



# KONGRES METROLOGA 2019

## Zbornik radova

Šabac, oktobar 2019.



# Kongres metrologa 2019.

## Zbornik radova

### Sadržaj

#### Sekcija 1:

Srđan Damjanović, Predrag Katanić, Biljana Petrić (Orao, Bijeljina): MEĐULABORATORIJSKO POREĐENJE SA TERMOPAROM N TIP	1
Vladan Stepanović (DMDM, Beograd): EFEKAT SAMOZAGREVANJA PLATINSKIH OTPORNIH TERMOMETARA	9
Srđan Radoš, Violeta Stanković, Slavica Simić, Radek Strand (DMDM, Beograd): DMDM GENERATOR TAČKE ROSE	16
Violeta Stanković, Slavica Simić (DMDM, Beograd): STRATEGIJA RAZVOJA MERENJA RELATIVNE VLAŽNOSTI U EVROPSKIM ZEMLJAMA U RAZVOJU U OKVIRU EMPIR HUMEA PROJEKTA	22
Slavica Simić, Vladan Stepanović, Svetlana Stanisavljević, Srđan Radoš: REVIZIJA JEDINICE TEMPERATURE – KELVIN U NOVOM MEĐUNARODNOM SISTEMU JEDINICA SI	29

#### Sekcija 2:

Srđan Damjanović, Predrag Katanić, Biljana Petrić (Orao, Bijeljina): ISKAZIVANJE USKLAĐENOSTI REZULTATA ETALONIRANJA SA SPECIFIKACIJOM UKLJUČUJUĆI GRANIČNE SLUČAJEVE	37
Drago Bijelić, Ranko Ljepojević (Republički zavod za standardizaciju i metrologiju Republike Srpske, Banja Luka): METROLOŠKI NADZOR NAD PRETRAKOVANIM PROIZVODIMA U REPUBLICI SRPSKOJ I ANALIZA REZULTATA	45
mr Borislav Pajkić (Orao, Bijeljina): MEĐULABORATORIJSKO POREĐENJE REZULTATA MJERENJA AKREDITOVANIH LABORATORIJA U OBLASTI DUŽINE	53
Siniša Delčev, Jelena Gučević, Vukan Ogrizović, Stefan Miljković (UNIVERZALA, Beograd): DEFINISANJE POD-DISCIPLINA I POTVRDA OSPOSOBLJENOSTI LABORATORIJE IZ OBLASTI AKREDITACIJE DIMENZIONIH VELIČINA	60

### Sekcija 3:

Ivica Milanović, Snežana Renovica, Miša Markuš, Neda Spasojević (Tehnički opitni centar, Beograd): FAZNI ŠUM KAO MERA STABILNOSTI PRILIKOM ETALONIRANJA ETALONA FREKVENCije	68
Snežana Renovica, Ivica Milanović (DMDM, Beograd): REZULTATI BILATERALNOG POREĐENJA: Etaloniranje stabilnosti frekvencije	76
Dragana Dragutinović (DMDM, Beograd): UNAPREĐENJE SISTEMA DISTRIBUCIJE VREMENA DMDM	84
Aleksandar Jocić, Vladeta Milenković, Dragan Denić, Goran Miljković i Dragan Radenković: MERENJE PARAMETARA FEDINGA I SIMULACIJA DIVERZITI TEHNIKE	91

### Sekcija 3a:

Slobodan Subotić, Slavko Vukanić (Tehnički opitni centar, Beograd): METODA ETALONIRANJA KALIBRATORA DC NAPONA U TEHNIČKOM OPITNOM CENTRU	98
Doc. dr Milan Simić, Dragan Denić, Dragan Živanović, Goran Miljković (Katedra za merenja Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu): UTICAJ POREMEĆAJA SIGNALA NA MERNU NESIGURNOST GENERATORA ZA TESTIRANJE MERILA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE	104
Marina Subotin (Bulat), Stefan Mirković, Dragan Pejić, Platon Sovilj, Marjan Urekar, Nemanja Gazivoda i Đorđe Novaković (FTN Novi Sad): MODIFIKACIJA SIMPSONOVIH PRAVILA NUMERIČKE INTEGRACIJE PRI ODREĐIVANJU RMS	112

### Sekcija 4:

Dr Vladan Škerović, Jelena Bebić (AMSS-Centar za motorna vozila, Beograd): REALIZACIJA KUKOVE METODE ETALONIRANJA AREOMETARA (METODA MERENJA NA HIDROSTATIČKOJ VAGI) U DMDM	120
Boris Ramač, Predrag Đurić, Dragan Pantić, Jugoslav Sekulić (AMSS-Centar za motorna vozila, Beograd): ETALONIRANJE AUTOMATSKIH VAGA U DINAMIČKOM NAČINU RADA	128
Dragan Lazić, Mirjana Mladenović, Vitomir Mrvaljević (Tehnički opitni centar, Beograd): REFERENTNI STANDARDI ZA ODREĐIVANJE OSETLJIVOSTI AKCELEROMETARA	137
Slobodan Zelenika, Gordana Stefanović, Nebojša Stanković (DMDM, Beograd): MERENJE PREDNJE ŠUPLJINE LABORATORIJSKOG ETALON MIKROFONA BESKONTAKTNOM METODOM	145

## Sekcija 5:

Mirjana Mladenović (Tehnički opitni centar, Beograd): ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI ETALONIRANJA DIGITALNIH TERMOHIGROMETRA	153
Dušan Radivojević, Nenad Milošević, Nenad Stepanić, Ivana Nikolić (Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd): UNAPREĐENJE I KARAKTERIZACIJA HORIZONTALNOG CRNOG TELA U TEMPERATURNOM OPSEGU OD 800 °C DO 2000 °C	160
Nenad Stepanić, Nenad Milošević (Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd): PRIMENA METODE AKSIJALNOG TOPLOTNOG TOKA SA ZAŠTITNOM OBLOGOM NA ETALONIRANJE TOPLOTNIH FLUKSMETARA	
Predrag Kolarz, Bojan Turundzilovic, Aleksandra Nenadic, Predrag Petkovic, Goran Kalanj (Institut za fiziku, Beograd): ETALONIRANJE ULTRAZVUČNIH ANEMOMETARA	167

## Sekcija 6:

Katarina Banjanac, Milena Milošević, Jasmina Zukan Banović i Jelena Bebić (DMDM, Beograd): ISPITIVANJE HOMOGENOSTI REFERENTNIH RASTVORA ETANOLA U VODI U DMDM	172
Luka Gažević, Katarina Banjanac, Anita Saltirov i Jelena Bebić (DMDM, Beograd): USPOSTAVLJANJE METODE ZA ZAKONSKU METROLOŠKU KONTROLU ANALIZATORA ZA MERENJE SADRŽAJA PROTEINA U ŽITU U DMDM	181
Dr Mladen Mirić, Biljana Arsić (DMDM, Beograd): HEMOMETRIJA KAO ORUĐE U PROCESU PROIZVODNJE U METALURGIJI	189



## ETALONIRANJE ULTRAZVUČNIH ANEMOMETARA

Predrag Kolarž, Bojan Turundžilović, Aleksandra Nenadić, Predrag Petković, Goran Kalanj

Ključne reči: Brzina strujanja vazduha, ultrazvučni anemometar, vetar, etaloniranje.

### KRATAK SADRŽAJ

U radu je dat opis merne opreme, procedure etaloniranja i proračuna merne nesigurnosti pri etaloniranju ultrazvučnih anemometara u aero-dinamičkom tunelu Republičkog hidrometeorološkog zavoda (RHMZ). Uputstvo za etaloniranje je rađeno prema standardu ISO 16622:2002 [1]. Za proces etaloniranja su izrađeni specijalni ugaoni nosači ultrazvučnih merila sa daljinskom kontrolom kao i diodni obeležavači pravca radi orijentacije pravca. Proširene merne nesigurnosti merenja brzine i pravca strujanja vazduha ultrazvučnog merila pri zadatoj brzini strujanja vazduha od  $10 \text{ ms}^{-1}$  su iznosile:  $0,092 \text{ ms}^{-1}$  and  $1^{\circ}1'$ .

### CALIBRATION OF ULTRASONIC ANEMOMETERS

Keywords: air flow velocity, ultrasonic anemometer, wind, calibration.

### ABSTRACT

The paper presents a description of the measuring equipment, procedure for calibration and calculation of the measuring uncertainty of the calibration of ultrasonic anemometers in the wind tunnel of the Republic Hydrometeorological Service of Serbia (RHMSS). The instructions for calibration were done according to ISO 16622:2002 [1] standard. For the calibration process, special angular carrier for ultrasonic anemometers with remote control have been made, as well as diode pointers for direction orientation. The extended measurement of the uncertainty of the speed and direction of the wind at a given air flow velocity of  $10 \text{ ms}^{-1}$  were:  $0,092 \text{ ms}^{-1}$  and  $1^{\circ}1'$ .

## UVOD

Ultrazvučni anemometri mere vreme potrebno da ultrazvučni puls stigne od severnog do južnog pretvarača i porede ga sa vremenom potrebnim da puls stigne od južnog do severnog pretvarača. Isto tako se porede vremena za istočni i zapadni, kao i zapadni i istočni pretvarač i korz razliku merenih vremena određuju brzinu i intenzitet strujanja vazduha. Ultrazvučni anemometri nemaju pokretne delove pa su izdržljivi i lakše ih je održavati od ostalih vrsta anemometara. Iako je princip rada instrumenta veoma dobar, on je relativno nepouzdan tokom kišovitoog vremena, kada voda na senzoru menja dužinu puta zvučnog signala, pa samim tim i tačnost merenja. Zato postoje različite konstrukcije ovih instrumenata, svaka sa svojim prednostima i manama (Slika 1). Obrada zvučnog signala zahteva kompleksnu elektroniku, koju moderna tehnologija čipova može da obezbedi, što ove instrumente čini relativno skupim. Takođe, podložni su izobličenju merenja zbog glave sonde koja utiče na tok fluksa, vertikalne brzine i jače horizontalne udare strujanja vazduha. Glave pretvarača mogu uticati na rezultate merenja pogotovo kod ultrazvučnih anemometara sa 4 pretvarača kada ometaju merenje strujanja vazduha koji je u ravni sa jednim od parova pretvarača. Korekcije ovih anomalija se dobijaju etaloniranjem, a ispravke unose i softverski koriguju rezultat.

Brzina prostiranja zvučnih talasa kroz vazduh je određena njegovom gustinom  $c$  i uzdužnim ( $v_d$ ) i upravnim ( $v_n$ ) komponentama strujanja vazduha. Vreme prelaska zvčnih talasa između dve tačke tj. dva pretvarača (transducer) na rastojanju ( $d$ ) je:

$$t_{\pm} = \frac{d}{\sqrt{c^2 - v_n^2 \pm v_d}}$$



Slika 1. Ultrazvučni anemometri sa dve i tri (desni) ose merenja.

Na osnovu razlike inverznog vremena prelaska akustičnog talasnog fronta između pretvarača + i pretvarača - ( $t_+$ ) i između pretvarača - i pretvarača + ( $t_-$ ) izračunava se komponenta uzdužne brzine  $v_d$ :

$$v_d = \frac{d}{2} \left[ \frac{1}{t_+} - \frac{1}{t_-} \right]$$

Trodimenzioni anemometar se sastoji od tri ne planarna merna puta što omogućava merenja  $v_{d1}$ ,  $v_{d2}$ ,  $v_{d3}$  iz kojih se vektor strujanja vazduha može prevesti u bilo koji koordinatni sistem.

## METODA ETALONIRANJA

### Instrumentacija

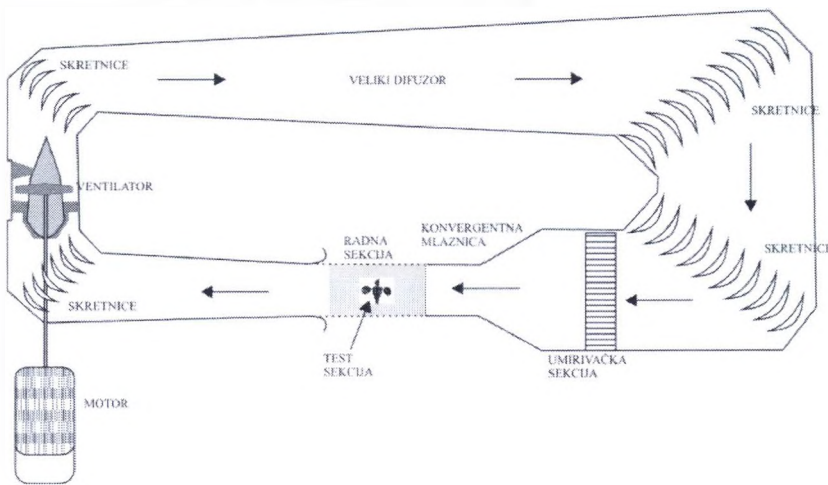
Aero-dinamički tunel služi da bi se uspostavilo stabilno i kontrolisano strujanje vazduha. U meteorološkoj laboratoriji RHMZ se koristi aero-dinamički tunel kružnog tipa sa polu-otvorenom test sekcijom (Slika 2) za podzvučne brzine u kom je moguće ostvariti brzine strujanja vazduha od 0 do 50  $\text{ms}^{-1}$ .

Poprečni presek test sekcije je elipsa sa polu-osama 300 mm i 400 mm, a dužina radnog dela-test sekcije je 1200 mm.

Kao etalonski anemometar koristi se elektronski digitalni diferencijalni mikromanometar "ManoAir 600" proizvođača Schiltknecht Messtechnik AG sa pratećim softverom.



## AERO-DINAMIČKI TUNEL

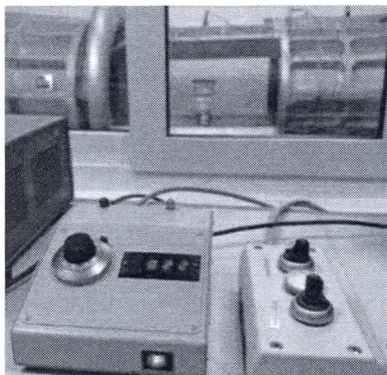


Slika 2. Shema aero-dinamičkog tunela.

digitalnog pokazivača (Slika 4). Dodatna provera ugla se može vršiti direktno pomoću uglomera koji je pričvršćen za nosač. Ugaoni nosač se pričvršćuje tako da je metalna ploča na koju se fiksira diodni pokazivač okrenuta normalno na pravac uzdužne ose tunela (Slika 5). Da bi rotirajući nosač sa merilom bio pravilno postavljen vrši se provera orijentacije nosača i orijentacije merila posebno.

Provera orijentacije nosača anemometara sa ugaonom podelom se vrši postavljanjem magneta diodnog pokazivača na donji deo nosača (metalnu ploču) gde diodni snop treba da se poklopi sa markerom koji se nalazi na donjem uzdužnom nosaču tunela (Slika 5).

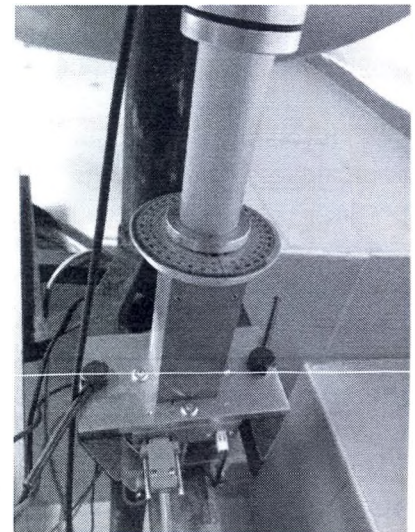
Geometrijska provera orijentacije ultrazvučnog merila se vrši takođe diodnim pokazivačem, koji se pomoću magneta fiksira na metalnu pločicu koja je pričvršćena na gornju stranicu test sekcije i orijentiše po uzdužnim graduisanim trakama. Uzdužni snop treba da se poklopi sa markerom za orijentaciju severa koji se nalazi na većini ultrazvučnih merila (Slika 5). Osim geometrijske provere usmerenosti merila vrši se i eksperimentalna provera pokazivanja pravca strujanja vazduha pri brzini od  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Ukoliko se pokazivanje pravca strujanja vazduha merila razlikuje od nula stepeni



Slika 4. Sekcija za daljinsko upravljanje promene ugla merila.

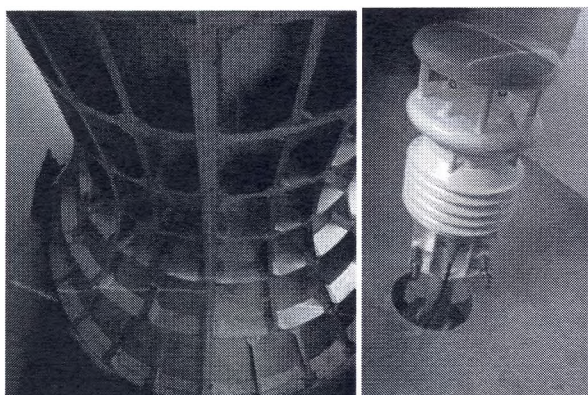
potrebno je ispitati uzrok i ako je moguće otkloniti ga. Ukoliko to nije moguće, u izveštaj se stavlja napomena da uređaj pravi sistematsku grešku prilikom određivanja pravca strujanja vazduha sa podatkom o veličini otklona pravog pokazivanja u odnosu na oznaku nultog stepena. Po utvrđivanju nulte orijentacije merila pri brzini od  $10 \text{ ms}^{-1}$ , daljinski se zadaje ugaon od npr.  $60^\circ$  i proverava na uglomeru nosača (Slika 3). Odstupanje brzine  $U_a$  i pravca  $\Omega_a$  strujanja strujanja vazduha merila u odnosu na stvarnu brzinu  $U_e$  i pravac  $\Omega_e$  strujanja vazduha se meri promenom položaja merila u odnosu na diskretne vrednosti brzine strujanja vazduha. Ultrazvučno merilo se rotira za  $360^\circ$  u koracima od po najmanje  $(22,5 \pm 1)^\circ$  tj. u 16 tačaka po brzini (80 ukupno), a najviše  $(5 \pm 1)^\circ$ , tj. u 72 tačke po brzini (360 ukupno), u zavisnosti od želje korisnika. Etaloniranje na 72 tačke je proizvođača radi izlaska na tržište (Factory Acceptance Test, FAT), za šta je i standard ISO 16622:2002

Procedura etaloniranja se zasniva na standardu ISO 16622:2002 [1] i adaptirana je potrebama i mogućnostima Meteorološke laboratorije RHMZ. U test sekciju tunela se postavlja ugaoni nosač merila koji je specijalno izrađen za etaloniranje ultrazvučnih anemometara sa graduisanom ugaonom podelom na  $360^\circ$  oko koje može da se rotira u vertikalnoj osi (Slika 3). Kontrola i očitavanje ugla se vrši daljinski iz komandne sobe obrtanjem potencijometra i očitavanjem sa



Slika 3. Daljinsko upravljanje ugaonog nosača i frekventnog regulatora brzine strujanja vazduha.





Slika 5. Provera usmerenosti nosača sa ugaonom podelom i orijentacije ultrazvučnog merila.

brzini strujanja vazduha vrši se horizontalna rotacija merila pomoću rotirajućeg nosača za definisani ugao i ponavlja procedura akvizicije i usrednjavanja. Po završenom rotiranju merila povećava se brzina strujanja vazduha. Test pravca se vrši na najmanje 5 brzina na celom opsegu rada tunela od  $U_{min}$  do  $U_{max}$ . Raspodela brzina treba da je ekvidistantna na logaritamskoj skali u odnosu na  $U_{max}$ . Na primer: 2,5%, 5%, 10%, 18%, 32%, 56%, 100% u odnosu na  $U_{max}$  (ukoliko je maksimalna brzina merila jednaka ili veća od maksimalne brzine strujanja vazduha u tunelu onda se meri na sledećim brzinama:  $1 \text{ ms}^{-1}$ ,  $2 \text{ ms}^{-1}$ ,  $4 \text{ ms}^{-1}$ ,  $7.2 \text{ ms}^{-1}$ ,  $12.8 \text{ ms}^{-1}$ ,  $22.4 \text{ ms}^{-1}$ ,  $40 \text{ ms}^{-1}$ ). Devijacije zadatih brzina strujanja vazduha treba da budu unutar 10% u odnosu na željene vrednosti. Dobijene vrednosti se analiziraju u odnosu na orijentaciju. Uobičajeno je da najbolja i najlošija orijentacija ne zavise od brzine nego od položaja ultrazvučnog merila.

#### *Određivanje funkcije transfera brzine i pravca strujanja vazduha*

Funkcija transfera ( $U_e = a + bU_a + \dots$ ) se može aproksimirati kao linearna veza za određene opsege primene i dizajne ultrazvučnih anemometara. Veličine  $a$  i  $b$  se određuju metodom linearne regresije, dok je  $U_a$  zadata brzina vetra. Za linearnu vezu konstanta  $a$  se naziva ofset tj. pomeraj nule (nije isto što i prag brzine) i izražava u  $\text{ms}^{-1}$ , dok je konstanta  $b$  koeficijent regresije koji određuje nagib regresione prave. Konstante  $a$  i  $b$  se određuju merenjima u tunelu za svaki tip ultrazvučnog anemometra.

Određivanje funkcije transfera pokazivanja pravca strujanja vazduha ( $\Omega_e = a + b\Omega_a + \dots$ ). Veličine  $a$  i  $b$  se određuju metodom linearne regresije, dok je  $\Omega_e$  zadati pravac vetra u odnosu na merilo. Za linearnu vezu konstanta  $a$  se naziva ofset tj. pomeraj nule i izražava u stepenima ( $^\circ$ ), dok je konstanta  $b$  koeficijent regresije koji određuje nagib regresione prave. Ako je  $\Omega_e$  izlazni signal, onda je  $b$  konstanta koja predstavlja pravac vetra. Konstante  $a$  i  $b$  se određuju merenjima u tunelu za svaki tip ultrazvučnog anemometra.

#### *Promena brzine strujanja vazduha pri najboljim i najlošijim orijentacijama instrumenta (metoda verifikacije)*

Odstupanje u odnosu na pravu brzinu strujanja vazduha se meri promenom brzine strujanja vazduha pri najboljem i najlošijem položaju anemometra (u dve tačke). Ukoliko se pojave višestruka odstupanja pri najboljoj i nalošijoj orijentaciji anemometra za različite brzine strujanja vazduha, potrebno je izvršiti kompletno skeniranje za različite orijentacije i to u minimalnom trajanju od po 30 s za svaku tačku. U ovom slučaju je potrebno izvršiti merenja na 10 različitih brzina strujanja vazduha ekvidistantnih u odnosu na logaritamsku skalu. Preporučene brzine su 2%, 3%, 5%, 7%, 11%, 18%, 27%, 42%, 65%, 100% u odnosu na  $U_{max}$ .

[1] namenjen. Merenje u 16 tačaka pokriva sve bitne uglove za ultrazvučne anemometre sa 2, 3 ili 4 pretvarača, obzirom da najčešće greške merenja ovakvih instrumenata nastaju kada je strujanje vazduha u pravcu uzdužne ose dva pretvarača. Kada se brzina strujanja vazduha u tunelu stabilizuje (za oko 30 – 50 s) vrši se akvizicija izlaznog signala etalona i merila tokom definisanog vremenskog intervala u trajanju od 30 s ili duže. Po završenom merenju se vrši usrednjavanje podataka brzine strujanja vazduha i pokazivanja pravca strujanja vazduha u cilju dobijanja intervala poverenja za svaku tačku. Pri svakoj zadatoj



Tokom postupka etaloniranja simultano se mere ambijentalni uslovi: atmosferski pritisak, temperatura i relativna vlažnost vazduha a dobijene se vrednosti unose u proračun merne nesigurnosti kao i u Zapisnik o etaloniranju.

#### *Proračun merne nesigurnost ultrazvučnih merila*

Proračun merne nesigurnost ultrazvučnog merila je rađen korišćenjem referentne literature [2], [3] i [4]. Proširena merna nesigurnost ultrazvučnog merila koje se etalonira ( $U_{CAL}$ ) se dobija pomoću:

$$U_{CAL} = \sqrt{u_v^2 + u_{int}^2 + u_{lr}^2 + u_{VO}^2}$$

$u_v$  - kombinovana merna nesigurnost referentnog merila;

$u_{int}$  – merna nesigurnost ultrazvučnog merila koje se etalonira;

$u_{lr}$  – merna nesigurnost linearne regresije;

$u_{VO}$  – merna nesigurnost nastala usled odstupanja prijemnog dela anemometra izvan vertikalnog centra ose vazdušne struje aero-dinamičkog tunela. Računa se preko strndardne devijacije brzine vazdušne struje na brzinama od 0.5 do 40.0 ms<sup>-1</sup> u centru i ±10 cm od centra test sekcije.

Proširena merna nesigurnost etaloniranja pravca ultrazvučnih anemometara  $U_{cal}$  se dobija kao koren zbira kvadrata mernih nesigurnosti: etalona  $u_0$  (nosača ultrazvučnih anemometra sa ugaonom podelom), linearne regresije  $u_{lr}$  i orijentacije severa na merilu  $u_s$ :

$$U_{cal} = \sqrt{u_0^2 + u_{lr}^2 + u_s^2}$$

### ZAKLJUČAK

Etaloniranje ultrazvučnih anemometara je značajno složenije od etaloniranja svih ostalih vrsta anemometara pra svega zato što se zajedno sa brzinom strujanja vazduha etalonira i njegov pravac i potrebno je vršiti promenu brzine strujanja vazduha pri svakoj promeni ugla. Ovo značajno povećava broj merenja, usložnjava proceduru i proračun merne nesigurnosti etaloniranja.

### LITERATURA

- [1] ISO 16622: Meteorology – Sonic anemometers/thermometers – Acceptance test methods for mean wind measurements, 2002.
- [2] Coquilla, R.V., J. Obermeier, and B.R. White (2007). Anemometer Calibration Uncertainty. AWEA Windpower 2007 Podium Presentation.
- [3] ECN-C-05-066 European ACCUWIND Research Project; Uncertaines in Cup Anemometer Calibrations (Type A and Type B uncertaines) P.J.Eecen and M. De Noord, 2005.
- [4] Measnet Cup Anemometer Calibration Uncertainty, Version 1 September 1997.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

006.91(082)

**КОНГРЕС метролога (13 ; 2019 ; Шабац)**

Zbornik radova / [13.] Kongres metrologa 2019, [Šabac, 23-25. oktobra] 2019. - Novi Sad :  
Fakultet tehničkih nauka, 2019 (Novi Sad : FTN, Grafički centar GRID). - 193 str. : ilustr. ; 30  
cm

Ćir i lat. - Tiraž 60. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezime na engl. jeziku uz svaki rad.

ISBN 978-86-6022-220-8

a) Метрологија - Зборници

COBISS.SR-ID 331228423