

Igor Zorić
 Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
 Bojan Ivančević
 Elekrotehnički fakultet, Zagreb

UTJECAJ NEKIH PARAMETARA PRI MJERENJU BRZINE STRUJANJA ZRAKA
 ZVUKOM

ABOUT SOME PARRAMETERS WHICH INFLUENCE THE RESULTS OF THE
 AIR-SPEED-BY-SOUD MEASUREMENTS

SADRŽAJ - Neke mjerne metode koje za brzinu strujanja zraka koriste zvuk zasnivaju svoj rad na poznavanju točne brzine zvuka kroz zrak. Kako brzina širenja zvuka kroz zrak nije stalna, već se mijenja u ovisnosti o temperaturi i relativnoj vlazi, analizirana je potreba za obavljanjem dodatnih mjerenja kojima se kontroliraju temperatura i relativna vlaga.

ABSTRACT - Some of the measuring methods which use the sound for measuring the velocity of the air flow are based primarily on knowing the exact speed of sound in air. As it has been well-known that the velocity of the propagation of sound in the air is not constant but variable, depending on temperature and relative humidity, the need for doing further measurements has been analysed so as to control the temperature and relative humidity as well.

1. UVOD

Brzinu strujanja zraka sve je češće potrebno mjeriti na najrazličitijim mjestima pod vrlo različitim uvjetima. Najčešće se brzina strujanja zraka izražava nekom srednjom vrijednošću. Dužina vremenskog perioda unutar kojeg se obavlja usrednjavanje ovisi o intenzitetu i brzini promjene pojave ovisne o brzini strujanja zraka. Što su vremena usrednjavanja kraća, tj. što se više približava mjerenju trenutne brzine strujanja zraka, to je uobičajeniji način mjerenja pomoću mehaničkih anemometara neprikladniji. Osim toga klasični mehanički anemometri nisu uvijek upotrebljivi pri ekstremno niskim temperaturama i uz velik postotak vlage u zraku te u veoma agresivnim atmosferama. Za takove uvjete koriste se anemometri koji nemaju pokretnih dijelova čime se postiže povećanje pouzdanosti rada i olakšava održavanje. Kao jedna od izvedbi anemometara bez pokretnih dijelova razvijaju se i akustički anemometri koji brzinu strujanja zraka mjere pomoću neke od akustičkih veličina koje se mogu dovesti u korelaciju s brzinom strujanja zraka. Najčešće korišteni akustički anemometri baziraju svoj rad na pretpostavci da je poznata brzina širenja zvuka kroz zrak, čiju brzinu strujanja se mjeri. Upravo ta pretpostavka komplicira izvedbe anemometara jer je potrebno kontrolirati parametre koji djeluju na brzinu širenja zvuka kroz zrak. Problem koji se time nameće svodi se na mjerenje svih parametara koji djeluju

na brzinu širenja zvuka kroz zrak. Poznato je da to u stvari znači mjerenje temperature i relativne vlažnosti zraka. Navedene parametre moguće je mjeriti različitim metodama, ali u svakom slučaju to izaziva dodatne komplikacije i troškove, tako da se postavlja pitanje da li uopće ima smisla koristiti akustičku mjernu metodu ako je potrebno obavljati niz dodatnih mjerenja.

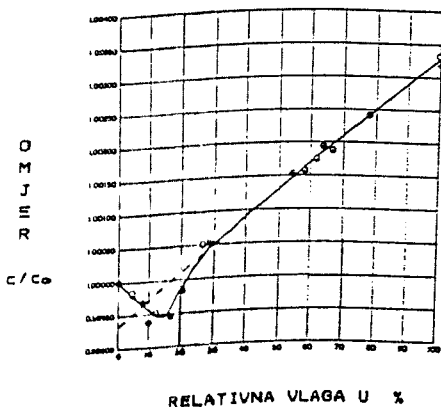
Svrha ovog razmatranja je kvalitativno ocjenjivanje utjecaja pojedinog parametra na brzinu strujanja zvuka kroz zrak i odatle ocjenjivanje njegovog utjecaja na točnost akustičkih metoda, odnosno procjenjivanje zahtjeva i uvjeta pri kojima ima smisla koristiti akustičke metode za mjerenje brzine strujanja zraka.

2. UTJECAJNE VELIČINE

Glavne utjecajne veličine koje djeluju na brzinu širenja zvuka kroz zrak sadržane su u slijedećim jednadžbama i dijagramu: /1,2,3,4,5/

$$c = (Y * R * T)^{1/2} \quad (1)$$

$$c = 167,6 + 0,6 * T \quad (2)$$



Sl. 1 Ovisnost brzine zvuka o relativnoj vlazi

U jednadžbama 1 i 2 te na slici 1, c je brzina zvuka, c_0 je referentna brzina zvuka, Y je konstanta za zrak i iznosi 1,4; R je plinska konstanta za suhi zrak i iznosi $287.04 \text{ kgm}^2\text{s}^{-2}\text{K}^{-1}$ a T temperatura u Kelvinima. Puna linija na slici 1 prikazuje rezultate ispitivanja utjecaja relativne vlage na brzinu širenja zvuka u zraku koja je obavio Cyril M. Harris./5/

3. ANALIZA UTJECAJA

Na temelju izraza (2) moguće je utjecaj promjene temperature na brzinu širenja zvuka opisati na slijedeći način:

$$\Delta c_{T\%} = 0.1509 * (T - T_{ref}) \quad (3)$$

odnosno:

$$\Delta c_{T\%} = 0.1509 * \Delta T \quad (4)$$

pri čemu je:

$$\Delta T = (T - T_{ref}) \quad (5)$$

gdje je $\Delta c_{T\%}$ promjena brzine zvuka u postocima zbog utjecaja temperature, T temperatura zraka u trenutku mjerenja, T_{ref} odabrana referentna vrijednost temperature zraka i ΔT odstupanje temperature od odabrane referentne vrijednosti.

Iz dijagrama na slici 1 uočljiva je potpuno linearna ovisnost iznad 30% relativne vlažnosti. Ako se krivulja koja opisuje ovisnost brzine zvuka o relativnoj vlazi zamijeni pravcem, na slici 1 crtkana linija, koji se poklapa sa područjem koje opisuje ovisnost za relativnu vlagu veću od 30% ovako nastala greška najveća je pri relativnoj vlazi od 0% i iznosi -0.07% a pri 14% relativne vlažnosti iznosi +0.04%.

Vidljivo je da se najveće pogreške javljaju u području relativnih vlažnosti ispod 30% koje su relativno rijetke u prirodnim uvjetima. Zahvaljujući tome moguće je da se utjecaj relativne vlage na brzinu širenja zvuka opiše slijedećim izrazom a da se pri tom ne uzrokuje značajna pogreška:

$$\Delta c_{r\%} = r * 0.004 - 0.07 \quad (6)$$

pri čemu je $\Delta c_{r\%}$ odstupanje brzine zvuka u postocima u odnosu na brzinu zvuka u potpuno suhom zraku, r trenutna vrijednost relativne vlage u postocima.

Zeli li se opisati utjecaj relativne vlage u odnosu na neku proizvoljnu relativnu vlagu onda je to moguće slijedećim izrazom:

$$\Delta c_{r\%} = (0.004 * r_{ref} - 0.07) * 0.004 * \Delta r \quad (7)$$

pri čemu je:

$$\Delta r = (r_{ref} - r) \quad (8)$$

gdje je r_{ref} odabrana referentna vrijednost relativne vlage u %, a Δr trenutno odstupanje od odabrane referentne vrijednosti relativne vlage.

Ukupan utjecaj na brzinu širenja zvuka kroz zrak zbog odstupanja relativne vlage i temperature od referentnih vrijednosti može se prikazati slijedećom jednadžbom:

$$\Delta c\% = 0.1509 * \Delta T + k * \Delta r * 0.004 \quad (9)$$

gdje je :

$$k = 0.004 * r_{max} - 0,07$$

(10)

Iz izraza (9) vidljivo je da se brzina zvuka povećava ili smanjuje za 0.1509 % sa svakim stupnjem porasta ili smanjenja temperature zraka a da se sa svakim postotkom povećanja ili smanjenja relativne vlažnosti brzina zvuka povećava ili smanjuje za 0.004 %.

Kada se mjerenja obavljaju na nekom konkretnom mjestu moguće je procijeniti unutar kojih granica će se mijenjati temperatura odnosno relativna vlaga. Promjena brzine zvuka u ovisnosti o odstupanju temperature od referentne vrijednosti odnosno relativne vlage od referentne dana je u Tablici broj 1.

Tablica 1

		ODSTUPANJE OD REFERENTNE TEMPERATURE U K										
OR	DE	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
SL												
TA	50	-7.519	-6.010	-4.531	-2.992	-1.493	+0.026	1.535	3.044	4.553	6.062	7.571
UT	40	-7.524	-6.015	-4.526	-2.997	-1.488	+0.021	1.530	3.039	4.548	6.057	7.566
P.	30	-7.529	-6.020	-4.511	-3.002	-1.493	+0.016	1.525	3.034	4.543	6.052	7.561
V	20	-7.535	-6.025	-4.517	-3.008	-1.499	+0.010	1.519	3.028	4.547	6.046	7.555
OL	10	-7.540	-6.031	-4.522	-3.013	-1.504	+0.005	1.514	3.023	4.542	6.041	7.550
DA	0	-7.545	-6.036	-4.527	-3.018	-1.509	0.000	1.509	3.018	4.527	6.036	7.545
DG	-10	-7.550	-6.041	-4.532	-3.023	-1.514	-0.005	1.504	3.013	4.522	6.031	7.540
RE	-20	-7.555	-6.046	-4.537	-3.028	-1.519	-0.010	1.499	3.008	4.517	6.026	7.535
E	-30	-7.561	-6.052	-4.543	-3.034	-1.525	-0.016	1.493	3.002	4.511	6.020	7.529
FU	-40	-7.566	-6.057	-4.548	-3.039	-1.530	-0.021	1.488	2.997	4.506	6.015	7.524
E	-50	-7.571	-6.062	-4.553	-3.044	-1.535	-0.026	1.483	2.992	4.501	6.010	7.519
R %												

Zanimljivo je također uočiti kolika su maksimalna temperaturna odstupanja tolerantna, ukoliko se želi imati odstupanje od referentne vrijednosti brzine zvuka unutar željenih granica. Upravo to je prikazano u Tablici 2 uz uzete u cbzir ekstremne vrijednosti relativne vlage.

Tablica 2

Δc %		0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5
ΔT u K	uz Δr=0	0.643	1.325	3.313	6.427	9.940	16.567	33.135
ΔT u K	uz Δr =50%	0.490	1.153	3.141	6.435	9.768	16.395	32.962

4. ZAKLJUČAK

Svaka mjerna metoda dozvoljava, ovisno o točnosti koja se njom želi postići, određena odstupanja od referentnih vrijednosti. Iz izraza (9) i Tablica 1 i 2 vidljivo je da potreba za kontroliranjem kao i točnost kontroliranja relativne vlage i temperature zraka ovise o prihvatljivom odstupanju brzine zvuka od referentne vrijednosti. Tako je pri prihvatljivom odstupanju od 0.1 % potrebno kontrolirati temperaturu s točnošću od ± 0.5 K a relativnu vlažnost praktički nije potrebno kontrolirati. Pri prihvatljivom odstupanju od 1.0 % temperaturu treba kontrolirati samo u uvjetima gdje se ona mijenja više od ± 6.4 K, dok se za 5 % prihvatljivog odstupanja temperatura treba kontrolirati tek ako premašuje odstupanje od ± 33 K. Ovime su obuhvaćene osnovne mogućnosti i ograničenja u korištenju akustičkih metoda za mjerenje brzine strujanja zraka koje se zasnivaju na poznavanju brzine širenja zvuka kroz zrak.

5. POPIS LITERATURE

- /1/ Jelaković T, Zvuk: sluh arhitektonska akustika, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- /2/ Kurtović H. Š, Osnovi tehničke akustike, Naučna knjiga, Beograd, 1982.
- /3/ Čadež M, Meteorologija, BIGZ, Beograd, 1973.
- /4/ Radinović Đ, Analiza vremena, Zavod za izdavanje udžbenika SRS, Beograd, 1968.
- /5/ Harris C. M, Effects of Humidity on the Velocity of Sound in Air, The Journal of the Acoustical Society of America, March 1971.

