

PRINCIP RADA RUČNOG LASERSKOG DALJINOMJERA LEICA "DISTO" I NJEGOVE PRIMJENE

Nikola SOLARIĆ, Zoran VERŠIĆ, Sanja SOLARIĆ – Zagreb*

SAŽETAK: Opisan je princip rada maloga ručnoga laserskoga daljinomjera DISTO, koji se prvi od elektrooptičkih daljinomjera koristi faznom modulacijom. To omogućava da se ne mora posebno izvoditi "fino" i "grubo" mjerenje, a to skraćuje potrebno vrijeme mjerenja. Razvila ga je poznata švicarska tvrtka geodetskih instrumenata Leica. Osim toga opisan je ukratko način rukovanja s njim i njegove moguće primjene u geodeziji i arhitekturi.

1. UVOD

Nagli razvoj poluvodičkih lasera, mikroprocesora i poluvodičkih integriranih elektroničkih sklopova omogućio je razvoj malih laserskih ručnih daljinomjera. Zahvaljujući tom razvoju švicarska tvrtka geodetskih instrumenata Leica uspjela je razviti mali ručni laserski daljinomjer DISTO. Izložila ga je 1994. godine na sajmu graditeljstva u Parizu i za njega dobila srebrnu medalju za inovacije (Leica, 1994).

2. PRINCIP RADA RUČNOG LASERSKOG DALJINOMJERA

Mjerenje duljina pomoću elektrooptičkih i laserskih daljinomjera izvodi se uglavnom na dva načina (Benčić 1990 i Solarić, Benčić 1987):

- impulsni i
- fazni način.

a) impulsni način

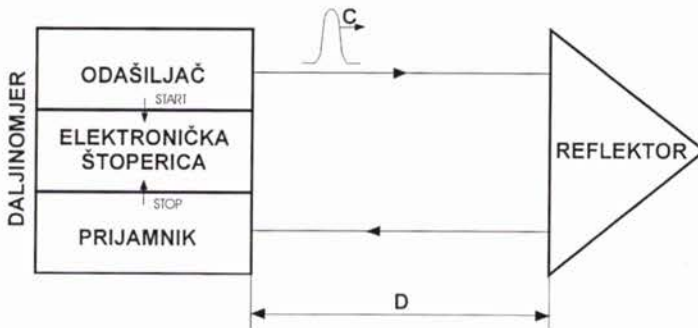
Pri impulsnom načinu mjerenja duljina odašiljač iz daljinomjera (slika 1.) odašilje vrlo kratki impuls vidljive svjetlosti ili infra zračenja do reflektora, koji se poslije refleksije vraća do prijammnika. Prikaže li se taj način mjerenja u pojednostavljenom obliku mjeri se vrijeme (t) pomoću električne štoperice, koje je potrebno impulsu da prevali put do reflektora i natrag do daljinomjera (2D). Na temelju toga može se izvesti formula za računanje duljine (D) iz izmjenjenog vremena (t):

* Prof. dr. sc. Nikola Solarić, Geodetski fakultet, 10 000 Zagreb, Kačićeva 26; Zoran Veršić, dipl.ing.arh., Arhitektonski fakultet, 10 000 Zagreb, Kačićeva 26; Sanja Solarić, dipl.ing.arh., Zavod za zaštitu i obnovu spomenika kulture i prirode, 10 000 Zagreb, Kuševićeva 2.

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

gdje je (c) brzina svjetlosti u atmosferi.

Budući da je brzina svjetlosti velika (300 000 km/s) mora se vrijeme (t) vrlo točno mjeriti. Da bi se dobila zadovoljavajuća točnost od ± 1 mm potrebno je vrijeme mjeriti s točnošću $\pm 0,7 \cdot 10^{-11}$ s (tj. gotovo bilijardinkom sekunde – milijuntinkom milijuntinke sekunde). Tako visoka točnost u mjerenju vremena ne može se postići normalno brzim elektroničkim sklopovima nego samo specijalno brzim elektroničkim sklopovima (Bošković i dr. 1985). Zato iako je impulсни način mjerenja duljina u principu vrlo jednostavan, s tehničke strane bilo ga je teško realizirati, takvi daljinomjeri bili su veliki, nespreni i skupi. Upotrebljavali su se za mjerenje velikih duljina na astronomskim opservatorijima do Mjeseca i umjetnih Zemljinih satelita, a i za vojne svrhe, gdje se ne zahtijeva visoka točnost mjerenja duljine kao u geodeziji i graditeljstvu.



Slika 1. Princip impulsnog načina mjerenja duljina

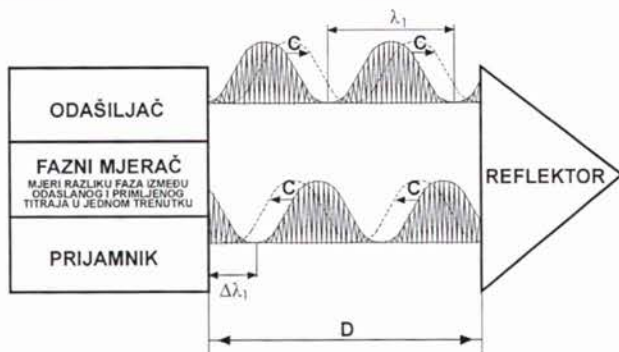
Mali impulсни elektrooptički daljinomjeri izrađeni su 1983. godine pomoću mikroprocesora i posebnim postupkom kojim je postignuto da je samo manji broj elektrooptičkih sklopova specijalno brz (Solarić, Benčić 1987). Osim toga daljinomjeri koji rade na impulсни način skuplji su od daljinomjera koji rade na fazni način. Zato su se konstruktori malog ručnog laserskog daljinomjera Leica odlučili za primjenu faznog načina mjerenja duljina.

b) Fazni način mjerenja duljina

Iz ručnog laserskog daljinomjera Leica DISTO, koji radi na fazni način, laser odašilje uski snop crvene svjetlosti (valne duljine 670 nm) amplitudno modulirane frekvencijom 50 MHz (Benčić 1990, Solarić, Benčić 1987, Witte, Yang 1994). Budući da je brzina širenja svjetlosti približno 300 000 km/s to se pri frekvenciji 50 MHz iz daljinomjera dobiva crvena svjetlost lasera amplitudno modulirana valnom duljinom $\lambda_1 = 6$ m (slika 2.).

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

$$2D = n\lambda_1 + \Delta\lambda_1. \quad (1)$$



Slika 2. Princip faznog načina mjerenja duljina vidljivom svjetlošću ili pomoću infra zračenja

U primjeru nacrtanom na slici 2. cijeli broj valnih duljina $n = 4$ (zanemaren je put u reflektoru, jer ga je na slici teško prikazati, ali se i o njemu vodi računa pri mjerenju).

Ostatak valne duljine ($\Delta\lambda_1$) određuje se faznim mjeracem mjerenjem razlike faze (φ_1) između odaslanog i primljenog signala u istom trenutku (Benčić 1990 i Solarić, Benčić 1987), i to na temelju odnosa:

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

gdje je (φ_1) izražen u radijanima.

Primljeni signali su električni titraji koji se dobivaju na prijammniku pretvaranjem reflektirane svjetlosti u električni signal.

Iz (1) i (2) sljedi da je:

$$D = n \cdot \frac{\lambda_1}{2} + \frac{\varphi_1}{2\pi} \cdot \frac{\lambda_1}{2}. \quad (3)$$

Mjerenjem razlike faza (φ_1) između odaslanog i primljenog titraja kod valne duljine moduliranog vala (λ_1) dobiva se drugi član u formuli (3). To je takozvano "fino" mjerenje kojim se dobiva ostatak duljine tj. koliko je duljina (D) veća od ($n \cdot \lambda_1/2$).

Da bi se razlika faza (φ_1) što točnije mogla izmjeriti, u daljinomjerima koji rade na taj način upotrebljavaju se mješači kojima se frekvencija moduliranog odaslanog i primljenog signala $f_1 = 50$ MHz (odnosno $\lambda_1 = 6$ m) pretvara u signal niže frekvencije, jer se kod nižih frekvencija točnije može mjeriti razlika faza (φ_1).

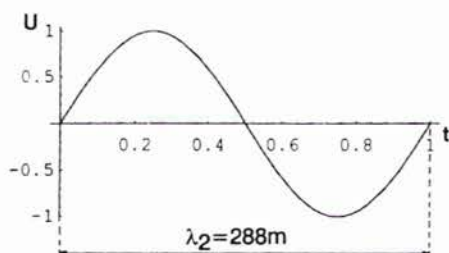
Razlika faza (φ_1) između odaslanog i primljenog signala poslije mješača ostaje ista (vidi Kretzmer 1949 i Solarić 1974, strana 54 i 56) kao što je bila prije ulaza u mješače. Budući da je frekvencija signala manja od one na ulazima, dobiva se iz mješača za razliku faza između odaslanog i primljenog signala aritmetička sredina faznih razlika na ulazima u mješače. Na taj se način jednim mjerenjem razlike faza (φ_1) dobiva veća točnost. Osim toga razlika faza (φ_1) mjeri se digitalnim faznim mjeracem više puta u vremenskom intervalu od nekoliko sekundi i računa aritmetička sredina, te se na taj način i elektronikom koja nije osobito brza postiže točnost mjerenja duljina potrebna u geodeziji i graditeljstvu. To su razlozi zbog kojih se praktično jedino fazni način upotrebljavao do 1986. godine u geodetskim elektrooptičkim daljinomjerima.

Prvi član u formuli (3) ($n \cdot \lambda_1/2$) određuje se "grubim" mjerenjem. Za "grubog" mjerenja kod većine daljinomjera odašilje se vidljiva svjetlost ili infra zračenje ampli-

tno modulirano valnom duljinom (λ_2) sto puta većom od (λ_1). Kod valne duljine (λ_2) također se mjeri razlika faza (φ_2) između odaslanog i primljenog signala. Na temelju mjerenja (φ_2) određuje se jednoznačno duljina D do maksimalno $\lambda_2/2$ s malom točnošću, ali dovoljno da logički sklopovi u daljinomjerima mogu zaključiti koliko ima ($n \cdot \lambda_1/2$) u formuli (3). Loša je strana faznog načina mjerenja duljina što se osim na "fino" mjerenje troši vrijeme i na "grubo" mjerenje.

U daljinomjeru DISTO da se na "grubo" mjerenje ne bi moralo posebno trošiti vrijeme, za amplitudne modulacije s valnom duljinom (λ_1) (tj. "fino" mjerenja) taj signal se odmah i fazno modulira s valnom duljinom (λ_2). (Šurina 1970, str. 11–31, Šurina 1968, str. 204–219 i Europa-Lehrmittel 1971, str. 28–67). Kod fazne modulacije val nositelj valne duljine (λ_1) pomiče se u fazi proporcionalno veličini amplitude informacijskog signala valne duljine (λ_2) (slika 3.).

a)

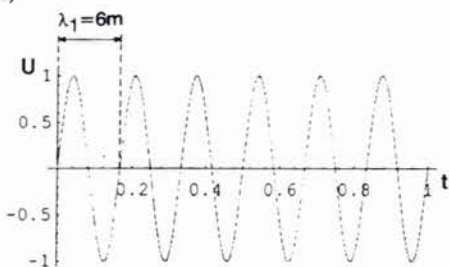


INFORMACIJSKI SIGNAL

$$f_2 = 1,042 \text{ MHz}$$

$$\lambda_2 = 288 \text{ m}$$

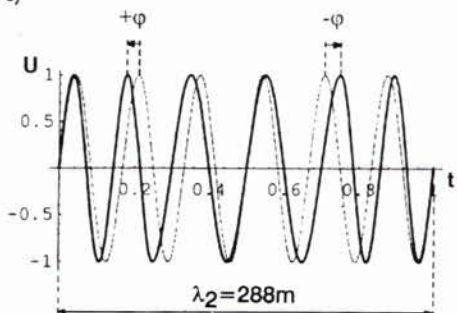
b)

VAL NOSITELJ (AMPLITUDNO
MODULIRANA CRVENA SVJETLOST)

$$f_1 = 50 \text{ MHz}$$

$$\lambda_1 = 6 \text{ m}$$

c)



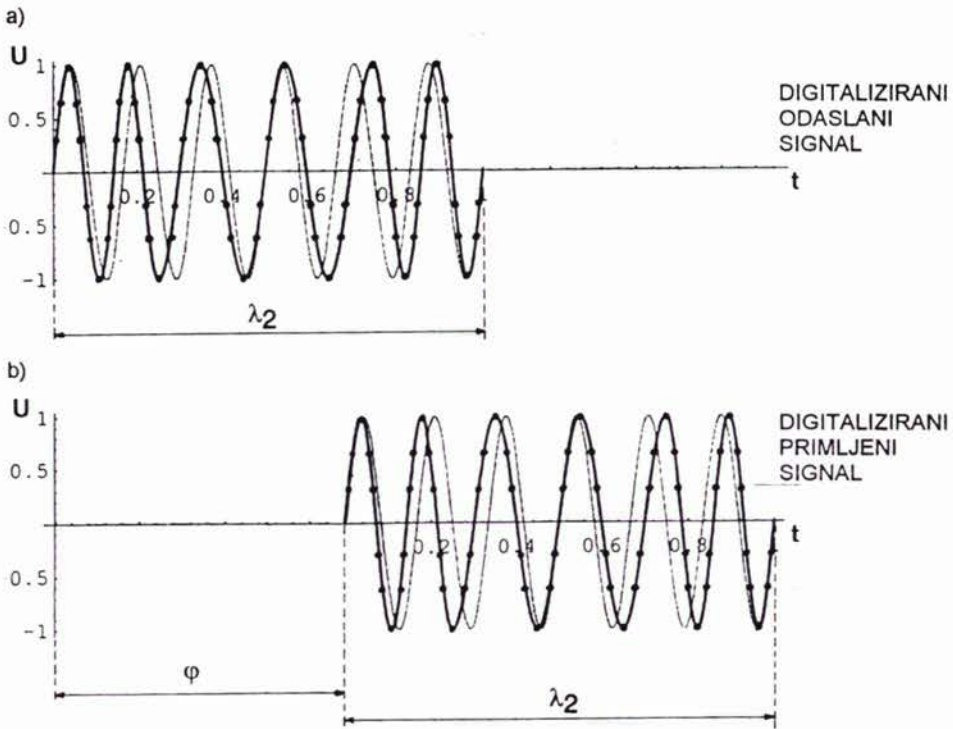
FAZNO MODULIRANI VAL

Slika 3. a) Informacijski signal, b) val nositelj, c) fazno modulirani val (deblja linija) (tanja linija je val nositelj)

U-napon; t-vrijeme; φ -fazni pomak

Valne duljine λ_1 i λ_2 na ovoj slici nisu proporcionalno nacrtane jer bi u valnoj duljini λ_2 trebalo ucrtati 48 valnih duljina λ_1 te se fazni pomak φ koji nastaje pri faznoj modulaciji na takvoj slici ne bi dobro vidio.

Ta kombinacija amplitudne i fazne modulacije uz pomoć mikroprocesora u daljinomjeru omogućava da se istodobno obavi "fino" i "grubo" mjerenje, što skraćuje vrijeme mjerenja duljine daljinomjerom DISTO.



Slika 4. Fazni pomak φ između digitaliziranog odaslanih i primljenih signala određuje se pomoću kroskorelacijske funkcije
U-napon; t-vrijeme; λ_2 -valna duljina valnog paketa

Tu se fazni pomak φ između odaslanih valnog "paketa" (valne duljine λ_2) i primljenog valnog "paketa" u daljinomjeru (poslije refleksije na reflektoru) određuje pomoću kroskorelacijske funkcije (slika 4.) (Solarić 1995, str 11). Pri tom se fazni pomak φ dobiva vrlo točno jer u valnom paketu ima približno 48 vrlo strmih signala, što omogućava precizno njegovo određivanje te ne treba posebno izvoditi "fino" i "grubo" mjerenje. Na temelju tog faznog pomaka φ mikroprocesor u daljinomjeru računa jednoznačno duljinu do 144 m po formuli:

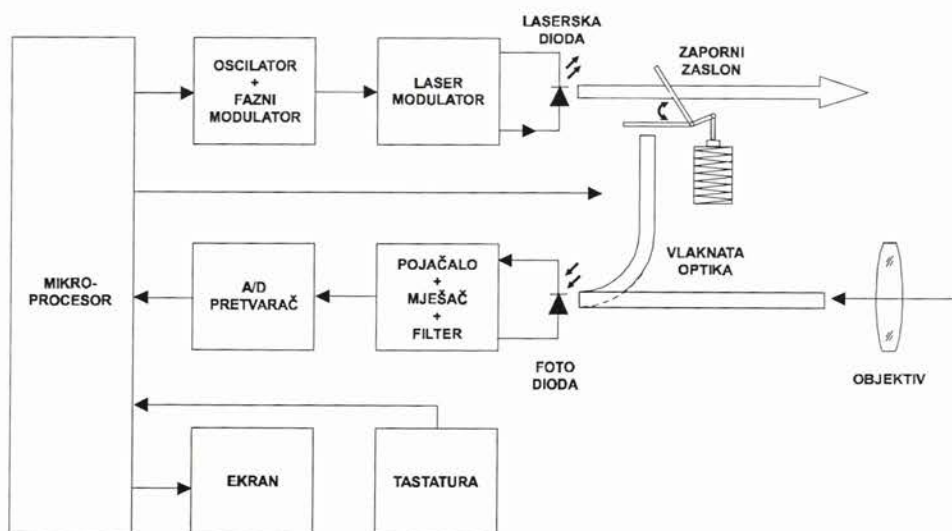
$$D = \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \lambda_2. \quad (4)$$

c) Blok shema daljinomjera DISTO

Daljinomjer DISTO pomoću emitirajuće laserske diode prije mjerenja duljine, a također i za mjerenja, odašilje uski snop crvene svjetlosti valne duljine 670 nm. Snaga laserskog snopa je manja od 1 mW, a širina snopa na 10 m je 6 mm, na 50 m 30 mm. Za mjerenja duljine laserski snop crvene svjetlosti amplitudno se modulira s frekvencijom približno 50 MHz, što odgovara valnoj duljini $\lambda_1 = 6$ m. No da bi se mogle jednoznačno odrediti duljine do približno 144 m amplitudno modulirani laserski snop frekvencijom $f_1 = 50$ MHz još se fazno modulira i frekvencijom $f_2 = 1,042$ MHz. Kao što smo već objasnili, to omogućava da ne treba posebno mjeriti "fino" i zatim "grubo". Mikroprocesor upravlja oscilatorom i faznim modulatorom (slika 5.) tako da u mikroprocesoru postoji odaslani digitalizirani signal niske frekvencije, a laserski je snop amplitudno moduliran visokom frekvencijom 50 MHz i fazno moduliran frekvencijom 1,042 MHz.

Reflektirajuću lasersku svjetlost od stijene, zida ili refleksne pločice do koje se mjeri duljina, objektiv fokusira na fotodiodu, fotodioda modulirani svjetlosni signal pretvara u električni signal, a pojačalo ga pojačava. Taj je signal vrlo visoke frekvencije, više od 50 MHz, te ga analogno-digitalni pretvarač i mikroprocesor ne bi stigli digitalizirati. Zato se on pomoću mješača pretvara u signal niže frekvencije i iste faze (vidi poglavlje 2b i Kretzmer 1949).

Analogno-digitalni pretvarač (A/D) primljeni analogni signal iz mješača i filtera niske frekvencije pretvara u digitalni signal. Primjenjujući kroskorelacijsku funkciju (Solarić 1995, str.11) mikroprocesor računa fazni pomak ϕ između odaslano i primljenog signala niske frekvencije. Takvo određivanje faznog pomaka ϕ napravi za sto perioda "paketa" valova i uzima srednju vrijednost, radi postizanja veće točnosti mjerenja. Da bi se uzele u obzir i promjene zaostajanja u elektronici, daljinomjer se poslije mjerenja duljine do stijene prebaci pomoću zapornog zaslona (slika 5) u takav položaj da laserska svjetlost ne prolazi vanjski put kroz atmosferu nego prolazi (vlaknastom optikom) kroz unutrašnji kalibracijski put. Takvo "vanjsko" i "unutrašnje kalibracijsko" mjerenje napravi po dva puta i konačni rezultat prikaže na displeju.



Slika 5. Blok shema daljinomjera Leica DISTO

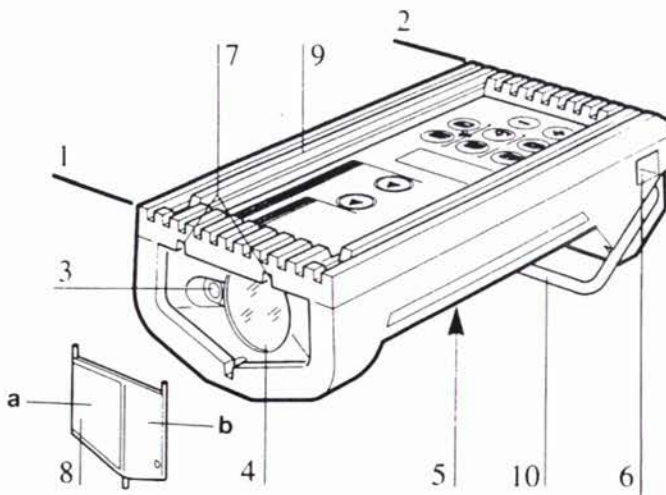
3. OPIS DALJINOMJERA DISTO

Na slici 6. prikazan je mali laserski daljinomjer DISTO u ruci mjeritelja.



Slika 6. Mali ručni daljinomjer Leica "DISTO" u ruci mjeritelja

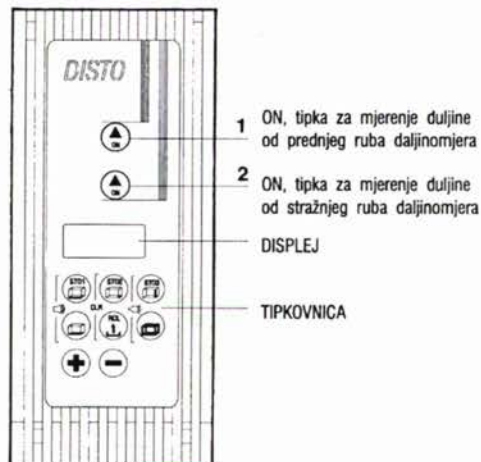
Na slici 7. je opis daljinomjera DISTO



Slika 7. Opis daljinomjera Leica DISTO

Oznake na slici 7. imaju sljedeća značenja:

- 1 – prednji rub od kojeg daljinomjer mjeri duljinu,
- 2 – stražnji rub od kojeg daljinomjer mjeri duljinu,
- 3 – prozorčić kroz koji izlazi laserski snop iz daljinomjera,
- 4 – objektiv kroz koji u daljinomjer dolazi reflektirani laserski snop (od stijene do koje se mjeri duljina),
- 5 – donja strana kućišta daljinomjera podešena za držanje u ruci,
- 6 – utičnica za kabel (za punjenje akumulatora u daljinomjeru),
- 7 – urezi za namještanje gumenog omotača oko daljinomjera i postavljanje zaštitnog poklopca objektivu,
- 8 – poklopac za zaštitu objektivu (dio "a" služi za mjerenje kratkih duljina od 0,2 do 1 m kao refleksna pločica, i dio "b" (crvene boje) služi da bi se lakše kroz crveni filter vidjelo laserski snop na osvijetljenoj plohi do koje se mjeri duljina),
- 9 – zaštitni gumeni omotač,
- 10 – držak za mjerenje duljine iz ugla (između stijena pri mjerenju dijagonale).

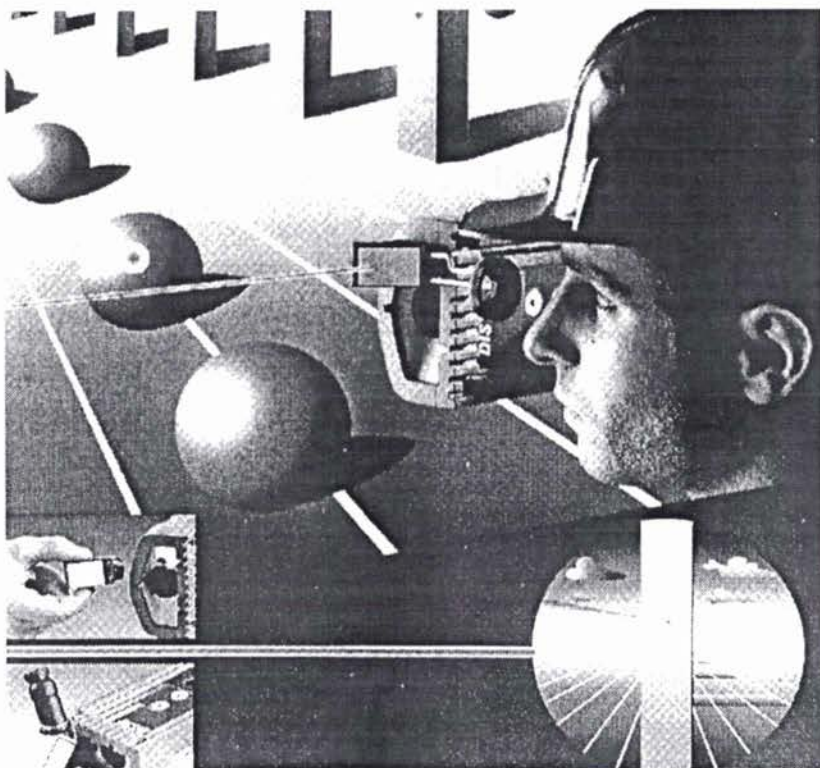


Slika 8. Gornja strana daljinomjera Leica DISTO

Tehnički podaci o daljinomjeru DISTO (Leica, 1996a)

Točnost mjerenja duljine	±3 mm
Najmanja jedinica koja se može očitati na displeju	1 mm
Domet daljinomjera do prirodnih stijena	cca 0,2 do 30 m
Domet daljinomjera do ciljne ploče (smeđe boje)	cca 20 do 140 m
Širina laserskog snopa na 10 m	6 mm
Širina laserskog snopa na 50 m	30 mm
Vrijeme mjerenja duljine	2,5 do 10 s
Automatsko isključivanje daljinomjera poslije zadnjeg pritiska neke tipke	poslije 40 s
Automatsko isključivanje lasera	poslije 10 s
Laser snage (nije preporučljivo dulje vrijeme gledati u laserski snop)	< 1 mW
Ugrađeni akumulator NiCd	12 V
Broj mjerenja duljina po jednom punjenju akumulatora	cca 400 mjerenja
Vrijeme punjenja akumulatora	cca 1 h
Temperaturno područje rada	-10°C do +50°C

Da bi se za danjeg sunčanog vremena na većim duljinama lakše mogao uočiti crveni laserski snop na zidu do kojeg se mjeri duljina, tvrtka Leica je uz daljinomjer razvila posebno tražilo (slika 9.). Ono se jednostavno pomoću magneta pričvrsti na daljinomjer DISTO u blizini laserskog snopa.



Slika 9. Pomoćno tražilo pomoću kojeg se lakše može vidjeti crveni laserski snop na zidu osvijetljenom sunčevim zrakama do kojeg se mjeri duljina

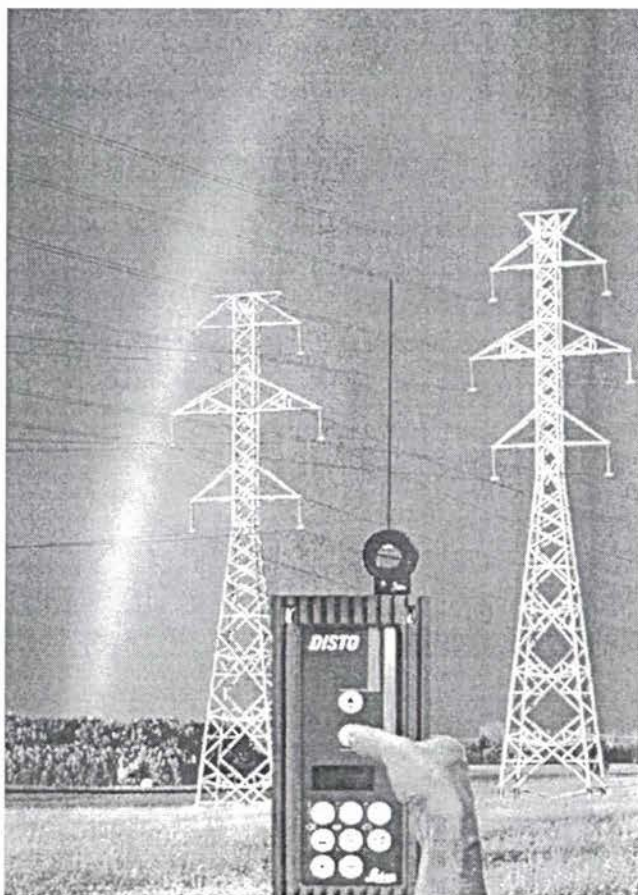
Tehnički podaci o daljinomjeru "DATA DISTO" (Leica, 1996b, 1996c)

Taj se tip daljinomjera pojavio krajem 1994. godine. Ima iste tehničke podatke kao i DISTO, ali prema izboru može imati interface (sučelje) RS232 ili GSI. Ako je priključen direktno na notebook, treba interface RS232, a ukoliko je priključen na električni teodolit Leica, treba interface GSI.

Tehnički podaci o daljinomjeru "Power DISTO" (Leica, 1996d)

U studenom 1996. godine proizveden je novi tip daljinomjera Power DISTO koji ima jači laser te se njime može mjeriti duljina do prirodnih stijena ili zidova udaljenih 60 m (a ne samo do 30 m kao s daljinomjerom DISTO). Vrijeme mjerenja je skraćeno za približno 40% s obzirom na DISTO.

Na slici 10. prikazano je mjerenje visine kablova visokonaponskog dalekovoda pomoću daljinomjera "Power DISTO".



Slika 10. Mjerenje visine kablova visokonaponskog dalekovoda pomoću daljinomjera "Power Disto"

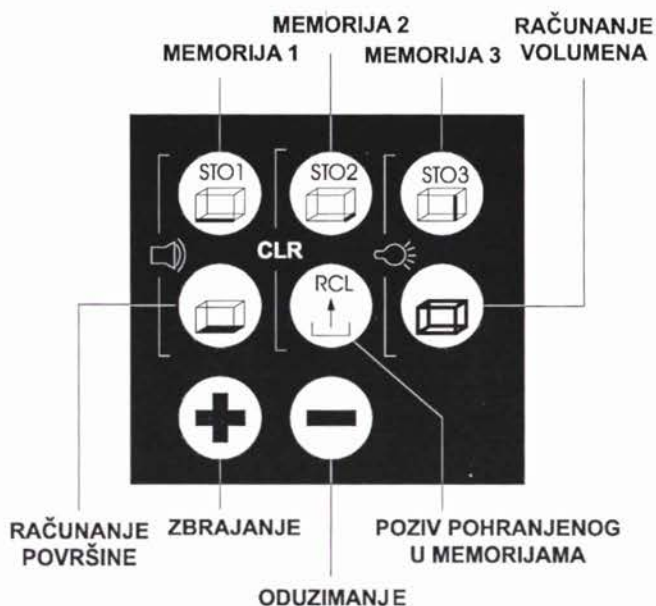
4. KRATKI OPIS UPRAVLJANJA DALJINOMJEROM DISTO

Ako se pritisne jednom tipka 1 ili 2 (na slici 8.) uključi se laser, a ukoliko se za 10 s ne pritisne tipka 1 ili 2 laser se sam isključi (radi štednje struje – akumulatora).

Ako se pritisne dva puta tipka 1 ili 2 (na slici 8.) daljinomjer izmjeri duljinu od prednjeg ili stražnjeg ruba daljinomjera (prema tome je li pritisnuta tipka 1 ili 2). Poslije mjerenja na displeju se vidi veličina izmjerene duljine, a laser se sam isključi.

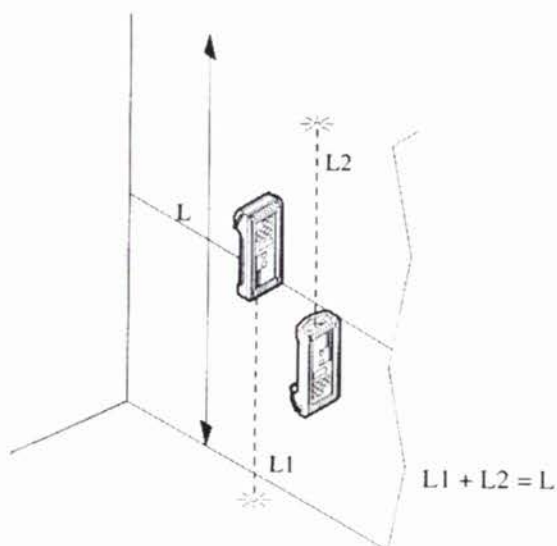
Ako se pritisne 3 puta tipku 1 ili 2 (na slici 8.) najprije se uključi laser, zatim normalno izmjeri duljinu, a poslije trećeg pritiska aktivira se trajno mjerenje duljine. Tada se na displeju vidi svakih 0,5 s nova veličina duljine. Ako se kreće reflektor ili daljinomjer, na displeju se dobiva duljina u svakom trenutku.

Na slici 11. je tipkovnica na kojoj se vidi da je moguće memorirati tri duljine tipkama STO1, STO2 i STO3, a poslije ih pozvati tipkom RCL, te izračunati površinu i volumen. Osim toga moguće je neku veliku duljinu izmjeriti u dva ili više dijelova i dobiti njihovu sumu ili razliku dviju duljina. Moguće je također dobiti i sumu ili razliku dviju površina ili volumena.

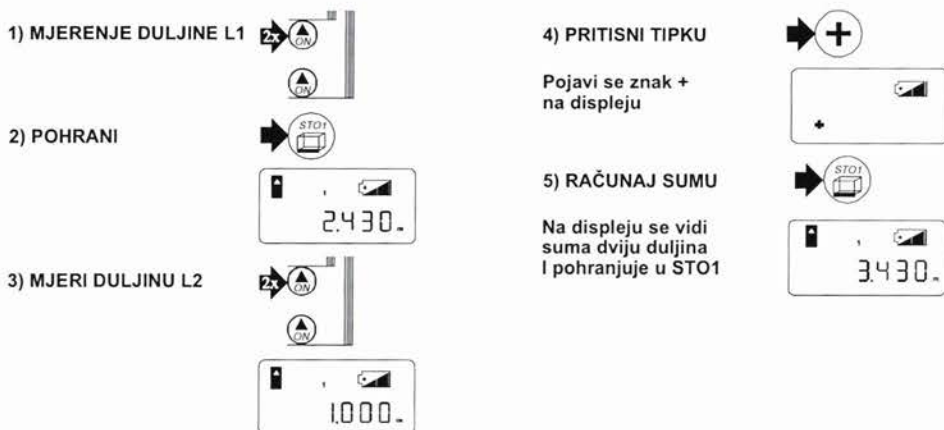


Slika 11. Tipkovnica daljinomjera Leica DISTO

Na slikama 12.a i 12.b naveden je primjer kako se može izmjeriti duljina sastavljena iz dva dijela. Daljinomjer DISTO postavi se čelnim rubom na horizontalnu liniju (vidi slika 12.a).



Slika 12.a Prikaz mjerenja duljine u dva dijela.



Slika 12.b. Primjer upravljanja daljinomjerom DISTO pri mjerenju duljine u dva dijela

Neka eventualno sljedeća duljina može se dodati na veličinu pohranjenu u STO1. Poslije mjerenja treće duljine treba pritisnutu tipku "+" i tipku STO1. Na sličan se način mogu zbrajati i eventualne sljedeće duljine.

5. PRECIZNOST I TOČNOST DALJINOMJERA DISTO

Na Sveučilištu u Bonnu detaljno je ispitana preciznost i točnost daljinomjera (Witte, Yang 1994). Prema tim ispitivanjima standardno odstupanje mjerenja duljina ovim daljinomjerom je $s = 0,4$ mm, a periodična pogreška (Solarić i dr., 1992, Witte, Yang 1994) je unutar 1 mm. Iz tog se vidi da je za ovih ispitivanja postignuta u Bonnu znatno veća točnost nego što piše u prospektu (± 3 mm).

Daljinomjer DISTO pravilno pokazuje duljinu na temperaturi zraka $+12$ °C i pri normalnom tlaku zraka 1013 mbar. Utjecaj je atmosfere na izmjerenu duljinu relativno mali pri mjerenju duljina daljinomjerom DISTO na duljinama do 140 m, tj. do maksimalnog dometa tog daljinomjera. Na 140 m duljine utjecaj razlike temperature od 20 °C na izmjerenu duljinu je 3 mm, a razlike tlaka od 120 mbar također je 3 mm. Na kraćim duljinama ta je pogreška linearno proporcionalno manja. S obzirom da u prospektu piše da je točnost daljinomjera ± 3 mm, i ako se ne mora postići osobito visoka točnost, izmjerenu duljinu daljinomjerom DISTO ne treba u praktičnom radu gotovo nikada korigirati (ako se radi na temperaturama od -8° do $+32$ °C i približno normalnom tlaku). To čini ovaj daljinomjer vrlo praktičnim, pogotovo u usporedbi s čeličnom vrpcom, jer pri preciznom mjerenju čeličnom vrpcom taj utjecaj za temperature od -8° do $+32$ °C je približno 6 puta veći te ga treba uvoditi u račun. Osim toga čelične vrpce pri preciznom mjerenju duljine treba natezati konstantnom silom, što otežava mjerenje.

Da bi se mogle pravilno izmjeriti horizontalne duljine, što je u praksi najčešće, predložiti ćemo tvrtki Leica da u daljinomjer ugradi cijevnu libelu, malo osjetljiviju od zidarske. Tvrtki Leica predložiti ćemo također da ugradi i dvije dozne libele koje bi olakšale točnije mjerenje visina odnosno dubina.

6. MOGUĆE PRIMJENE RUČNOG LASERSKOG DALJINOMJERA DISTO

Može se primijeniti svuda gdje se prije upotrebljavala geodetska mjerna vrpca (čelična, teflonska ili platnena) ili dvometar.

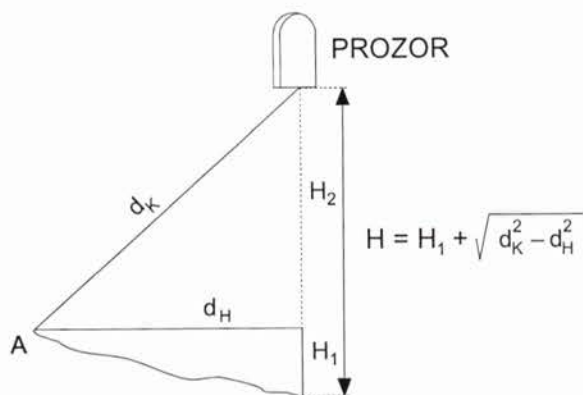
Prednosti daljinomjera DISTO pred geodetskom mjernom vrpcom su:

- ne treba odmatati ni namatati vrpcu na kolut,
- može se mjeriti do nepristupačnih stijena, zidova i uglova kuća do 30 m, odnosno s "Power DISTO" do 60 m,
- kada su na gradilištu postavljene skele, vrpcu ne treba provlačiti između nosača skele,
- mogu se mjeriti i visine do visokih prozora, do kojih bi se inače bilo teško popeti s vrpcom,
- mogu se mjeriti s "Power DISTO"-om i visine do debelih žica električnih dalekovoda,
- pri mjerenju profila tunela s velikim promjerom ne treba postavljati skele da bi se profili izmjerili,
- lagano se izmjere visine velikih dvorana – hala,
- pri snimanju prostorija u zgradama i građevinskim objektima umjesto dvometra i mjerne vrpce jednostavnije je upotrebljavati daljinomjer DISTO.

Mjerenja visina do visokih prozora u crkvama

Visinu do visokih crkvenih prozora do kojih se teško popeti može se odrediti daljinomjerom DISTO bez penjanja iako nemamo teodolit ili senzor za mjerenje vertikalnih kutova u daljinomjeru. O klasičnom načinu mjerenja primjenom mjerne baze i mjerenjem kutova teodolitom, što je bilo dugotrajno i nepraktično, vidi u knjizi Benčić (1990) na strani 324 i slici 266. U toj knjizi na stranama 486 do 488 opisane su metode mjerenja visina pomoću automatskog mjerenja vertikalnoga kuta pomoću senzora u daljinomjerima Kern DM 150, te DM 550 i metoda poznata pod nazivom "Remote Object Sensing". Ako se daljinomjerom DISTO izmjeri horizontalna udaljenost do zida d_H (uz pomoć pomoćne zidarske libele koja se postavi na daljinomjer), kosa duljina d_K i visina H_1 (slika 13.), može se izračunati visina H po formuli:

$$H = H_1 + \sqrt{d_K^2 - d_H^2}$$



Slika 13. Princip određivanja visine do visokog prozora daljinomjerom Leica DISTO, bez teodolita ili senzora za automatsko mjerenje vertikalnog kuta

Visina $H_2 = \sqrt{d_K^2 - d_H^2}$, te je standardno odstupanje σ_{H_2} određivanja visine H_2

$$\sigma_{H_2} = \sigma \cdot \sqrt{2},$$

gdje je σ standardno odstupanje mjerenja duljine d_H ili d_K .

Prema tome, ako se duljine d_H , d_K i H_1 izmjeri sa standardnim odstupanjem $\sigma = 3$ mm, može se dobiti visina H sa standardnim odstupanjem σ_H :

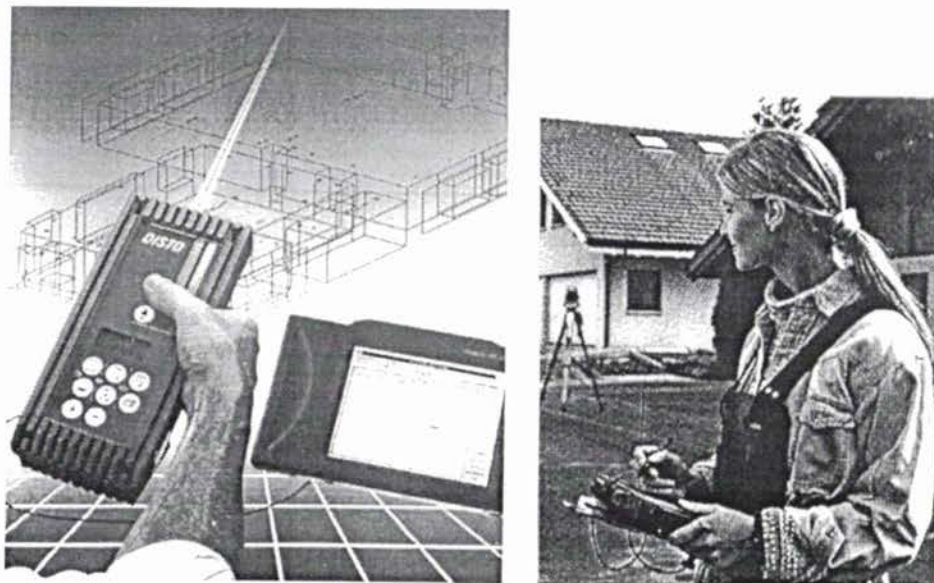
$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{H_2}^2 + \sigma_{H_1}^2} = \sigma \cdot \sqrt{3} = 5 \text{ mm}.$$

Točku A (na slici 13.) trebalo bi izabrati što bliže zidu na kojem je prozor, ali toliko da se pri mjerenju kose duljine d_K dobije dovoljno reflektiranog mjernog signala. Poželjno je da točka A bude što bliže zidu kako bi se na njemu mogla što točnije označiti točka u kojoj horizontalna vizura lasera probada zid, te da bi se od nje izmjerila visina H_1 (slika 13.).

Takav način određivanja visine nedostupnog prozora daljinomjerom DISTO, bez teodolita ili senzora za automatsko mjerenje vertikalnoga kuta, nismo našli u literaturi. Prednost je te metode što osim daljinomjera DISTO ne treba još teodolit ili senzor za automatsko mjerenje vertikalnoga kuta, a i nema većih računanja. Naša probna mjerenja ukazuju da se postiže standardno odstupanje takvog indirektnog određivanja visina s približno 9 mm.

"DISOFT-mini" sustav za efikasno snimanje rasporeda prostorija

Kako se pri snimanju prostorija zgrada i građevinskih objekata ne bi trebale zapisivati duljine i unositi u skicu i na temelju toga poslije ručno iscrtavati planovi rasporeda prostorija, izrađen je u tvrtki geodetskih instrumenata Leica u Švicarskoj sustav DISOFT-mini (Leica, 1996e)].



Slika 14. Daljinomjer Leica DATA DISTO i penpad

Taj se sustav sastoji od:

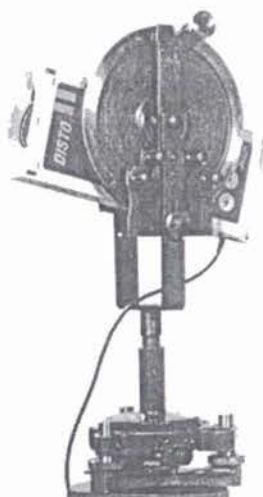
- daljinomjera DATA DISTO,
- penpad-a ili malog notebooka,
- nosača penpad-a (pomoću kojeg mjeritelj za mjerenja jednostavno pred sobom nosi penpad),
- kabla koji povezuje daljinomjer DATA DISTO i penpad.

Podatak o izmjerenoj duljini iz DATA DISTO automatski ulazi u penpad, a na ekranu se može vidjeti grafički prikazan tlocrt prostorije ili perspektiva, a može se opisati i grafički prikaz (pomoću paketa programa i specijalne ili obične olovke).

Poluautomatsko određivanje profila tunela pomoću laserskog daljinomjera Leica DISTO

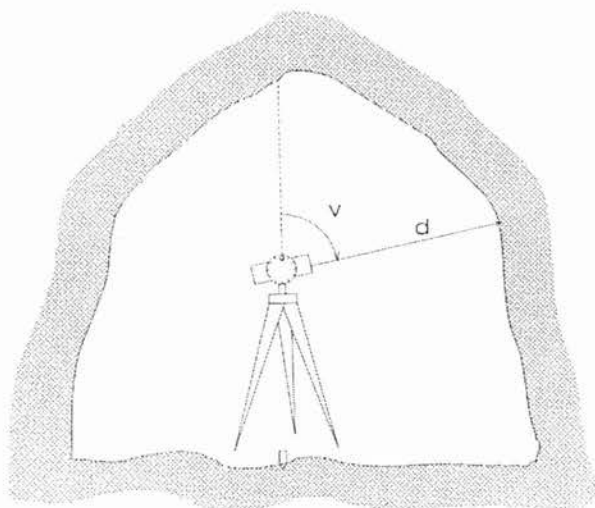
Na Geodetskom fakultetu u Zagrebu razvijeno je poluautomatsko određivanje profila tunela pomoću ručnog laserskog daljinomjera Leica DISTO, posebne izrađene šablone za namještanje daljinomjera na odgovarajuće vertikalne kutove (slika 15.) s točnošću $\pm 0,1^\circ$ i elektroničkog računala (notebooka). Računalo prema izboru nudi da se na šabloni namjesti vertikalni kut s korakom svaki stupanj ili proizvoljnim brojem stupnjeva. Poslije mjerenja duljine do stijene na vertikalnom kutu koji je ponudilo računalo, podatak o izmjerenoj duljini automatski ulazi u računalo (slika 16.). Odmah nakon snimanja profila može se u tunelu na ekranu dobiti iscrtan oblik iskopanog i projektiranog profila (slika 17.). To omogućava smanjenje troškova za nepotrebno debeli beton. Sličnih je uređaja bilo i do sada, međutim prednost te aparature je vrlo niska cijena, a ručni laserski daljinomjer može se upotrebljavati i za druga mjerenja na gradilištima.

Postignuti rezultati o toj poluautomatskoj metodi objavljeni su na međunarodnom simpoziju "1st International Symposium of Laser Tehnique in Geodesy and Mine Surveying" u Ljubljani 1995. godine (Solarić, Junašević, Barković 1995).

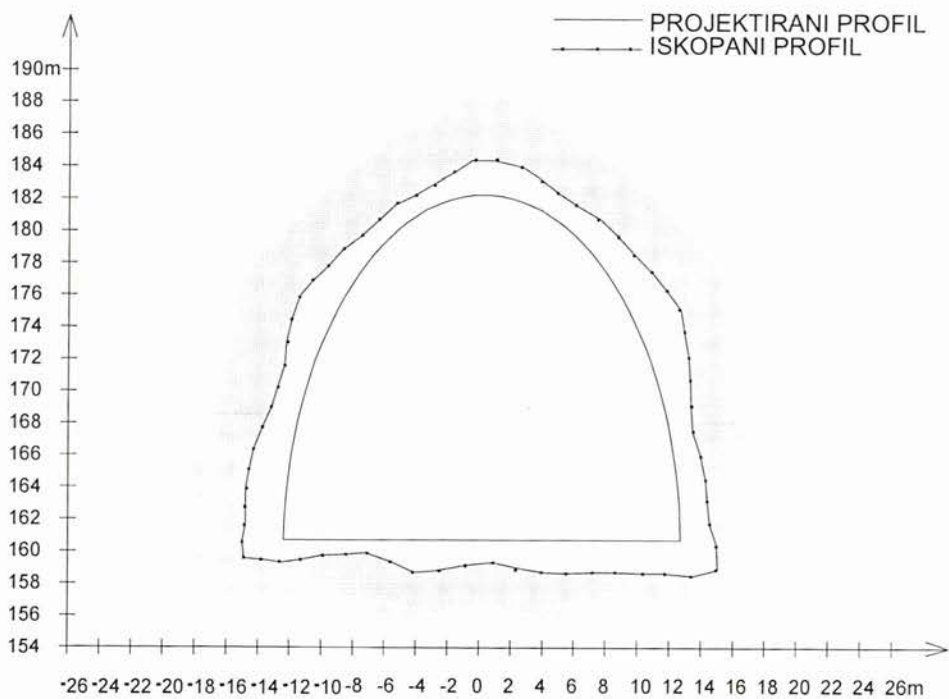


Slika 15. Šablona za namještanje daljinomjera na odgovarajuće vertikalne kutove

* "penpad" je teško prevesti tako da taj izraz koriste i Njemci, a u slobodnom prijevodu značilo bi olovka-podloga (blok). To je u stvari računalo koje izgleda kao ploča na kojoj je tanki displej, a mjeritelj pomoću specijalne ili obične olovke prema paketu programa DISOFT-mini daje komande. Na displeju se može odmah za mjerenja viditi grafički prikaz prostorije koju se snima – slika 14.



Slika 16. Princip određivanja poprečnih profila



Slika 17. Iskopani i projektirani profil tunela

Moguća je primjena te metode i pri snimanju poprečnih vertikalnih profila usjeka, velikih hala, kupola crkava itd., pogotovo ako se primijeni daljinomjer "Power DISTO".

Daljinomjer "DATA DISTO" na elektroničkom teodolitu Leica T460D

Pri snimanju fasada i rasporeda prostorija u zgradama i građevinama može se primijeniti sustav koji je razvila tvrtka Leica (Leica 1996f i 1996g), a sastoji se od :

- daljinomjera Leica "data DISTO" i
- elektroničkog teodolita Leica T460D (slika 18.).

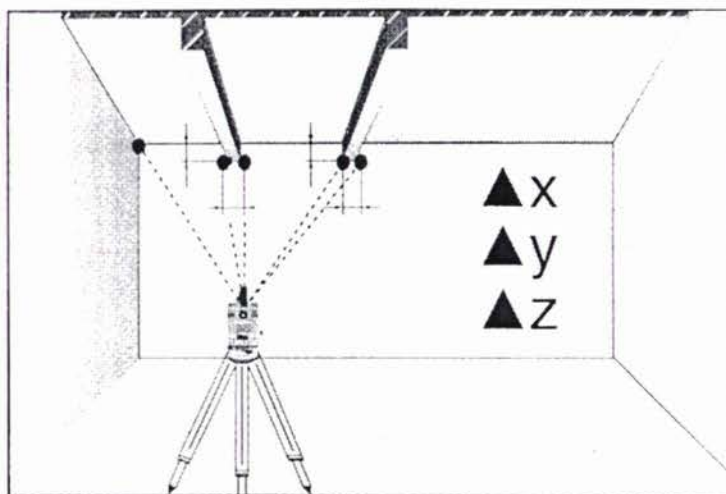
Prednost tog sustava pred uobičajenim sličnim geodetskim sustavom je što se s uobičajenim geodetskim sustavima moraju postavljati prizme do kojih će se mjeriti duljina, što se postiže vrlo teško i s malom točnošću. Kod uobičajenih sličnih sustava u kojima daljinomjeri rade na refleksi od stijene (bez prizme), mjerni je snop širok te se ne može dovoljno točno mjeriti duljina do uglova između stijena. S ovim je daljinomjerom dovoljno prije mjerenja usmjeriti laserski crveni snop do stijene ili ugla do kojeg se želi izmjeriti duljina, što daje vrlo točne rezultate, s približnom točnošću ± 3 mm.

Pomoću toga sustava s jednog se stajališta dobivaju uz automatski izmjerene duljine, horizontalne i vertikalne kutove, na više točaka, razlike prostornih koordinata Δx , Δy i Δz (slika 19.).

Podaci o izmjerenom horizontalnom i vertikalnom kutu te izmjerena duljina mogu na jednom stajalištu automatski ulaziti u notebook (slika 20.). U njemu se ti podaci memoriraju i prema programu CASOB računaju prostorne koordinate pojedinih točaka, koje su potrebne za simultani grafički prikaz fasada, industrijskih instalacija, soba i cijelih zgrada.

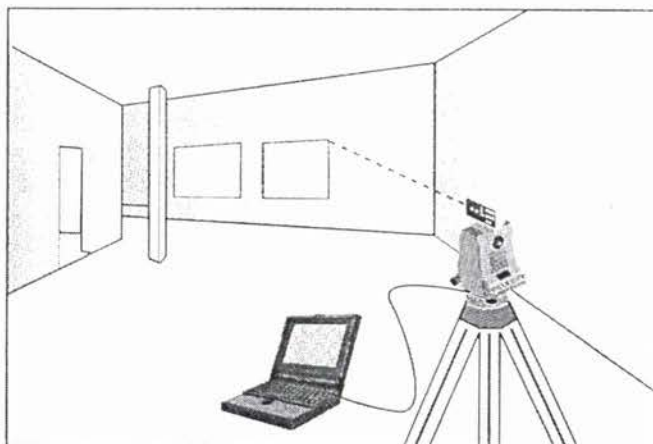


Slika 18. Daljinomjer Leica DISTO na elektroničkom teodolitu Leica T460D



Slika 19. Određivanje razlike prostornih koordinata

Svi podaci mjerenja mogu se prebaciti i u Auto CAD radi daljnjeg detaljnijeg grafičkog prikazivanja.



Slika 20. Neposredno određivanje širine i visine prozora i ostalih dimenzija u prostoriji s jednog stajališta i grafički prikaz na displeju notebooka

Takav je mjerni sustav u Hrvatskoj nabavio Mediteranski centar za graditeljstvo i nasljeđe u Splitu (prof.dr. Jerko Marasović) za snimanje Dioklecijanove palače u Splitu. Pri njezinu se snimanju sustav pokazao vrlo praktičnim.

7. ZAKLJUČAK

Ručni laserski daljinomjer Leica DISTO pokazao se vrlo praktičnim u jesen 1994. godine pri snimanju crkve Gospe od Karmena u Dubrovniku, mjerenjima koje je izvodio Gradski zavod za zaštitu i obnovu spomenika i prirode, Zagreb. Poslije toga daljinomjer DISTO nabavljen je u Institutu za graditeljstvo Hrvatske (Zavod za zgradarstvo), Hidroelektri – Zagreb, Mediteranskom centru Split i na Geodetskom fakultetu (Geodetski zavod). Iako mu je za sada cijena vrlo visoka (približno 2.500 DEM), može se očekivati da će se uskoro upotrebljavati na svim gradilištima za potrebe građevinarstva, arhitekata i geodeta, tj. svuda gdje su se upotrebljavali geodetska mjerna vrpca i dvometar.

LITERATURA:

- Benčić, D. (1990): Geodetski instrumenti. Školska knjiga, Zagreb.
- Bolšakov, V. D.; Deumlich, F.; Golubev, A. N.; Vasilev, V. P. (1949): Elektronische Streckenmessung. VEB Verlag Bauwesen, Berlin, Verlag Nedra, Moskau 1985.
- Europa – Lehrmittel (1971): 3. Teil-Nachrichtenelektronik, Verlag Europa – Lehrmittel, 56 Wuppertal 2.
- Kretzmer (1949): Electronics, N^o 10.
- Leica (1994): Innovationspreis für Leica DISTO. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik (Švicarska), N^o 6.
- Leica (1996a): DISTO – Gebrauchsanweisung. Leica AG, CH 9435 Heerbrugg, Switzerland.
- Leica (1996b): DATA DISTO – RS232. Leica AG, CH 9435 Heerbrugg, Switzerland.
- Leica (1996c): DATA DISTO – GSI. Leica AG, CH 9435 Heerbrugg, Switzerland.
- Leica (1996d): Leica Power DISTO, eine leistungsstarke Messlösung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 11, 628.

- Leica (1996e): DISOFT-mini – das neue System für effizientes Messen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 3, 143.
- Leica (1996f): Leica T460D, la station de mesure laser modulable offre de nouvelles perspectives pour les mesures engenie civil. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 10, 578.
- Leica (1996g): Leica T460D – electronic survey station with Leica DISTO. Leica AG, CH 9435 Heerbrugg, Switzerland, XII.
- Solarić, N. (1974): Današnji geodetski elektronički instrumenti i njihova elektronička osnova. Zbornik radova komisije za automatizaciju (Seminar "Društveni i tehnički značaj automatizacije u geodeziji"), Savez geodetskih inženjera i geometara Hrvatske, Zagreb, svezak 1, 51-80.
- Solarić, N. (1995): Digitalni niveliri Leica NA2000 i NA3000 s automatskim očitanjem letve (visine i dubine). Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Solarić, N.; Benčić, D. (1987): Razvoj novih elektrooptičkih daljinomjera s posebnim osvrtom na impulsne daljinomjere. Geodetski list, 10-12, 319-328.
- Solarić, N.; Solarić, M.; Benčić, D. (1992): Projekt i izgradnja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Geodetski list, 1, 7-27.
- Solarić, N.; Solarić, M.; Junašević, M.; Barković, Đ. (1995): Automatic Determination of the Crossection in the Tunnels by means of the Hand-held Laser Meter Leica DISTO. Proceeding of the 1st International Symposium of Laser Technique in Geodesy and Mine Surveying, Ljubljana, Slovenia, September 14-16, pp 53-60.
- Šurina, T. (1968): Tranzistorska tehnika. Školska knjiga, Zagreb.
- Šurina, T. (1970): Frekventna modulacija – UKV, Školska knjiga, Zagreb.
- Witte, B.; Yang, J. (1994): Das Hand – Lasermeter DISTO der Firma Leica. Vermessungswesen und Raumordnung, Njemačka, Heft 4+5, 284-289.

WORKING PRINCIPLE OF THE HAND LASER DISTANCE METER LEICA "DISTO" AND ITS APPLICATIONS

SUMMARY: The paper describes the work of the small hand laser distance meter DISTO, which is the first among other electrooptical distance meter to use phase modulation. It excludes separate performance of "fine" and "rough" measurements, and it also shortens the time necessary for measurement. It has been developed by a famous Swiss firm of geodetic instruments Leica. Apart from that, the handling method and possible application of the distance meter in geodesy and architecture have also been described in short.

Primljeno: 1997-05-15