

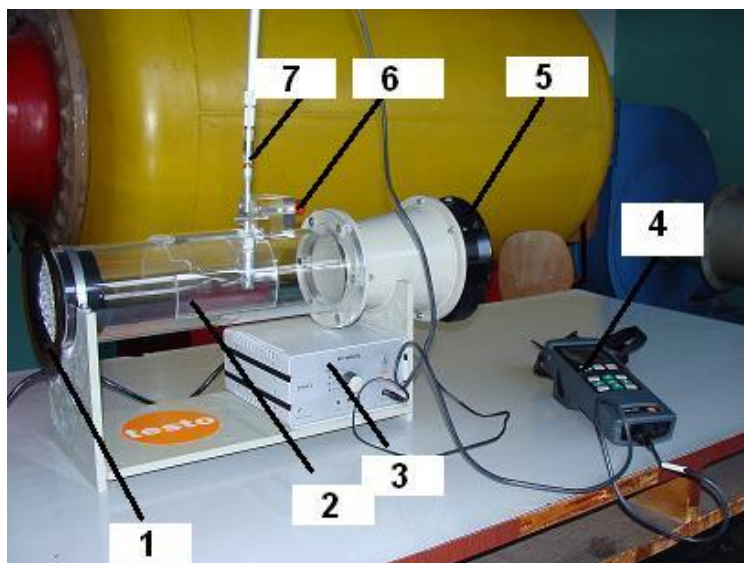
ИНТЕРНО ЕТАЛОНИРАЊЕ (КАЛИБРАЦИЈА) МЕРИЛА БРЗИНЕ СТРУЈАЊА ФЛУИДА

Интерно еталонирање (калибрација) мерила брзине струјања флуида (анемометара) изводи се на аеротунелу, произвођача Testo, СР Немачка (тип 0554.0450).

1. Техничке карактеристике аеротунела

Аеротунел (Слика 1.) представља аеротунел отвореног типа са усисном еталон секцијом. Радна машина аеротунела је аксијални вентилатор. Техничке карактеристике уређаја су:

- максимална дужина	0,61 m
- пречник	0,11 m
- напајање	50/60 Hz, 230 V - 0,2 A; 115 V - 0,4 A; снага: око 50 W
- могућности подешавања брзине еталонирања	2,5 m/s / 5 m/s / 10 m/s
- тачност	$\pm 1 \%$, мин. $\pm 0,1$ m/s
- радни услови	у затвореном простору, при 5 до 40° C; макс. рел. влажност 80 % при 31° C, до макс. 50 % при 40° C.



Слика 1. Аеротунел: 1 - уводник са исправљачем струје, 2 - покретни поклопац од плексигласа, 3 - погонска група, 4 – мерни (мултифункционални) уређај Testo 400, 5-радна машина (аксијални вентилатор), 6 - држач сонде, 7 - сонда.

На Слици 1. приказан је и мултифункционални уређај Testo 400, на који се прикључују сонде које се калибришу у оквиру овог аеротунела и који поседује свој калибрациони сертификат.

Уколико се на овај уређај прикључи Пито-статичка сонда, произвођача Testo, преко диференцијалног давача притиска типа 06381445, фактор сонде је је 1 и не мења се.

2. Поступак интерног еталонирања (калибрације) мерила брзине

Аеротунел би требало да се налази на стабилном постољу. Пре почетка еталонирања потребно је проверити да на усису и потису аеротунела нема ниједна препрека на растојању од најмање 1 m. Чишћење аеротунела се обавља меканим крпама како се не би оштетила радна секција израђена од клирита.

После прикључивања кабла за напајање уређаја, укључује се главни прекидач који се налази на задњој страни аеротунела, односно погонске групе (Слика 2.).

Пре почетка еталонирања аеротунел би требало да се укључи и пусти да ради, да се загрева, минимално 15 min при брзини од 10 m/s. Жељена брзина еталонирања се подешава помоћу преклопника на погонској групи (Слика 3.).



Слика 2. Задња страна аеротунела.

Центар сонде тј. анемометра треба да буде постављен тачно у центар, односно осу аеротунела (Слика 3.). Подешавање се врши према хоризонталним маркерима на спољашњем зиду аеротунела. Приликом постављања сонде, водити рачуна и о смеру наструјавања. После позиционирања, затворити покретни поклопац од плексигласа.



Слика 3. Позиционирање сонде у аеротунелу: 1 - оса сонде и аеротунела, 2 - маркер на зиду аеротунела.

3. Мерна несигурност

3.1. Следивост референтних еталона

При интерном еталонирању анемометара, у аеротунелу референтни еталон је анемометарска сонда са крилцима пречника 16mm, тип 0635.9540, за коју постоји калибрациони сертификат о њеном еталонирању (Kalibrierlabor Testo Kirchzarten, СР Немачка).

Да би се обезбедила поузданост у вредности које остварују референтни еталони, њихово еталонирање мора се понављати периодично (1 година).

3.2. Поступак за процену мерне несигурности

Прво се подеси жељена брзина струјања флуида у аеротунелу. Изврши се читавање у трајању од 60s и израчуна се средња вредност. Већи број мерења повећава мерну сигурност.

Потом се за термалне сонде (анемометре) изабере фактор корекције K1 из Табеле 1 (Слика 3.). За све остале сонде узима се корекциони фактор K2 корекције геометрије из Табеле 2 (Слика 3.).

Tables

Tables

Table 1: Dependency of reading on absolute pressure for thermal probes

Elevation	Mean air pressure (hPa)	Correction factor 1	Elevation	Mean air pressure (hPa)	Correction factor 1
0	1013	1	1350	861	1.177
50	1007	1.006	1400	856	1.184
100	1001	1.012	1400	856	1.184
150	995	1.018	1500	846	1.198
200	989	1.025	1550	840	1.206
250	983	1.031	1600	835	1.213
300	977	1.037	1650	830	1.221
350	972	1.043	1700	825	1.228
400	966	1.049	1750	820	1.236
450	960	1.055	1800	815	1.244
500	955	1.061	1850	810	1.251
550	949	1.068	1900	805	1.259
600	943	1.074	1950	800	1.267
650	938	1.081	2000	795	1.275
700	932	1.087	2050	790	1.283
750	926	1.094	2100	785	1.291
800	921	1.100	2150	780	1.299
850	915	1.107	2200	775	1.307
900	904	1.121	2250	771	1.315
1000	899	1.127	2300	766	1.323
1050	893	1.134	2350	761	1.332
1100	888	1.141	2400	756	1.340
1150	882	1.148	2450	751	1.348
1200	877	1.155	2500	747	1.357
1250	872	1.162	2550	742	1.365
1300	866	1.169			

Table 2: Correction factors specific to probes (with reference to probe geometry)

Part no.	Name	Correction factor 2
0635.1041*	Hot wire probes with telescopic handle	0.97
0635.1043*		
0635.1049*	Hot bulb probe with telescopic handle	
	at 2.5 m/s	1.08
	at 5 m/s	1.14
	at 10 m/s	1.27
0635.1549*	Hot bulb probe with handle	
	at 2.5 m/s	1.06
	at 5 m/s	1.13
	at 10 m/s	1.24
0635.9443	12 mm vane probe	1.03
0635.9540 0635.9544 0628.0005	16 mm vane probe	1.00
0635.9640	25 mm vane probe	0.98
0635.9244 0635.9344 0635.9440	60 mm vane probe	0.95
0635.1044*	Thermal probe, compact	0.97
0560.4250*	testo 425 with permanently attached thermal probe	0.97
0635.6045	High temperature vane probe	0.98
0635.1540*	Hot bulb probe with handle	
	at 2.5 m/s	0.96
	at 5 m/s	0.88
	at 10 m/s	0.88

* = Thermal probe

Слика 3. Табела 1 (корекциони фактор K1) и Табела 2 (корекциони фактор K2).

На овај начин се одређује стварна вредност мерене величине и то као: средња вредност x корекциони фактор K1 (само за термалне сонде) \times корекциони фактор K2.

Девиијација се добија као разлика жељене и стварне вредности.

Мерна несигурност еталонирања рачуна се на основу четири фактора и то:

1. тачности аеротунела,
2. тачности референтног мерила,
3. тачности калибрисане сонде,
4. корекције атмосферског притиска уколико се калибрише термална сонда.

Укупна мерна несигурност се добија као квадратни корен збира квадрата вредности четири коефицијента испред дефинисаних.

4. Извештај о калибрацији мерила брзине

Извештај о интерном еталонирању (калибрацији) мерила брзине треба да садржи: све расположиве податке о анемометру који се еталонира (серијски број, опсег, ...), измерене величине и калибрациони дијаграм са аналитичком зависношћу.

Пример: Испитивање термалне анемометарске сонде за једну вредност брзине струјања

Испитивана је анемометарска сонда са усијаном жицом (quick action hot-wire probe with telescope), произвођач Testo, тип 0635.1041. Постављена је, према процедури у аеротунел и подешена је брзина од 10 m/s. Вредности су очитаване у периоду од 60 s. Израчуната је средња вредност која износи 9,9 m/s.

Из Табеле 1 одређен је корекциони фактор K1 који износи око 1,009 за надморску висину Лабораторије. Из Табеле 2 одређен је корекциони фактор K2 за тип сонде 0635.1041 који износи 0,97. Стварна вредност је сада једнака 9,7 m/s. Девијација је 0,3 m/s.

Одређивање мерне несигурности

Мерна несигурност одређује се по тачкама дефинисаним у поглављу 3 и то:

1. Тачност аеротунела при 10m/s, према техничкој спецификацији, је 0,1m/s.
2. Тачност референтног мерила, која за сонду 0635.9540 према упутству за руковање износи $\pm(0,2 \text{ m/s} + 0,01 \times \text{тражена вредност})$. Тражена вредност овде износи 10 m/s, па је тачност референтног мерења 0,3 m/s (што одговара и калибрационом сертификату).
3. Тачност калибрисане сонде, према упутству за руковање, је $\pm(0,03 \text{ m/s} + 0,04 \times \text{очитавање})$, што даје 0,4 m/s.
4. Тачност корекције атмосферског притиска, пошто се калибрише термална сонда, износи максимално $\pm 3\%$ од очитавања, а то је 0,3 m/s.

На овај начин се добија укупна мерна несигурност:

$$u = \sqrt{0,1^2 + 0,3^2 + 0,4^2 + 0,3^2} = \pm 0,59 \text{ m/s.}$$

ЛАБОРАТОРИЈСКА ВЕЖБА: КАЛИБРАЦИЈА АНЕМОМЕТРА СА КРИЛЦИМА, ТЕРМАЛНЕ АНЕМОМЕТАРСКЕ СОНДЕ И ПИТО-СТАТИЧКЕ СОНДЕ

Потребно је израдити Извештај о калибрацији наведених сонди, помоћу калибрационог аеротунела, који ће садржати:

- скицу мерне инсталације,
- спецификацију мерне опреме,
- методологију мерења,
- табеларни приказ резултата мерења (мерене и рачунате величине, за 3 брзине),
- графички приказ калибрационе криве (применом методе најмањих квадрата одредити аналитичку зависност између еталонске и одговарајуће брзине коју показује анемометар),

- одредити укупну систематску мерну несигурност мерења брзине струјања,
- за одређени број виšekратних мерења брзине струјања коју показује одређени анемометар (мерило брзине) одредити грешку средње вредности брзине као и проширену грешку средње вредности брзине са статистичком сигурношћу од 95% (усвојити Студентову расподелу).

Degrees of freedom	Student's t	$\frac{t}{\sqrt{n}}$
$v = n - 1$	For 95 % confidence level	
1	12,706	8,984
2	4,303	2,484
3	3,182	1,591
4	2,776	1,241
5	2,571	1,050
6	2,447	0,925
7	2,365	0,836
8	2,306	0,769
9	2,262	0,715
10	2,228	0,672
11	2,201	0,635
12	2,179	0,604
13	2,160	0,577
14	2,145	0,554
15	2,131	0,533
20	2,086	0,455
30	2,042	0,367
60	2,000	0,256
∞	1,960	0