

POLJSKI KRATKOVALNI DALJINOMJER

»TELEMETAR OG-1«

Jozef BELUCH, dipl. ing. — Krakow, Poljska

Uvod — Tehniku geodetskih mjerenja kao i metode mjerenja u razdoblju od nekoliko posljednjih godina odlikuje široki napredak usmjeren prema mehanizaciji i automatizaciji rada. Taj je napredak omogućen zahvaljujući korištenju najnovijih dostignuća eksperimentalne fizike i tehničkih nauka.

Posebnu ulogu u automatizaciji geodetskih procesa odigrala su dostignuća na polju elektronike.

Na bazi elektronske tehnike konstruirano je niz instrumenata, među kojima i kratkovalni daljinomjeri.

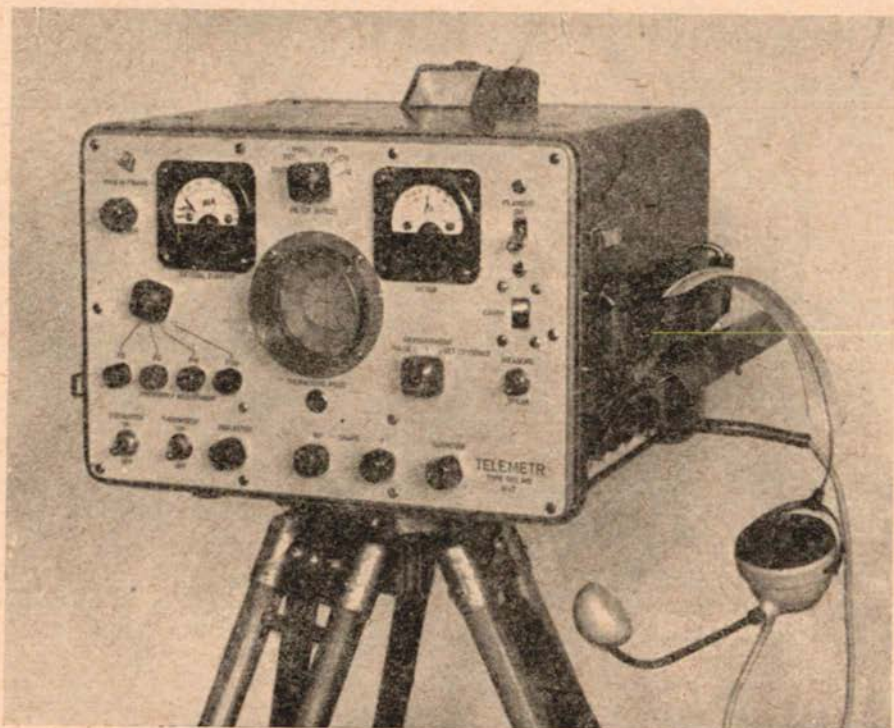
Prvi kratkovalni daljinomjer je konstruiran u Južnoafričkoj Uniji 1957. godine. Taj je instrument nazvan Tellurometar MRA-1. Sada su poznata još dva daljnja usavršena tipa tog instrumenta MRA-2 i MRA-3.

Pojava prvog elektronskog daljinomjera izazvala je u mnogim zemljama široki interes, pa su konstruirani instrumenti sa sličnim funkcioniranjem. Sada se proizvodi već devet tipova kratkovalnih daljinomjera u slijedećim zemljama [5]:

Južno-afrička Unija	—	Tellurometar MRA-2, MRA-3
SAD	—	Elektrotape i Mikro Chain
SSSR	—	GRD
Švicarska	—	Distomat DL 50
Mađarska	—	GET-B1
Poljska	—	Telemetar OG-1
Njemačka Dem. Rep.	—	GDR

Ovaj članak je posvećen samo poljskom kratkovalnom daljinomjeru, koji je konstruiran na Katedri radiologije Varšavske politehnike 1962. godine. Instrument se zove Telemetar OG-1 i namijenjen je mjerenju kratkih i srednjih duljina (100m—15km).

Opći opis instrumenta — Čitava se aparatura sastoji od dva instrumenta. Jedan ima funkciju glavne stanice (SI 1) a drugi pomoćne stanice (SI 2) Osnovna razlika između ovih dvaju instrumenata sastoji se u tome što je u glavnoj stanici smješten pokazatelj očitavanja u obliku okruglog ekrana sa nanesenom skalom. Osim toga u glavnoj stanici obavlja se niz pripremnih operacija prije obavljanja samog mjerenja (npr. dovodenje sistema u nulti — položaj). Pomoćna stanica u skladu sa svojim nazivom obavlja pomoćnu ulogu u procesu mjerenja.

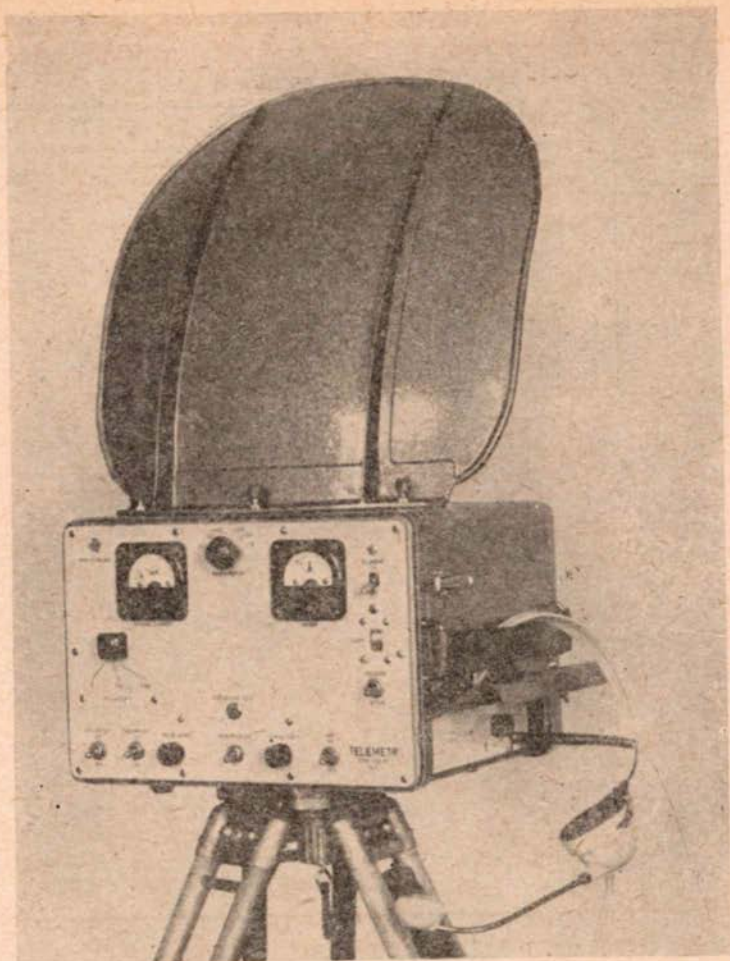


Slika 1

Obadva instrumenta snabdjevena su antenama koje su u vidu pokretnog paraboloida smještene u gornjem dijelu instrumenta. Instrumenti su podešeni tako da se mogu jednako postaviti na stativima kao i na stupovima za posmatranje, odnosno na stolovima triangulacionih piramida. Između glavne i pomoćne stanice održava se veza pomoću radiotelefona, koji radi na nosećem mjernom valu.

Princip mjerenja — Mjerenja dužina telemetrom OG-1 zasnovano je na određivanju faznog pomaka sinusoidalnog vala koji se proteže uzduž linearne udaljenosti na čijim se krajevima nalaze ovi instrumenti.

Mjera ovog pomaka je odnos dužine mjerene linearne udaljenosti »D« prema dužini vala mjernog uzorka λ . Princip mjerenja ilustrira grafički crtež. Sl. 3.

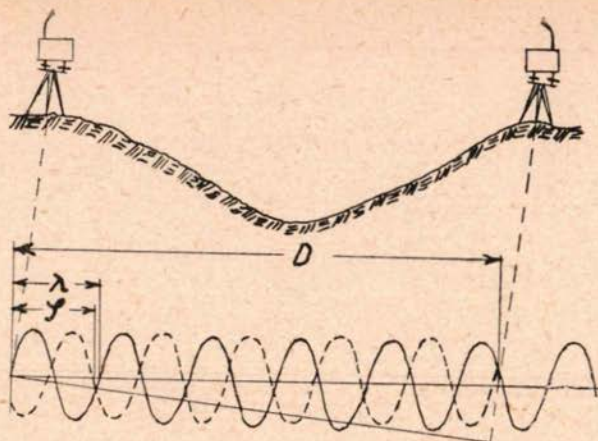


Slika 2

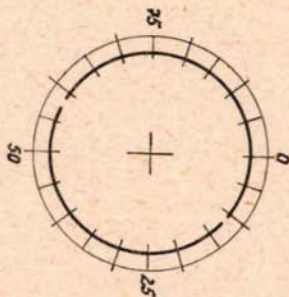
Treba uzeti u obzir da se u dvostrukoj udaljenosti koja dijeli obje stanice, nalazi izvjesna količina »n« cijelovitih valnih dužina λ i izvjesni ostatak φ , koji je samo izvjestan dio dužine λ . Ukupnu količinu »n« valnih dužina λ određuje se na osnovu očitavanja na indeksu instrumenata koja se dobivaju pri raznim ali odgovarajuće odabranim frekvencijama mjernih valova (uzorka). Ostatak φ očitava se neposredno na skali instrumenta. Spomenuta skala nastaje na osnovi diobe punog

kuta od 360° na 100 dijelova. Puni kut, tj. 100 dijelova odgovara dužini od $\frac{\lambda}{2} \approx$

100 m, a prema tome jedan dio odgovara 10 cm. Slika skale zajedno s prstenom i prekidima prikazana je na crtežu. (Sl. 4)



Slika 3



Slika 4

Princip funkcioniranja — Radi smanjenja i djelomičnog eliminiranja odraza valova od terena i koncentracije prenesenog vala uzduž mjernog sektora, nanosi se (uzoran) mjerni val na noseći val. To postavljanje se ostvaruje putem modulacije nosećeg vala mjernim naponom.

Noseći val dužine oko 3 cm stvara refleksi klistron koji se nalazi u svakom instrumentu. Istodobno emitiranje mjernih valova iz obje stanice omogućeno je zahvaljujući stalnoj razlici frekvencija nosećeg vala od 36 MHz.

Spomenuti instrument radi na tri mjerne frekvencije koje su označene po slijedećem redosljedu: F , F_{10} , F_{100} . Osnovna frekvencija je frekvencija F jednaka 15 MHz, koju stabilizira kristal kvarca. Ostale frekvencije su pomoćne i iznose 90% do 99% osnovne frekvencije, što se izražava veličinama $F_{10} = 13,5$ MHz i $F_{100} = 14,85$ MHz.

Moduliranje klistrona frekvencijama F , F_{10} i F_{100} vrši se u pomoćnoj stanici. Istovremeno je klistron glavne stanice moduliran frekvencijom napetosti koja se razlikuje za 2 kHz od odgovarajuće mjerne frekvencije pomoćne stanice.

Obzirom na tako odabrane frekvencije obiju stanica mjerenje faznog pomaka ne vrši se neposrdno na mjernim frekvencijama, nego na znatno sniženoj frekvenciji koja iznosi 2 kHz.

Usporedbu mjernih frekvencija za jednu i drugu stanicu daje tabela 1 (4):

Tabela 1

Broj	Pomoćna stanica	Glavna stanica
	Frekvencija u MHz	
1	$F = 15,000$	$F_D = 15,002$ $F_G = 14,998$
2	$F_{10} = 13,500$	$F_{10} = 13,500$
3	$F'_{100} = 14,850$	$F_{100} = 14,850$

Razlika faza napona koji se mijenjaju sa frekvencijom 2kHz proporcionalna je faznom zakašnjenju odgovarajućih mjernih signala F , F_{10} , F_{100} , na putu koji je jednak dvostruko udaljenosti obiju stanica. Mjerenja na frekvenciji 2kHz omogućava znatno pojednostavnjenje prijemnog sistema kao i povećanje tačnosti samog mjerenja.

Fazni pomak određuje se na osnovu čitanja prekida koji nastaju u kružnom prstenu, koji se vidi na ekranu osciloskopske lampe. Taj prsten predstavlja tzv. osnovu vremena, koji u spomenutom tipu instrumenata ima oblik kruga. Kružni pokret tačke na ekranu izazvan je sinusoidalnim izlaznim tokom glavne stanice, međutim prekidi u prstenu izazvani su impulsima koji polaze iz pomoćne stanice. Ovi impulsi nastaju kao rezultat pretvaranja izlaznog sinusoidalnog toka frekvencije 2kHz u tzv. impulsnom sistemu pomoćne stanice, pri čemu frekvencija ponavljanja iznosi ovdje 4kHz , 2kHz a širina impulsa $20\mu\text{s}$.

U slučaju emitiranja impulsa frekvencije ponavljnja 4kHz u kružnom prstenu osnove vremena nastaju dva prekida, ali samo jedan od njih pokazuje prave pomake faza. Prelazeći dalje na tok impulsa frekvencije 2kHz treba indentificirati koji od prekida pokazuje taj prekid, jer tada nastaje samo jedan od ovih prekida. Očitavanja drugog prekida omogućuju smanjenje pogrešaka prilikom mjerenja upotrebljenim fazomjerom.

Tok mjerenja

Mjerenje dužina telemetrom OG-1 nije komplicirano, ali njegovo pravilno izvršenje zahtjeva od osoba koje njima rukuju mnogo tačnosti i poznavanja problema vezanih uz emitiranje radiovalova i eventualnih mogućih smetnji.

Samom postupku mjerenja dužine prethode pripremni radovi. Instrumenti koji su smješteni na krajevima mjernog sektora spajaju se s akumulatorima. U toku 10–12 min. sistem se zagrijava (brzina zagrijavanja zavisi od temperature sredine). U isto vrijeme možemo približno postaviti instrumente u vertikalni i horizontalni položaj mjerene udaljenosti. Tačno podešavanje instrumenta vrši se uz pomoć odgovarajućeg kontrolnog pokazatelja. Postavljanje instrumenata u pravcu mjerene linije ne zahtjeva uzajamnu vidljivost.

Nakon zagrijavanja obiju stanica vrši se namještanje i uspostavlja veza. Dalje operator glavne stanice dovodi sistem u tzv. nulti položaj (nuliranje) za sve noseće frekvencije, to znači F_D , F_G , F_{10} i F_{100} .

Nuliranje je djelatnost koja se sastoji u tome, da se na ekranu osciloskopske lampe dobiju slike elipsa koje vibriraju s malom frekvencijom. Dobro obavljeno nuliranje omogućava da se dobiju slike kružnog prstena za vrijeme mjerenja. Nuliranjem sistema završeni su pripremni radovi i pristupa se pravom mjerenju.

Iza prvog i posljednjeg usklađivanja mjeri se na svim mjernim frekvencijama F_G , F_D , F_{10} i F_{100} . Za sva ostala usklađivanja 15—17 na broju mjeri se samo za mjerne frekvencije F_D i F_G , očitavajući svaki put jedan i drugi prekid kružnog prstena.

Treba ovdje napomenuti da mjerne frekvencije F_D i F_G glavne stanice odgovaraju samo jednoj mjernoj frekvenciji F pomoćne stanice i od nje se razlikuju za ± 2 kHz. Frekvencije F_G i F_D su uvedene u cilju eliminiranja dodatnih štetnih faznih pomaka.

Na početku, u sredini i na kraju svakog mjerenja potrebno je također mjeriti temperaturu suhog i vlažnog zraka pomoću psihometra kao i pritisak pomoću aneroida. Mjerenje jedne udaljenosti prosječno traje 10 do 15 minuta.

Tehnički podaci o instrumentu — Kompletna mjerna aparatura se sastoji od dva instrumenta, glavne i pomoćne stanice. U sastav opreme svake stanice ulazi akumulator, stativ, visak, psihrometar i aneroid.

Za telemetar OG-1 su karakteristični slijedeći podaci:

1. opseg 10 m — 15 km
2. standardna griješka $M_s = \pm (3 + 5 \cdot 10^{-6} D_w) \text{ km}$ cm
3. osnovna mjerna frekvencija 15; 13,5; 14,85 MHz
4. frekvencije nosnog vala 8,8 — 9,7 GM_Z
5. vrijeme zagrijavanja 10—25 min
6. pojačavanje — akumulator 12 V, 37 Ah
7. težina jedne stanice s antenom 11,4 kg
8. mjerne instrumente 320 × 220 × 320 mm
9. rad u skali temperatura —10°C do +35°C

Obrada rezultata mjerenja — Frekvencije F_{10} i F_{100} služe za označavanje veličine »n«, tj. broja cjelovitih dužina valova u mjerenom sektoru pri čemu frekvencija F_{10} služi za označavanje broja jedinica brojke »n«, a frekvencija F_{100} služi za označavanje broja desetina brojke »n«.

Obzirom da nam mjerenja na frekvencijama F_{10} i F_{100} dozvoljavaju da se odredi samo broj desetina i jedinica dužine vala λ u sektoru 2D, dakle količina $\lambda/2$ u sektoru D, otuda je moguće određivanje udaljenosti samo do 1 km. Ta veličina proizlazi otuda, što osnovna frekvencija iznosi 15 MHz. Kako je $\lambda/2 \approx 10$ m, to će se za max. broj desetina $\lambda/2$ dobiti oko 1 km. U slučaju da se mjere dužine veće od 1 km, potrebno je te dužine znati s tačnošću do na 1 km.

U tabeli II naveden je primjer računanja udaljenosti sektora 8,3 km. Očitavanja faznih pomaka izvršenih iz osciloskopske lampe navedena su u tablici 2.

Tabela 2

Frekvencija	Očitavanje identificirano	Očitavanje neidentificirano
F	$F_{D_Z} = 35,0$	$F_{D_N} = 81,5$
	$F_{G_Z} = 64,5$	$F_{G_N} = 13,5$
F_{10}	$F_{10_Z} = 89,0$	$F_{10_N} = 34,0$
F_{100}	$F_{100_Z} = 2,0$	$F_{100_N} = 47,5$

Srednji fazni pomak za frekvenciju F računa se po formuli

$$\varphi_{sr} = \frac{\frac{F_{D_Z} - F_{G_Z}}{2} + \frac{F_{D_N} - F_{G_N}}{2}}{2} =$$

$$= \frac{\frac{135,0 - 64,5}{2} + \frac{81,5 - 13,5}{2}}{2} = 34,6$$

Broj jedinica sektora $\frac{\lambda}{2} \approx 10$ m sadržanih u mjerenoj udaljenosti označava

količinu desetina broja koji je jednak razlici očitavanja

$$F_{D_Z} - F_{10_Z} \quad \text{odnosno} \quad F_{D_N} - F_{10_N}$$

odatle nakon uvrštenja vrijednosti dobivamo

$$135,0 - 89,0 = 46,0 \quad \text{odnosno} \quad 81,5 - 34,0 = 47,5$$

tako da količina jedinica valova iznosi 4

Analogno tome broj desetina $\lambda/2$ u mjerenoj udaljenosti označava broj desetina brojke koja je jednaka razlici očitavanja

$$F_{D_Z} - F_{100_Z} \quad \text{odnosno} \quad F_{D_N} - F_{100_N}$$

a nakon uvrštavanja vrijednosti

$$35,0 - 2,0 = 33,0 \quad \text{odnosno} \quad 81,5 - 47,5 = 34,0$$

otuda količina desetina valova iznosi 3.

Budući da mjereni sektor sadrži 8 punih kilometara količina stotina odsječaka

$$\frac{\lambda}{2} \approx 10 \text{ m u toj udaljenosti iznosi 8.}$$

Puno očitavanje koje izražava količinu sektora $\frac{\lambda}{2} \approx 10 \text{ m}$ u mjerenoj dužini

iznosi 834,346

a otuda mjerena udaljenost jeste

$$834,346 \cdot 10 \text{ m} = 8343,46 \text{ m}$$

Tu udaljenost obračunali smo tako da smo pretpostavili brzinu širenja valova koja odgovara 300 000 km/sek.

Radi tačnog mjerenja i računanja udaljenosti treba:

- izvršiti seriju mjerenja (15—17 očitavanja) na različitim nosnim frekvencijama,
- unijeti korekturu brzine obzirom na postojeće meteorološke uslove,
- unijeti konstantnu korekturu instrumenta,
- izvršiti geodetsku redukciju.

Ad a) Na osnovu serije 15—17 očitavanja računa se srednje, odnosno očitava se iz tzv. linije svinga. Linija svinga (sl. 5) sastoji se od izlomljene linije spojene preko tačaka kojih ordinate jesu očitavanje sa indeksa, a apscise — frekvencije nosnog vala. Oblik svinga približava se sinusoidi i predstavlja važan pokazatelj u pogledu kvalitete rezultata mjerenja.

Ad b) Korektura brzine koja proizlazi iz aktualno postojećih meteoroloških uslova zove se u literaturi fizikalnom redukcijom. Ona se obračunava na osnovu srednje vrijednosti izmjerenih parametara: temperature suhog i vlažnog zraka kao i pritiska.

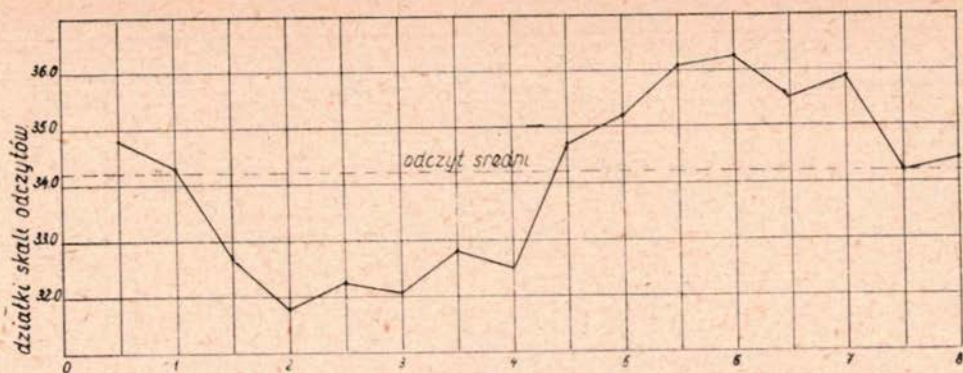
Reduciranu udaljenost, obzirom na postojeće meteorološke uslove računamo iz izraza

$$D_n = \frac{D}{ns}$$

gdje je

$$s = \frac{300000}{c} = 1,000\ 692$$

c — brzina širenja elektromagnetskih valova u vakumu koja iznosi $299\ 792,5 \pm 0,4$ km/sek.



Slika 5

n — koeficijent refrakcije

Koeficijent refrakcije za dužine valova od 0,1 do 1,0 m, u skladu s preporukom Međunarodne geodetsko-geofizičke Unije računa se uz pomoć formule Essena—

$$N = (n-1) \cdot 10^{-6} = \frac{103,49}{T} (p-e) + \frac{86,26}{T} \left(\frac{57,48}{T} + 1 \right) e$$

gdje je

N — tzv. broj loma

T — $273,16 + t^{\circ} \cdot C$

p — pritisak zraka u mm Hg

e — pritisak vodene pare u zraku u mm Hg obračunat na osnovu t i t' tj. temperature suhog i vlažnog zraka.

U praksi se koeficijent refrakcije ne računa prema gore spomenutoj formuli, već prema transformiranoj u oblik:

$$N = p \cdot P_t + M_t (R_t' + 10^{-2} \cdot p \cdot t')$$

Veličine P_t , M_t i R_t' mogu se uzimati iz tablica koje je napravio W. Dabrowski (2).

Ad c) Konstantna korektura instrumenta iznosi oko 0,77 m. To proizlazi otuda, jer je put mjenenog vala za 0,77 m duži od mjerene udaljenosti. Veličinu te korekture treba odrediti i provjeriti za svaki instrument.

Ad d) U okviru geodetskih redukcija vrši se:

1. redukcija duljine na horizont po formuli:

$$r_p = \frac{h^2}{2D} + \frac{h^4}{8D^2} \quad (2)$$

2. redukcija duljine obzirom na ekscentrično mjerenje primjenjujući formulu:

$$De^2 = D^2 + e^2 - 2De \cos \varphi \quad (3)$$

3. redukcija duljine na nivo mora pomoću formule:

$$p = -D \frac{H}{R} = -k' D \quad (4)$$

gdje je k' — koeficijent zavisan od srednje visine H mjerene udaljenosti nad nivoom mora koja je očitana s tablice (3).

4. redukcija duljine u odnosu na projekciju Gaussa-Krugera ili drugu uz upotrebu uzorka:

$$p = 0,000\ 000\ 1227\ y^2 D = k \cdot D \quad (5)$$

k — koeficijent očitani iz tablice (3)

y — ordinata u Gauss-Krugerovoj projekciji u kilometrima.

Formule (2) i (3) obično se upotrebljavaju u drukčijem jednostavnijem vidu.

Pitanje geodetske redukcije veoma je detaljno obrađeno u publikaciji [6]. Autor spomenute publikacije navodi formule koje je sam izveo obzirom na različite osobite slučajeve, vrši analizu tih formula dajući u tablicama i nomogramima kriterije njihove primjene kao i kriterije tačnosti pojedinih elemenata tih formula.

Upotreba telemetra OG-1 u geodeziji. Eksperimentalna mjerenja pokazuju da opseg primjene telemetra OG-1 u geodetskim mjerenjima može biti vrlo širok zahvaljujući postojanju čitavog niza konstrukcionih, preciznih i ekonomskih prednosti.

Telemetar OG-1 je relativno lagan i malog je opsega. Opluga instrumenta je u principu veoma jednostavna. Pripremne funkcije prije mjerenja, napr. nuliranje sistema, su veoma brze i lagane. Među prednosti instrumenta treba svakako ubrojiti i njegovu veliku otpornost prema tresenju i nepovoljnim atmosferskim uvjetima

Tačnost instrumenta karakterizirana je standardnom griješkom: $M_s = \pm (3 + 5 \cdot 10^{-6} D \text{ u km}) \text{ cm}$

Prvi dio sadrži u sebi pogreške instrumenta i pogrešku koja nastaje kao posljedica refleksije. Utvrđeno je da se postižu greške manje od M_s na 70% mjerenja, a manje od $2M_s$ na 20% mjerenja i u granicama $3M_s$ na 10% izvršenih mjerenja [5].

Moguće je mjeriti skoro u svim atmosferskim prilikama nezavisno od doba dana, uslijed čega su linijska mjerenja vrlo ekonomična.

Mikrovalni daljinomjer OG-1 konstruiran je sa namjerom da se upotrebi prilikom mjerenja dužina u preciznoj poligonometriji. Mjerenje dužina mikrovalskim daljinomjerom znatno pojednostavnjuje i ubrzava proces linearnih mjerenja u poligonizaciji tako da ona postaje vrlo ekonomična.

Upotreba daljinomjera u nizu drugih zadataka povezana je u prvom redu s njegovim mogućnostima u pogledu tačnosti. Problem tačnosti mjerenja razmotrit ćemo na dva primjera:

- kad se zahtjevi tačnosti nalaze u granicama trostruke standardne pogreške ($3M_s$) ili čak mogu biti veći od $3M_s$,
- kad se traži maksimalna tačnost.

U prvom slučaju proces mjerenja i obračunavanja može se znatno pojednostavniti, te se na taj način postižu velike uštede vremena i finansijskih sredstava.

Postavljeni zahtjevi u tački a), mogu biti ispunjeni uz upotrebu daljinomjera u sljedećim slučajevima:

1. određivanja fotogrametričke i topografske osnove;
2. katastarskih mjerenja ili za ciljeve komasacije zemljišta.

Zahtjevi postavljeni u tački b) će se postaviti:

1. prilikom mjerenja precizne poligonizacije,
2. u triangulaciji najnižih redova,
3. prilikom mjerenja deformacija.

U Poljskoj se obavljaju veoma obimni eksperimentalni radovi upotrebom i primjenom mikrovalnog daljinomjera OG-1 u različitim geodezijskim mjerenjima. Između ostaloga ispituje se mogućnost primjene daljinomjera u mjerenjima geodetskih osnova za iskolčenje, osnova trasa komunikacijskih putova, fotogrametričnih osnova kao i prilikom mjerenja podzemnih i površinskih rudnika. Predviđa se isto tako upotreba mikrovalnih daljinomjera u mjerenjima deformacija obzirom da se dobijaju dobre suglasnosti mjerenja istih dužina. Ta suglasnost uvjetovana je prije svega tokom mjerenja u identičnim topografskim uslovima.

Rezultati eksperimentalnih mjerenja ukazuju na široke mogućnosti primjene telemetra OG-1 u geodetskim radovima.

LITERATURA:

1. Beluch J., Mierzwa W.: Mjerenja strana trigonometrijske mreže telemetrom OG-1, izjednačenje i komparativna analiza linijske i kutne mreže. Diplomaska radnja, Krakow, AGH, 1964. godina
2. Dabrowski W.: Tablice za obračunavanje koeficijenta lomljenja zraka (pokazatelj refrakcije) za mikrovalno područje. Radovi Instituta geodezije i kartografije, T. X, sveska 2 (22), 1963.
3. Hausbrandt S. — Geodetsko računanje, Varšava 1963.
4. Holejko K. — Elektronski geodetski dalekomjer KG, Radovi Instituta geodezije i kartografije, T. X, sveska 1/21/, 1963.
5. Krzemiski W. — Elektronski dalekomjeri i njihova primjena u geodeziji, XXVIII naučno-tehnička konferencija na temu: Mehanizacija i automatizacija radova u geodeziji i kartografiji, Varšava 1964.
6. Latos S. — O geodetskim redukcijama dužina mjerenim elektromagnetskim daljinomjerima, Doktorska dizertacija, Krakow, AGH, 1964.