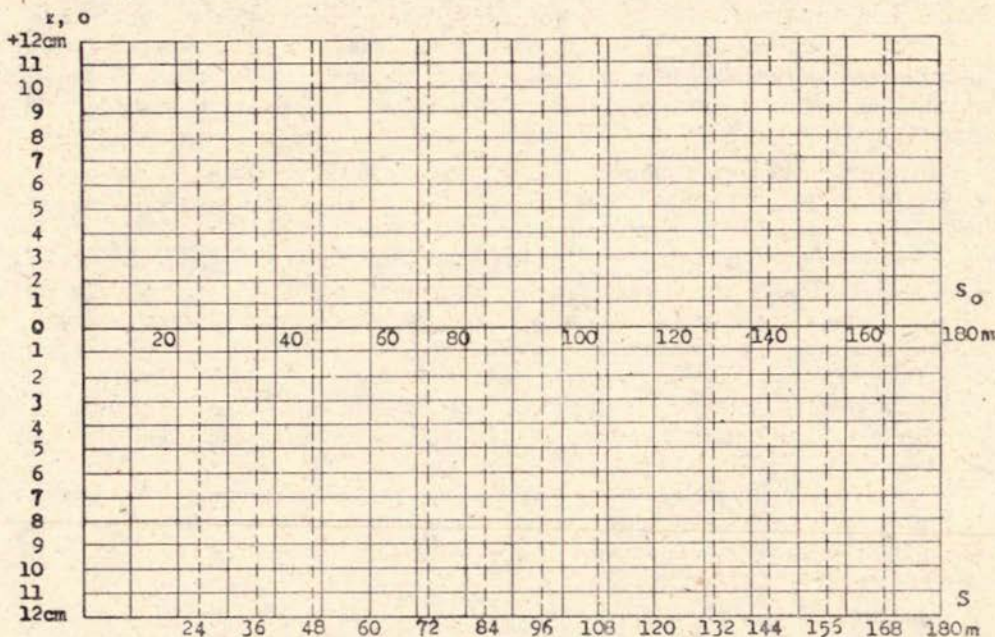
$$\begin{aligned} p_{au} &= p_{ab} \cdot n \\ p_{bu} &= p \cdot n \end{aligned}$$

Postupak komparacije daljinomjera Redta 002 jasan je iz postupka, koji koriste stručnjaci Instituta za geodeziju i kartografiju u Pragu. Komparator je izgrađen trajno u blizini skladišta instrumenata i mehaničke radionice Instituta. Osnovica ima 20 odsječaka po 12 m, cijela dužina je 240, 278 m. Izmjerena je sa dvije invarne žice u oba smjera s tačnošću od 1 mm. Položaj osnovice vidljiv je iz slike 1. Za osnovicu izabran je srednji cca 9 m široki zeleni pojas ulice Pionira. Za komparaciju izdan je formular. Na prvoj strani formulara su podaci o osnovici, položaj osnovice, stručni radni postupak i dijagram odstupanja i popravaka. Nadalje se ovdje po svršenom računanju ispunjava tablica popravaka, koji se koriste za određivanje popravaka pri radu s kompariranim daljinomjerom. Na str. 2 i 3 formulara je zapisnik mjerenih dužina zajedno s računanjem odstupanja. Dužine odsječaka osnovice su ovdje već štampane. Na str. 4 je tabela za računanje sredine odstupanja iz mjerenja u oba smjera, ovdje su štampani konstantni izrazi i ovdje se računaju koeficijenti jednadžbi popravaka, koeficijenti normalnih jednadžbi, vrednosti popravaka i izraza [pvv]. Tu je i tabela za Gausovu eliminaciju i za računanje vrednosti konstantni i srednjih pogrešaka. Svuda su uvedene jedinice u kojima se mjeri i računa i broj decimalnih mjesta.

Pri komparaciji najprije se ispita funkcioniranje dioptera i libele na letvi, a zatim redukcionog uređaja na instrumentu. Na komparatoru se mjeri svaki odsječak sa obje letve, a osnovica (komparator) se mjeri u oba smjera. Izračunate vrijednosti konstanti odnose se na dužinu mjerenju obim letvama. Dužine se čitaju do na mm (na terenu je svakako dovoljno na cm). Pri koindiceranju održava se naizmjenično smjer okretanja mikrometra. Iz razlika između srednje vrednosti mjerenja, obim letvama i u oba smjera i dužine odsječaka računaju se odstupanja u. Ova odstupanja ucrtavaju u dijagram (sl. 2). Linija koja prikazuje tok odstupanja treba da bude približno pravac. Ako je zakrivljen ili se pojavljuje skok, znači da je podjela letve neravnomjerna, pa se vrednost konstanti ne mogu ovim načinom računati, jer su promjenljive. Vrednosti popravaka je u tom slučaju moguće odrediti odmjeravanjem iz linije, čiji se položaj u grafu ocjenjuje tako, da odstupanja između linije i mjerenih razlika budu minimalna. Tačnost mjerenja takovim daljinomjerom je svakako niža.

Razlike u se radi računanja umnožaka jednadžbi popravaka uzimaju u cm na 1 deset. mjesto, dok se dužina za težine uzimaju u hm. Sračunate vrednosti konstanti i srednjih pogrešaka će tako biti u cm ili u cm/hm (za dužinu od 100 m). Koeficijenti se računaju na 1 deset. mjesto pomoću logaritmara. Izračunate vrednosti popravaka ucrtaju se za odgovarajuću dužinu u dijagram. Spajanjem ovako dobivenih tačaka mora biti pravac sa mjerom dK , a odsječak na osi odstupanja u je dC . Zatim se računaju vrednosti popravka za cijele dekametre i unose u tabelu. Iz ove tabele pri mjerenju na terenu čita se vrednost popravka interpolacijom.

Komparacija daljinomjera Redte traje oko 4 radna sata, računanje oko 3 sata. Najbolje je daljinomjer komparirati prije poligonalnih mjerenja, pri većim radovima i poslije mjerenja, ali uvijek barem dvaput godišnje. Važno je da svaki opservator sam komparira daljinomjer, jer se osobne pogreške mogu međusobno veoma razlikovati.



Slika 2 — Dijagram odstupanja i popravaka dužina

Rezultati komparacije daljinomjera Redta 002 dokazuju ispravnost ovih razmatranja. Prosječne vrednosti, koje su se komparacijom postigle odgovaraju pretpostavkama. Srednja pogreška m^{dK} multiplikacione konstante je u prosjeku $\pm 0,003$ tj. 0,3 cm/100 m, srednja pogreška m^{dC} je prosječno $\pm 0,2$ cm. Srednja pogreška m_0 obostrano mjerene dužine 100 m je prosječno $\pm 0,9$ cm. Važno je navesti također prosječne vrednosti konstanti. Multiplikaciona konstanta varira oko vrednosti 100,05 tj. popravak je 5 cm/100 m adicijona konstanta je prosječno 2,5 cm. Ove vrednosti ne mogu se u mjerenjima poligonalnih mreža zanemariti i dokazuju da je komparacija neophodna.

Preveo sa češkog jezika prof. M. J.