

POLITECHNIKA



BIAŁOSTOCKA

WYDZIAŁ



INŻYNIERII

ZARZĄDZANIA

KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

*Systemy kontrolno-pomiarowe*

Kod przedmiotu: KSU011012, KNU011012

Ćwiczenie Nr 4

# POMIAR PARAMETRÓW PRZEPIYWU POWIETRZA W SYSTEMIE WENTYLACYJNYM

Opracował:

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2020

*Wszystkie prawa zastrzeżone*

*Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.*

**Cel ćwiczenia:** celem ćwiczenia jest zapoznanie się studentów z metodami pomiaru temperatury, wilgotności, prędkości, ciśnienia i wydajności przepływu powietrza oraz zbadanie rozkładu tych parametrów w wybranych miejscach różnych konfiguracji kanałów wentylacyjnych.

## 1. WPROWADZENIE

Pomiary parametrów przepływu gazów i płynów są wszechobecne w naszym życiu i mają bardzo ważne znaczenie. Przykładowo:

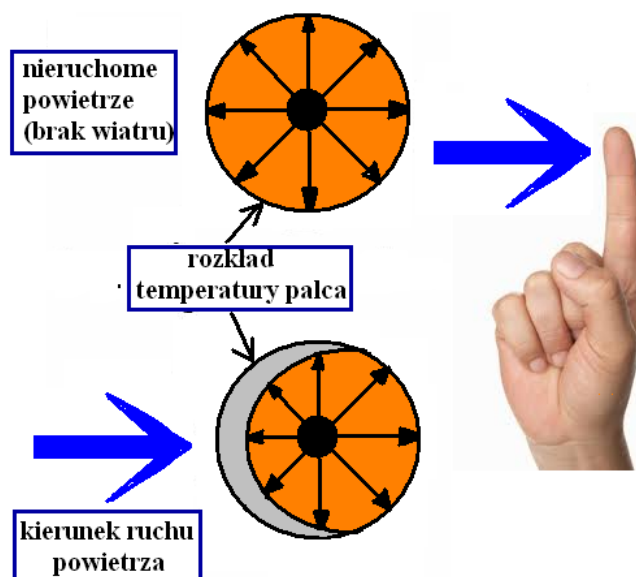
- dokładność pomiaru zużycia wody, gazu w gospodarstwach domowych wpływają na wielkość naszych wydatków w budżecie domowym;
- dokładność pomiaru parametrów przepływu wody i powietrza w stacjach hydro- i meteorologicznych ma wpływ na precyzyjność przewidywania pogody, a więc i zagrożeń powodziowych itp.;
- poprawny pomiar parametrów przepływu powietrza w systemach wentylacyjnych zapewnia komfort i bezpieczeństwo pracy, czy też wypoczynku;

Do pomiaru *prędkości przepływu* używa się anemometrów:

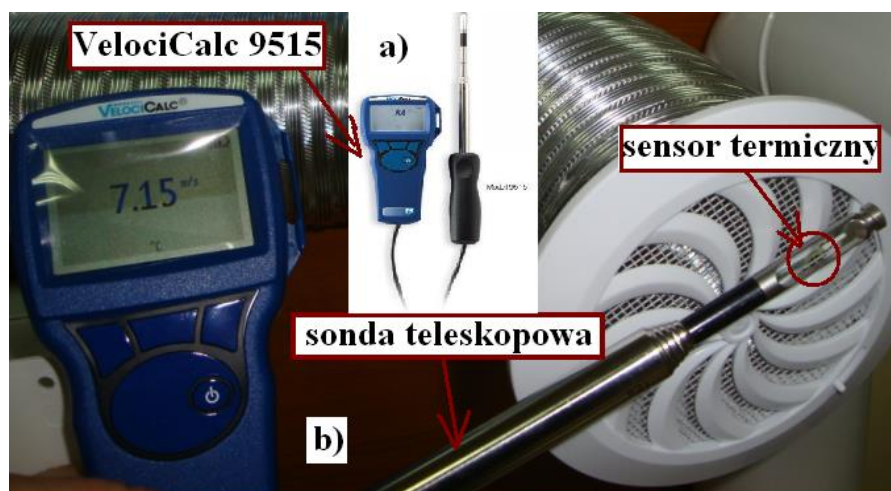
- obrotowych: czasowe, wiatrakowe;
- wychyłowych;
- termooanemometrów;
- ciśnieniowych (rurka Pitota);
- dopplerowskich;
- ultradźwiękowych.

Omówię w skrócie zasadę działania *termooanemometru*. Zjawisko pomiaru prędkości metodą termiczną można przedstawić w prosty sposób. Każdy człowiek ma wbudowany w sobie czuły termooanemometr i może go wykorzystać zwilżając palec i podnosząc go do góry. Wystawienie mokrego palca na działanie wiatru spowoduje jego oziębienie tym większe, im większa jest prędkość wiatru (rys.1). Właśnie taka cecha tego zjawiska, czyli zależność intensywności wymiany ciepła od prędkości przepływu jest podstawą działania termooanemometru. Na tej samej zasadzie opiera się działanie przepływomierzy termicznych elektrycznych, czyli termooanemometry(rys.2a) są to przyrządy do pomiaru prędkości przepływu, wykorzystujące zależność oddawania ciepła przez czuły element przetwornika od prędkości przepływu. Omywany przez przepływające medium sensor (rys. 2b)

doznaje ochłodzenia, co powoduje zmianę jego rezystancji oraz straty ciepła. Dokonując pomiaru napięcia na elemencie rezystancyjnym oraz prądu w jego obwodzie, znając właściwości czujnika oraz wartości współczynników dotyczących wymiany ciepła, można wyznaczyć miejscową prędkość przepływu medium. Sensory wykorzystywane przy pomiarach przepływu, powinny charakteryzować się dużą wartością temperaturowego współczynnika rezystancji, stabilnymi właściwościami elektrycznymi i mechanicznymi. Materiały z jakich można wykonać takie czujniki to : wolfram, platyna, nikiel, miedź, platynorod, platynoiryd, a także materiały półprzewodnikowe.

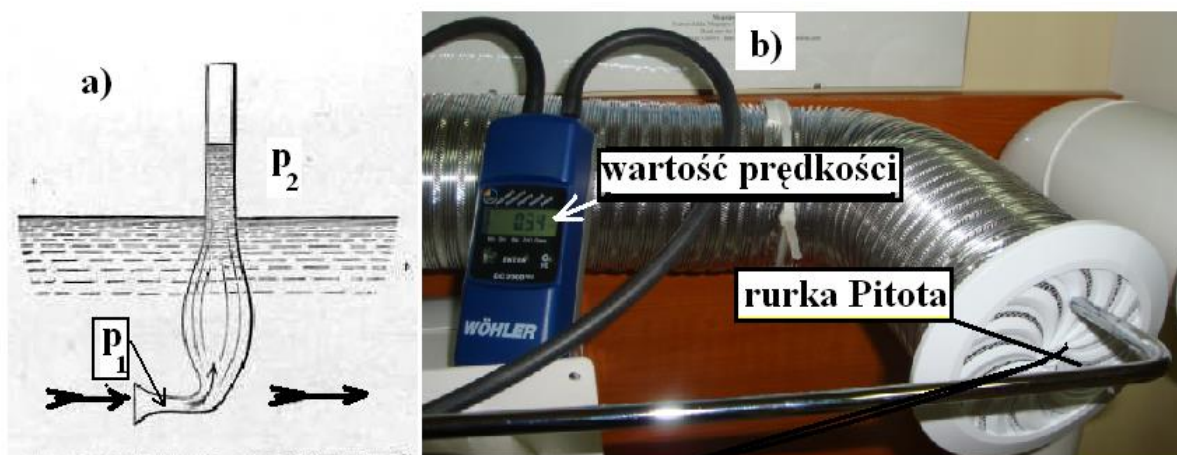


Rys.1. Zasada działania termoanemometru.



Rys.2. Termoanemometr VelociCalc 9515: a) widok przyrządu; b) pomiar prędkości przepływu powietrza.

**Anemometr ciśnieniowy** po raz pierwszy skonstruował Henry Pitot w roku 1732. Rurka Pitota pierwotnie była stosowana do pomiaru prędkości nurtu rzek (rys.3a), natomiast obecnie w lotnictwie wykorzystuje się ją do pomiaru prędkości statków powietrznych.



Rys.3. Anemometr ciśnieniowy: a) zastosowanie rurki Pitota do pomiaru prędkości nurtu rzeki; b) pomiar prędkości przepływu przyrzędem firmy WÖHLER.

Prędkość przepływu wyznaczana jest z zależności:

$$v = \sqrt{\frac{2kRTg(1-(p_2/p_1)^{(k-1)/k})}{(k-1)}}$$

gdzie:  $v$  – mierzona prędkość;

$g$  – przyspieszenie ziemskie;

$R$  – stała gazowa w J/(mol·deg);

$T$  – temperatura gazu;

$k$  – wykładnik adiabaty (dla powietrza ok. 1,4);

$p_1$  – ciśnienie spiętrzenia (dynamiczne);

$p_2$  – ciśnienie statyczne.

**Pomiary temperatury** należą do pośrednich metod pomiaru, wykorzystujących zmiany właściwości fizycznych ciał pod wpływem zmian temperatury. Zmiany temperatury mogą wywoływać zmiany:

- wartości różnicy potencjałów na wolnych końcach dwóch złączonych metali;
- objętości ciał stałych, cieczy lub gazów;

- rezystancji metali lub półprzewodników.

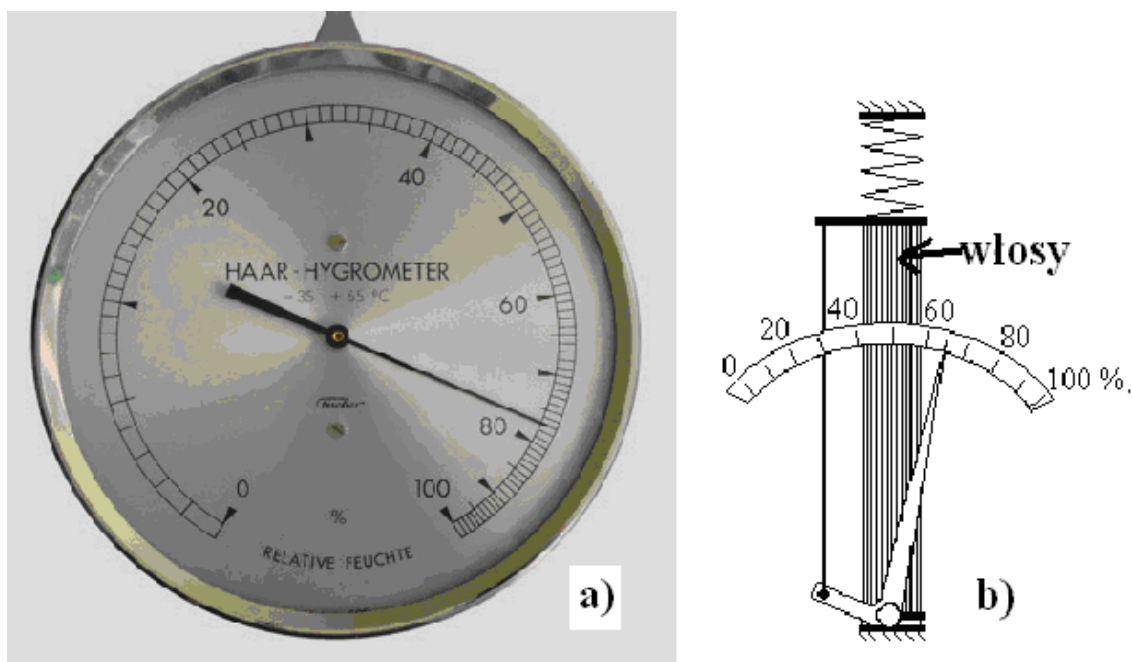
Metody pomiaru tych zmian mogą być: nieelektryczne, elektryczne lub radiacyjne.

**Wilgotność powietrza** można zmierzyć przy pomocy higrometrów lub psychrometrów (Augusta i Assmanna).

Higrometry dzielą się na:

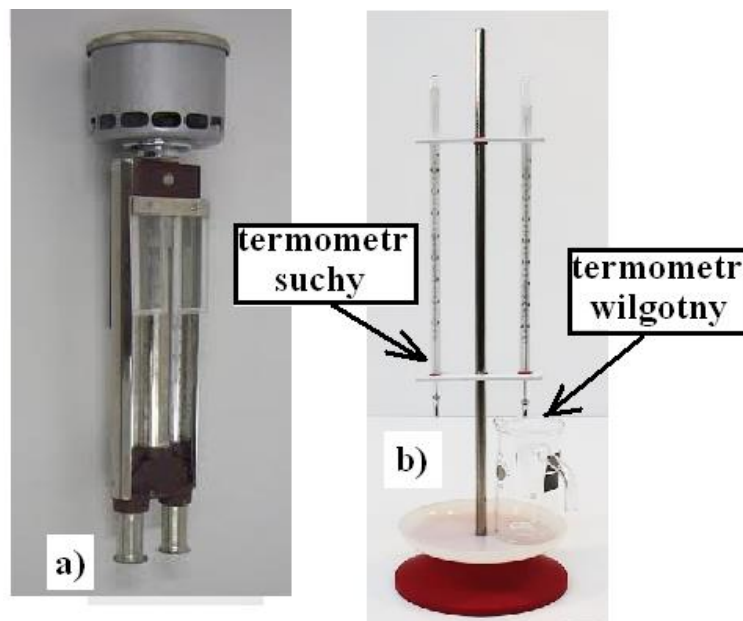
- absorpcyjne;
- kondensacyjne;
- higroskopowe: włosowe i oparte na zasadzie przewodnictwa cieplnego;
- elektryczne:
  - rezystancyjne z czujnikami elektrolitycznymi;
  - z ogrzewanymi czujnikami;

Na rysunku 4a przedstawiony jest higrometr włosowy. Na pomysł użycia włosa ludzkiego lub zwierzęcego do pomiaru wilgotności powietrza wpadł w XVIII wieku De Sussure. Wykorzystał on właściwość zmiany długości włosów w zależności od pochłoniętej wilgoci (im bardziej są mokre, tym są dłuższe).



Rys. 4. Higrometr włosowy: a) widok przyrządu; b) budowa.

**Psychometr** (rys. 5b) składa się z dwóch termometrów: suchego i wilgotnego i wykorzystuje w nim zjawisko hamowania parowania przez powietrze wilgotne i przyspieszania go przez powietrze suche. Przyrząd zbudowany jest z dwóch identycznych termometrów. Pojemniczek z rtęcią jednego z nich owija się kawałkiem nasiąkłego batystu, którego jeden koniec zanurzony jest w wodzie i dzięki temu batyst okalający zbiorniczek jest zawsze wilgotny.



Rys. 5. Psychrometry: a) Assmanna; b) Augusta.

Wilgotność powietrza  $\phi$  wyznacza się ze wzoru Sprunga:

$$\phi = \frac{p_{sm} - A(t_s - t_m)p_b}{p_{ss}} 100\%$$

gdzie:  $p_{sm}$ ,  $p_{ss}$  – odpowiednio: ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturze termometru mokrego i suchego;

$t_m$ ,  $t_s$  - odpowiednio: temperatura termometru mokrego i suchego;

$p_b$  – ciśnienie barometryczne w chwili pomiaru;

$A$  – stała psychometryczna.

**Ciśnienie** to wielkość skalarna zdefiniowana jako wartość siły  $F$  (działającej prostopadle do powierzchni) podzielonej przez tą powierzchnię  $S$ :

$$p = \frac{F}{S}$$

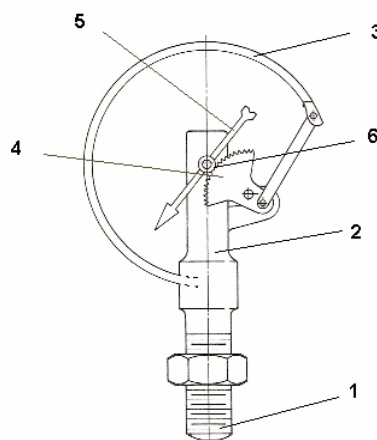
Jednostkami ciśnienia są: paskal – **Pa**; bar (1 bar=100 000 Pa); atmosfera fizyczna – **atm**; kilogram-siła na metr kwadratowy - **kG/m<sup>2</sup>**; kilogram-siła na centymetr kwadratowy (atmosfera techniczna) - **kG/cm<sup>2</sup>=at**; kilogram-siła na milimetr kwadratowy - **kG/mm<sup>2</sup>**; milimetr słupa rtęci (Tor) - **mmHg=Tr**; milimetr słupa wody - **mmH<sub>2</sub>O**; funt-siła na cal kwadratowy – **psi**.

Pomiary ciśnienia dokonywane są za pomocą manometrów, które dzielą się na względne (wskazują różnicę ciśnień) i bezwzględne (wskazują ciśnienie w odniesieniu do próżni).

Ze względu na budowę i zasadę działania manometry dzielą się na:

- hydrostatyczne (U-rurka - manometr cieczowy dwuramienny);
- sprężynowe: ze sprężyną rurkową (Bourdona), z przeponą falistą lub sprężystą oraz mieszkowe;
- dzwonowe;
- elektryczne: tensometryczne, piezoelektryczne i indukcyjne.

Na rys. 6a przedstawiony widok manometru z rurką Bourdona [1]. Zasadę działania wyjaśnię na podstawie rys. 6b. Jest to manometr sprężynowy, w którym wykorzystane jest sprężyste odkształcenie ciała pod wpływem działającego ciśnienia. Elementem sprężystym jest wygięta łukowo rurka mosiężna lub stalowa **3** połączona sztywno jednym końcem z obsadą **2** zakończoną złączką z gwintem **1**. Na drugim końcu jest ona zamknięta i zaopatrzona w przekładnię **4**, która porusza wskazówką **5** po skali. Na osi obrotu wskazówki znajduje się element sprężysty **6**. Całość mechanizmu umieszczona jest w osłonie metalowej. Odczytu ciśnienia dokonuje się bezpośrednio ze skali. Są to manometry najczęściej spotykane w przemyśle [1].

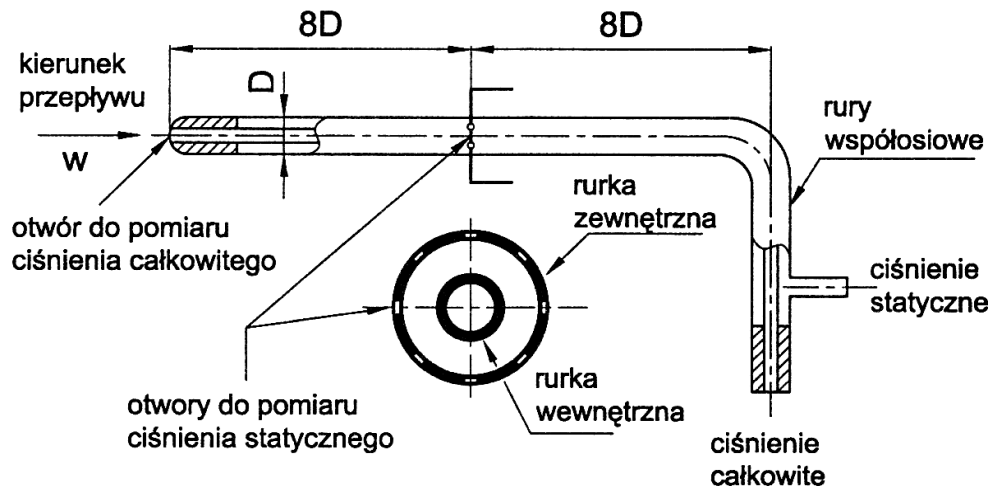


Rys. 6. Manometr z rurką Bourdona: a) widok; b) zasada działania [1].

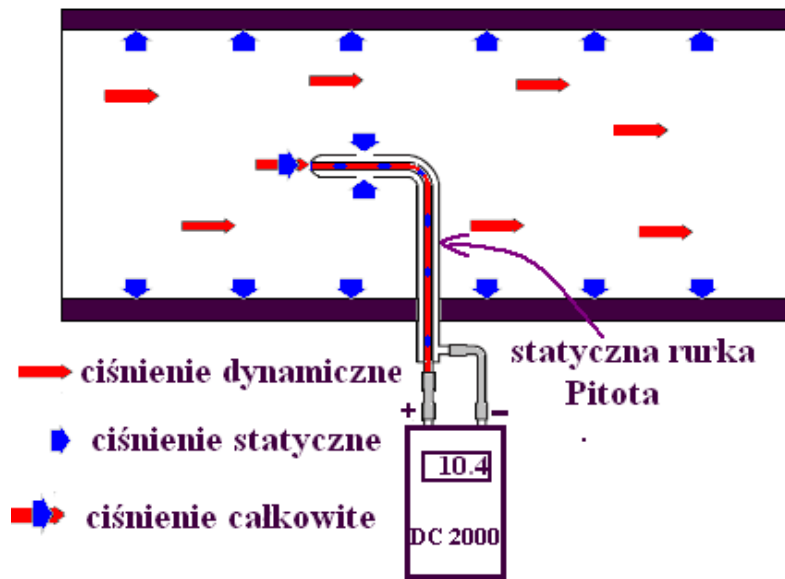
***Proponuje się studentom samodzielnie zapoznać z pozostałymi metodami pomiaru temperatury, ciśnienia, wilgotności i prędkości przepływu powietrza.***

W laboratorium do pomiaru ciśnienia wykorzystany jest miernik DC 2000 firmy WÖHLER wyposażony w rurkę Pitota (rys. 7).





Rys. 7. Budowa statycznej rurki Pitota) [2].



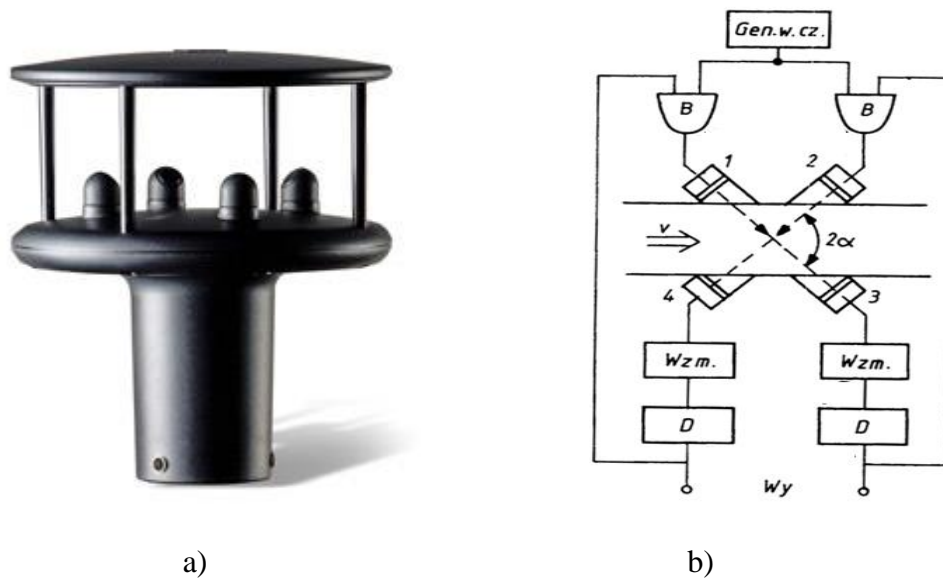
Rys. 8. Pomiar ciśnienia statyczną rurką Pitota.

Stacyjne rurki powszechnie wykorzystuje się do pomiaru prędkości i ciśnienia w kanałach wentylacyjnych. Jest to spowodowane dużo wyższą dokładnością w porównaniu z metodami fundamentalnymi. Gdyby ciśnienia statyczne wewnątrz i na zewnątrz kanału były równe to wystarczyłaby zwykła rurka wprowadzona do wnętrza kanału i skierowana czołem otworu do kierunku przepływu, aby odczytać ciśnienie dynamiczne (wejście „+” rys. 8). Jednak ciśnienie statyczne wewnątrz kanału jest wyższe od barometrycznego, co pogarsza dokładność pomiaru. Problem ten można wyeliminować poprzez oddzielne wyprowadzenie na zewnątrz ciśnienia statycznego i podłączenie do drugiego wejścia manometru (rys. 8 – wejście „-,”). Manometr wskazuje wtedy dokładnie wartość ciśnienia

dynamicznego niezależnie od różnicy ciśnienia statycznego wewnątrz i na zewnątrz kanału.

### *Anemometry ultradźwiękowe*

Na rys. 9a przedstawiony jest anemometr ultradźwiękowy firmy Gill Wind Sonic [4], a na rys. 9b – schemat blokowy ilustrujący zasadę pomiaru prędkości przepływu przy pomocy ultradźwięków [3]. Anemometr taki zbudowany jest z dwóch głowic nadawczych (1 i 2) i dwóch odbiorczych (3 i 4 - rys. 9b) oraz niezbędnych układów elektronicznych (bramek, wzmacniaczy, liczników). Zasada



Rys. 9: a) widok anemometru firmy Gill Wind Sonic [4]; b) schemat blokowy anemometru ultradźwiękowego [3].

działania takiego anemometru jest następująca: dwie głowice nadawcze umieszczone są w pewnej odległości od siebie na rurze, w której przepływa np. powietrze. Fala ultradźwiękowa z głowicy 1 dotrze do głowicy odbiorczej 3 po czasie  $t_2$ , a fala z głowicy 2 zostanie odebrana przez głowicę 4 po czasie  $t_1$  (jest to spowodowane unoszeniem fal ultradźwiękowych przez badany ośrodek):

$$t_1 = \frac{L}{c + v \cos \alpha} ; t_2 = \frac{L}{c - v \cos \alpha} ,$$

gdzie: L – odległość między głowicami nadawczą i odbiorczą;

c – prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w badanym ośrodku;

v – prędkość przepływu badanego ośrodku;

$\alpha$  – kąt wnikania fali ultradźwiękowej.

Ostatecznie prędkość przepływu  $v$  będzie proporcjonalna do różnicy impulsów  $\Delta f$  z generatora wysokiej częstotliwości i stałych konstrukcyjnych ( $L$  i  $\alpha$ ):

$$\Delta f = \frac{1}{2t_1} - \frac{1}{2t_2} = \frac{\cos \alpha}{L} v \Rightarrow v = \frac{\Delta f \cdot L}{\cos \alpha}.$$

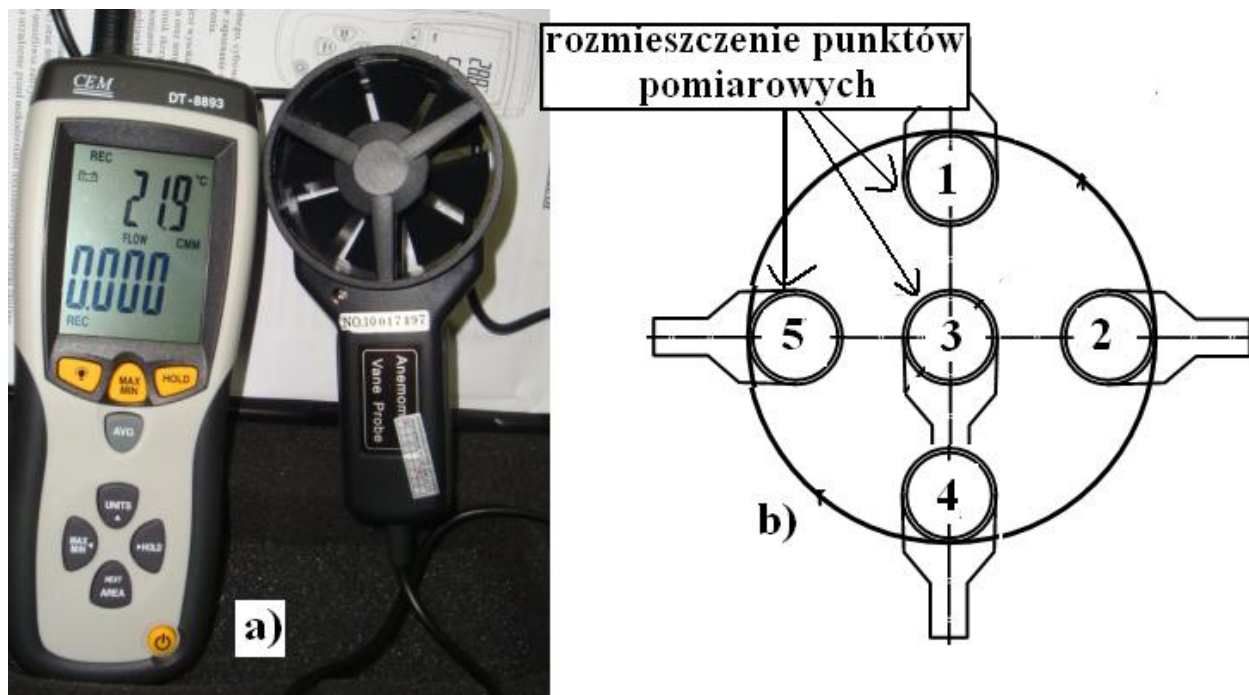
**Przyrządy do pomiaru wydajności przepływu** w rzeczywistości nie mierzą tej wielkości. Najpierw mierzymy nimi spadki ciśnień lub prędkości, które następnie przeliczamy na wartość wydajności przepływu (np.: przy znanej prędkości przepływu  $v$  i polu powierzchni przekroju poprzecznego kanału  $S$  wydajność  $V=v \cdot S$ ).

Przyrządy te można podzielić na następujące grupy:

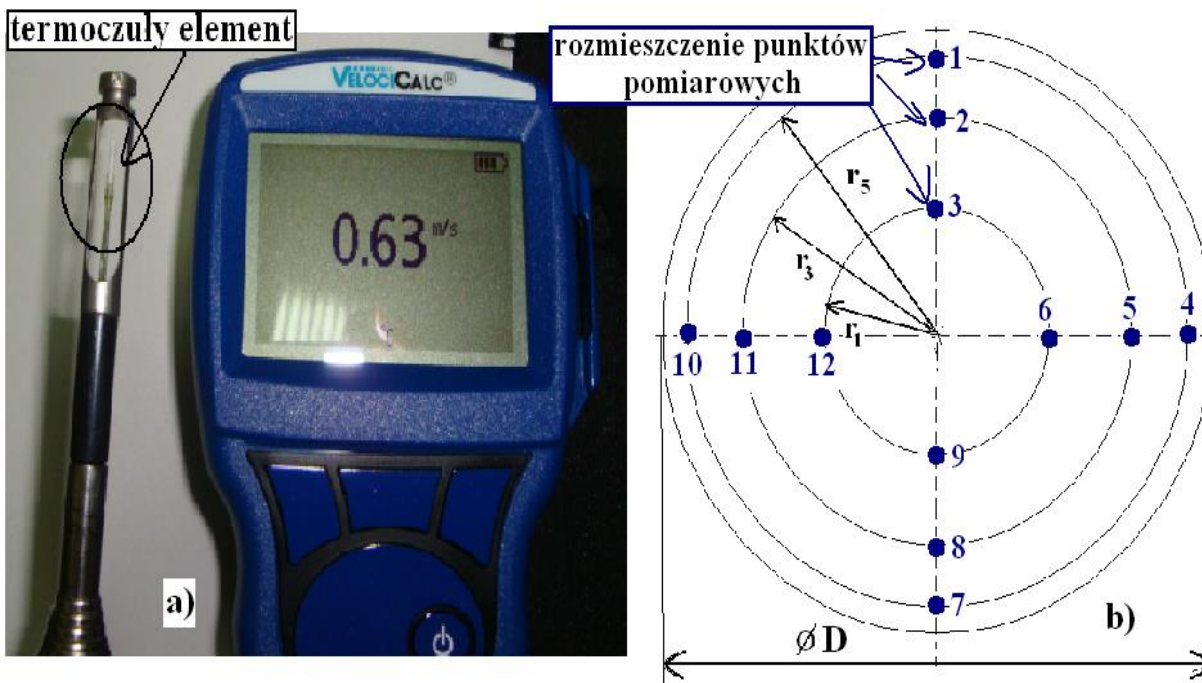
- a) wykorzystujące zjawisko dławienia przepływającej strugi (najliczniejsza i najczęściej spotykana w praktyce):
  - zwężki miernicze: kryzy, dysze (ISA, Venturiego), klasyczna zwężka Venturiego, kryza segmentowa;
  - przepływomierze pływakowe tzw. rotametry (elementy dławiące o stałym spadku ciśnienia);
  - danaidy: jednozwężkowa, dwuzwężkowa;
  - przelewy miernicze;
  - zwężkowe kanały miernicze.
- b) umożliwiające pomiary prędkości miejscowych:
  - rurki spiętrzające: Prandtla, Brabbéego;
  - młynki hydrometryczne Otta;
  - anemometry: skrzydełkowy, czaszowy;
  - termooanemometry;
  - katatermometry.
- c) pozostałe:
  - przepływomierze elektromagnetyczne (do cieczy przewodzących prąd elektryczny np.: muły, szlamy, ścieki);
  - przepływomierze ultradźwiękowe.

Do pomiaru wydajności przepływu powietrza w przeprowadzanym ćwiczeniu używać będziemy: anemometr skrzydełkowy DT 8893, termooanemometr VelociCalc 9515 i Wöhler DC 2000 komputer do pomiaru ciśnienia.

Na rys. 10 przedstawiony został widok anemometru skrzydełkowego DT8893 oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych w kanale wentylacyjnym. Natomiast rys. 11 przedstawia termooanemometr VelociCalc 9515 z zaznaczonymi punktami pomiarowymi prędkości powietrza.



Rys. 10. Pomiar wydajności przepływu anemometrem DT 8893: a) widok anemometru skrzydełkowego; b) rozmieszczenie punktów pomiarowych

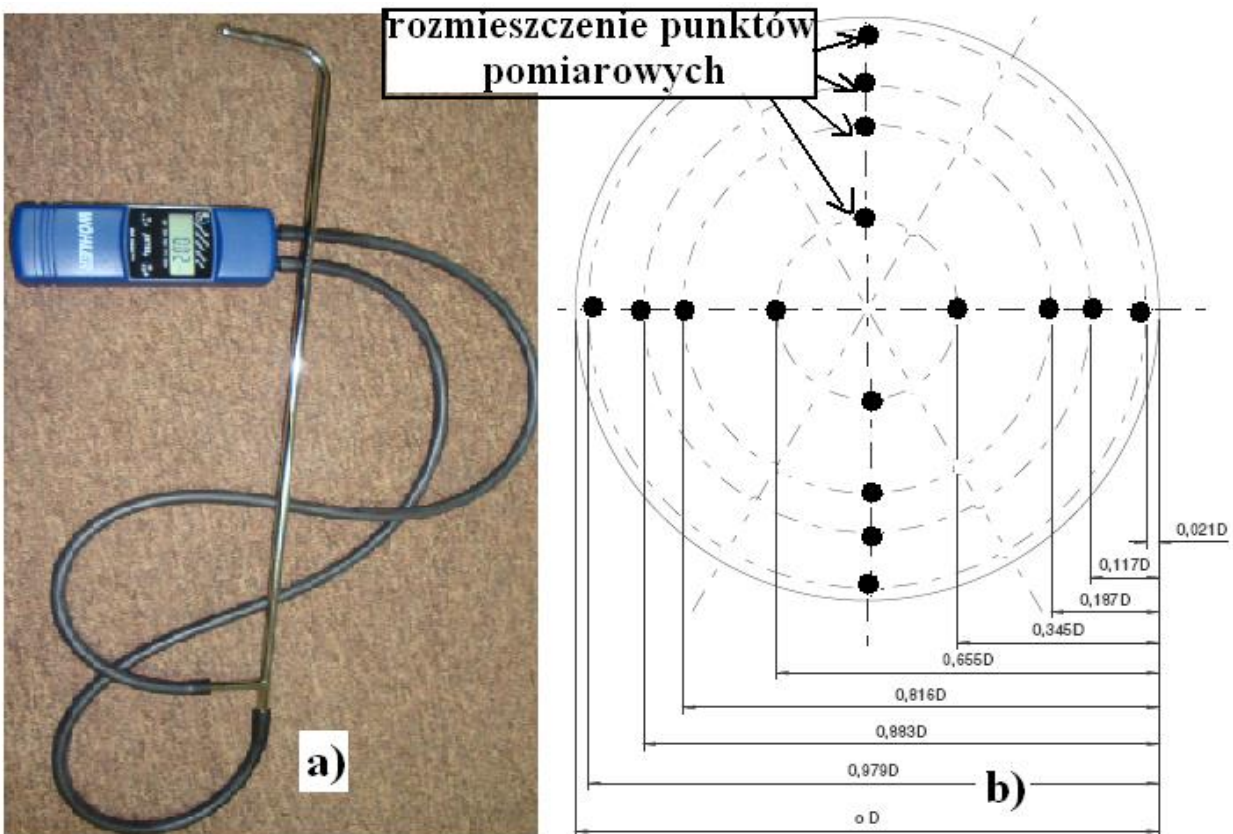


Rys. 11. Pomiar wydajności przepływu termoanemometrem VelociCalc 9515 (9535A): a) widok termoanemometrem; b) rozmieszczenie punktów pomiarowych.

Wartości promieni na których rozmieszczone są punkty pomiarowe na rys. 11b) wyznacza się z zależności:

$$r_i = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{i}{2n}}, \quad (1)$$

gdzie:  $D$  - średnica wewnętrzna kanału, w którym jest przeprowadzany pomiar;  
 $n$  - liczba części podziałowych pola powierzchni przekroju;  
 $i$  - wskaźnik promienia.



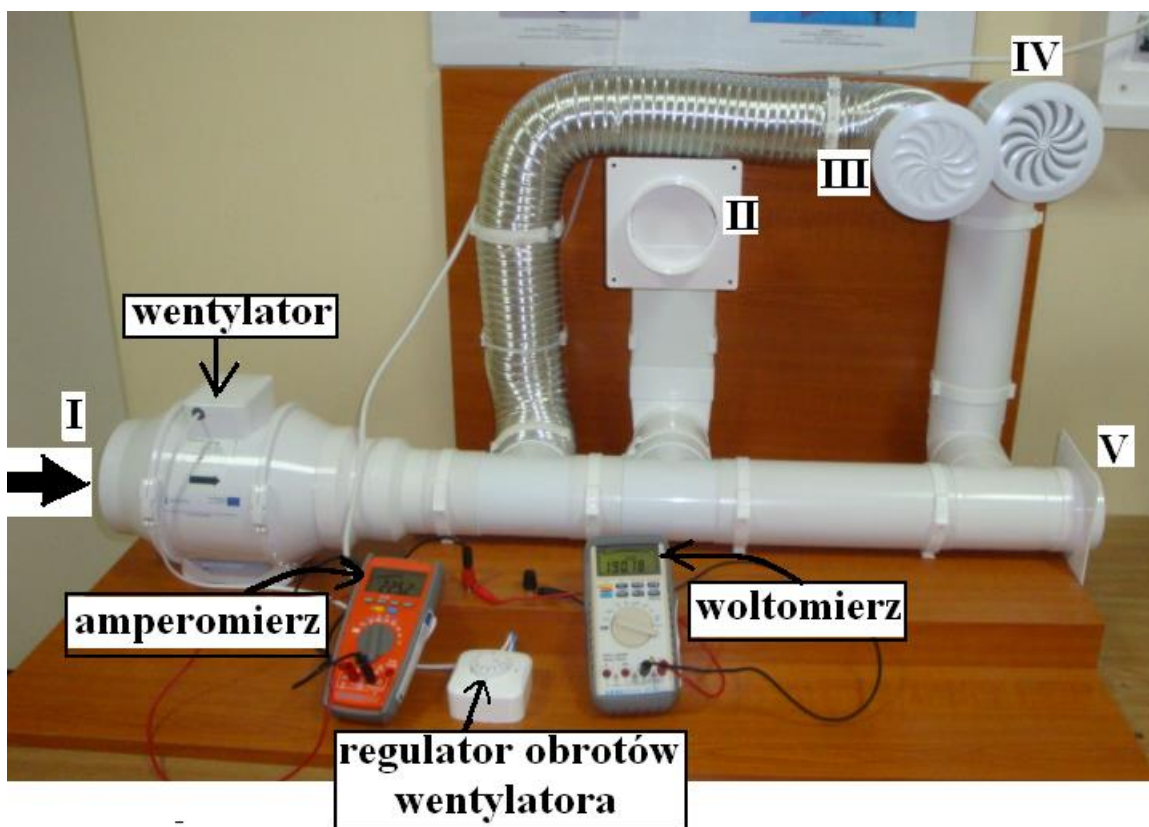
Rys. 12. Pomiar wydajności przepływu przyrządem do pomiaru ciśnienia Wöhler DC 2000:  
 a) widok przyrządu z rurką statyczną Pitota; b) rozmieszczenie punktów pomiarowych.

Wartości promieni, na których rozmieszczone są punkty pomiarowe z rys. 12b) wyznacza się zgodnie z zaleceniami normy ISO 5801.

## 2. PRZEBIEG POMIARÓW

Stanowisko pomiarowe (rys.13) składa się z wentylatora TURBO 150 i podłączonego do jego wylotu systemu rur wentylacyjnych. Prędkość obrotowa wentylatora jest zmieniana za pomocą potencjometru (regulatora obrotów).

*Przed rozpoczęciem pomiarów studenci powinni zapoznać się z instrukcją obsługi anemometru skrzydełkowego DT 8893, termoanemometru VelociCalc 9515 i przyrządu Wöhler DC 2000.*



Rys. 13. Widok stanowiska pomiarowego z zaznaczonymi miejscami pomiaru parametrów przepływu powietrza: **I** – wlot powietrza zasysanego przez wentylator; **II** – wylot kanału prostokątnego o przekroju 110x55; **III** – wylot kanału z rury aluminiowej  $\varnothing$  100 mm; **IV** i **V** – wylot kanału z rury PCV  $\varnothing$  100 mm;

Wykonujący ćwiczenie wyznaczają na podstawie wzoru (1) wartości promieni, na których rozmieszczone są punkty pomiaru prędkości przepływu powietrza termoanemometrem (rys. 11b) oraz mierzą średnice kanałów wentylacyjnych. Liczbę części podziałowych pola powierzchni przekroju, miejsca pomiaru oraz napięcia zasilania wentylatora podaje prowadzący ćwiczenia.

Tabela 1. Wyniki pomiaru prędkości i wydajności przepływu powietrza anemometrem DT 8893.

<i>Miejsce pomiaru</i>		<i>T<sub>p</sub>=.....°C ; φ=.....%</i>				
		<i>Napięcie zasilania wentylatora</i>				
				<i>xxxxxxx</i>		
		<i>prędkość v</i>		<i>xxxxxxxx</i>	<i>wydajność V</i>	
	<i>Nr PP k</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>	<i>Nr PP k</i>	<i>m<sup>3</sup>/min</i>	<i>m<sup>3</sup>/min</i>
<i>Nr.....</i>  <i>d=..... m</i>	<b>1</b>			<b>1</b>		
	<b>2</b>			<b>2</b>		
	<b>3</b>			<b>3</b>		
	<b>4</b>			<b>4</b>		
	<b>5</b>			<b>5</b>		
	<i>v<sub>sr. DT</sub></i>			<i>V<sub>sr. DT</sub></i>		
<i>Nr.....</i>  <i>axb</i>  <i>.....m</i>	<b>1</b>			<b>1</b>		
	<b>2</b>			<b>2</b>		
	<b>3</b>			<b>3</b>		
	<b>4</b>			<b>4</b>		
	<b>5</b>			<b>5</b>		
	<i>v<sub>sr. DT</sub></i>			<i>V<sub>sr. DT</sub></i>		
<i>Nr.....</i>  <i>d=.....m</i>	<b>1</b>			<b>1</b>		
	<b>2</b>			<b>2</b>		
	<b>3</b>			<b>3</b>		
	<b>4</b>			<b>4</b>		
	<b>5</b>			<b>5</b>		
	<i>v<sub>sr. DT</sub></i>			<i>V<sub>sr. DT</sub></i>		

Pomiar temperatury wykonać za pomocą czujnika termoelektrycznego, a wilgotności – za pomocą higrometru Średnią prędkość obliczmy z zależności:

$v_{sr} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_k$  - wartość średnia prędkości przepływu, a średnią wydajność przepływu ze wzoru:

$$V_{srDT} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V_k .$$

Tabela 2. Pomiary prędkości przepływu powietrza: VelociCalc 9515 i Wöhler DC 2000

	<i>TP</i> .....°C ; <i>φ</i> =.....%	<i>Napięcie zasilania wentylatora</i>				
		VelociCalc 9515		Wöhler DC 2000		
		prędkość <i>v</i>		prędkość <i>v</i>		
		<i>Nr PP k</i>	m/s	m/s	<i>Nr PP k</i>	m/s
<i>Nr</i> .....  <i>d</i> =..... <i>m</i>	<b>1</b>			<b>1</b>		
	<b>2</b>			<b>2</b>		
	<b>3</b>			<b>3</b>		
	<b>4</b>			<b>4</b>		
	<b>5</b>			<b>5</b>		
	<b>6</b>			<b>6</b>		
	<b>7</b>			<b>7</b>		
	<b>8</b>			<b>8</b>		
	<i>v<sub>sr.</sub> VC</i>			<i>v<sub>sr.</sub> DC</i>		
<i>Nr</i> .....  <i>axb</i> ..... <i>m</i>	<b>1</b>			<b>1</b>		
	<b>2</b>			<b>2</b>		
	<b>3</b>			<b>3</b>		
	<b>4</b>			<b>4</b>		
	<b>5</b>			<b>5</b>		
	<b>6</b>			<b>6</b>		
	<b>7</b>			<b>7</b>		
	<b>8</b>			<b>8</b>		
	<i>v<sub>sr.</sub> VC</i>			<i>v<sub>sr.</sub> DC</i>		
<i>Nr</i> .....  <i>d</i> =..... <i>m</i>	<b>1</b>			<b>1</b>		
	<b>2</b>			<b>2</b>		
	<b>3</b>			<b>3</b>		
	<b>4</b>			<b>4</b>		
	<b>5</b>			<b>5</b>		
	<b>6</b>			<b>6</b>		
	<b>7</b>			<b>7</b>		
	<b>8</b>			<b>8</b>		
	<i>v<sub>sr.</sub> VC</i>			<i>v<sub>sr.</sub> DC</i>		



Tabela 3. Wyniki pomiaru ciśnienia przepływu powietrza przyrządem Wöhler DC 2000.

	$T_p \dots \text{ } ^\circ\text{C} ;$	<i>Napięcie zasilania wentylatora</i>	
		ciśnienie p	
	$\varphi = \dots \text{ } \%$	Pa	Pa
<i>Nr.....</i>  <i>d=..... m</i>	<b>1</b>		
	<b>2</b>		
	<b>3</b>		
	<b>4</b>		
	<b>5</b>		
	<b>6</b>		
	<b>7</b>		
	<b>8</b>		
	<i>v<sub>s</sub>r. vC</i>		
<i>Nr.....</i>  <i>axb</i>  <i>.....m</i>	<b>1</b>		
	<b>2</b>		
	<b>3</b>		
	<b>4</b>		
	<b>5</b>		
	<b>6</b>		
	<b>7</b>		
	<b>8</b>		
	<i>v<sub>s</sub>r. vC</i>		
<i>Nr.....</i>  <i>d=.....m</i>	<b>1</b>		
	<b>2</b>		
	<b>3</b>		
	<b>4</b>		
	<b>5</b>		
	<b>6</b>		
	<b>7</b>		
	<b>8</b>		
	<i>v<sub>s</sub>r. vC</i>		

Tabela 4. Zestawienie wyników pomiaru wydajności przepływu powietrza różnymi przyrządami

<i>Miejsce pomiaru</i>	<i>Przyrząd pomiarowy</i>	<i>Napięcie zasilania wentylatora</i>	
		<i>wydajność V</i>	
		<i>m<sup>3</sup>/min</i>	<i>m<sup>3</sup>/min</i>
<i>Nr.....</i>	<b>DT 8893</b> $V_{sr DT}$		
	$V_{obl.DT}$		
	<b>DT 8893</b> $\Delta V$		
	<b>VelociCalc 9515</b> $V_{VC}$		
	<b>Wöhler DC 2000</b> $V_{DC}$		
<i>Nr.....</i>	<b>DT 8893</b> $V_{sr DT}$		
	$V_{obl.DT}$		
	<b>DT 8893</b> $\Delta V$		
	<b>VelociCalc 9515</b> $V_{VC}$		
	<b>Wöhler DC 2000</b> $V_{DC}$		
<i>Nr.....</i>	<b>DT 8893</b> $V_{sr DT}$		
	$V_{obl.DT}$		
	<b>DT 8893</b> $\Delta V$		
	<b>VelociCalc 9515</b> $V_{VC}$		
	<b>Wöhler DC 2000</b> $V_{DC}$		

Oznaczenia w tabelach 1,2,3 i 4:

$v_{sr. DT}$ ,  $v_{sr. VC}$ ,  $v_{sr. DC}$  –średnie wartości prędkości przepływu powietrza zmierzone odpowiednio miernikami: DT 8893, VelociCalc 9515 i Wöhler DC 2000;

$V_{sr.DT}$ ,  $V_{VC}$ ,  $V_{DC}$  - średnie wartości wydajności przepływu powietrza zmierzone odpowiednio miernikami: DT 8893, VelociCalc 9515 i Wöhler DC 2000;

$V_{obl.DT} = 60 \cdot v_{sr.DT} \cdot \pi d_x^2 / 4$  lub  $V_{obl.DT} = 60 v_{sr.DT} \cdot a \cdot b$  - obliczona wartość wydajności przepływu (miernik DT 8893) w m<sup>3</sup>/min;

$d_x$  – średnica kanału wentylacyjnego (zależna od miejsca pomiaru) ;

$\Delta V = V_{obl.DT} - V_{sr.DT}$  - różnica w wydajności przepływu powietrza otrzymanej z pomiaru prędkości przepływu i zmierzonej bezpośrednio miernikiem DT 8893;

$V_{VC} = 60 \cdot v_{sr.VC} \cdot \pi d_x^2 / 4$  - obliczona wartość wydajności przepływu (miernik VelociCalc 9515) w m<sup>3</sup>/min;

$V_{DC} = 60 \cdot v_{sr.DC} \cdot \pi d_x^2 / 4$  - obliczona wartość wydajności przepływu (miernik Wöhler DC 2000) w m<sup>3</sup>/min;

***W sprawozdaniu należy:***

1. Uzupelnic tabele 1-4 i przeprowadzić analizę uzyskanych wyników pomiarów i obliczeń.
2. Wykreślić charakterystyki rozkładu średnich prędkości oraz wydajności przepływu w poszczególnych miejscach pomiarowych otrzymanych przy pomocy mierników DT 8893, VelociCalc 9515, Wöhler DC 2000 (wykresy kolumnowe).
3. Przedstawić wnioski, jakie nasunęło wykonywane ćwiczenie.

### **3. PYTANIA I ZADANIA KONTROLNE**

1. Wymień metody pomiaru temperatury i omów jedną z nich. Podaj przyczyny błędów pomiaru.
2. Wymień metody pomiaru ciśnienia i omów jedną z nich. Podaj przyczyny błędów pomiaru.
3. Wymień metody pomiaru prędkości przepływu i omów jedną z nich. Podaj przyczyny błędów pomiaru.
4. Wymień metody pomiaru wydajności przepływu i omów jedną z nich. Podaj przyczyny błędów pomiaru.
5. Wymień metody pomiaru wilgotności powietrza i omów jedną z nich. Podaj przyczyny błędów pomiaru.

### **4. LITERATURA**

1. Turkowski M.: *Przemysłowe sensory i przetworniki pomiarowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.

2. Taler D.: *Pomiar ciśnienia, prędkości i strumienia przepływu płynu*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2006.
3. Michalski A., Tumański S., Żyła B.: *Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych*, oficyna wydawnicza Pol. Warszawskiej, W-wa 1999.
4. Ammonit Measurement GmbH: *Witryna internetowa*.  
<http://www.ammonit.com>, stan z 11.12.2011.

## Wymagania BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad:

- Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.