

Dynamiczne ważenie pojazdów szynowych Podstawowe problemy metrologiczne i techniczne

Technika ważenia pojazdów w ruchu (samochodów ciężarowych i wagonów kolejowych) rozwinięta w ostatnich latach, jest obecnie szeroko stosowana, zarówno do celów handlowych jak i do wykrywania przeciążeń osi i pojazdów. Chociaż obecnie kolejowe systemy ważenia dynamicznego są oferowane przez paru europejskich producentów, to ich instalacja i eksploatacja jest związana z poważnymi problemami, wynikającymi z konieczności spełnienia ostrych wymagań metrologicznych określonych przez urzędy miar jak i wymagań użytkownika.

Niniejsza praca zawiera przegląd i dyskusję tych problemów, jak również ogólny opis wykorzystywanych obecnie rozwiązań konstrukcyjnych wag dynamicznych. Stanowi ona wstęp do następnych prac, w których rozważane są szczegółowe zagadnienia projektowania i konstrukcji systemów ważących.

Przedstawione w tych pracach rezultaty zostały uzyskane podczas realizacji projektu celowego finansowanego przez KBN i pozwoliły zaprojektować i zbudować pierwszą w Polsce dynamiczną wagę kolejową.

1. Wprowadzenie

We współczesnej technice ważenia wagonów kolejowych wyróżnia się ważenie statyczne i ważenie dynamiczne. Ważenie statyczne to ważenie wagonów w stanie bezruchu, przy czym może to być wagon spięty z innymi wagonami. Ważenie dynamiczne zaś to ważenie spiętych wagonów w trakcie ruchu pociągu. Wagony powinny być ważone w całości a nie poprzez ważenie ciężaru poszczególnych osi lub wózków.

Wagi kolejowe, które umożliwiają realizację określonych wyżej ważeń, muszą spełniać szereg wymagań. Wymagania te można podzielić na dwie grupy.

1. *Wymagania metrologiczne.* Są to przede wszystkim wymagania Głównego Urzędu Miar (GUM-u). Dotyczą one takich parametrów jak: dokładność, wartość działki legalizacyjnej i elementarnej, zasad legalizacji wagi itp.
2. *Wymagania użytkownika.* Są to wymagania dotyczące takich zasad jak: zbiór wagonów, które będą ważone (spektrum długości ważonych wagonów), maksymalne i minimalne obciążenie wagi, rodzaj zabudowy toru, trwałość wagi, odporność na zmiany temperatury, itp.

Wśród wszystkich współczesnych wag kolejowych najlepiej wymagania te spełniają wagi typu elektronicznego. Są to wagi, w których głównym elementem pomiarowym jest tensometr oporowy pracujący jako przetwornik nacisku na sygnał elektryczny. W zależności od zasady ważenia można tu wyróżnić dwa główne rodzaje wag kolejowych typu elektronicznego:

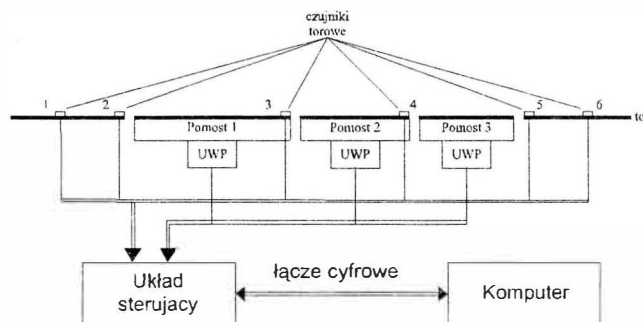
1. *Waga bezfundamentowa*, będąca tzw. szyną ważącą. Wagę taką tworzy wydzielony odcinek toru, w którym wprowadza się szynę z czujnikami tensometrycznymi. Sygnały elektryczne z tych czujników, odpowiednio przetworzone, są wykorzystywane do wyznaczania ciężaru ważonego wagonu. Wagę taką produkuje firma "Schenck"[1] pod nazwą wag "Newton".

2. *Waga fundamentowa*, będąca tzw. wagą pomostową. Wagę taką tworzy kilka pomostów wbudowanych w tor z odpowiednim fundamentowaniem. W każdym z takich pomostów siła nacisku ważonego wagonu przetwarzana jest za pomocą czujników tensometrycznych na sygnał elektryczny, który dalej, po odpowiedniej obróbce, wykorzystywany jest dla wyznaczenia masy. Wagi pomostowe produkowane są przez wiele firm np. "Schenck"[1], "Pivotex"[2] i inne.

W obecnej chwili największe znaczenie mają wagi pomostowe. Wagi z szyną ważącą nie są szeroko stosowane, istnieją tu bowiem pewne trudności z ich legalizacją. W dalszej części będziemy zajmowali się tylko wagami pomostowymi.

2. Budowa wagi pomostowej

Pojedynczy pomost wagi, w zależności od firmy, jest konstruowany różnie. W typowym rozwiązaniu pomost ma dwa dźwigary, do których przymocowane są szyny. Dźwigary podparte są na dwóch końcach za pomocą odpowiednich trzpieni, których naprężenie w czasie ważenia wagonu przetwarzane jest przez czujniki tensometryczne na sygnał elektryczny. Konstrukcja pomostu powinna być taka, aby eliminować wszelkie drgania i obciążać tensometry tylko siłą pionową [3].

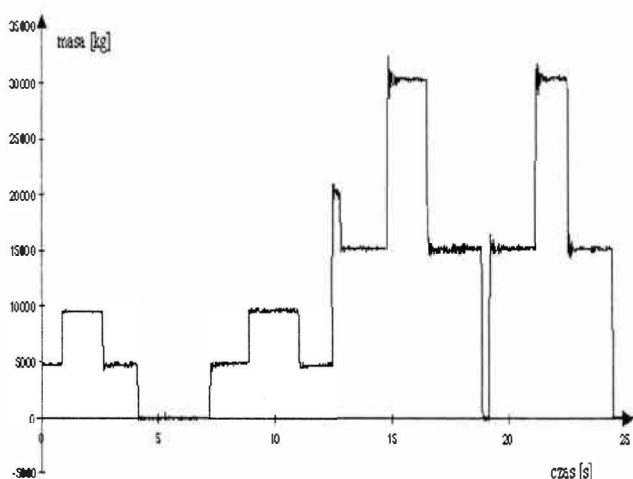


Rys. 1. Ogólny schemat wagi 3 pomostowej

W zależności od zbioru wagonów, które mają być ważone, kolejowa waga pomostowa może składać się z 1, 2, 3 lub 4 pomostów. Dla przykładu na rys. 1. przedstawiono ogólny schemat wagi trzy pomostowej. Oprócz 3-ch pomostów w jej skład wchodzi czujniki torowe (6 sztuk) nazywane też czujnikami zbliżenia oraz zespół urządzeń elektronicznych.

Czujniki torowe są to najczęściej czujniki indukcyjne. Ich zadaniem jest wyznaczanie chwil przejścia kół przez dany punkt na torze. Dla kierunku ruchu wagonów od lewej do prawej, czujniki 1 i 2 (dla przeciwnego kierunku czujniki 6 i 5) służą do identyfikacji wagonów dwu i cztero osiowych. Zasada tej identyfikacji jest prosta. Przyjmuje się, że odległość między czujnikami 1 – 2 (6 – 5) jest większa od największego rozstawienia osi wózka w wagonie 4 osiowym a mniejsza od najmniejszej odległości skrajnych osi w wagonie 2 osiowym. Dzięki temu, jeśli na odcinek między czujnikami 1 – 2 najadą dwie osie (2-impulsy z czujnika 1 i 0-impulsów z czujnika 2) to mamy do czynienia z wagonem 4 osiowym. W przeciwnym razie mamy wagon 2 osiowy. Osie lokomotywy należy uwzględnić na początku, zliczając jej osie i eliminując je. W zestawie wagonów pociągu nie może być wagonów innych niż 2 i 4 osiowych.

Sygnal z czujników tensometrycznych przy wejściu na dany pomost pokazuje rys. 2.

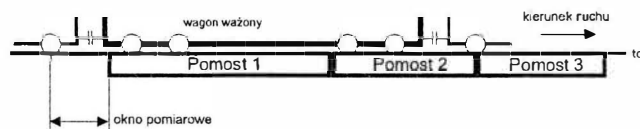


Rys. 2. Rzeczywiste obciążenie pomostu w trakcie przejazdu pociągu.

Jest to sygnał analogowy niosący pełną informację o aktualnym obciążeniu pomostu. W układach wstępnego przetwarzania (UWP – rys. 1.) jest on dalej odpowiednio obrabiany. Na obróbkę tę składa się wzmocnienie, filtracja i przetwarzanie A/C (analogowo – cyfrowe). Wstępnie przetworzony sygnał, już jako sygnał cyfrowy przesyłany jest do układu sterującego, skąd razem z sygnałami z czujników torowych przesyłany jest łączem cyfrowym do komputera. W zależności od rodzaju łącza cyfrowego komputer może znajdować się w pomieszczeniu oddalonym od wagi do kilkuset metrów. Urządzenia UWP i układ sterujący powinny znajdować się przy wadze.

Na podstawie otrzymanych sygnałów komputer realizuje algorytm ważenia. Zasada tego algorytmu jest następująca. Sygnały z czujników torowych (2, 3, 4, i 5 rys. 1) wyznaczają chwilę, w której ważony i zidentyfikowany wagon znajdzie się sam na danym pomoście lub na danych 2 sąsiednich pomostach lub na 3

pomostach, co zależy od odległości skrajnych osi danego wagonu i długości pomostów. Odcinek drogi wagonu w trakcie przejazdu, kiedy taka sytuacja istnieje, nazywamy oknem pomiarowym. Przykładowo na rys. 3 pokazano długość okna pomiarowego dla jednego z możliwych przypadków.



Rys. 3. Długość okna pomiarowego dla jednego z możliwych przypadków.

W czasie przejazdu wagonu przez odcinek okna pomiarowego sygnały z UWP (rys. 1) są odbierane przez komputer (w innych chwilach czasu sygnały te są ignorowane) i jeszcze dalej przetwarzane (np. uśredniane). Na podstawie tych sygnałów komputer wyznacza obciążenie każdego z pomostów (w przypadku rys. 3 wyznacza obciążenie pomostu 1 i 2) i przez sumowanie wyznacza masę danego wagonu.

3. Główne problemy wagi pomostowej

Opisana wyżej kolejowa waga pomostowa typu elektronicznego jest urządzeniem złożonym. Oprócz dość oczywistych i prostych problemów pojawiają się tu również problemy bardzo złożone, których rozwiązanie wymaga dużych badań nie tylko teoretycznych. Najważniejsze tego typu problemy są następujące.

1. *Konstrukcja pomostów.* Chociaż współcześnie każda z firm produkujących takie wagi [1,2] dopracowała się własnej konstrukcji, tym nie mniej istnieją tu możliwości innych, lepszych rozwiązań. Głównym problemem jest tu optymalizacja konstrukcji pomostu tak, aby dopasować pomost z jednej strony do wymagań kolejowych, a z drugiej strony do wymagań związanych z użyciem czujników tensometrycznych. W grę więc wchodzi takie zagadnienia jak łatwość montażu i zabudowy wagi, odporność na wysokie i niskie temperatury (oblodzenia), eliminacja wszelkiego rodzaju drgań itp.

2. *Identyfikacja wagonów.* Wagony przed wejściem na wagę muszą być identyfikowane. Obecnie identyfikuje się tylko wagony 2 i 4 osiowe i tylko takie wagony mogą być ważone. W oparciu o podobne środki, istnieje możliwość identyfikacji i ważenia również innych wagonów np. 3-i 6 osiowych, lokomotyw itp. Wymaga to jednak dalszych prac i to zarówno teoretycznych (modelowania) jak i doświadczalnych.

3. *Dobór ilości i długości pomostów.* Ze względów konstrukcyjnych, pomost nie powinien być zbyt długi (do 8÷10 m). Dlatego też, uwzględniając długości wagonów przewidzianych do ważenia oraz przyjętą długość okna pomiarowego, musimy dobrać ilość i długości poszczególnych pomostów. Problem ten nie jest jednak prosty. Można wykazać, iż im większa jest długość okna pomiarowego, to przy stałej prędkości przejazdu pociągu przez wagę, wzrasta dokładność ważenia a przy stałej dokładności, prędkość przejazdu pociągu może być większa. Z wymagań kolejowych (np. z płynności ruchu

pociągu) wynika, iż prędkość przejazdu pociągu przez wagę powinna być większa niż 4 km/h. To zaś rzutuje na długość okna pomiarowego i dokładność ważenia, co z kolei ogranicza największą możliwą prędkość przejazdu do około 7÷8 km/.

Tak więc długość okna pomiarowego jest tu wielkością kluczową. W wadze pomostowej długość ta zależy od odległości osi skrajnych od zderzaka wagonu ważonego i wagonów sąsiednich. Zależy ono również od doboru długości poszczególnych pomostów. Ten problem wymaga zatem bardzo dokładnej analizy.

4. Zasady ważenia. W wagach pomostowych można wyróżnić dwa rodzaje ważenia: symetryczne i niesymetryczne. Ważenie symetryczne to ważenie wagonu w sytuacji, gdy jest sam na ważących pomostach lub gdy połowa jego osi znajduje się na jednym pomoście ważącym i druga połowa na drugim pomoście ważącym (tak jak na rys. 3). Ważenie niesymetryczne to ważenie w sytuacji, gdy liczba osi danego wagonu na ważących pomostach jest różna. Ważenie na pojedynczym pomoście i ważenie wagonów 2 osiowych jest zawsze symetryczne.

Ważenie niesymetryczne jest bardziej złożone i nie często stosowane. Jednakże wraz z ważeniem symetrycznym pozwala ono niekiedy uzyskać większą długość okna pomiarowego. Problem ten łączy się z poprzednim, gdyż dobór ilości i długości pomostów zależy od rodzaju ważenia.

Przy organizacji ważenia istotnym problemem jest ustalenie chwil rozpoczęcia i zakończenia ważenia, czyli chwil otwarcia i zamknięcia okna pomiarowego. We współczesnych wagach chwile te wyznacza się wykorzystując sygnały z czujników torowych. Można tu mówić o trzech rozwiązaniach. Pierwsze rozwiązanie polega na umieszczeniu na obu końcach każdego pomostu czujników torowych. Pozwala to na dokładne wyznaczenie odpowiednich chwil a sama organizacja ważenia jest tu podobna jak przy sterowaniu logicznym. W drugim rozwiązaniu wprowadza się czujniki torowe tylko na jednym końcu każdego pomostu (jak na rys. 1.). Aby ustalić tu dokładnie chwilę wejścia i zejścia wagonu na i z wagi, w stosunku do niektórych sygnałów z czujników torowych należy zastosować opóźnienia. Trzecie rozwiązanie to rozwiązanie bez czujników torowych. Tutaj chwile wejścia i zejścia wagonu z pomostu oblicza się na podstawie prędkości ruchu pociągu, którą wyznacza się względem czujników przeznaczonych do identyfikacji (rys. 1, czujnik 1-2 lub 6-5).

Należy jednak zwrócić uwagę, iż istnieją tu również jeszcze inne rozwiązania. Można np. chwile wejścia i zejścia osi danego wagonu określać na podstawie skoku wagi w danym pomoście (patrz rys. 2.). Ta metoda wymaga jednak dokładnych badań i to zarówno teoretycznych jak i doświadczalnych. Można też stosować tu metodę ważenia częściowego, którą przedstawiono w pracy [5].

Ta metoda również wymaga badań doświadczalnych. Ogólnie można zatem powiedzieć, że istnieje tu jeszcze wiele innych metod ważenia, które wymagają dokładnych badań.

5. Elektronika. Na rys. 1 przedstawiono schematycznie zestaw urządzeń elektronicznych, które realizują łącznie identyfikację i ważenie. Jest to jedna z możliwych konfiguracji sprzętu, można bowiem przyjąć inną konfigurację, w której np. osobno będzie realizowana identyfikacja i osobno ważenie.

Przy konfiguracji sprzętu elektronicznego istotnym problemem jest podział tego sprzętu na dwie części. Część pierwsza to część, która znajduje się bezpośrednio przy wadze. Jest ona narażona na duże zmiany temperatury (od plus kilkadziesiąt do minus kilkadziesiąt stopni), co wymaga zastosowania specjalnych elementów i specjalnej konstrukcji. Część druga może znajdować się w pomieszczeniach, gdzie mamy temperaturę pokojową. Na ogół dąży się do tego aby część pierwsza nie zawierała dużo sprzętu. Obie części powinny współpracować poprzez łącze cyfrowe, które nie wnosi zakłóceń i zniekształceń.

4. Zakończenie.

Kolejowe wagi pomostowe typu elektronicznego są współcześnie najlepszymi wagami do ważenia wagonów w ruchu. Mimo, że produkcją tych wag zajmuje się współcześnie wiele firm, ciągle istnieje tu jeszcze wiele problemów, które do końca nie są w pełni rozwiązane. Poznanie i pełne rozwiązanie tych problemów może prowadzić do ulepszeń tego typu wag i do lepszego dostosowania ich do wymagań użytkownika. Zagadnienia te będą dokładnie prezentowane w następnych publikacjach. W szczególności będą dalej przedstawione: metody wyboru ilości i długości pomostów, metody identyfikacji i ważenia wagonów, układy elektroniczne wagi oraz pewna analiza sygnału estymacji masy. Zaprezentuje to całokształt problemów kolejowej wagi pomostowej typu dynamicznego.

Literatura

- [1] Katalog Techniczny firmy "Schenck" Wagen Foerdern. Pruefen
- [2] Katalog Techniczny firmy "PIVOTEX "
- [3] E. Zajęcki "Wagi do kontroli obciążeń i nacisku kół pojazdów szynowych w ruchu", Technika Transportu Szynowego Nr 8-9, 1995
- [4] Opis techniczny statycznie-dynamicznej wagi kolejowej typu WKELD 120 firma TOM Sp. z o.o. Szczecin ul. Lipowa 16.
- [5] M. Niedźwiecki i A. Wasilewski : "New Algorithms for Dynamic Weighing of Freight Trains", Control Engineering Practice, May 1997.