

Władysław BINKOWSKI, Jerzy RYSZ

Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

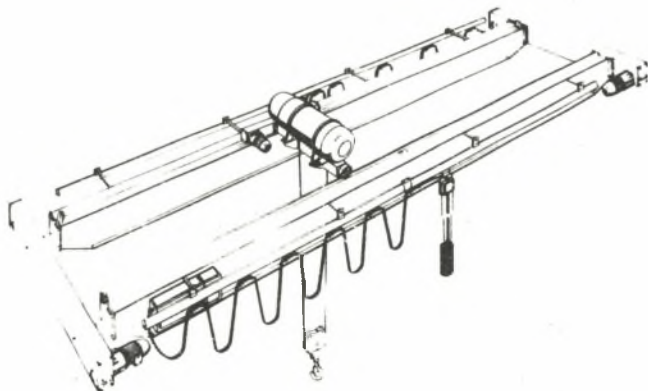
WPLYW OBCIĄŻEŃ TRZYKOŁOWEGO WÓZKA SUWNICY
NA PIONOWE PRZEMIESZCZENIA JEJ DZWIGARÓW

Streszczenie. Idea trzykołowego wózka suwnicy stwarza perspektywę osiągnięcia omówionych w artykule korzyści, związanych z eksploatacją mechanizmu jazdy wózka. W odróżnieniu jednak od konwencjonalnych wózków 4-kołowych, dźwigary mostu suwnicy doznają niejednakowych obciążeń od wózka.

W pracy przeprowadzono analizę rozkładu pionowych przemieszczeń dźwigarów mostu suwnicy ujawniając charakter asymetrii ich przemieszczeń przy optymalnym rozkładzie nacisków na koła jezdne wózka.

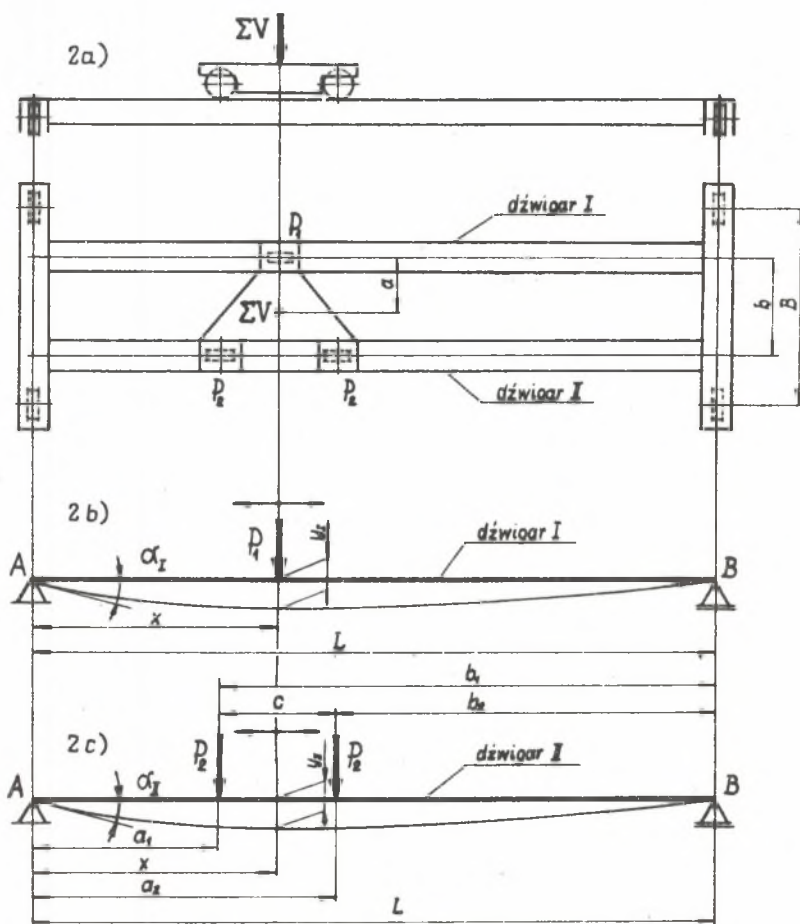
Wstęp

Nadmierne zużywanie się kół jezdnych i szyn w wyniku wadliwej pracy mechanizmów jazdy, jest w praktyce eksploatacyjnej dźwignic zjawiskiem nader częstym [1]. W poszukiwaniach sposobów ograniczenia zużycia kół jezdnych obserwuje się tendencje zmierzające do poprawy funkcjonowania mechanizmów jazdy, a tym samym zwiększenia ich trwałości i niezawodności. Przykładem działania w tym kierunku może być zastosowanie w dwudźwigarowych suwnicach pomostowych wózków trzykołowych, zamiast czterokołowych. Szkic suwnicy z takim wózkiem przedstawia rys. 1.



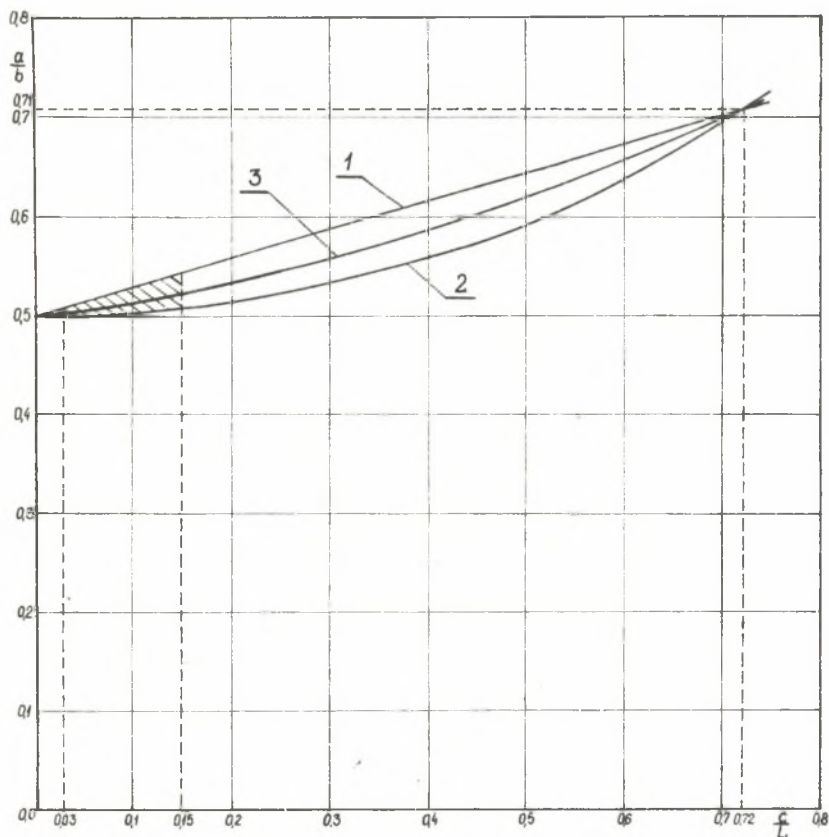
Rys. 1. Ogólny widok suwnicy dwudźwigarowej z wózkiem trzykołowym

Prowadzenie wózka wzdłuż mostu zapewniają dwa, wyposażone w obrzeża koła, toczące się po jednej szynie. Po drugiej szynie porusza się trzecie koło, bezobrzeżowe przenosząc przypadające na nie obciążenie pionowe od wózka na dźwigar, choć równie dobrze przy wyposażeniu go w obrzeża lub boczne rolki mogłoby podejmować siły boczne. Oba dźwigary mostu są jednakowe, tzn. mają identyczne w sensie geometrycznym przekroje poprzeczne. By sprostać wymaganiom jednakowej wytrzymałości obu dźwigarów oraz jednakowym (w granicach dopuszczalnych) strzałkom ugięcia należy odpowiednio rozmieścić mechanizmy na ramie wózka, dążąc przy tym do zachowania jak najmniejszego ciężaru własnego wózka. Układ dwudźwigarowy mostu suwnicy pomostowej z trzykołowym wózkiem przedstawia rys. 2a.



Rys. 2. Schemat obciążeń i ugięć dźwigarów suwnicy z trzykołowym wózkiem

Analiza optymalnego rozkładu nacisków na oba dźwigary wzdłużne mostu [2] wykazała, że spełnienie warunku jednakowych naprężeń w obu dźwigarach zachodzi przy położeniu wypadkowej ΣV obciążeń pionowych wózka zgodnym z przebiegiem krzywej 1 (rys. 3), natomiast warunkowi równości strzałek ugięcia odpowiada krzywa 2. Dla suwnic o udźwigu do ok. 10 T wartość stosunku $\frac{c}{L}$ wynosi $\frac{c}{L} = (0,03 \div 0,15)$. Przy tych wartościach różnice między rzędnymi krzywymi 1 i 2 są niewielkie. Krzywa 3 będąca miejscem geometrycznym średnich arytmetycznych rzędnych krzywych 1 i 2 spełnia kompromisowo oba warunki, przy nieznacznej "asymetrii" naprężeń i przemieszczeń. Pod pojęciem asymetrii rozumiane jest tu zróżnicowanie wartości naprężeń i przemieszczeń w jednym dźwigarze w stosunku do drugiego.



Rys. 3. Optymalne położenie wypadkowej obciążeń pionowych wózka (krzywa 3) z uwzględnieniem jednakowych naprężeń (krzywa 1) i strzałek ugięcia (krzywa 2) dźwigarów suwnicy

"Asymetria" pionowych strzałek ugięcia dźwigarów suwnicy

Niech x oznacza zmienną odległość od podpory A osi pojedynczego koła jezdnego wózka a równocześnie wypadkowej jego pionowych obciążeń (rys. 2a). W wyniku ruchu wózka po moście suwnicy, jej dźwigary doznają przemieszczeń w postaci kątów i strzałek ugięcia.

Rozpatrzmy wpływ usytuowania wózka na wartości strzałek ugięcia. Na rys. 2b oznaczono przez y_I strzałkę ugięcia dźwigara I mierzoną pod pojedynczym kołem wózka, przez y_{II} - strzałkę ugięcia dźwigara II mierzoną w płaszczyźnie symetrii, przynależnej do tego dźwigara pary kół. (Nota bene, obie strzałki leżą we wspólnej płaszczyźnie prostopadłej do dźwigarów mostu). Strzałka ugięcia dźwigara I wynosi:

$$y_I = P_1 \frac{x^2(L-x)^2}{3EI \cdot L} \quad (1)$$

Uwzględniając, że:

$$P_1 = \sum V(1 - \frac{a}{b}), \quad (2)$$

oraz po prostych przekształceniach otrzymuje się:

$$y_I = \frac{\sum V \cdot L^3}{EI} \cdot \frac{1}{3} (1 - \frac{a}{b}) (\frac{x}{L})^2 \cdot (1 - \frac{x}{L})^2 = \frac{\sum V \cdot L^3}{EI} \cdot S_I, \quad (3)$$

gdzie:

$$S_I = \frac{1}{3} (1 - \frac{a}{b}) (\frac{x}{L})^2 (1 - \frac{x}{L})^2 \quad (4)$$

- jest współczynnikiem zależnym od wartości $\frac{a}{b}$ (pośrednio: $\frac{c}{L}$) oraz $\frac{x}{L}$.

Wartość y_{II} strzałki ugięcia dźwigara II wyznaczono stosując metodę superpozycji:

$$y_{II} = y'_{II} + y''_{II}, \quad (5)$$

gdzie:

$$y_{II} = \frac{P_2 \cdot L \cdot b_1 \cdot x}{6EI} \left[1 - (\frac{x}{L})^2 - (\frac{b_1}{L})^2 + \frac{(x - a_1)^3}{L \cdot b_1 \cdot x} \right] \quad (6)$$

- jest strzałką ugięcia mierzona w środku rozstawu osi kół, a wywołaną obciążeniem od koła jezdnego, usytuowanego bliżej podpory A - w odległości a_1 ("lewego"),

$$y''_{II} = \frac{P_2 \cdot L \cdot b_2 \cdot x}{6 EI} \left[1 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 - \left(\frac{b_2}{L}\right)^2 \right] \quad (7)$$

- strzałką ugięcia mierzona w środku rozpiętości, a wywołaną obciążeniem od koła jezdnego, usytuowanego dalej od podpory A w odległości a_2 ("prawego").

Ponieważ:

$$a_1 = x - \frac{c}{2},$$

$$b_1 = L - \left(x - \frac{c}{2}\right), \quad (8)$$

$$b_2 = L - \left(x + \frac{c}{2}\right),$$

to:

$$y'_{II} = \frac{P_2 \cdot L \cdot x}{6 EI} \left[\frac{L - \left(x - \frac{c}{2}\right)}{L} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 - \frac{\left[L - \left(x - \frac{c}{2}\right)\right]^2}{L^2} + \frac{c^3}{8L \left[L - \left(x - \frac{c}{2}\right)\right] \cdot x} \right\}, \quad (9)$$

$$y''_{II} = \frac{P_2 Lx}{6 EI} \left[\frac{L - \left(x + \frac{c}{2}\right)}{L} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 - \frac{\left[L - \left(x + \frac{c}{2}\right)\right]^2}{L^2} \right\}; \quad (10)$$

Uwzględniając (9) i (10), zależność (5) przyjmie postać:

$$y_{II} = \frac{P_2 Lx}{6 EI} \left\{ \left[L - \left(x - \frac{c}{2}\right) \right] \left[1 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 - \frac{\left[L - \left(x - \frac{c}{2}\right)\right]^2}{L^2} + \frac{c^3}{8L \left[L - \left(x - \frac{c}{2}\right)\right] \cdot x} \right] + \left[L - \left(x + \frac{c}{2}\right) \right] \left[1 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 - \frac{\left[L - \left(x + \frac{c}{2}\right)\right]^2}{L^2} \right] \right\} \quad (11)$$

Po przekształceniach:

$$y_{II} = \frac{P_2}{48 EI} \left\{ c^3 + \frac{4x(L-x) \left[8x(L-x) - 3c^2 \right]}{L} \right\}. \quad (12)$$

Wprowadzając ponadto:

$$P_2 = \Sigma V \cdot \frac{a}{2b} \quad (13)$$

i dokonując dalszych przekształceń otrzymuje się:

$$y_{II} = \frac{\Sigma V}{EI} \cdot L^3 \cdot \frac{1}{12} \frac{a}{b} \left\{ 2 \frac{x}{L} \left[2 \left(\frac{x}{L} \right)^3 - 4 \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + 2 \frac{x}{L} + 3 \frac{x}{L} \left(\frac{c}{2L} \right)^2 \right] - 3 \left(\frac{c}{2L} \right)^2 + \left(\frac{c}{2L} \right)^3 \right\} \cdot \frac{\Sigma V L^2}{EI} \cdot S_{II}, \quad (14)$$

gdzie:

$$S_{II} = \frac{1}{12} \frac{a}{L} \left\{ 2 \frac{x}{L} \left[2 \left(\frac{x}{L} \right)^3 - 4 \left(\frac{x}{L} \right)^2 + 2 \frac{x}{L} + \right. \right. \\ \left. \left. + 3 \frac{x}{L} \cdot \left(\frac{c}{2L} \right)^2 \right] - 3 \left(\frac{c}{2L} \right)^2 + \left(\frac{c}{2L} \right)^3 \right\} \quad (15)$$

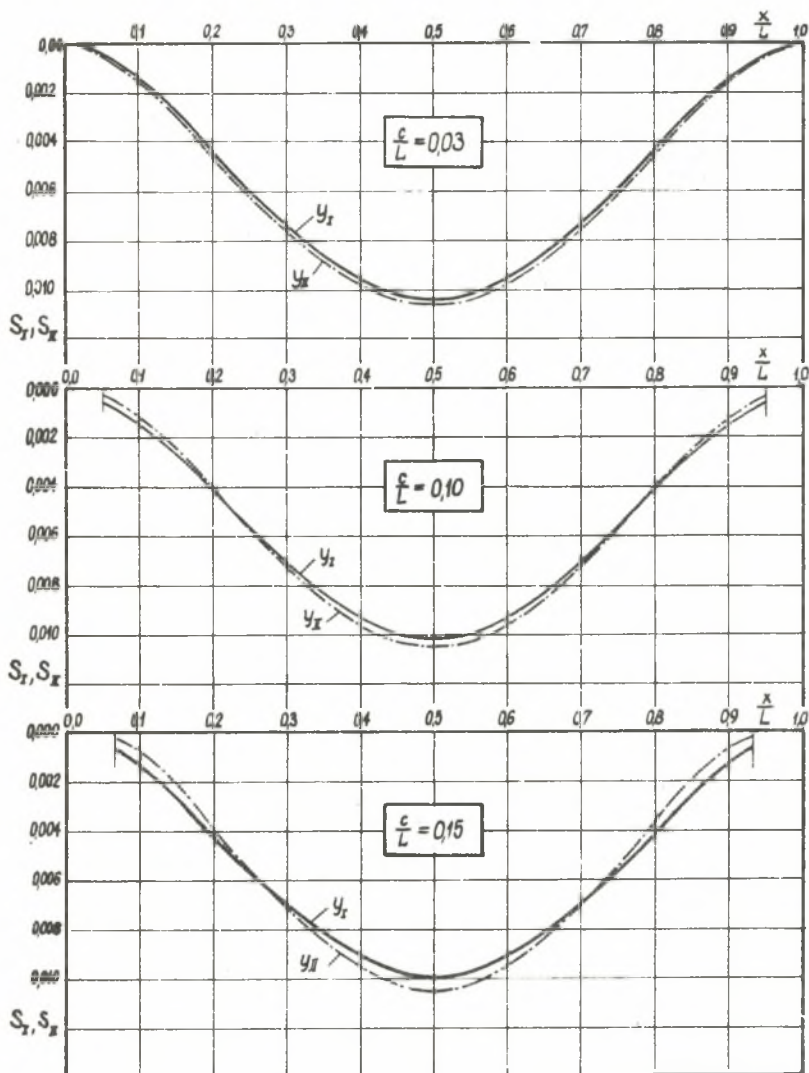
- jest współczynnikiem zależnym od wartości $\frac{a}{b}$ (pośrednio $\frac{c}{L}$ oraz $\frac{x}{L}$).

Wartości liczbowe współczynników S_I , S_{II} zestawione w zależności od $\frac{a}{L}$, $\frac{x}{L}$ ujęte w tablicy 1, natomiast ich graficzny obraz przedstawiono na rys. 4.

Tablica 1

Wartości liczbowe współczynników S_I i S_{II}

$\frac{a}{L} \backslash \frac{x}{L}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
S_I	0,03	0,0000	0,00134	0,00423	0,00730	0,00952	0,01032	0,00952	0,00730	0,00423	0,00134	0,0000
	0,10	0,0000	0,00145	0,00420	0,00712	0,00930	0,01009	0,00930	0,00712	0,00420	0,00145	0,0000
	0,15	0,0000	0,00128	0,00412	0,00698	0,00910	0,00988	0,00910	0,00698	0,00412	0,00128	0,0000
S_{II}	0,03	—	0,00133	0,00425	0,00739	0,00966	0,01048	0,00966	0,00739	0,00425	0,00133	—
	0,10	—	0,00107	0,00398	0,00733	0,00970	0,01059	0,00970	0,00733	0,00398	0,00107	—
	0,15	—	0,00068	0,00381	0,00699	0,00958	0,01056	0,00958	0,00699	0,00381	0,00068	—



Rys. 4. Obwiednie strzałek ugięcia dźwigarów suwnicy:
 y_I - ugięcie dźwigara I; y_{III} - ugięcie dźwigara III.

"Asymetria" kątów ugięć przy podporze

Kątowe przemieszczenia dźwigarów przy podporze A określają kąty: α_I dla dźwigara I oraz α_{II} dla dźwigara II. Analityczne ujęcie wielkości tych kątów przeprowadzono analogicznie jak w stosunku do strzałek ugięcia. Dla dźwigara I kąt ugięcia przy podporze A w dowolnym położeniu wózka (współrzędna x) wynosi:

$$\alpha_I = \frac{P_1 L(L-x)}{6 EI} \left[1 - \frac{(L-x)^2}{L^2} \right]. \quad (16)$$

Uwzględniając (2), po przekształceniach otrzymuje się:

$$\alpha_I = \frac{\Sigma VL^2}{6 EI} \left(1 - \frac{a}{b} \right) \left[2\left(\frac{x}{L}\right) - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{x}{L}\right)^3 \right] = \frac{\Sigma VL^2}{EI} \cdot K_I, \quad (17)$$

gdzie:

$$K_I = \frac{1}{6} \left(1 - \frac{a}{b} \right) \left[2\left(\frac{x}{L}\right) - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{x}{L}\right)^3 \right] \quad (18)$$

- jest współczynnikiem zależnym od wartości $\frac{a}{b}$ (pośrednio $\frac{c}{L}$) oraz $\frac{x}{L}$.

Wartość kąta ugięcia α_{II} dźwigara II wyznaczono stosując metodę superpozycji:

$$\alpha_{II} = \alpha'_{II} + \alpha''_{II}, \quad (19)$$

gdzie:

$$\alpha'_{II} = \frac{P_2 \cdot L \cdot b_1}{6 EI} \left[1 - \left(\frac{b_1}{L}\right)^2 \right] \quad (20)$$

- jest kątem ugięcia pochodzącym od obciążenia tylko kołem, znajdującym się w odległości a_1 od podpory A (kołem "lewym").

$$\alpha''_{II} = \frac{P_2 \cdot L \cdot b_2}{6 EI} \left[1 - \left(\frac{b_2}{L}\right)^2 \right] \quad (21)$$

- jest kątem ugięcia pochodzącym od obciążenia tylko kołem, znajdującym się w odległości a_2 od podpory A (kołem "prawym").

Ponieważ:

$$\begin{aligned} b_1 &= L - a_1 = L - \left(x - \frac{c}{2}\right), \\ b_2 &= L - a_2 = L - \left(x + \frac{c}{2}\right), \end{aligned} \quad (22)$$

to

$$\alpha'_{II} = \frac{P_2 L \left[L - \left(x - \frac{c}{2} \right) \right]}{6 EI} \left\{ 1 - \frac{\left[L - \left(x - \frac{c}{2} \right) \right]^2}{L^2} \right\}, \quad (23)$$

$$\alpha''_{II} = \frac{P_2 L \left[L - \left(x + \frac{c}{2} \right) \right]}{6 EI} \left\{ 1 - \frac{\left[L - \left(x + \frac{c}{2} \right) \right]^2}{L^2} \right\}. \quad (24)$$

Uwzględniając (23) i (24) zależność (19) przyjmie postać:

$$\alpha_{II} = \frac{P_2 L}{6 EI} \left\{ \left[L - \left(x - \frac{c}{2} \right) \right] - \frac{\left[L - \left(x - \frac{c}{2} \right) \right]^3}{L^2} + \left[L - \left(x + \frac{c}{2} \right) \right] - \frac{\left[L - \left(x + \frac{c}{2} \right) \right]^3}{L^2} \right\}. \quad (25)$$

Po przekształceniach i uwzględnieniu (13) otrzymuje się:

$$\alpha_{II} = \frac{\Sigma V L^2}{EI} \frac{a}{24 b} \left\{ 4 \left(\frac{x}{L} \right)^3 - 12 \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{x}{L} \left[8 + \left(\frac{c}{L} \right)^2 \right] - 3 \left(\frac{c}{L} \right)^2 \right\} = \frac{\Sigma V L^2}{EI} \cdot K_{II} \quad (26)$$

gdzie:

$$K_{II} = \frac{1}{24} \frac{a}{b} \left\{ 4 \left(\frac{x}{L} \right)^3 - 12 \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{x}{L} \left[8 + \left(\frac{c}{L} \right)^2 \right] - 3 \left(\frac{c}{L} \right)^2 \right\} \quad (27)$$

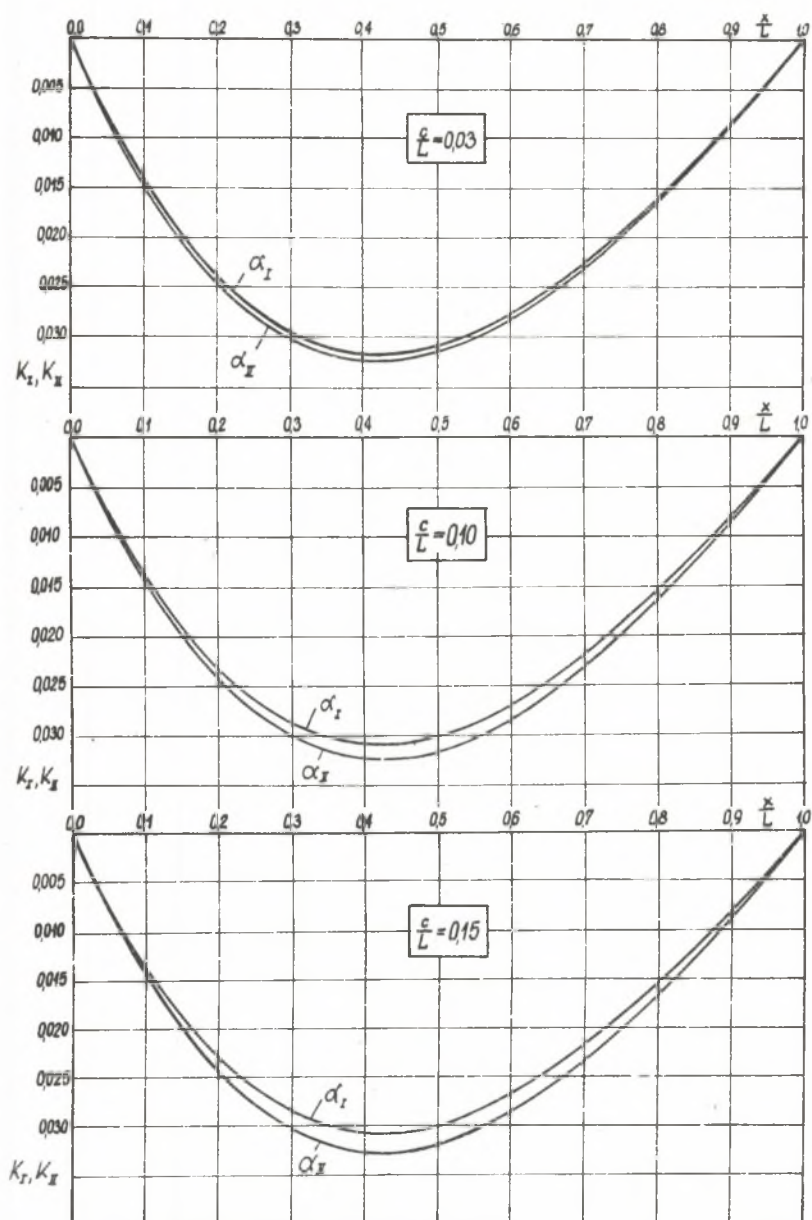
- jest współczynnikiem zależnym od wartości $\frac{a}{b}$, $\frac{x}{L}$.

Wartości liczbowe współczynników K_I , K_{II} zestawione w zależności od $\frac{c}{L}$, $\frac{x}{L}$ ujęto w tabelicy 2, natomiast ich graficzny obraz przedstawiono na rys. 5.

Tabela 2

Wartości liczbowe współczynników K_I i K_{II}

$\frac{x}{L}$	$\frac{c}{L}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K_I	0,03	0,0000	0,0443	0,02380	0,02947	0,03175	0,03100	0,02775	0,02255	0,01587	0,00818	0,0000
	0,10	0,0000	0,0382	0,02347	0,02878	0,03100	0,03024	0,02715	0,02205	0,01550	0,00800	0,0000
	0,15	0,0000	0,0358	0,02284	0,02835	0,03042	0,02978	0,02665	0,02165	0,01524	0,00785	0,0000
K_{II}	0,03	—	0,01430	0,02415	0,02995	0,03220	0,03130	0,02820	0,02290	0,01610	0,00820	—
	0,10	—	0,01410	0,02420	0,03020	0,03270	0,03190	0,02860	0,02330	0,01640	0,00846	—
	0,15	—	0,01360	0,02390	0,03010	0,03260	0,03160	0,02800	0,02340	0,01648	0,00850	—



Rys. 5. Obwiednie kątów ugięć przy podporze A dźwigarów suwnicy;

α_I - kąt ugięcia dźwigara I; α_{II} - kąt ugięcia dźwigara II

Wnioski

Z analizy wykresów (rys. 4) ujmujących wartości strzałek ugięcia dźwigarów mierzonych w płaszczyźnie symetrii trzykołowego wózka, w odległości x tej płaszczyzny od czołownicy A mostu wynika, że różnica wartości tych strzałek zmienia znak, co wyraźnie widać z wykresów dla $\frac{c}{L} \geq 0,1$.

Przy przejeździe wózka wzdłuż dźwigarów, w położeniu środkowym wózka, znak różnicy jest przeciwny niż w położeniach przed osiągnięciem podpór A i B. Punkty, w których strzałki są sobie równe, usytuowane symetrycznie względem punktu leżącego w połowie rozpiętości zbliżają się do siebie ze wzrostem wartości stosunku $\frac{c}{L}$.

Różnica wartości omawianych strzałek ugięcia jest w przybliżeniu miarą poprzecznego przechylenia wózka na moście.

Na podstawie szacunkowych obliczeń można stwierdzić, że zjawisko to nie wywiera istotnego wpływu na przebieg eksploatacji suwnic z trzykołowymi wózkami. Na rys. 5 ujęto wykreślnie przebieg kątów przy podporze A: α_I dla dźwigara I i α_{II} dla dźwigara II w zależności od $\frac{c}{L}$ i $\frac{x}{L}$; ze wzrostem wartości stosunku $\frac{c}{L}$ wzrasta różnica tych kątów.

Maksymalne wartości kątów a także maksymalne ich różnice występują dla $\frac{x}{L} \cong 0,4$, występujące różnice kątów świadczą o tym, że odcinek czołownicy o długości b zawarty między dźwigarami obciążony będzie dodatkowo momentem skręcającym.

Analiza wpływu omówionych zjawisk na eksploatację suwnicy z wózkiem trzykołowym będzie przedmiotem następnego opracowania.

LITERATURA

- [1] Bińkowski W., Kulczycki S., Michalczyk J., Winkler T.: Problemy Remontowe Hutnictwa 41, 1970, s. 1.
- [2] Bińkowski W., Rysz J.: Przegląd Mechaniczny 15, 1974, s. 509.

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ ТРЕХКОЛЁСНОЙ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА
НА ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЕЁ НЕСУЩИХ БАЛОК

Р е з ю м е

Идея трёхколёсной тележки мостового крана даёт перспективы достижения описанных в статье эффектов связанных с эксплуатацией ходового механизма тележки.

Однако иначе чем в случае обычных четырёхколёсных тележек, несущие балки моста мостового крана подвергаются неодинаковым нагрузкам от тележки.

Произведенный в статье анализ распределения вертикальных перемещений балок моста мостового крана обнаружил характер асимметрии их перемещений при оптимальном распределении давлений на ходовые колёса тележки.

INFLUENCE OF THE THREE - WHEELED CRAB LOADING
ON THE VERTICAL GIRDER DISPLACEMENT

S u m m a r y

Idea of the overhead travelling crane three - wheeled crab creates an expectancy of gaining advantages talked over in the article and associated with an exploitation of the crab traversing gear.

In contradistinction to four-wheeled conventional crabs crane girder receives different loads from a crab.

The analysis of vertical girder displacements distribution realized in the article has disclosed a character of antisymmetry of displacements under an optimal distribution of crab wheel loads.