

# ETALONIRANJE BALOMETARA

Bojan Turundžilović, Aleksandra Nenadić, Predrag Kolarž

Ključne reči: protok vazduha, balometar, brzina strujanja vazduha, HVAC (Heating – Ventilation – Air Conditioning), ventilacija

## KRATAK SADRŽAJ

U radu je dat opis merne opreme, procedure etaloniranja i procene merne nesigurnosti pri etaloniranju balometara u aero-dinamičkom tunelu Republičkog hidrometeorološkog zavoda (RHMZ). Uputstvo za etaloniranje balometara je zasnovano na ISO 3966:2020 i BSRIA BG 49/2015. Vršiti se metodom direktnog poredjenja sa etalomom za merenje referentnog zapreminskog protoka. Za proces etaloniranja je radna sekcija aero-dinamičkog tunela prilagođena tako da sav vazduh koji prolazi kroz tunel bude usmeren kroz kanal koji odgovara obliku i poprečnom preseku balometra koji se etalonira. Na taj način se simulira protok vazduha kroz HVAC sisteme. Proširena merna nesigurnost etaloniranja balometara pri zapreminskom protoku od  $1482 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  je iznosila  $8,355 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ .

## BALOMETER CALIBRATION

Bojan Turundžilović, Aleksandra Nenadić, Predrag Kolarž

Key words: air flow, balometer, air velocity, HVAC (Heating – Ventilation – Air Conditioning), ventilation

## ABSTRACT

The paper describes measuring equipment, calibration procedures and estimation of measurement uncertainty during calibration of balometers in the aerodynamic tunnel of the Republic Hydrometeorological Service of Republic of Serbia (RHMS). The balometer calibration guide is based on ISO 3966: 2020 and BSRIA BG 49/2015. It is performed by the method of direct comparison with the standard for measuring the reference volumetric flow. For the calibration process, the working part of the wind tunnel is adjusted so that all the air passing through the tunnel is directed through a channel that corresponds to the shape and cross section of calibrated balometer. In this way, the air flow through HVAC systems is simulated. The extended measurement uncertainty of the balometer calibration at a volumetric flow rate of  $1482 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  was  $8.355 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ .

## UVOD

Balometar je uređaj koji meri izlazni/ulazni zapreminski protok vazduha u ventilacionim sistemima. Pomoću haube (hood) se prihvata i integralno meri zapreminski protok vazduha na izlazu/izlazu ventilacionih sistema (HVAC) na mestima difuzora ili rešetki (Slika 1). „Balometar“ je zapravo pojam koji je kompanija Alnor Instrument Co. USA, osmislila 1983. godine i koji je danas postao sinonim za „merenje zapreminskog protoka vazduha sa haubom“. Pre pronalaska ove tehnologije, ovakva vrsta merenja su vršena pomoću turbinskog anemometra u kombinaciji sa difuzorom. Takva princip merenja je bio problematičan zbog različitih oblika i protoka rešetaka, kao i difuzora. Hauba za prihvatanje vazduha iz HVAC sistema omogućava korisniku da mnogo lakše, brže i preciznije vrši merenja jer koristi jednostepeno direktno merenje zapremine za koje nisu potrebni faktori površine.

Balometri mogu biti analogni i digitalni kao i jednostrani i dvostrani (automatski određuju da li je vazduh izlazni ili ulazni), dok prikaz rezultata može biti analogni i digitalni. Analognim balometrima nije potrebno napajanje. Senzori koji se koriste u balometrima su uglavnom senzori pritiska (niz „Pitot“-ovih ili „Prandtl“-ovih cevi). Balometri koji koriste senzore pritiska su malo praktičniji pošto daju i podatak o pritisku.



Slika 1. Balometar i način kako se koristi pri merenju zapreminskog protoka vazduha iz ventilacionih sistema.

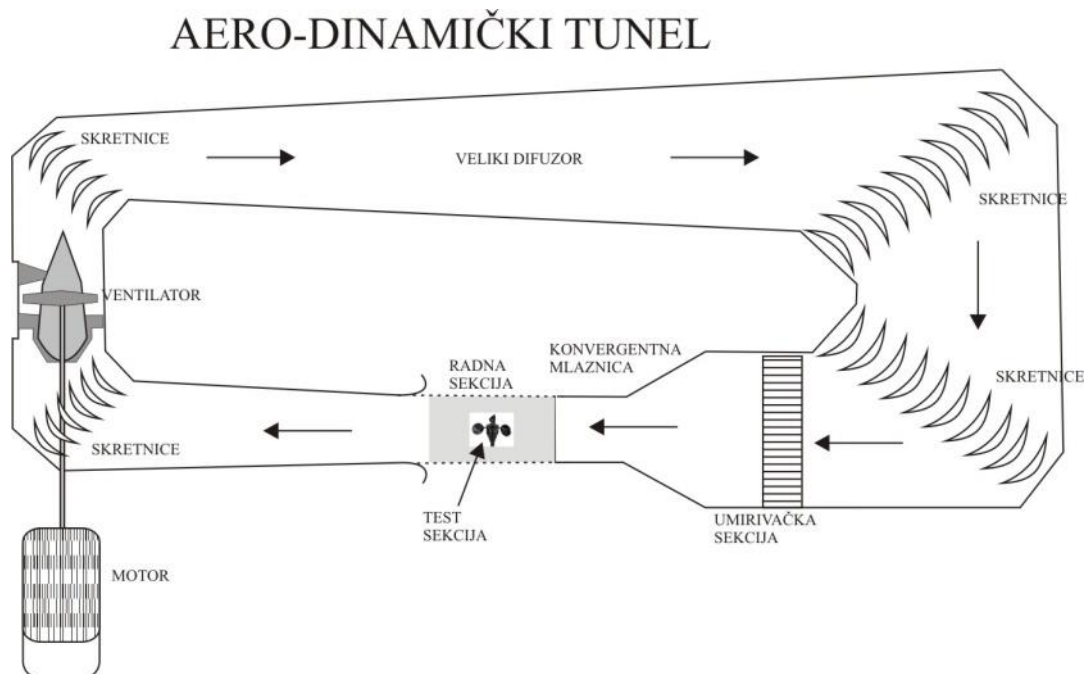
Balometri mere integralni zapreminski protok vazduha po celom poprečnom preseku ventilacionih cevi i daju direktno vrednost u zapreminskom protoku izraženu u  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ,  $\text{ls}^{-1}$  или  $\text{cm}^3\text{s}^{-1}$  sa uobičajenom tačnošću od  $\pm 3\%$  očitane vrednosti, a raspon merenja je od  $25 \text{ ls}^{-1}$  do  $950 \text{ ls}^{-1}$ .

## METODA ETALONIRANJA

Ova metoda etaloniranja balometara je razvijena u Laboratoriji za instrumente i metode osmatranja Seveznog hidrometeorološkog zavoda krajem devedesetih godina prošlog veka. Tada se etaloniranje balometara vršilo u sklopu neakreditovane metode i smatralo se kontrolnim merenjima i proverom tehničke ispravnosti balometara. S obzirom da su se u Republici Srbiji duži niz godina balometri etalonirali samo preko dinamičkog pritiska tj. samo njihov pokazivač, a da hauba i konfuzor merila nisu bili uključeni u postupak etaloniranja, u Meteorološkoj laboratoriji RHMZ se došlo do zaključka da bi staru metodu trebalo prilagoditi zahtevima važećih domaćih i međunarodnih standarda, prilagoditi postojeću instrumentaciju i razviti, validovati i akreditovati metodu za etaloniranje balometara u uslovima u kojima merilo inače radi. Tokom 2020. godine je izvršena dopuna postojeće metode koja je uspešno validovana i akreditovana od strane Akreditacionog tela Srbije (ATS) u opsegu merenja od  $275 \text{ m}^3/\text{h}$  do  $4000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ovakav princip etaloniranja balometra nije razvijen i ne primenjuje se na širem području Jugoistočne i Centralne Evrope, čime je Meteorološka laboratorija RHMZ jedna od retkih laboratorija koje koriste realan izvor zapreminskog protoka prilikom etaloniranja balometara. Po ovakvom i/ili sličnom principu etaloniranja postoji manji broj akreditovanih laboratorija na području Zapadne Evrope.

## Instrumentacija

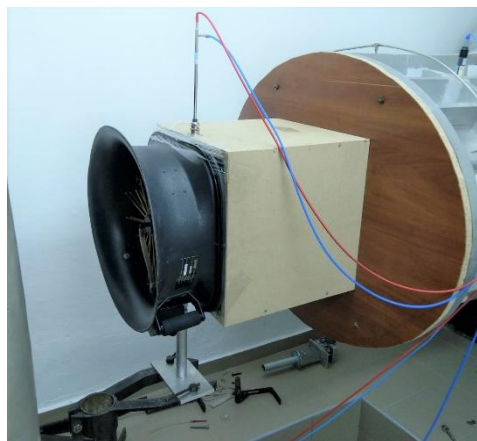
Aero-dinamički tunel služi da bi se uspostavilo stabilno i kontrolisano strujanje vazduha. U meteorološkoj laboratoriji RHMZ se koristi aero-dinamički tunel kružnog tipa sa polu-otvorenom test sekcijom (Slika 2) za podzvučne brzine u kom je moguće ostvariti brzine strujanja vazduha od  $0 \text{ ms}^{-1}$  do  $55 \text{ ms}^{-1}$ .



Slika 2. Shema aero-dinamičkog tunela.

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 (referentni) merači zapreminskog protoka vazduha koriste se elektronski digitalni mikromanometri "ManoAir 500" i "ManoAir 600" proizvođača Schiltknecht Messtechnik AG sa pratećim softverom. Ovim mikromanometrima se meri diferencijalni pritisak vazduha, koji uređaji sami preračunavaju u zapreminski protok za unapred zadatu površinu balometra.



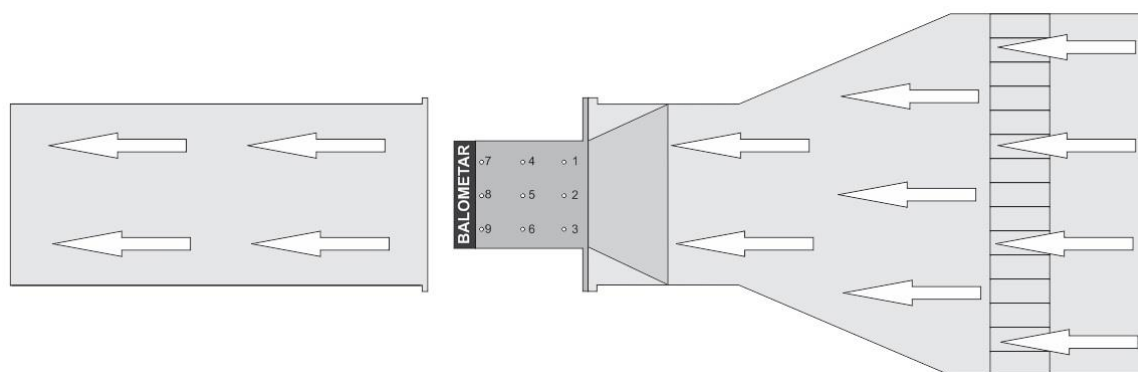
Slika 3. Modifikovana test sekcija za potrebe etaloniranja balometara.

## Procedura etaloniranja

Procedura etaloniranja je definisana preko uputstva za etaloniranje koje je zasnovano na međunarodnim standardima [1] i [2]. Za potrebe etaloniranja balometara, radni deo test sekcije je modifikovan tako da sav vazduh koji prolazi kroz tunel bude usmeren kroz kanal koji odgovara obliku i poprečnom preseku balometra koji se etalonira (Slika 3). Na kraju kanala je tesno pričvršćen balometar, tako da sav vazduh iz kanala prolazi kroz merilo. S obzirom da je kanal manje površine od površine poprečnog preseka tunela (600 mm × 800 mm), napravljeni su posebni usmerivači struje vazduha sličnog oblika kao i hauba kod balometara (Slika 4). Ti usmerivači svode na minimum turbulencije vazduha u sistemu kanala, čineći strujanje vazduha homogenim. Na taj način je omogućeno direktno poređenje očitavanja referentnog zapreminskog protoka vazduha kroz kanal, sa zapreminskim protokom očitanim na balometru.

Za potrebe etaloniranja balometara čiji je poprečni presek drugačiji od standardnog (iako postoji mali broj proizvođača i svi su slični), pravi se odgovarajući kanal sa blendom ili se adaptira postojeći.

Pre početka etaloniranja uveriti se da balometar koji se etalonira pokazuje 0 m<sup>3</sup>/h tj. da je podešen na tu vrednost. Etaloniranje balometara se vrši za zapreminske protoke koje je propisao proizvođač (najčešće od 50 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> do 4000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>, zapreminski protok za npr. "Testo 450" od 50 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> do 4000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>/ 30 cfm to



Slika 4. Shematski prikaz usmeravanja vazdušne struje kroz kanal, pa kroz konfuzor merila u modifikovanom radnom delu aero-dinamičkog tunela

2350 cfm / 11 l/s to 1100 l/s, a u skladu sa važećim opsegom iz obima akreditacije).

U opsegu linearnog rada balometra vrši se 5 merenja u odnosu na maksimalni zapreminski protok balometra  $Q_{\max}$  definisan od strane proizvođača i to na  $0,2 \times Q_{\max}$ ,  $0,4 \times Q_{\max}$ ,  $0,6 \times Q_{\max}$ ,  $0,8 \times V_{\max}$ ,  $Q_{\max}$ .

### Postupak merenja

Pomoću helipota na frekventnom regulatoru se podešava zapreminski protok vazduha tako da iznosi približno  $0,2 \times Q_{\max}$ . Kada se zapremisnki protok stabilizuje (za oko 30 s – 50 s) meri se izlazni signal zapreminskog protoka balometra tokom definisanog vremenskog intervala između 30 s i 100 s. Zapreminski protok se smatra stabilnim ako u dva sukcesivna očitavanja brzine strujanja vazduha etalonom u vremenskom razmaku od 30 sekundi vrednosti variraju  $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Prikupljanje podataka sa merila se vrši očitavanjem/semplovanjem kod digitalnih instrumenata tj. indikatora. Beleži se izmereni zapreminski protok vazduha očitano na etalonu i pokazivanje indikatora balometra FM (merila) i zapisuju se u radnu listu. U slučaju da se podaci vizuelno očitavaju vrši se minimalno 10 očitavanja u intervalu od 60 sekundi. Očitavanje se vrši u jednakim vremenskim intervalima. Zapreminski protok se povećava na  $0,4 \times Q_{\max}$  i očitano merenje se beleži. Isti postupak se ponavlja za vrednosti  $0,6 \times Q_{\max}$ ,  $0,8 \times Q_{\max}$ ,  $Q_{\max}$  i pri nultom zapreminskom protoku vazduha se proverava histerezis tj. da li se zapreminski protok očitano na balometru vratio na nulu.

Tokom postupka etaloniranja prate se ambijentalni uslovi: atmosferskog pritiska, temperature i vlažnosti vazduha, čije se vrednosti unose u Zapisnik o etaloniranju. Uređaj „ManoAir 500“, „ManoAir

600“ vrši očitavanje u digitalnom obliku. Proračun merne nesigurnosti vrši se prema Uputstvu za proračun merne nesigurnosti balometara.

Određivanje funkcije transfera ( $Q_R = a + b \times Q_M + \dots$ ) vrši se očitavanjem zapreminskog protoka merila u njegovom radnom opsegu u test sekciji tunela. Veličine  $a$  i  $b$  se određuju metodom linearne regresije, tako da je  $Q_R$  zadati zapreminski protok vazduha meren etalomom, dok je  $Q_M$  zapreminski protok očitavan na pokazivaču balometra. Treba naglasiti da nula ofseta nije isti parametar kao prag brzine tj. zapreminskog protoka. Konstante  $a$  i  $b$  se određuju merenjima u aero-dinamičkom tunelu za svaki tip balometra. Transfer funkcija se može aproksimirati kao linearna veza za određene opsege primene i dizajne balometara.

### *Proračun merne nesigurnosti etaloniranja balometara*

Ukupna proširena merna nesigurnost balometra koji se etalonira  $U_{CAL}$  iznosi:

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

gde je:

$u_v$  - kombinovana merna nesigurnost referentnog merila;

$u_{iut}$  – merna nesigurnost balometra koji se etalonira;

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

$$u_{iut} = \sqrt{B_{iut}^2 + (t \cdot S_{iut})^2}$$

$B_{iut}$  – nesigurnost vezana za najmanju značajnu cifru kod digitalnih balometara;

$S_{iut}$  – statistička nesigurnost očitavanja izlaznog signala etaloniranog balometra vezana za standardnu devijaciju izlaznog signala u toku očitavanja tj. akvizicije;

$t$  – factor obuhvata,  $t=1,96$  za 95% interval poverenja izlaznog signala merila u toku očitavanja podataka.

$$u_{lr} = \sqrt{u_a^2 + u_b^2}$$

$u_a$  – merna nesigurnost koficijenta linearne regresije,

$u_b$  – merna nesigurnost ofseta (odsečka na y-osi).

$$U_{CAL} = \sqrt{u_v^2 + B_{iut}^2 + (t \cdot S_{iut})^2 + (u_a^2 + u_b^2)}$$

Proširena merna nesigurnost balometra iz primera, proizvođača TSI Alnor, USA, model: 8375/8710, pri zapreminskom protoku vazduha od  $1482 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  iznosi  $8,355 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ .

## ZAKLJUČAK

Sa novim tehničkim zahtevima u građevinarstvu i imajući u vidu porast broja zgrada sa centralnim ventilacionim sistemima, raste i potreba za preciznim i tačnim merenjima zapreminskog protoka vazduha, a radi praćenja njegove razmene u svakoj prostoriji posebno. Novim tehničkim zahtevima su izvođači radova, a kasnije i vlasnici objekata, obavezani da povremeno vrše provere razmene vazduha putem HVAC sistema čime je omogućeno da raste i broj laboratorija za ispitivanje, koje vrše preovere HVAC sistema balometrima, koje je na kraju mernog lanca potrebno etalonirati u uslovima u kojima ta vrsta merila i radi. Procedura etaloniranja balometara se značajno razlikuje od procedura etaloniranja meteoroloških merila, najpre zato što je zapreminski protok izvedena veličina i potrebno je prihvatiti i usmeriti sav vazduh koji izlazi iz aero-dinamičkog tunela bez stvaranja turbulencija koje ometaju merenja. Izradom potrebnih usmerivača i prilagođavanjem postojeće merno-kalibracione opreme, nivo turbulencije je u ovom sistemu sveden na minimum i veoma sličnih je karakteristika kao uređaji koji su namenski napravljeni za etaloniranje balometara (Volume Flow Test Bench).

Želimo da naglasimo da se etaloniranjem balometara na nivou Evrope bavi izuzetno mali broj laboratorija za etaloniranje i upravo zbog složenosti prilagođavanja aero-dinamičkog tunela, kao i same

procedure etaloniranja, ova metoda etaloniranja je dodatno jedinstvena i Republiku Srbiju stavlja u red država sa dobrom praksom u polju metrologije i u kojoj se uspešno etaloniraju specifična merila.

## ZAHVALNOST

Zahvaljujemo se rukovodstvu RHMZ na prihvatanju ideje da se modifikuje i dopuni ranije razvijena metoda, kompaniji IMI International d.o.o. iz Beograda na ustupanju balometra koji smo koristili za ispitna merenja, validaciju metode i međulaboratorijsko poređenje sa partnerskom laboratorijom iz Švajcarske Konfederacije, kao i dr Đorđu Čantraku, profesoru Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na korisnim sugestijama i saradnji.

## LITERATURA

- [1] ISO 3966:2020, Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes.
- [2] BSRIA, Commissioning air systems, BG 49/2015, C. Parsloe.