

# Wzorcowanie wzorców masy, odważników i obciążników.

## Wstęp

Pomiary masy, obok pomiarów długości, należą do najstarszych pomiarów na świecie. Według zapisów historycznych pierwsze wzmianki dotyczące urządzeń przeznaczonych do określenia masy, sięgają roku 4000 przed naszą erą, związane to było z rozwojem handlu w dorzeczu rzek Eufrat, Tygrys i Indus. Pierwsze odkrycia urządzeń ważących wykonanych z wapienia i powrozów lnianych oraz drewna były tereny dawnej Mezopotamii. Podobne wagi, o prostej budowie składającej się z belki z zawieszonymi na końcach powrozami, można obejrzeć w niektórych europejskich muzeach wag. Tego typu urządzenie było przodkiem do wag prostodźwigniowych, których konstrukcja na przestrzeni 6000 lat uległa nieznacznym modyfikacjom, zachowując tą samą własność fizyczną związaną z przyspieszeniem ziemskim.

Konstrukcja wag od czasów starożytnych do drugiej połowy XX wieku przetrwała praktycznie bez istotnych zmian. Dopiero dynamiczny rozwój elektroniki spowodował rewolucyjne zmiany w budowie i zasadzie działania wag. W konsekwencji tego tradycyjną dźwignię pomiarową można dziś oglądać w muzeum.

Druga połowa minionego wieku to era coraz tańszych i wygodniejszych dla użytkownika wag oraz systemów pomiarowych wykorzystujących nowe technologie. Proces ten jest ciągle realizowany, również teraz ze szczególnym naciskiem na aspekt ekonomiczny. To on w znacznym stopniu decyduje o powodzeniu, skali sprzedaży i rozwoju wdrażanych rozwiązań.

Z każdym przyrządem pomiarowym związany jest również odpowiedni nad nim nadzór. Nadzór można podzielić na dwa podstawowe rodzaje, nadzór dobrowolny oparty na wzorcowaniu i/lub sprawdzaniu przyrządu pomiarowego z odpowiednim wzorcem odniesienia oraz nadzór prawny oparty na stosownych wymaganiach prawnych - legalizacja, który jest wymagany w określonych zastosowaniach.

Wzorcowanie jest czynnością dobrowolną, mającą zapewnić stosowanie właściwych przyrządów pomiarowych, których wskazania i niepewność pomiaru są znane i mają odniesienie do międzynarodowych lub państwach wzorców miary.

Należy jednak pamiętać, że każdy użytkownik przyrządu pomiarowego, który zdecydował się na wdrożenie określonego międzynarodowymi standardami systemu jakości (ISO 9001, ISO 17025 itp.), zdecydował się również na konieczność wzorcowania swoich wszystkich przyrządów pomiarowych.

Wzorcowanie przyrządów pomiarowych dokonywane jest przez kompetentne laboratorium. Najbardziej stosownym potwierdzeniem kompetencji laboratorium jest jego akredytacja przez krajową jednostkę akredytującą (w Polsce Polskie Centrum Akredytacji).

## 1. Metrologia pomiarów masy – wzorce masy i odważniki

W obecnych czasach powszechnie stosowanymi przyrządami do pomiaru masy są szeroko rozumiane wagi elektroniczne. Wagi elektroniczne charakteryzują się tym, że ciężar ładunku ważonego jest równoważony przez elektromechaniczny przetwornik siły na przykład tensometryczny, magnetoelektryczny, wytwarzając w nim proporcjonalny do ciężaru sygnał elektryczny, którego wartość jest wskazywana przez miernik elektroniczny, wywzorcowany w jednostkach masy.

Przetworniki magnetoelektryczne stosowane są przede wszystkim do wag analitycznych oraz precyzyjnych wag laboratoryjnych. Zastosowanie ich umożliwia uzyskiwanie wysokich rozdzielczości, co jest bardzo istotne w zastosowaniach np. chemii analitycznej, biotechnologii oraz wszelkich pomiarach mas małych obciążeń z dużą dokładnością.

Przetworniki tensometryczne są stosowane przede wszystkim w rozwiązaniach dla wag przemysłowych oraz wag technicznych stosowanych w laboratoriach. Tensometry charakteryzują się dużą odpornością, umożliwiając, w zależności od potrzeb zastosowań, budowę wag od obciążeń 300g do 100.000 kg.

W ubiegłym wieku powszechnym rozwiązaniem były szeroko rozumiane wagi mechaniczne, gdzie pomiar masy, mówiąc najprościej odbywał się za pomocą równoważenia masy badanej próbki odważnikiem o znanej masie i odpowiedniej dokładności. Wagi elektroniczne wyparły ten sposób pomiaru, w wyniku czego wielu użytkowników wag uznało, że „czasy zastosowania odważników się skończyły”.

Pozostaje jednak jeden zasadniczy problem. Jaką mamy gwarancję, że waga elektroniczna na wyświetlaczu wskazuje odpowiednią masę ważonego ładunku? Oczywiście, jeśli przyrząd pomiarowy jest nowy, jest nad nim sprawowany odpowiedni nadzór, to, w pewnym zakresie dokładności, nic nie powinno wskazywać na jej niewłaściwe działanie.

System metrologii prawnej, jaki obowiązuje również w Polsce, jest w określonych zastosowaniach dla konkretnych przyrządów pomiarowych obowiązkowy i zdefiniowany w stosownych aktach prawnych. Czynnością metrologii prawnej potwierdzającą spełnienie określonych wymagań jest legalizacja przyrządu pomiarowego. System metrologii naukowej i przemysłowej jest systemem dobrowolnym opartym na wymaganiach międzynarodowych lub krajowych norm. Czynnością metrologiczną jest w tym przypadku wzorcowanie przyrządu pomiarowego czyli odniesienie do wzorca międzynarodowego oraz określenie niepewności pomiaru. Należy jednak przypomnieć, że organizacja, która dobrowolnie wdrożyła i postępuje zgodnie z wymaganiami konkretnych norm jakościowych zobowiązała się do postępowania zgodnie z ich wymaganiami.

Istotna różnica pomiędzy legalizacją a wzorcowaniem występuje w przypadku określania błędów przyrządu pomiarowego. W przypadku legalizacji błędy przyrządu pomiarowego odnoszone są do wartości tak zwanej działki legalizacyjnej przyrządu pomiarowego, natomiast przy wzorcowaniu błędy są odnoszone do działki elementarnej przyrządu pomiarowego. Istota sprawy polega na tym, że w przypadku niektórych przyrządów pomiarowych wartość działki legalizacyjnej jest różna od działki elementarnej przyrządu pomiarowego. Zazwyczaj wartość działki legalizacyjnej jest  $n$  razy większa od działki elementarnej. Taka sytuacja występuje w jednym z najbardziej popularnych przyrządów pomiarowych występujących w laboratoriach oraz w przemyśle – w wagach.

Która z nich jest ważniejsza, trudno jednoznacznie odpowiedzieć nie mając wiedzy w zakresie działalności określonego laboratorium oraz zastosowania przyrządów pomiarowych. Jedno jednak jest pewne, że z metrologią naukową i przemysłową mamy do czynienia praktycznie zawsze podczas stosowania przyrządów pomiarowych. Czasami nawet nieświadomie, kiedy na przykład regulujemy zegarek podczas informacji o aktualnym czasie przekazywanym za pośrednictwem na przykład radia. W tym przypadku wykonujemy nic innego jak swego rodzaju wzorcowanie naszego przyrządu pomiarowego (zegarka) ewentualnie adiustując go, czyli regulując wskazówki zegarka tak, aby wskazanie było zgodne z czasem wzorcowym.

Osoba odpowiedzialna za wyposażenie pomiarowe, na przykład w laboratorium, okresowo oddaje do wzorcowania swoje przyrządy pomiarowe do kompetentnych, zewnętrznych laboratoriów wzorcujących. Okresowo jednak przyrządy pomiarowe są poddawane sprawdzeniom wewnętrznym w celu monitorowania ich poprawności wskazań (np. braku uszkodzenia).

O konieczności oddania przyrządu pomiarowego do legalizacji decyduje już Ustawa prawo o miarach, jeśli dany przyrząd pomiarowy jej podlega.

Tak więc mówiąc o metrologii naukowej i przemysłowej mamy na uwadze między innymi nadzór nad wyposażeniem pomiarowym realizowanym między innymi poprzez wzorcowanie i okresowe sprawdzanie wyposażenia pomiarowego poprzez odniesienie wyników wzorcowania i sprawdzania do wzorców państwowych i międzynarodowych (pkt. 4.6 normy ISO 9001). I w zasadzie dla użytkowników, posiadających w swojej organizacji wdrożony system jakości jest to wystarczające.

Jest jednak pewna grupa użytkowników przyrządów pomiarowych, którzy nie posiadają lub też nie potrzebują wdrażania systemów jakości, tym samym nie mają potrzeby prowadzenia nadzoru metrologicznego. Pojawiają się tym samym pewne, z punktu widzenia bezpieczeństwa obywateli, konkretne zastosowania przyrządów pomiarowych, które wymagają tak zwanego prawnego nadzoru metrologicznego - legalizacji, który jest sprawowany przez Główny Urząd Miar, jego struktury terenowe oraz podmioty upoważnione przez Prezesa Głównego Urzędu Miar do sprawowania takiego nadzoru.

## 1.1 Charakterystyka błędów granicznych dopuszczalnych odważników

W dzisiejszych czasach wzorce masy i odważniki są prawie wyłącznie używane do adiustacji oraz sprawdzania wag elektronicznych. Ich pierwotne przeznaczenie do równoważenia popularnych wag szalkowych praktycznie zanikło.

Odważniki i wzorce masy można podzielić na następujące rodzaje i zastosowania:



**Wzorzec masy** jest to przyrząd pomiarowy przeznaczony do zdefiniowania, zrealizowania, zachowania lub odtwarzania jednostki miary masy. Wzorcem masy może być dowolnego kształtu, wykonany z dowolnego materiału, który zapewnia stałość masy w czasie. Wzorzec masy musi posiadać jednoznaczną identyfikację oraz świadectwo wzorcowania wraz z informacją o zachowaniu spójności pomiarowej i oszacowanej niepewności pomiaru. Wzorce masy nie mogą być stosowane jako odważniki w rozumieniu metrologii prawnej.



**Odważnik** jest to przyrząd pomiarowy, będący wzorem miary, którego konstrukcja i charakterystyki metrologiczne są określone przez kształt, wymiary, materiał, wykończenie powierzchni, wartość nominalną masy, klasę i błąd graniczny dopuszczalny. Odważniki, jako przyrządy pomiarowe mogą być stosowane w obszarze regulowanym (metrologia prawna) do równoważenia masy na wagach mechanicznych. Odważnik, po wywzorcowaniu w laboratorium wzorcującym może pełnić rolę wzorca masy



**Odważnik kalibracyjny zewnętrzny** jest to wzorzec masy służący do zewnętrznej kalibracji (adjustacji) wagi. Konstrukcja i charakterystyki metrologiczne są określone najczęściej przez wartość nominalną masy, klasę i błąd graniczny dopuszczalny – tak jak dla odważników. Odważniki kalibracyjne po wywzorcowaniu w laboratorium wzorcującym mogą również pełnić rolę wzorca masy



**Odważnik kalibracyjny wewnętrzny** jest to wzorzec masy stanowiący integralną część wagi, który jest zamontowany trwale wewnątrz wagi elektronicznej. Odważniki wewnętrzne służą do automatycznej wewnętrznej kalibracji (adjustacji) wagi. Masa jest wyznaczana precyzyjnie przez laboratorium i wpisywana do pamięci wewnętrznej wagi elektronicznej.

Odważnik adjustacyjny np. 100g klasy  $F_2$  jest pod względem mechanicznym (materiał, kształt, jakość powierzchni) oraz metrologicznym (tolerancja masy) identyczny jak wzorzec masy 100 g kl.  $F_2$ . Różnica wynika jedynie z innego przeznaczenia.

Chcąc być w zgodzie z zasadami dobrej praktyki oraz przepisami użytkownik powinien innym odważnikiem adjustować wagę a innym sprawdzać wagę po adjustacji.

Odważniki adjustacyjne nie podlegają zatwierdzeniu typu i są wzorcowane. Okres ważności świadectw wzorcowania odważników adjustacyjnych nie jest określony. Przyjmuje się, że jest nieograniczony, a powtórne wzorcowanie powinno być wykonane zgodnie z harmonogramem wzorcowań użytkownika lub w przypadku uszkodzenia.

Międzynarodowa Organizacja Metrologii Prawnej dokładnie zdefiniowała wymagania metrologiczne dla odważników w obszarze obowiązkowej legalizacji na całym świecie. Większość krajów jest stowarzyszona z OIML. Dokument R111 OIML (edycja 2004) odnosi się do odważników o rozmiarach od 1 mg do 50 kg. Wymagania są określone odnośnie, klas dokładności, materiału, kształtu, identyfikacji i ochrony. Klasy dokładności od  $E_1$  do  $M_3$  są określone w ściśle hierarchicznie w stosunku 1:3, gdzie  $E_1$  jest najwyższą klasą a  $M_3$  najniższą. Tabela z wartościami błędów granicznych dopuszczalnych znajduje się na końcu opracowania.

Większość producentów wzorców masy (jak np. RADWAG) stosuje takie same wymagania w stosunku do wzorców masy jak dla odważników.

Kiedy użytkownik wyposażenia pomiarowego, tak więc również wzorców masy i odważników, posiada wdrożony system zarządzania jakością zgodny z ISO 9001 to obligatoryjnie wprowadza nadzór nad wyposażeniem pomiarowym (punkt 7.6 normy ISO 9001), w postaci do okresowego sprawdzania i wzorcowania. Wyniki takich sprawdzeń muszą być udokumentowane.

Wagi wszystkich typów i klas są sprawdzane wzorcami masy, które posiadają ważne świadectwa wzorcowania.

W przypadku wzorcowania wag czynność tą wykonują akredytowane laboratoria wzorcujące, natomiast okresowe sprawdzanie między kolejnymi wzorcownikami wykonywane jest przez użytkowników lub zlecane przez użytkowników zewnętrznym, kompetentnym organizacjom – najczęściej akredytowanym laboratoriom wzorcującym.

Do sprawdzania wag służą są wzorce masy, posiadające ważne świadectwa wzorcowania wydane przez akredytowane laboratoria wzorcujące /oferta Laboratorium pomiarowego RADWAG przedstawiona jest na końcu opracowania/.

Do sprawdzania wag najlepiej stosować następujące wzorce masy:

1. mikrowagi – klasa wzorców masy E1 wg R 111 OIML;
2. wagi analityczne (w tym klasy I) - klasa wzorców masy E1 lub E2 wg R 111 OIML;
3. wagi laboratoryjne (w tym klasy II) - klasa wzorców masy E2 lub F1 wg R 111 OIML;
4. wagi przemysłowe (w tym klasy III) - klasa wzorców masy F2 lub M1 wg R 111 OIML.

## 1.2 Metody wzorcowania wzorców masy i odważników

Wzorce masy i odważniki wzorcowane są poprzez wyznaczenie równicy mas pomiędzy wzorcem odniesienia, którego masa jest znana, a wzorcem badanym za pomocą komparatora o odpowiednich charakterystykach metrologicznych. Wyznaczenie masy wzorców i odważników badanych B przeprowadza się metodą podstawiania przez porównanie ich masy z masą wzorców odniesienia A, które powinny być co najmniej o jedną klasę wyższe w cyklach ważeń ABBA, ABA lub  $AB_1 \dots B_n A$ . Minimalna ilość cykli dla poszczególnych klas jest określona w Dokumentacie OIML R111:

Klasa odważników	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub>
Rodzaj cyklu					
ABBA	3	2	1	1	1
ABA	5	3	2	1	1
$AB_1 \dots B_n A$	5	3	2	1	1

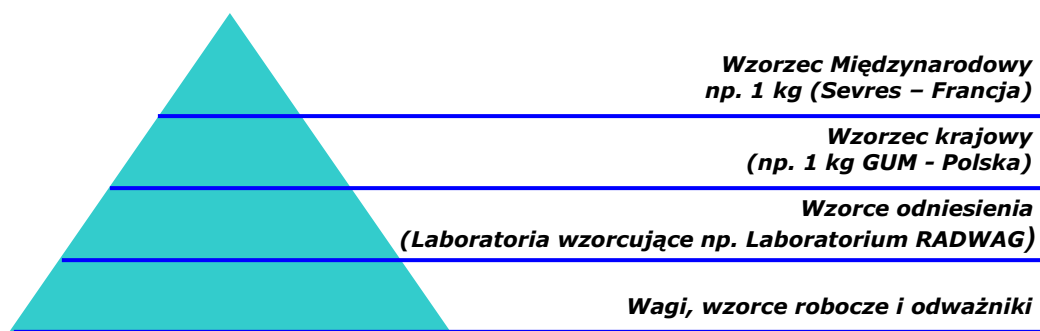
Tabela 1 Minimalna liczba cykli ważenia

Rodzaj i liczba cykli, dokładność komparatorów lub wag stosowanych do wzorcowania wzorców masy lub odważników powinna oraz dokładność wzorców odniesienia powinny być dobrane w taki sposób, aby złożona niepewność rozszerzona U przy współczynniku rozszerzenia k=2 przy wzorcowaniu nie przekraczała 1/3 wartości błędów granicznych dopuszczalnych określonych w Dokumentacie OIML R111.

### 1.3 Spójność pomiaru

Spójność pomiarowa, jest to właściwość pomiaru lub wzorca jednostki miary polegająca na tym, że można go powiązać z określonymi odniesieniami, na ogół z wzorcami państwowymi lub międzynarodowymi jednostki miary, za pośrednictwem nieprzerwanego łańcucha porównań, z których wszystkie mają określone niepewności.

Zachowanie spójności pomiarowej jest warunkiem jednoznaczności wyników pomiarów, umożliwiającym ich wzajemne porównanie.



Rys. 1 Schemat spójności pomiarowej jednostki miary masy

Dla użytkowników wag i wzorców roboczych najlepszym sposobem zapewnienia spójności pomiarowej jest ich wzorcowanie w akredytowanych laboratoriach wzorcujących oraz sprawdzanie według wewnętrznego harmonogramu wzorcowań i sprawdzeń wyposażenia pomiarowego używając odpowiedniego wyposażenia pomiarowego i wzorców w celu zachowania spójności pomiarowej.

### 1.4 Niepewność pomiaru przy wzorcowaniu wzorców masy

Z wszystkimi pomiarami nierozłącznie związana jest z nimi niepewność ich wyników. Podając wyniki pomiarów wielkości fizycznych, należy podać również informację ilościową o dokładności danych pomiarów. Jest to niezbędne dla każdego, kto wykorzystuje dane pomiary w swojej pracy, aby oszacować ich wiarygodność. Bez takiej informacji wyniki pomiarów nie mogą być porównywane ze sobą, ani z wartościami odniesienia podawanymi w specyfikacjach lub normach. Potrzebna więc stała się konieczność, szacowania, obliczania i wyrażania niepewności pomiaru.

Pojęcie niepewność jako pewnej liczbowo wyrażonej cechy jest stosunkowo nowe w historii pomiarów, choć błąd i analiza błędów od dawna są częścią metrologii.

Powszechnie wiadomo, że po obliczeniu wszystkich znanych lub oczekiwanych składowych błędów i po wprowadzeniu odpowiednich poprawek, pozostaje jeszcze niepewność co do poprawności tak otrzymanego wyniku i wątpliwości na ile wynik pomiaru dobrze reprezentuje wartość wielkości mierzonej.

Idealna metoda szacowania i wyrażania niepewności pomiaru powinna być uniwersalna tak aby mogła być stosowana do wszystkich rodzajów pomiarów i do wszystkich typów danych wejściowych używanych w pomiarach.

Niepewność pomiaru ogólnie składa się z szeregu składników, które można zgrupować w dwie kategorie, zgodnie ze sposobem obliczania ich wartości liczbowych:

- niepewność typu A – to taka, która została obliczona metodami statystycznymi na podstawie serii pojedynczych obserwacji (pomiarów),

- niepewność typu B – to taka, która została obliczona innymi sposobami.

Jedną z form wyrażenia niepewności jest również niepewność standardowa, wyrażona w formie odchylenia standardowego.

Oczywiście w wielu pomiarach przy szacowaniu niepewności pomiaru mamy do czynienia z sytuacjami, gdzie występują zarówno składniki niepewności typu A oraz B. Wówczas podawana jest wartość niepewności standardowej złożonej, która równa jest pierwiastkowi kwadratowemu z sumy wszystkich niepewności.

Ostateczną wartość niepewności podaje się jako niepewność rozszerzoną, która jest wielkością określającą przedział wokół wyniku pomiaru, od którego to przedziału oczekuje się, że obejmuje dużą część rozkładu wartości mierzonych. Powszechnie stosowanym współczynnikiem rozszerzenia  $k$  jest wartość liczbowa 2 odpowiadająca poziomowi ufności 95%.

Zgodnie z dokumentem Europejskiej Współpracy w dziedzinie Akredytacji EA-4/02 *Wyznaczanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu*, który jest zgodny z *Międzynarodowym przewodnikiem wyznaczania niepewności pomiaru* procedura wyznaczenia niepewności pomiaru przy wzorcowaniu wzorców masy rozpoczyna się od zapisania równania pomiaru:

$$m = m_0 + \delta m_1 + \delta m_2 + \delta m_3 + \delta m_4 \quad (1)$$

$m_0$  – masa umowna wzorca odniesienia

$\delta m_1$  – dryft wartości wzorca odniesienia od jego ostatniego wzorcowania

$\delta m_2$  – zaobserwowana różnica mas wzorca odniesienia i wzorcowanego wzorca

$\delta m_3$  – poprawka na niecentryczność i wpływy magnetyczne

$\delta m_4$  – poprawka na wypór powietrza

Równanie niepewności przybierze postać:

$$u^2(m) = c_1 u^2(\delta m_1) + c_2 u^2(\delta m_2) + c_3 u^2(\delta m_3) + c_4 u^2(\delta m_4) \quad (2)$$

gdzie  $c_i$  jest to współczynnik wrażliwości

Analizując sposób obliczania niepewności pomiaru przy wzorcowaniu wzorców masy i odważników według Dokumentu OIML R111, możemy wyodrębnić następujące składowe niepewności:

typu A:

- niepewność standardowa procesu ważenia

typu B:

- niepewność zastosowanego wzorca odniesienia

- niepewność związana z wyporem powietrza

- niepewność związana z zastosowaną wagą (komparatorem)

W ogólnym budżecie niepewności wzorcowania wzorców masy i odważników istotny wpływ mają niepewności związane z wzorcem odniesienia dlatego tak ważne jest aby stosować odpowiedni wzorec odniesienia do wzorcowania w zależności od oczekiwanej niepewności pomiaru. Drugi ważny czynnik to zastosowany komparator. W komparatorach istotnymi czynnikami wpływającymi na wartość liczbowa niepewności pomiaru jest ich dokładność odczytu, czyli działka elementarna  $d$  oraz powtarzalność, której miernikiem jest odchylenie standardowe.

## 1.5 Dobór odpowiedniego komparatora i wzorców odniesienia do wzorcowania wzorców masy i odważników

Mając informacje o charakterystykach metrologicznych komparatora oraz wykorzystując informacje przytoczone we wcześniejszych rozdziałach, można przypisać minimalne wymagania metrologiczne dla komparatorów stosowanych do wzorcowania określonych wzorców masy i odważników.

Na podstawie analizy wykonanej przez Laboratorium Pomiarowe RADWAG minimalne wymagania dla komparatorów w zależności od wzorcowanych wzorców masy przedstawia poniższa tabela:

Obciążenie	Klasa odważnika / wzorca						
	E1	E2	F1	F2	M1	M2	
1mg	$d = 0,0001\text{mg}$ $S = 0,0003\text{mg}$	$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,018\text{mg}$	$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,004\text{mg}$	$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,02\text{mg}$	$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,2\text{mg}$		
2mg							
5mg							
10mg		$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0036\text{mg}$	$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,006\text{mg}$				
20mg							
50mg		$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0044\text{mg}$	$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,008\text{mg}$				
100mg	$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0052\text{mg}$						
200mg	$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,003\text{mg}$	$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0069\text{mg}$	$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,02\text{mg}$	$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,04\text{mg}$	$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,4\text{mg}$	$d = 1\text{mg}$ $S = 1\text{mg}$	
500mg		$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0086\text{mg}$					
1g		$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0105\text{mg}$					
2g		$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0130\text{mg}$	$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,04\text{mg}$				
5g		$d = 0,001\text{mg}$ $S = 0,0165\text{mg}$					
10g		$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,021\text{mg}$	$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,1\text{mg}$				
20g		$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,024\text{mg}$					
50g		$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,040\text{mg}$	$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,2\text{mg}$				$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,1\text{mg}$
100g		$d = 0,01\text{mg}$ $S = 0,080\text{mg}$					
200g		$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,07\text{mg}$	$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,03\text{mg}$				$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,2\text{mg}$
500g	$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,1\text{mg}$	$d = 0,1\text{mg}$ $S = 0,3\text{mg}$	$d = 1\text{mg}$ $S = 1\text{mg}$	$d = 1\text{mg}$ $S = 2\text{mg}$	$d = 1\text{mg}$ $S = 2\text{mg}$	$d = 10\text{mg}$ $S = 10\text{mg}$	
1kg		$d = 1\text{mg}$ $S = 1\text{mg}$					
2kg	$d = 1\text{mg}$ $S = 0,8\text{mg}$	$d = 1\text{mg}$ $S = 1\text{mg}$	$d = 10\text{mg}$ $S = 10\text{mg}$	$d = 10\text{mg}$ $S = 20\text{mg}$	$d = 10\text{mg}$ $S = 20\text{mg}$	$d = 100\text{mg}$ $S = 100\text{mg}$	
5kg		$d = 1\text{mg}$ $S = 1\text{mg}$					
10kg	$d = 1\text{mg}$ $S = 4\text{mg}$	$d = 2\text{mg}$ $S = 6\text{mg}$	$d = 10\text{mg}$ $S = 10\text{mg}$	$d = 10\text{mg}$ $S = 30\text{mg}$	$d = 10\text{mg}$ $S = 30\text{mg}$	$d = 100\text{mg}$ $S = 200\text{mg}$	
20kg							

$d$  – działka elementarna komparatora/wagi  
 $S$  – odchylenie standardowe wyznaczone z serii 6 powtórzeń ABBA

Tabela 2 Minimalne wymagania metrologiczne komparatorów dla poszczególnych klas odważników