

RAZVOJ NOVIH ELEKTROOPTIČKIH DALJINOMJERA S POSEBNIM OSVRTOM NA IMPULSNE DALJINOMJERE

Nikola SOLARIĆ, Dušan BENČIĆ — Zagreb*

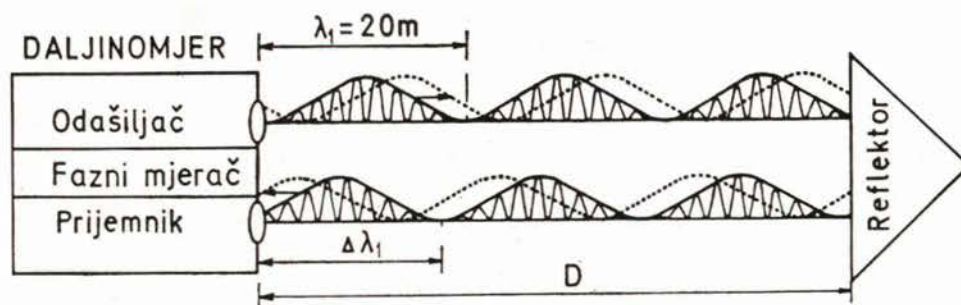
1. UVOD

Pri mjerenju duljina pomoću elektrooptičkih daljinomjera koriste se uglavnom dva načina:

- a) fazni način i
- b) impulsni način.

a) Fazni način mjerenja duljina

Iz elektrooptičkih daljinomjera koji rade na ovaj način odašilje se obično infra zračenje (valne duljine 0,8 do 0,9 mikrometara) amplitudno modulirano uglavnom u području frekvencija 5 MHz do 80 MHz, a najčešće frekvencijom 15 MHz. Budući da je brzina širenja infracrvene svjetlosti (odnosno elektromagnetskih valova) približno 300.000 km/s to se pri frekvenciji 15 MHz iz daljinomjera dobiva infracrvena svjetlost amplitudno modulirana valnom duljinom $\lambda_1 = 20$ m (vidi sl. 1).



Sl. 1. Princip faznog mjerenja duljina vidljivom svjetlošću ili pomoću infra zračenja.

*Adresa autora: prof. dr Nikola Solarić i prof. dr Dušan Benčić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26.

Svjetlost na putu do reflektora i natrag do daljinomjera prevali put ($2D$). Na sl. 1. vidi se da u duljini ($2D$) imamo općenito cijeli broj (n) valnih duljina (λ_1) plus dio valne duljine ($\Delta\lambda_1$), te je:

$$2D = n \cdot \lambda_1 + \Delta\lambda_1.$$

Ostatak valne duljine ($\Delta\lambda_1$) određuje se mjerenjem razlike faza (φ_1) između odaslanog i primljenog* signala i to na temelju odnosa:

$$\frac{\Delta\lambda_1}{\lambda_1} = \frac{\varphi_1}{2\pi},$$

gdje je (φ_1) izražen u radijanima.

Iz tog slijedi da je:

$$D = n \cdot \frac{\lambda_1}{2} + \frac{\varphi_1}{2\pi} \cdot \frac{\lambda_1}{2}. \quad (1)$$

Mjerenjem razlike faza (φ_1) između odaslanog i primljenog signala* kod valne duljine moduliranog vala (λ_1) dobiva se drugi član u formuli (1). To je takozvano »fino« mjerenje kojim se dobiva ostatak duljine koliko je duljina (D) veća od $\left(n \cdot \frac{\lambda_1}{2}\right)$.

Da bi se razliku faza (φ_1) što točnije moglo izmjeriti, u daljinomjerima koji rade na ovaj način, koriste se mješači kojima se frekvencija moduliranog odaslanog i primljenog signala $f_1 = 15$ MHz (odnosno $\lambda_1 = 20$ m) pretvara u signal niže frekvencije, jer se kod nižih frekvencija točnije može mjeriti razliku faza.

Razlika faza (φ_1) između odaslanog i primljenog signala poslije mješača ostaje ista (vidi [6] i [8] str. 54 i 56) kao što je bila prije ulaza u mješače. Budući da je frekvencija signala na izlazima mješača manja od one na ulazima dobiva se poslije mješača za razliku faza između odaslanog i primljenog signala aritmetička sredina faznih razlika signala na ulazima u mješače. Na taj način jednim mjerenjem razlike faza (φ_1) dobiva se veća točnost. Osim toga razliku faza (φ_1) mjeri se digitalnim faznim mjeračem više puta u intervalu vremena od nekoliko sekunda i računa aritmetička sredina, te se na taj način i elektronikom koja nije specijalno brza postiže visoka točnost mjerenja duljina potrebna za geodetske svrhe. To su razlozi zbog kojih se praktično jedino fazni način koristio do 1986. godine u elektrooptičkim daljinomjerima za potrebe geodezije.

Prvi član u formuli (1) određuje se »grubim« mjerenjem. Za »grubog« mjerenja iz daljinomjera se odašilje infra zračenje amplitudno modulirano valnom duljinom (λ_2) i mjeri se i kod te valne duljine razlika faza (φ_2) između odaslanog i primljenog signala. Na temelju mjerenja (φ_2) određuje se $(n \cdot \lambda_1/2)$ u formuli (1). Loša strana faznog načina mjerenja duljina je što se troši vrijeme osim na »fino« mjerenje i na »grubo« mjerenje.

* Odaslati signali su električni titraji kojim se amplitudno modulira infra zračenje, koje se odašilje iz daljinomjera. Primljeni signali su električni titraji koji se dobivaju na prijemniku pretvaranjem reflektiranog infra zračenja u električni signal.

Da bi se izbjegle promjene zaostajanja u elektroničkim sklopovima daljinomjera fazne razlike (φ_1 i φ_2) mjere se kad infra zračenje prolazi put »vani« do reflektora i natrag, a također kad prolazi »unutar« daljinomjera (preko kalibracionog puta). Od izmjerene razlike faza za »vanjskog« mjerenja ako se odbije razlika faza za »unutrašnjeg« mjerenja i doda adicijonu konstantu dobije se duljina oslobođena promjene zaostajanja u daljinomjeru.

Velika većina do sada proizvedenih elektroničkih daljinomjera pripada ovoj grupi daljinomjera, te imaju značajnu primjenu u geodetskoj praksi. Spomenimo neke najnovije tipove ovih daljinomjera:

KERN DM 150 sa sensorom za automatsko mjerenje vertikalnog kruga (1985. god.), te se s njim dobiva osim kose duljine i automatski horizontalna duljina i visinska razlika. To je vrlo praktično, jer ne treba očitavati vertikalni krug, a preko adaptera daljinomjer se može postaviti na veći broj običnih optičkih teodolita. Točnosti $\pm (5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$.

DM 550 sa sensorom za automatsko mjerenje vertikalnog kuta (1986. godine), točnosti $\pm (5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$.

GEOTRONICS AB (prije AGA)

GEODIMETER 222 sa sensorom (1984. god.), točnosti $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$

GEODIMETER 210 (bez senzora).

WILD DI 5 točnosti $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

DI 5S s povećanim dosegom

DI 1000 točnosti $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$, vrlo male mase 0,6 kg

SOKKISHA RED MINI 2 (1985. god.) točnosti $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$, 0,7 kg.

Karakteristike novog razvoja su povećan doseg, visoka točnost mjerenja i primjena senzora za automatsko mjerenje vertikalnog kuta i smanjenje dimenzija i mase.

Spomenimo i nove daljinomjere visoke točnosti s novim načinom mjerenja duljine promjenom frekvencije:

COM-RAD ELECTRONIC GEOMENSOR CR 204,

KERN MEKOMETAR ME 5000.

Karakteristika ovih daljinomjera je mjerenje duljine tzv. nul-metodom na osnovi promjene frekvencije, podešavanje valne duljine moduliranog vala tako da je duljina cjelobrojni višekratnik mjerne jedinice, tj. otpada mjerenje dodatnog člana. Duljina se određuje na osnovi mjerenja na različitim frekvencijama, točnost: $\pm (0,2 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm})$.

Vrlo precizna mjerenja duljine relativne točnosti $\pm (1 \cdot 10^{-7})$ postignuta su i daljinomjerom TERRAMETAR LDM2, Terra Technology Corp. USA koji mjeri s dvije valne duljine vala nosioca $\lambda_1 = 441,6 \text{ nm}$ (helij-kadmium laser) i $\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$ (helij-neonski laser).

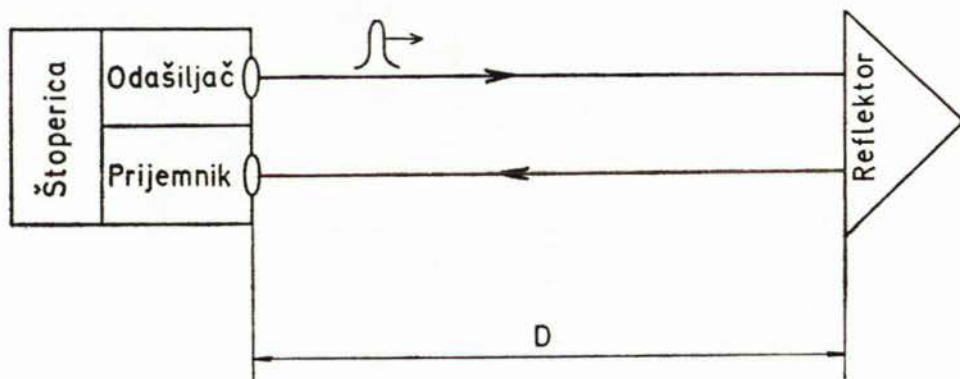
b) *Impulsni način mjerenja duljina*

Impulsna metoda mjerenja duljine elektrooptičkim daljinomjerima u geodetske svrhe razvila se u posljednje vrijeme i imat će značajnu primjenu u budućnosti.

Iz elektrooptičkih daljinomjera koji rade na ovaj način odašilju se vrlo kratki impulsi vidljive svjetlosti ili impulsi infra zračenja i mjeri se vrijeme (t) koje je potrebno impulsu da prevali put do reflektora i natrag do daljinomjera ($2D$). Na temelju toga lagano se može izvesti formula za računanje duljine (D) iz izmjerenog vremena (t):

$$D = \frac{c}{2} \cdot t, \quad (2)$$

gdje je (c) brzina svjetlosti u atmosferi.



Sl. 2. — Princip impulsnog mjerenja duljina

Budući da je brzina svjetlosti velika (300.000 km/s) mora se vrijeme (t) vrlo točno mjeriti da bi se dobila zadovoljavajuća točnost mjerenja duljine (D). Na primjer ako se želi izmjeriti duljinu (D) s točnošću ± 1 cm onda vrijeme (t) treba mjeriti točnošću $\pm 0,7 \cdot 10^{-10}$ s. Tako visoku točnost u mjerenju vremena ne može se postići jednostavnim elektroničkim sklopovima nego samo sa specijalno brzim sklopovima ([1] [2]). Zato iako je impulсни način mjerenja duljina u principu vrlo jednostavan, s tehničke strane bilo ga je teško realizirati i takvi daljinomjeri su bili veliki, nespretni i skupi, te su korišteni za mjerenje velikih duljina na primjer do Mjeseca i umjetnih satelita. Korišteni su i u vojne svrhe, na pokretne ciljeve, gdje se ne zahtijeva visoka točnost mjerenja duljina kao u geodeziji, a primijenjeni su često laserski izvori svjetlosti.

Ovi tehnički problemi svladani su 1983. godine te su Ing.-Büro für Electronic und Optik iz Hamburga [4] i firma Geo-Fennel razvili impulсни daljinomjer Fennel FEN 2000 za primjenu u geodeziji s točnošću $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$. U međuvremenu proizveli su još niz tipova ovih daljinomjera za različite svrhe i to:

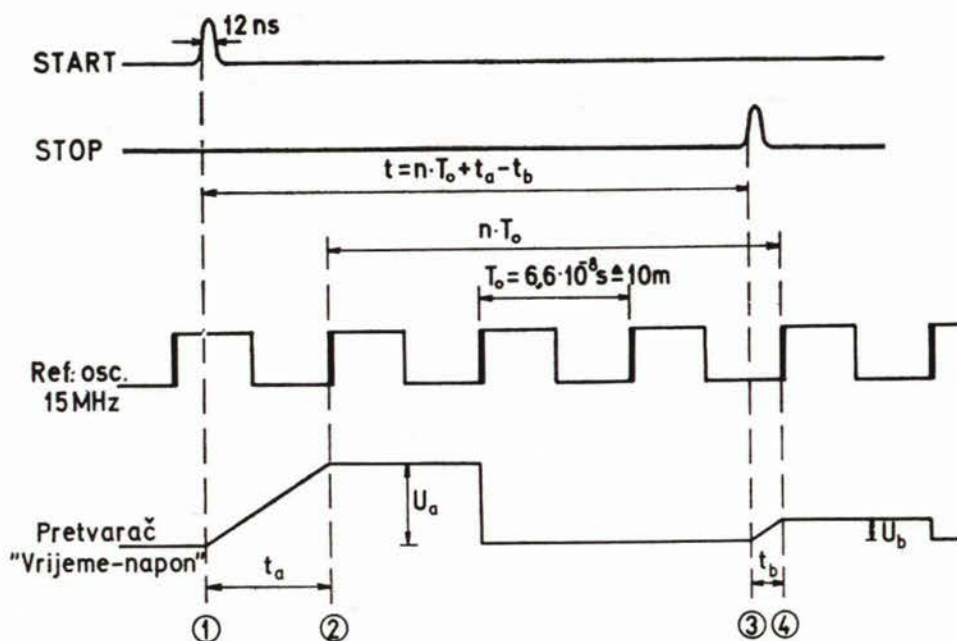
Fen 4000 s povećanim dosegom, Fen 2000 rapid s vremenom mjerenja samo 0,2 s, Fen 4000 rapid s povećanim dosegom, Fen 10 000 marine s vremenom mjerenja 0,01 s i dosegom 10 km, Fen 2000 za mjerenja i vrlo kratkih udaljenosti i najnoviji Fen 101 s dosegom 2,5 km i srednjom pogreškom $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$.

Tvornica geodetskih instrumenata WILD 1985. — 1986. godine na tržište je dala vrlo interesantni impulsni daljinomjer Wild Di 3000 [3], te će njegov princip rada ovdje biti detaljnije izložen.

2. PRINCIP RADA IMPULSNOG DALJINOMJERA WILD Di 3000

U ovom daljinomjeru kao izvor zračenja služi impulsna laserska dioda (GaAs), koja zrači infra crvenu svjetlost valne duljine 865 nm.

Iz daljinomjera izlazi vrlo kratki impuls svjetlosti (širine 12 ns $\hat{=}$ 3,6 m), a vrijeme koje je potrebno da impuls svjetlosti prevali put do reflektora i natrag mjeri se na način koji je principiјelno prikazan na sl. 3.

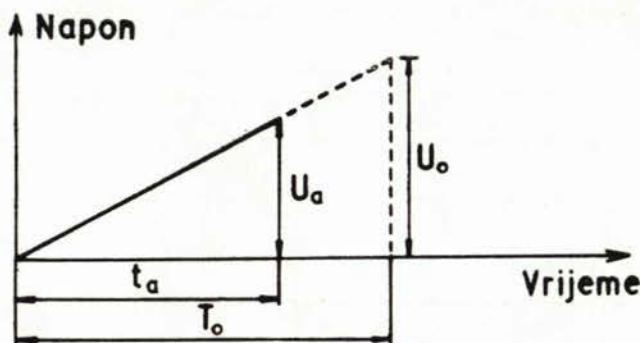


Sl. 3. Princip mjerenja vremena

Vrijeme (t) koje je potrebno impulsu svjetlosti da prevali put do reflektora i natrag mjeri se pomoću referentnog oscilatora iz kojeg se dobivaju pravokutni impulsi s takt frekvencijom od 15 MHz. To omogućava mjerenje vremena s točnošću $\pm 6,6 \cdot 10^{-8}$ s (odnosno duljine s ± 10 m). Ostatak vremena (t_a) i (t_b) unutar periode signala referentnog oscilatora mjeri se pomoću pretvarača »vrijeme-napon«. Od trenutka 1 (odnosno 3) kontinuirano se nabija kondenzator konstantnom strujom do trenutka 2 (odnosno 4), te zato i napon na kondenzatoru linearno raste s vremenom. Poslije intervala vremena (t_a) odnosno (t_b) izmjeri se napon na kondenzatoru (U_a) odnosno (U_b). Iz odnosa

$$\frac{t_a}{T_0} = \frac{U_a}{U_0},$$

koji se lagano postavi na temelju sl. 4, može se izračunati (t_a) odnosno (t_b).



Sl. 4. — Princip mjerenja intervala vremena (t_a), odnosno (t_b)

Vrijeme (t) koje je potrebno da impuls prevali put do reflektora i natrag dobije se po formuli

$$t = n T_0 + t_a - t_b,$$

gdje se ($n T_0$) tj. broj perioda (T_0) od trenutka 2 do 4 prebroji elektroničkim brojičkom (normalne brzine), a intervali vremena (t_a) i (t_b) mjerenjem napona na kondenzatoru. Tako se na vrlo jednostavan način i elektronikom koja većim dijelom nije specijalno brza postiže pomoću jednog impulsa (u vremenu od nekoliko milisekunda) centimetarska točnost u mjerenju duljine. Cijeli postupak ovog mjerenja je automatiziran i vodi ga mikroročunalo koje je ugrađeno u daljinomjer.

Da bi se postigla milimetarska točnost mjeri se duljina s većim brojem impulsa, koje Di 3000 odašilje svakih 0,5 ms. Ukoliko daljinomjer radi u brzom modu u intervalu vremena od 0,8 s 100 puta izmjeri duljinu i mikroročunalom izračuna srednju duljinu s točnošću $\pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$. Normalno se duljina mjeri 3,5 s pomoću 1000 impulsa i tada se postiže točnost $\pm (3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$. Osim toga može se duljinu mjeriti s ponavljanjem dok se pritiskom na tipku STOP ne zaustavi mjerenje.

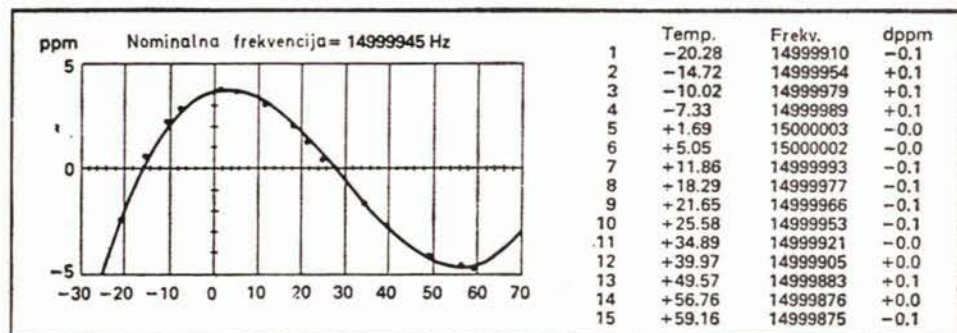
Promjene zaostajanja u elektroničkim sklopovima daljinomjera otklanjaju se slično kao i kod daljinomjera koji rade faznim načinom, tj. pomoću »unutrašnjeg« kalibracionog puta.

Prednosti impulsnih daljinomjera u odnosu na fazne daljinomjere:

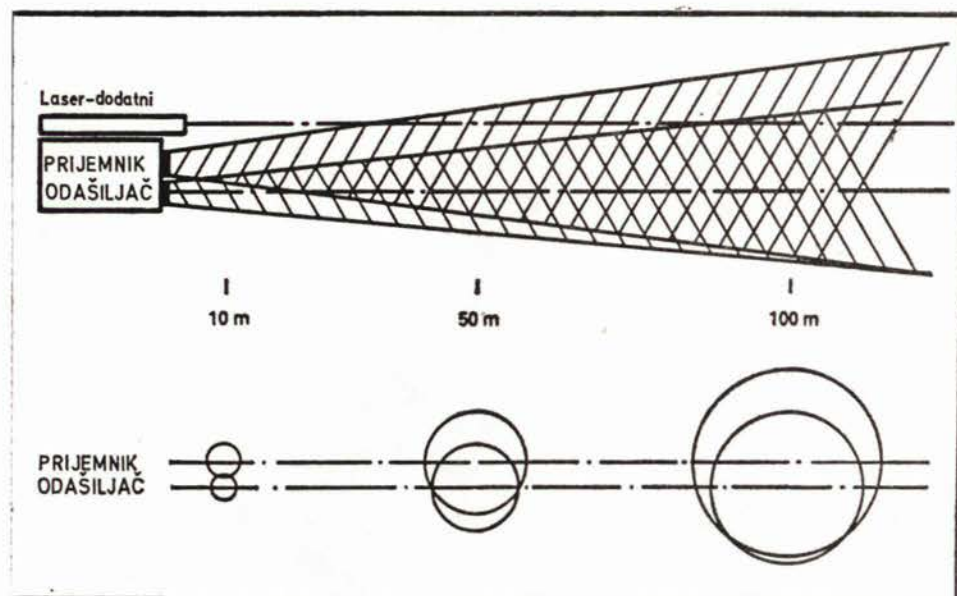
- 1) Mjerenje izvode u kraćem vremenu, jer ne moraju mjeriti duljinu i »grubo« kao kod faznih daljinomjera.
- 2) Uz optiku jednakih dimenzija imaju veći domet, jer se mogu iz odašiljačke diode poslati snažniji impulsi nego što je snaga moduliranog zračenja kod faznih daljinomjera.
- 3) Lakši su i troše malo struje.

Domet daljinomjera Di 3000 s 11-prizama uz vrlo dobre vremenske prilike je 14 km (kod nepovoljnih vremenskih prilika je 2,7 km). Zato što ovaj daljinomjer ima veliki domet vrlo važno je da je frekvencija u daljinomjeru stabilna, te je u njega ugrađen specijalni oscilator čiju frekvenciju korigira mikroprocesor.

Oscilator kalibriraju u tvornici preko cijelog temperaturnog radnog područja (sl. 5) i veličine korektura za svaki stupanj temperature unesu u mikroprocesor.



Sl. 5. — Promjena frekvencije u zavisnosti s temperaturom



Sl. 6. — Snop zračenja koje odašilje i snop koji prijemnik prima u daljinomjeru DIOR 3002.

Na temelju permanentno mjerene temperature u kućišću daljinomjera mikroprocesor odgovarajuće korigira frekvenciju, te se dobiva vrlo visoka stabilnost frekvencije bolja od ± 1 ppm. Starenjem kvarca u prvim godinama frekvencija se mijenja godišnje približno za 15 Hz (odnosno 1 ppm), a zatim polako praktično postaje stabilna.

3. DALJINOMJER WILD DIOR 3002

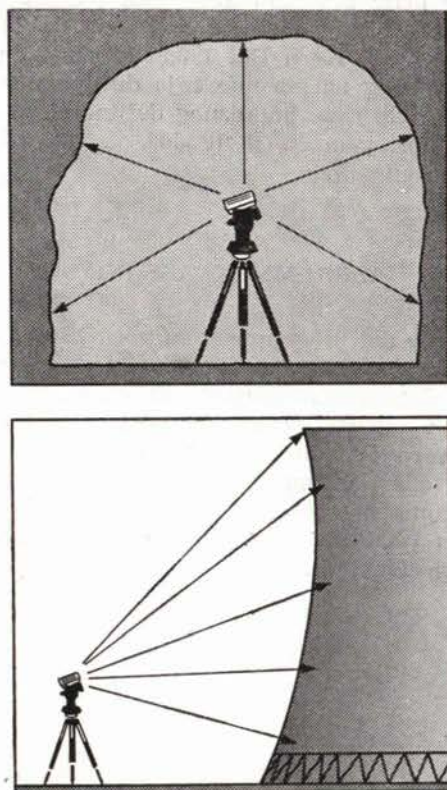
Ovaj daljinomjer radi implusnim načinom analogno daljinomjeru Di 3000, ali su mu snopovi zračenja (sl. 6) podešeni tako da se s njim može mjeriti duljine i bez reflektora do približno 200 m s točnošću ± 5 do 10 mm. Zato i ima oznaku DIOR, što je kratica od Distanz ohne Reflektor (duljina bez reflektora).

Ako se radi bez reflektora domet zavisi o refleksnoj sposobnosti cilja, svjetloći polja okolo cilja, uglačanosti površine, vrsti materijala i nagibu plohe cilja prema snopu infra zračenja (najbolje je ako je ploha okomita na snop zračenja). Mokri i tamni ciljevi reflektiraju najslabije. Uz daljinomjer nalazi se dodatni laser pomoću kojeg se vizira i označava točka do koje se mjeri duljina (sl. 7).



Sl. 7. — DIOR 3002 s laserskim dodatkom za označavanje cilja

Mogućnosti primjene ovog daljinomjera su velike na primjer u tunelu za mjerenje profila, do nepristupačnih točaka (na primjer ruba krova, pri montaži velikih čeličnih industrijskih bazena, u kamenolomima itd.).



Sl. 8. — Primjena daljinomjera DIOR 3002 pri mjerenju profila u tunelu i montaži velikih čeličnih industrijskih bazena.

LITERATURA:

- [1] Bolšakov, Deumlich, Golubov, Vasilev: Elektronische Streckenmessung, Verlag für Bauwesen Berlin, Berlin 1985.
- [2] Deumlich F.: Instrumenten-kunde der Vermessungstechnik, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1980.
- [3] Grimm K., Frank P., Giger K.: Timed-pulse distance measurement with geodetic accuracy, Wild Heerbrugg, May 1986.
- [4] Hipp I.: Eine neue Entfernungsmesserfamilie mit Puls-Laufzeit-Messverfahren (FEN 2000), AVN 11-12/1983.
- [5] Hipp I.: Reflektorlose Entfernungsmessung mit Pulslaufzeit — Messverfahren (FEN 101), AVN 5/1986.
- [6] Kretzmer: Electronics 10, 1949.
- [7] Schlichting R., Wienefeld W.: Untersuchungen am Impulsentfernungsmesser Fennel FEN 101, Vermessungswesen und Raumordnung, Heft 7, 1986.
- [8] Solarić N.: Današnji geodetski instrumenti i njihova elektronička osnova, Zbornik radova komisije za automatizaciju, Savez geodetskih inženjera i geometara Hrvatske, svezak 1/1974, Zagreb.

SAŽETAK

U radu je kratko prikazan fazni način mjerenja duljina i analizirani su razlozi zašto se lakše prije postizala geodetska točnost s tim načinom nego impulsnim načinom. Nabrojani su novi tipovi ovih daljinomjera sa sensorom za vertikalni kut na primjer Kern DM 150, DM 550 i dr. Nadalje u radu su opisane prednosti impulsnog načina mjerenja duljina u komparaciji s faznim načinom i opisan je princip rada impulsnog daljinomjera Wild Di 3000 i mjerenje duljina bez reflektora pomoću DIOR 3002.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit wurde die Phasenmessung von Distanzen kurz erörtert und die Gründe, weshalb früher leichter die geodätische Genauigkeit mit dieser Messungsart als mit Impulsenmessungen zu erzielen war, angegeben. Es wurde die neuen Type solcher Entfernungsmesser mit dem Sensor für den Vertikalwinkel wie Kern DM 150, DM 550 usw. aufgezählt. Zum weiteren wurden auch die Vorteile der Impulsenmessung von Distanzen im Vergleich mit ihrer Phasenmessung angegeben, sowie das Funktionsprinzip des Impulsenentfernungsmessers Wild Di 3000 und die Entfernungsmessung ohne Reflektor mit DIOR 3002 vorgestellt.

Primitljeno: 1987-06-16