



Spotkanie Sekcji Laboratoriów Chemicznych POLLAB-CHEM / EURACHEM-PL - Warszawa 17 grudnia 2024 r.

# POMIARY MASY W LABORATORIUM - NIE TYLKO KILOGRAM

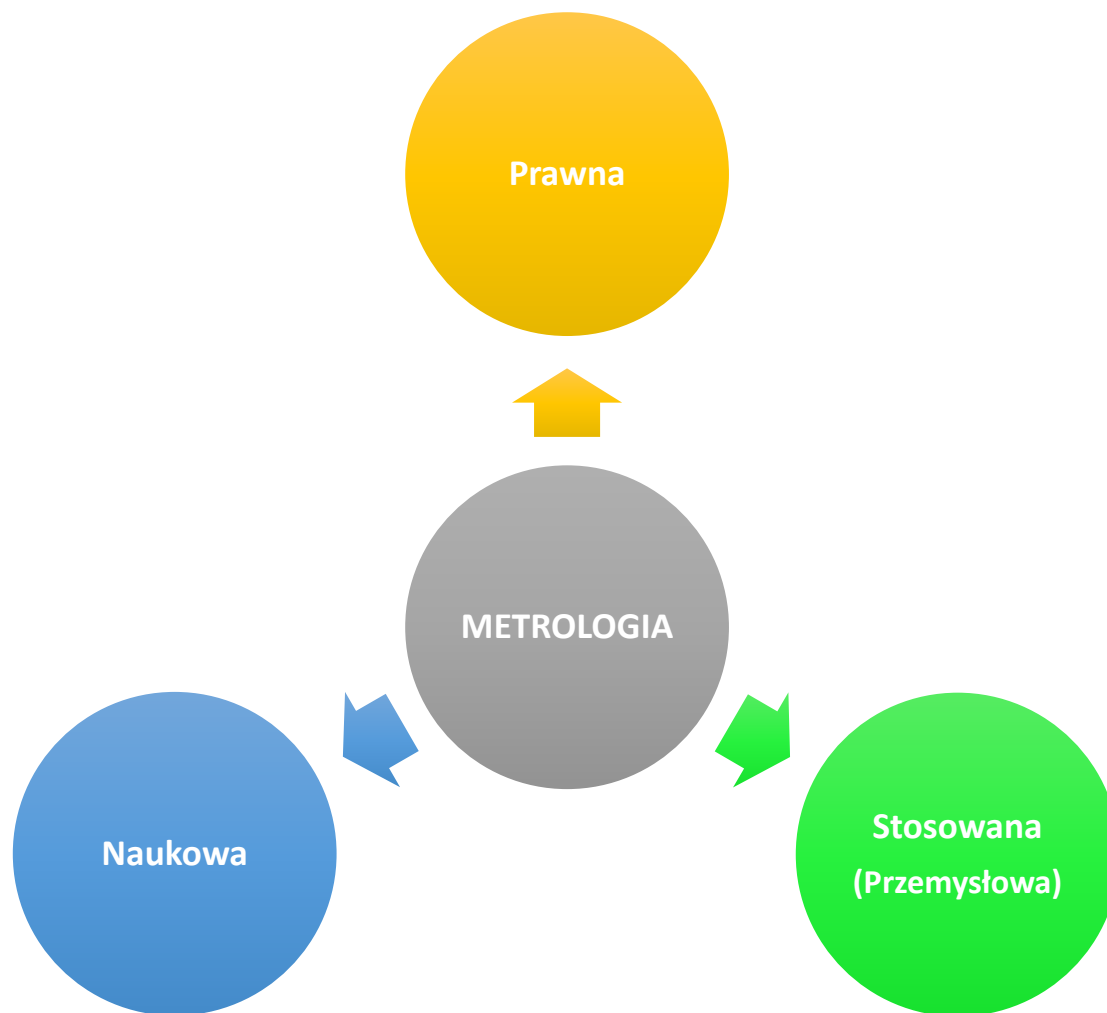
Andrzej Hantz

- 1. Podstawy metrologii stosowanej w laboratorium w odniesieniu do wag**
- 2. Pomiary masy oraz nadzór nad wagami w laboratorium**
- 3. Zastosowanie wagi w laboratorium – nie tylko kilogram**



**1**

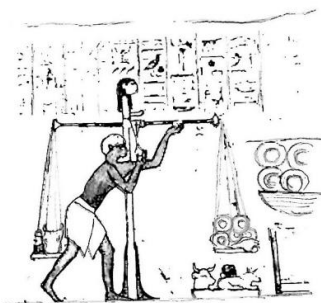
**Podstawy metrologii stosowanej  
w laboratorium  
w odniesieniu do wag**





Według zapisów historycznych pierwsze wzmianki dotyczące urządzeń przeznaczonych do określenia masy, sięgają roku 4000 przed naszą erą.

Miało to związek z rozwojem handlu w dorzeczu rzek Eufkrat, Tygrys i Indus.



ok. 4000 p.n.e.



1889



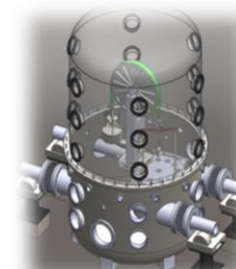
1951



2011



2018

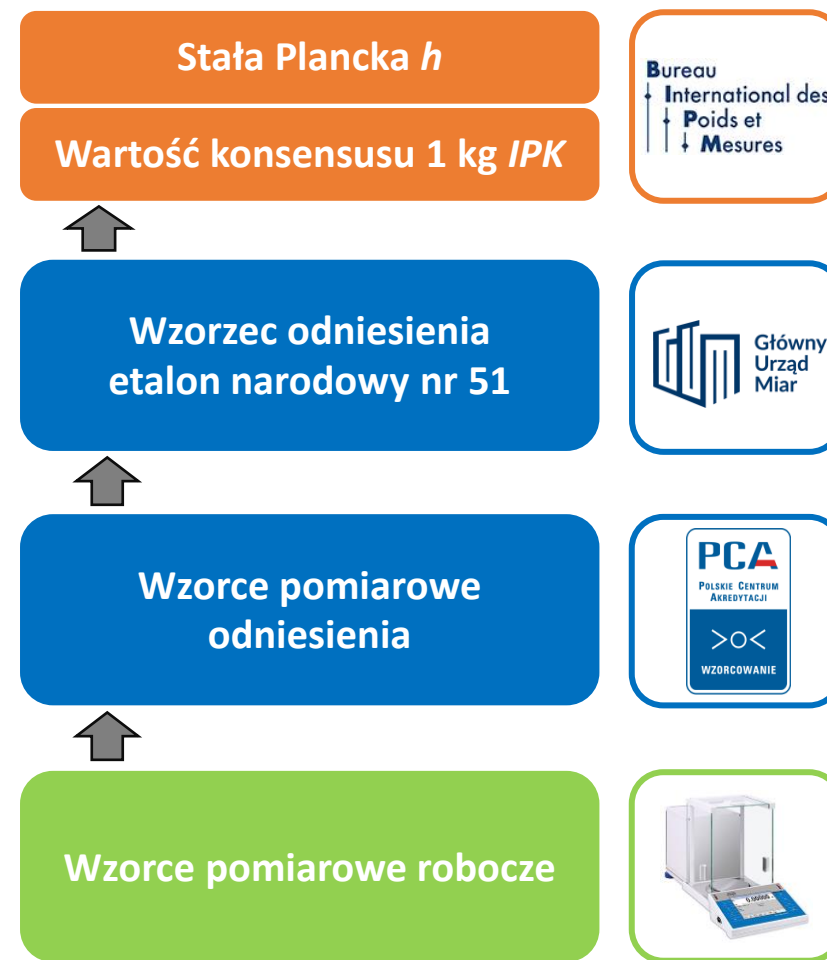


2019

2024

Nowa definicja kilograma przyjęta na ostatniej Generalnej Konferencji Miar 16 listopada 2018 roku, obowiązująca do 20 maja 2019 roku:

**Kilogram, oznaczenie kg, jest to jednostka SI masy. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Plancka  $h$ , wynoszącej  $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ , wyrażonej w jednostce J·s, która jest równa  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , przy czym metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą  $c$  i  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .**



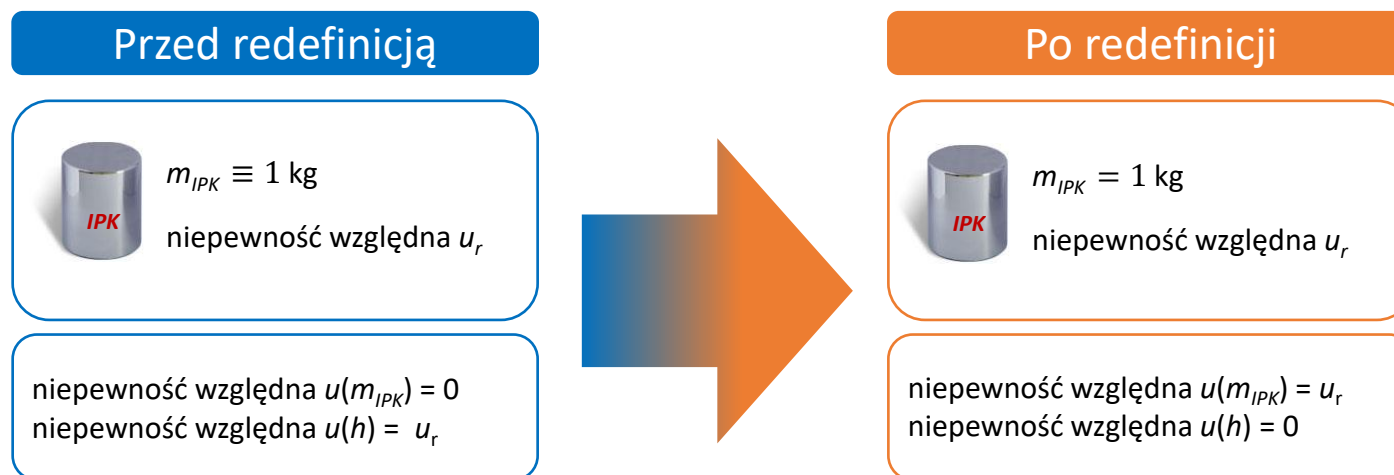
Bezpośrednio z redefinicją jednostek układu SI związane jest ustalenie nowych wartości siedmiu stałych fizycznych, które pojawiają się również w nowej definicji kilograma:

- $\Delta\nu_{Cs}$  - częstotliwość promieniowania przejścia kwantowego między dwoma nadsubtelnymi poziomami atomu cezu 133 w stanie podstawowym:  
 $9\,192\,631\,770\text{ s}^{-1}$ ,
- $c$  - prędkość światła w próżni:  $299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,
- $h$  - stała Plancka  $6,626\,070\,15\cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$  ( $\text{J}\cdot\text{s} = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ),
- $e$  - ładunek elementarny:  $1,602\,176\,634\cdot 10^{-19}\text{ C}$  ( $\text{C} = \text{A}\cdot\text{s}$ ),
- $k$  - stała Boltzmann:  $1,380\,649\cdot 10^{-23}\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$  ( $\text{J}\cdot\text{K}^{-1} = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ),
- $N_A$  - stała Avogadra:  $6,022\,140\,76\cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ ,
- $K_{cd}$  - skuteczność świetlna źródła monochromatycznego promieniowania o częstotliwości  $540\cdot 10^{12}\text{ Hz}$ :  $683\text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ ,

gdzie herc, dżul, kulomb, lumen i wat oznaczone Hz, J, C, lm, i W, są powiązane z jednostkami metra, kilograma, ampera, kelwina, mola i kandel, o symbolach s, m, kg, A, K, mol i cd, są powiązane zgodnie z  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ ,  $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ ,  $\text{C} = \text{A s}$ ,  $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ , i  $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$ .

Przed redefinicją międzynarodowy prototyp kilograma IPK, o masie 1 kg (bez przypisanej niepewności) przekazał jednostkę masy wzorcom transferowym, aby w trakcie porównań kluczowych między pierwotnymi realizacjami (wagi wata) określić jak najdokładniej wartość liczbową stałej Plancka  $h$  (z niepewnością względną rzędu  $10^{-8}$ ).

W momencie redefinicji ustalona została wartość stałej Plancka  $h$ , o niepewności równej 0, a dotychczasową niepewność wyznaczania stałej Plancka  $h$  przejął IPK.





### Dissemination from the Consensus Value for the kilogram

February 2023

The Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM) requested in its Recommendation G1 of 2017, that until the dispersion in values becomes compatible with the individual realization uncertainties, the dissemination of the kilogram should be based on a Consensus Value, which would be determined based on the results of key comparisons between realization experiments. The CCM issued a [note on the dissemination process after the redefinition of the kilogram](#). The Consensus Value for the kilogram is determined from an arithmetic (non-weighted) mean of reference values of comparisons of kilogram realizations. The consensus value is reviewed after each key comparison of realisations, scheduled to take place, initially, every 2 years.

The results of the [first key comparison](#) were published in October 2020. The [first Consensus Value](#) was implemented on 1<sup>st</sup> February 2021. This marked the beginning of Phase 2 of the dissemination process. No adjustment to the international mass scale needed to be made. However, adjustments to the published Calibration and Measurement Capabilities (CMCs) of 31 NMIs were carried out to take into account the uncertainty in the Consensus Value. The results of the [second key comparison](#) were published in January 2023. Traceability for the SI unit of mass will be taken from the [second Consensus Value](#) of the kilogram commencing 1<sup>st</sup> March 2023. All NMIs need to reduce the mass value of their national as-maintained mass unit by 7 µg with respect to the mass value based on the IPK or by 5 µg with respect to the first Consensus Value. The adoption of the Consensus Value of 2023 requires no further adjustment to the published CMCs of NMIs.

An overview of the past and future bases for the dissemination of the kilogram is given in the table below. The Consensus Values of 2021 and 2023 are not absolute values but have to be expressed as an offset from a stable reference. This reference is the mass unit maintained by the BIPM, which represents the mass of the International Prototype of the Kilogram (IPK).

Date of implementation	Basis for dissemination	Uncertainty
20 May 2019	$m(\text{IPK}) = 1 \text{ kg}$	10 µg
1 February 2021	Consensus value 2021 $m(\text{IPK}) = 1 \text{ kg} - 2 \text{ µg}$	20 µg
1 March 2023	Consensus value 2023 $m(\text{IPK}) = 1 \text{ kg} - 7 \text{ µg}$	20 µg



Date of implementation	Basis for dissemination	Uncertainty
20 May 2019	$m(\text{IPK}) = 1 \text{ kg}$	10 µg
1 February 2021	Consensus value 2021 $m(\text{IPK}) = 1 \text{ kg} - 2 \text{ µg}$	20 µg
1 March 2023	Consensus value 2023 $m(\text{IPK}) = 1 \text{ kg} - 7 \text{ µg}$	20 µg



1 mg - 500 mg

1 g - 500 g

1 kg

500 g - 50 kg

100 - 5000 kg

## CERTIFICATE

for 1 kg mass prototype No. 51  
belonging to

POLAND

(Last BIPM calibration: Certificate No. 28, 18 May 1993)

The prototype was brought to the BIPM on 7 October 2020. The prototype was neither cleaned nor washed prior to its calibration.

**Mass.** The mass of prototype No. 51 given in this certificate is based on the definition of the kilogram which came into force on 20 May 2019. The Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM) requested in its Recommendation G1 of 2017, that until the dispersion in values becomes compatible with the individual realization uncertainties, the dissemination of the kilogram should be based on the 'consensus value', which would be determined from comparisons between realization experiments. The first consensus value, determined in December 2020, was officially implemented on 1 February 2021<sup>1</sup>.

The mass of this prototype is the result of comparisons carried out with the Mettler Toledo M<sub>1</sub> one mass comparator. The BIPM working standards in platinum-iridium No. 88 and No. 97, for current use, were used as reference mass standards. The masses of all BIPM working standards were determined in the course of the calibration performed in 2014 with respect to the International Prototype of the Kilogram (IPK) and more recently, in March 2019, with respect to the BIPM working standards for exceptional use.

The mass of the IPK, based on the consensus value, is 1 kg - 2 µg<sup>1</sup>.

Measurements of prototype No. 51 were carried out on 25 October 2020. The mass of prototype No. 51, based on the consensus value of 2020, was the following:

**1 kg + 0,255 mg**

The combined standard uncertainty  $u_c$  ( $k=1$ ) of the mass assigned to this prototype is:

**0,021 mg**

<sup>1</sup> "Calculation of the Consensus Value for the Kilogram 2020", CCM TGPD-kg, December 2020, available from [www.bipm.org](http://www.bipm.org)  
This certificate may be reproduced only in its entirety

This uncertainty is dominated by the standard uncertainty of 0.020 mg of the consensus value with respect to the mass of the IPK<sup>1</sup>. The standard uncertainty of the mass of prototype No. 51 with respect to the IPK is 0.005 mg.

**Comment:** The value reported above is the mass of prototype No. 51 determined on 25 October 2020. At the time of future use of the prototype, the user must take into account the mass evolution of the prototype and must add to the uncertainty reported above, the related uncertainty which is specific to the prototype, determined on the basis of the knowledge of its stability and ageing.

The uncertainty was calculated in conformity with guidelines established in the guide *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement* (JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections) and takes into account the type B uncertainties of the mass currently assigned to the BIPM working standards. The type A uncertainty associated with this calibration is negligible.

**Volume.** The volume of prototype No. 51, given in the original Certificate, is recalled below:

**volume at 0 °C : 46,398 1 cm<sup>3</sup>.**

The coefficient of cubical expansion,  $\alpha$ , for platinum-iridium used to calculate the volume of each prototype at the temperature of the comparisons, in terms of the International Temperature Scale of 1990, is the following (mean coefficient between 0 °C et  $t_{50}$  °C):

**$\alpha = 25,869 + 0,005 65 t_{50}) 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .**

The range of linear expansion results<sup>2</sup>, including those derived by two independent methods from three different batches of alloy, leads to a range of mean cubical expansion coefficients that is within  $\pm 1 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  of the assumed value.



M. Stock  
Director of the Physical Metrology Department

Measurements carried out by:  
P. Conceição

<sup>2</sup> The linear expansion coefficient of this alloy is investigated in: A. Pétard, "Quelques études particulières au dilatomètre Fizeau", *Travaux et Mémoires du BIPM*, vol. 19, 1934, pp. 1-127, p. 59, p. 60.

masa prototypu nr 51  
(na podstawie  
konsensusu IPK 2020):  
**1 kg + 0,255 mg**



standardowa  
niepewność  
złożona  $u_c$   
( $k=1$ ):  
**0,021 mg**



**2**

## **Pomiary masy oraz nadzór nad wagami w laboratorium**

**Pomiar masy** jest bardzo często pierwszym etapem wielu procedur badawczych i produkcyjnych.

Jakość ważenia ma znaczący wpływ na jakość wyniku końcowego.

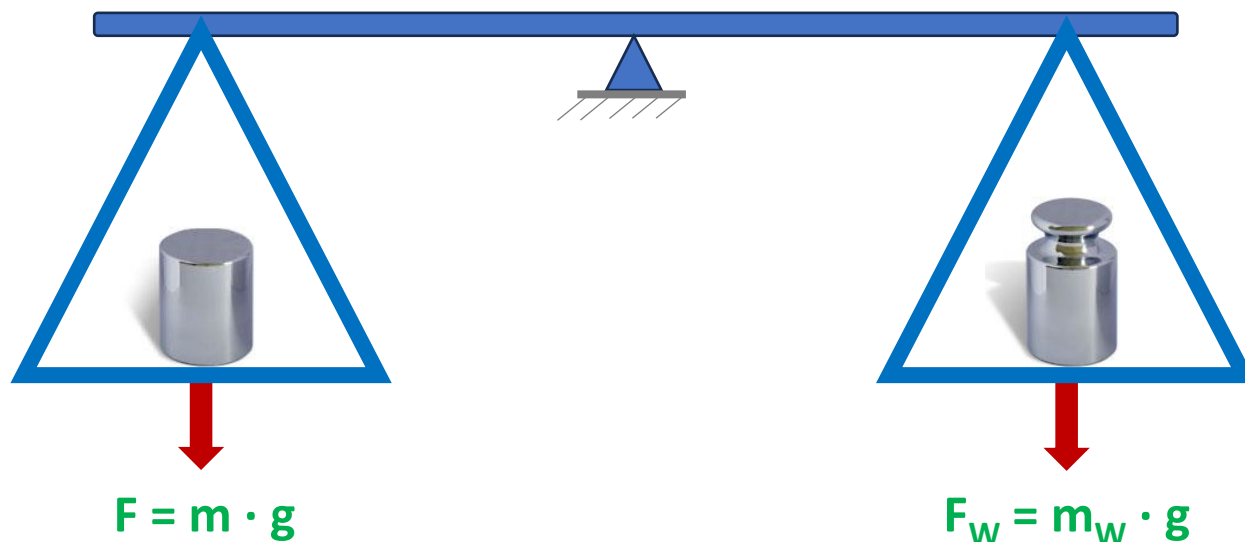
W wielu dziedzinach badań obowiązują bardzo rygorystyczne zalecenia dla procesów ważenia (np. przemysł farmaceutyczny)



zdjęcia:  
internet

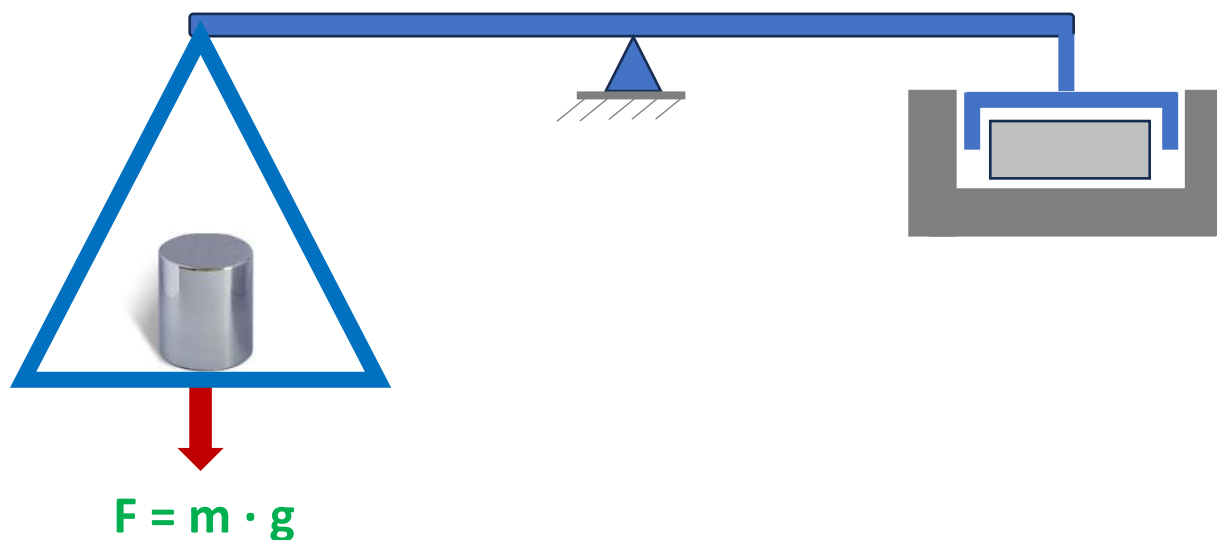
### Pomiar masy – wynik pomiaru

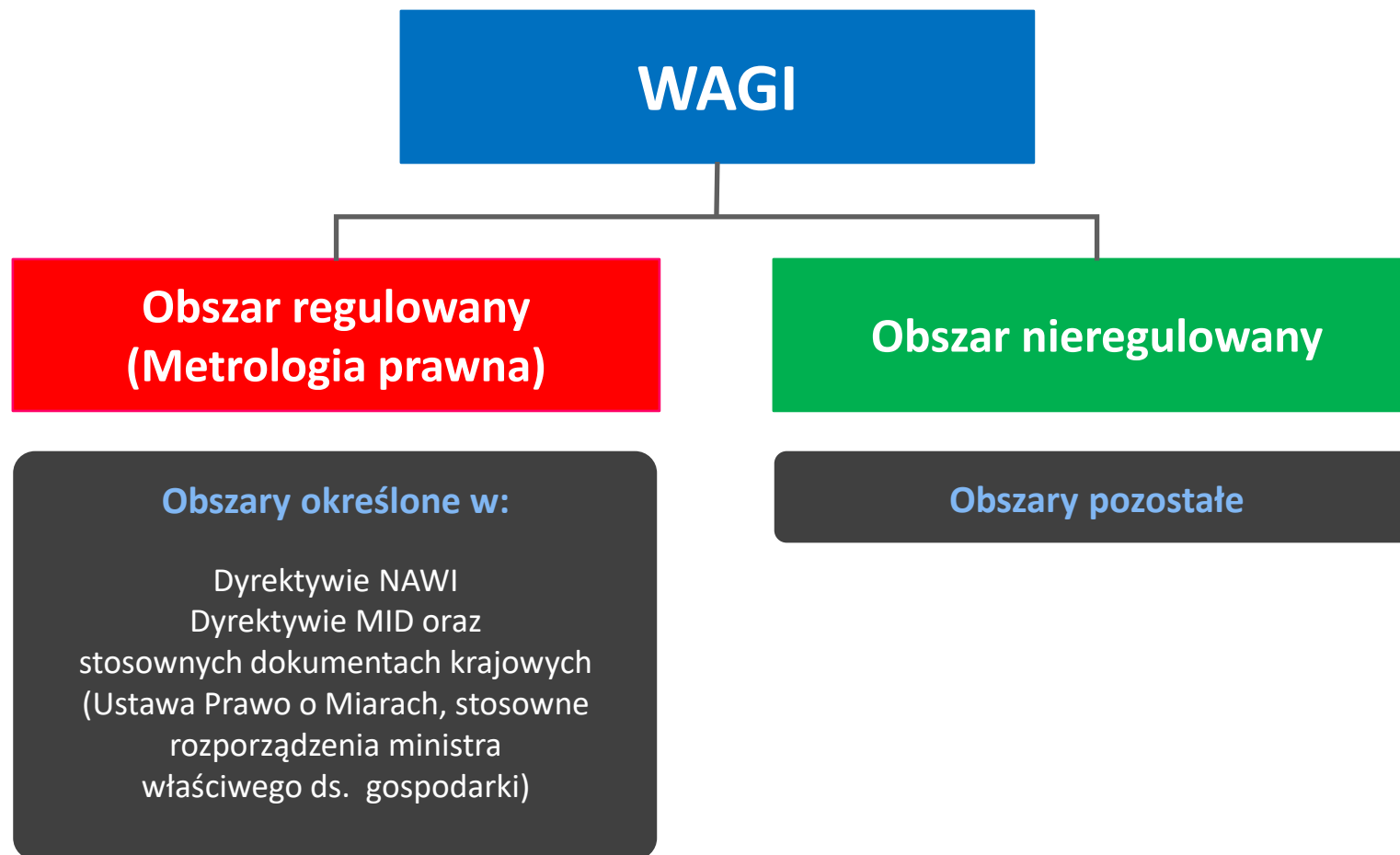
W typowych wagach mechanicznych wynik ważenia otrzymywano poprzez porównanie masy próbki z masą odważnika.

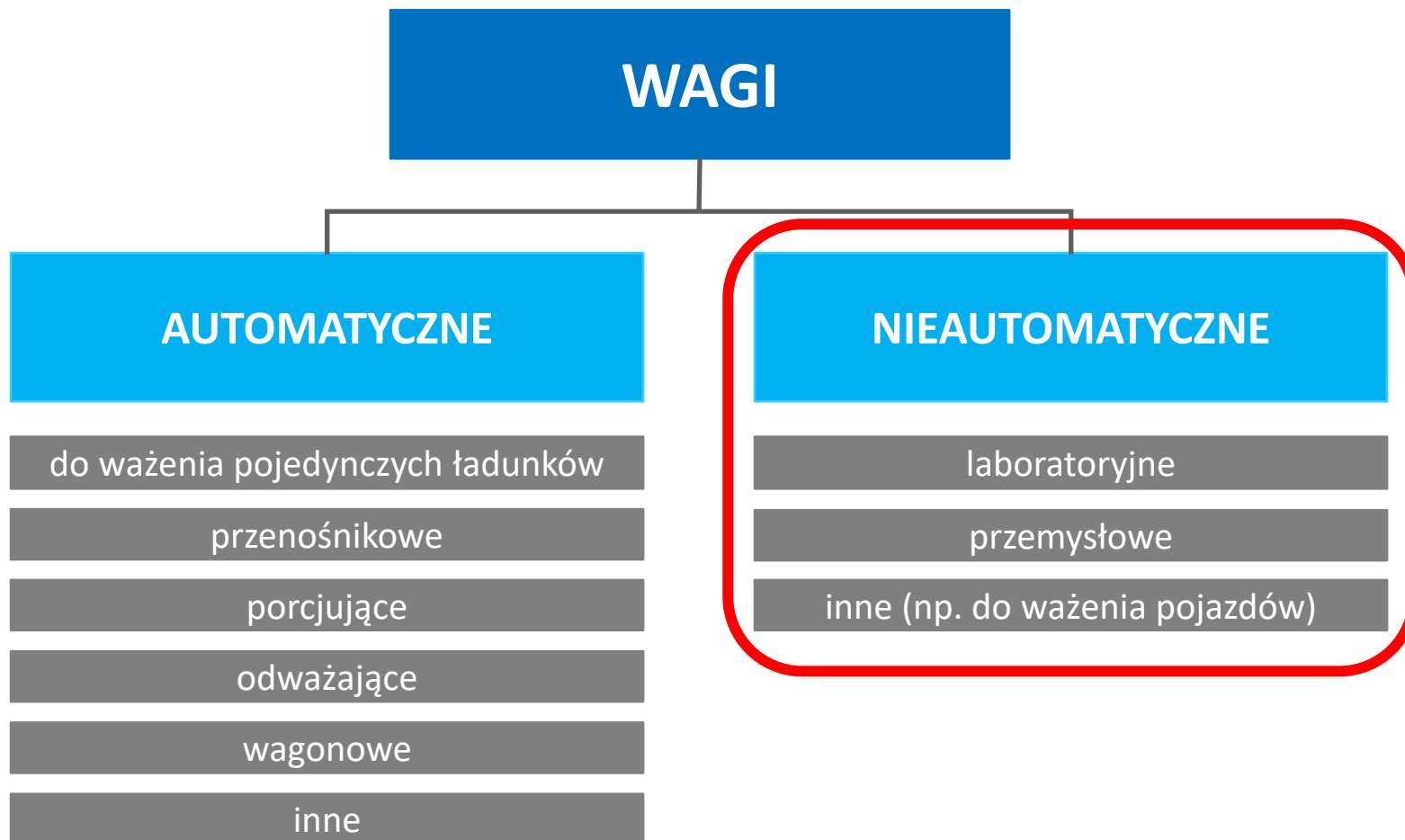


## Pomiar masy – wynik pomiaru

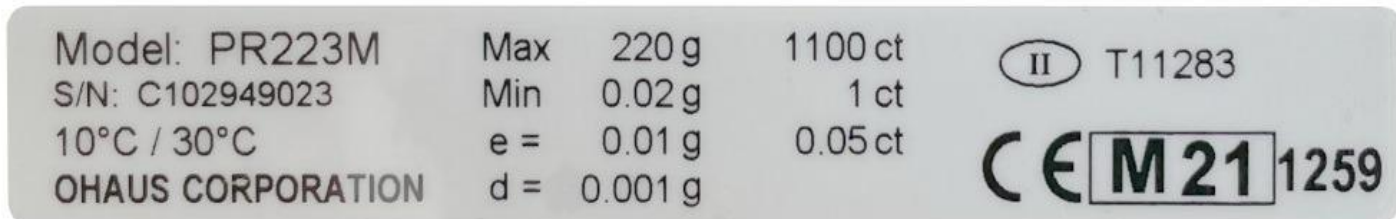
W celu otrzymania wynik ważenia za pomocą wagi elektronicznej dokonuje się pomiaru wielkości pośrednich takich jak np. napięcie, poziom wypełnienia (dla wag z przetwarzaniem magnetoelektrycznym) lub zmianę rezystancji mostka (w wagach tensometrycznych).

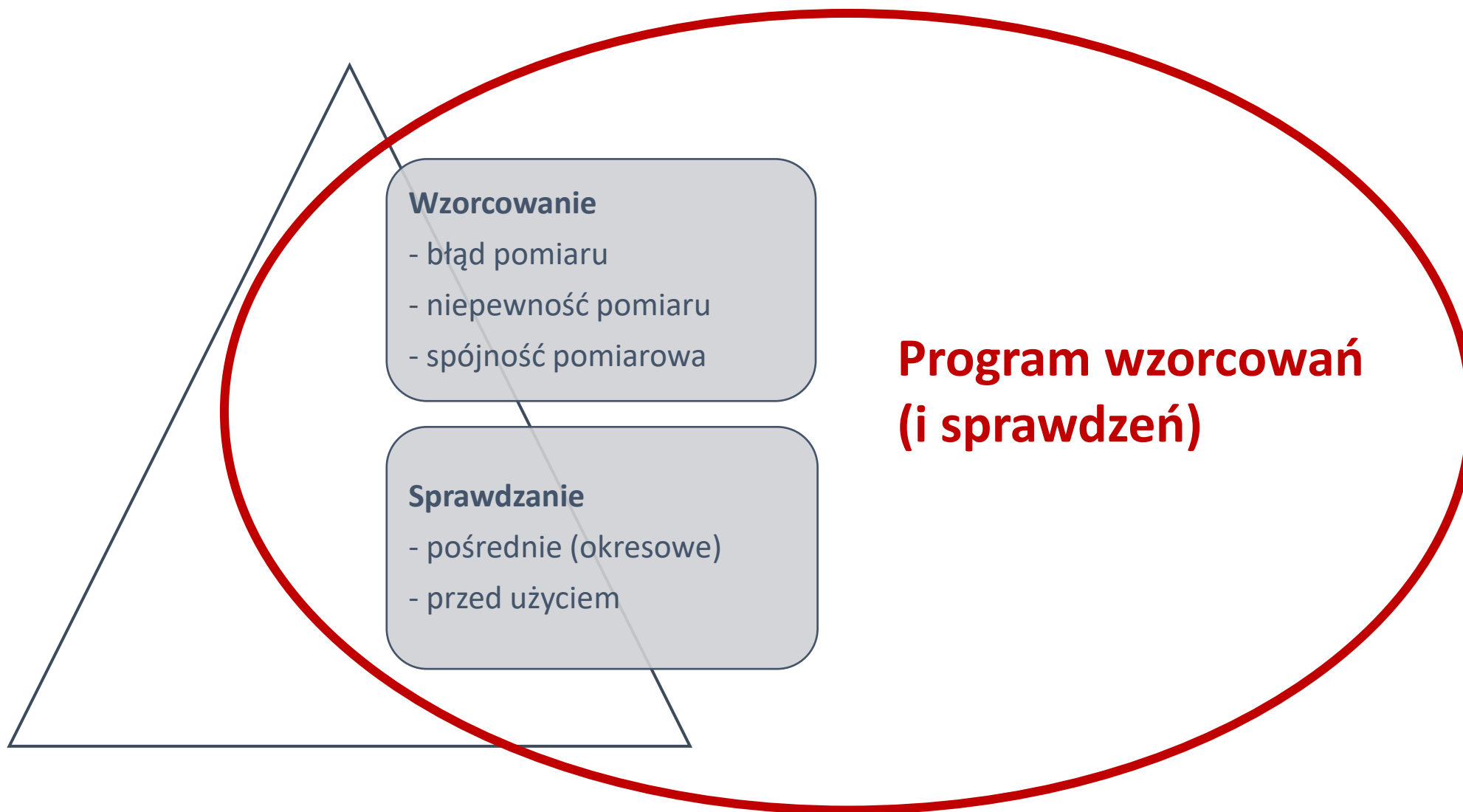






- d*** - działka elementarna: *różnica między wartościami dwóch kolejnych wskazań*
- Max*** - maksymalne obciążenie *wartość maksymalnego obciążenia wagi*
- e*** - działka legalizacyjna: *wartość wyrażona w jednostkach masy, stosowana do klasyfikacji i legalizacji wagi*
- Min*** - minimalne obciążenie: *wartość obciążenia, poniżej której wyniki ważenia mogą być obarczone nadmiernym błędem względnym*





### Błąd pomiaru systematyczny

składnik błędu pomiaru, który przy powtarzaniu pomiarów pozostaje stały lub zmienia się w przewidywany sposób



Błąd wskazania

Błąd centryczności

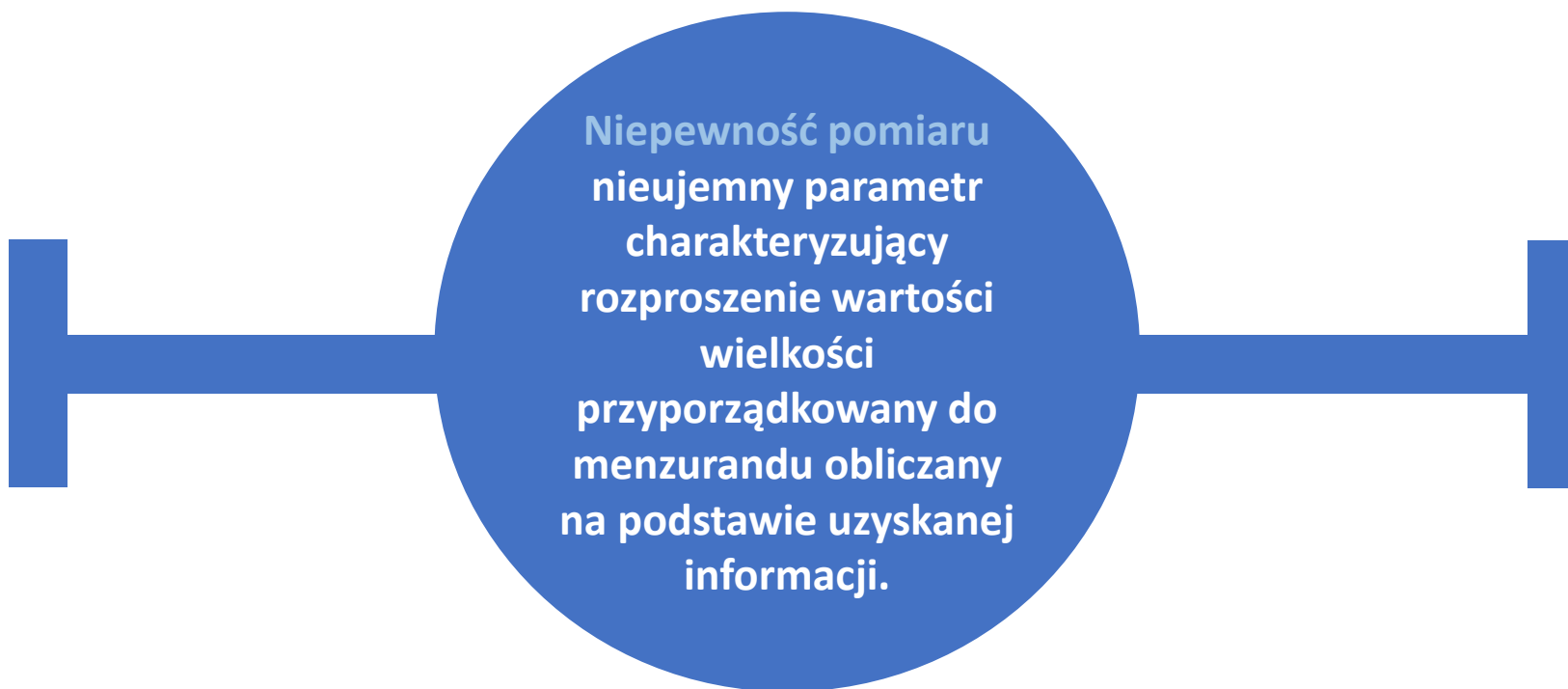
Błąd wskazania + TARA

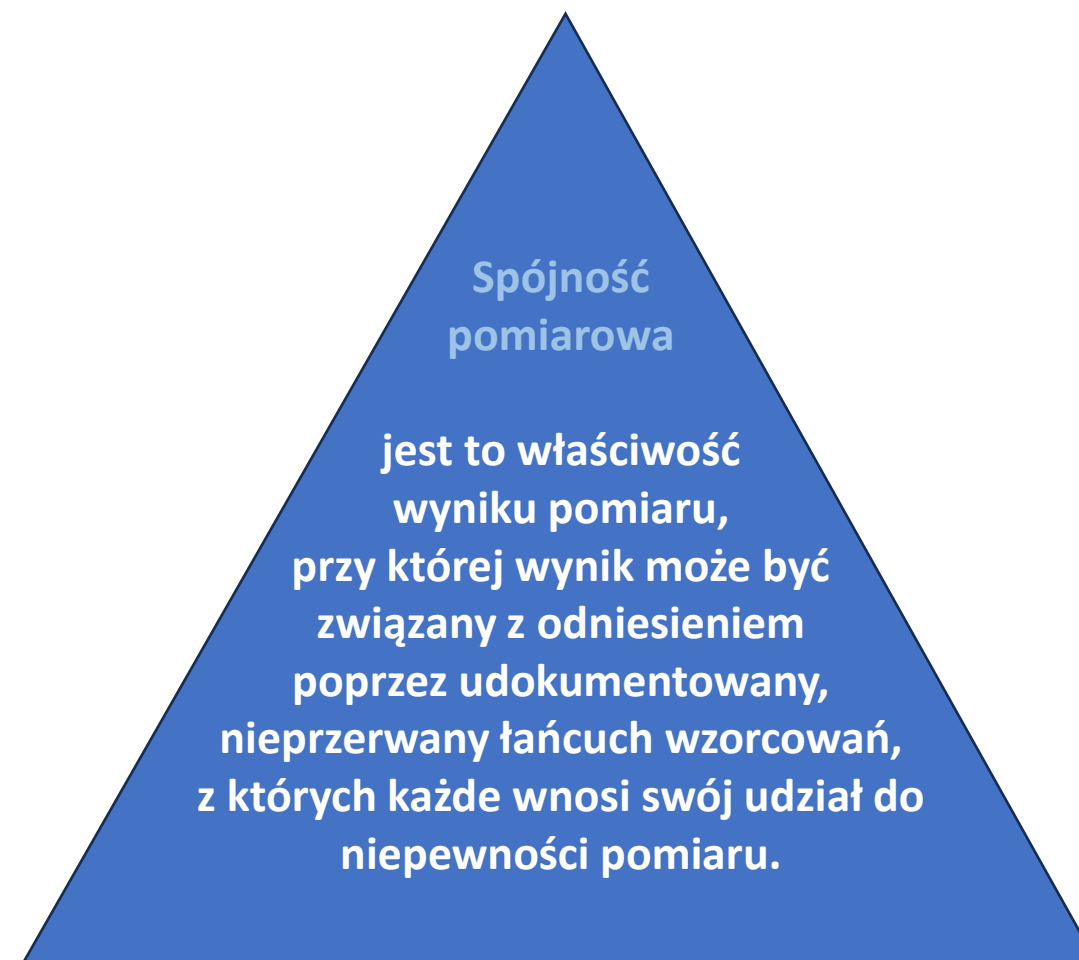
### Błąd pomiaru przypadkowy

składnik błędu pomiaru, który w powtarzalnych pomiarach zmienia się w sposób nieprzewidywalny

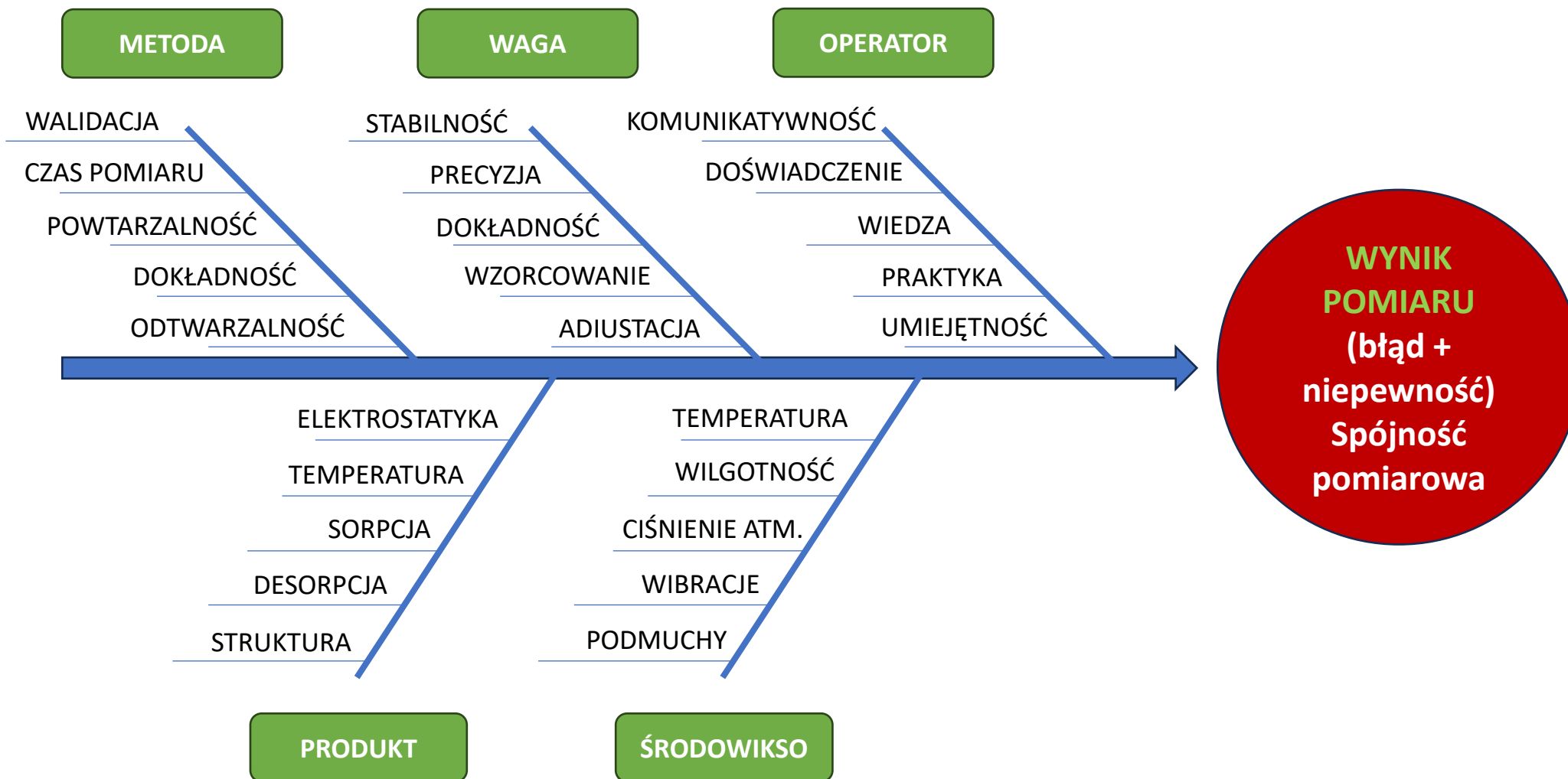


Powtarzalność





**Przykładowa spójność pomiarowa dla wag elektronicznych**

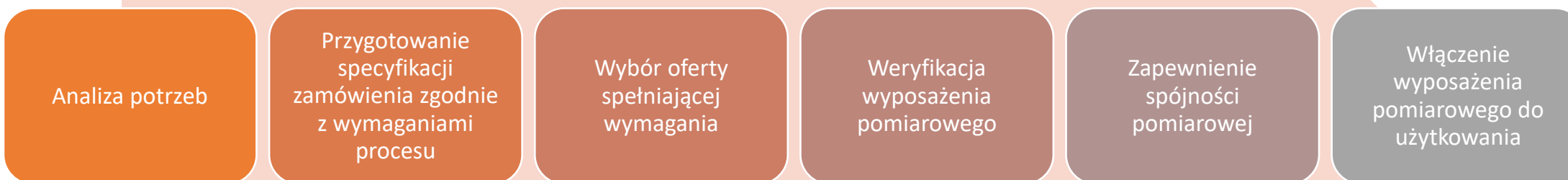


**Pkt. 6.4.4**

Laboratorium powinno zweryfikować czy wyposażenie spełnia wyspecyfikowane wymagania, zanim zostanie włączone lub przywrócone do użytkowania.

**Pkt. 6.4.5**

Wyposażenie stosowane do pomiarów powinno zapewnić wymaganą dokładność pomiaru i/lub niepewność pomiaru niezbędną do uzyskania ważnego wyniku.

**Postępowanie z wyposażeniem pomiarowym przed rozpoczęciem użytkowania**



**Pkt. 6.4.6**

Wyposażenie pomiarowe powinno być wzorcowane, gdy:

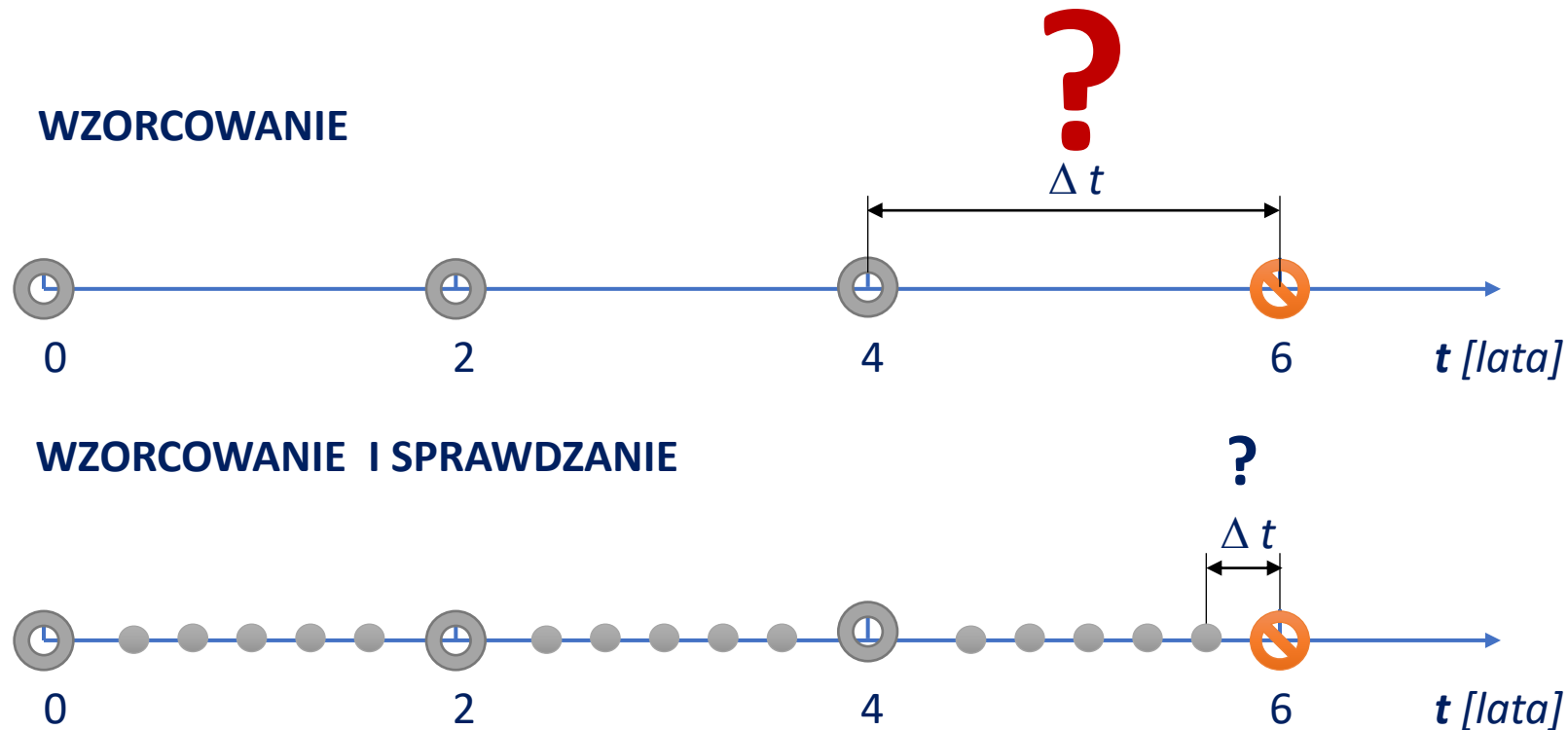
- dokładność pomiaru lub niepewność pomiaru wpływa na ważność raportowanych wyników i/lub;
- wzorcowanie wyposażenia jest wymagane do ustanowienia spójności pomiarowej raportowanych wyników.

UWAGA Rodzaje wyposażenia mającego wpływ na przydatność wyniku (przydatność wyniku do zamierzonego zastosowania)

- wyposażenie pomiarowe stosowane bezpośrednio do pomiaru wielkości mierzonej,  
**np. waga do odważenia masy;**
- wyposażenie pomiarowe stosowane w celu wprowadzenia poprawek do wyniku pomiaru wielkości mierzonej;
- wyposażenie pomiarowe stosowane w celu pozyskania wyników pomiarów w celu uzyskania wyniku pomiaru obliczonego z wielu wielkości (do obliczenia końcowego wyniku badania/pomiaru).

**Pkt. 6.4.10**

Sprawdzenia pośrednie - jeżeli są potrzebne do utrzymania zaufania do działania wyposażenia należy je wykonać zgodnie z ustaloną procedurą.



Sprawdzanie wag - zespół czynności potwierdzających, że przyrząd pomiędzy wzorcowaniami spełnia określone kryteria akceptacji (*definicja własna*).

**zespół czynności nie ogranicza się tylko do sprawdzenia charakterystyk metrologicznych wagi!**

**pośrednie (okresowe)**

**przed użyciem**

## Czym sprawdzić wagę ?

**Worzec masy** przyrząd pomiarowy przeznaczony do zdefiniowania, zrealizowania, zachowania lub odtwarzania jednostki miary masy.

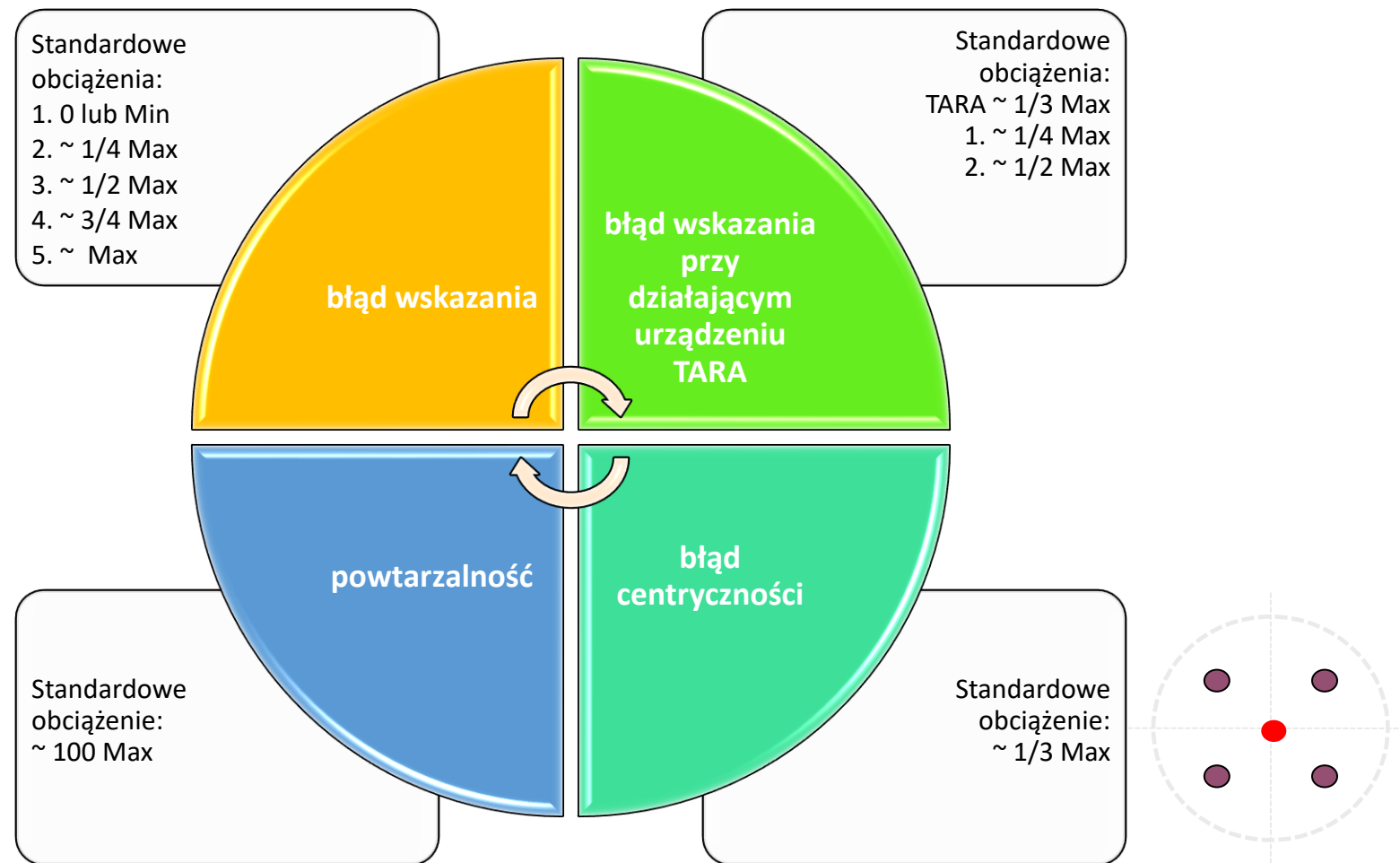
**Odważnik** przyrząd pomiarowy, będący wzorem miary, którego konstrukcja i charakterystyki metrologiczne są określone przez kształt, wymiary, materiał, wykończenie powierzchni, wartość nominalną masy i błąd graniczny dopuszczalny.

**Odważnik adiustacyjny zewnętrzny** wzorzec masy służący do zewnętrznej kalibracji (adjustacji) wagi.

**Odważnik adiustacyjny wewnętrzny** wzorzec masy stanowiący integralną część wagi, służący do automatycznej wewnętrznej kalibracji (adjustacji) wagi.



## Jak sprawdzić wagę ?





**3**

**Zastosowanie wagi w laboratorium  
– nie tylko kilogram**



### Wzorcowanie pipet tłokowych metodą grawimetryczną

**Metoda grawimetryczna (wagowa)**  
wyznaczenia objętości polega na pomiarze masy cieczy wydalonej przez pipetę.

#### *Spójność pomiarowa*

*jest to właściwość wyniku pomiaru, przy której wynik może być związany z odniesieniem poprzez udokumentowany, nieprzerwany łańcuch wzorcowań, z których każde wnosi swój udział do niepewności pomiaru.  
(PKN-ISO/IEC Guide 99: 2010)*



#### Waga

Waga używana do badań powinna być zgodna z minimalnymi wymaganiami określonymi w tabeli poniżej:

Objętość badana	Działka d wagi	Powtarzalność <sup>a)</sup>	Niepewność U (k=2) <sup>a,b)</sup>
[ $\mu$ l]	[mg]	[mg]	[mg]
0,5 $\mu$ l – 20 $\mu$ l	0,001 <sup>c)</sup> 0,01 <sup>d)</sup>	0,006 <sup>c,e)</sup> 0,03 <sup>d)</sup>	0,012 <sup>c,e)</sup> 0,06 <sup>d)</sup>
$\geq$ 20 $\mu$ l – 200 $\mu$ l	0,01	0,025	0,05
$\geq$ 200 $\mu$ l – 10 ml	0,1	0,2	0,4
$\geq$ 10 ml - 1000 ml	1	2	4
$\geq$ 1000 ml - 2000 ml	10	10	40



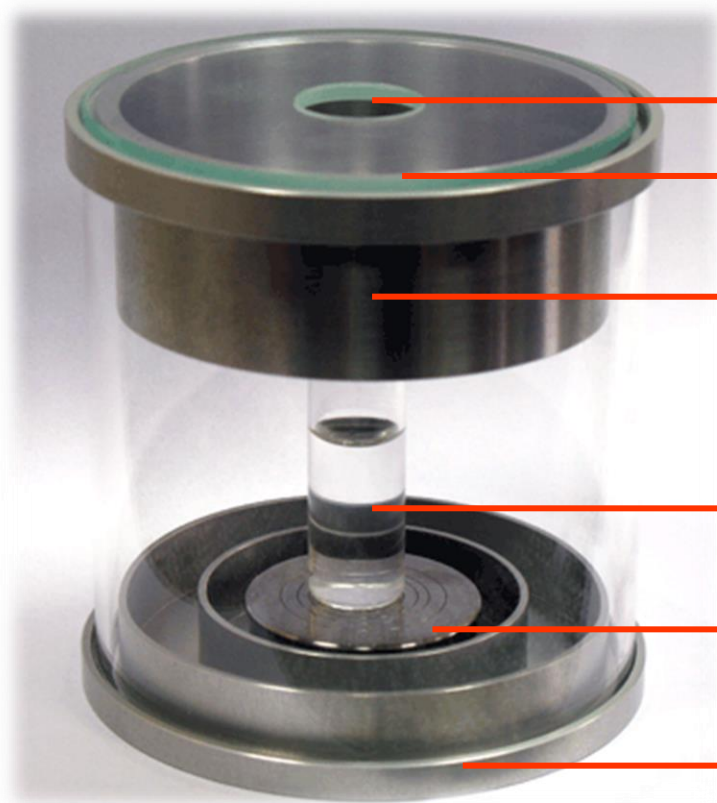
**W nowej normie pojawia się pojęcie wagi wielokanałowej (*multi-channel balance*) – waga (półautomatyczna) do wzorcowania pipet wielokanałowych – *def. własna***

#### Waga

Waga używana do badań powinna być zgodna z minimalnymi wymaganiami określonymi w tabeli poniżej:

- a) Powtarzalność i niepewność rozszerzona są wartościami użytkowymi, w tej tabeli mają zastosowanie do wyznaczania objętości urządzenia jednokanałowego. Gdy waga wielokanałowa jest używana wyłącznie do określania objętości w pipetach wielokanałowych, stosowane wartości powtarzalności i niepewności pomiaru są dwukrotnie wyższe od wartości podanych w tej tabeli. Zobacz także przypis d.
- b) Niepewność rozszerzoną użytkową można oszacować zgodnie z [2] lub [11] dla wartości objętości nominalnej. Niepewność rozszerzona użytkowa obejmuje nieskorygowane błędy, jak również możliwe odchylenie i wpływ warunków środowiskowych na czułość urządzenia ważącego. Zaleca się regularne adjustacje urządzenia ważącego w celu poprawy jego czułości. Użytkowa niepewność rozszerzona może być zaczerpnięta ze świadectwa wzorcowania wagi lub obliczona oddzielnie (przykład w normie ISO/TR 20461). Niepewność użytkową rozszerzoną można oszacować na podstawie rozszerzonej niepewności wzorcowania, uwzględniając w stosownych przypadkach dodatkowe udziały, jak opisano powyżej.
- c) waga wielokanałowa
- d) waga wielokanałowa, stosowana tylko dla pipet wielokanałowych. Wagi wielokanałowe o powtarzalności 0,01 mg mogą być stosowane do wzorcowania pipet wielokanałowych o pojemnościach nominalnych poniżej 20  $\mu$ l tylko wtedy, gdy stosowana jest niepewność rozszerzona mniejsza niż jedna czwarta maksymalnego dopuszczalnego błędu systematycznego pipety.
- e) W przypadku pipet jednokanałowych o pojemności nominalnej mniejszej niż 20  $\mu$ l należy stosować urządzenie ważące z powtarzalnością i niepewnością pomiaru lepszą niż wartości podane w tabeli, tak aby niepewność rozszerzona w użyciu była mniejsza od jednej czwartej maksymalnego dopuszczalnego błędu systematycznego pipety.

### Przystawka do wagi analitycznej – do wzorcowania pipet



otwór dozujący  
osłona szklana

naczynie kurtyny parowej

naczynie wagowe

specjalna szalka

podstawa

### Wzorcowanie szkła laboratoryjnego metodą grawimetryczną

**Metoda grawimetryczna (wagowa)**  
wyznaczenia objętości polega na pomiarze masy cieczy wydalonej przez pipetę.

#### *Spójność pomiarowa*

*jest to właściwość wyniku pomiaru, przy której wynik może być związany z odniesieniem poprzez udokumentowany, nieprzerwany łańcuch wzorcowań, z których każde wnosi swój udział do niepewności pomiaru.  
(PKN-ISO/IEC Guide 99: 2010)*



## Waga

Wagę używaną do wzorcowania dobiera się zgodnie z minimalnymi wymaganiami określonymi w tabeli 1, w zależności od nominalnej objętości badanego przyrządu pomiarowego,

Pojemność nominalna (objętość) $V$	Rozdzielczość urządzenia wskazującego (działka elementarna $d$ ) mg	Powtarzalność mg	Rozszerzona niepewność w użytkowaniu $U (k = 2)^a$ mg
$100 \text{ ul} \leq V \leq 10 \text{ ml}$	0,1	0,2	0,4
$10 \text{ ml} < V \leq 1000 \text{ ml}$	1	2	4
$V > 1000 \text{ ml}$	10	10	40

<sup>a</sup> Rozszerzona niepewność w użytkowaniu oszacowana zgodnie z odniesieniem [1] (w tym definicje mające zastosowanie) przy wartości objętości nominalnej. Jeżeli niepewność użytkowa nie jest znana, należy przyjąć niepewność przy wzorcowaniu.

**Tabela 1 - Minimalne wymagania dotyczące wagi**

### Ciecz do wzorcowania

Jako ciecz do wzorcowania podczas pomiarów należy używać wody destylowanej lub dejonizowanej zgodnej z normą ISO 3696, klasa 3 lub lepsza.

Temperatura wody powinna mieścić się w zakresie  $\pm 0,5$  °C od temperatury powietrza w pomieszczeniu.

### Zbiornik odbierający

Zbiornikiem odbierającym (przejmującym) może być kolba stożkowa, wykonana ze szkła, np. zgodnie z ISO 1773, ISO 4791 lub ISO 24450, ze złączem szlifowanym jeśli to możliwe.

Zbiornik odbierający powinien mieć pojemność odpowiednią do ilości wody dostarczanej przez naczynie (przyrząd) wzorcowane.

### Wyznaczanie gęstości ciał stałych i cieczy przy zastosowaniu wagi elektronicznej



Podczas pomiarów gęstości ciał stałych i cieczy wykorzystuje się różne metody pomiarowe zależnie od oczekiwanej dokładności pomiarowej oraz rodzaju i wielkości badanej próbki.

Najczęściej stosowane metody to:

- metoda piknometryczna,
- metoda areometryczna,
- metoda oscylacyjna,
- **metoda hydrostatyczna.**



**Metoda hydrostatyczna** polega na

- w pierwszym kroku zważeniu próbki w powietrzu
- w drugim kroku zważenie próbki w cieczy o znanej gęstości, (najczęściej wodzie destylowanej).

Powyższa procedura znalazła zaadaptowana we współczesnych wagach elektronicznych. Obecnie stanowi jedną z podstawowych funkcji dodatkowych wag elektronicznych.

Realizacja tej metody wymaga zastosowania odpowiedniego, dedykowanego każdemu typowi wagi, układu szalki wagi.

Dla zastosowań laboratoryjnych jest to najczęściej konstrukcja umieszczana w miejsce standardowej szalki.



← Wyznaczanie gęstości ciał stałych



← Wyznaczanie gęstości cieczy

### Wyznaczanie wilgotności materiałów za pomocą wagosuszarki

**Wagosuszarka** jest urządzeniem przeznaczonym do pomiaru wilgotności badanej próbki.

Wilgotność materiału jest jednym z kryteriów decydujących o jakości substancji, określana jest mianem zbioru wszystkich składników występujących w materiale badawczym, które wyparowują podczas jej ogrzewania – to prowadzi to do ubytku masy.

Różnica mas przed suszeniem i po suszeniu umożliwia określenie wilgotności i daje wskazówki do konkretnych działań.



**Wagosuszarka** dzięki swej konstrukcji znajduje swoje zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu.

Jest to urządzenie składające się z:

- precyzyjnej wagi laboratoryjnej (umożliwia dokładny pomiar masy),
- komory suszenia, dzięki której określa poziom wilgoci w badanej naważce,
- termometru kontrolnego.

Urządzenie pozwala uzyskać pomiary w bardzo szybki sposób i sprawdza się tam gdzie metody tradycyjne zawodzą.





*Dziękuję za uwagę!*

