

NEKA ZAPAZANJA PRI MJERENJU LASERSKIM DALJINOMJEROM I GEODIMETROM — MODEL 6 NA TEST MREŽI OPSERVATORIJA HVAR

Milivoj FLORIЈAN — Osijek*

UVOD

Kao što je poznato 18. 10. 1972. god. a u ime Astronomskog instituta ČSAN i u ime Geodetskog fakulteta iz Zagreba, predan je na upotrebu opservatorij za astronomsko-geofizička opažanja na brdu (bivša tvrđava »Napoljun«) pokraj Hvara.

Radovi na izgradnji i adaptaciji objekta započeli su još u srpnju 1970. god. Sredstva za izgradnju za početak odobrio je Rep. fond za financiranje naučne djelatnosti SR Hrvatske, a izgradnju su pomagale mnoge naše ustanove, društveno-političke organizacije i dr. Radovi su se odvijali u okviru međunarodne, međurepubličke i međufakultetske suradnje.

Geodetski fakultet je nosilac projekta izgradnje i organizacije kao i vlasnik objekta opservatorija Hvar. Opremom kojom danas raspolaže, opservatorij Hvar je osposobljen za:

Praćenje zemljinih umjetnih satelita; solarna opažanja; stelarna opažanja; praćenje seizmoloških pojava.

Rad opservatorija se odvija u tri odjela: za astrofiziku, satelitsku geodeziju i za seizmologiju.

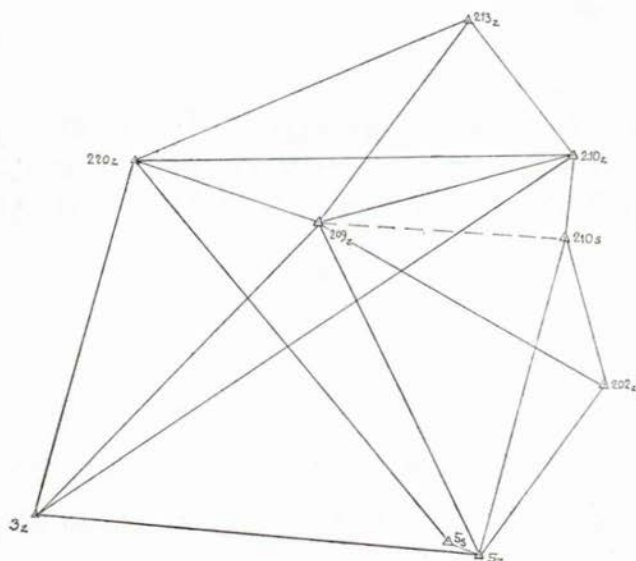
Za svaki od ova tri odjela određen je i rukovodilac a za upravnika opservatorija izabran je još 1971. godine prof. V. Petković. U okviru znanstvenog rada na Geodetskom fakultetu prihvaćen je i zadatak formiranja trigonometrijske test mreže opservatorija Hvar.

U želji da se u znanstvene zadatke koje financira SIZ-Republike uključi što širi krug naših stručnjaka uspostavljen je kontakt sa V.G.I. iz Beograda i utvrđena suradnja na zajedničkom zadatku. Prema prijedlogu prof. Petkovića prihvaćen je projekat proširenja trigonometrijske test mreže (vidi sl. 2) i ona je u suradnji sa V.G.I. i realizirana.

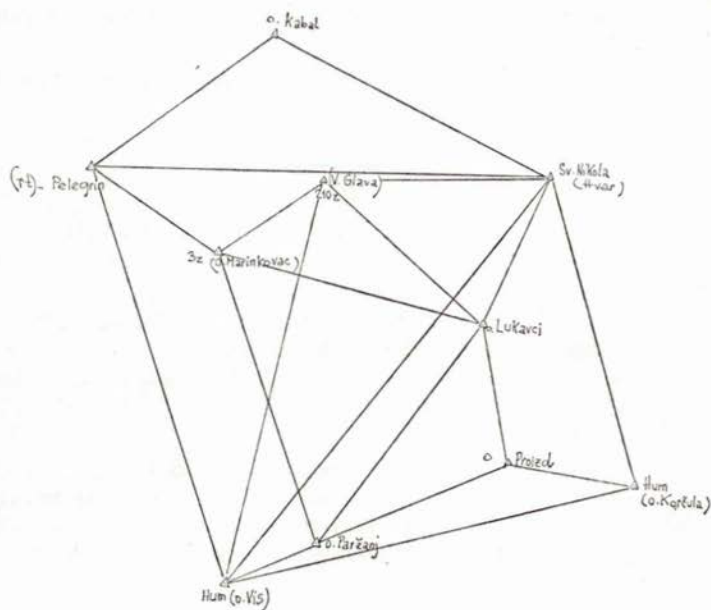
U jesen 1975. god. katedra za Višu geodeziju Geodetskog fakulteta iz Zagreba u čiji rad sam bio uključen kao suradnik, izvodila je ispitivanje na trigonometrijskim točkama grada Hvara i neposredne okoline oko Opservatorija u svrhu provjere mjerila viših redova naših mreža i ostalih mjerenja radi

* Adresa autora: Mr. Milivoj Florijan, dipl. inž., Viša tehnička građev. škola — Osijek, Augusta Cesarca 17.

određivanja novih koordinata stupa na Opservatoriju sa kojeg su se vršila i neka astronomska opažanja.



Sl. 1. Test-mreža opservatorija Hvar



Sl. 2. Proširena trigonometrijska test-mreža

Točka 209_z je centralna točka koja je stabilizirana na glavnoj zgradi Opservatorija, pošto je trigon. točka koja je prije gore bila, uništena prilikom izgradnje objekata za stanovanje osoblja. Ova točka kao što se vidi sa slike tvori sa ostalim točkama jedan centralni sistem. Ta je mreža 1977. god. proširena uz sudjelovanje stručnjaka V.G.I. iz Beograda, koji posjeduju odgovarajući instrumentarij. Crtež na sl. 2 prikazuje tu proširenu mrežu na niz srednje-dalmatinskih otoka.

Točke na otocima — Marinkovac — Lukavci — Proizd i o. Paržanj tvore četverokut koji je po svojoj visini (kotama) — nizak, pa je prozvan četverokut na moru.

Zatim imamo jedan četverokut na izrazitim nodmorskim visinama (točke 1. i 2. reda) a to su: Sv. Nikola (na Hvaru) zatim Hum (o. Korčula) — Hum (o. Vis) i V. Glava (na Hvaru). Svi ti četverokuti su međusobno povezani.

Mjerenje dužina laserskim daljinomjerom u proširenoj mreži obavili su stručnjaci V.G.I. zajedno s ostalim suradnicima Geodetskog fakulteta iz Zagreba, te autorom ovog članka, koji je tada radio u Zavodu za izmjeru zemljišta u Splitu.

Za kontrolu su izmjerene i dužine na prvom (manjem) četverokutu koji je već bio izmjeren god. 1975. sa AGA 6.

1. MJERENJE DUŽINA SA ELEKTROOPTIČKIM DALJINOMJEROM AGA - 6

Geodimetar model 6, koji radi na poznatom principu primjenom elektromagnetskih valova, omogućava brzo i efikavno mjerenje dužina s velikom točnošću. Čitanjem većeg broja ponavljanja dobiva se pouzdaniji rezultat, ali ne treba pretjerivati s većim brojem ponavljanja nego je stvarno potrebno, jer što jedno mjerenje dulje traje podaci za meteorološke uvjete će biti nesigurniji.

Ovdje se ne iznosi opis rada i način mjerenja ovim daljinomjerom (Florijan 1976 [1]), a to i nije namjena ovog članka. U jesen 1975. god. obavljena su mjerenja geodimetrom AGA - 6 u 4 ponavljanja. U isto vrijeme su se obavila i kutna mjerenja Wildovim teodolitom T 3. Svi obrađeni podaci kutnih i dužinskih mjerenja i računanja nalaze se na Geodetskom fakultetu — Zavod za Višu geodeziju u Zagrebu. Obradu podataka izvršio je prof. V. Petković s tim što se dio tih podataka (izračunanih vrijednosti) koristio u mom magistarskom radu.

2. REZULTATI MJERENJA DUŽINA IZMEĐU TRIG. TOČAKA

3z — Δ 210 z	(h = 283,61 m)	209z — 3z	(h = 196,77 m)
$D_G = 4564,434$ m		$D_G = 3736,613$ m	
$D_T = 4564,587$ m		$D_T = 3736,726$ m	
$\Delta D = -0,153$ m		$\Delta D = -0,113$ m	
209z — 210z	(h = 86,88 m)	5z — 210s	(h = 319,06 m)
$D_G = 1160,155$ m		$D_G = 2293,076$ m	
$D_T = 1160,161$ m		$D_T = 2293,017$ m	
$\Delta D = -0,006$ m		$\Delta D = +0,059$ m	

209z — 220z	(h = 51,03 m)	209z — 5z	(h = 234,69 m)
$D_G = 1115,068$ m		$D_G = 2314,423$ m	
$D_T = 1115,088$ m		$D_T = 2314,360$ m	
$\Delta D = -0,020$ m		$\Delta D = +0,063$ m	
5s — 220z	(h = 184,26 m)	3z — 5z	(h = 37,92 m)
$D_G = 3120,106$ m		$D_G = 3001,701$ m	
$D_T = 3120,160$ m		$D_T = 3001,804$ m	
$\Delta D = -0,054$ m		$\Delta D = -0,103$ m	
220z — Δ 210z	(h = 137,87 m)	3z — Δ 220z	(h = 145,34 m)
$D_G = 2223,651$ m		$D_G = 3609,445$ m	
$D_T = 2223,692$ m		$D_T = 3609,506$ m	
$\Delta D = -0,041$ m		$\Delta D = -0,061$ m	

gdje su:

D_G dužine dobivene mjerenjem Geodimetrom AGA-6, i reducirane su za atmosf. popr., redukciju na horizont i redukciju na nivo plohu mora.

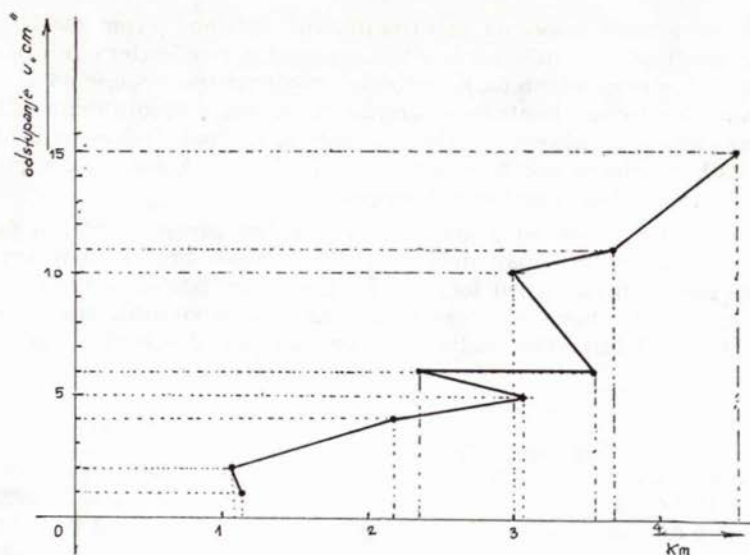
D_T dužine iz triangulacije (date su radi usporedbe) koriginane su za utjecaj deformacije projekcije — tj. dužine su svedene na elipsoid.

ΔD je razlika ($D_G - D_T$)

3. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA MJERENJA DUŽINA IZMEĐU TRIG. TOČAKA

3 — 210	= -0,153 m
209 — 210	= -0,006 m
209 — 3	= -0,113 m
5z — 210s	= +0,059 m
209 — 220	= -0,020 m
209 — 5z	= +0,063 m
5s — 220z	= -0,054 m
220z — 210z	= -0,041 m
3z — 220z	= -0,061 m
3z — 5z	= -0,103 m

Dužine u km	Odstup. u »cm« po apsol. vrijed.
1,2	1
1,1	2
2,2	4
3,1	5
2,3	6
2,3	6
3,6	6
3,0	10
3,7	11
4,6	15



Sl. 3. Graf. prikaz odstupanja po duljini

Grafički prikaz odstupanja po kilometru prikazuje, da se povećanjem udaljenosti povećava i odstupanje, što se moglo i očekivati.

4. MJERENJE DUŽINA LASERSKIM DALJINOMJEROM

Dužine su mjerene dvije godine kasnije tj. u jesen 1977. god. također u 4 ponavljanja i to na istim točkama, tako da se može dati neka komparacija.

Kao što je poznato laserski (svjetlosni) daljinomjeri razlikuju se od ostalih svjetlosnih daljinomjera samo po izvoru oscilacija. Inače princip rada je isti kao i u drugim svjetlosnim daljinomjerima. Ugrađivanjem lasera kao izvora oscilacija svedene su na najmanju vrijednost mnoge pogreške svjetlosnih daljinomjera, u kojima su ugrađeni drugi izvori oscilacija (sijalice, razne diode i sl.). Zatim je povećan domet, manje usnopljenje itd., te je prilagodiv za dnevna mjerenja, za razliku od Geodimetra — model 6, koji po danu (naročito za sunčanog dana), skoro da i ne može mjeriti dužine veće od 2 km.

Laser emitira monokromatske intenzivne, koherentne oscilacije visoke stabilnosti reda 10^{-7} , koje se u vidu uskog snopa šalju duž mjerene dužine. Na taj način je smanjen utjecaj pogrešaka uslijed meteoroloških uvjeta, a pogreške zbog refleksije od Zemljine površine praktički i ne postoje. Na taj način s njim se može postići visoka točnost mjerenja dužine reda do par milimetara na kilometar.

Daljinomjer kojim se mjerilo ima plinski laser, kristalni modulator i radi na 4 mjerne frekvencije. Domet mu je danju od 15 m — 40 km, a noću od 15 m do 60 km. Točnost mjerenja dužina u mm je $\pm (6 \pm 1 \times 10^{-6} D)$, dok je točnost za Geodimeter 6 $m_D = \pm (1 \text{ cm} \pm 2 \times 10^{-6} D)$. Apsolutnih pokazatelja nemamo, jer su mjerenja Geodimetrom — model 6 obavljena 2 godine ranije.

Općenito, točnost mjerenja elektrooptičkim daljinomjerom ovisi o točnosti čitanja, točnosti određivanja konstante Geodimetra i reflektora te o stabilnosti frekvencije. Nije primjećeno da je došlo do promjene frekvencije od 11. XI 1975. god. kada je obavljena i kontrola kvarcnog oscilatora u laboratoriju mikrovalne tehnike na elektrotehničkom fakultetu u Splitu, ali ipak frekvenciju bi trebalo kontrolirati bar jednom godišnje, a također i adicijonu konstantu, koja se može poremetiti u instrumentu prilikom transporta.

Obzirom na vrijeme od 2 godine može se bar pretpostaviti da će uslijed starenja kvarc-oscilatora ipak doći do nekih manjih promjena u postojanosti frekvencije, ali svakako ispod točnosti koja se može postići u radu s ovim instrumentom. Prema tome se može ipak dati ova usporedba mjerenja Geodimetrom AGA 6 i laserskim daljinomjerom između slijedećih triangulacionih točaka:

210z — 3z

laserom . . . 4564,478 m
AGA-6 . . . 4564,434 m
 $\Delta D = + 0,044$ m

3z — 5z

laserom . . . 3001,690 m
AGA-6 . . . 3001,701 m
 $\Delta D = - 0,011$ m

209z — 220

laserom . . . 1115,046 m
AGA-6 . . . 1115,068 m
 $\Delta D = - 0,022$ m

209z — 3z

laserom . . . 3736,625 m
AGA-6 . . . 3736,613 m
 $\Delta D = + 0,012$ m

5z — 210s

laserom . . . 2293,106 m
AGA-6 . . . 2293,076 m
 $\Delta D = + 0,030$ m

209z — 210z

laserom . . . 1160,147 m
AGA-6 . . . 1160,155 m
 $\Delta D = - 0,008$ m

220 — 210z

laserom . . . 2223,628 m
AGA-6 . . . 2223,651 m
 $\Delta D = - 0,023$ m

209z — 5z

laserom . . . 2314,379 m
AGA-6 . . . 2314,423 m
 $\Delta D = - 0,023$ m

3z — 220

laserom . . . 3609,462 m
AGA-6 . . . 3609,445 m
 $\Delta D = + 0,017$ m

Usporede li se ova odstupanja može se vidjeti da je najveća razlika nešto malo veća od 4 cm, koja za praktične potrebe nema utjecaja, ali za znanstvena ispitivanja ne bi se mogli s tim zadovoljiti, pa bi to trebalo bolje ispitati i po mogućnosti pronaći uzrok. Veće razlike su nastale na strmijim stranama, zapravo na najstrmijim tj. na većim visinskim razlikama. U tu svrhu se ponovilo mjerenje na dužini između trigonometara 5z — 210s.

Triangulaciona točka 5z nalazi se na »Pokonjem Dolu«, pokraj svjetionika, na nadmorskoj visini od 9,39 met. a trig. točka 210s se nalazi na brdu »Vela

Glava« na nadmorskoj visini od 319,06 met. Može se očekivati da će na V. Glavi biti nešto drugačiji vanjski uvjeti nego na moru gdje se nalazi točka 5z.

26. X 1977. god. izmjereno je prvo mjerenje laserom i to u 11^h 15^{min}, odmah zatim drugo, pa treće u 11^h i 35^{min}. »Laser« se nalazio na trig. točki 5z. Zatim je skinut pa je postavljen Geodimetar. Pri mjerenju Geodimetrom upotrebljavala se živina lampa. Prvo mjerenje je počelo u 11^h i 40^{min}, a treće se završilo u 12^h. Ne može se očekivati da bi se kroz cca jedan sat izmijenili vanjski uvjeti, pa bi se moglo iz ovih dobivenih rezultata i nešto zaključivati.

Za bolje i sigurnije tumačenje potrebno je da se razmotre neke formule pri računanju atmosferskih popravaka za oba daljinomjera, koje su inače poznate iz literature.

5. FORMULE ZA RAČUNANJE ATMOSFERSKIH POPRAVKI

Dužine mjerene elektrooptičkim daljinomjerom treba popraviti za sumu popravaka, da bi se dobila kosa udaljenost. Ta suma popravaka sastoji se od konstante daljinomjera (geodimetra), konstante reflektora i od atmosferske popravke.

Atmosferska popravka za Geodimetar AGA 6 računa se po formuli Barella i Searsa t. j.

$$\text{cor. } (\Delta S) = \left(309,2 - \frac{83189,4}{273,2 + t} \cdot \frac{p}{760} \right) \cdot 10^{-6} D \quad (1)$$

gdje je p pritisak zraka u mm/ttg; t temperatura zraka u °C; D mjerena udaljenost dobivena instrumentom.

Na temelju ove formule konstruiran je nomogram, ali je točnije da se ovaj popravak računa po gornjoj formuli. Za dotični laserski daljinomjer obično se upotrebljava slijedeća formula:

$$\text{cor. } (\Delta S) = \left[308,6 - 107,92 \cdot \frac{p}{273,16 + t_s} + \frac{15,02 \cdot e}{273,16 + t_s} \right] \cdot 10^{-6} D \quad (2)$$

gdje je: e — parcijalni pritisak vodene pare u mm/Hg; t_s — temperatura suhog termometra; p — pritisak zraka u mm/Hg; D — mjerena daljina.

Formula (2) nešto se razlikuje od formule (1); dolazi tu i faktor vlažnosti u zraku dok formula (1) to ne sadrži. U literaturi se navodi da za mjerenja svjetlosnim daljinomjerom, u ovom slučaju Geodimetrom, nije potrebno uzimati podatke temperature zraka i zračnog pritiska na oba kraja mjerene dužine, ako one ne prelazi 8 km. Doduše neki autori upozoravaju, da je to potrebno na terenima, gdje je strana vrlo kosa (kao što je bio ranije navedeni slučaj). Međutim, daljinomjer AGA-6, koji posjeduje Geodetski fakultet u Zagrebu nema pribor za mjerenje vlažnosti, zatim 2 aneroida i sl. Za sva dosadašnja mjerenja sa ovim instrumentom koristio se samo jedan aneroid, jedan termometar a vodilo se računa o dužinama do 8 km i slično. Za mjerenja laserom postoji i pribor tj. nekoliko pari aspiracionih psihrometara, aneroida i ostalo. Za sve dužine, bez obzira kolike su i kako su položene, mjere se uvijek vrijednosti meteoroloških faktora na obje stanice. Ako se k tome doda da je laser točniji, tada je uz prije spomenuto velika prednost mjerenja ovim instrumentom u odnosu na AGA-6.

Poznato je da pogrešku od 1×10^{-6} prouzrokuje pogreška:
 $t = 1^\circ\text{C}$, $p = 3 \text{ mm/Hg}$ ili $e = 18 \text{ mm/Hg}$.

Iz toga se vidi da treba izuzetnu pažnju posvetiti mjerenju temperature. Nakon ovog opetovanja vratimo se na naša usporedna mjerenja tj. laserom i Geodimetrom.

6. REZULTATI MJERENJA NA DUŽINI TRIG. 5z — 210»s«

1. mjerenje Geodimetrom vrijeme $11^{\text{h}} 40^{\text{min}}$, dne 26. 10. 1977. god.

temper. na stajališnoj točki	$21^{\circ},2\text{C}$	temper. na točki reflektora	$20^{\circ},4\text{C}$
barometarski pritisak	<u>1031,6 mb</u>	barometarski pritisak refl.	<u>989,1 mb</u>
Atmosferski popravak po for. (1)	+ 0,052 met.	Atmosferski popravak po form. (1)	+ 0,078 m

2. mjerenje Geodimetrom, vrijeme $11^{\text{h}} 50^{\text{min}}$, istog dana

temper. na stajališnoj točki	$21^{\circ},1\text{C}$	temper. na točki reflektora	$20^{\circ},2\text{C}$
barometarski pritisak	<u>1031,4 mb</u>	barometarski pritisak	<u>989,1 mb</u>
Atmosferski popravak	+ 0,052 met.	Atmosferski popravak	+ 0,77 m

3. mjerenje Geodimetrom, vrijeme $12^{\text{h}} 00^{\text{min}}$, istog dana

temper. na stajališnoj točki	$21^{\circ},0\text{C}$	temper. na točki reflektora	$19^{\circ},9\text{C}$
barometarski pritisak	<u>1031,1 mb</u>	barometarski pritisak	<u>989,1 mb</u>
Atmosferski popravak	+ 0,052 met.	Atmosferski popravak	+ 0,077 mb

Ako se uzmu ove atmosferske popravke u račun zajedno s konstantom reflektora i geodimetra, pa se ta suma popravaka odbije od instrumentalno dobivene kose dužine, dobit će se konačne vrijednosti kose dužine i to:

Mjerenja	Kosa dužina — temp. i prit. uzeti na stajal. točki	Kosa dužina — temp. i prit. uzeti na točki reflektora	Sredine
1. mjer.	2315,071	2315,097	2315,084
2. mjer.	2315,090 m	2315,115	2315,102
3. mjer	2315,115 m	2315,140	2315,128

Sredina: 2315,105 m

Srednja vrijednost kose dužine dobivena mjerenjem laserskim daljinomjerm iznosi (iz sva tri mjerenja isti rezultati)

2315,140 m

Razlika $\Delta_1 = + 0,035 \text{ m}$

Ako se uzme (kao što se i do sada radilo) samo dužina dobivena mjerenjem meteoroloških faktora na stajališnoj točki dobija se slijedeća razlika:

Srednja vrijednost iz tri mjerenja:

Za AGA-6 2315,092 m

Za laser 2315,140 m

Razlika $\Delta_2 = + 0,048$ m

Razlika $\Delta_1 - \Delta_2 = - 0,013$ m = 1,3 cm

Velika je šteta što se nije moglo uslijed više sile izmjeriti još po neka dužina

7. ZAKLJUČAK

Stvarne uvjete duž svjetlosnog snopa vrlo je teško ili skoro nemoguće odrediti. Nije pravilno osloniti se na meteorološke faktore samo na jednoj točki. Kad god se mjeri u svrhu znanstvenog ispitivanja i kada je među točkama osjetna visinska razlika, tada je potrebno pri mjerenju dužina Geodimetrom kao i laserom uzimati meteorološke podatke na obje stanice, bez obzira na udaljenost među njima.

Literatura

- [1] Florijan, M.: Magistarski rad, Zagreb 1976.
- [2] Mihailović, K.: Geodezija II (I deo), Građevinska knjiga, Beograd 1974.
- [3] Petković, V.: Opservatorij Hvar Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Geodetski list 1975, 1—3.

SAŽETAK

U dosadašnjem radu elektrooptičkim daljinomjerom (AGA-6) uzimali su se meteorološki elementi samo na jednoj stanici (stajališnoj). Međutim iz ranije iznesenog vidi se da je potrebno uzimati meteorološke elemente na obje stanice, bez obzira na udaljenost među njima, pogotovo kad je među točkama osjetna visinska razlika. Ovdje se pokazalo, da 1,3 cm na dužini od 2,3 km nije zanemariva veličina.

ZUSAMMENFASSUNG

In den bisherigen Arbeiten mit dem elektrooptischen Entfernungsmesser haben wir die meteorologischen Elemente nur auf einer Station genommen. Jedoch sieht man aus dem oben angeführten, dass es notwendig ist, die meteorologischen Elemente beider Stationen zu nehmen, ohne Rücksicht auf die zwischen ihnen vorhandene Entfernung. Das kommt besonders zum Ausdruck, wenn zwischen den Punkten ein beträchtlicher Höhenunterschied liegt und wenn die Beobachtungen für verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden. Hier zeigte sich, dass die 1,3 cm auf eine Entfernung von 2,3 km nicht zu vernachlässigen sind.