

UDK 551.524:534.614:528.517:531.717.14  
Izvorni znanstveni članak

# Automatizirano određivanje prosječne temperature zraka pomoću brzine zvuka i kroskorelacijske funkcije pri preciznom mjerenju duljina

Nikola SOLARIĆ, Zoran VERŠIĆ, Miljenko VRESK – Zagreb\*

*SAŽETAK.* U radu je izloženo automatizirano određivanje prosječne temperature zraka približno duž putanje svjetlosti pri preciznom mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerima. Ta automatizacija određivanja prosječne temperature zasniva se na temelju fizikalnih saznanja da brzina zvuka u zraku ovisi o temperaturi zraka. Zato je trebalo izraditi instrumentarij koji će automatski izmjeriti vrijeme prolaza zvuka od prizme do elektroničkog daljinomjera. Iz izmjerenog vremena širenja zvuka i izmjerene duljine između prizme i elektrooptičkog daljinomjera (nekorigirane za utjecaj temperature) može se izračunati prosječna brzina zvuka, a zatim i prosječna temperatura zraka. U tu je svrhu prema originalnoj ideji razvijen i izrađen jednostavan i lagani instrumentarij, koji određuje vrijeme širenja zvuka pomoću kroskorelacijske funkcije. Tim instrumentarijem može se odrediti prosječna temperatura zraka približno duž putanje svjetlosti do 2 odnosno 3 km.

*Ključne riječi:* temperatura zraka, prosječna temperatura zraka

## 1. Uvod

Pri preciznom mjerenju duljine elektrooptičkim daljinomjerom između npr. dva brda treba poznavati prosječnu temperaturu zraka približno duž putanje svjetlosti, da bi se mogla izračunati "prava" vrijednost te duljine (zbog toga što temperatura od atmosferskih parametara ima najveći utjecaj na točnost mjerenja).

Utjecaj promjene prosječne temperature zraka duž putanje svjetlosti pri preciznom mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerima je velik: promjena temperature

\*Prof.dr.sc. Nikola Solarić, redoviti član Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 10 000 Zagreb, Kačićeva 26.

Zoran Veršić, dipl.inž., Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 10 000 Zagreb, Kačićeva 26.  
Miljenko Vresk, inž., Končar, 10 000 Zagreb, J. Lončara 3.

zraka za 1 °C ima utjecaj na duljinu približno 1 ppm (1mm na 1 km). Danas pri preciznom mjerenju duljina Mekometrom ME 5000, kad je prosječna temperatura zraka određena samo iz mjerenja stanja atmosfere termometrom i aneroidom uz daljinomjer i prizmu, temperatura može biti pogrešno određena i za par stupnjeva, a ponekad i desetak stupnjeva celzijusa. To izaziva relativno veliku pogrešku u određivanju duljine, na primjer na 1 km 10 mm. To je velika pogreška, pogotovo kad se uzme u obzir da je točnost preciznog daljinomjera Mekometer ME 5000 prema prospektu  $\pm (0,2 \text{ mm} + 0,2 \text{ mm/km})$ .

Utjecaj promjena tlaka zraka i tlaka vodenih para za 1 mbar na mjerenu duljinu manji je od utjecaja temperature i iznosi 0,4 ppm i 0,05 ppm (Zetsche 1979).

Zato je vrlo važno naći prosječnu temperaturu zraka duž putanje svjetlosti kojom daljinomjer mjeri duljinu naročito u brdovitom terenu, jer se temperatura zraka uz daljinomjer i prizmu gdje se obično mjere atmosferski uvjeti može razlikovati i za 20 °C od temperature iznad sredine između dva brda (Džeparovski 1989). Pa i na horizontalnom terenu na udaljenosti od 300 m u istom se trenutku na dva stajališta temperatura zraka može razlikovati i za 3 °C. Takav slučaj imali smo na primjer na kalibracijskoj bazi u Zagrebu pri mjerenju preciznim daljinomjerom Leica TC 2000S (Solarić i dr. 1996).

Određivanje prosječne temperature zraka duž putanje svjetlosti između dva brda pomoću više balona i termometara vrlo je teško (složeno). Ta je metoda vrlo skupa, jer treba kupiti više balona, digitalne termometre s memorijom, angažirati više ljudi na mjerenju i prevoziti ih duž duljine koja se mjeri. Osim toga potroši se puno vremena na mjerenje i obradbu rezultata mjerenja, jer treba svako mjerenje aneroidom i psihrometrom korigirati zbog korektura svakoga pojedinog instrumenta prema njegovim baždarnim (umjerenim) vrijednostima i zatim izračunati prosječnu temperaturu, tlak i vlažnost zraka za svako mjerenje duljine.

Na duljinama većim od približno 2 km utjecaj temperature zraka na precizno mjerenje duljine može se većim dijelom eliminirati mjerenjem duljine pomoću crvene i plave svjetlosti. Na duljinama manjim od 2 km to nije izvedivo dovoljno točno (Zetsche 1979), (Schauerte, Witte 1994), (Hübner, Schirmer 1989), (Maurer, Schirmer, Schwarz 1988). Osim toga instrumentarij za mjerenje duljina pomoću crvene i plave svjetlosti vrlo je skup i težak.

Za mjerenje prosječne temperature zraka u laboratoriju, a i na terenu na malim duljinama (manjim od 10 m) razvijena je u Aachenu 1985. godine aparatura koja je za određivanje temperature koristila izmjerenu brzinu ultrazvuka (Schwarz 1985). Vrijeme zaostajanja zvuka u atmosferi mjeri se pomoću posebne razvijene aparature koja zahtijeva da je signal vrlo oštar i bez smetnji (elektroničkih šumova). Zato se s tom aparaturom može određivati prosječna temperatura zraka samo na malim duljinama, a ne i na terenu na većim duljinama do približno 2 km, što često treba u geodetskoj praksi.

U ovom radu predložena je metoda određivanja prosječne temperature zraka pomoću zaostajanja zvuka u atmosferi, a vrijeme zaostajanje određuje se kroskorelacijskom funkcijom. Zahvaljujući računanju vremena zaostajanja pomoću kroskorelacijske funkcije aparatura nije jako osjetljiva na smetnje, a može se to izvesti s relativno malom opremom, koja se sastoji od radioodašiljača i prijammnika te sirene, usmjerenog mikrofona i notebooka. Tom laganom opremom može se na terenu odrediti prosječna temperatura zraka na većim duljinama na primjer između dva brda na udaljenostima do 2, odnosno 3 km u zavisnosti od snage sirene i osjetljivosti usmjerenog mikrofona.

## 2. Određivanje prosječne temperature zraka iz određene brzine zvuka

Brzina zvuka u zraku  $c$  zavisi o temperaturi zraka, a ta zavisnost može se opisati sljedećom jednačbom (npr. Stöcker-Meier 1994):

$$c = \sqrt{\frac{405,92 \cdot T - 0,012401 \cdot T^2}{1 - 0,780 \cdot \frac{e}{p}}},$$

gdje su

$T$  – apsolutna temperatura zraka izražena u K (Kelvinovim stupnjevima),

$e$  – tlak vodenih para u mbar,

$p$  – ukupni tlak zraka u mbar.

Ako odredimo brzinu zvuka u zraku, moći ćemo izračunati prosječnu temperaturu zraka duž putanje kojom prolazi zvuk, prema jednačbi:

$$t_p = \frac{405,92 - \sqrt{405,92^2 - 0,049604 \cdot c^2 \left(1 - 0,3780 \frac{ee}{p_{zs}}\right)}}{0,02480} - 273,15, \quad (1)$$

gdje su

$t_p$  – prosječna temperatura zraka izražena u °C,

$p_{zs}$  – srednji tlak zraka izražen u milibarima između očitavanja na stajalištu uz daljinomjer i kraj prizme do koje se mjeri udaljenost,

$ee$  – tlak vodenih para iznad 0 °C izražen u milibarima, a izračunan iz postotka vlažnosti zraka, prema jednačbi:

$$ee = v_{ps} \cdot 10^{\frac{7,5 t_{zs}}{237,5 + t_{zs}} + 0,7857} \cdot \frac{1}{100},$$

gdje su

$t_{zs}$  – srednja temperatura zraka između očitavanja termometara na stajalištu uz daljinomjer i kraj prizme do koje se mjeri udaljenost,

$v_{ps}$  – srednji postotak vlažnosti zraka dobiven iz očitavanja na stajalištu uz daljinomjer i kraj prizme do koje se mjeri udaljenost.

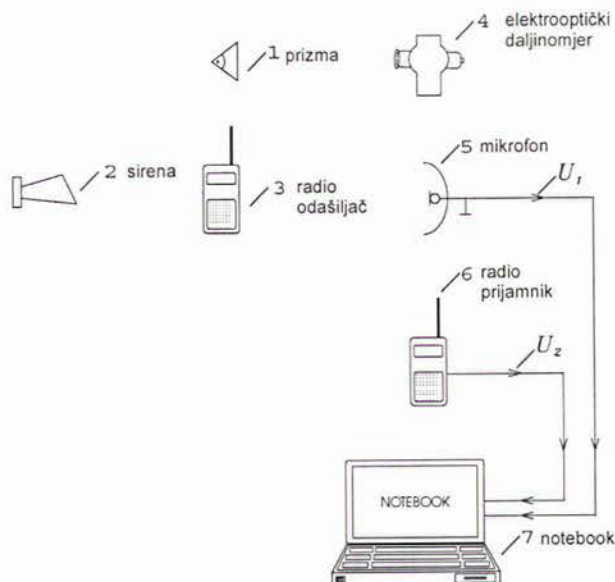
Na temelju naprijed izloženoga slijedi da se pomoću jednačbe (1) iz određene brzine zvuka u atmosferi može odrediti prosječna temperatura zraka duž "putanje" zvuka. Pri redukciji duljina izmjerenih elektrooptičkim daljinomjerima za utjecaj atmosfere stvarno je potrebna prosječna temperatura zraka duž putanje svjetlosti. Putanja svjetlosti i "putanja" zvuka nisu potpuno iste, zato se pomoću jednačbe (1) dobiva samo vrijednost prosječne temperature zraka približno duž putanje svjetlosti. Može

se realno očekivati da će u praksi razlike prosječne temperature zraka duž putanje svjetlosti i duž "putanje" zvuka biti zanemarive, te da će se pomoću jednadžbe (1) dobiti prosječna temperatura zraka približno duž putanje svjetlosti.

### 3. Određivanje brzine zvuka u zraku

Za određivanje brzine zvuka u zraku razvijen je instrumentarij, koji se sastoji od radioodašiljača i prijmnika te sirene kao izvora zvuka, usmjerenog osjetljivog mikrofona i notebooka ili terenskog računala (penpada) (Solarić, Špoljarić, Bošnjak 1998) s DAQ-cardom (analogno-digitalnim pretvaračem) (slika1).

Cilj je bio da se pomoću te relativno lagane opreme na terenu odredi prosječna temperatura zraka između elektrooptičkog daljinomjera i prizme do koje se mjeri uda-



Oznake na slici imaju sljedeća značenja:

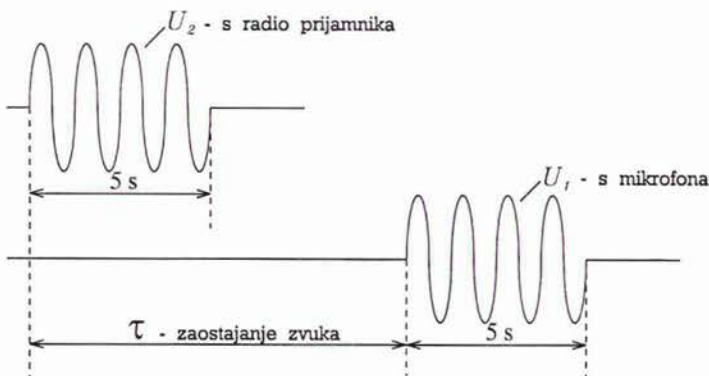
- 1 - prizma na ciljnoj točki do koje se mjeri duljina elektrooptičkim daljinomjerom
- 2 - izvor zvuka (sirena) pokraj ciljne točke (prizme 1)
- 3 - radioodašiljač na ciljnoj točki (uz prizmu 1)
- 4 - elektrooptički daljinomjer
- 5 - usmjereni osjetljivi mikroskop s pojačalom i paraboličnom antenom (uz elektrooptički daljinomjer 4)
- 6 - radioprijmnik
- 7 - notebook ili terensko računalo (penpada) s analogno-digitalnim pretvaračem
- $U_1$  - signal s mikrofona 5
- $U_2$  - signal s radio prijmnika 6

Slika 1. Instrumentarij za određivanje brzine zvuka odnosno prosječne temperature zraka približno duž putanje svjetlosti između daljinomjera i prizme do koje se mjeri udaljenost

ljenost, približno duž putanje svjetlosti, na velikim duljinama do približno 2 odnosno 3 km. Suština je te metode da se pomoću kroskorelacijske funkcije u laganom prijenosnom notebooku ili terenskom računalu određuje koliko zaostaje zvuk sirene u atmosferi od prizme (do koje se mjeri duljina) do mikrofona uz daljinomjer. Približna duljina od radioodašiljača do mikrofona izmjeri se elektrooptičkim daljinomjerom. Na temelju izmjenenog vremena zaostajanja zvuka u atmosferi i približne duljine između radioodašiljača i mikrofona izmjerene elektrooptičkim daljinomjerom određuje se brzina zvuka u atmosferi. Brzina je zvuka zavisna o temperaturi zraka, te se na temelju određene brzine zvuka izračuna prosječna temperatura zraka između elektrooptičkog daljinomjera i prizme (približno duž putanje svjetlosti).

### 3.1 Detaljan opis rada aparature

Na ciljnu točku postavi se prizma 1 (slika 1) do koje se mjeri duljina elektrooptičkim daljinomjerom 4. Uz prizmu 1 postavi se radioodašiljač 3, a u blizini jaki izvor zvuka (sirena) 2. Uz elektrooptički daljinomjer postavi se usmjereni osjetljivi mikrofonski pojačalo 5, radioprijamnik 6 i notebook ili terensko računalo 7 s DAQ-cardom (analogno-digitalnim pretvaračem). Kad sirena odašilje zvučni signal radioodašiljač 3 prenese taj signal brzinom širenja radiovalova gotovo trenutačno do radioprijamnika 6, jer je brzina radio valova približno milijun puta veća od brzine zvuka u atmosferi. Na taj način na radioprijamniku 6 dobije se trenutak kad je zvučni signal krenuo od prizme 1. Zbog relativno male brzine zvuka (približno 340 m/s) zvuk dođe sa zakašnjenjem do usmjerenog osjetljivog mikrofona 5, a on ga pretvori u analognu veličinu napona. Analogni signal  $U_1$  s mikrofona i pojačala 5 odlazi na analogno-digitalni pretvarač u notebooku 7, koji taj analogni signal pretvori u digitalni signal. Analogno-digitalni pretvarač također pretvori i analogni signal  $U_2$  s radioprijamnika 6 u digitalni oblik (pomoću kojeg se stvarno dobiva trenutak-vrijeme kad je zvučni signal krenuo od prizme 1).



$U_2$  - digitalni signal u trenutku kad je zvuk krenuo od prizme 1

$U_1$  - digitalni signal koji je nakon zaostajanja zvuka u atmosferi primio usmjereni mikrofonski pojačalo 5

$\tau$  - vrijeme zaostajanja zvuka u atmosferi od prizme 1 do usmjerenog mikrofona 5

Slika 2. Digitalni signal u trenutku kad je zvuk krenuo od prizme i isto takav primljeni signal uz daljinomjer (nakon zaostajanja u zraku)

U notebooku ili terenskom računalu 7 na taj se način dobivaju digitalni signal  $U_2$  od trenutka kad je zvučni signal krenuo od prizme 1 (slika 2) i digitalni signal  $U_1$  kad je zvučni signal stigao do mikrofona 5. Pomoću kroskorelacijske funkcije između signala  $U_1$  i  $U_2$  računalo precizno određuje koliko je bilo vremensko zaostajanje zvuka  $\tau$  u atmosferi. Iz vremena zaostajanja zvučnog signala  $\tau$  i izmjerene duljine elektrooptičkim daljinomjerom 4 računalo izračuna brzinu zvuka i prosječnu temperaturu između elektrooptičkog daljinomjera 4 i prizme 1 (približno duž putanje svjetlosti).

#### 4. Kroskorelacijska funkcija

Sirena 1 daje zvučni signal u vremenskom intervalu kraćem od 5 s, koji se radiovezom prenosi do računala, a analogno-digitalni pretvarač u računalu pretvara ga u digitalni oblik s 25 000 uzoraka u sekundi – signal  $U_2$ . Zvučni signal (nakon zaostajanja u atmosferi) primljen usmjerenim mikrofonom i pojačan pojačalom analogno-digitalni pretvarač također pretvara u digitalni oblik s 25 000 uzoraka u sekundi – signal  $U_1$ .

Kroskorelacijska funkcija (Solarić 1994) između signala  $U_1$  i  $U_2$  može se izračunati pomoću algoritma u pojednostavljenom obliku:

```
k = 0 do 14 000
```

```
A(k) = 0
```

```
continue k
```

```
k = 0 do 14 000
```

```
j = 10 000 do 115 000
```

```
A(k) = A(k) + U1 (j + E + k - 7 000) · U2(j)
```

```
continue j
```

```
continue k
```

Traži maksimalnu kroskorelacijsku funkciju  $A(k)$ . Kod maksimalnog  $A(k)$  uzima se da je  $K = k - 7 000$ .

Pritom su:

$k$  i  $j$  – indeksi sumacije,

$A(k)$  – kroskorelacijska funkcija,

$E$  – vrijeme zaostajanja zvuka u zraku od prizme do daljinomjera izračunato prema približno izmjerenoj duljini elektrooptičkim daljinomjerom i srednjoj temperaturi zraka izračunanoj iz izmjerene temperature uz daljinomjer i prizmu, što se izračuna po približnoj formuli:

$$E = \frac{D \cdot 25\,000}{338,64 + 0,61 \cdot (t_{zs} - 12)}$$

gdje je

$D$  – približna duljina izmjerena elektrooptičkim daljinomjerom, izražena u metrima.

Na temelju toga može se izračunati vrijeme zaostajanja zvuka u zraku  $\tau$

$$\tau = \frac{E + K}{25\,000},$$

odnosno brzina zvuka u zraku je:

$$c = \frac{D \cdot 25\,000}{E + K}.$$

Zatim se na temelju izmjerene odnosno izračunane brzine zvuka prema formuli (1) može izračunati prosječna temperatura zraka približno duž putanje svjetlosti.

## 5. Utjecaj brzine vjetra

Brzina vjetra ima utjecaj na određivanje brzine zvuka, jer brzina rasprostiranja zvuka u odnosu na zemljinu površinu jednaka vektorskom zbroju brzine rasprostiranja u mirnom zraku i brzine pomicanja zračnih masa, tj. brzine vjetra. Taj se utjecaj predviđa otkloniti na taj način da se mjere brzina i smjer vjetra i to računski uzme u obzir. Osim toga za bolje otklanjanje tog utjecaja predviđa se približno istodobno mjerenje prosječne temperature zraka pomoću dva takva instrumentarija. Jednime bi se mjerila prosječna temperatura zraka u jednom smjeru, a drugim istodobno (odnosno nakon približno 20 s) u suprotnom smjeru, te uzela srednja vrijednost izmjerenih temperatura. Tako određena srednja vrijednost prosječne temperature zraka bit će uglavnom oslobođena utjecaja brzine vjetra.

## 6. Kalibracija aparature

U radiododašiljaču, radioprijamniku i mikrofonu s njegovim pojačalom postoje zaostajanja signala. Razlike zaostajanja signala u radioprijamniku i mikrofonu s njegovim pojačalom utječu na određivanje vremena zaostajanja zvuka u zraku, a s tim i na određivanje temperature. Da bi se uklonio veći dio tih pogrešaka zaostajanja u instrumentariju, moraju se u laboratoriju osciloskopom odrediti navedene razlike zaostajanja signala i u programu ih uzeti u račun. Osim toga instrumentarij će trebati kalibrirati na nekoj bazi za oblačnog i stabilnog vremena. Pri kalibraciji tog instrumentarija trebat će izmjeriti istodobno prosječnu temperaturu zraka tim instrumentarijem i pomoću više termometara raspoređenih duž baze. Na taj će se način dobiti razlika  $\Delta t_k$ .

$$\Delta t_k = t_{\text{sred}} - t_p,$$

gdje je

$t_{\text{sred}}$  – srednja temperatura zraka duž baze na kojoj je daljinomjer kalibriran, dobivena iz očitavanja više termometara raspoređenih duž baze,

$t_p$  – prosječna temperatura zraka određena tom razvijenom aparaturom.

Takva kalibracijska mjerenja trebat će izvesti na malim, srednjim i velikim duljinama (na primjer na 100 m, 500 m, 1000 m i 2000 m), jer veličina signala može imati utjecaj na veličinu zaostajanja u instrumentariju, a i zaostajanje signala u instrumentariju više djeluje na određivanje prosječne temperature zraka na manjim duljinama, nego na većim duljinama.

Ako se na određenu prosječnu temperaturu, dobivenu pri uobičajenom radu tim instrumentarijem, doda  $\Delta t_k$ , dobit će se korigirana prosječna temperatura  $t_{pk}$  oslobođena većeg broja utjecaja vremenskih zaostajanja u instrumentariju i ostalih sustavnih pogrešaka:

$$t_{pk} = t_p + \Delta t_k .$$

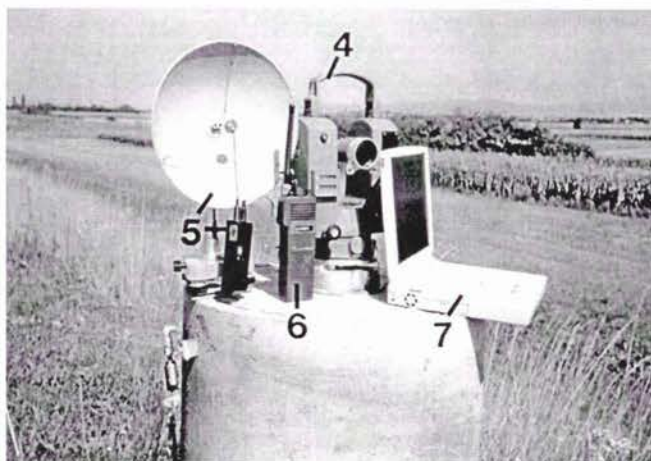
## 7. Prvotna ocjena preciznosti te metode

Prva probna mjerenja za provjeravanje preciznosti te metode izvedena su na kalibracijskoj bazi za ispitivanje elektrooptičkih daljinomjera Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (slika 3). Brzina i smjer vjetra nisu uzimani u obzir, zato su standardna odstupanja pri određivanju temperature veća nego što će to vjerojatno biti kad taj utjecaj bude uziman u obzir. Za vrijeme mjerenja tom aparaturom mjerena je i digitalnim instrumentom temperatura, tlak zraka i vlažnost na stajalištu uz daljinomjer i prizmu te na taj način dobivena je srednja temperatura  $t_{\text{sred}}$ , a zatim i  $\Delta t_k$ . Iz  $\Delta t_k$  poslije su računata postignuta standardna odstupanja pri određivanju prosječne temperature zraka unutar jednog dana (između po dva susjedna mjerenja, pod pretpostavkom da se temperatura između dva mjerenja nije promijene

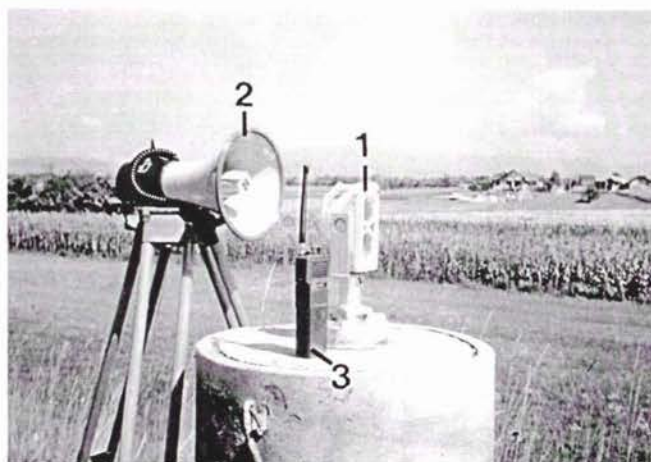
Tablica 1. Standardna odstupanja pri određivanju prosječne temperature zraka tom aparaturom na različitim duljinama između prizme i daljinomjera (sirene i usmjerenog mikrofona). Brzina i smjer vjetra nisu uzimani u obzir.

Duljina m	Standardno odstupanje određivanja temperature (iz mjerenja izvedena u jednom danu) °C	Standardno odstupanje određivanja temperature (iz mjerenja izvedena u dva dana) °C
1	2	3
100	1,3	1,7
300	0,7	0,9
600	0,5	0,9
1000	0,25	0,4





a)



b)

Slika 3. Instrumentarij za određivanje prosječne temperature zraka na stupovima kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu: a) uz elektrooptički daljinomjer 4 na stupu su specijalni parabolični usmjereni mikrofon s pojačalom zvuka 5, radioprijamnik 6 i notebook 7, b) uz prizmu 1 na stupu su radioodašiljač 3 i sirena 2

nila). Rezultati postignutih tih standardnih odstupanja prikazani su u drugom stupcu tablice 1. Isto takva standardna odstupanja određivanja temperature iz mjerenja izvedena u dva dana prikazana su u trećem stupcu. Budući da smo imali samo jednu takvu aparaturu nismo mogli ispitivati utjecaj brzine i smjera vjetra, koji može pri promjeni brzine zvuka za 1 m/s imati utjecaj od 1,7 °C. Prema tomu može se očekivati, kad se bude uzimala u obzir brzina i smjer vjetra, da će se postizati veća preciznost i točnost nego je to postignuto za tih ispitivanja.

## 8. Zaključak

Metodom za određivanje prosječne temperature zraka razvijenom u Zagrebu postiže se zadovoljavajuća točnost na duljinama koje su veće od približno 100 m. To će u velikoj mjeri olakšati precizna mjerenja duljina Mekometrom ME5000 na kalibracijskoj bazi za ispitivanje elektrooptičkih daljinomjera, pa i povećati točnost mjerenja duljina, jer će ih se reducirati s pravilnijom prosječnom temperaturom zraka. Naročito će to olakšati mjerenje temperature zraka i u svakodnevnoj geodetskoj praksi pri preciznom mjerenju duljina između na primjer dva brda, kad se mjerenje temperature zraka obično provodi samo uz daljinomjer i uz prizmu, te se ne dobije prava prosječna vrijednost temperature zraka duž putanje svjetlosti. Za mjerenja na malim duljinama od 10 m, naročito pri interferencijskim mjerenjima duljina, postizati će se i dalje bolji rezultati s aparaturom razvijenom u Aachenu (Schwarz 1985).

Definitivni rezultati mjerenja temperature tim instrumentarijem u Zagrebu dobivaju se tek poslije u uredu, jer računanje kroskorelacijske funkcije zasad u toj trećoj varijanti traje dugo, približno 20 vremenskih minuta. U prvoj razvijenoj varijanti programa to je računanje trajalo još više, tj. 6 sati, a u drugoj varijanti 1 sat. Zato će tu metodu trebati i dalje usavršavati da se skрати vrijeme računanja kroskorelacijske funkcije i da se uzmu u obzir brzina i smjer vjetra. Osim toga trebat će još detaljnije ispitati preciznost i razne utjecaje na tu metodu (utjecaj vjetra, jeke i drugoga). Toj se metodi može prigovoriti da putanja svjetlosti i "putanja zvuka", kojom zvuk prolazi do nas nisu potpuno istovjetne. Bez obzira na taj nedostatak ta će metoda davati bolje rezultate određivanja prosječne temperature zraka, nego temperatura određena samo iz mjerenja atmosferskih prilika uz daljinomjer i prizmu, naročito u brdovitom terenu.

Može se kazati da će taj instrumentarij za određivanje prosječne temperature zraka približno duž putanje svjetlosti omogućiti lakše i jeftinije određivanje prosječne temperature zraka i između dva brda, a omogućit će i preciznije odnosno točnije mjerenje duljina preciznim elektrooptičkim daljinomjerima.

*ZAHVALA. Zahvaljujemo se Državnoj geodetskoj upravi što je našla interes, da se razvija ova aparatura koja će u znatnoj mjeri olakšati rad pri preciznim određivanjima duljina između stupova kalibracijske baze, a i povećati točnost u praktičnom radu u svakodnevnoj geodetskoj praksi kad se zahtijeva naročito visoka točnost mjerenja duljina. Zahvaljujemo se i studentu Damiru Periću na pomoći pri provjeravanju te aparature na kalibracijskoj bazi.*

## Literatura

- Džeparovski, V. (1989): Redukcija mjerenih linearnih veličina i zenitnih daljina zbog utjecaja atmosfere, disertacija, Beograd, str.1-150.
- Hübner, W., Schirmer, W. (1989): Zur Streckenmessung nach der Zweifarbenmethode, Zeitschrift für Vermessungswesen, 11, 545-555.
- Maurer, W., Schirmer, W., Schwarz, W. (1988): Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten des Mekometer ME 5000, X. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, München, A 10/1-14.

- Schauerte, B., Witte (1994): Aspekte zur experimentellen Bestimmung des Brechungsindex der Atmosphäre, Zeitschrift für Vermessungswesen, 9, 470-480.
- Schwarz, W. (1985): Zur Ermittlung der Integralen Temperatur der Atmosphäre mit Ultraschall für Refraktionsbestimmungen im Nahbereich, Dissertation, TH Aachen, 1-136.
- Solarić, N. (1994): Digitalni nivelir Wild (Leica) NA 2000 i NA3000 s automatskim očitavanjem letve (visine i duljine), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1-58.
- Solarić, N., Solarić, M., Špoljarić, D., Novaković, G. (1996): Precision of laser distance meter in electronic precision total station Leica TC2002, Paper of International Symposium Applications of Laser, GPS and GIS technologies in Geodesy, Sofia, 112-118.
- Solarić, N., Špoljarić, D., Bošnjak, A. (1998): Dodirni zaslon u računalnoj tehnici, Geodetski list, Zagreb, 1, 109-116.
- Stöcker-Meier, E. (1994): Anwendungen der Akustik in der Geodäsie, Zeitschrift für Vermessungswesen, 9, 481-494.
- Zetsche, H. (1979): Elektronische Entfernungsmessung, Konrad Wittwer, Stuttgart, 1-435.

## Automated Determination of the Average Air Temperature by Means of Sound Speed and Cross-Correlation Function at Precise Distance Measurement

*ABSTRACT.* The paper presents the automated determination of the average air temperature approximately along the light path in precise distance measurement with the electrooptical distance meters. This automation in determining the average temperature is based on the physical fact that the speed of the sound travelling in the air depends on the air temperature. It was therefore necessary to make the instruments that will measure the time of sound spreading from the prism to the electronic distance meter. From the measured time of the sound spreading and the measured distance between the prism and the electrooptical distance meter (not corrected for the temperature influence), the average speed of sound spreading can be calculated and then the average air temperature as well. For that purpose, a simple and light instrument has been made that determines the time of sound spreading by means of cross-correlation function. This instrument can determine an average air temperature approximately along the light path up to about 2 or 3 km.

*Key words:* air temperature, average air temperature

*Primljeno:* 2000-04-24