

NOVI ELEKTRONIČKI PRECIZNI TEODOLIT KERN E-2

Nikola SOLARIĆ — Zagreb*

1. UVOD

Nagli razvoj elektroničkih računala u prošlom desetljeću potakao je i razvoj geodetskih elektroničkih mjernih instrumenata koji imaju mogućnost automatske registracije mjerenih veličina. Uvidjelo se da je unošenje terenskih podataka mjerenja u elektronička računala velik i mukotrpan posao, te je došlo do tendencije registriranja podataka mjerenja na takve medije, koji poslije omogućuju automatsko unošenje velike količine podataka mjerenja u memoriju računala za njihovu dalju obradu. Prvi instrumenti s kojima su se mogla automatski registrirati očitavanja duljine, kao i horizontalnog i vertikalnog kruga na odgovarajuće medije imali su relativno malu točnost očitavanja krugova od nekoliko sekundi. Danas je moguće očitavanje horizontalnog i vertikalnog kruga automatski registrirati znatno većom točnošću, tj. s točnošću većom od lučne sekunde, a instrumenti s takvim mogućnostima nazivaju se preciznim elektroničkim teodolitima. Između preciznih elektroničkih teodolita po svojoj vrhunskoj kvaliteti ističu se instrumenti švicarskih firmi Kern i Wild. Ovdje će biti opisan princip rada preciznog elektroničkog teodolita Kern E-2, a u studentskom časopisu Geodetskog fakulteta u Zagrebu »Rektificirano« br. 2 od 1985. godine opisan je Wild T-2000.

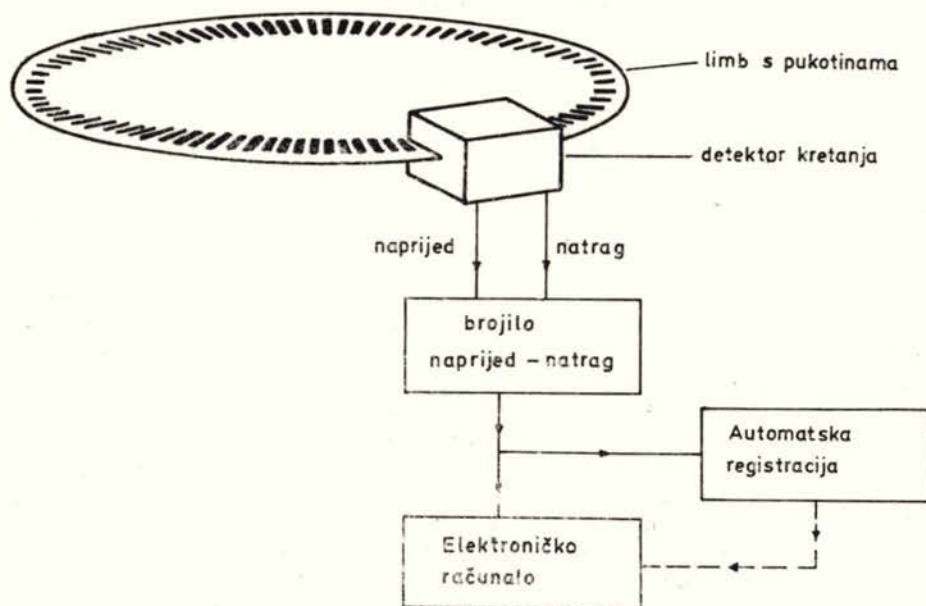
2. PRINCIP RADA NOVOG ELEKTRONIČKOG TEODOLITA KERN E-2

Na ovom elektroničkom teodolitu pri registraciji očitavanja horizontalnog i vertikalnog kruga koristi se inkrementalna tehnika, koju je prvi primijenio pri automatskoj registraciji kutova prof. dr H. Zetsche sa Sveučilišta iz Bonna [10]. Riječ inkrementalna tehnika ima korijen od engleske riječi »increment« odnosno latinske riječi »incrementum« što znači »prirast«. Pri primjeni inkrementalne tehnike umjesto običnog limba za mjerenje kutova koristi se limb s nizom pukotina na jednakom razmaku (sl. 1). Kad opažatelj pomiče alhidadu teodolita detektor kretanja određuje da li se alhidada okreće u smjeru kazaljke na satu ili obrnuto, te na temelju toga pušta impulse na elektroničko brojilo kroz kanal »naprijed« ili »natrag«. Pomoću elektroničkog brojila impulsa pri pomicanju alhidade broje se (mjeri se »prirast« — sumiraju se) pukotine koje prođu ispod detektora kretanja, kad se okreće alhidada u smjeru kazaljke na satu, a ako se okreće u suprotnom smjeru kazaljke na

* Adresa autora: prof. dr Nikola Solarić, Geodetski fakultet, 41000 Zagreb, Kačićeva 26

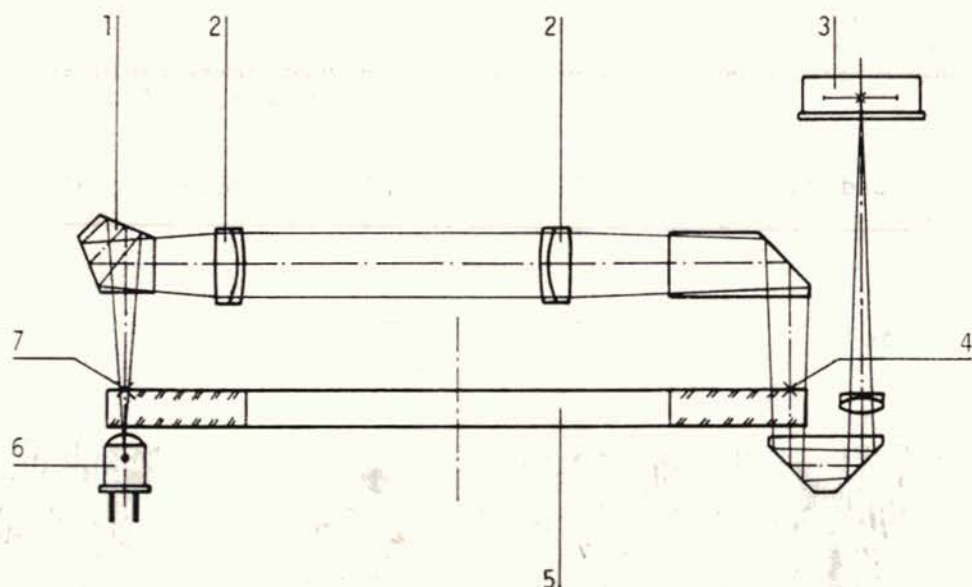
satu impulsi (pukotine) se odbijaju od stanja na brojilu, tako da se na brojčanom pokazivaču (display-u) elektroničkog brojila odmah vidi očitavanje limba. Iz elektroničkog brojila to očitavanje dalje se može automatski prenijeti na magnetsku vrpcu ili neki drugi tip memorije ili direktno u manje elektroničko računalo.

Da bi se postigla što veća točnost u elektroničkom teodolitu Kern E-2 pri inkrementalnoj tehnici koristi se i Moiréov efekt, koji omogućava uz pomoć četiri fotodiode vrlo točnu interpolaciju između pukotina (radijalnih crta).



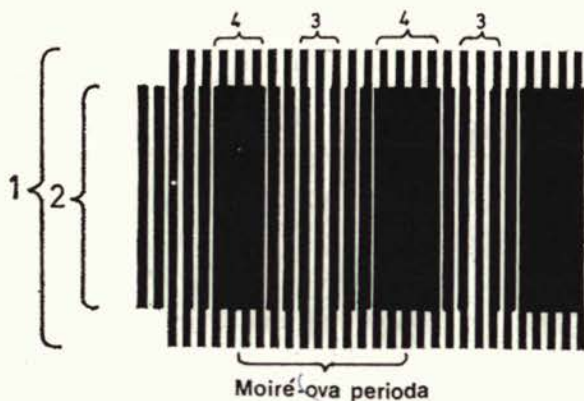
Sl 1 — Princip inkrementalne tehnike pri automatskoj registraciji očitavanja limba

Svjetlost s luminiscentne diode (6) (vidi sl. 2) prolazi kroz prvi dio — mjesto staklenog limba na kojem se nalaze radijalne crte širine $5,5 \mu\text{m}$ (ukupno na cijelom krugu ima 20.000 radijalnih crta). Razmak između radijalnih crta jednak je širini crta. Svjetlost luminiscentne diode dalje prolazi kroz optički sistem leća (2) koji stvara povećanu sliku prvog dijela staklenog limba (s faktorom povećanja 1,005 puta) u ravnini drugog mjesta limba (dijametralnog očitavanja limba). Na drugoj strani limba, zbog toga što radijalne crte limba i radijalne crte slike prvog dijela limba nisu jednako široke periodijski dolazi do poklapanja radijalnih crta slike prvog dijela limba i radijalnih crta drugog dijela limba (vidi sl. 3 — svjetlija područja označena s 3). Periodijski radijalne crte slike prvog dijela limba dolaze između radijalnih crta drugog dijela limba (vidi sl. 3 — tamnija područja označena s 4), te na taj način nastaju Moiréove figure, koje djeluju slično nonijusu i omogućavaju preciznu interpolaciju manjih pomaka (rotacije) alhidade manjih od širine jedne radijalne crte.



Sl. 2 — Optički sistem za očitavanje horizontalnog odnosno vertikalnog kuta kod Kerna E-2

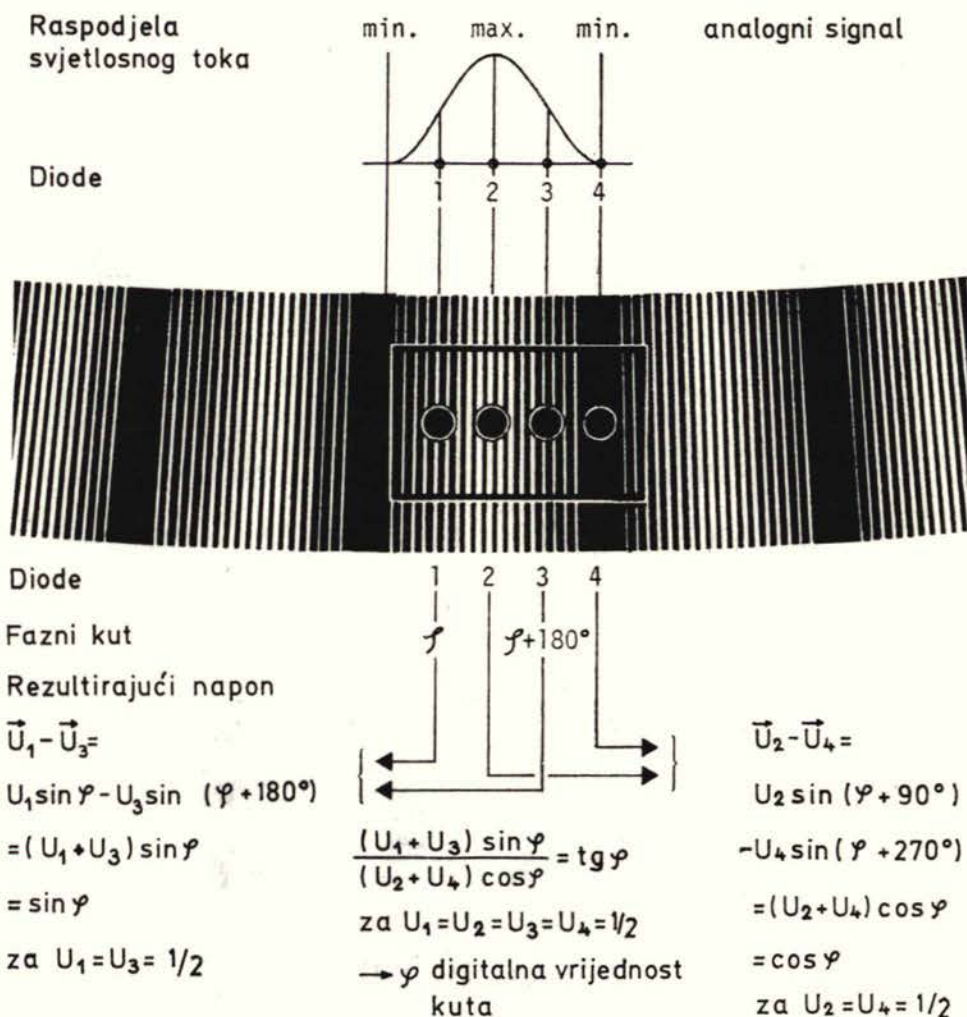
1 — pentagonalna prizma; 2 — leće za preslikavanje; 3 — četiri fotodiode; 4 — drugi dio—mjesto limba (dijametralno očitavanje; 5 — stakleni limb; 6 — luminiscentna dioda; 7 — prvi dio—mjesto limba kroz koji prolazi svjetlost luminiscentne diode



Sl. 3 — Nastajanje Moiréovih figura

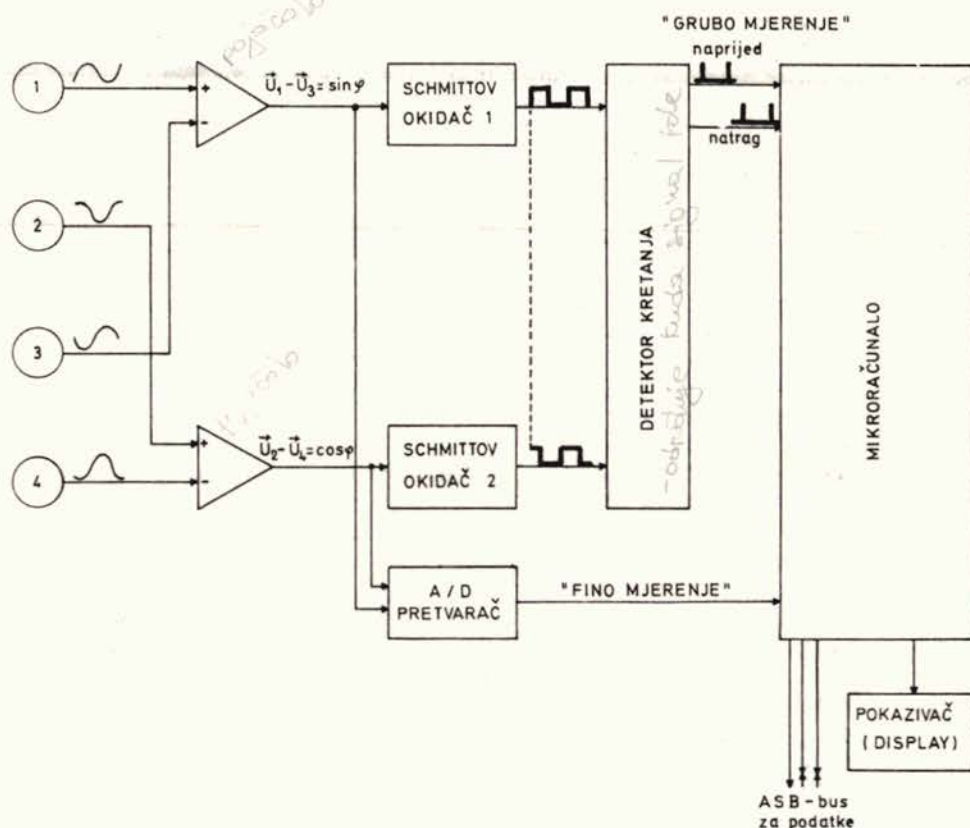
1 — povećana slika radijalnih crta s prvog mjesta limba u ravni drugog mjesta limba (dijametralom očitavanju limba); 2 — radijalne crte na drugom mjestu limba (dijametralom očitavanju limba); 3 — područja na kojima se radijalne crte slike prvog dijela limba poklapaju s crtama dijametralnog dijela limba; 4 — područja na kojima radijalne crte slike prvog dijela limba dolaze između crta na dijametralnom dijelu limba

Moiréova figura (formirana od 200 radialnih crta) zatim se preslikava pomoću prizme i leće na četiri fotodiode (3) (vidi sl. 2). Svjetlosni tok koji prolazi kroz Moiréovu figuru ima približno sinusoidalnu raspodjelu (sl. 4). Na tri četvrtine duljine Moiréove figure postavljene su četiri fotodiode (sl. 4),



Sl. 4 — Dobivanje signala za »grubo« i »fino« mjerenje (interpolaciju)

koje pretvaraju svjetlosni tok što pada na njih u električni napon — signal. Dalje se pomoću tog napona (signala) izvodi »grubo« i »fino« mjerenje (sl. 5). Na blok šemi (sl. 5) desno od fotodioda 1 do 4 prikazano je kako se na njima mijenja svjetlosni tok kad se Moiréova figura na njima pomakne za jedan period. Signal s fotodioda odlazi na operaciona pojačala za oduzimanje na



Sli. 5 — Princip automatske registracije očitavanja horizontalnog odnosno vertikalnog limba na elektroničkom teodolitu Kern E-2 (blok šema kontrolirana je u razvojnom odjelu firme Kern)

kojima se dobije, pri pomicanju za jedan Moiréov period, da se $\bar{U}_1 - \bar{U}_3$ mijenja kao sinus funkcija kuta zaokretanja φ^* alhidde, a $\bar{U}_2 - \bar{U}_4$ kao cosinus funkcija. Na izlazu iz Schmittovih okidača (Schmittovih triggera) za vrijeme pomicanja (rotacije) alhidade dobiju se pravokutni signali koji su međusobno pomaknuti u fazi za 90° , a zatim odlaze na detektor kretanja. Detektor kretanja (koji se sastoji iz logičkih sklopova), na temelju toga da li signal iz Schmittovog okidača br. 2 brza ili kasni za 90° za signalom iz Schmittovog okidača br. 1 pušta impulse na mikroračunalo kroz kanal »naprijed« ili »natrag« za svakog pozitivnog skoka pravokutnog signala (koji se dobije od sinusoidalnog signala). Tako pri zaokretu alhidade za jedan Moiréov period dođe jedan impuls na računalo. Na mikroračunalu (koje ovdje jednim dijelom radi kao elektroničko brojilo naprijed-natrag) može se uvijek očitati za koliko smo cijelih Moiréovih perioda pomakli alhidadu od njenog početnog položaja (od trenutka uključivanja u rad elektroničkog teodolita), bez obzira u kojem

* φ je kut zaokretanja alhidade unutar jednog Moiré-ovog perioda.

smo smjeru okretali alhidadu. To je tako zvano »grubo« mjerjenje, a »finim« mjerjenjem vrši se interpolacija kojom se određuje »fino« (precizno) za koliko se je pomakla (zarotirala) alhidada unutar jednog Moiréovog perioda. Da bi se izvršila interpolacija, signal s operacionih pojačala odlazi drugim dijelom na A/D pretvarač* koji analognu veličinu napona (od $\sin \varphi$ i $\cos \varphi$) pretvara u digitalnu veličinu koja dalje odlazi u mikroračunalo (ugrađeno u teodolit E-2). U mikroračunalu na temelju tih veličina računa se $\tan \varphi$ i φ (kvadrant se određuje i na temelju $\cos \varphi$). »Fino« mjerjenje izvodi se svakih 0,3 s. Pri spajanju »finog« i »grubog« mjerjenja mikroračunalo kontrolira da eventualno ne dođe do pogreške za jedan čitav period ($\pm 0,01$ gon**). U nekim kritičnim slučajevima, može doći do takve pogreške, ako impuls kroz kanal »naprijed« ili »natrag« dođe malo prije ili poslije onog trenutka u kojem bi trebao doći. Da bi se izbjeglo tu pogrešku mikroračunalo u blizini impulsa koji dođe kroz kanal »naprijed« ili »natrag« analizira »fina« mjerjenja. Na temelju $\sin \varphi$ i $\tan \varphi$ određuje da li se φ nalazi u IV ili I kvadrantu, te na osnovu toga ako je potrebno korigira »grubo« mjerjenje za 0,01 gon. Podaci o očitavanju limba s mikroračunala odlaze na brojčani i slovni pokazivač (display), te se na njemu mogu očitati te veličine. Ukoliko se želi automatski registrirati te veličine na neki od medija ili unijeti ih u neko elektroničko računalo podaci iz teodolita E-2 odlaze u njih preko ASB-busa za podatke.***

Kod inkrementalne tehnike općenito nula limba nije fiksna. Poslije uključivanja u rad teodolita »grubo« mjerjenje se postavlja na nulu, što ovisi o slučajnom položaju alhidade ili durbina. Vertikalni limb mora biti uvijek orjentiran tako da se nula podjele nalazi u pravcu zenita. Da bi se to postiglo uz vertikalni krug nalazi se jedna fiksna maska s nizom pukotina i druga takva maska pokretna zajedno s vertikalnim krugom. U trenutku inicijalizacije-starta mjerjenja kad se durbin provodi kroz horizontalni položaj, poklope se fiksna i pokretna maska, svjetlost luminiscentne diode prolazi kroz pukotine maski i dolazi na fotodiodu na kojoj se tada dobije impuls koji starta mjerjenje tako da je tada na vertikalnom krugu 100 gona (90°). Postupak inicijalizacije-starta mjerjenja jednostavan je, tako da se durbin brzim pokretom provede kroz horizont.

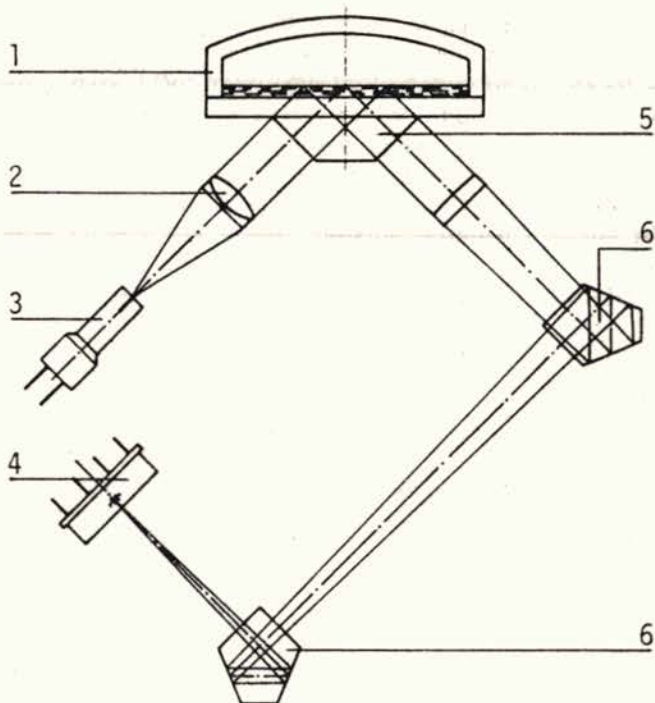
Veličina nagiba vertikalne osi teodolita određuje se pomoću kompenzatora (sl. 6).

U kompenzatoru svjetlost od luminiscentne diode reflektira se na gornjoj površini tekućine i pada na fotodiodu, koja radi kao dvodimenzionalni detektor. Kad pada svjetlost na aktivnu površinu fotodiode dobiva se fotostruja na

* Analogno-digitalni pretvarač (engleski Analog-Digital Convertor, skraćeno ADC ili A/D) pretvara analognu veličinu napona u digitalnu tj. u binarne brojeve (vidi npr. [8], str. 275 i 281).

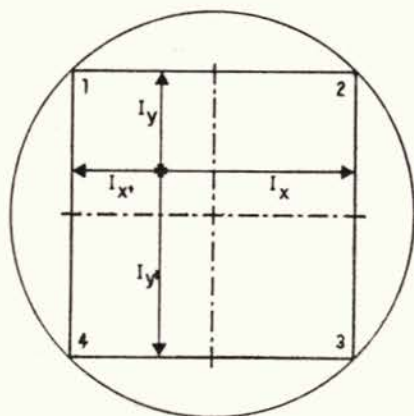
** Gon je jedinica za kut dozvoljena izvan SI sustava jedinica. Puni krug ima 400 gona, a manja jedinica od gona je mgon (čitaj milligon). 1 mgon = 10^{-3} gon. Prije je obično jedinica gon imala naziv »novi grad«, a dijelila se je na 100 minuta (c), a minutu na 100 sekundi (cc).

*** U digitalnom računalu podaci s bilo kojeg registra (spremnika) ili jedinice mogu se uputiti preko zajedničkih vodova na bilo koji drugi željeni registar ili jedinicu. Ovi vodovi zajedno zovu se bus (čita se »bas«, a znači autobus za podatke) (vidi pr. [8], str. 47, 111, 112, 113 i 134). Oznaka ASB — bus dolazi od riječi ASCII — Single — Buss (gdje je ASCII kratica od American standard code for information interchange).



Sl. 6 — Kompenzator u elektroničkom teodolitu E-2

1 — tekući kompenzator; 2 — leća; 3 — luminiscentna dioda; 4 — fotodioda pozicioni dektor; 5 — prizma; 6 — pentagonalna prizma



Sl. 7 — Pozicioni detektor

1 — 4 — kvadranti; *pozicija na koju pada svjetlost

četiri elektrode (koje se nalaze sa strane). Te struje su obrnuto proporcionalne razmaku svijetle točke od elektroda. Tako se može izmjeriti položaj (koordinate) svijetle točke prema referentnoj točki (nultočki kompenzatora). Jedna koordinata je mjera za nagib vertikalne osi teodolita u smjeru vizure, a druga za nagib u smjeru horizontalne osi. Točnost očitavanja ovih koordinata je ispod 1 μm (odnosno ispod 0,1 mgon). Podatke dobivene kompenzatorom o nagibu vertikalne osi teodolita može se očitati ili se odmah s njima u mikroračunalu korigira očitavanje horizontalnog i vertikalnog kuta. Mogućnost da se automatski uzima u obzir nagih vertikalne odnosno horizontalne osi na očitavanje horizontalnog kruga, naročito je korisna pri mjerenjima horizontalnih kutova, gdje su vizure strme, na primjer kod brana, geodetskoj astronomiji i dr.

Elektronički teodolit E-2 ima niz kontrolnih funkcija koje kontroliraju rad teodolita na pr. ako teodolit nije dovoljno dobro horizontiran javlja na displayu pogrešku HALLO HO, ako se durbin okreće brže od 2,5 okreta u sekundi (izazvano udarcem) blokira se rad teodolita i dr. Sve te kontrolne funkcije osiguravaju komforan rad i pouzdane rezultate mjerenja. Rezultati vrlo oštrog testa provedenog na terenu od Švicarske savezne službe za nacionalnu topografiju [3], pokazali su da je rukovanje elektroničkim teodolitom E-2 vrlo jednostavno, sigurno i da se postiže vrhunska točnost mjerenja jednog pravca od približno $\pm 0,5''$ u jednom girusu

3. RAZNE MOGUĆNOSTI

Elektronički teodolit E-2 koristi se obično u kombinaciji s elektrooptičkim daljinomjerom Kern DM 503, a izmjerene veličine: kosu duljinu, očitavanje horizontalnog i vertikalnog kruga, te pomoćne oznake, broj točke i šifre automatski se registriraju u terenskom elektroničkom računalu (Feld-computer) »Alphacord 128« ili u malom programirajućem računalu Hewlett-Packard HP 41 CX. Elektroničko računalo »Alphacord 128« ima veliku memoriju od 128 kilo-byteova od čega program može maksimalno zauzimati 63,5 kilo-byteova. Pomoću elektroničkog računala »Alphacord 128« ili HP 41 CX mogu se odmah prema geodetskom programu SICORD ili nekom drugom specijalnom programu automatski na terenu izračunati:

- redukcije mjerenih veličina,
- orijentacija pravaca,
- koordinate stajališta presjecanjem natrag ili lučnim presjecanjem,
- koordinate točaka detalja polarnim određivanjem,
- smjerni kut neke strane pomoću Sunca, zvijezda i planeta [9],
- elemente za iskolčenje itd.



Sl. 8 — Elektronički teodolit Kern E-2 u kombinaciji s daljinomjerom DM 503 i elektroničkim računalom »Alphacord 128«

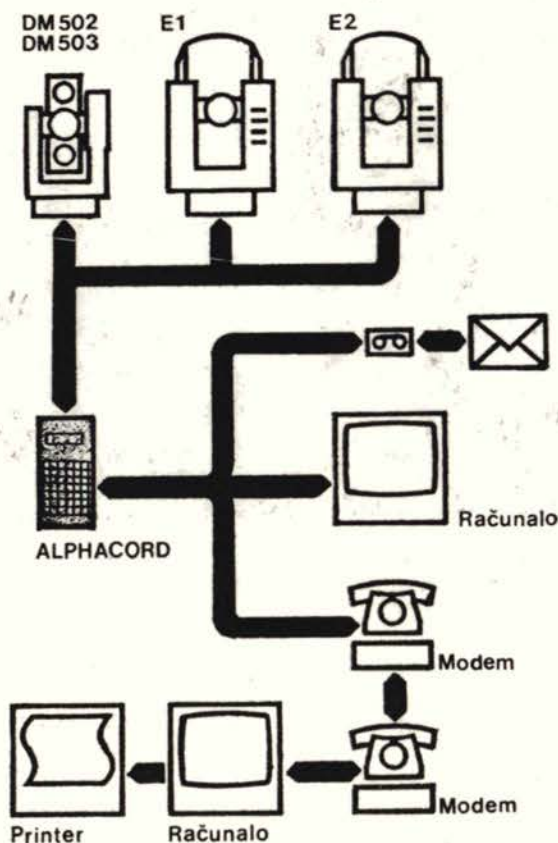
Podaci pohranjeni u elektroničkom računalu »Alphacord 128« mogu se preko interface* RS 232 prenijeti i na magnetsku vrpcu i zatim poštom dalje poslati na obradu u veće elektroničko računalo. Preko istog interface-a podaci mogu se prenijeti na gotovo sve vrste elektroničkih računala ili preko modema u veće računske centre (vidi sl. 9).

Ako se za mjerenja duljina uz reflektor nalazi i prijemnik kodiranog infra zračenja na cilju (RD 10) — (Zielpunktempfänger) — na broječanom pokazivaču (display-u) prijemnika (sl. 10) može se dobiti kosa duljina, ili horizontalna duljina i visinska razlika ili bilo koja druga izračunata veličina na računalu HP 41 CX (na primjer poprečno ili duljinsko odstupanje od pravilno iskolčene točke. Luminiscentna dioda u daljinomjeru, koja zrači infra zrake, služi i za prenošenje podataka u kodiranom obliku do prijemnika kodi-

* »Interface« (čitaj interfejs) je »međusklop« koji usklađuje rad pojedinih sklopovskih i programskih elemenata, ali interface su i odgovarajući programski interfejsi za povezivanje i usklađivanje rada programa koji se zbog svojeg programskog karaktera ne mogu nazivati »međusklopovima«, te se i u našoj stručnoj literaturi upotrebljava riječ interface (vidi [8], str. 273 i 275).

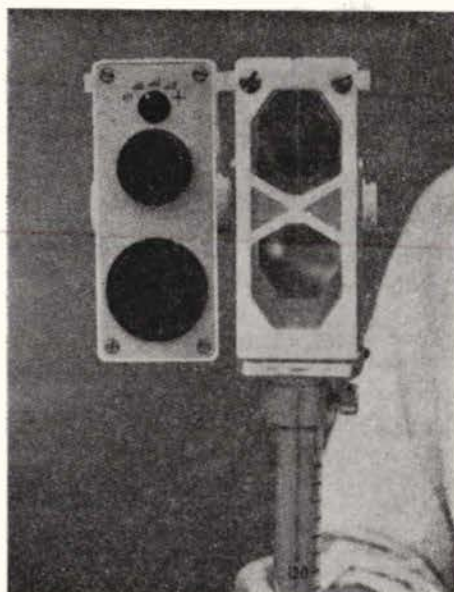
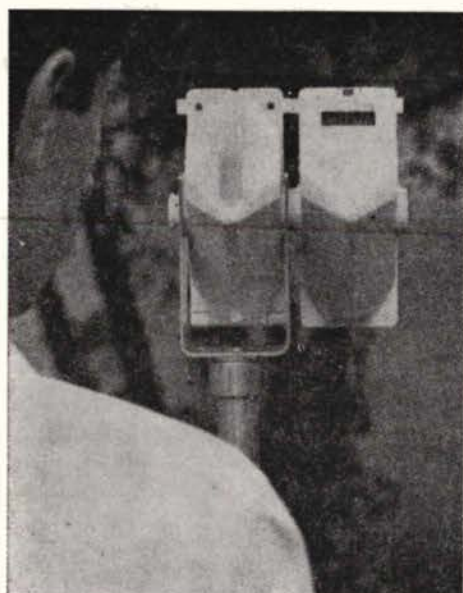
ranog zračenja uz reflektor, gdje se nalazi i dekodler, tako da onaj koji nosi reflektor odmah vidi na brojčanom pokazivaču koliko se daleko nalazi od točke na koju mora postaviti reflektor. To svojstvo omogućava znatno ubrzanje radova pri iskolčenju.

Za razne primjene geodezije u industriji razvijen je posebni dodatak elektrooptičkom daljinomjeru DM 502/503 od sistema dodatnih prizmi, koji se postavlja ispred objektiva daljinomjera (vidi sl. 11 i 12). Ovim dodatnim sistemom prizama postiže se da infra zračenje ide u prostoru od daljinomjera

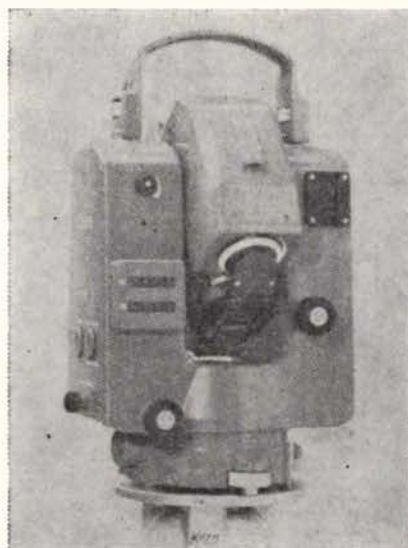
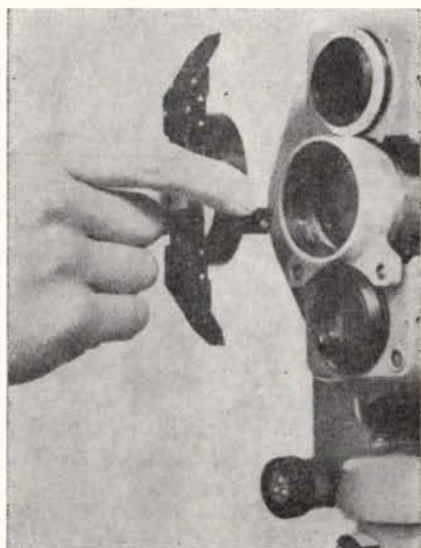


Sl. 9 — Prikaz mogućih veza elektroničkog računala »Alphacord 128« s elektroničkim teodolitom E-2, elektroničkim daljinomjerom DM 503 i većim elektroničkim računalima.

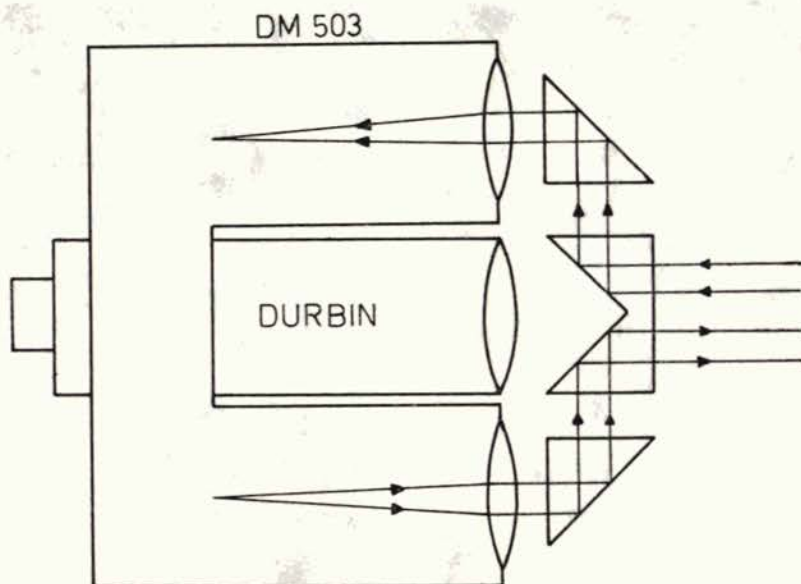
do reflektora vizurom teodolita. U tom slučaju na cilju za vrijeme mjerenja duljine postavlja se mala prizma (sl. 13), koja se može vrlo precizno postavljati u čoškove i razna mjesta objekta kojeg se mjeri. Cijeli taj sistem omogućava mjerenje pri vrlo strmim vizurama i mjerenje do raznih teško pristupačnih mjesta, kao što je često slučaj pri raznim industrijskim primjenama.



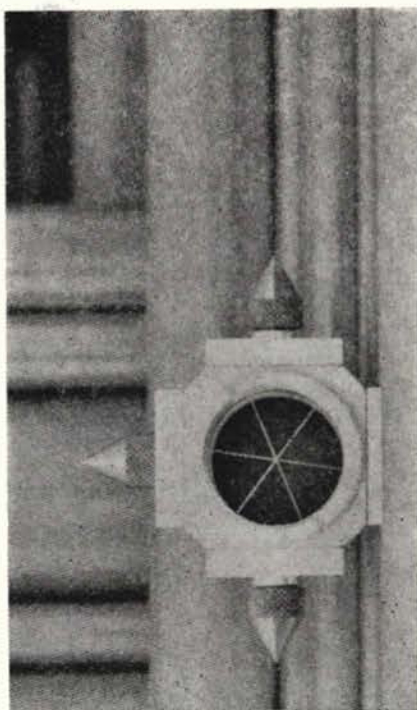
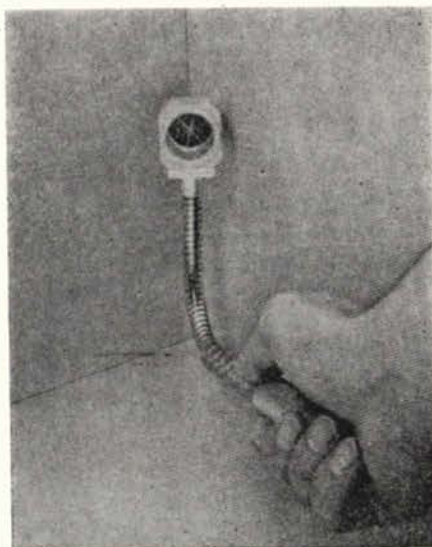
Sl. 10 — Reflektor s prijemnikom kodiranog infrazračenja na cilju (RD 10) —
(Zielpunktempfänger)



Sl. 11 — Elektronički teodolit E-2, daljinomjer DM 503 i dodatni sistem prizama
ispred objektivna daljinomjera



Sl. 12 — Prolaz zraka infra zračenja kod daljinomjera DM 502/503 s dodatnim sistemom prizama



Sl. 13 — Mala prizma za precizno postavljanje u čoškove i teško dostupna mjesta objekta koji se mjeri (snima)

Kao što se iz izloženog vidi, mogućnosti primjene s ovim instrumentarijem su vrlo velike, a pri testu ([3] str. 4) utvrđeno je, da je rukovanje njima slično kao i klasičnim teodolitom tako da geodetski stručnjaci vrlo lagano i u kratkom vremenu mogu s njim naučiti rukovati. Pokraj svih tih vrlina, mora se još dodati da ovaj instrumentarij omogućava vrlo brzi, automatizirani i ekonomičan rad, ali da bi iskoristili sve njegove mogućnosti zahtjeva od geodetskog stručnjaka još više znanja o načinu rukovanja nego s klasičnim instrumentarijem.

LITERATURA:

- [1] Aeschlimann H.: Ein Gerätesystem für die automatische Registrierung von Messwerten, Kern, 1979, 350 d 8.79 — FA.
- [2] Kahmen H.: Elektronische Messverfahren in der Geodäsie, Herbert Wichmann, Karlsruhe, 1977.
- [3] Kern: The Electronic Theodolites Kern E2 and Wild T2000 in Comparison Test Summary of a Test from Swiss Federal Office for National Topography, Kern, 1984, 324 e 10.84 FA.
- [4] Kern: Der neue Feldcomputer Kern Alphacord 128, Kern 1984.
- [5] Kern: Programmpaket AA zum Kern Alphacord Feldcomputer, Kern 1985.
- [6] Münch, K. H.: Verfahren der Absteckung nach dem System Kern, Kern, 1981, 352 d 9.81 FA.
- [7] Münch, K. H.: Der Elektronische Präzision — Theodolit Kern E2, Kern, 1983, 322 d 5.83 FA.
- [8] Smiljanić, G.: Mikroročunala, Školska knjiga, Zagreb, 1983.
- [9] Solarić, N.: Automatische Bestimmung des Richtungswinkels mit dem elektronischen Theodolit Kern E1 mittels Zenitdistanzen der Sonne, XVII Internationaler Kongress Fig, Sofija 19—28. Juni 1983, Vol. 10, 503.6/1—9.
- [10] Zetsche, H.: Elektronische Entfernungsmessung, Konrad Witter, Stuttgart, 1979.
- [11] Polić, S.: Fortran, Građevinski institut Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1982.

SAŽETAK

U članku su objašnjeni fizikalni principi na kojima radi novi elektronički precizni teodolit Kern E-2. Data je i elektronička blok šema, koja prije u literaturi nije objavljena. Osim toga opisane su i mogućnosti koje pruža ovaj moderni automatski registrirajući instrument u svakodnevnoj geodetskoj praksi i pri raznim specijalnim primjenama.

ZUSAMMENFASSUNG

In dem Artikel wurden physikalischen Prinzipien erklärt, auf denen neue Präzisionstheodolit Kern E-2 arbeitet. Es wurde auch das elektronische Blockschema gegeben, das es Früher in der Literature nicht veröffentlicht wurde. Äusserdem wurden verschiedene Möglichkeiten beschrieben, welche dieser moderne automatischregistrierende Theodolit in der alltäglichen geodätischen Praxis und bei verschiedenen speziellen Anwendungen anbietet.

Primljeno: 1985-04-19