

Władysław BIŃKOWSKI, Jerzy RYSZ

SKUTKI ASYMETRII PIONOWYCH PRZEMIESZCZEŃ
DŹWIGARÓW SUWNICY Z TRZYKOŁOWYM WÓZKIEM

Streszczenie. Zastosowanie w suwnicach trzykołowego wózka, obok niewątpliwych zalet takiego rozwiązania, wykazuje też pewne niedokładności polegające na ujawnieniu się różnicy wartości przemieszczeń obu dźwigarów. W artykule poddano analizie skutki, wywołane asymetrią przemieszczeń dźwigarów; w szczególności w nawiązaniu do wcześniejszych publikacji rozpatrzono przechylenia wózka w zależności od jego usytuowania na moście. Zmienność i wartość tych przechyleń ujęto analitycznie i graficznie.

W publikacjach [1+3] omówiono koncepcję trzykołowego wózka, przystosowanego do mostu suwnicy w konwencjonalnym, dwudźwigarowym układzie mostu, przeprowadzono analizę wpływu obciążeń wózka na pionowe przemieszczenia dźwigarów oraz rozpatrzono siły boczne wózka, pojawiające się w procesie eksploatacji. Mimo starań, zmierzających do zapewnienia w miarę jednakowych, pionowych obciążeń i przemieszczeń dźwigarów mostu, trudno było uniknąć pewnej nierównomierności przemieszczeń. Rozpoznaniem wpływu tej nierównomierności przemieszczeń dźwigara obciążonego pojedynczym kołem wózka i dźwigara obciążonego dwoma kołami wózka na proces eksploatacji suwnicy z wózkiem trzykołowym zajęto się w niniejszym artykule, zgodnie z zapowiedzią ujętą we wnioskach wcześniejszej publikacji [2].

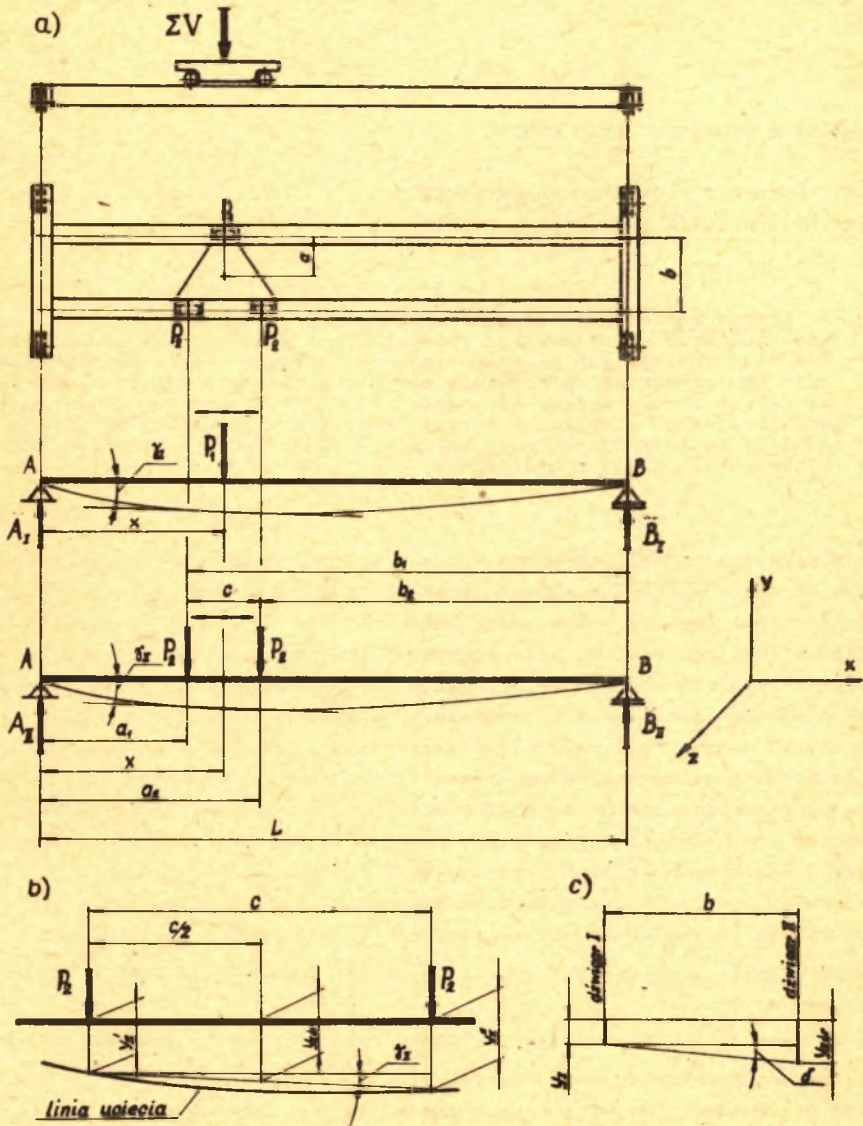
W wyniku pionowych przemieszczeń dźwigarów mostu suwnicy [2] następuje przechylenie trzykołowego wózka (rys. 1), które można sprowadzić do:

- a) przechylenia w płaszczyźnie $x-y$ czołownicy wózka z dwoma kołami jezdnyymi,
- b) przechylenia konturu oporowego wózka w płaszczyźnie jego symetrii $y-z$.

Wyznaczenie wartości wspomnianych przechyleń w funkcji \bar{x} może być dokonane na podstawie omówionych już przemieszczeń dźwigarów I i II mostu suwnicy, w szczególności strzałek i kątów ugięcia, mierzonych w punktach styku kół jezdnych wózka z dźwigarami.

Miarą przechylenia wyszczególnionego w punkcie a jest kąt γ_{II} (rys. 1b), natomiast miarą przechylenia określonego w punkcie b jest kąt δ (rys. 1c).

Dla pełnego obrazu występujących przemieszczeń wyznaczono również wartość kąta γ_I nachylenia względem poziomu stycznej w punkcie zetknięcia pojedynczego koła wózka z dźwigarem I, do linii ugięcia tego dźwigara.



Rys. 1. Schemat obciążeń oraz przemieszczeń dźwigerów suwnicy z trzykołowym wózkiem

W wyniku zróżniczkowania równania na strzałkę ugięcia y_I [2]:

$$y_I = \frac{\sum VL^3}{EJ} \frac{1}{3} \left(1 - \frac{a}{b}\right) \left(\frac{x}{L}\right)^3 \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 = \frac{\sum VL^3}{EJ} \cdot S_I \quad (1)$$

otrzymuje się:

$$\frac{dy_I}{dx} = \gamma_I = \frac{\sum VL^2}{EJ} \frac{2}{3} \left(1 - \frac{a}{b}\right) \frac{x}{L} \left[1 - 3\left(\frac{x}{L}\right) + 2\left(\frac{x}{L}\right)^2\right] = \frac{\sum VL^2}{EJ} B_I, \quad (2)$$

gdzie:

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

jest współczynnikiem zależnym od wartości stosunku $\frac{c}{L}$ i chwilowego położenia wózka na moście $\frac{x}{L}$.

Kąt γ_{II} (rys. 1b) może być wyznaczony z zależności:

$$\sin \gamma_{II} = \frac{y'_{II} - y'_{II}}{c}. \quad (4)$$

Z uwagi na niewielkie wartości kąta γ_{II} , można przyjąć

$$\gamma_{II} \approx \sin \gamma_{II} \quad (4a)$$

Wartości strzałki ugięcia y_{II} wyznaczono metodą Clebacha. W poszczególnych przedziałach strzałkę ugięcia ujmują następujące równania:

$$0 \leq x_{II} \leq a_1; \quad y_{II} = \frac{1}{EJ} \left[-A_{II} \frac{x_{II}^3}{6} + \frac{x_{II}}{6} (A_{II} L^2 - P_2 \frac{b_1^3}{L} - P_2 \frac{b_2^3}{L}) \right] \quad (5a)$$

$$a_1 \leq x_{II} \leq a_2; \quad y_{II} = \frac{1}{EJ} \left[-A_{II} \frac{x_{II}^3}{6} + P_2 \frac{(x_{II} - a_1)^3}{6} + \frac{x_{II}}{6} \cdot (A_{II} L^2 - P_2 \frac{b_1^3}{L} - P_2 \frac{b_2^3}{L}) \right] \quad (5b)$$

$$a_2 \leq x_{II} \leq L; \quad y_{II} = \frac{1}{EJ} \left[-A_{II} \frac{x_{II}^3}{6} + P_2 \frac{(x_{II} - a_1)^3}{6} + P_2 \frac{(x_{II} - a_2)^3}{6} + \frac{x_{II}}{6} (A_{II} L^2 - P_2 \frac{b_1^3}{L} - P_2 \frac{b_2^3}{L}) \right] \quad (5c)$$

gdzie:

x_{II} - współrzędna dowolnego przekroju dźwigara II w określonym przedziale,

A_{II} - reakcja przy podporze A.

Wartości strzałki ugięcia y'_{II} otrzymano po podstawieniu w równaniu (5a) $x_{II} = a_1 = L - b_1$, zaś strzałki ugięcia y''_{II} z równania (5b) po podstawieniu $x_{II} = a_2 = L - b_2$.

Uwzględniając ponadto:

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

$$b_2 = L - \left(x + \frac{c}{2}\right), \quad (6)$$

$$A_{II} = \frac{2P_2}{L}(L - x),$$

otrzymano:

$$y'_{II} = \frac{P_2}{6EJL}(-8Lx^3 + 6Lx^2c - 3Lxc^2 + Lc^3 + 4x^4 - 4x^3c + 3x^2c^2 - xc^3 + 4L^2x^2 - 2L^2xc), \quad (7)$$

$$y''_{II} = \frac{P_2}{6EJL}(-8Lx^3 - 6Lx^2c - 3Lxc^2 + 4x^4 + 4x^3c + 3x^2c^2 + xc^3 + 4L^2x^2 + 2L^2xc). \quad (8)$$

Podstawiając (7) i (8) do (4) po uwzględnieniu (rys. 1a):

$$P_2 = \sum v \frac{a}{2b}$$

w wyniku przekształceń otrzymano:

$$y_{II} \approx \sin \gamma_{II} = \frac{\sum vL^2}{EJ} \frac{1}{12} \frac{a}{b} \left\{ 8\left(\frac{x}{L}\right)^3 - 12\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right) \left[2 + \left(\frac{c}{L}\right)^2 \right] - \left(\frac{c}{L}\right)^2 \right\} = \frac{\sum vL^2}{EJ} B_{II}, \quad (9)$$

gdzie:

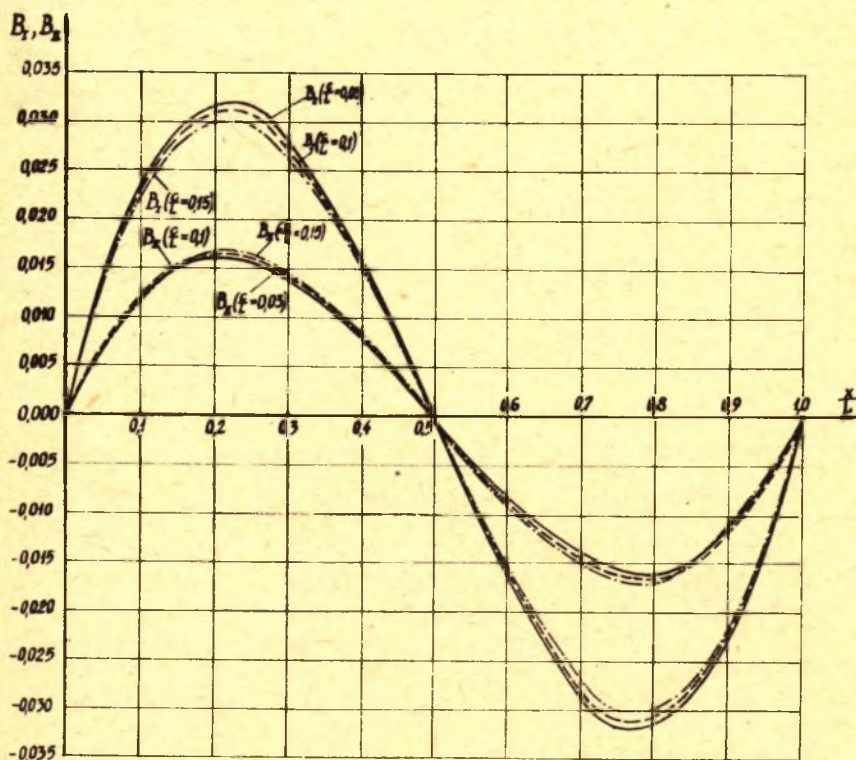
$$B_{II} = \frac{1}{12} \frac{a}{b} \left\{ 8\left(\frac{x}{L}\right)^3 - 12\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right) \left[2 + \left(\frac{c}{L}\right)^2 \right] - \left(\frac{c}{L}\right)^2 \right\} \quad (10)$$

jest współczynnikiem zależnym od wartości stosunków $\frac{c}{L}$ i $\frac{x}{L}$.

Tablica I

Wartości liczbowe współczynników B_I i B_{II}

$\frac{x}{L}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
B_I	0,03	-	0,02343	0,03168	0,02772	0,01584	0,00000	-0,01584	-0,02772	-0,03168	-0,02343	-
	0,10	-	0,02293	0,03101	0,02713	0,01550	0,00000	-0,04550	-0,02713	-0,03101	-0,02293	-
	0,15	-	0,02243	0,03033	0,02684	0,01517	0,00000	-0,01517	-0,02654	-0,03033	-0,02243	-
B_{II}	0,03	-	0,01165	0,01610	0,01440	0,00806	0,00000	-0,00806	-0,01440	-0,01640	-0,01165	-
	0,10	-	0,01201	0,01622	0,01420	0,00815	0,00000	-0,00815	-0,01420	-0,01622	-0,01201	-
	0,15	-	0,01181	0,01621	0,01431	0,00820	0,00000	-0,00820	-0,01431	-0,01621	-0,01181	-

Rys. 2. Obwiednie kątów ugięcia γ_I , γ_{II} w funkcji $\frac{x}{L}$

Wartości liczbowe współczynników B_I i B_{II} zamieszczono w tabelicy I, zaś ich graficzny obraz przedstawiono na rys. 2. Krzywe B_I i B_{II} pokazują charakter zmienności w funkcji $\frac{x}{L}$, kątów γ_I i γ_{II} oraz ich proporcje. Maksima występują przy różnych wartościach $\frac{x}{L}$ choć zbliżonych. Dla kąta γ_I maksima występują przy wartościach $\frac{x}{L}$ nieco większych od 0,2 i nieco mniejszych od 0,8, natomiast dla kąta γ_{II} występują maksima przy wartościach $\frac{x}{L} \approx 0,2$ oraz $\frac{x}{L} \approx 0,8$.

Przechylenia wózka w płaszczyźnie y - z (rys. 1b) wynikające z różnicy wartości γ_I , γ_{II} określono zależnością:

$$\delta \approx \operatorname{tg} \delta = \frac{\gamma_{II} - \gamma_I}{b}, \quad (11)$$

gdzie:

γ_{II} - jest średnią arytmetyczną strzałek ugięcia dźwigara II mierzonych w punktach zatknięcia się kół jezdnych wózka z tym dźwigarem i wyraża pionowe przemieszczenie środka czołownicy wózka, przynależnej do dźwigara II,

γ_I - strzałka ugięcia dźwigara I [2] mierzona w punkcie zatknięcia się z nim pojedynczego koła wózka.

Przemieszczenie środka czołownicy wózka, przynależnej do dźwigara II, przy wykorzystaniu związków (7) i (8), wyraża się zależnością:

$$\gamma_{II} = \frac{\sum V_L^3}{EJ} \frac{1}{24} \frac{a}{b} \left[8\left(\frac{x}{L}\right)^4 - 16\left(\frac{x}{L}\right)^3 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^2 \left[4 + 3\left(\frac{c}{L}\right)^2 \right] - 6 \frac{x}{L} \left(\frac{c}{L}\right)^2 + \left(\frac{c}{L}\right)^3 \right] = \frac{\sum V_L^3}{EJ} C, \quad (12)$$

gdzie:

$$C = \frac{1}{24} \frac{a}{b} \left[8\left(\frac{x}{L}\right)^4 - 16\left(\frac{x}{L}\right)^3 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^2 \left[4 + 3\left(\frac{c}{L}\right)^2 \right] - 6 \frac{x}{L} \left(\frac{c}{L}\right)^2 + \left(\frac{c}{L}\right)^3 \right] \quad (13)$$

jest współczynnikiem zależnym od wartości $\frac{c}{L}$, $\frac{x}{L}$.

Wobec tego wzór (11) można przedstawić w postaci:

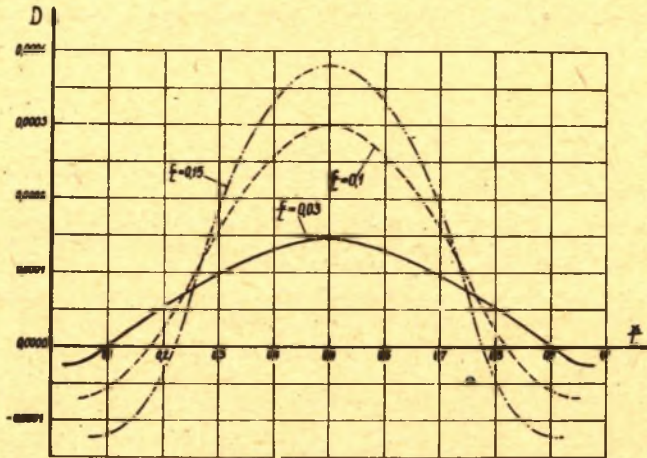
$$\delta = \operatorname{tg} \delta = \frac{\sum V_L^3}{bEJ} (C - S_I) = \frac{\sum V_L^3}{bEJ} D \quad (14)$$

Wartości liczbowe współczynnika D zamieszczono w tabelicy II, obwiednie kąta δ w funkcji $\frac{x}{L}$ przedstawia rys. 3.

Tablice II

Wartości liczbowe współczynnika D

		$\frac{x}{L}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
D	0,03	-	-0,000004	0,000052	0,000096	0,000128	0,000141	0,000128	0,000096	0,000052	-0,000004	-	-
	0,10	-	-0,000058	0,000045	0,000160	0,000255	0,000301	0,000255	0,000160	0,000045	-0,000058	-	-
	0,15	-	-0,000120	-0,000044	0,000180	0,000330	0,000379	0,000330	0,000180	-0,000044	-0,000120	-	-

Rys. 3. Obwiednie kąta δ w funkcji $\frac{x}{L}$

Wnioski

Trudne do uniknięcia zróżnicowanie skutków obciążeń obu dźwigarów suwnicy trzykołowym wózkiem, choć nieznaczne, wyraża się asymetrią pionowych przemieszczeń.

Dla dogodniejszej analizy można rozpatrywać przemieszczenia sprowadzone do obu pionowych płaszczyzn układu przestrzennego, a mianowicie płaszczyzn $x-y$ oraz $y-z$ (rys. 1). Różnice w wartościach kątów γ_I i γ_{II} oraz nierównoczesność osiągnięcia przez nie ekstremum mogą objawiać się tendencją do kątowych przemieszczeń wózka w płaszczyźnie $x-z$ (rys. 1a), co w konsekwencji przyczyni się do likwidacji luzów między obrzeżami kół jezdnych wózka, a szynę i przejawia się wzmożonym oporem tarcia obrzeży przy przejeździe wózka wzdłuż mostu.

Przemieszczenia kątowe w płaszczyźnie $y-z$ wywołać mogą wahania ładunku zawieszona na linach, tym większe im większa jest wartość stosunku $\frac{c}{L}$.

Charakterystyczna jest zmiana znaku tych kątowych przemieszczeń oraz fakt istnienia dwóch takich położań wózka w jednakowej odległości od obu podpór mostu, w których przemieszczenie jest równe 0. Odległości te rosną ze wzrostem wartości stosunku $\frac{c}{l}$. Wartości kątowych przyspieszeń wózka związane są z parametrami ruchu jazdy wózka i odcinkami jego przejazdów po moście. W przypadku równoczesności ruchów jazdy wózka i mostu wpływ na ładunek może pochodzić także od przyspieszeń w okresach ruchu niestabilnego jazdy mostem. Z uwagi jednak na znikome wartości kątowych przemieszczeń i przyspieszeń można oczekiwać, że zjawiska te nie spowodują istotnych trudności w eksploatacji suwnic z trzykołowymi wózkami.

LITERATURA

- [1] Bińkowski W., Rysz J.: Koncepcja trzykołowego wózka suwnicy. Przegląd Mechaniczny nr 15, 1974.
- [2] Bińkowski W., Rysz J.: Wpływ obciążeń trzykołowego wózka suwnicy na pionowe przemieszczenia jej dźwigarów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Mechanika z. 56, Gliwice, 1975.
- [3] Bińkowski W., Rysz J.: Siły boczne suwnicowego wózka trzykołowego. Problemy Postępu Technicznego nr 6(60), 1975.
- [4] Kocerzevskij P.W.: Opredelenie progiba i ugła povorota osi bałki. Gostrojizdat, Kiev, 1961.
- [5] Possner L.: Einheitliche Betrachtung von Einflussgrößen, Maschinenbautechnik 8/1956.

ЭФФЕКТЫ АСИМЕТРИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НЕСУЩИХ БАЛОК МОСТОВОГО КРАНА С ТРЁХКОЛЕСНОЙ ТЕЛЕЖКОЙ

Р е з ю м е

Применение в мостовых кранах трёхколесной тележки дает кроме конечных достоинств тоже недостатки, обнаруживающиеся разностью значений перемещений обоих несущих балок. В статье анализированы эффекты, вызванные асиметрией перемещений несущих балок, особенно в следствие предыдущих отатей – рассматриваны отклонения тележки в зависимости от его местоположения на несущей балке. Перемещение и значения этих отклонений представлены аналитически и графически.

THE EFFECTS OF VERTICAL GIRDER DISPLACEMENT DISSYMMETRY
OF THE CRANE WITH THREE-WHEELED CRAB

S u m m a r y

The application three-wheeled crabs in cranes shows, besides advantages, some inconveniences; the latter consist in differences between the two crane girder displacements. The effects of vertical girder displacement dissymmetry were analysed in relation to former publications; the inclinations of the crab in dependence on its place on the crane bridge were considered as well. The changeability and values of those inclinations were presented analytically and graphically.