

# Błędy wskazań wag elektronicznych wynikające ze zmian wartości przyspieszenia ziemskiego

Sławomir Janas, Radom 21.01.2009

## 1. Wstęp

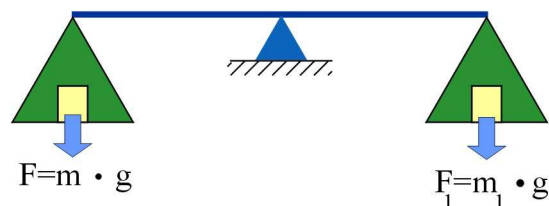
Obok niezaprzeczalnych zalet współczesnych wag elektronicznych takich jak wygoda użytkowania, szybkość ważenia, ergonomiczność, jest też istotny czynnik negatywny, który jest niedoceniany a wręcz czasami pomijany. Tym czynnikiem jest przyspieszenie ziemskie, które może powodować zmianę dokładności wag elektronicznych. Oczywiście problem ten nie dotyczy wszystkich wag i jest związany zarówno z konstrukcją wagi jak i z jej rozdzielczością. Szczegółowa analiza problemu została omówiona w publikacji WELMEC 2. – Gravity zones 3.3. co podkreśla znaczenie tego problemu. Jednakże jak pokazuje praktyka nie wszyscy użytkownicy oraz producenci wag zdają sobie sprawę z błędów, jakie mogą wystąpić. Wartość przyspieszenia ziemskiego jest zależna od zmian szerokości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza, co dodatkowo komplikuje w pewnym stopniu to zagadnienie zarówno dla użytkowników jak i producentów wag.

*WELMEC - Europejska Organizacja Metrologii Prawnej*

## 2. Masa czy ciężar

Ciężar jest siłą grawitacyjnego przyciągania, jakie na dane ciało wywiera inne ciało np. Ziemia na ważony ładunek. Każde dwa ciała przyciągają się z siłą wprost proporcjonalną do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między nimi. Z tego powodu to samo ciało waży nieco więcej na biegunach niż na równiku. Wynika to ze spłaszczenia Ziemi - odległość ciała od środka planety jest na biegunie mniejsza niż na równiku. Z tego samego powodu ciężar ciała na szczycie wysokiej góry jest nieco mniejszy niż u jej podnóża.

Ciężar jest, zatem siłą. Żeby wyznaczyć ciężar należy zmierzyć siłę, z jaką ciało jest przyciągane. Tak naprawdę dla tradycyjnych wag dźwigniowych operacja ważenia polega na porównaniu siły, z jaką Ziemia przyciąga ładunek z siłą, z jaką przyciągany jest odważnik. Oczywiście rzetelność takiego pomiaru jest uwarunkowana poprawnością masy odważnika.



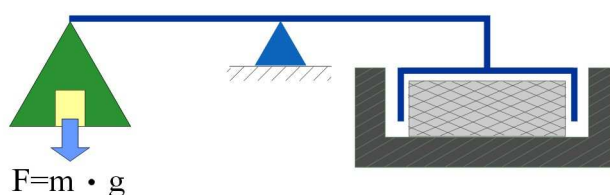
Rys. 1. Schemat wagi dźwigniowej

Masa jest miarą bezwładności, czyli tendencji ciała do pozostawania w stanie spoczynku lub ruchu o danej prędkości. Potocznie rozumiana jest jako ilość materii i energii zgromadzonej w obiekcie fizycznym. Im większa masa ciała tym trudniej je rozpędzić lub zmienić jego prędkość. Tak więc masa ma wartość stałą niezależnie od miejsca położenia, natomiast ciężar jest zależny od położenia (szerokości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza).

### 3. Konstrukcje wag

W przypadku typowych wag o konstrukcji dźwigniowej, podczas ważenia porównywano ze sobą ładunek i masę wzorca. Ponieważ jest to porównanie bezpośrednie, wynik ważenia nie jest obarczony błędem związanym ze zmianą wartości przyspieszenia ziemskiego. Stąd wynika podstawowy praktyczny aspekt – możliwość ważenia w każdym miejscu na świecie niezależnie od zmian „g”.

W systemach pomiarowych wag elektronicznych podczas pomiaru nie ma bezpośredniego porównywania ze wzorcem masy. Żeby otrzymać wynik ważenia mierzy się wielkości pośrednie takie jak prąd (dla wag z przetwarzaniem magnetoelektrycznym) lub zmianę rezystancji mostka (w wagach tensometrycznych). Te wielkości pośrednie są następnie przetwarzane poprzez układy elektroniczne na wynik ważenia wyrażony w gramach czy też kilogramach. Oczywiście metod pomiarowych jest znacznie więcej, ale generalnie, żeby otrzymać wynik należy w pierwszej kolejności zmierzyć siłę, z jaką ładunek jest przyciągany przez Ziemię:  **$F = m \times g$**



Rys. 2. Uproszczony schemat wagi magnetoelektrycznej

Wyskalowanie takich wag w jednostkach masy wymaga uwzględnienia wartości przyspieszenia ziemskiego „g” występującego w miejscu adiustacji. Natomiast przemieszczenie wagi z miejsca adiustacji do miejsca użytkowania wymaga uwzględnienia zmian dokładności wagi na skutek zmian wartości przyspieszenia ziemskiego. Taką korektę można realizować na różne sposoby zależnie od możliwości funkcjonalnych wagi.

### 4. Błędy wynikające ze zmian przyspieszenia ziemskiego

Żeby uświadomić sobie skalę problemu należy wykonać praktyczne obliczenia zmian wielkości przyspieszenia ziemskiego biorąc pod uwagę wpływ szerokości geograficznej oraz maksymalnej wysokości nad poziom morza a następnie odnieść je do błędów, jakie powstaną w wadze. Dokładną procedurę postępowania w zakresie zawiera Dyrektywa 90/384/EEC, która podaje wzór umożliwiający wyliczenie zmian „g”. Dodatkowo określa ona maksymalny dopuszczalny błąd wynikający ze zmian „g” jako 1/3 Dopuszczalnego Błędu Granicznego.

$$g = 9,780318 \{1 + 5,3024 \times 10^{-3} \sin^2 \varphi - 5,8 \times 10^{-6} \sin^2(2\varphi)\} - 3,085 \times 10^{-6} \times a \text{ [m s}^{-2}\text{]}$$

[1-A]. Wzór dla wyliczania wartości przyspieszenia ziemskiego z uwzględnieniem szer. geograf. i wysokości n.p.m

gdzie:

- g - wartość przyspieszenia ziemskiego
- $\varphi$  - szerokość geograficzna [°]
- a - położenie nad poziomem morza [m]

$$\frac{n(\Delta g_{\phi} + \Delta g_a)}{g_R} \leq \frac{BGD}{3e}$$

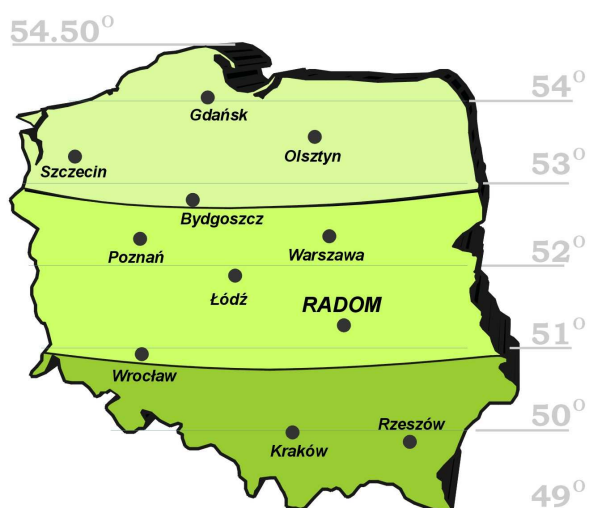
[1-B]. Warunek dla wielkości błędów wynikających ze zmian „g”

gdzie:

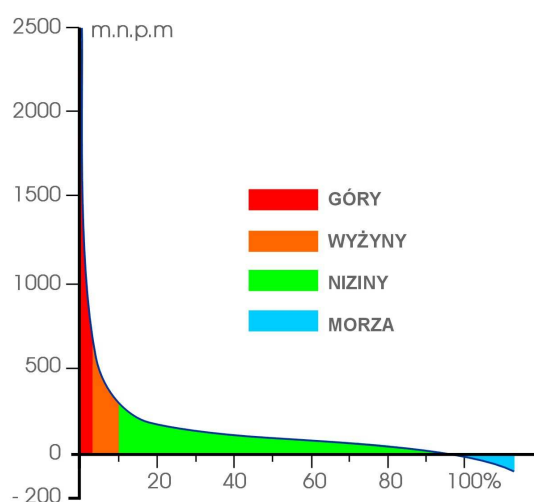
- n - ilość działek legalizacyjnych wagi
- $\Delta g_{\phi}$  - odchylenie wynikające ze zmian szerokości geograficznej
- $\Delta g_a$  - odchylenie wynikające ze zmian wysokości n.p.m.
- $g_R$  - wartość nominalna przyspieszenia ziemskiego dla wybranej strefy
- BGD - błąd graniczny dopuszczalny

Wielkości błędów wskazań wag jakie mogą być efektem zmian wartości „g” są uzależnione od rozdzielczości wag, czyli ilości działek legalizacyjnych (n). Nie bez znaczenia jest również wielkość przemieszczenia uwzględniając:

- zmianę szerokości
- zmianę wysokości nad poziom morza



Rys. 3. Polska w zakresie szerokości geograficznej



Rys. 4. Polska w zakresie wysokości n.p.m

Dla potrzeb wyliczeń przyjęto założenie, że wagi zostały adiustowane w jednym krańcu Polski np. w Gdańsku, a następnie przemieszczono je w drugi kraniec Polski np. do Zakopanego.

- Gdańsk 54,5°; 100m.n.p.m
- Zakopane 49,5°; 1000m.n.p.m

Oczywiście po przemieszczeniu wag nie wykonano adiustacji wagi. Wielkości błędów, jakie wystąpią w typowych wagach pokazuje poniższa tabela.

Obciążenie Max	Dokład. odczytu	Działka legaliz.	Dopuszcz. błąd graniczny EN 45501	Dopuszcz. błąd od zmian „g”	Błąd spowodowany zmianą „g”		Suma błędów
					Szer. geogr.	Wys. n.p.m.	
Max	[d]	[e]	[MPe]	[MPe]	[E]	[E]	[E]
220 g	0,1 mg	1 mg	1,5 mg	0,5 mg	-98,3 mg	-62,2 mg	-160,5 mg
360 g	1 mg	10 mg	15 mg	5 mg	-161 mg	-101 mg	-262 mg
30 kg	10 g	10 g	15 g	5 g	-14 g	-9 g	-23 g

## 5. Korekta błędów wynikających z przemieszczenia wagi

Jednym ze skutecznych sposobów eliminacji tych błędów jest adiustacja wagi w miejscu jej ustawienia. Dla wag klasy dokładności I oraz większości wag klasy dokładności II, problem uodpornienia wagi na wpływ zmiany „g” rozwiązuje się poprzez wprowadzenie automatycznej adiustacji wewnętrznej, odważnikiem zabudowanym wewnątrz wagi. Dodatkowo system ten eliminuje błędy temperaturowe, dzięki ciągłemu pomiarowi temperatury pracy wagi i wykrywaniu istotnych dla jej pracy zmian tzw. adiustacja temperaturowa.

Zabudowany mechanizm adiustacji wewnętrznej eliminuje również wpływ długoterminowych zmian charakterystyk podzespołów gwarantując stabilność wskazań. Obligatoryjność tego procesu zależy od wykonania wag:

- wersja legalizowana lub
- wersja bez legalizacji (wówczas użytkownik może sam decydować o ich załączaniu).

Jednakże istnieją na rynku wagi klasy dokładności II, dla których realizuje się tzw. dwuetapowe deklarowanie zgodności. Procedura taka polega na wykonaniu adiustacji wzorcem zewnętrznym w miejscu instalacji wagi eliminując tym samym błąd wynikający ze zmian wartości przyspieszenia ziemskiego. Taką procedurę można realizować również dla wag klasy dokładności III, jeżeli uznana ona będzie za zasadną. Ze względu na to, że w wagach legalizowanych adiustacja zewnętrznym odważnikiem jest niedostępna dla użytkownika, taką czynność mogą wykonywać tylko osoby uprawnione.

*(PN-EN 45501 - Zagadnienia metrologiczne wag nieautomatycznych, pkt. 4.1.2.5. pkt. 4.1.2.6)*

Drugim sposobem korekty błędów pochodzących od zmian „g” jest wprowadzenie w momencie produkcji przez producenta odpowiedniej poprawki uwzględniającej różnicę między miejscem produkcji a rzeczywistym miejscem pracy wagi. Z punktu widzenia ekonomii jest to słuszne rozwiązanie, ale wymaga precyzyjnego określenia miejsca pracy wagi względem miejsca wyprodukowania.

Przedstawione rozwiązania są stosowane podczas produkcji i kontroli wag w RADWAGU. Wybrana metoda kompensacji błędów pochodzących od zmian „g” jest oczywiście zależna od rozdzielczości i konstrukcji wagi. Ze względu na wdrożony i utrzymywany system zarządzania jakością ISO 9001:2000 RADWAG zobowiązany jest do dokumentowania wszystkich procedur związanych z kontrolą wag w tym również mechanizmów realizujących korektę błędów związanych ze zmianami „g”. W związku z tym w dokumentach dołączonych do wag zawarta jest informacja w jakim obszarze działanie wagi jest poprawne w postaci:

*Waga może być eksploatowana bez dodatkowej adiustacji w strefie geograficznej;  
51 - 53 : 100 - 300*

Powyższy zapis dotyczy wag legalizowanych klasy dokładności III z systemem adiustacji wzorcem zewnętrznym.

## 6. Praktyczne aspekty wynikające z korekty błędów pochodzących od zmian wartości przyspieszenia ziemskiego

Poza oczywistością, że należy korygować błędy pozostaje jeszcze aspekt techniczny z tym problemem związany. Współczesny świat jak słusznie zauważono stał się globalną wioską, co sprzyja przemieszczaniu się zarówno ludności jak i sprzętu. W przypadku wag elektronicznych jest to łatwe, proste i czasami uzasadnione ekonomicznie – możliwość korzystania z tej samej wagi w różnych miejscach. Co jednak z dokładnością wagi?

Dla wag z automatyczną adiustacją wewnętrzną lub dostępną jakąkolwiek adiustacją zewnętrznym wzorcem problem w zasadzie nie występuje. Po przemieszczeniu wagi do innego miejsca (np. z Krakowa do Olsztyna) wykonywana jest adiustacja i błędy wynikające z przemieszczenia nie występują. Co jednak z wagami klasy dokładności III z niedostępną adiustacją dla użytkownika? Przemieszczenie takiej wagi spowoduje błąd wskazań, który może zostać niezauważony. Taka waga po przemieszczeniu do nowego miejsca użytkowania powinna być ponownie adiustowana, co praktycznie wiąże się z ponowną legalizacją. Ta problematyka powinna być znana szczególnie dla osób sprawujących nadzór na posiadanym sprzętem wagowym.



26-600 Radom ul. Bracka 28  
Centrala +48 48 38 48 800, fax +48 48 385 00 10, Dział Sprzedaży +48 48 366 80 06  
[www.radwag.pl](http://www.radwag.pl)