

Wpływ przyspieszenia ziemskiego na pomiar masy przy ocenie zgodności wag nieautomatycznych

The significance of the gravity acceleration on the weight measurement in conformity assessment of non-automatic weighing instruments

Piotr Rymkiewicz (Biuro Metrologii Prawnej GUM)

Wprowadzanie wag nieautomatycznych do obrotu i użytkowania po ocenie zgodności w niektórych krajach wiąże się z określeniem ustalonych administracyjnie stref grawitacyjnych. Według Przewodnika WELMEC 2 można stosować również tzw. nową koncepcję grawitacyjną, która umożliwia ustalanie stref użytkowania wagi w określonym zakresie szerokości geograficznej i położenia nad poziomem morza w zależności od zamierzonego miejsca użytkowania wagi.

The placing on the market and putting into service non-automatic weighing instruments in conformity assessment in some countries is connected with fixed administratively gravitation zones. According to the Guide WELMEC 2 there can also be used so called "the new gravity concept", that allows determination an application area for the instrument in the specified range of latitude and location above sea level in relation to the intended place of use.

Zgodnie z definicją zawartą w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/23/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wag nieautomatycznych (wersja ujednolicona – Dz. U. UE nr L 122 z 16.5.2009), dawniej dyrektywa nr 90/384/EWG, waga jest to przyrząd pomiarowy służący do wyznaczania masy ciała przez wykorzystanie działania na ciało siły grawitacji. Przejawem oddziaływania grawitacyjnego jest przyspieszenie ziemskie oznaczone symbolem g i wynoszące w przybliżeniu $9,81 \text{ m/s}^2$. Wartość przyspieszenia ziemskiego jest zmienna w przestrzeni i ma wpływ na pomiary masy. Wprawdzie masa danego ciała jest stała i niezależna od sił zewnętrznych, jednak sama waga podlega wpływowi tych sił. Choć istnieją wagi, które mogą kompensować wpływ siły grawitacji, to większość z nich jest wrażliwa na to oddziaływanie, gdyż koszt takiej kompensacji jest ekonomicznie nieuzasadniony. Wobec tego producenci wag, osoby zajmujące się kontrolą działania wag, jak również użytkownicy powinni posiadać informację co do wielkości wpływu zmian przyspieszenia ziemskiego na wynik pomiaru masy.

W miejscu, gdzie waga jest adiustowana z wykorzystaniem wzorców masy, jej wskazania są teoretycznie właściwe dla dowolnego ważonego ciała, pod

warunkiem, że pominiemy błędy wzorców masy, siłę wyporu powietrza czy błędy spowodowane zmianami temperatury i wielu innych czynników. Tutaj zajmiemy się tylko konsekwencjami zmiany miejsca użytkowania wagi. Rozważaniu poddane zostaną wagi konkretnego rodzaju, czyli wagi nieautomatyczne (najbardziej typowe i uniwersalne ze względu na ich zastosowanie i zakres pomiarowy), które podlegają prawnej kontroli metrologicznej.

Wagi nieautomatyczne poddawane prawnej kontroli metrologicznej (czyli inaczej takie, które są legalizowane w użytkowaniu) podlegają ocenie zgodności zanim zostaną wprowadzone do obrotu lub użytkowania. Ocena zgodności wywodzi się z dyrektyw europejskich i ma na celu zniesienie barier w przepływie towarów na rozległym obszarze Unii Europejskiej i państw EFTA. Producent wagi może przygotowywać ją do działania w swojej fabryce, a następnie wysłać w określony rejon Europy lub świata, gdzie występuje inna wartość przyspieszenia ziemskiego, podając dla jakiego obszaru (strefy grawitacji) waga jest przeznaczona. Działanie takie daje producentowi pewność, że poinformowany w ten sposób użytkownik, organy nadzoru metrologicznego i jednostki notyfikowane będą świadome, gdzie waga może być użytkowana bez dodatkowych regulacji.

W tym celu Organizacja Europejskiej Współpracy w dziedzinie Metrologii Prawnej (WELMEC) opracowała zalecenia, jak powinien postąpić sam producent (posiadający stosowną certyfikację) lub jednostka notyfikowana, której producent zgłosił legalizację WE, gdy ten drugi etap oceny zgodności jest przeprowadzany w innym miejscu niż miejsce jej użytkowana (pkt. 3.3 Przewodnika WELMEC 2). W stosownym dokumencie, załączonym do wagi lub np. na wyświetlaczu wagi, należy przedstawić dane określające obszar, do jakiego waga jest przeznaczona, czyli opisać tzw. strefę grawitacji.

Przyspieszenie ziemskie wyraża się wzorem:

$$g = 9,780318 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000058 \sin^2 2\varphi) - 0,000003085 a \quad (1)$$

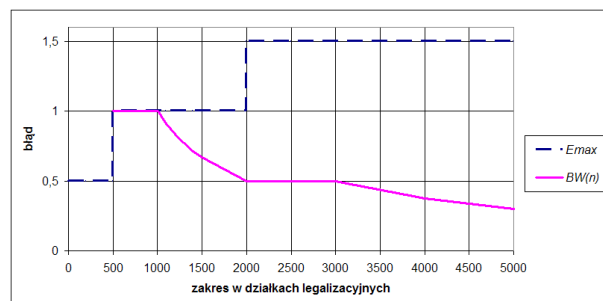
gdzie: g (m/s²) – przyspieszenie ziemskie,
 φ (°) – szerokość geograficzna,
 a (m) – wysokość nad poziomem morza.

Strefę grawitacji można zdefiniować podając:

- 1) wartość przyspieszenia ziemskiego o wartości odniesienia g_R wraz z jego górną i dolną wartością g_{max} i g_{min} , lub
- 2) określając zakresy dotyczące:
 - a) szerokości geograficznej φ_{min} oraz φ_{max} ,
 - b) wysokości nad poziomem morza a_{min} oraz a_{max} .

W celu wyznaczenia powyższych granic przyjęto założenie, zgodnie z zaleceniem zawartym w przewodniku WELMEC 2, że wartość odchyłki przyspieszenia ziemskiego od wartości odniesienia g_R , tj. $g_{max} - g_R$ lub $g_R - g_{min}$ nie spowodują, że wartość bezwzględna zmiany wyniku ważenia przekroczy 1/3 błędu granicznego dopuszczalnego E_{max} wagi nieautomatycznej, przewidzianego przepisami prawa podczas legalizacji WE.

W celu łatwego wyznaczania lub sprawdzania zakresów strefy grawitacji warto posłużyć się błędem względnym. Wartość tego błędu względnego nie powinna przekroczyć wartości opisanej tutaj funkcją $BW(n)$ (rys. 1). Jak widać, zmienną tej funkcji jest n , czyli liczba działek legalizacyjnych wagi e . Funkcję $BW(n)$ można określić jako minimalny błąd graniczny dopuszczalny względny, jaki posiada w swoim zakresie pomiarowym waga nieautomatyczna o obciążeniu maksymalnym, danym iloczynem: $n \cdot e$. Wykres funkcji $BW(n)$ (linia ciągła) otrzymuje się z wykresu schodkowego błędu granicznego dopuszczalnego E_{max}



Rys. 1. Wykres błędu granicznego dopuszczalnego

(linia przerywana) dla wagi nieautomatycznej. Na wykresie wartości funkcji $E_{max}(n)$ wyrażone są liczbowo w działkach legalizacyjnych, natomiast wartości liczbowe funkcji $BW(n)$ wyrażone są w promilach.

Dziedziną funkcji $BW(n)$ dla wag III klasy dokładności jest n (od 500 do 10 000), a funkcja przyjmuje wartości w poszczególnych przedziałach:

$$\begin{aligned} BW(n) &= 1/1000 & \text{dla} & 500 \leq n < 1000 \\ BW(n) &= 1/n & \text{dla} & 1000 \leq n \leq 2000 \\ BW(n) &= 1/2000 & \text{dla} & 2000 < n < 3000 \\ BW(n) &= 1/2n & \text{dla} & n \geq 3000 \end{aligned}$$

Ponieważ dopuszczalna odchyłka, spowodowana zmianą g , nie powinna przekroczyć 1/3 $BW(n)$, to otrzymamy zależność:

$$|g_x - g_R| / g_R \leq BW(n)/3 \quad (2)$$

W przypadku gdy producent chce podać informację o zakresie przyspieszenia ziemskiego (zgodnie z pkt. 1), otrzymamy:

$$(g_x - g_R) / g_R \leq BW(n)/3 \quad (3)$$

$$(g_R - g_x) / g_R \leq BW(n)/3 \quad (4)$$

stąd wyliczymy zakres wartości przyspieszenia ziemskiego:

$$g_x \leq g_R + BW(n) g_R/3 \quad (5)$$

$$g_x \geq g_R - BW(n) g_R/3 \quad (6)$$

oraz odpowiednio otrzymamy wartości brzegowe:

$$g_{max} = g_R + BW(n) g_R/3 \quad (7)$$

$$g_{min} = g_R - BW(n) g_R/3 \quad (8)$$

Określenie, czyli wybór wartości granicznych dla strefy grawitacji (zgodnie z pkt. 2) jest raczej wyborem producenta, ale wymaga sprawdzenia, czy przy-

jęte wartości graniczne φ oraz a spełniają warunek określony wzorami (3) i (4). Aby sprawdzić zgodność tak ustalonej strefy grawitacji z założeniami, należy posłużyć się zależnością:

$$(\Delta g_{\varphi} + \Delta g_a) / g_R \leq BW(n)/3 \quad (9)$$

gdzie:

$$\Delta g_{\varphi} = 0,5 | g(\varphi_{\max}, a_m) - g(\varphi_{\min}, a_m) |$$

$$\text{oraz } a_m = 0,5 (a_{\min} + a_{\max}) \quad (10)$$

$$\Delta g_a = 0,5 | g(\varphi_m, a_{\min}) - g(\varphi_m, a_{\max}) |$$

$$\text{oraz } \varphi_m = 0,5 (\varphi_{\min} + \varphi_{\max}) \quad (11)$$

$$g_R = g(\varphi_m, a_m) \quad (12)$$

Obliczamy te wartości podstawiając do wzoru (1) zmienne φ i a , a stąd wyliczymy zakres wartości przyspieszenia ziemskiego, dany zależnościami (7) i (8).

Przykład obliczeniowy

Przyjmijmy, że producent chce przeprowadzić legalizację WE w pełnym zakresie u siebie w fabryce, a następnie wyekspediować wagę nieautomatyczną III klasy dokładności:

$$e = 5 \text{ g,}$$

$$n = 3000 \text{ (liczba działek dla obciążenia maksymalnego),}$$

do użytkownika tak, aby nie wymagała ona w miejscu przeznaczenia ponownej adiustacji spowodowanej zmianą przyspieszenia ziemskiego. W tym celu należy dokonać adiustacji na wartość nominalną 52° szerokości geograficznej oraz 100 m wysokości nad poziomem morza, co potwierdza się wprowadzając do wagi informację w postaci $50,5 - 53,5 \equiv 0 - 200$ lub $50,5 - 53,5 : 0 - 200$. Oznacza to, że strefa grawitacji dla wagi została ograniczona od $50,5^\circ$ do $53,5^\circ$ szerokości geograficznej oraz od 0 m do 200 m nad poziomem morza. Punktami „centralnymi” tej strefy są wszystkie punkty leżące na szerokości geograficznej 52° i wysokości 100 m nad poziomem morza.

Dokonyjemy sprawdzenia, czy podane granice strefy grawitacji spełniają wzór (9)

$$\varphi_{\min} = 50,5^\circ; \varphi_{\max} = 53,5^\circ, \text{ stąd } \varphi_m = 52^\circ$$

$$a_{\min} = 0 \text{ m; } a_{\max} = 200 \text{ m, stąd } a_m = 100 \text{ m}$$

podstawiając do (10) i (11) otrzymamy odpowiednio:

$$\Delta g_{\varphi} = 0,5 | 9,8134683 - 9,8108320 | = 0,0013181 \text{ m/s}^2$$

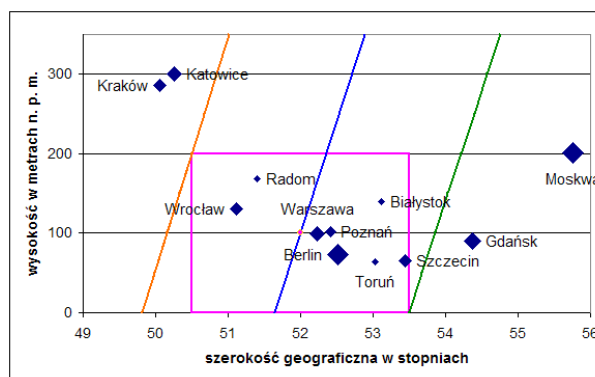
$$\Delta g_a = 0,5 | 9,8124671 - 9,8118501 | = 0,0003085 \text{ m/s}^2$$

Ze wzoru (12) otrzymamy $g_R = 9,8121586 \text{ m/s}^2$. Obliczamy: $BW(3000)/3 = 0,0005/3 = 0,000166(6)$ i otrzymujemy: $(0,0013181 + 0,0003085)/9,8121586 = 0,0001658$. Czyli wzór (9) jest spełniony, gdyż: $0,0001658 \leq BW(3000)/3 = 0,000166(6)$. Przy okazji można wyznaczyć wartości graniczne przyspieszenia ziemskiego dla tej strefy i otrzymamy:

$$g_{\max} = g(\varphi_{\max}, a_{\min}) = g(53,5^\circ, 0) = 9,8137768 \text{ m/s}^2$$

$$g_{\min} = g(\varphi_{\min}, a_{\max}) = g(50,5^\circ, 200) = 9,8105235 \text{ m/s}^2$$

Teraz sprawdzamy, czy spełniony jest warunek opisany wzorami (3) i (4). Zgodnie z (3) otrzymamy: $0,00016491 \leq BW(3000)/3$, oraz zgodnie z (4) otrzymamy: $0,00016664 \leq BW(3000)/3$, gdyż: $BW(3000)/3 = 0,000166(6)$.



Rys. 2. Określenie strefy grawitacji

Ilustrację graficzną obydwu sposobów określenia strefy grawitacji dla punktu odniesienia 52° szerokości geograficznej i 100 m n.p.m. (odpowiada Warszawie) podano na rys. 2. Prostokąt określa strefę grawitacji, gdy wykorzystujemy parametry φ oraz a , natomiast dwie pochyłone proste ograniczają strefę grawitacji, gdy stosujemy g_{\min} oraz g_{\max} . W tle znajdują się punkty reprezentujące uśrednione wartości φ oraz a dla niektórych miast. Widać, które z nich spełniają warunek dla zdefiniowanej strefy grawitacji. Środkowa pochyłona linia obrazuje punkty, które mają wartości przyspieszenia ziemskiego o wartości odniesienia g_R . W taki sposób możemy dokonać adiustacji wagi nieautomatycznej III klasy dokładności, dla każdej szerokości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza, w których waga będzie użytkowana.