

5.2.2.1 Fázové elektrooptické dialkomery

Na meranie dĺžok sa používa viditeľné svetlo $\lambda = 760$ až 390 nm, alebo neviditeľné svetlo $\lambda > 800$ nm. Tranzitný čas t môžeme vyjadriť ako n -násobok (n je celé číslo) periód vlnenia T a určitého zlomku periódy ΔT :

$$2s = vt = v(nT + \Delta T) = vT \left(n + \frac{\Delta T}{T} \right), \quad (5.44)$$

kde súčin $vT = \lambda$ je vlnová dĺžka,

$\frac{\Delta T}{T}$ je zlomok periódy a nazýva sa fázový uhol, vyjadruje sa v uhlovej miere.

Dĺžka $2s$ sa vyjadrí:

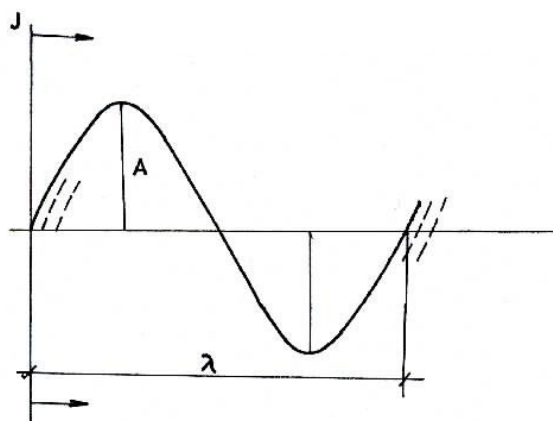
$$2s = n\lambda + \frac{\lambda}{400} \varphi^g = n\lambda + l, \quad (5.45)$$

kde $n\lambda$ je celistvý počet vlnových dĺžok (násobok vln),

$\frac{\lambda}{400} \varphi^g = l$ je zlomok jednej vlny (domierka),

φ^g je fáza.

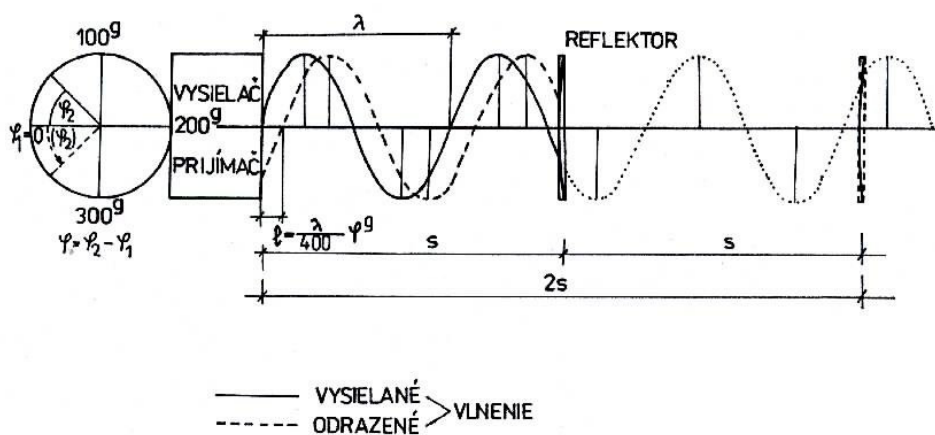
Vlnová dĺžka λ má byť čo najmenšia, vtedy sa elektromagnetické vlnenie šíri najpresnejšie. Svetelné i rádiové vlny sa modulujú.



Podľa zmeny niektorého parametra vlnenia: amplitúdy, frekvencie, fázy označujeme charakter modulácie. Najčastejšie sa používa amplitúdová modulácia, ktorá sa získava prerušovaním vyžarovaného svetla určitou frekvenciou.

Elektromagnetické vlnenie je vlnenie postupné, u ktorého sa fáza v danom bode neustále mení (obr. 5.51). Keď sa porovnajú fázy vyslaného a odrazeného modulovaného svetla, zistí sa, že ich fázový rozdiel je konštantný. Fázový rozdiel je funkciou meranej dĺžky.

Obr. 5.51. Šírenie elektromagnetických vln



Obr. 5.52. Princíp elektromagnetického merania dĺžok

Meranie dĺžok môžeme previesť na porovnávanie neznámej dĺžky násobkami kalibrovanej dĺžky L , ktorá sa získa modulovaním svetelnej vlny, napr. na dĺžku: $L = 10 \text{ m}$, $L = 100 \text{ m}$, $L = 1000 \text{ m}$ a odmeranie domierky l (obr. 5.52).

Modulácia sa uskutoční frekvenciami f_1 , f_2 , f_3 , pri ktorých sa určuje fázový rozdiel v jednotkách príslušnej kalibrovannej dĺžky L (u prístroja EOK 2000 najmenší dielik je $1/1000 L$). Zoradením meraných údajov na všetkých frekvenciách sa získa dĺžka $2s$, napr. :

$$\begin{array}{l} L_3 \quad 868 \\ L_2 \quad 659 \\ L_1 \quad 602 \\ 2s = 866,02 \quad s = 433,01 \text{ m.} \end{array} \quad (5.46)$$

Meranie fázového rozdielu na elektronických dial'kometeroch prebieha automaticky. Elektronické dial'komery sa delia podľa dosahu na:

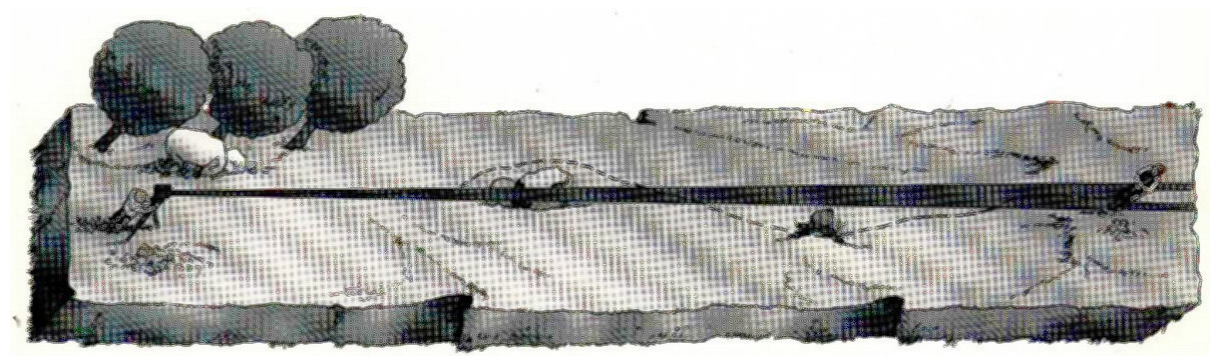
- malé do 3 - 5 km,
- stredné do 15 km,
- veľké nad 15 km.

Malé elektronické dial'komery ďalej rozdeľujeme na:

- a) elektronické dial'komery, t.j. prístroje, ktoré umožňujú merať len dĺžky (Mekometer ME 5000, Geodimeter série 100, atď.),
- b) integrované prístroje, u ktorých dial'kometer môžeme využívať v priamom spojení s teodolitom (DM série 500, prístroje série Eldi, Geodimeter série 200, Wild DI 3000, atď.),
- c) elektronické teodolity (tachymetre), u týchto prístrojov uhlomerné a dial'komerné zariadenie tvorí jeden celok (TPS - Systém 1000, rada GTS - 700, atď.).

Súčasne vyrábané elektronické dial'komery majú možnosť:

- merané údaje ukladať do registračného zariadenia, ktoré je priamo zabudované do prístroja, resp. pripojené k prístroju,
- prepojenia meracieho prístroja s počítačom, ktorý na základe programu meraní údaje spracuje do vyžadovanej formy a výsledku.



Obr. 5.53. Vytýčovanie dĺžky elektronickým dial'kometerom

Väčšina súčasne vyrábaných elektronických dial'kometerov má zabudovaný aj merací program na vytýčovanie (Tracking), pri ktorom meranie dĺžky sa opakuje v niekoľko sekundových intervaloch. Pri vytýčovaní potom postupujeme tak, že vo vytýčenom smere sa pohybuje pomocník s odrazovým hranolom dovtedy, kým nedosiahne hodnotu vytýčovanej dĺžky (obr. 5.53). Vytýčenie vyžadovanej

dĺžky, ale aj celý vytyčovací proces je možné uľahčiť a zrýchliť, napr. pomocou bezdrôtového spojenia medzi meračom a pomocníkom, alebo pomocou cieľového prijímača ako je to u RD-10 (obr. 5.54), na displeji ktorého sa zobrazuje, rovnako ako na displeji prístroja, odmeraná dĺžka.

Technické parametre niektorých malých elektronických diaľkomerov

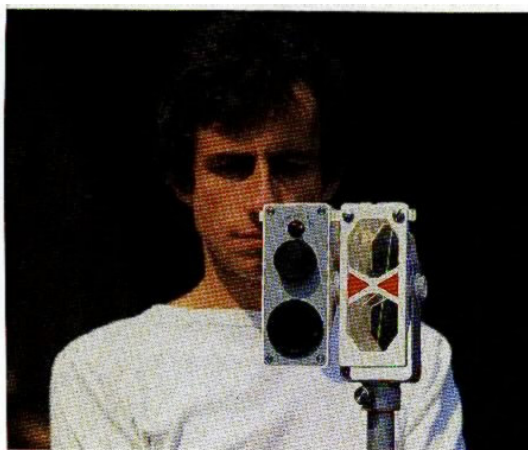
Tab. 5.8

Prístroj	Hmotnosť [kg]	Dosah/ bez hranola [km/m]	Presnosť meranej dĺžky s m_s [mm]	Čas meranie [s]	Výrobca
<i>A: Samostatné elektronické diaľkomery</i>					
Geodimeter 114	2,7	20	$5+1 \cdot 10^{-6} s$	20	Geotronics AB Švédsko
Mekometer ME 5000	11	8	$0,2 + 0,2 / \text{km}$	60	Kern Švajčiarsko
<i>B: Integrované elektronické diaľkomery</i>					
Wild DI 3000	1,7	14	$5+1 \cdot 10^{-6} s$	4	Wild Švajčiarsko
Eldi 2	4,2	1,5	$5+2 \cdot 10^{-6} s$	5	Opton SRN
AGA Geodimeter 210	1,1	5,5	$5+3 \cdot 10^{-6} s$	7	Geotronics AB Švédsko
Red Mini	0,9	0,8	$5+5 \cdot 10^{-6} s$	4	Sokkisha CO Japonsko
Topcon DM-53	2,3	5,5	$5+3 \cdot 10^{-6} s$	4	Tokyo Optical CO Jap.
<i>C: Elektronické teodolity</i>					
Geodimeter 440	7,9	7	$3+3 \cdot 10^{-6} s$	7	Geotronics AB Švédsko
Topcon ET-1	7,5	2	$5+1 \cdot 10^{-6} s$	5	Tokyo Optical CO Jap.
Sokkisha SET 3	7,4	3,2	$5+3 \cdot 10^{-6} s$	7	Sokkisha CO Japonsko
TPS - System 1000 (1100 \approx 1800)	6,4	5,0	$2+2 \cdot 10^{-6} s$	3	Leica Švajčiarsko
Rec Elta 13	5,2	2,0	$3+2 \cdot 10^{-6} s$	2	Opton SRN
Elta S 10	8,1	3,5	$1+2 \cdot 10^{-6} s$	4	Zeiss SRN
Rada GTS - 700	6,8	3,7	$2+2 \cdot 10^{-6} s$	5	Topcon Japonsko
SOKKIA SET 2000	5,7	3,5	$2+2 \cdot 10^{-6} s$	2	Japonsko
Rada DTM 501	5,5	3,6	$2+2 \cdot 10^{-6} s$	1	Japonsko
<i>D: Motorizované meracie prístroje</i>					
MT - 100	9,5	2,0	$2+2 \cdot 10^{-6} s$	2,5	Topcon Japonsko
TCM 1800	7,1	3,5	$2+2 \cdot 10^{-6} s$	3	Leica Švajčiarsko
<i>E: Prístroje s automatickým vyhľadáváním cieľa</i>					
TCA 1100 (L)	6,8	3,5	$2+2 \cdot 10^{-6} s$	2	Leica Švajčiarsko
TCA 1800					Leica Švajčiarsko
<i>F: Meranie bez odrazného hranola</i>					

Trimble 3300 DR	3,5	3,0/100	$2+2 \cdot 10^{-6}$ s	1,0	
NPL - 352	4,9	5,0/200	$3+2 \cdot 10^{-6}$ s	0,5	Nikon Japonsko

Malé elektronické diaľkomery sa uplatňujú pri geodetických prácach v stavebníctve a katastri nehnuteľností.

Zo skupín geodetických prístrojov v súčasnosti elektronické diaľkomery majú najrýchlejší vývoj. Nebolo by účelné, ani nie je možné, v tomto texte uvádzať každý prístroj (tab. 5.8).

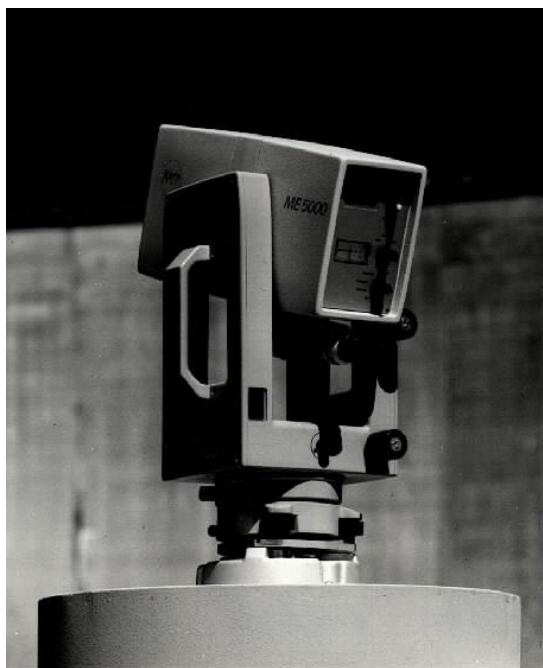


Obr. 5.54. Cieľový prijímač RD10 Kern s reflektorom

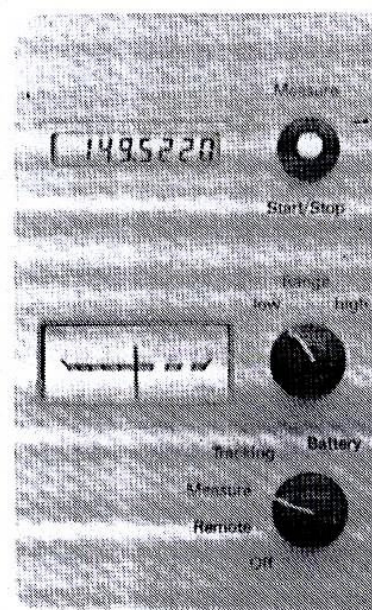
Samostatné elektronické diaľkomery

Samostatné elektronické diaľkomery sú konštrukčne upravené iba na meranie dĺžok s vysokou presnosťou (ME 5000) alebo na meranie veľkých dĺžok (Geodimeter 114).

Diaľkomer *Kern Mekometer ME 5000* (obr. 5.53a, b) patrí v súčasnosti medzi najpresnejšie prístroje svojho druhu. S prístrojom môžeme doceliť presnosť v odmeraní dĺžky $0,2 + 0,2$ mm/km. Táto vysoká presnosť ho predurčuje na náročnejšie geodetické práce ako je určovanie dĺžok základníc, dĺžok v osi mosta, tunela, meranie posunov a pretvorení priehrad a priehradných hrádzí a pod. Ako stanoviská prístroja a cieľov slúžia observačné piliere.



Obr. 5.55a. Mekometer ME 5000



b. Ovládací panel

Integrované prístroje

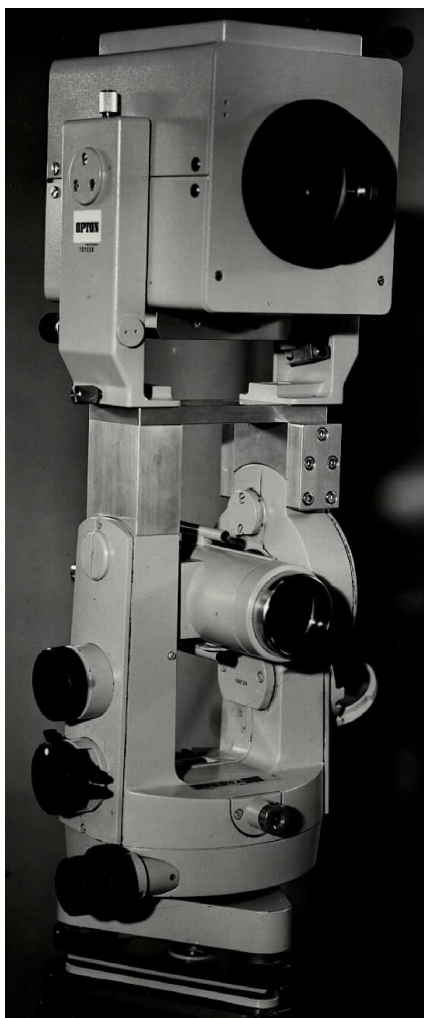
Prakticky všetky firmy, vyrábajúce elektronické teodolity, majú vo svojom výrobnom programe diaľkomerné moduly, ktoré po nasadení na teodolit merajú základné veličiny - uhly a dĺžky. Z tejto skupiny prístrojov si uvedieme diaľkomery série E Opton a Wild DIOR 3002.

Eldi 1, Eldi 2S, Eldi 2 (obr. 5.56a, b). Prístrojmi meriame len šikmé dĺžky. Používajú sa ako samostatné diaľkomery, alebo v spojení s teodolitmi rôznych typov, na ktoré sa upevňujú pomocou osobitne upravenej podstavy dodávanej výrobcom. Prístroje majú rovnaký vzhľad, odlišujú sa navzájom pracovným dosahom, presnosťou a váhou. Maximálna dosiahnuteľná vzdialenosť závisí od počtu hranolov na reflektore (tab. 5.9).

Pracovný dosah prístrojov Eldi

Tabuľka 5.9

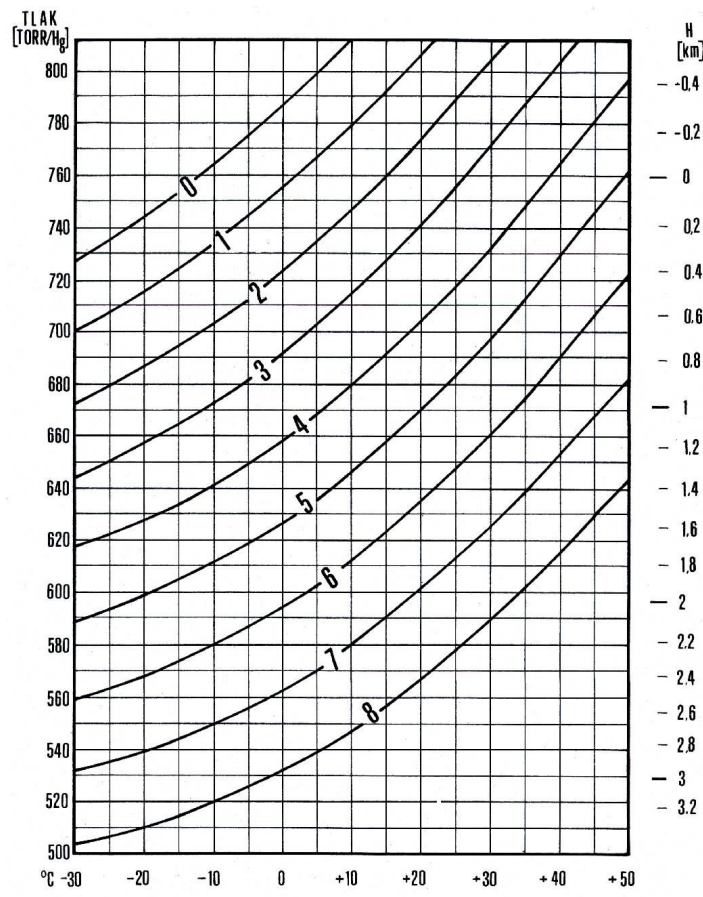
Počet hranolkov v reflektore	Eldi 1		Eldi 2 S		Eldi 2	
	I. rozsah	II. rozsah	I. rozsah	II. rozsah	I. rozsah	II. rozsah
1					400 m	700 m
3	3 000 m	4 000 m	1 600 m	2 000 m	700	1 000
9	5 000	6 000	2 500	3 000	1 000	1 500
18	7 000	8 000	3 000	4 000		



Obr. 5.56. Eldi 2 Opton

Meranie na prístroji Eldi 2 je v dvoch rozsahoch presnosti - na I. a II. rozsahu. Prvý rozsah presnosti je uvedený v tab. 5.7, druhý rozsah presnosti je $10 \text{ až } 20 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

Opravy zo stredných atmosferických podmienok sa zavádzajú automaticky pomocou regulátora koeficienta refrakcie. Poloha indexu regulátora sa číta na diagrame (obr. 5.57) pre stredný tlak a teplotu vzduchu. Regulátor koeficienta refrakcie sa využíva tiež na určenie dĺžky presahujúcej rozsah ukazovateľa stupnice, ktorý je od 0 až po 999,999.



Obr. 5.57. Diagram atmosférických súčiniteľov pre prístroje Eldi

Príklad:

Meraná dĺžka pri zapojenom regulátore koeficienta refrakcie	671,342 m
Meraná dĺžka pri polohe indexa regulátora 0	671,208 m
Meraná dĺžka pri polohe indexa regulátora 8	671,481 m
Rozdiel $27,3 \text{ cm} \cdot 10^4$	2,7 km
Výsledná meraná dĺžka	2 671,342 m

Postup merania prístrojom série Eldi:

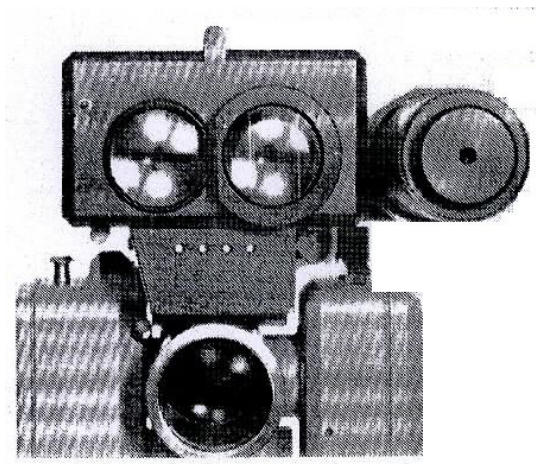
Regulátor koeficienta refrakcie sa nastaví na vyžadovaný údaj podľa určenia z diagramu obr. 5.57. Ďalekohľadom prístroja zacielieme na reflektor, štartovací spínač z polohy 0 prepneme do polohy 1. Regulátorom sily signálu nastavíme index do čierneho poľa a štartujeme meranie. Podľa voľby rozsahu presnosti asi za 5 sekúnd obdržíme odmeranú vzdialenosť v I. rozsahu na mm a v II. rozsahu na cm.

Meranie ďalšej dĺžky sa začína z 0-ovej polohy štartovacieho spínača.

Zdroj elektrickej energie dodáva 6 NiCd 1,5 V batérií, ktorými docielime 500 až 1000 meraní dĺžok.

Wild DIOR 3002 (obr. 5.58) je vyvinutý na meranie dĺžok bez reflektora. Dĺžka je meraná pomocou odrazeného laserového lúča od meraného predmetu. DIOR3002 má uplatnenie pri špeciálnych úlohách inžinierskej geodézie a v tunelovom staviteľstve. Maximálny dosah merania dĺžok je do 250 m. Závisí od tvaru a odrazovej schopnosti miesta merania a od svetelných podmienok merania.

Po zacielení na reflektor resp. stopu laserového lúča a stláčaní štartovacieho tlačítka programu merania beží automaticky bez zásahu merača. Výsledná hodnota odmeranej dĺžky sa získava zo stoviek meraní fázového rozdielu vyslanej a prijatej vlnovej dĺžky. Voľba meracích jednotiek umožňuje meranie dĺžok v metroch alebo stopách.



Obr. 5.58. Wild DIOR 3002

Elektronické teodolity (tachymetre)

Súčasná geodetická prax ich označuje ako univerzálne meracie stanice. Základ prístrojov tvorí elektronický teodolit koaxiálne doplnený o elektronický diaľkomer.

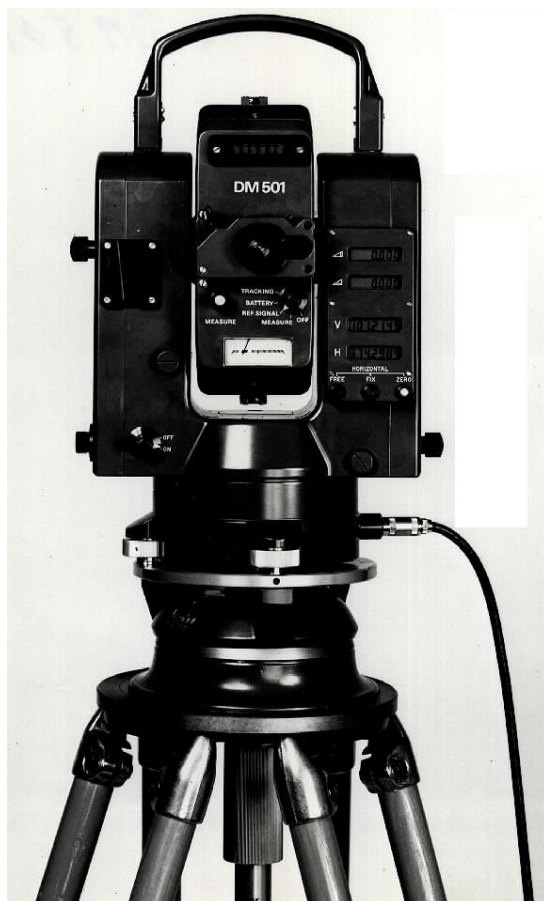
Princíp čítania na kruhoch elektronického teodolitu si uvedieme napr. Na prístroji Kern E2 (obr. 5.59): Vodorovný a výškový kruh má 25 000 rysiek, ktorých šírka je rovnako veľká ako sú medzery medzi nimi. Jedna časť výseče delenia je zväčšená 1,01-krát a diametrálne sa zobrazuje na protiľahle ležiacu výseč. Otáčaním alidády alebo ďalekohľadu vzniká mioré-efekt s tmavými a svetlými prúžkami (minimami a maximami jasu), ktoré sa pohybuje cez výseč delenia (obr. 4.21). Posun jedného svetlého prúžku na miesto predchádzajúceho zodpovedá pootočeniu alidády, alebo ďalekohľadu o $80''$. Elektronické delenie umožňuje spresniť čítanie na $10''$. Presnosť merania smerov alebo zenitových uhlov vo dvoch polohách ďalekohľadu je asi $15''$. Meranie uhlov je prípustné pri otáčaní alidády alebo ďalekohľadu až po rýchlosť 1,5 otáčky za sekundu. Pri prekročení tejto rýchlosti sa ozýva výstražný signál. Uhlové údaje sa dajú čítať 0,2 sekundy po zastavení otáčania prístrojom.

Elektronický teodolit sa uvádza do chodu jedným spínačom. Priebeh merania riadi mikroprocesor. Počíta vodorovnú vzdialenosť a prevýšenie, opravuje výškový uhol o účinok sklonu vertikálnej osi, indikuje dva odmerané a vypočítané údaje a prenáša merané údaje do registračného prístroja. Odmerané údaje sa zobrazujú pomocou tekutých kryštálov.

Odlíšnosti v elektronických teodolitoch sú v druhoch registrovaných zariadení, vo výbave meracích a výpočtových systémoch z rôznych aplikácii geodézie a inžinierskej geodézie.

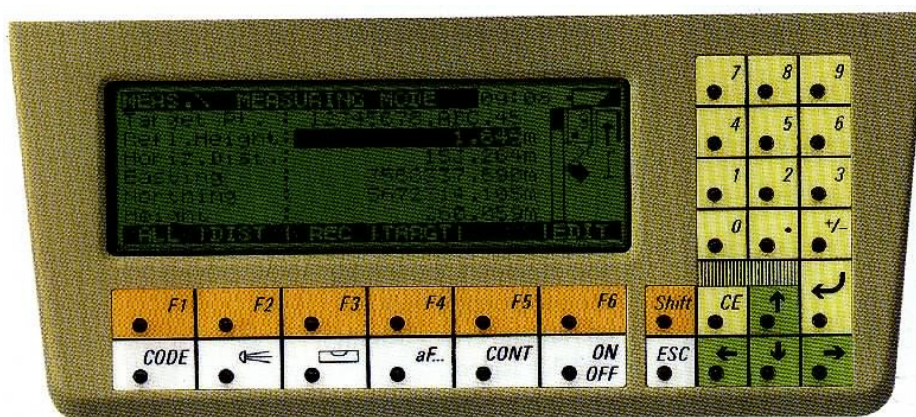
Napríklad prístroje TPS - Systém 1000 Leica sú vyrábané v manuálnej motorizovanej a automatizovanej verzii.

Motorizovaná verzia (TCH) zaisťuje automatické usmernenie prístroja na cieľový bod. Automatizovaná verzia predstavuje kombináciu motorizácie s automatickým vyhľadaním meraného cieľa s presným zacielením na pohybujúci sa cieľ.



Obr. 5.59. Elektronický teodolit Kern E2

Displej (obr. 5.60) umožňuje užívateľovi prístup k činnostiam prístroja. Obsahuje štandardné meracie a aplikačné programy, ktoré si môže užívateľ u niektorých prístrojov podľa vlastnej potreby doplniť (kap. 4.32).



Obr. 5.60. Displej prístrojov TPS - Systém 1000 Leica

Prístroje TPS - Systém 1000 môžu byť vybavené reflektorom EGL1 (obr. 4.28) na lokalizáciu polohy reflektora pri vytyčovaní. Stopa svetla je viditeľná do vzdialenosti 150 m.

5.2.2.2 Vyžadovaná presnosť merania dĺžok elektronickými diaľkomermi

Základná stredná chyba m_s dĺžky odmeranej elektronickým diaľkomerom, ktorá sa použije na zhŕšťovanie trigonometrickej siete, nesmie prekročiť krajné odchýlky dané výrazmi:

- a) pre $s < 20$ km: $m_s = 0,010 \text{ m} + 0,002 \cdot s$,
 b) pre $s > 20$ km: $m_s = 0,010 \text{ m} + 0,003 \cdot s$. (5.49)

5.2.2.3 Opravy k dĺžkam odmeraným elektronickými dial'kormi

V kapitole 5.143 sme uviedli opravy ku dĺžkam odmeraným meradlami. Elektronickými dial'kormi meriame spravidla dlhšie vzdialenosti s primerane veľkým prevýšením. Vtedy s opravami podľa vzťahov (5.1) a (5.16) nevystačíme a musíme ich úmerne k veľkosti dĺžky spresniť.

Keď poznáme výšku horizontu prístroja a cieľa H_p a H_c opravu šikmej dĺžky d_s na nulovú hladinovú plochu vykonáme rovnicou

$$s_0 = d_s - \frac{1}{2} \left[\frac{(H_p - H_c)^2}{d_s} + \frac{H_p + H_c}{r} d_s \right] . \quad (5.50)$$

Pri meraní zenitového uhla redukciu uskutočníme podľa rovnice:

$$s_0 = d_s - \frac{1}{2} \left(d_s \cos^2 z + \frac{2H_p}{r} d_s + \frac{d_s^2}{r} \cos z \right) . \quad (5.51)$$

Opravy dĺžok s_0 z kartografického zobrazenia pri dĺžkach odmeraných dial'kormi určujeme výpočtom podľa rovnice:

$$s = m s_0 , \quad (5.52)$$

kde m je koeficient dĺžkového skreslenia. Vypočítame ho z členov rady:

$$\begin{aligned} m = & + 0,99990 \, 00000 \\ & + 0,00012 \, 28220 \, \Delta R^2 \\ & - 0,00000 \, 31540 \, \Delta R^3 \\ & + 0,00000 \, 01848 \, \Delta R^4 \\ & - 0,00000 \, 00115 \, \Delta R^5 . \end{aligned} \quad (5.53)$$

Hodnota $\Delta R = R - R_0$,

kde $R_0 = 1 \, 298 \, 039$ je jedna z konštánt Křovákovho zobrazenia,

$R = \sqrt{y^2 + x^2}$ je polomer kartografickej rovnobežky,

y, z sú rovinné súradnice daného bodu (súradnice stredu lokality merania).