

Grażyna BARNA

## ANALIZA PROCESU DOBORU OPTYMALNEJ DŁUGOŚCI POMOSTÓW DLA ELEKTRONICZNEJ WAGI KOLEJOWEJ

**Streszczenie.** Przedmiotem artykułu jest dobór optymalnej długości pomostów dla elektronicznej wagi kolejowej o danej długości przy wykorzystaniu symulacji komputerowej. W pierwszej części artykułu przedstawiono założenia dotyczące długości pomostów, dane wejściowe dla symulacji oraz kryteria optymalizacyjne. W dalszej części skrótowo omówiono analizę położenia wagonów na pomostach. Następnie przedstawiono wyniki symulacji dla wagi o długości 18 m, analizę wyników i wypływające z nich wnioski. W zakończeniu zaproponowano optymalną długość pomostów wagi i przedstawiono rozwiązania alternatywne.

## ANALYSIS OF THE PROCESS OF SELECTION OPTIMAL LENGTHS OF PLATFORMS FOR AN ELECTRONIC WEIGHING SYSTEM

**Summary.** This paper presents the process of selection of optimal length of platforms for an electronic weighing system, using the computer simulation. In the first part of the paper, assumptions concerning lengths of platforms, input data for simulation and optimization criteria have been described. In the further part of the paper an analysis of location of cars on the platforms have been presented. Then, results of simulation for a platform of total length 18 m have been presented, as well as the analysis of the results and the conclusions. Finally an optimal lengths of platforms have been proposed together with alternative solutions.

### 1. WSTĘP

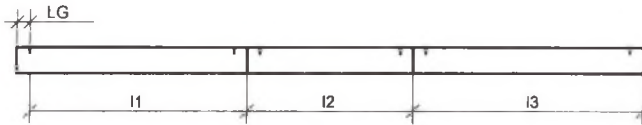
W niniejszym referacie przedstawione są wyniki prac przeprowadzonych w ramach projektu celowego, dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych, dotyczących elektronicznej wagi kolejowej.

Elektroniczna waga kolejowa, będąca przedmiotem referatu, służy do dynamicznego pomiaru masy wagonów znajdujących się w składzie przejeżdżającym przez wagę. Waga taka składa się z kilku pomostów o odpowiednio dobranych długościach, tak aby każdy wagon z dowolnego składu pociągu mógł zostać zważony. Przy nieodpowiednim dobraniu długości pomostów może się zdarzyć, że niektóre z wagonów nie będą mogły zostać zważone. Niniej-

szy artykuł przedstawia analizę procesu doboru optymalnych długości pomostów wagi o ustalonej długości, przy wykorzystaniu programów symulacyjnych. Wyniki obliczeń przedstawione zostaną dla wagi trójpomostowej o długości 18 m.

## 2. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA I POJĘCIA

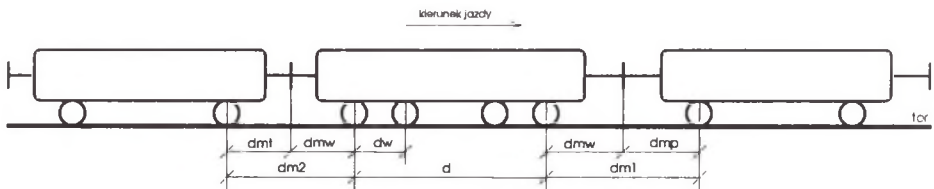
Ze względu na umożliwienie identyfikacji wagonów założono, że na wadze kolejowej w sposób dynamiczny ważone będą jedynie wagony dwu- i czteroosiowe.



Rys. 1. Podstawowe wymiary pomostowej wagi kolejowej  
Fig. 1. Basic dimensions of weighting platforms

Na rys. 1 przedstawiono podstawowe wymiary związane z pomostami wagi kolejowej:

- LG – odległość od końca pomostu do punktu podparcia i czujnika masy,
- l1 – całkowita długość pierwszego pomostu,
- l2 – całkowita długość drugiego pomostu,
- l3 – całkowita długość trzeciego pomostu.



Rys. 2. Podstawowe wymiary wagonów w składzie  
Fig. 2. Basic dimensions of cars in a draft

Na rys. 2 przedstawione zostały podstawowe wymiary istotne dla analizy położenia ważonego wagonu na pomostach wagi:

- d – rozstaw osi skrajnych wagonu (dalej nazywany długością wagonu),
- dw – rozstaw osi wózka,
- dmw – odległość osi skrajnej do zderzaka wagonu ważonego,
- dmp – odległość osi skrajnej do zderzaka wagonu poprzedniego,
- dmt – odległość osi skrajnej do zderzaka wagonu następnego,
- dm1 – odległość do osi skrajnej wagonu poprzedniego,
- dm2 – odległość do osi skrajnej wagonu następnego.

### 3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU OPTYMALIZACYJNEGO

Dany jest zbiór  $W$  składający się z  $n$  wag o długości  $L$  każda,  $i$ -ta waga należąca do zbioru  $W$  posiada pomosty  $P1i, P2i, P3i$  o długościach  $[l1i, l2i, l3i]$ . Dla każdej  $i$ -tej wagi określamy zbiór pomostów pomiarowych  $Pi = \{L1i; L2i; L3i; L1i - L2i; L2i - L3i; L1i - L3i\}$ . Dany jest również zbiór wagonów, które powinny być zważone. Na podstawie tego zbioru określamy zbiór możliwych rozstawów osi skrajnych wagonów  $D$ , zbiór rozstawów osi wózka  $DW$  i zbiór odległości osi-zderzak  $DM$ .

Wartość  $LG$  przyjmujemy równą 260 mm (dla czujnika typu CPI-01 produkcji OBR Pojazdów Szynowych, Poznań). Definiujemy również parametr  $LPmin$ , oznaczający najmniejszą dopuszczalną długość okna pomiarowego. Wartość ta wynika z konieczności wytłumienia drgań powstałych na skutek wjazdu wagonu na kolejny pomost, mogących zakłócić pomiar. Powinna ona zostać określona na podstawie badań lub symulacji; dla celów niniejszego artykułu przyjęto tę długość jako 500 mm.

Przyjmujemy, że waga ze zbioru  $W$  będzie spełniać swoje zadanie, jeżeli dla każdej długości wagonu ze zbioru  $D$  i dla każdego rozstawu osi wózka ze zbioru  $DW$  oraz dla każdej odległości osi-zderzak ze zbioru  $DM$  będzie istniał pomost pomiarowy należący do zbioru  $Pi$ , dla którego długość okna pomiarowego będzie większa od  $LPmin$ .

Dla każdej  $i$ -tej wagi ze zbioru  $\{W\}$  definiujemy funkcję  $lpwi$ , która każdej trójce: długość wagonu - długość sprzęgu - rozstaw osi wózka przyporządkowuje wartość największej długości okna pomiarowego, jakie można uzyskać na danej wadze.

Dla każdej funkcji  $lpwi$  określamy jej minimalną wartość globalną. Jako optymalna zostanie przyjęta ta waga, dla której funkcji  $lpwi$  wartość ta będzie największa.

Po otrzymaniu w oparciu o sformułowane powyżej kryterium optymalizacyjne długości optymalnych pomostów wagi można uwzględnić dodatkowe kryteria, takie jak np. kryterium mechaniczne.

W następnym rozdziale zostaną krótko opisane programy wykorzystywane do przeprowadzenia symulacji.

### 4. PROGRAMY SYMULACYJNE

Pakiet POMOSTY składa się z kilku programów, umożliwiających przeprowadzenie podanych poniżej analiz dla wagi o podanej długości. Danymi wejściowymi do programów są: długość całkowita wagi  $L$ , długość minimalna i maksymalna pomostów wagi, minimalna i maksymalna długość wagonów, krok kwantyzacji długości wagi i długości wagonów, odległość od końca pomostu do czujnika masy  $LG$  oraz wartości  $dm$  i  $dw$ . Sposób dobierania tych wartości zostanie opisany w następnym rozdziale. Pakiet programów umożliwia przeprowadzenie podanych poniżej obliczeń.

- Spośród wszystkich wag z rodziny wybrana zostaje waga o optymalnej długości (według definicji przedstawionej w rozdziale 3 niniejszego artykułu).
- Spośród wszystkich wag z rodziny wybrana zostaje waga o długości optymalnej według kryterium równomierności przyrostu długości pomostów pomiarowych (kryterium opisane bliżej w rozdziale 7).
- Spośród wszystkich wag z rodziny, spełniających dodatkowy warunek, wybrana zostaje waga o optymalnej długości. Przykładowy możliwy warunek to ograniczenia długości pomostów.

- Dla rodziny wag o dwóch pomostach jednakowej długości wygenerowane zostają dane, umożliwiające utworzenie dla każdej wagi wykresów długości minimalnego okna pomiarowego w funkcji długości wagonów. Wykresy te umożliwiają ocenienie wpływu długości jednego z pomostów na możliwości pomiarowe wagi.
- Dane do wykresu jak opisanego powyżej utworzone zostają dla jednej wagi o podanej długości pomostów.
- Dla danej wagi i dla danego wagonu obliczone zostają długości okna pomiarowego na poszczególnych pomostach pomiarowych.

## 5. DANE WEJŚCIOWE DLA SYMULACJI

### Rozstaw osi skrajnych $d$

Waga musi umożliwiać pomiar wszystkich istniejących wagonów, o rozstawach skrajnych osi mniejszych od długości wagi pomniejszonej o długość  $2LP_{min}$ . W [1] przedstawiona jest baza danych wszystkich spotykanych w Polsce wagonów o długościach zderzak-zderzak nie przekraczających 20 m. Najmniejsza i największa wartość  $d$  dla wagonów z tej bazy wynosi odpowiednio  $d_{min}=4000$  i  $d_{max}=16600$  mm. Gdyby jednak przeprowadzić obliczenia jedynie dla wagonów, znajdujących się w tej bazie, mogłoby się zdarzyć, że w przyszłości zostanie zaprojektowany wagon o długości  $d$  mieszczącej się w przedziale ( $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ), dla której jednak, przy niekorzystnych wartościach  $dm$ , okno pomiarowe będzie krótsze od okien pomiarowych wszystkich innych wagonów. W skrajnym przypadku zważenie takiego wagonu może się okazać niemożliwe. Takiej ewentualności nie można wykluczyć. Jest ona teoretycznie możliwa, ponieważ baza wagonów zawiera jedynie niektóre wartości z przedziału ( $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ).

Wobec tego obliczenia zostaną przeprowadzone dla całego spektrum wartości rozstawów skrajnych osi z przedziału 4000 do 20 000 mm, z krokiem kwantyzacji 10 mm.

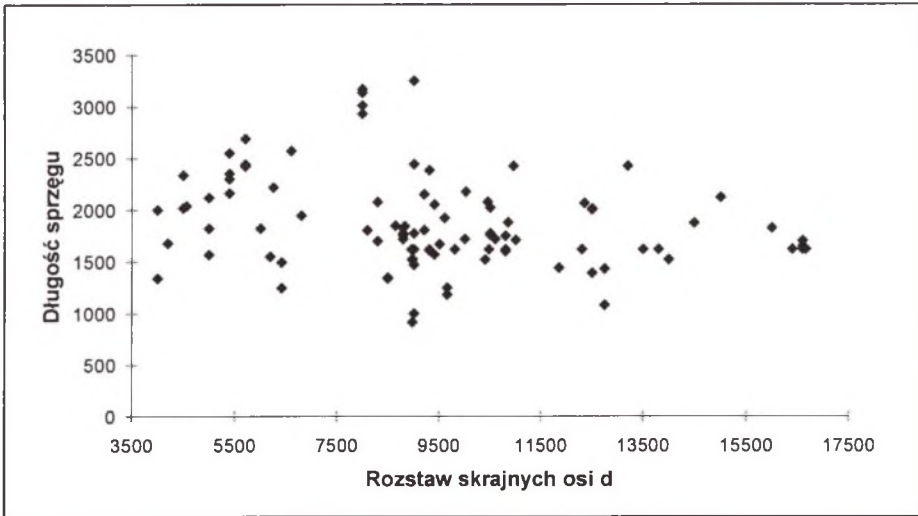
### Odległość skrajna oś – zderzak

Dobór optymalnej długości pomostów wagi musi się odbywać przy założeniu najbardziej niekorzystnego, z punktu widzenia długości okna pomiarowego  $l_p$ , przypadku. Najbardziej niekorzystna sytuacja nastąpi dla najkrótszej możliwej odległości skrajnych osi wagonu mierzonego od skrajnych osi wagonu poprzedniego i następnego, odpowiednio  $dm_1$  i  $dm_2$  (rys. 3). Odległości te będą zależały od długości  $dm_w$  wagonu mierzonego oraz wagonów doczepionych po obu stronach  $d_{mt}$  i  $d_{mp}$ . Długość  $dm_w$  można spróbować uzależnić od długości wagonu  $d$ .

Na rys. 3 przedstawione są długości sprzęgów dla wszystkich długości wagonów z bazy danych. Z wykresu wynika, że nie można wyprowadzić zależności wartości  $dm$  od  $d$ .

Ponieważ nie można przewidzieć, jakie wagony zostaną doczepione, należałoby przyjąć najgorszy możliwy przypadek. Najmniejsza wartość długości  $dm$  wagonu występującego w bazie wynosi jednak jedynie 915 mm (patrz rys. 3) i istnieje tylko jeden taki wagon.

Z analizy bazy danych wynika, że spośród 283 wagonów znajdujących się w bazie 87% (247 wagonów) ma długość sprzęgu wynoszącą co najmniej 1600 mm, a 98% (279 wagonów) ma długość sprzęgu wynoszącą co najmniej 1245 mm. W związku z tym obliczenia symulacyjne zostaną przeprowadzone dla obydwu wartości sprzęgu (przyjmując jednocześnie, że  $dm_w=d_{mp}=d_{mt}=dm$ ). Wyniki obliczeń pozwolą na wyciągnięcie ogólnych wniosków dotyczących wpływu długości pomostów na możliwości pomiarowe wag i pozwolą na wybranie optymalnej długości pomostów.



Rys. 3. Długości sprzęgów wagonów w funkcji rozstawu skrajnych osi

Fig. 3. Extreme axle – buffer distance versus extreme axle spacing

### Rozstaw osi wózka $dw$

Z bazy danych wagonów PKP wynika, że wszystkie wagony czteroosiowe mają rozstaw osi wózka mniejszy lub równy 2000 mm. W związku z tym do obliczeń została przyjęta ta właśnie wartość.

### Długości pomostów wagi

Obliczenia przeprowadzone zostaną dla rodziny wag o długości całkowitej 18 m, o długościach pomostów zmieniających się od 0 do 18000 mm z krokiem 250 mm.

## 6. ANALIZA POŁOŻENIA WAGONU NA POMOSTACH

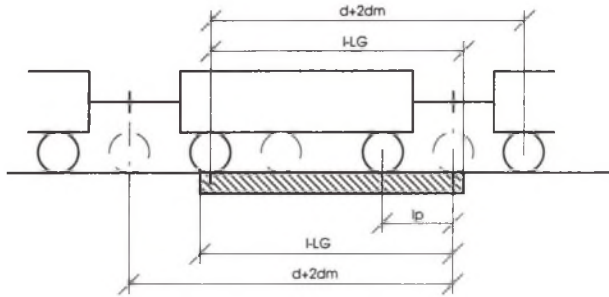
Pomiar wagonu na danym pomoście może zostać wykonany, gdy zachodzi jednocześnie spełnienie następujących warunków: wszystkie koła wagonu mierzonego znajdują się na pomoście efektywnym (części pomostu znajdującej się pomiędzy punktami podparcia) oraz żadne z kół wagonów poprzedniego i następnego nie znajduje się na pomoście. Istotne zatem są cztery wydarzenia:

- 1) wjazd ostatniego koła wagonu mierzonego na pomost efektywny,
- 2) zjazd ostatniego koła wagonu poprzedniego z pomostu,
- 3) zjazd pierwszego koła wagonu mierzonego z pomostu efektywnego,
- 4) wjazd pierwszego koła wagonu następnego na pomost.

Aby został spełniony sformułowany powyżej warunek, najpierw muszą zajść w dowolnej kolejności wydarzenia 1 i 2 (okno pomiarowe można otworzyć, gdy zajdzie drugie z nich). Jeżeli nastąpi pierwsze (obojętnie które) z wydarzeń 3 lub 4, okno pomiarowe należy zamknąć. Gdy założy się  $dmw=dmp=dmt$ , pomiar będzie możliwy przy następujących dwóch sekwencjach zachodzenia zdarzeń: 2-1-3-4 oraz 1-2-4-3. Analizując kolejno oba przypadki,



można wyprowadzić algorytm obliczania długości okna pomiarowego dla jednego pomostu. Poniżej przedstawiono rysunek pomocniczy dla pierwszej z podanych powyżej sekwencji.



Rys. 4. Analiza długości okna pomiarowego na jednym pomoście  
Fig. 4. Analysis of measurement frame length on one platform

Przy rozpatrywaniu możliwości pomiaru na dwóch lub trzech pomostach należy dodać warunek, że koła przedniego wózka wagonu muszą znajdować się na przednim pomoście efektywnym (algorytm nie uwzględnia sytuacji, w której koła tego samego wózka znajdują się na dwóch różnych pomostach). Wynikiem przeprowadzonej analizy jest algorytm, który został wykorzystany w programach opisanych w rozdziale 4.

## 7. OBLICZENIA I WYNIKI

W pierwszej kolejności zostały przeprowadzone obliczenia dla rodziny wag o dwóch pomostach o jednakowej długości, dla różnych wartości parametru  $dm$ . Według kryterium optymalizacji sformułowanego w rozdziale 3 optymalna waga ma pomosty o długościach 4.5, 6.75, 6.75 m.

Otrzymany wynik jest zgodny z rozważaniami teoretycznymi. Aby bowiem każdemu z wagonów znajdujących się w przedziale  $d_{min} \div d_{max}$  zapewnić możliwie najlepsze warunki pomiaru, długości ciągu kolejnych pomostów pomiarowych powinny wzrastać z możliwie stałym krokiem. Warunek ten zostanie spełniony dla wagi z pomostami o długościach 3, 9, 6 m. Z drugiej strony, ponieważ pomost pomiarowy otrzymany ze złożenia dwóch pomostów wagi nie jest równoważny jednemu pomostowi o długości równej sumie tych dwóch pomostów – okno pomiarowe zostanie zamknięte po dojechaniu przednich kół wagonu do końca pierwszego pomostu, długość najkrótszego pomostu powinna być jak najdłuższa. Z pierwszej obserwacji wynika, że długość najkrótszego pomostu powinna wynosić około 3 m, z drugiej, że nie może ona być zbyt mała. Zatem długość najkrótszego pomostu równą 4.5 m, otrzymaną w wyniku symulacji, można uznać za wiarygodną.

W dalszej kolejności została przeprowadzona symulacja mająca na celu wyłonienie z rodziny wag o długości pierwszego pomostu wynoszącej 4.5 m wagi optymalnej według kryterium równomierności wzrostu długości pomostów pomiarowych. Według tego kryterium optymalna jest waga o długości pomostów 4.5, 5.75 i 7.75 m.

W wyniku symulacji otrzymane zostały długości pomostów wagi optymalnej. Wynik ten został uzyskany w konsekwencji przyjęcia danych wejściowych. W kolejnym kroku dokonano obliczeń możliwości zważania wagonów faktycznie występujących w bazie danych [1], [2].

W wyniku obliczeń otrzymano zestawienie ośmiu wagonów z bazy danych, których nie będzie można zważyć przy pewnej kombinacji połączeń z innymi wagonami. Po wyeliminowaniu wagonu 902 R o długości do zderzaka 915 mm pozostają jedynie cztery takie wagony.

## 8. PODSUMOWANIE

Jako optymalna przyjęta została waga o długościach pomostów 4.5, 5.75, 7.75 m. W zależności od sytuacji można, stosując określone ograniczenia, modyfikować otrzymane długości pomostów. Na przykład, jeżeli pewne pogorszenie możliwości ważenia jest w danej sytuacji do przyjęcia, natomiast ze względów mechanicznych korzystne będzie zastosowanie wagi o dwóch pomostach tej samej długości, można przyjąć wagę o pomostach 4.5, 6.75, 6.75 m. Jeżeli w określonych zastosowaniach niektóre wagony będą ważone częściej niż inne, można, nieznacznie modyfikując długości pomostów wagi, zwiększyć długość okna pomiarowego dla tych właśnie wagonów.

## LITERATURA

1. Katalog pojazdów szynowych; części 1÷3. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych. Poznań 1996.
2. Bejenka K.: Założenia elektronicznej wagi kolejowej. Podsystem sterowania procesem ważenia. Część I – zestawienie wagonów i lokomotyw. Opracowanie OBRPS Poznań, OR-7886, 1995.
3. Barna G.: Założenia elektronicznej wagi kolejowej. Podsystem sterowania procesem ważenia. Część II – analiza długości okna pomiarowego. Opracowanie OBRPS Poznań, OR-7886, 1995.
4. Frączek J., Stypka M., Barna G.: Elektroniczna waga kolejowa. Podsystem sterowania procesem ważenia. Materiały konferencyjne „Pojazdy Szynowe’ 96”.

Recenzent: Prof. dr hab.inż. Józef Marciniak

## Abstract

When dealing with rail platform weighing systems, it is extremely important to properly select proper lengths of the platforms. This process can be performed by using computer simulation. The first step of writing a simulation program is to make an analysis of location of the cars on the platform, taking into consideration all possible situations. The input data into the program are: total length of the platforms, minimum and maximum lengths of platforms, minimum and maximum lengths of cars in a draft, and different parameters of cars. Because most parameters vary independently from the basic parameter of a car, which is its length, therefore it is extremely difficult to calculate input data for the simulation program. However,

---

some assumption have been made, which made calculations possible and optimal lengths have been selected. They are proposed to be 4.5, 5.75 and 7.75 m at the 18 m total length. Four of the cars from the Polish Railways car database cannot be weighted when being attached to certain cars. Alternative solutions are possible, one of them is making two last platforms equal, thus obtaining the lengths of 4.5, 6.75 and 6.75 m.