

Aparatura Medyczna

#5

dr inż. Dawid Kucharski

Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Politechnika Poznańska

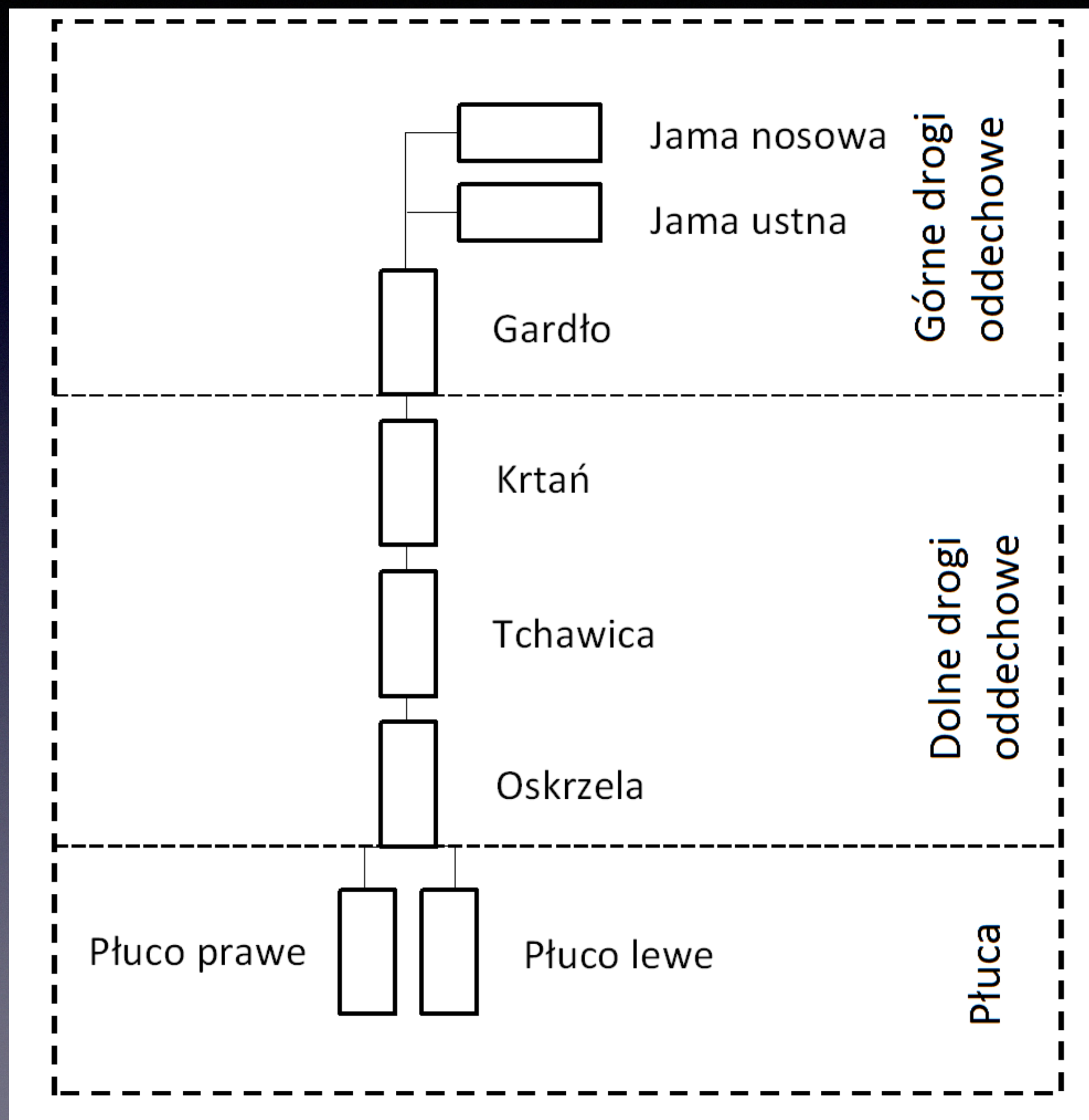
pokój 129 CM (lab. 135, 214, 212 CM)

dawid.kucharski@put.poznan.pl

www.dawid.kucharski.pracownik.put.poznan.pl



Uproszczony układ oddechowy człowieka



Spirometria

Badanie spirometryczne polega na kontroli **objętości** wydychanego (lub wdychanego) powietrza i **prędkości** jego przepływu.

Test natężonego wydechu

Pacjent nabiera do płuc maksymalną objętość powietrza, a następnie wydmuchuje go z największą siłą i szybkością, (zwykle trwa to 4 do 6 sekund).

Ważnym jest sposób, w jaki zmienia się objętość powietrza $V(t)$.

Na tej podstawie wyznacza się parametry oddechowe (spirometryczne): objętość i chwilową bądź średnią wartość prędkości przepływu powietrza.

Te parametry są miarą sprawności wentylacji płuc.

Spirometria

	PARAMETRY STATYCZNE	man / l	women/l
TV	Tidal Volume objętość oddechowa	0,5	0,5
IRV	Inspiratory Reserve Volume zapasowa objętość wdechowa	3,1	1,9
IC	Inspiration Capacity = TV+ IRV	3,6 -3,8	2,4
ERV	Expiratory Reserve Volume zapasowa objętość wydechowa	1,2	0,9
VC	Vital Capacity = TV+IRV+ ERV, pojemność życiowa	4,8	3,3
RV	Residual Volume, objętość zalegająca	1,2	1,0
TLC	Total Lung Capacity, całkowita objętość płuc	6,0	4,3

Spirometria

	PARAMETRY DYNAMICZNE	
FVC	Forced Vital Capacity, natężona pojemność życiowa	l
FEV ₁	Forced Expiratory Volume, natężona pierwszosekundowa objętość wydechowa	l
FEV ₁ /FVC	test Tiffeneau niska wartość < 0,7 => możliwe zwężenia oskrzeli - obturacja, wartość prawidłowa lub zwiększona => możliwe zmniejszenie objętości płuc	
FEF ₂₅₋₇₅	Inspiration Capacity Ocena przepływu powietrza w drobnych oskrzelach	l/s
PEF	Peak Expiratory Flow, szczytowy przepływ wydechowy	l/s

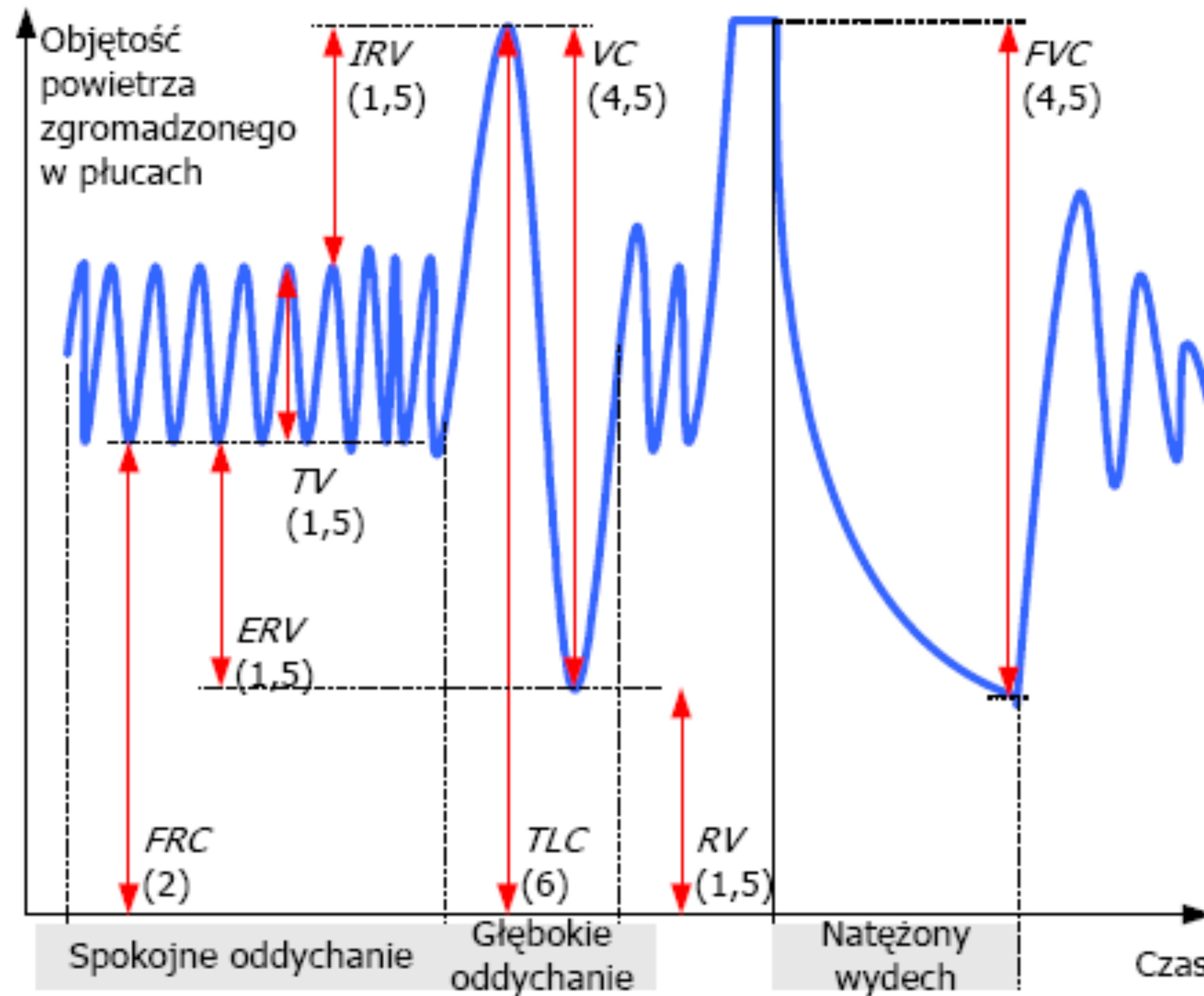
FVC, FEV₁, FEF₂₅₋₇₅ zmniejszają się stopniowo z wiekiem.

FEV₁ zmniejszenie wydolności płuc 30-40 ml/rok w miarę starzenia się organizmu

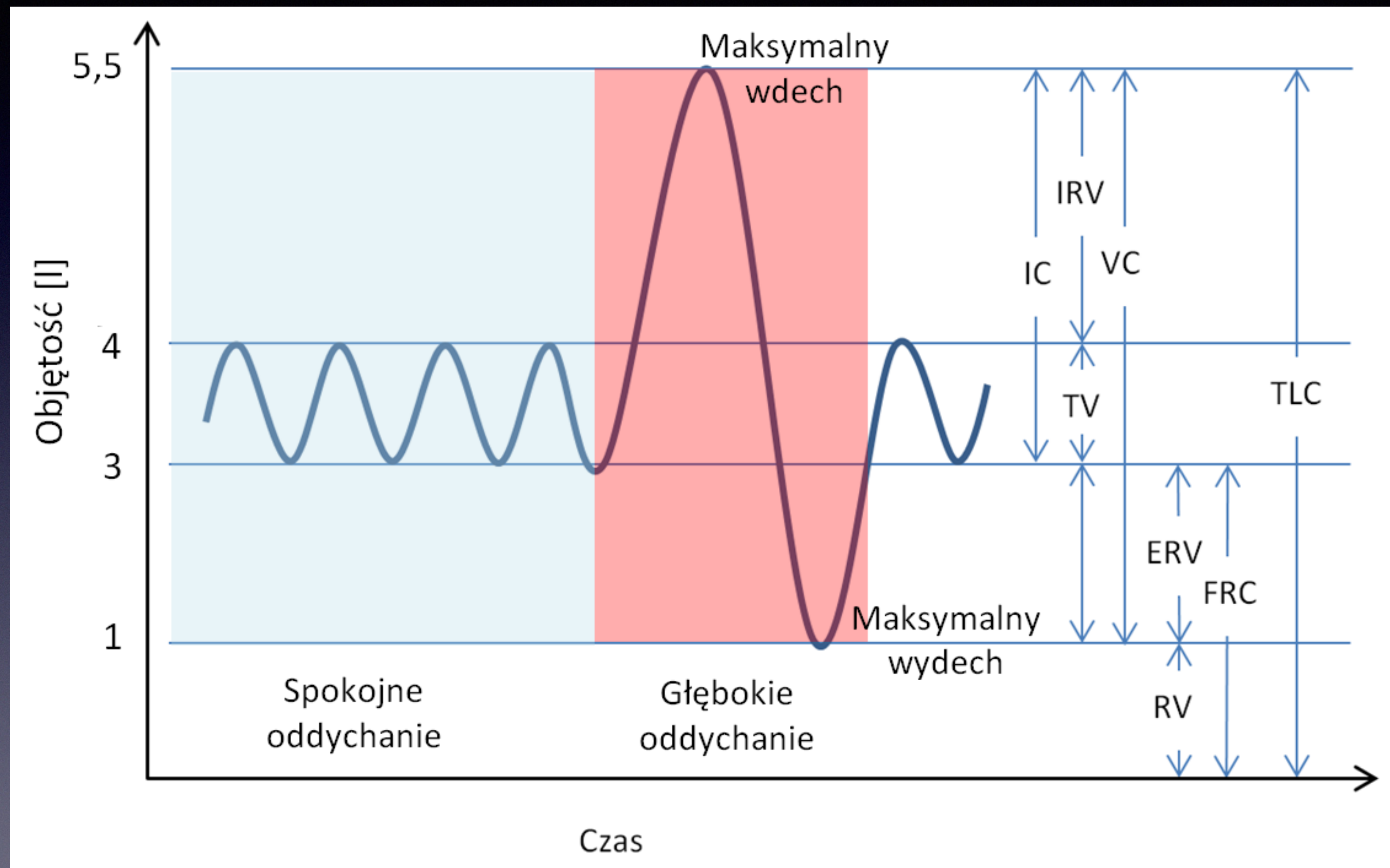
Spirometria

Lp.	Skrót	Definicja	Wartość
Parametry statyczne			
1.	TV	objętość oddechowa; objętość powietrza wdychana (lub wydychana) przy jednym wdechu (lub wydechu)	0,4 dm ³
2.	IRV	zapasowa objętość wdechowa; największa objętość powietrza, które może być wciągnięte do płuc poczynając od szczytu spokojnego wdechu	3,6 dm ³
3.	ERV	zapasowa objętość wydechowa; największa objętość powietrza, które może być wydmuchane z płuc poczynając od szczytu spokojnego wydechu	1,2 dm ³
5.	VC	pojemność życiowa; maksymalna objętość powietrza, które może być wydmuchane z płuc po maksymalnym wdechu	4,8 dm ³
7.	FRC	czynnościowa pojemność zalegająca; objętość powietrza znajdującego się w płucach w chwili ukończenia spokojnego wydechu	2,4 dm ³
8.	RV	objętość zalegająca; objętość powietrza pozostającego w płucach po maksymalnym wydechu	1,2 dm ³
9.	TLC	całkowita pojemność płuc; całkowita objętość powietrza znajdującego się w płucach w chwili ukończenia najgłębszego wdechu	6,0 dm ³
Parametry dynamiczne			
10.	FVC	natężona pojemność życiowa; maksymalna objętość powietrza wydychanego z największą siłą i szybkością poprzedzonego maksymalnym wdechem	4,5 dm ³
11.	FEV _t	natężona objętość wydechowa t-sekundowa; objętość powietrza, które może być wydmuchane w czasie t liczonym od początku natężonego wydechu	FEV ₁ = (3,0 ÷ 4,0) dm ³ FEV ₂ = (3,4 ÷ 4,4) dm ³ FEV ₃ = (3,5 ÷ 4,8) dm ³
12.	MMEF _{V1-V2}	średni przepływ w środku natężonego wydechu; objętość powietrza, które może być wydmuchane w natężonym wydechu czasie Δt określonym przez wartości objętości V ₁ , V ₂	MMEF _{25-75% FVC} = (2,7 ÷ 4,5) dm ³ /s MMEF _{50-75% FVC} = (1,4 ÷ 3,5) dm ³ /s
13.	MEF _{V1}	chwilowy przepływ w środku natężonego wydechu; chwilowa prędkość przepływu powietrza, zmierzona w momencie określonym przez objętość powietrza V ₁	MEF _{25% FVC} = (4,8 ÷ 8,4) dm ³ /s MEF _{50% FVC} = (2,5 ÷ 5,3) dm ³ /s MEF _{75% FVC} = (0,9 ÷ 2,1) dm ³ /s
14.	PF	szczytowy wydatek przepływu; maksymalna prędkość przepływu powietrza w natężonym wydechu	(5,2 ÷ 10,4) dm ³ /s

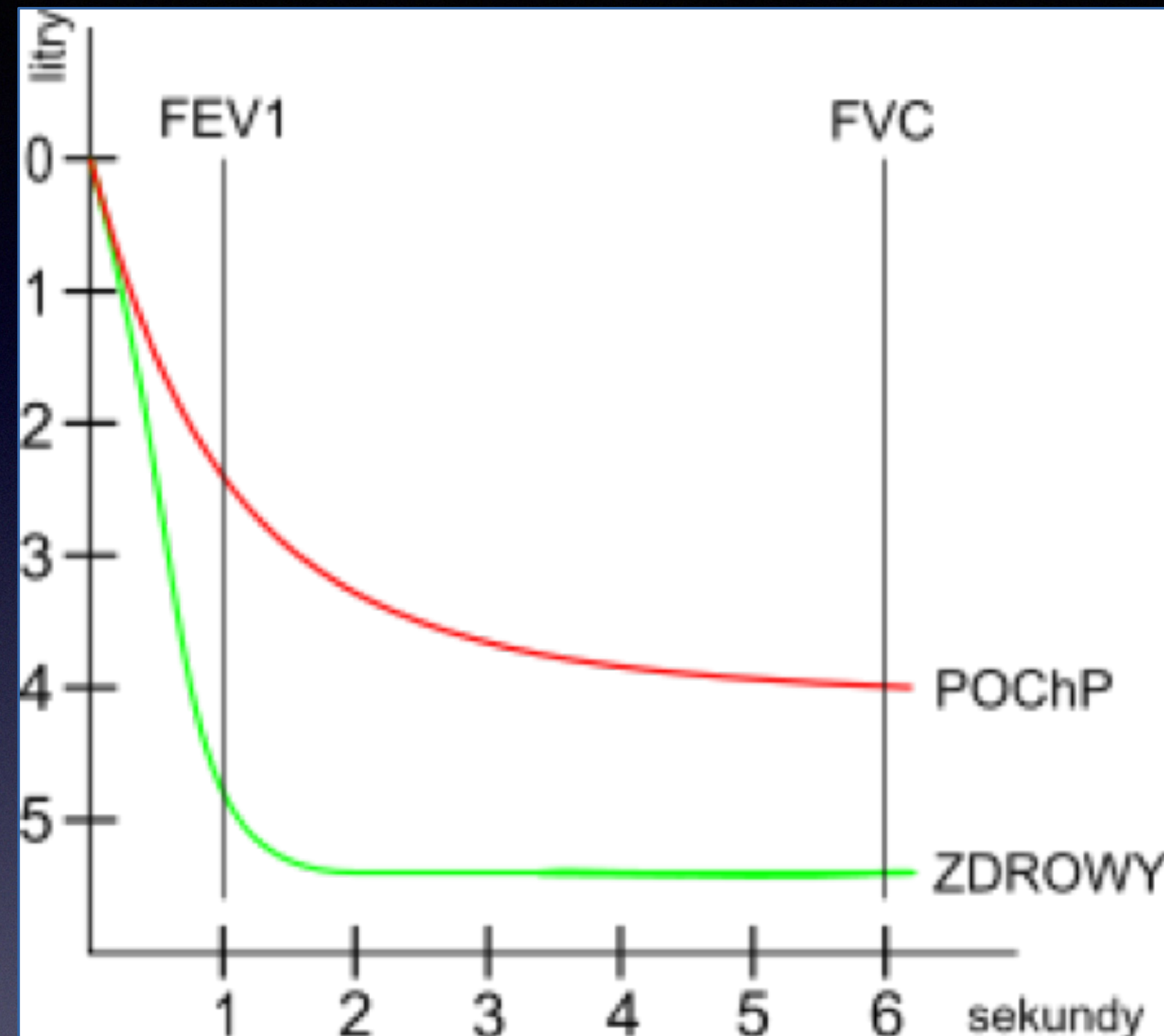
Spirometria



Spirometria



Graficzne przedstawienie parametrów spirometrycznych na krzywej objętość–czas



Przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP) jest wiodącą przyczyną zgonów i niepełnosprawności.

Obejmuje wiele chorób płuc, w tym rozedmę płuc i przewlekłe zapalenie oskrzeli. W większości przypadków POChP, jest wynikiem palenia papierosów.

Warunki pomiarowe

Parametry fizyczne powietrza oddechowego znajdującego się w płucach: temperatura, ciśnienie, wilgotność oraz skład chemiczny.

Skład chemiczny zależy od tego, czy powietrze

- **wchodzi do płuc** z zewnątrz - bogate w **tlen**,
- **wychodzi z płuc**, przyczyniając się do usunięcia zbędnego dla organizmu **dwutlenku węgla**.

Zmierzona wartość objętości powietrza wydechowego zależy od pozostałych parametrów fizycznych, które zgodnie z **prawami gazowymi** ją określają.

- Powietrze w płucach jest ogrzane do temperatury ciała (37°C), a wydostając się na zewnątrz do otoczenia ochładza się i zmniejsza swą objętość.
- Zmienia się jego ciśnienie i wilgotność (w płucach jest ono nasycone parą wodną).

Parametry otoczenia mogą zmieniać się w szerokim zakresie, w wyniku czego zmieniać się będzie objętość płucna mierzona na zewnątrz organizmu.

Warunki pomiarowe

Warunki pomiarów spirometrycznych precyzuje się najczęściej przez:

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

BTPS -temperatura 37°C (temperatura ciała),
-ciśnienie zewnętrzne (otoczenia) normalne (760 mmHg), nasycenie parą wodną,
(to warunki, w których powietrze oddechowe znajduje się w płucach).

W celu odpowiedniej normalizacji wyników pomiaru stosuje się **wzór przeliczeniowy**:

$$K_k = \frac{273 + T_p}{273 + T_0} \cdot \frac{P_0 - \frac{H}{100} P_{H_2O}(T_0)}{P_0 - P_{H_2O}(T_p)},$$

gdzie:

K_k - poprawka wynikająca z warunków pomiarowych,

P_0 [kPa] - ciśnienie atmosferyczne panujące w otoczeniu,

$P_{H_2O}(T_0)$ [kPa] - ciśnienie pary wodnej w temp. otoczenia,

$P_{H_2O}(T_p)$ [kPa] - ciśnienie pary wodnej w temp. pacjenta,

T_0 [°C] - temp. otoczenia,

T_p [°C] - temp. pacjenta,

H - wilgotność względna

Warunki pomiarowe

Największy wpływ ma temperatura otoczenia T_0 , przyczyniająca się do schłodzenia wydychanego powietrza. Wpływa ona także na ciśnienie pary wodnej P_{H_2O} .

$$K_k = \frac{273 + T_p}{273 + T_0} \cdot \frac{P_0 - \frac{H}{100} P_{H_2O}(T_0)}{P_0 - P_{H_2O}(T_p)},$$

$$P_{H_2O}(T) = 0,805 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 - 11,571 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 94,696 \cdot 10^{-3} \cdot T + 256,29 \cdot 10^{-3}$$

T °C	P_{H_2O} kPa
15	1,688071
16	1,804937
17	1,927218
18	2,055395
19	2,189951
20	2,331371
21	2,480136
22	2,636731
23	2,801637
24	2,975337
25	3,158316

Warunki pomiarowe

$$K_k = \frac{273 + T_p}{273 + T_0} \cdot \frac{P_0 - \frac{H}{100} P_{H_2O}(T_0)}{P_0 - P_{H_2O}(T_p)},$$

Lp.	Parametr	Zakres zmienności	K_k	Rorzut, %	Warunki odniesienia
1.	T_{or} , °C	15-25	1,128-1,074	2,5	20
2.	T_p , °C	36-39	1,095-1,117	1,0	37
3.	P_{or} , kPa	98-104	1,103-1,101	0,1	101,3
4.	H , %	50-100	1,107-1,120	0,6	100

Warunki pomiarowe

$$RV = V_{O_2} \cdot \frac{b - a}{i - b},$$

gdzie:

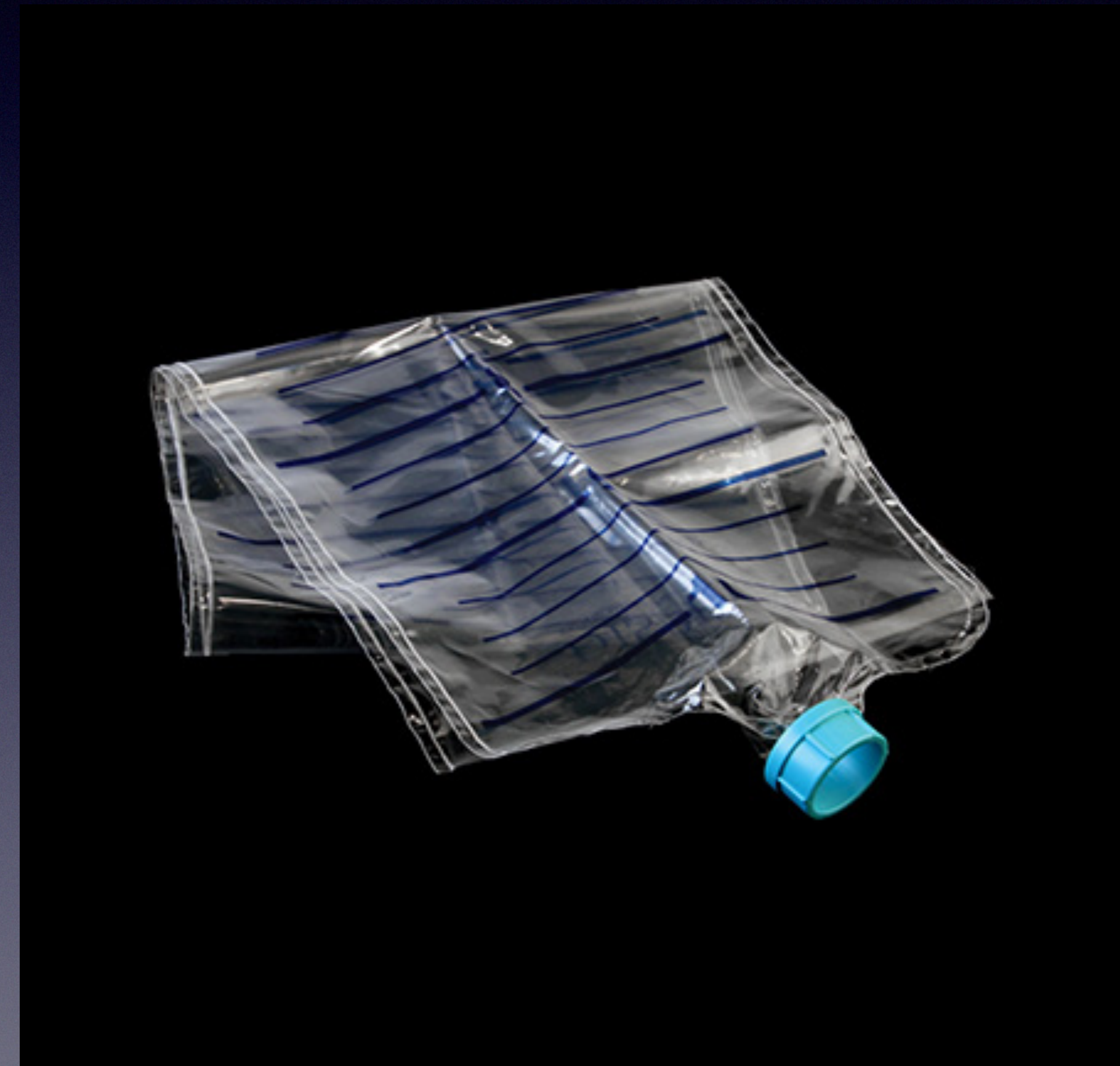
RV - Residual Volume (objętość resztkowa),

V_{O_2} - pocz. objętość tlenu w torebce,

b - % azotu w nadmuchanej torebce,

i - % azotu w torebce przed pomiarem,

a - % zanieczyszczenia azotem tlenu



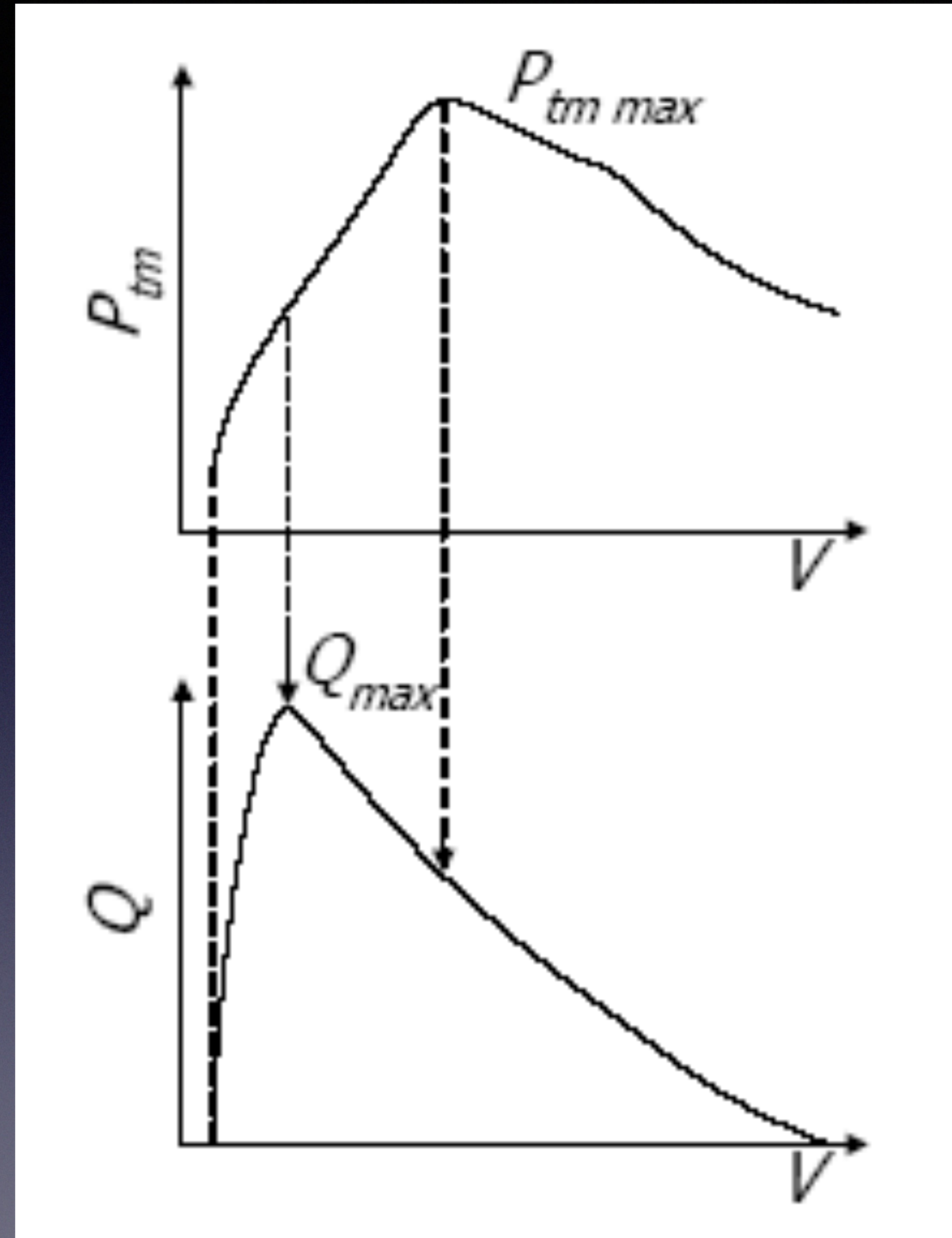
Warunki pomiarowe

Każdy z parametrów oddechowych V_{ATPS} wyznaczony w warunkach aktualnych ATPS można przedstawić w postaci znormalizowanej BTPS jako V_{BTPS} :

$$V_{BTPS} = K_K \cdot V_{ATPS} \cdot$$

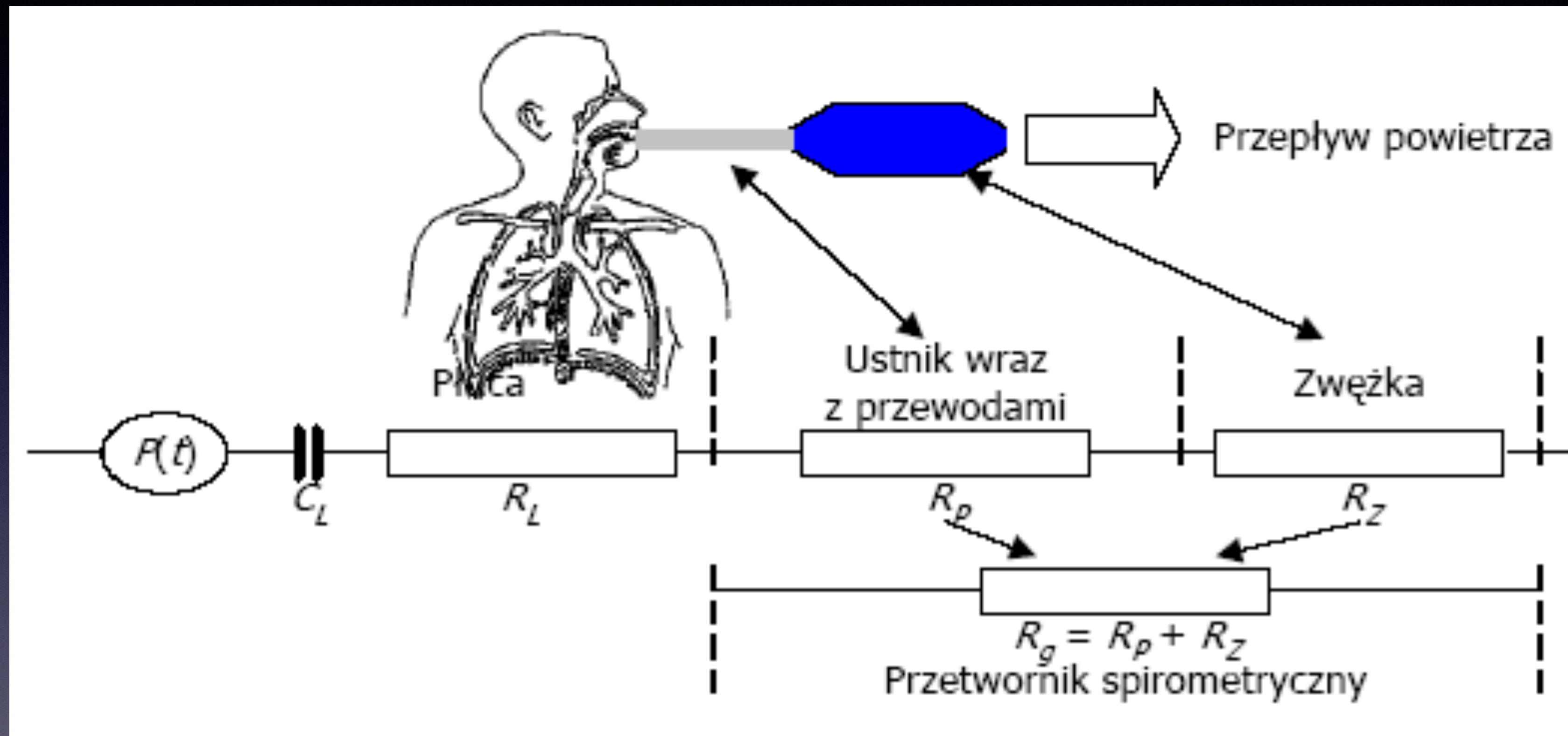
Każdy parametr wyznaczony w warunkach ATPS będzie obarczony błędem δ , jeśli zostanie zaniedbany wpływ tych warunków.

$$\delta(t) = \frac{V_{TPS} - V_{BTPS}}{V_{BTPS}} \cdot$$



Wymuszenie przepływu strumienia objętości powietrza Q z płuc przez generację skoku ciśnienia w natężonym wydechu.

Warunki pomiarowe



$P(t)$ - ciśnienie wymuszające oddychanie,
 C_L - podatność tkanki płucnej,
 R_L - opór drzewa oskrzelowego.

Warunki pomiarowe

Uwaga:

Opór przetwornika spirometrycznego współdziała z oporem układu oddechowego w pełnym zakresie trwania natężonego wydechu.

Wszystkie parametry spirometryczne, w których ujawnia się wpływ oporu przepływowego mogą w trakcie pomiaru ulegać zmianie w zależności od relacji, jaka istnieje między oporami badanego obiektu i przetwornika pomiarowego.

Po dołączeniu przetwornika o oporze przepływu R_g odpowiedź układu w natężonym wydechu ulega zmianie w następujący sposób:

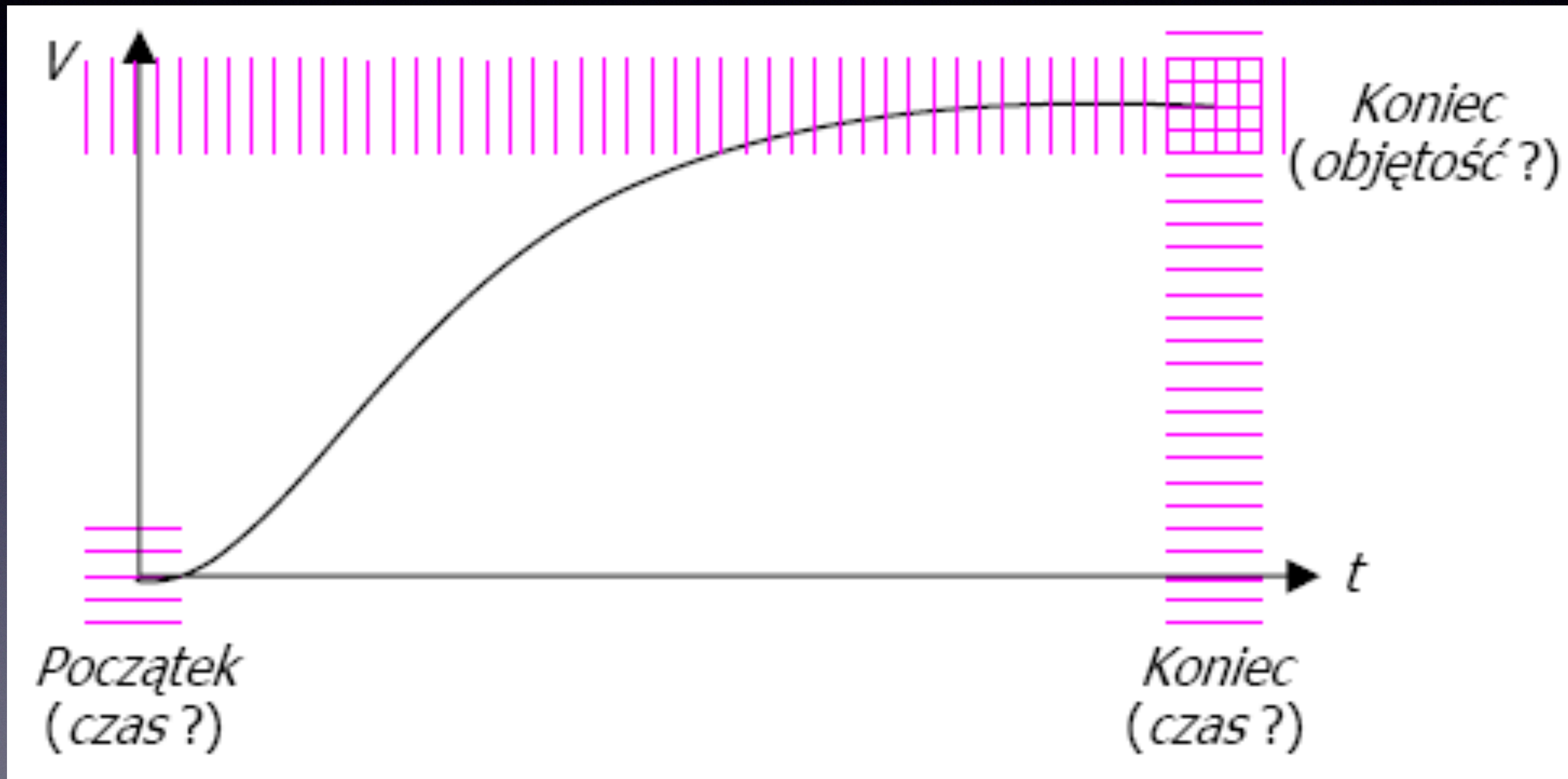
FVC (Forced Vital Capacity) -
natężona pojemność życiowa

$$V_{Lg}(t) = FVC \left[1 - e^{-\frac{t}{(R_L + R_g)C_L}} \right]$$

Przy założeniu, że opór przetwornika pozostaje stały podczas całego procesu natężonego wydechu każdy parametr natężonego wydechu zostaje wyznaczony z błędem $\delta_g(t)$:

$$\delta_g(t) = \frac{V_{Lg}(t) - V_L(t)}{V_L(t)}$$

Warunki pomiarowe



Sygnał testujący płuca

Wytyczne do oceny jakości sygnału testującego płuca zostały opracowane przez światowe organizacje pulmonologiczne **ATS** (American Thoracic Society) oraz **ERS** (European Respiratory Society).

1. KRYTERIUM AKCEPTOWALNOŚCI:

a) właściwy początek testu - tzw. dobry start, łatwy do oceny przez badającego.

Oznacza to, że pacjent dobrze zrozumiał test, wykonał maksymalny wysiłek, zrealizował maksymalny wdech, a krzywa $V(t)$ jest gładka,

b) właściwie zakończony test - w ostatnich dwóch sekundach wydechu nie następuje zmiana objętości (sygnał osiąga plateau), co równoznaczne jest z tym, że urządzenie kontrolujące nie zarejestruje zmian poniżej $0,04 \text{ dm}^3$,

c) odpowiedni czas trwania natężonego wydechu, minimum 6 sekund.

2. KRYTERIUM POWTARZALNOŚCI odpowiedzi $V(t)$.

Jego spełnienie polega na porównaniu dwóch parametrów oddechowych:

maksymalnej objętości wydmuchanego powietrza (FVC) oraz

objętości powietrza wydmuchanego w pierwszej sekundzie natężonego wydechu (FEV_1), które wyznacza się dla testów spełniających kryterium akceptowalności.

Warunki pomiarowe

Dwa testy uznaje się za powtarzalne, jeśli będą spełnione następujące warunki:

1) dla objętości FVC :

$$\frac{FVC_{max} - FVC_i}{FVC_{max}} < 5 \% \quad \text{lub } 0,200 \text{ dm}^3$$

gdzie:

FVC_{max} - największa wartość objętości FVC zaobserwowana wśród analizowanych testów,

FVC_i - wartość objętości i -tego testu,

2) dla objętości FVC_1 :

$$\frac{FVC_1 - FVC_{1,i}}{FVC_1} < 5 \% \quad \text{lub } 0,200 \text{ dm}^3$$

Warunki pomiarowe

Wśród przeprowadzonych testów (5 lub więcej) **trzy** z nich powinny spełniać wymienione wymagania. Przyjmuje się tutaj milczące założenie, że właściwości płuc nie zmieniają się podczas całego okresu kontroli.

Ostatecznie pacjentowi przypisuje się wiele parametrów charakteryzujących natężony wydech, wg następującego klucza:

1. FVC - jako maksymalna zaobserwowana wartość objętości FVC,
2. FEV₁ - jako maksymalna zaobserwowana wartość objętości FEV₁,
3. inne parametry oddechowe – określone na podstawie krzywej spełniającej warunek: $(FEV_1 + FVC) = \max$.

Spirometry

Spirometry turbinkowe – turbowenty

Strumień powietrza porusza turbinę połączoną z prądniczką, której obrót daje ściśle określoną wartość napięcia elektrycznego, przeliczanego na przepływ.

Skomplikowane mechanicznie, część elementów wykonanych np. ze złota ze względów antykorozyjnych i higienicznych.

Wymagają częstych kalibracji.

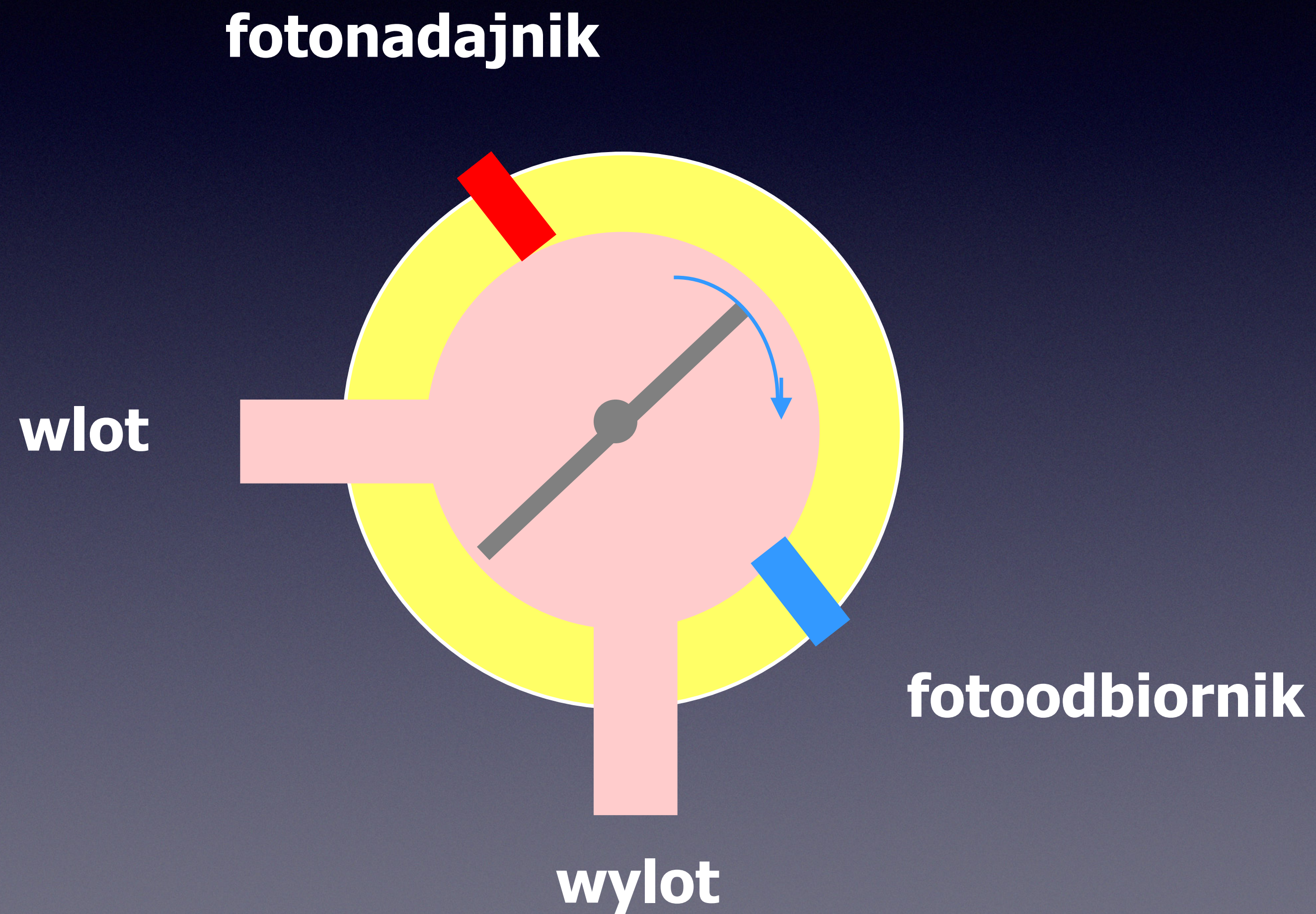
Spirometry ciśnieniowe – pneumotachy

Powietrze powoduje różnicę ciśnień w dwóch różnych miejscach głowicy, za i przed przeszkodą w niej umieszczoną. Ciśnienie powoduje nacisk na sensor, co jest przeliczane na przepływ.

Wymagają częstych kalibracji.

Niezwykle wrażliwe na ciśnienie i temperaturę otoczenia.

Przetwornik turbinkowy



Spirometry termiczne

Wykorzystanie efektu schładzania podgrzewanego czujnika przez opływające go powietrze wydychanego przez pacjenta.

W głowicy są dwa czujniki, jeden skontaktowany z powietrzem otoczenia i drugi z powietrzem wydychanym przez pacjenta.

Im większy przepływ powietrza przy podgrzewanym czujniku, tym większa powstaje różnica temperatur pomiędzy czujnikami i tym większy prąd podgrzewający jest potrzebny, aby tą różnicę skompensować.

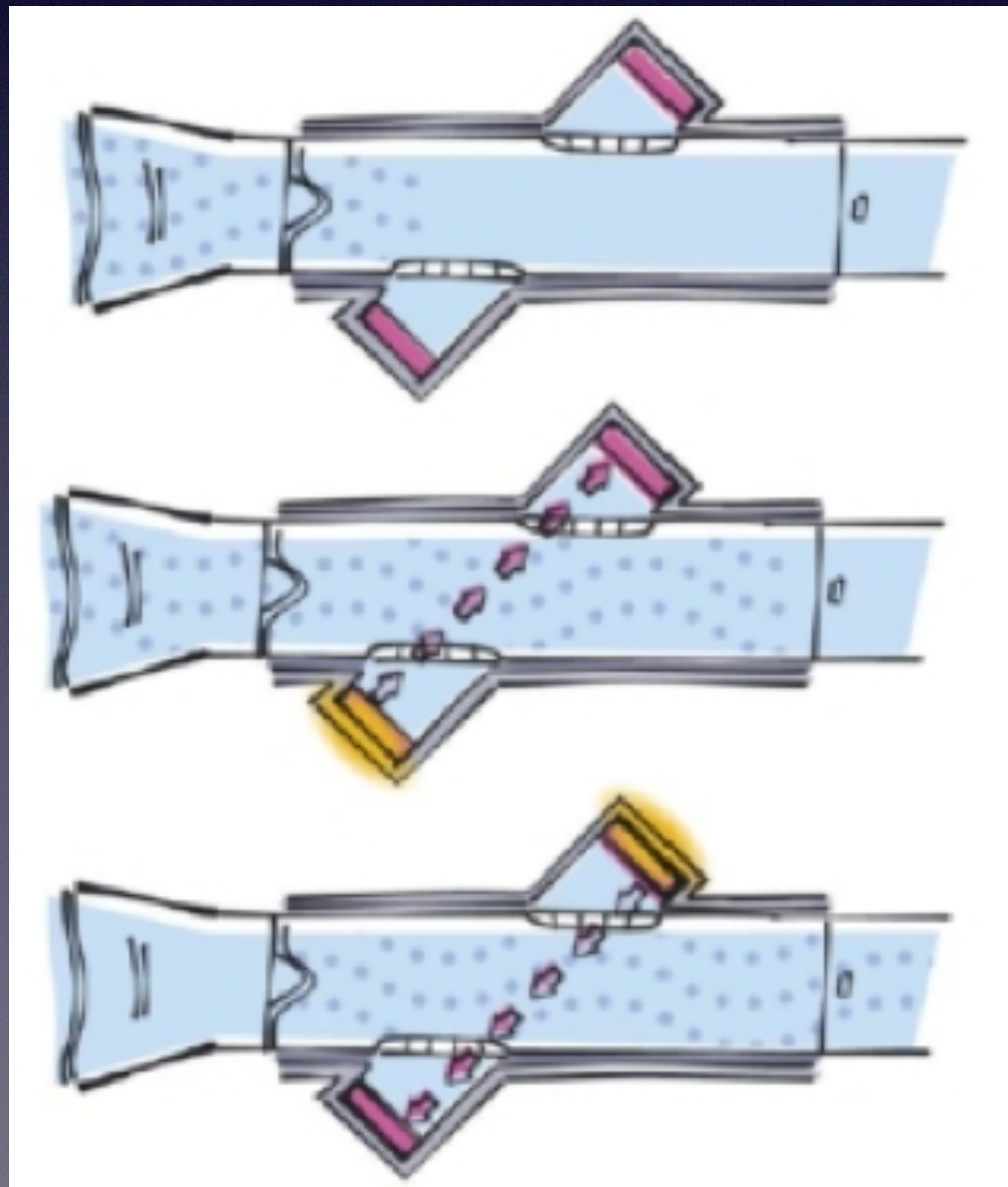


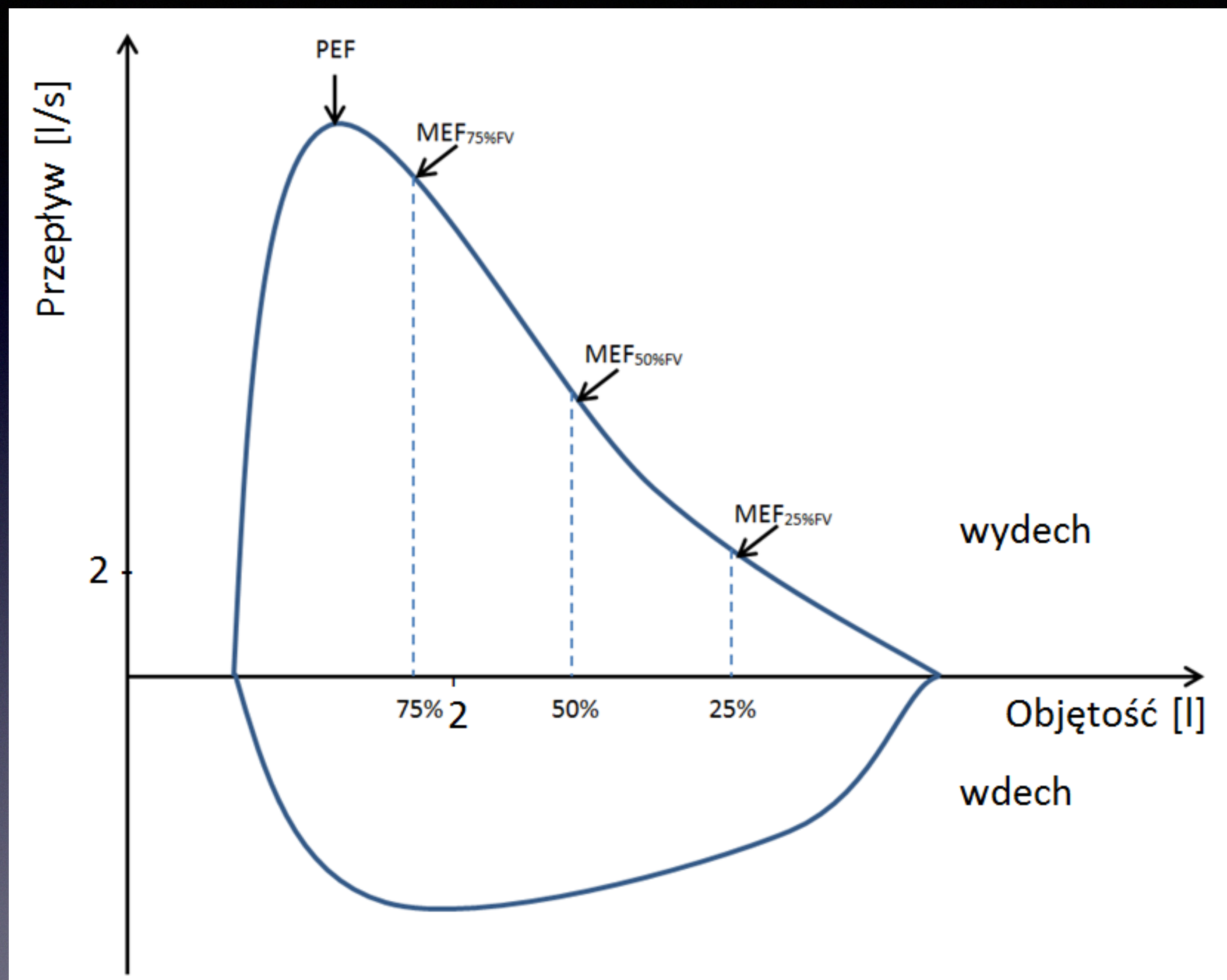
Spirometry ultradźwiękowe - (6 kHz-10 GHz)

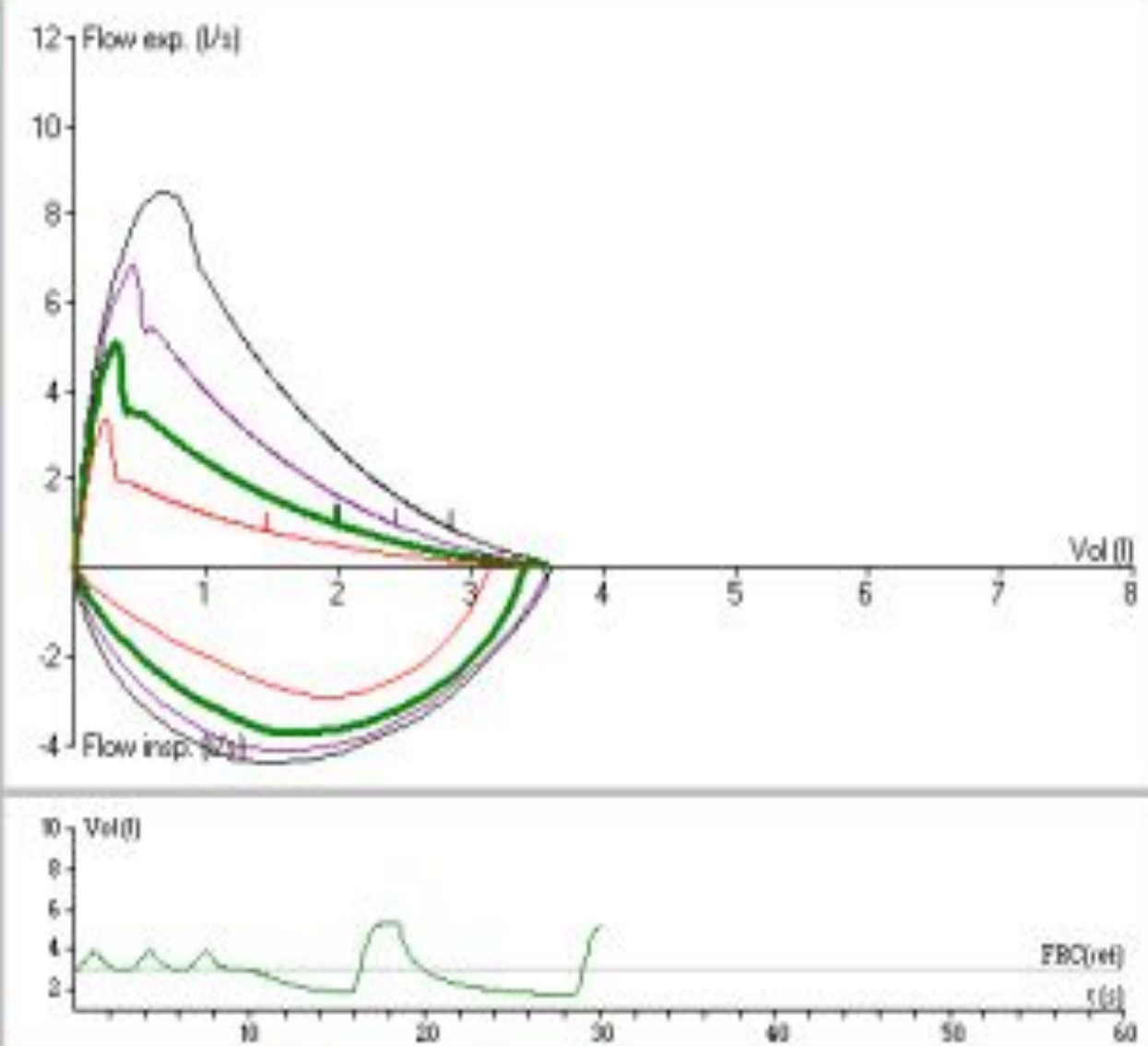
Wykorzystanie efektu Dopplera.

Różnica czasu przejścia fali ultradźwiękowej zgodnie z przepływem powietrza i pod prąd jest przeliczana na przepływ.

Nie wymagają częstych kalibracji.







	Unit	Ref.	Obs.	%
FEV1	l	2.85	1.99	70
VC EX	l	3.59	3.55	99
FEV1 % FVC	%	79.19	56.06	71
PEF	l/s	8.50	5.11	60
MEF75	l/s	7.21	2.60	36
MEF50	l/s	3.25	1.20	37
MEF25	l/s	1.11	0.41	37
ERV	l	1.26	1.24	98
FET	s		10.15	
FRC	l	2.99	2.99	100
TLC	l	5.32	5.30	100

Oba płuca

GŁÓWNE		POŚREDNIE		OBWODOWE		PŁUCA		START	
R	VDe	Ri1/światło	Ri1/światło	CCC	Rozmiar	Cm	START	Wybrany wiersz	
- 50%	- 50%	- 100 (normal)	50%	50%	- 50%	-	reset	100	<input type="text" value="12% TPEF"/>
- 100%	- 100%	- 200 (pogodno)	100%	100%	- 75%	-	reset all	100	
- 200%	- 150%	- 400 (umiar)	200%	150%	- 100%	-	pausa	1	
- 400%	- 200%	- 800 (niezka)	400%	200%	- 125%	-	animacja	100	
- 800%	- 250%	- 1600 (b ciężka)	800%	250%	- 150%	-	Nastawy	100	
100	100	371	100	100	100	100		100	
100	100	769	100	100	100	100		100	
100	100	371	100	100	100	100		100	
100	100	199	100	100	100	100		100	
100	100	100	100	100	100	100		100	



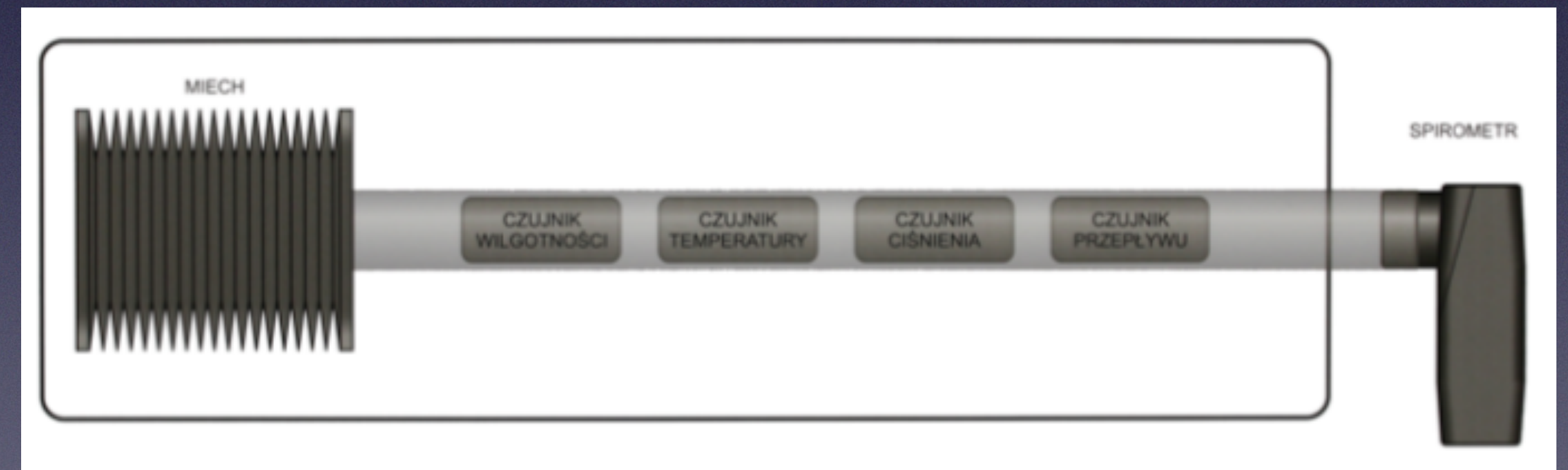
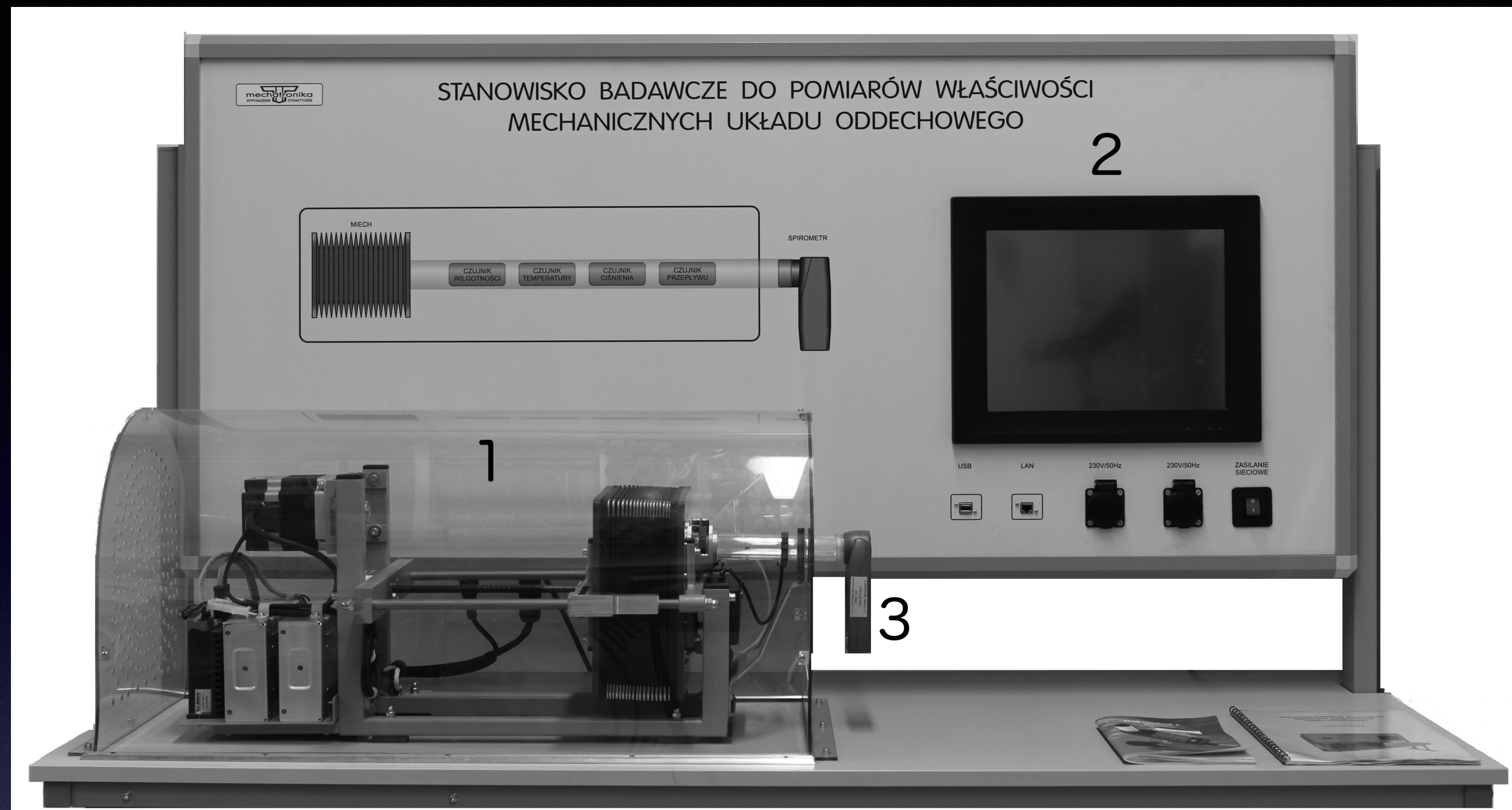
Repeatability investigations of a handheld electronic spirometer

Dawid Kucharski and Marta Michalska

Poznan University of Technology,
Faculty of Mechanical Engineering and Management
Institute of Mechanical Technology
Division of Metrology and Measurement Systems
Poznan ul. Piotrowo 3, 60-965, Poland,
dawid.kucharski@put.poznan.pl,
WWW home page: <http://wbmiz.put.poznan.pl>

Abstract. We present a study of the repeatability of an electronic handheld spirometer in the mechanical properties studies of the respiratory system. We use a novel mechanical system for the human respiratory system simulations. The measurement method is described and a statistical data analysis is given. The uncertainty budget of the measurements and conclusions about repeatability of the tested handheld electronic spirometer are provided.

Keywords: human respiratory system, handheld spirometer, measurements, repeatability



Dziękuję za uwagę !

W wykładzie wykorzystano materiały ze stron internetowych:

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.ibp.pwr.wroc.pl>

<http://www.areomedica.pl>

oraz książki:

Nałęcz M. (red.): Biopomiary, Akad. Of. Wyd. EXIT, Warszawa 2001.