



ĆWICZENIE NR 11

PRZETWORNIKI SPIROMETRYCZNE

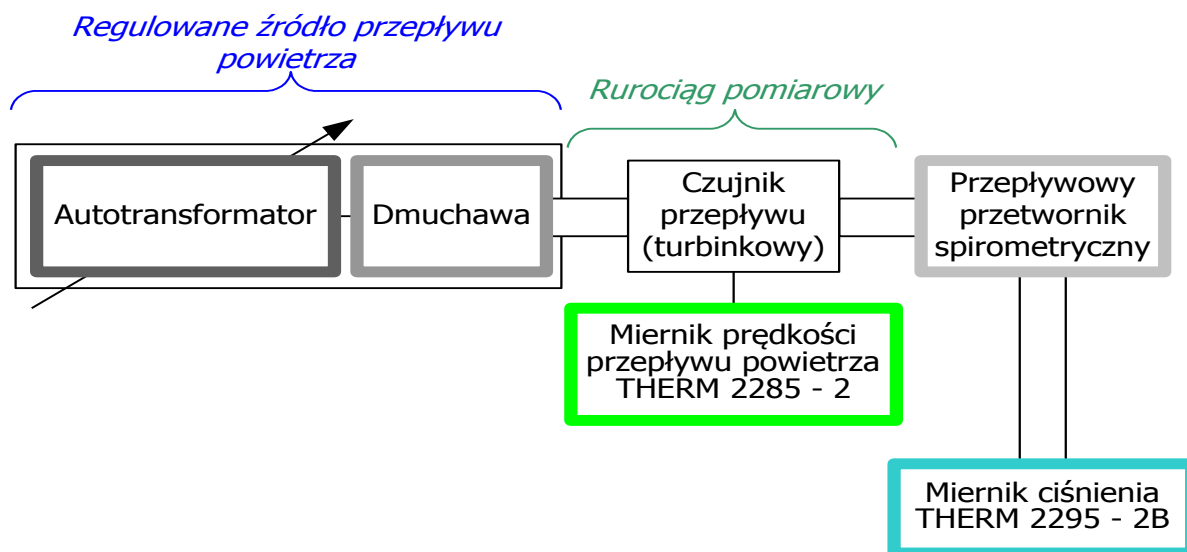
Cel ćwiczenia

Poznanie budowy i właściwości metrologicznych przepływowych przetworników spirometrycznych oraz warunków ich pracy. Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania przetwornika spirometrycznego.

Część 11.1.

Badanie charakterystyki przetwarzania przetworników spirometrycznych

- 11.1.1. Zidentyfikować zasadę działania przetwornika zawierającego 2 tensometry (zamocowane na dwóch stronach belki). Narysować tor przetwarzania: przepływ powietrza – napięcie.
- 11.1.2. Zidentyfikować zasadę działania przetwornika turbinkowego oraz dowolnego przetwornika zwężkowego.
- 11.1.3. Wyznaczyć charakterystykę przetwarzania trzech wybranych przetworników w zakresie przepływu (0-10) dm³ (tj. w zakresie pracy miernika THERM 2285-2). Badania przeprowadzić w układzie przedstawionym na rys. 11.1.
- 11.1.4. Podać współczynniki korelacji trzech wybranych linii aproksymujących charakterystykę $P(Q)$. Dla najlepszej krzywej aproksymującej charakterystykę określić błąd nieliniowości tak wybranej charakterystyki.
- 11.1.5. Dla przetworników rozważanych w punkcie 11.1.4 wyznaczyć charakterystykę odwrotną, tj. $Q(P)$. Podać błąd nieliniowości przetwornika.
- 11.1.6. Porównać rezultaty dla trzech przetworników.



Rys. 11.1. Schemat układu pomiarowego do badania charakterystyki przetwarzania przetwornika spirometrycznego

Część 11.2.

Badanie warunków pracy przetwornika spirometrycznego

- 11.2.1. Wyznaczyć eksperymentalnie temperaturę powietrza wydmuchanego podczas natężonego wydechu. Obserwować zmiany temperatury w czasie sześciu sekund. Podać zakres zmian temperatury. Badania powtórzyć trzykrotnie, u dwóch osób.
- 11.2.2. Zbadać wpływ czasu przetrzymania powietrza w płucach na końcową temperaturę wydychanego powietrza.
- 11.2.3. Wyznaczyć eksperymentalnie wilgotność powietrza wydmuchanego podczas natężonego wydechu. Obserwować zmiany wilgotności zależnie od prędkości wydychanego powietrza. Podczas obserwacji należy uwzględnić bezwładność czujnika wilgotności.
- 11.2.4. Oszacować wartość współczynnika korekcyjnego K_K (biorąc pod uwagę wartości temperatury i wilgotności zmierzone podczas eksperymentów) dla:
 - a. aktualnych warunków otoczenia,
 - b. warunków panujących w przetworniku (przyjąć stałą wartość temperatury),
 - c. zmieniających się warunków panujących w przetworniku,Powtórzyć obliczenia z punktów a, b, c dla dwóch parametrów oddechowych: FEV₁ oraz FVC, przyjmując w obu przypadkach taką samą temperaturę, a następnie odpowiednio różniącą się.
- 11.2.5. Wyznaczyć charakterystykę przetwarzania przetwornika spirometrycznego typu Fleischa (z oporem przepływu w postaci sitka). Powtórzyć badanie dla wilgotnego powietrza (kontrolować wilgotność). Porównać rezultaty.

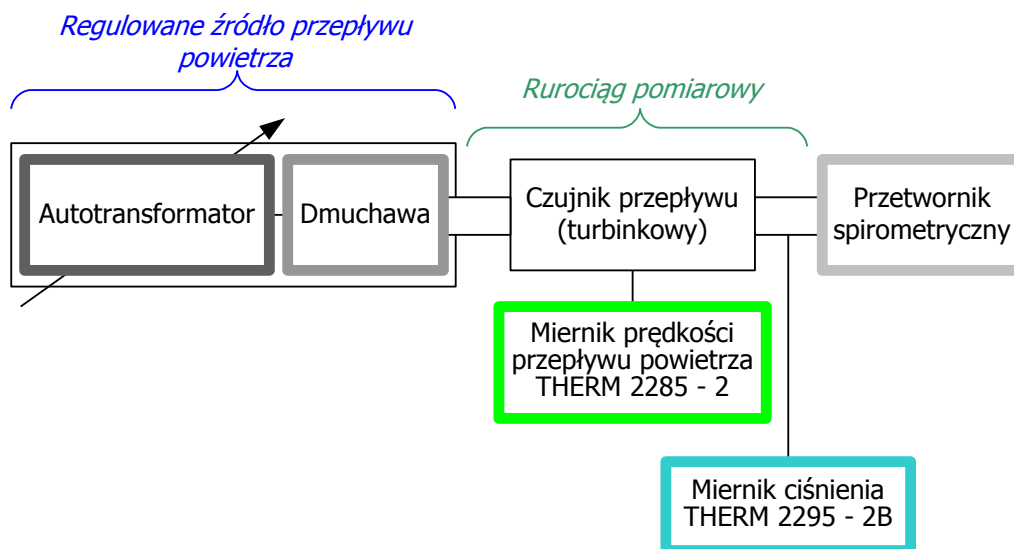
Część 11.3.

Wyznaczanie oporu przepływowego przetwornika spirometrycznego. Obserwacja cech dynamicznych przepływowego przetwornika spirometrycznego

- 11.3.1. Na podstawie oglądu zidentyfikować zasadę działania wszystkich przetworników spirometrycznych znajdujących się na stanowisku. Oszacować relację między ich oporami przepływowymi. Uzasadnić decyzję. Przetworniki odpowiednio uszeregować biorąc pod uwagę przewidywany opór przepływu.
- 11.3.2. Na podstawie pomiarów wyznaczyć charakterystykę zmian oporów przepływowych wybranych trzech przetworników. Pomiar przeprowadzić w układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 11.2. Uwaga: pomiary przeprowadzić w zakresie (0-10) dm³ (tj. w zakresie pracy miernika THERM 2285-2).
- 11.3.3. Wykonać natężony wydech posługując się wybranym z punktu 11.3.2 przetwornikiem spirometryczny. Za pomocą manometru AB-8890 zarejestrować zmiany ciśnienia na jego wejściu (w podobnym jak punkcie 11.3.2 układzie pomiarowym). Obserwowanym zmianom ciśnienia przyporządkować odpowiednie wartości oporów przetwornika spirometrycznego. Pokazać na wykresie jak zmienia się opór przetwornika podczas rejestracji natężonego wydechu. Eksperyment powtórzyć dwukrotnie (dla jednej osoby bądź dla dwóch osób).
- 11.3.4. Określić opór przepływu każdego z badanych przetworników przy zadanej prędkości $Q = 5 \text{ dm}^3/\text{s}$. Porównać wyniki. Oszacować dokładność pomiaru.

11.3.5. Na podstawie wykreślonej charakterystyki z punktu 11.3.2 oszacować opór przepływu przetworników zgodnie z wymaganiami ARS/ERS* (światowych towarzystw pulmonologicznych) tj. dla przepływu $Q = 12 \text{ dm}^3/\text{s}$. Porównać wyniki. Oszacować dokładność uzyskanych rezultatów.

11.3.6. Zaobserwować pracę przetwornika turbinkowego w warunkach dynamicznych (badania oscyloskopowe).



Rys. 11.2. Schemat układu pomiarowego do badania oporów przepływu przetwornika spirometrycznego

Aparatura

- przetworniki spirometryczne typu turbinkowego i zwężkowego,
- regulowane źródło przepływu powietrza składające się z:
 - autotransformatora,
 - dmuchawy,
- miernik prędkości przepływu powietrza THERM 2285-2,
- manometr różnicowy THERM 2295-2B,
- termometr elektroniczny THERM 2280-2 współpracujący z czujnikiem N821-1,
- czujnik wilgotności współpracujący z miernikiem THERM 2285-2,
- manometr różnicowy ABATRONIC AB-8890,
- zasilacz napięciowy,
- częstotściomierz,
- oscyloskop.

Zagadnienia do rozważenia

1. Czynniki fizyczne wpływające na dokładność przetwornika spirometrycznego.
2. Parametry metrologiczne przetwornika spirometrycznego: liniowość, opór przepływu, dynamika odpowiedzi, inne.
3. Spirometryczna turbinka pomiarowa. Źródła błędów pomiarowych.
4. Warunki wyznaczania charakterystyki dynamicznej przepływowego przetwornika spirometrycznego. Zakres wykorzystania charakterystyki.

* ATS – American Thoracic Society, ERS – European Respiratory Society

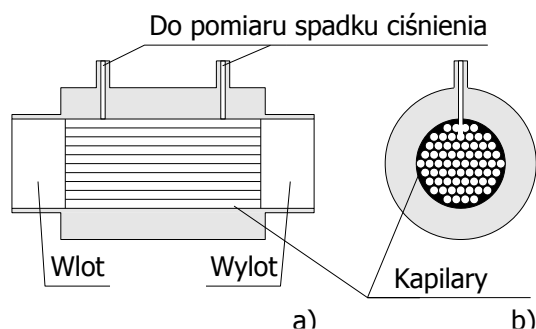
5. Warunki wyznaczania charakterystyki statycznej przepływowego przetwornika spirometrycznego. Zakres wykorzystania charakterystyki.
6. Warunki wyznaczenia oporu przepływu przetwornika spirometrycznego.

Literatura

- [1]. Buess C. H., Boutellier U., Koller E. A., Pneumotachometers. W: Encyclopaedia of medical devices and instrumentation, (Webster J. G.) vol. 4, Willey New York 1988, 2319–2324.
- [2]. Milic-Emili J., Respiratory mechanics: European Respiratory Society Journals, Sheffield 1999, 4, 12.
- [3]. Nałęcz M., Biopomiary, t. 2: Akad. Ofic. Wyd. EXIT, Warszawa 2001.

Budowa i zasada działania spirometrycznego przetwornika zwężkowego

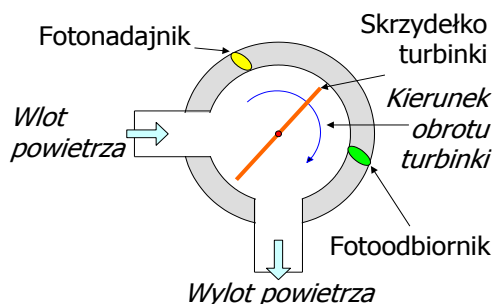
Spirometryczny przetwornik przepływowy, zwany zwężką, zamienia prędkość przepływu powietrza na różnicę ciśnień, na skutek oporu przepływowego, jaki stawia przewężenie istniejące w kanale przetwornika. Różnica ta zależy od prędkości przepływającego powietrza a także od powierzchni przekroju przewężenia. O oporze przetwornika decyduje jego konstrukcja. Przewężenie, powodujące powstawanie różnicy ciśnień, może być wykonane w postaci kryzy, gęstego sitka lub wiązki kapilarnych rurek (rys. 11.3).



Rys. 11.3. Przykład konstrukcji przetwornika zwężkowego z oporem przepływowym w postaci wiązki kapilar: a) przekrój podłużny, b) przekrój poprzeczny

Budowa i zasada działania spirometrycznego przetwornika turbinkowego

Zasadę działania oraz budowę przetwornika przedstawia rys. 11.4. Skrzydełko umieszczone w odpowiednio skierowanym strumieniu powietrza obraca się z prędkością zależną od prędkości przepływającego powietrza modulując strumień światła emitowany na drodze fotonadajnik – fotoodbiornik. W ten sposób liczba wygenerowanych impulsów świetlnych pozwala na określenie ilości obrotów skrzydełka turbinki, a zatem umożliwia także określenie prędkości przepływającego powietrza.



Rys. 11.4. Konstrukcja przetwornika turbinkowego (przekrój poprzeczny)

Warunki pomiarów parametrów spirometrycznych

Powietrze oddechowe znajdujące się w płucach charakteryzują następujące parametry fizyczne: temperatura, ciśnienie, wilgotność oraz skład chemiczny. Rzeczą zrozumiałą jest, że skład chemiczny zależy od tego, czy powietrze wchodzi do płuc z zewnątrz, bogate w tlen, czy też wychodzi z płuc przyczyniając się do usunięcia zbędnego dla organizmu dwutlenku węgla. Zmierzona wartość objętości powietrza wydychanego zależy od pozostałych parametrów fizycznych, które zgodnie z prawami gazowymi ją określają. Należy zwrócić uwagę na fakt, że powietrze w płucach jest ogrzane do temperatury ciała (+37°C), a wydostając się na zewnątrz do otoczenia ochładza się i zmniejsza swoją objętość. Także zmienia się jego ciśnienie i wilgotność (w płucach jest ono nasycone parą wodną). Te cechy otoczenia mogą zmieniać się w szerokim zakresie, w wyniku czego zmieniać się będzie objętość płucna mierzona na zewnątrz.

W różny sposób precyzuje się warunki pomiarów spirometrycznych, jednak najczęściej są to:

ATPS – aktualna temperatura i ciśnienie oraz nasycenie powietrza parą wodną w czasie pomiaru,

BTPS – temperatura +37°C (temperatura ciała), ciśnienie zewnętrzne (otoczenia) normalne (760 mm Hg (tj. 1013,25 hPa)), nasycenie parą wodną – są to warunki, w których powietrze oddechowe znajduje się w płucach.

W celu odpowiedniej normalizacji wyników pomiaru stosuje się następujący współczynnik korekcyjny, uwzględniający zmienne warunki otoczenia:

$$K_K = \frac{273 + T_p}{273 + T_o} \cdot \frac{P_o - \frac{H_o}{100} \cdot P_{H_2O}(T_o)}{P_o - P_{H_2O}(T_p)} \quad (11.1)$$

gdzie:

- P_o [kPa] – ciśnienie atmosferyczne panujące w otoczeniu,
- P_{H_2O} [kPa] – ciśnienie pary wodnej w temperaturze otoczenia,
- T_p [°C] – temperatura pacjenta,
- T_o [°C] – temperatura otoczenia,
- H_o – wilgotność względna w otoczeniu.

Na podstawie analizy powyższego wyrażenia można wykazać, iż największy wpływ ma temperatura otoczenia T_o , przyczyniająca się do schłodzenia wydychanego powietrza. Wpływa ona także na ciśnienie pary wodnej P_{H_2O} . Formuła (11.2) przedstawia odpowiednią zależność. Pozostałe czynniki wpływają w mniejszym stopniu (por. tab. 11.1).

$$P_{H_2O}(T) = 0,805 \cdot 10^{-4} \cdot T_o^3 - 11,571 \cdot 10^{-4} \cdot T_o^2 + 94,696 \cdot 10^{-3} \cdot T_o + 256,291 \cdot 10^{-3} \quad (11.2)$$

W ten sposób każdy z parametrów oddechowych V_{ATPS} wyznaczony w warunkach aktualnych ATPS można przedstawić w postaci znormalizowanej BTPS jako V_{BTPS} (wzór (11.3)). To pozwoli na uniezależnienie się od często zmieniających się warunków otoczenia. Zaniedbanie tego wpływu spowoduje pojawienie się błędu (11.4).

$$V_{BTPS} = K_K \cdot V_{ATPS} \quad (11.3)$$

$$\delta = \frac{V_{ATPS} - V_{BTPS}}{V_{BTPS}} \quad (11.4)$$

Tabela 11.1. Zakres zmienności warunków pomiaru objętości wydychanego powietrza

Lp.	Parametr otoczenia	Warunki odniesienia	Zakres zmienności warunków odniesienia	ΔK_K *
1.	T_O [°C]	20	15-25	1,128-1,074
2.	T_P [°C]	37	36-39	1,095-1,117
3.	P_O [kPa]	101,3	98-104	1,103-1,101
4.	H_O [%]	100	50-100	1,107-1,120

* zakres zmienności współczynnika K_K spowodowany zmianą danego parametru otoczenia w podanym zakresie.

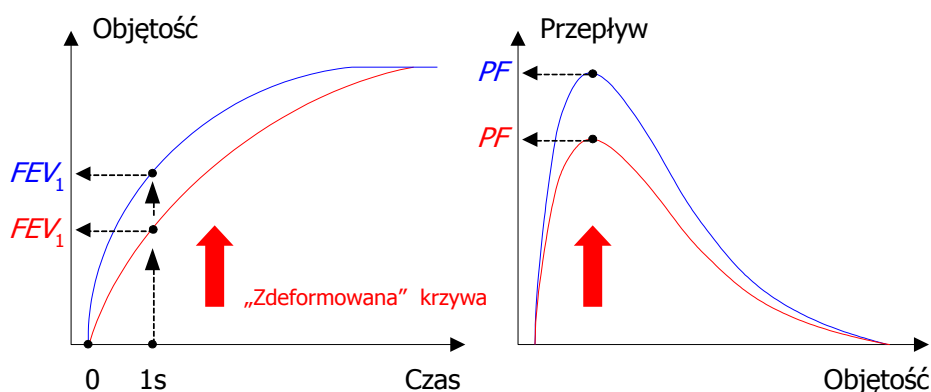
Znaczenie charakterystyki i oporu przepływowego przetwornika spirometrycznego

Przewężenie istniejące w przetworniku spirometrycznym ma za zadanie spowodować różnicę ciśnień ΔP przed i za nim. Różnica ta umożliwi wyznaczenie prędkości przepływu Q zgodnie z zależnością:

$$Q \approx \frac{\Delta P}{R_p} \quad (11.5)$$

gdzie R_p – opór przepływu zwężki. Wskazane jest, aby charakterystyka ta była liniowa. W przeciwnym wypadku będzie to źródłem błędów pomiarowych. Użycie w formule (11.5) znaku przybliżenia wskazuje na wystąpienie takiej możliwości. Dlatego często dokonuje się operacji „poprawienia” charakterystyki polegającej na przybliżeniu rzeczywistej (zmierzonej) charakterystyki funkcją $\Delta P = \varphi(Q)$, przy czym relacja ta nie musi być liniowa. Ten błąd przetwarzania można wyznaczyć eksperymentalnie. Określa się maksymalną różnicę, jaka pojawia się między wartością zmierzona a wartością teoretyczną, następnie tę wartość odnosi się do zakresu pomiarowego.

Analizując wyrażenie (11.5) łatwo zauważyć, że spadek ciśnienia będzie tym większy im większy będzie opór przetwornika. Oznacza to, że równocześnie większa będzie czułość charakteryzująca daną zwężkę. Zwiększony opór R_p sprawi jednak, że mogą zostać zmienione warunki pracy układu oddechowego, co znacznie wpłynie na wartość wyznaczanych parametrów oddechowych, szczególnie dla natężonego wydechu (por. rys. 11.5).



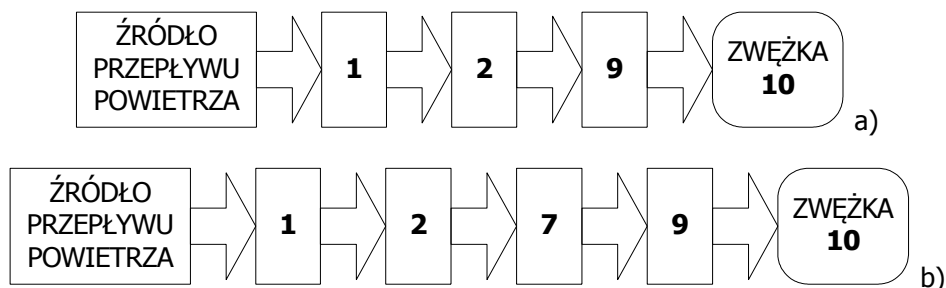
Rys. 11.5. Rezultaty wpływu oporu przepływowego przetwornika spirometrycznego na rejestrowane krzywe natężonego wydechu

Opór przetwornika będzie zatem źródłem błędu metody. Aby znaleźć kompromis między czułością przetwornika a błędem metody ustalono (ATS, ERS), że opór przepływu przetwornika spirometrycznego nie powinien przekraczać wartości $150 \text{ Pa/dm}^3/\text{s}$ przy prędkości przepływu powietrza $12 \text{ dm}^3/\text{s}$.

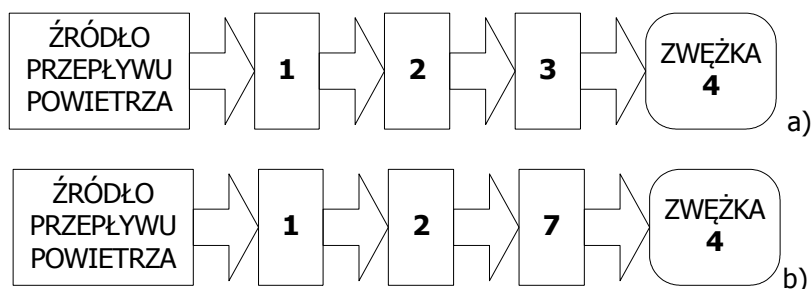
Stanowisko do sprawdzania charakterystyk przepływowych przetworników spirometrycznych

Stanowisko to ma złożoną budowę. Regulacja prędkości przepływu jest realizowana poprzez zmianę napięcia zasilania dmuchawy, którą zapewnia autotransformator. Miernik przepływu powietrza współdziała z przetwornikiem typu wiatraczkowego, który jest umieszczony w kanale o średnicy 18 mm. Wskazanie miernika v jest podawane w m/s ; toteż, aby określić przepływ Q w dm^3/s , należy dokonać odpowiednich przeliczeń ($Q = \pi r^2 \cdot v$).

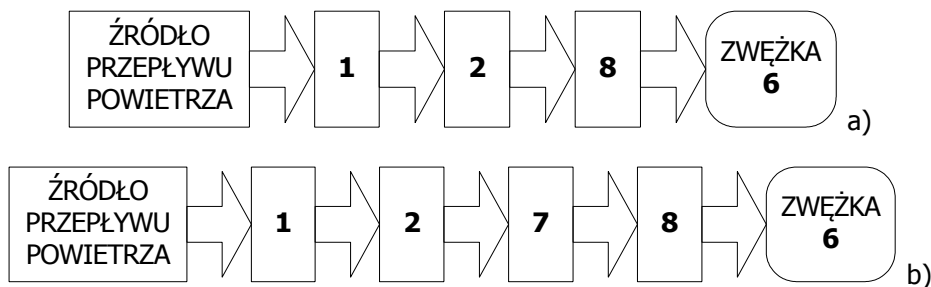
Dołączony miernik ciśnienia wykorzystywany jest do badania charakterystyk spirometrycznych przetworników zwężkowych. Aby to zbadać należy zbudować rurociąg pomiarowy z odpowiednio dopasowanych elementów, co przedstawiono na schematach połączeń: rysunki 11.6 do 11.11.



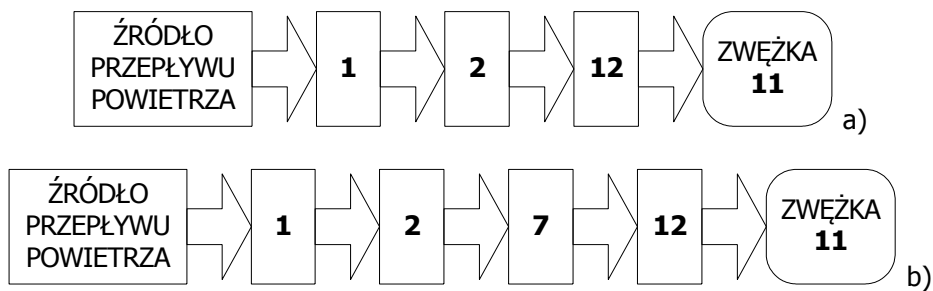
Rys. 11.6. Schematy połączeń do badania zwężki oznaczonej numerem **10** (przewężenie wraz z kapilarami umieszczonymi na obwodzie zewnętrznym w stosunku do przewężenia): a) charakterystyki przetwarzania $f(Q)$, b) oporów przepływu $R = P/Q$



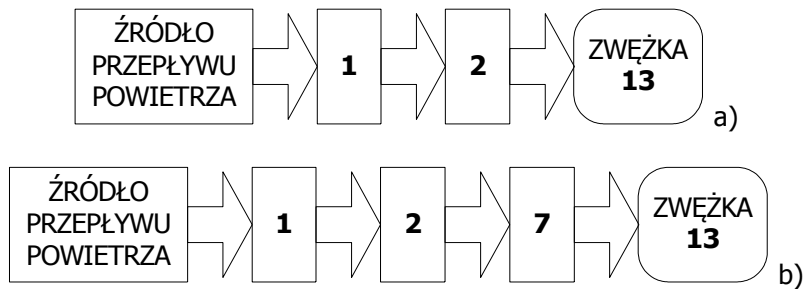
Rys. 11.7. Schematy połączeń do badania charakterystyki zwężki oznaczonej numerem **4** (sitko): a) charakterystyki przetwarzania $f(Q)$, b) oporów przepływu $R = P/Q$



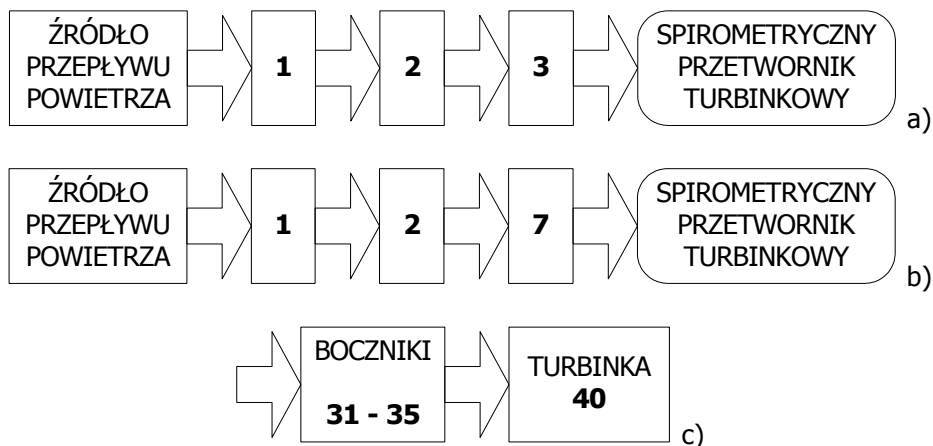
Rys. 11.8. Schematy połączeń do badania charakterystyki zwężki oznaczonej numerem **6** (fabryczna; sitko): a) charakterystyki przetwarzania $f(Q)$, b) oporów przepływu $R = P/Q$



Rys. 11.9. Schematy połączeń do badania charakterystyki zwięzki oznaczonej numerem **11**:
 a) charakterystyki przetwarzania $P(Q)$, b) oporów przepływu $R = P/Q$



Rys. 11.10. Schematy połączeń do badania charakterystyki zwięzki oznaczonej numerem **13** (kryza):
 a) charakterystyki przetwarzania $P(Q)$, b) oporów przepływu $R = P/Q$



Rys. 11.11. Schematy połączeń do badania charakterystyki spirometrycznego przetwornika turbinkowego:
 a) charakterystyki przetwarzania $P(Q)$, b) oporów przepływu $R = P/Q$, c) schemat złożeniowy spirometrycznego przetwornika turbinkowego

PRZETWORNIKI SPIROMETRYCZNE

Wyposażenie stanowiska

Lp.	Aparatura	Dokumentacje	Osprzęt
1.	-	Instrukcja do ćwiczenia	Przetworniki zwężkowe
2.	Czujnik prędkości przepływu powietrza oraz czujnik wilgotności współpracujący z miernikiem THERM 2285-2	Instrukcja obsługi	Przetwornik turbinkowy
3.	Manometr różnicowy THERM 2295-2B	Instrukcja obsługi	Elementy rurociągu
4.	Manometr różnicowy ABATRONIC AB-8890	Instrukcja obsługi	
5.	Częstościomierz PFM 1300	Instrukcja obsługi	
6.	Termometr elektroniczny THERM 2280-2 współpracujący z czujnikiem N821-1	Instrukcja obsługi	
7.	Turbinkowy przetwornik przepływu powietrza typ V-F	Dane techniczne	
8.	Inhalator ultradźwiękowy IU-4	Instrukcja obsługi	
	Autotransformator	Suwmiarka	
	Dmuchawa	1 podstawka do połączeń elektrycznych	
	Zasilacz napięciowy		
	Oscyloskop		