

Dobór długości i liczby pomostów w kolejowej wadze typu dynamicznego

Dla potrzeb ważenia wagonów kolejowych w ruchu, czyli dla tzw. ważenia dynamicznego, budowane są obecnie specjalne wagi nazywane wagami pomostowymi. Wagi takie składają się z kilku pomostów o takich długościach, aby każdy wagon znajdujący się w składzie pociągu przejeżdżającego przez wagę mógł być niezależnie zważony. Wagony mają różne wymiary, zatem liczba i długość pomostów musi być odpowiednio dobrana. Metody tego doboru są treścią niniejszego artykułu.

1. Wprowadzenie

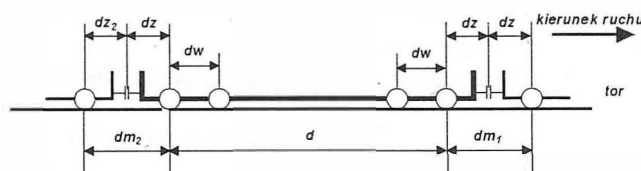
Niniejszy artykuł powstał w wyniku prac realizowanych w ramach projektu celowego pt. „Elektroniczna waga pomostowa nowej generacji ...”, dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Szkic przykładowej kolejowej wagi pomostowej typu dynamicznego, będącej przedmiotem niniejszego artykułu, przedstawiono na rys. 1.

Składa się ona z trzech pomostów, z których każdy posiada własne elektroniczne urządzenie pomiarowe masy. Poza tym w skład wagi wchodzi 6 czujników torowych (nazywanych też czujnikami zbliżenia) przeznaczonych do identyfikacji rodzaju wagonu i do określenia chwili wjazdu osi danego wagonu na dany pomost oraz komputer. Komputer otrzymuje sygnały z urządzeń pomiaru masy i z czujników torowych oraz steruje ważeniem.

Podsystem sterowania procesem ważenia realizuje algorytm wyznaczania parametrów geometrycznych ważonych wagonów, liczby dostępnych okien pomiarowych i ich długości oraz dokonuje akwizycji sygnałów masy [2]. Istotnym problemem, który będzie dalej analizowany jest dobór liczby i długości pomostów. Dobór ten powinien być taki, aby na danej wadze mogły być ważone wszystkie wagony z danego zbioru (np. wagony spotykane na PKP) [1].

W przedstawionej analizie założono, że na danej wadze będą ważone tylko wagony towarowe dwu- i czteroosiowe. Dla takich wagonów, zgodnie z rys. 2, wprowadzono następujące parametry:



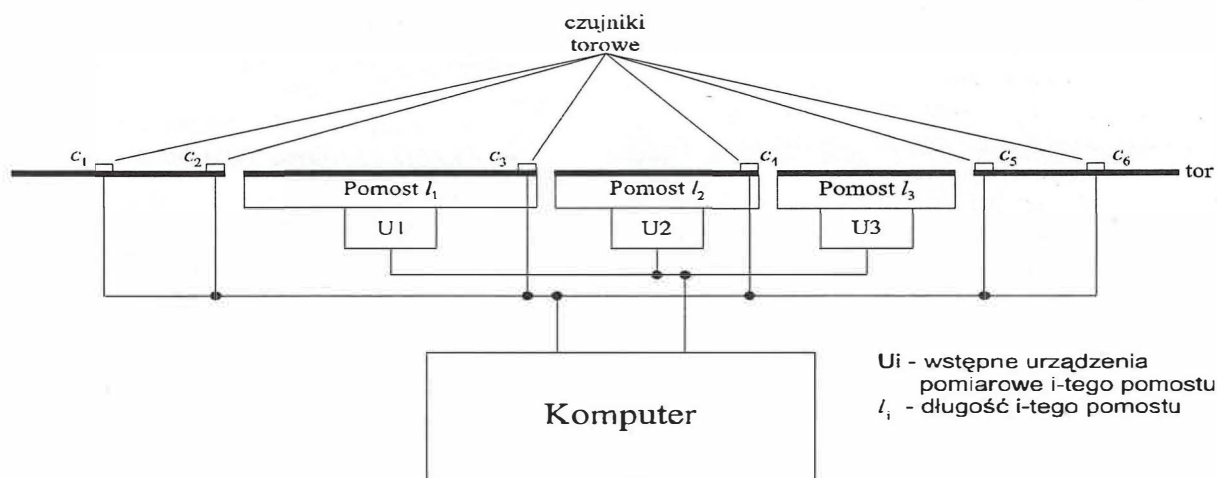
Rys. 2. Podstawowe parametry wagonu

d – odległość osi skrajnych danego wagonu, na zwaną tutaj umownie długością wagonu,

dw – rozstaw osi wózka (dla wagonów dwuosiowych $dw = 0$),

dz – odległość osi skrajnej od zderzaka (dz_1 i dz_2 to odległości od skrajnych osi odpowiednio dla wagonu poprzedzającego i następnego; przyjęto także oznaczenia

$dm_1 = dz + dz_1$ i $dm_2 = dz + dz_2$ określające odległości osi skrajnych dwóch sąsiednich wagonów).



U_i – wstępne urządzenia pomiarowe i-tego pomostu
 l_i – długość i-tego pomostu

Rys. 1. Szkic kolejowej wagi pomostowej typu dynamicznego

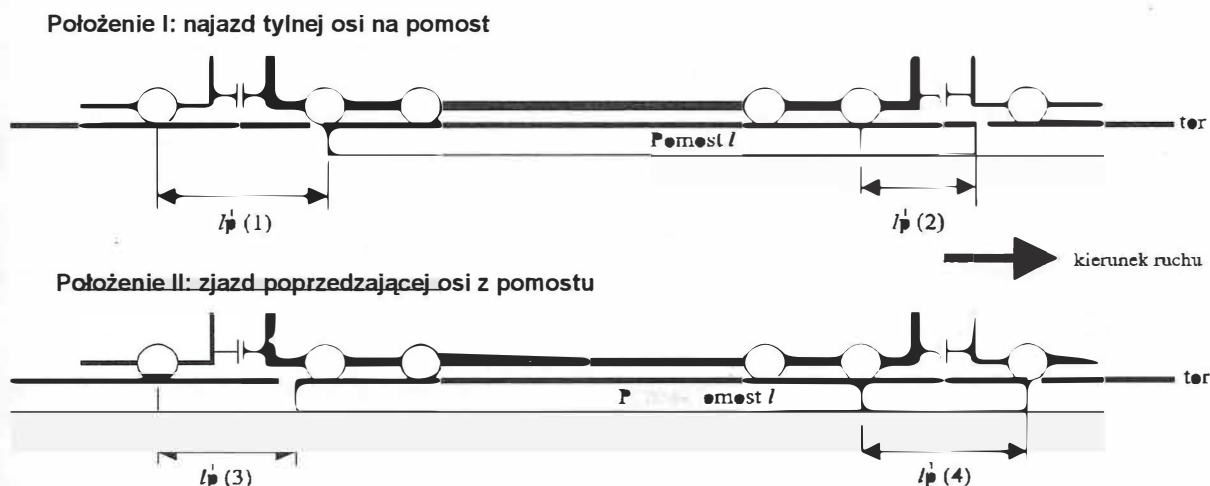
Ponadto, dla potrzeb analizy, wprowadzono pojęcie okna pomiarowego l^1p . Jest to odcinek toru, na którym może być ważony wagon, przy czym dla dokładności pomiarów l^1p powinno być możliwie duże. Czas ważenia wynika ze wzoru $T = \frac{l^1p}{v}$, gdzie v – prędkość wagonu. Przyjmując powyższe parametry przeprowadzono najpierw analizę ważenia wagonów na pomostach, a następnie omówiono dobór liczby i długości pomostów.

2. Ważenie wagonów na pomostach

2.1. Wążenie na jednym pomoście

Poniżej rozważono najpierw ważenie wagonów, kolejno na jednym, dwóch, trzech i więcej pomostach. Dla każdego z tych przypadków obliczono długość okna pomiarowego l^1p , co pozwoli dalej na określenie długości pomostów.

Jeśli waga ma tylko jeden pojedynczy pomost, to ważenie wagonów w ruchu może rozpocząć się w chwilach określonych dwoma położeniami wagonu na pomoście. Pokazano to na rys. 3, gdzie zaznaczono również możliwe wartości okien pomiarowych.



Rys. 3. Okna pomiarowe na pomoście o długości l

Wartości tych okien, w zależności od parametrów d , dm_1 , dm_2 i l (nie ma tu zależności od dw , czyli nie ma znaczenia czy wagon jest dwu- czy czteroosiowy) zebrano w tab. 1.

Okna pomiarowe dla wagi 1-pomostowej

Tabela 1

j	1	2	3	4
$l^1p(j)$	dm_2	$l - d$	$d + dm_1 + dm_2 - l$	dm_1

Jak łatwo pokazać, rzeczywista długość okna pomiarowego może być obliczona ze wzoru:

$$l^1p = \min_j [l^1p(j)]. \quad (1)$$

Wartość l^1p musi być dodatnia, bowiem gdyby była ujemna, to dany wagon nie mógłby być ważony na danym pomoście o długości l .

Aby uprościć dalsze obliczenia wprowadzono oznaczenie:

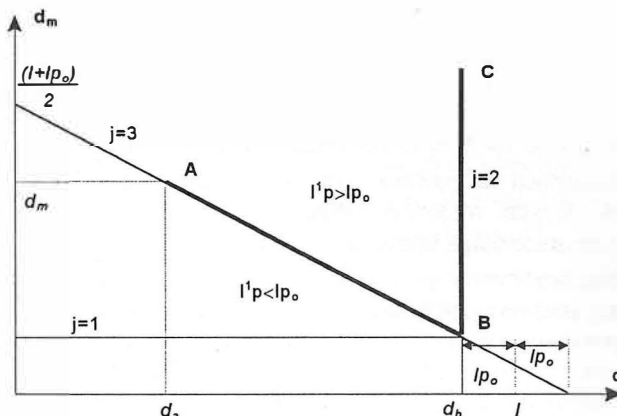
$$dm = \min[dm_1, dm_2]. \quad (2)$$

Jeśli w tab. 1 w miejsce dm_1 i dm_2 wprowadzone zostanie dm (z wzoru 2), to obliczona wzorem (1) długość okna pomiarowego może być trochę mniejsza niż w rzeczywistości. Jeśli więc obliczona długość okna pomiarowego ze wzoru (1) będzie wystarczająca, to dysponowana w rzeczywistości długość okna będzie tym bardziej wystarczająca, jako że jest ona zawsze co najmniej równa wartości obliczonej.

Po wprowadzeniu do tab. 1 w miejsce dm_1 i dm_2 wielkości dm określonej wzorem (2), powstaje nowa tablica, która będzie miała tylko 3 kolumny, gdyż czwartą kolumnę można skreślić. Założono dalej, że wynikająca z własności układu pomiarowego minimalna długość okna pomiarowego wynosi l^1p_0 (np. $l^1p_0 = 1$ m). Zgodnie z wzorem (1), aby $l^1p \geq l^1p_0$ wystarczy, że

$$l^1p(j) \geq l^1p_0 \quad j = 1, 2, 3, \quad (3)$$

Biorąc pod uwagę wartość $l^1p(j)$ z tabeli 1, można wykreślić nierówności (3) na płaszczyźnie (d , dm), co pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Wartości okna pomiarowego dla danego l , d i dm

Z rysunku tego widać, iż wartości d i dm leżące w obszarze nad krzywą ABC dają $l^1p > lp_0$, a pod krzywą $l^1p < lp_0$. Na krzywej ABC $l^1p = lp_0$. Wielkość d_a oznacza najkrótszy, a d_b najdłuższy z ważonych wagonów. Z wzorów z tabeli 1 i rys. 4. wynikają następujące wnioski:

a. Jeśli założyć, że na pomoście l mają być ważone wagony maksymalnej długości d_b , to długość l wynika z zależności

$$l \geq d_b + lp_0. \quad (4)$$

Minimalną długość ważonych wagonów d_a przyjęto tak, aby wagony o długości d z przedziału $d_a \leq d \leq d_b$ miały wartość dm spełniającą nierówność

$$dm \geq \frac{1}{2}[l + lp_0 - d]. \quad (5)$$

b. Jeśli założyć, że na pomoście l mają być ważone wagony o minimalnej długości d_a , to długość l wynika z zależności

$$l \leq d_a - lp_0 + 2dm. \quad (6)$$

W tym przypadku maksymalna długość ważonych wagonów będzie wynosiła $d_b = l - lp_0$. Tu także wszystkie wagony o długości d z przedziału $d_a \leq d \leq d_b$ powinny spełniać warunek wynikający z (5).

c. Dla każdego wagonu należy we wzorach (5) i (6) przyjąć minimalną wartość dm . Obliczona może być ze wzoru

$$dm = dz + dz_{\min}, \quad (7)$$

gdzie $dz_{\min}$ – najmniejsza odległość skrajnej osi od zderzaka dla wagonów z danego zbioru. Na przykład dla wagonów spotykanych na PKP (wagon typ 902R) $dz_{\min} = 0,915$ m [3].

2.2. Wążenie na dwóch pomostach

Na dwóch pomostach, oznaczonych odpowiednio przez l_1 i l_2 , można realizować dwa rodzaje ważenia. Są to tzw. ważenia niesymetryczne i ważenia symetryczne.

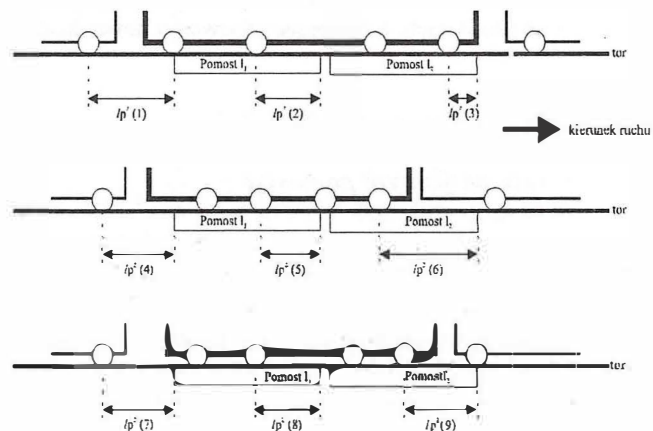
Ważenie niesymetryczne występuje wtedy, gdy wagon czterosiowy ważony jest w sytuacji, w której jego trzy osie znajdują się na jednym pomoście (na l_1 lub na l_2) i jedna oś znajduje się na drugim pomoście (na l_2 lub na l_1). W czasie tego ważenia na obu pomostach nie powinno być osi innych wagonów.

Ważenie symetryczne występuje wtedy, gdy wagon czterosiowy ważony jest w sytuacji, w której jego dwie osie znajdują się na jednym pomoście (na l_1 lub na l_2) i dwie osie na drugim pomoście (na l_2 lub na l_1). Na obu pomostach nie powinno być w tym czasie żadnych innych osi innych wagonów. Wagony dwuosiowe na dwóch pomostach mogą być ważone tylko symetrycznie.

Przy ważeniu wagonów w ruchu, niejednokrotnie pomija się ważenie niesymetryczne jako bardziej złożone i przyjmuje się tylko ważenie symetryczne. Tutaj również dalsze rozważania przeprowadzono tylko dla ważenia symetrycznego. Przeprowadzenie takich samych rozważań dla ważenia niesymetrycznego, mimo większej złożoności, jest podobne i nie powinno stwarzać większych trudności.

Przy ważeniu symetrycznym na dwóch pomostach ważenie wagonu w ruchu może rozpocząć się w chwilach określonych trzema położeniami wagonu na pomostach. Pokazano to na rys. 5, gdzie zaznaczono także możliwe okna pomiarowe.

Wartości tych okien, w zależności od d , dm_1 , dm_2 , dw , l_1 i l_2 , zebrano w tabeli 2.



Rys. 5. Okna pomiarowe na dwóch pomostach

Okna pomiarowe dla wagi 2-pomostowej

Tabela 2

j	1	2	3	4	5
$l^2p(j)$	dm_2	$l_1 - dw$	$l_1 + l_2 - dw$	$d - dw + dm_2 - l_1$	$d - 2dw$

j	6	7	8	9
$l^2p(j)$	$l_2 - dw$	$d + dm_1 + dm_2 - l_1 - l_2$	$d - dw + dm_1 - l_2$	dm_1

Z tej tabeli można wyznaczyć rzeczywistą długość okna pomiarowego. Będzie ona wynosiła:

$$l^2p = \min_j [l^2p(j)]. \quad (8)$$

Wartość powyższa powinna być dodatnia. Gdy byłaby ujemna, to dany wagon nie mógłby być ważony na danych dwóch pomostach.

Aby wyznaczyć dalej przedział ważonych wagonów należy tab. 2 uprościć. W tym celu uwzględniono założenia (2) i (7) i dodatkowo przyjęto, że:

$$l_1 \geq l_2 \quad (9)$$

Można przyjąć założenie odwrotne $l_2 \geq l_1$, co nie zmienia dalszego rozumowania.

Przy powyższych założeniach z tab. 2 usunięte zostają kolumny 2, 8, 9. Nowa tabela będzie miała postać, jak przedstawiono w tab. 3.

Efektywne okna pomiarowe dla wagi 2-pomostowej

Tabela 3

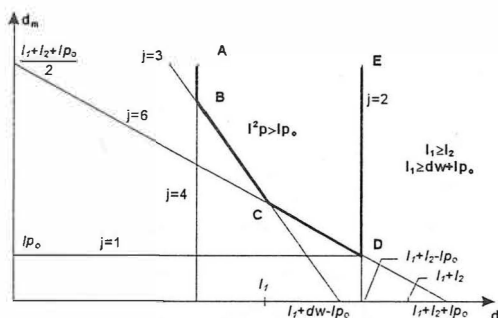
j	1	2	3	4	5	6
$l_2p(j)$	dm	$l_1 + l_2 - d$	$d + dm - dw - l_1$	$d - 2dw$	$l_2 - dw$	$d + 2dm - l_1 - l_2$

Zakładając dalej, że minimalna długość okna pomiarowego wynosi lp_0 , z tab.3 można wyznaczyć 6 nierówności:

$$l^2p(j) \geq lp_0 \quad (10)$$

i wykreślić je (z wyjątkiem odpowiadającej $j=5$) na płaszczyźnie (d, dm) , co pokazano na rys. 6.

Z tab. 3 i rys. 6 można wyciągnąć identyczne wnioski jak dla ważenia na jednym pomoście.



Rys. 6. Wartości okien pomiarowych przy ważeniu na dwóch pomostach

2.3. Wązanie na trzech i więcej pomostach

W analizie założono, że waga składa się z n pomostów o długościach $l_1, l_2, \dots, l_n$ ($n \geq 3$). Ważenie na tych pomostach może być symetryczne i niesymetryczne. Ważenie symetryczne będzie wtedy, gdy osie danego wagonu ustawią się symetrycznie na dwóch skrajnych pomostach. Mówiąc inaczej, wagon czteroosiowy (dwuosiowy) ma w tym przypadku po dwie osie (po jednej osi) na skrajnych pomostach. Ważenie niesymetryczne to pozostałe przypadki, które tutaj jednak nie będą rozpatrywane. Posługując się metodami omówionymi poprzednio można wyznaczyć tablicę określającą wartości okien pomiarowych. Jak łatwo pokazać, przyjmując oznaczenie $l'_2 = l_2 + l_3 + \dots + l_{n-1}$ i wprowadzając poprzednie uproszczenia, tablica ta będzie miała postać, jak przedstawiono w tab. 4.

Wykresy nierówności typu

$$l^n p(j) \geq lp_a \quad (11)$$

na płaszczyźnie (d , dm) pokazano na rys. 7.

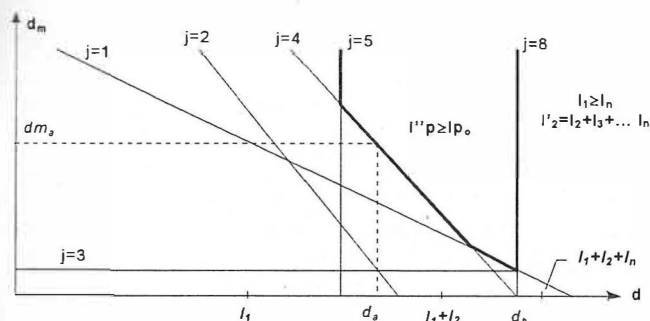
Okna pomiarowe dla wagi 3-pomostowej

Tabela 4

j	1	2	3	4
$I^* p(j)$	$d + 2dm - l_1 - l'_2 - l_n$	$d - dw + dm - l'_2 - l_n$	dm	$d - dw + dm - l_1 - l'_2$

j	5	6	7	8
$I^* p(j)$	$d - 2dw - l'_2$	$l_n - dw$	$l_1 - dw$	$l_1 + l'_2 + l_n - d$

Tutaj również można wyciągnąć te same wnioski (a, b, c) jak w punkcie 1.



Rys. 7. Wartości okien pomiarowych przy ważeniu na n pomostach

3. Dobór długości pomostów w wadze trzypomostowej

Na wadze pomostowej, ważenie pojedynczego wagonu może odbywać się na dowolnym zestawie kilku pomostów. Każdy taki zestaw, nazywany dalej zakresem pomiarowym i

oznaczonym przez z_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), jest przeznaczony do ważenia wagonów o długości d z pewnego przedziału. Tutaj przyjmuje się, że pierwszy zakres pomiarowy z_1 -przeznaczony jest do ważenia wagonów najkrótszych, z_2 - przeznaczony do ważenia wagonów nieco dłuższych, z_3 - jeszcze dłuższych itd. Przykładowo dla wagi 2-pomostowej można przyjąć, że $z_1 = l_1$ (lub $z_1 = l_2$), $z_2 = l_2$ (lub $z_2 = l_1$) i $z_3 = l_1 + l_2$, a także $z_1 = l_1 + l_2$. W tym ostatnim przypadku występowałby tylko jeden zakres.

Dalej omówiono wybór zakresów pomiarowych i długości pomostów ograniczając się tylko do ważenia symetrycznego i do wagi trzypomostowej. Przy ważeniu niesymetrycznym i dla wag mających więcej niż trzy pomosty rozważania te są podobne i nie będą tu prowadzone.

Dla celów dalszej analizy wprowadzono dalsze trzy założenia.

1. Zakres pomiarowy z_i ($i = 1, 2, \dots$), na którym ważone są wagony o długości d z przedziału (d_a^i, d_b^i) powinien być taki, aby obowiązywała zależność

$$d_a^{i+1} \leq d_b^i \quad i = 1, 2, \dots, \quad (12)$$

gdzie: $d_a^1 = d_{\min}$ – wagon najkrótszy.

2. Przedział długości ważonych wagonów na całej wadze powinien być możliwie największy i powinien umożliwić ważenie najdłuższych wagonów.
3. Ze względów technologicznych poszczególne pomosty nie powinny być dłuższe niż $9 \div 10$ m.

Wybór zakresów pomiarowych na wadze trzypomostowej może być różny:

- pierwszy zakres pomiarowy z_1 można tworzyć na dowolnym pojedynczym pomoście, np. $z_1 = l_1$ (lub $z_2 = l_2$, lub $z_1 = l_3$) lub na dowolnych dwóch sąsiednich pomostach np. $z_1 = l_1 + l_2$ (lub $z_1 = l_2 + l_3$). Tworzenie zakresu z_1 na więcej niż dwóch pomostach jest niewskazane, ponieważ prowadzi to do zbyt krótkich pomostów.
 - drugi zakres pomiarowy z_2 , zależy od wyboru z_1 . Jeśli $z_1 = l_1$, to $z_2 = l_2$, (lub $z_2 = l_3$) lub $z_2 = l_1 + l_2$ lub $z_2 = l_2 + l_3$. Jeśli $z_1 = l_1 + l_2$, to $z_2 = l_3$ lub $z_2 = l_2 + l_3$.
 - trzeci zakres pomiarowy z_3 zależy z kolei od przyjęcia z_1 i z_2 , np. dla $z_1 = l_1$ i $z_2 = l_2 + l_3$ można przyjąć $z_3 = l_1 + l_2$. Podobnie można przyjmować dalsze zakresy.
- Wybór zakresów pomiarowych $z_1, z_2, z_3, \dots$ powinien być najlepszy ze wszystkich możliwych. Można wykazać, że dla wagi trzypomostowej jednym z lepszych wyborów jest wybór $z_1 = l_1, z_2 = l_2 + l_3, z_3 = l_1 + l_2$ i $z_4 = l_1 + l_2 + l_3$. Niżej przeprowadzono analizę tylko tego wyboru.

Jeśli przyjmie się $z_1 = l_1$ i $d_a^1 = d_{\min}$, to ważenie odbędzie się na pojedynczym pomoście. Zgodnie więc z tablicą 1 i rys. 4, l_1 musi spełniać nierówność

$$d_a^1 + lp_0 \leq l_1 \leq d_a^1 + dm_a - lp_0 \quad (13)$$

gdzie $dm_0 = dm$ – dla wagonu o długości

Jak można wykazać, dla tego zakresu obowiązuje

$$d_b^1 = l_1 - lp_0. \quad (14)$$

Jeśli przyjmie się następnie $z_2 = l_2 + l_3$, to ważenie odbędzie się na dwóch pomostach. Zakładając dalej, że $d_a^2 \leq d_b^1$ (zgodnie ze wzorem (12)) i wykorzystując tablicę 3 i rys. 6 (po podstawieniu l_2 i l_3 w miejsce l_1 i l_2) otrzymuje się

$$\begin{aligned} d_a^2 + lp_0 &\leq l_2 + l_3 \leq d_a^2 + 2dm_a - lp_0 \\ l_3 &\leq l_2 \leq d_a^2 + dm_a - dw - lp_0 \\ l_3 &\geq dw + lp_0 \end{aligned} \quad (15)$$

gdzie: $dm_a = dm$ i dw - dla wagonu długości $d = d_a^2$.

Dla zakresu $z_2 = l_2 + l_3$ łatwo pokazać, że

$$d_b^2 = l_2 + l_3 - lp_0. \quad (16)$$

Jeśli przyjmie się dalej, że $z_3 = l_1 + l_2$, to z kolei ważenie będzie odbywało się na dwóch pomostach. Zakładając, że $d_a^3 \leq d_b^2$ i po skorzystaniu z tablicy 3 i rys. 6., uzyskuje się nierówności:

$$\begin{aligned} d_a^3 + lp_0 &\leq l_1 + l_2 \leq d_a^3 + 2dm_a - lp_0 \\ l_2 &\leq l_1 \leq d_a^3 + dm_a - dw - lp_0 \\ l_2 &\geq lp_0 + dw \end{aligned} \quad (17)$$

gdzie: $dm_a = dm$, dw - dla wagonu o długości $d = d_a^3$.
Dla tego zakresu można obliczyć, że:

$$d_b^3 = l_1 + l_2 - lp_0 \quad (18)$$

W zakresie czwartym $z_4 = l_1 + l_2 + l_3$, co oznacza, że mamy tu ważenie na trzech pomostach. Zakładając, że $d_a^4 \leq d_b^3$ i wykorzystując tablicę 4 i rys. 7 (gdzie podstawiono $l_2' = l_2$ i $l_n = l_3$) można napisać:

$$\begin{aligned} d_a^4 + lp_0 &\leq l_1 + l_2 + l_3 \leq d_a^4 + 2dm_a - lp_0 \\ l_2 + l_3 &\leq l_1 + l_2 \leq d_a^4 + dm_a - dw - lp_0 \\ l_2 &\leq d_a^4 - 2dw - lp_0 \end{aligned} \quad (19)$$

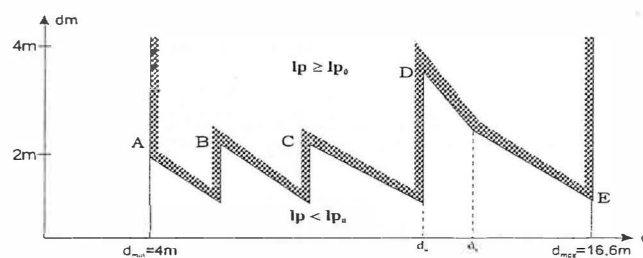
gdzie: $dm_a = dm$, dw - dla wagonu o długości $d = d_a^4$.
Dla zakresu czwartego będzie

$$d_b^4 = l_1 + l_2 + l_3 - lp_0. \quad (20)$$

Wartość d_b^4 określa najdłuższy wagon, jaki może być ważony na przyjętej wadze ($d_b^4 = d_{\max}$).

Konkretne wartości l_1 , l_2 i l_3 powinny spełniać nierówności (13), (15), (17) i (19). Dobór długości pomostów jest więc w pewnym stopniu dowolny i zależy głównie od wartości d i dm zbioru ważonych wagonów. Przykładowo przyjmując zbiór wagonów dwu- i czteroosiowych spotykanych na PKP, można przyjąć, że

$d_{\min} = 4$ m i $d_{\max} = 16,6$ m i obliczyć, że $l_1 = 7,5$ m, $l_2 = 6$ m i $l_3 = 4,5$ m. Dla tych długości pomostów wartość dm , jaką muszą mieć ważne wagony, aby $lp \geq lp_0$, określa rys. 8.



Rys. 8. Wartości dm dla wagi o pomostach $l_1=7,5$ m, $l_2=6$ m, $l_3=4,5$ m

Jak łatwo zauważyć, rysunek ten powstał przez odpowiednie złożenie rysunków 4, 6 i 7. Z rysunku tego widać, iż na powyższej wadze mogą być ważne wagony o długości d z przedziału ($d_{\min}=4$ m i $d_{\max}=16,6$ m). W tym zakresie dm powinno być większe niż określa to krzywa łamana ABCDE. Łatwo zauważyć, że dla niektórych wagonów np. o długości d , z przedziału (d_w , d_v), dm musi być duże (od 2,5 m do 4 m). Ten wynik jest niekorzystny, gdyż może zdarzyć się, że $lp < lp_0$ (lp może być bardzo małe). Należy zauważyć, iż zmiana wartości l_3 (a także l_1 i l_2) nie eliminuje tutaj tego niekorzystnego wyniku.

Dla wagi trzypomostowej można jedynie, poprzez zmianę długości l_1 i l_2 przesunąć przedział (d_w , d_v) w inne miejsce, np. takie, w którym nie ma wagonów o takiej długości w danym zbiorze. Jednakże wówczas taka waga będzie nadawała się tylko do ważenia wagonów z danego zbioru (np. wagony PKP) i może nie nadawać się do ważenia wagonów z innego zbioru (np. innych krajów).

4. Podsumowanie

Analiza przedstawiona w niniejszym artykule wykazuje, że dobór liczby i długości pomostów uzależniony jest od wymiarów geometrycznych wagonów przewidywanych do ważenia i od założonej ze względu na dokładność pomiaru długości okna pomiarowego.

Wyżej przedstawiono metody doboru długości pomostów dla wagi wykorzystującej tylko ważenie symetryczne. Przy takim ważeniu, każda waga posiada niekorzystną cechę polegającą na tym, iż wagony o długości d z pewnego przedziału (d_w , d_v) muszą mieć dużą wartość dm (do 4 m). Oznacza to, iż $lp < lp_0$ i chociaż to mało prawdopodobne, może się zdarzyć, że dany wagon nie będzie mógł być zważony na danej wadze.

Można jednakże wykazać, iż wprowadzając oprócz ważenia symetrycznego także ważenie niesymetryczne można powyższych wad uniknąć. Wagi z ważeniem symetrycznym i niesymetrycznym, aczkolwiek mają bardziej złożony algorytm ważenia, dają jednak znacznie większą pewność, iż wszystkie wagony danego zbioru będą ważone w wystarczająco długim oknie pomiarowym.

Literatura:

- [1] Mazurek S., Stawek W.: Dynamiczne ważenie pojazdów szynowych. Podstawowe problemy metrologiczne i techniczne. Poznań. Pojazdy Szynowe 1998 nr 1
- [2] Frączek J., Stypka M., Barna G.: Elektroniczna waga kolejowa. Podsystem sterowania procesem ważenia. XII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe '96”. Poznań 1996
- [3] Katalog pojazdów szynowych; części 1+3. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych. Poznań 1996