



## Analiza statyczna wieloprzęsłowych mostów składanych przy różnych warunkach ich podparcia

JAN MARSZAŁEK, MIECZYŚLAW PIECHOTA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,  
Instytut Inżynierii Lądowej, 01-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2,  
jmarszalek@wat.edu.pl, mpiechota@wat.edu.pl

**Streszczenie.** Artykuł obejmuje metodykę postępowania przy obliczaniu mostu składanego na sprężystych podporach. Zaprezentowane algorytmy pozwalają na szerszą analizę obejmującą również mosty na sztywnych podporach lub typu wstęga ciągła. Przeprowadzone obliczenia dotyczą wpływu luzów montażowych na różne parametry związane z geometrią konstrukcji i warunkami jej pracy. Obliczenia te przeprowadzono dla dwóch występujących funkcji kompensacji momentów podporowych. Uzyskane wyniki różniły się między sobą o pewien procent. W związku z tym zaproponowano przeprowadzenie badań doświadczalnych na modelu mostu składanego, które pozwolą na jednoznaczne ustalenie wartości tej funkcji dla belek na podporach sztywnych, sprężystych i dla mostów typu wstęga ciągła.

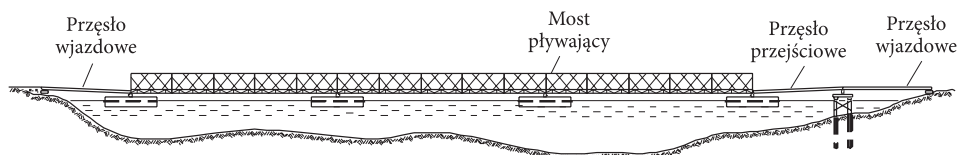
**Słowa kluczowe:** mosty składane, luzy montażowe, funkcja kompensacji momentów podporowych

### 1. Wprowadzenie

W artykule zaprezentowano most kombinowany zmontowany z elementów mostów składanych umożliwiający szybkie przywracanie zdolności eksploatacyjnych ciągów drogowych w wypadku klęsk żywiołowych i awarii mostów stałych. Zdarza się również, że są coraz częściej stosowane do długotrwałej eksploatacji (przykładem może być eksploatowany w latach 1985-2000 most „Syreny” w Warszawie). Ponadto konstrukcje mostów składanych mogą być używane jako urządzenia pomocnicze i uzupełniające przy budowie obiektów stałych, m.in. estakad dojazdowych, rusztowań czy pomostów roboczych. Dużą zaletą konstrukcji składanych jest wysokie tempo montowania z nich obiektów komunikacyjnych, gdzie prace te nie wymagają skomplikowanych urządzeń. Czynności występujące w takim procesie technologicznym

charakteryzuje prostota i powtarzalność, dzięki czemu trwają krótko i nie są kosztowne. Konstrukcje składane mają z góry ustalony system montażu, jest to najczęściej nasuwanie. Dotychczasowa praktyka inżynierska ugruntowała pozytywną opinię o mostach składanych oraz różnorodności ich zastosowania.

Przy znacznych zasobach tych konstrukcji istotnym zadaniem w tej dziedzinie jest racjonalne wykorzystanie w gospodarce narodowej zapasów sprzętu mostowego wycofywanego z wyposażenia wojska uzbrojenia. Podjęcie tej problematyki ma głębokie uzasadnienie ekonomiczne, gdyż obecnie znajduje się na składach kilka kilometrów różnego typu konstrukcji mostów składanych, parków pontonowych, barek oraz innych środków pływających. Dotychczas budowano mosty składane na podporach składanych. Przy krótkotrwałej eksploatacji można budować mosty kombinowane na podporach stałych i pływających. Sytuacja ta może być brana pod uwagę szczególnie przy głębokich rzekach. Zastąpienie podpór stałych pływającymi znacznie przyspieszy proces budowy przeprawy zastępczej. Na rysunku 1.1 pokazano przykładowy most kombinowany.



Rys. 1.1. Schemat mostu kombinowanego

W niniejszym artykule autorzy zajęli się analizą pracy części pływającej mostu z przęseł składanych na podporach kombinowanych. Szczegóły dotyczące konstrukcji przedstawiono w publikacjach: [3] obejmującej składane mosty drogowe, w [4] składane mosty kolejowe i w [5] wojskowy sprzęt przeprawowo-mostowy. Istotnym problemem przy wykorzystaniu starych konstrukcji (wielokrotnie użytkowanych) jest konieczność przeprowadzenia ich oceny techniczno-eksploatacyjnej. Autorzy artykułu zamierzają opracować w przyszłości program komputerowy dokonujący takiej oceny dla konstrukcji składanych z różnymi warunkami podparcia. Jednym z parametrów świadczących o zużyciu konstrukcji są powiększające luzy w złączach mostów składanych.

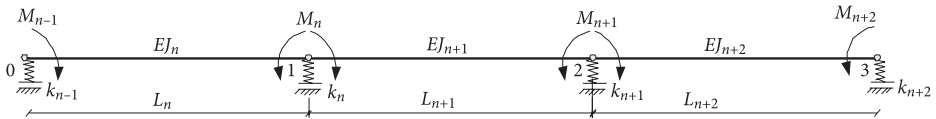
W związku z tym **głównym celem** niniejszego artykułu jest przeprowadzenie analizy wpływu luzów na rozkład sił w mostach składanych na sprężystych podporach jako jednego z istotnych parametrów oceny technicznej tych mostów. W czasie tych analiz stwierdzono, że występujące dwie postacie funkcji kompensacji momentów podporowych dają wyniki różniące się od siebie. Szczegółowe rozważania na ten temat przedstawiono w punkcie 2. W dalszych punktach artykułu wykonano obliczenia dla obu funkcji kompensacji momentów podporowych dla belki na podporach sprężystych, weryfikując je przez przejście do znanych rozwiązań dla belek

na sztywnych podporach bez elementów składowych. Artykuł zakończony został wnioskami z określeniem perspektyw przyszłych badań w tym zakresie.

## 2. Sformułowanie i rozwiązanie ogólne problemu

### 2.1. Sformułowanie problemu dla belek bezskładnikowych

Belkę bezskładnikową (bez elementów składowych) przedstawioną na schemacie (rys. 2.1) rozwiązuje się metodą pięciu momentów. Równowagę tej metody dla przypadku ogólnego, gdzie występują różne rozpiętości przęseł, sztywności giętne oraz różne sprężystości podpór, zaprezentowano równaniem (2.1) [2].



Rys. 2.1. Schemat statyczny belki

$$\begin{aligned}
 & M_{n-2} \frac{1}{k_{n-1} L_n L_{n-1}} + M_{n-1} \left[ \frac{L_n}{6EJ_n} - \frac{1}{k_{n-1} L_n} \left( \frac{1}{L_{n-1}} + \frac{1}{L_n} \right) - \frac{1}{k_n L_n} \left( \frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right) \right] + \\
 & + M_n \left[ \frac{L_n}{3EJ_n} + \frac{L_{n+1}}{3EJ_{n+1}} + \frac{1}{k_{n-1} L_n^2} + \frac{1}{k_n} \left( \frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right)^2 + \frac{1}{k_{n+1} L_{n+1}^2} \right] + \\
 & + M_{n+1} \left[ \frac{L_{n+1}}{6EJ_{n+1}} - \frac{1}{k_n L_{n+1}} \left( \frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right) - \frac{1}{k_{n+1} L_{n+1}} \left( \frac{1}{L_{n+1}} + \frac{1}{L_{n+2}} \right) \right] + \\
 & + M_{n+2} \frac{1}{k_{n+2} L_{n+1} L_{n+2}} = - \frac{\bar{R}_{n,n-1}}{EJ_n} - \frac{\bar{R}_{n,n+1}}{EJ_{n+1}} - R^0_{n-1} \frac{1}{k_{n-1} L_n} + \\
 & + R^0_n \left( \frac{1}{k_n L_n} + \frac{1}{k_n L_{n+1}} \right) - R^0_{n+1} \frac{1}{k_{n+1} L_{n+1}},
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

gdzie:

$$\bar{\varphi}_n = \frac{\bar{R}_{n,n-1}}{EJ_n} + \frac{\bar{R}_{n,n+1}}{EJ_{n+1}}; \tag{2.2}$$

— kąt obrotu sprężystego belki w złączu na  $n$ -tej podporze od obciążeń zewnętrznych w układzie podstawowym;

$$\varphi_{n\Delta} = R_{n-1}^0 \frac{1}{k_{n-1}L_n} - R_n^0 \left( \frac{1}{k_nL_n} + \frac{1}{k_nL_{n+1}} \right) + R_{n+1}^0 \frac{1}{k_{n+1}L_{n+1}}, \quad (2.3)$$

— kąt obrotu na  $n$ -tej podporze od sprężystości podpór w układzie podstawowym;

$$k_n = \gamma^* A_n \quad (2.4)$$

— współczynnik charakteryzujący sprężyste właściwości podpory i odpowiadający sile wywołującej jednostkowe przemieszczenie  $n$ -tej podpory;

$\gamma$  — ciężar objętościowy wody;

$A_n$  — powierzchnia wodnicy podpory pływającej;

$EJ_n$  — sztywność przekroju poprzecznego konstrukcji  $n$ -tego przęsła;

$\bar{R}_{n,n-1}, \bar{R}_{n,n+1}$  — wtórne reakcje  $n$ -tej podpory w układzie podstawowym;

$R_n^0$  — reakcja rzeczywista  $n$ -tej podpory w układzie podstawowym.

### 2.1.1. Modyfikacja równania (2.1) dla belek składanych

Dla belek składanych modyfikacja polega na zmianie prawej strony równania (2.1). Wówczas równanie przyjmie postać:

$$\begin{aligned} & M_{n-2} \frac{1}{k_{n-1}L_nL_{n-1}} + M_{n-1} \left[ \frac{L_n}{6EJ_n} - \frac{1}{k_{n-1}L_n} \left( \frac{1}{L_{n-1}} + \frac{1}{L_n} \right) - \frac{1}{k_nL_n} \left( \frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right) \right] + \\ & + M_n \left[ \frac{L_n}{3EJ_n} + \frac{L_{n+1}}{3EJ_{n+1}} + \frac{1}{k_{n-1}L_n^2} + \frac{1}{k_n} \left( \frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right)^2 + \frac{1}{k_{n+1}L_{n+1}^2} \right] + \\ & + M_{n+1} \left[ \frac{L_{n+1}}{6EJ_{n+1}} - \frac{1}{k_nL_{n+1}} \left( \frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right) - \frac{1}{k_{n+1}L_{n+1}} \left( \frac{1}{L_{n+1}} + \frac{1}{L_{n+2}} \right) \right] + \\ & + M_{n+2} \frac{1}{k_{n+2}L_{n+1}L_{n+2}} = -F_n \left( \bar{\varphi}_n + \varphi_{n\Delta} \right). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Sumaryczny kąt obrotu na  $n$ -tej podporze od luzów i obciążeń zewnętrznych ma postać:

$$\varphi_n = \bar{\varphi}_n + \varphi_{nk}, \quad (2.6)$$

gdzie:

$$\varphi_{nk} = (m-1)\varphi_0 \quad (2.7)$$

— kąt obrotu kinematycznego na  $n$ -tej podporze od luzów w złączach elementów składowych przęsła;

$m$  — liczba elementów składowych pojedynczego przęsła;

$\varphi_0$  — kąt obrotu w pojedynczym złączu od luzów montażowych

$$\bar{\varphi}_n = \frac{\bar{R}_n}{EJ_n} \quad (2.8)$$

— kąt obrotu na  $n$ -tej podporze od obciążeń zewnętrznych w układzie podstawowym;

$\bar{R}_n$  — reakcja fikcyjna na  $n$ -tej podporze od obciążeń w układzie podstawowym.

Funkcja kompensacji momentów podporowych  $F_n$  ma zasadniczy wpływ na rozkład momentów podporowych w zależności od wielkości występujących luzów w konstrukcjach składanych. Dokonuje ona redystrybucji tych momentów w funkcji luzów. Dotychczas dla belek na sztywnych podporach w sposób teoretyczny tę funkcję opisano dwumianem w postaci przedstawionej poniżej:

— postać 1 podana przez J. Marszałka w pracy [6]

$$F_n = a_0 + a_1 \varphi_0 \varphi_n, \quad (2.9)$$

— postać 2 podana przez Z. Bursztynowskiego w pracy [1]

$$F_n = a_0 + a_1 (\varphi_0 + \varphi_n). \quad (2.10)$$

Funkcje te wyprowadzono dla następujących warunków brzegowych:

- 1)  $F_n \rightarrow 1$  dla  $\varphi_0 \rightarrow 0$ , belka ciągła bez elementów składowych;
- 2)  $F_n \rightarrow 0$  dla  $\varphi_0 \rightarrow \varphi_n$ , układ ciągły ulega przekształceniu w układ belek wolnopodpartych.

Uwzględniając powyższe warunki brzegowe, wzory na funkcję kompensacji dla przedstawionych wyżej dwumianów przyjmą postać:

postać 1: 
$$F_n = 1 - \frac{\varphi_0}{\varphi_n}, \quad (2.11)$$

postać 2: 
$$F_n = 1 - \frac{2\varphi_0}{\varphi_n + \varphi_0}. \quad (2.12)$$

Kąt obrotu  $\varphi_0$  proponuje się ustalić z badań doświadczalnych przęsła zmontowanego z konstrukcji przewidzianej do budowy obiektu. Kąt obrotu  $\varphi_0$  obliczamy ze wzoru:

$$\varphi_0 = \frac{8y_k}{Lm}, \quad (2.13)$$

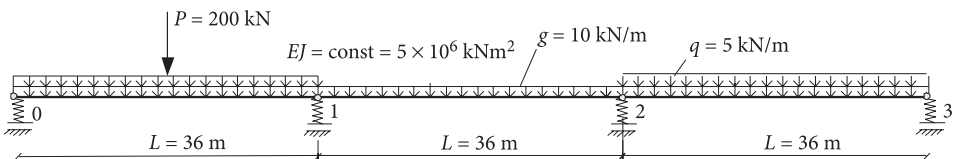
gdzie:  $y_k$  — zmierzone ugięcie w środku dźwigara doświadczalnego od siły powodującej zamknięcie się luzów, które spowodują zwanie dźwigara;  
 $m$  — liczba składników w przęśle doświadczalnym;  
 $L$  — rozpiętość przęśla doświadczalnego.

Ustalony w ten sposób kąt obrotu  $\varphi_0$  jest bardziej wiarygodny niż wynikający z pomiarów średnic i otworów złącz. W konstrukcjach wielokrotnie używanych parametry te są wielkościami statystycznymi co do wymiarów i rozmieszczenia w konstrukcji. Również w niektórych konstrukcjach mamy więcej niż dwie płaszczyzny złącz (np. w moście DMS-65 trzy płaszczyzny), wówczas ustalenie kąta obrotu  $\varphi_0$  metodą klasyczną może sprawiać trudności z uwagi na odstępstwo od typowych rozwiązań, w których płaszczyzny złącz występują w zasadzie w skrajnych pasach dźwigarów składanych.

### 3. Rozwiązanie szczególne dla belki składanej trójprzęsłowej

#### 3.1. Belki na podporach sztywnych

Dla rozważań pracy mostu składanego trójprzęsłowego przyjęto schemat statyczny dla części rzeźnej mostu jako belki trzyprzęsłowej na podporach sprężystych (rys. 3.1). Do rozwiązania belki na sztywnych podporach wykorzystano równanie (2.5), przyjmując następujące założenia: sprężystość podpór  $k_0 = k_1 = k_2 = k_3 \rightarrow \infty$  (podpory sztywne), sztywność i rozpiętość przęseł jest stała. Dla stałej sprężystości podpór i dążącej do nieskończoności, kąt obrotu  $\varphi_{n\Delta} = 0$ .



Rys. 3.1. Schemat statyczny rozwiązania szczególnego

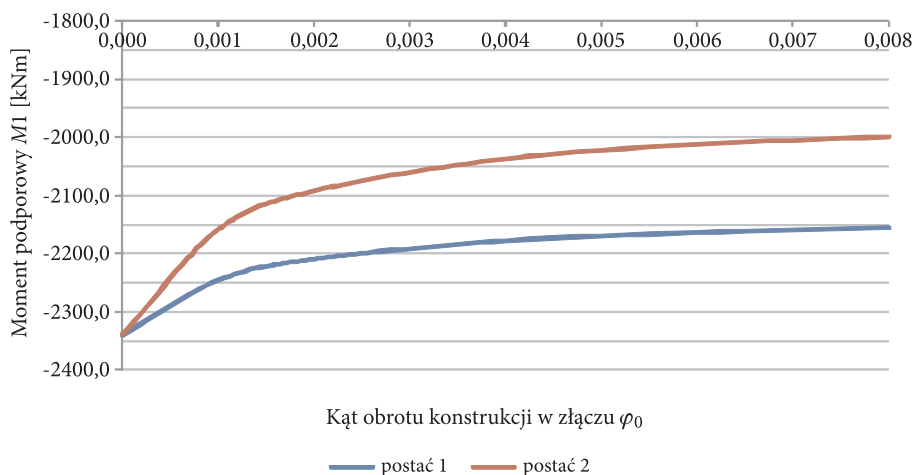
Dla podanych założeń równanie (2.5) przyjmie poniższą postać układu równań:

$$4M_1 + M_2 = -\frac{6\bar{R}_1}{L} F_1, \quad M_1 + 4M_2 = -\frac{6\bar{R}_2}{L} F_2. \quad (3.1)$$

Z układu dwóch równań (3.1) wyznaczamy momenty podporowe  $M_1$  i  $M_2$  w postaci wyrażeń:

$$M_1 = -\frac{24\bar{R}_1}{15L} F_1 + \frac{6\bar{R}_2}{15L} F_2, \quad M_2 = -\frac{24\bar{R}_2}{15L} F_2 + \frac{6\bar{R}_1}{15L} F_1. \quad (3.2)$$

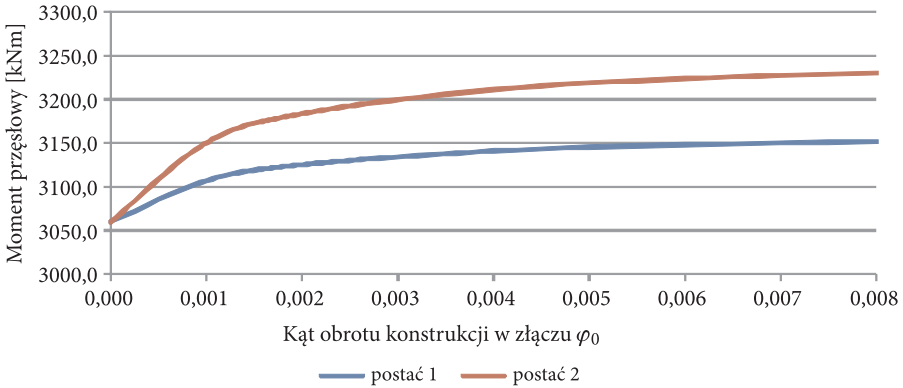
Wzory (3.2) pozwoliły na przeprowadzenie obliczeń momentów podporowych dla dwóch wcześniej podanych postaci funkcji kompensacji. Wyniki przedstawiono na rysunku 3.2 dla momentów podporowych w zależności od luzów dla dwóch postaci funkcji kompensacji ( $F_n$ ) oraz na rysunku 3.3 dla maksymalnego momentu przęsłowego pod siłą w pierwszym przęśle. Maksymalna różnica momentów obliczonych dwiema różnymi funkcjami kompensacji momentów podporowych wynosi około 7% (dla  $\varphi_0 = 0,008$ ) momentu podporowego dla belki ciągłej bez luzów. Dla  $\varphi_0 = 0,001$  różnica wynosi tylko 4%. Stąd wniosek, że dla konstrukcji wyeksploatowanych, gdzie występują duże luzy, postać funkcji kompensacji momentów podporowych ma już istotny wpływ na wartości sił wewnętrznych. W związku z tym należy podjąć starania w kierunku precyzyjnego ustalenia tej funkcji.



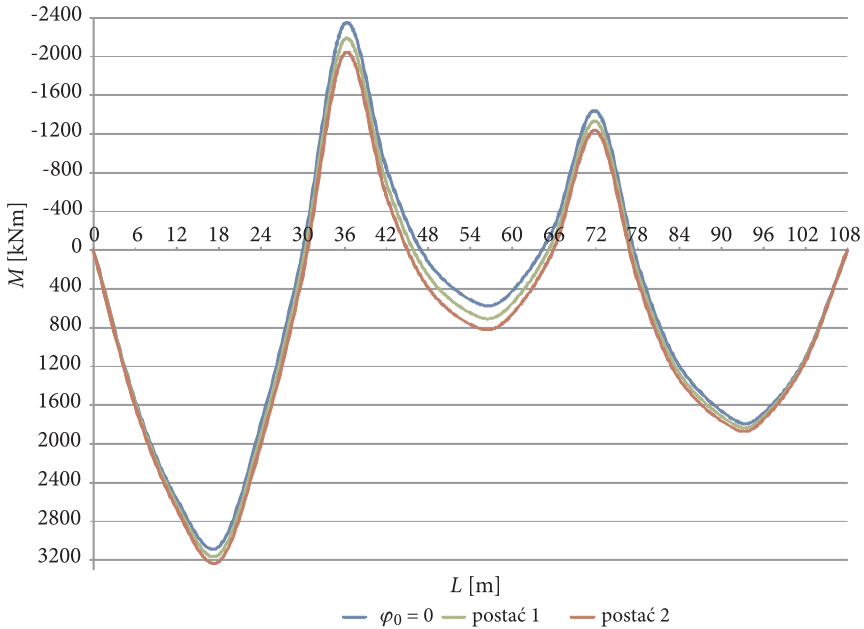
Rys. 3.2. Zależność momentu podporowego  $M_1$  od kąta obrotu konstrukcji w złączu

Na rysunku 3.4 przedstawiono wykresy momentów dla belki sztywnej ( $\varphi_0 = 0$ ) oraz dla obu postaci funkcji kompensacji momentów podporowych  $F_n$  ( $\varphi_0 = 0,004$ ).

Z analizy wykresów widać, że funkcja ( $F_n$ ) zmienia jakościowo uzyskane wartości momentów. Stąd wniosek, że dalsze poszukiwanie tej funkcji metodą teoretyczną nie przyniesie pożądanych efektów. Wiarygodne ustalenie tej funkcji można uzyskać jedynie przez przeprowadzenie badań na wcześniej przygotowanym modelu.



Rys. 3.3. Zależność momentu przęsłowego  $M_{0-1}$  od kąta obrotu konstrukcji w złączeniu

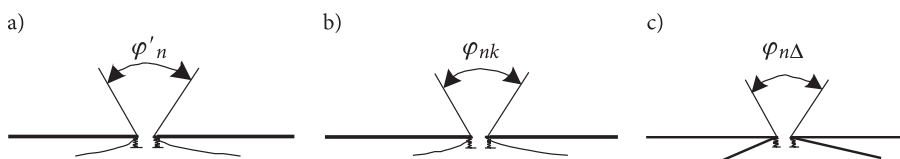


Rys. 3.4. Wykres momentów dla belki trójprzęsłowej

### 3.2. Belka na podporach sprężystych

Dla tego przypadku schemat belki wraz z obciążeniem z rysunku 3.1 rozwiązano, korzystając z pełnej postaci równania (2.5) z nowymi funkcjami kompensacji momentów podporowych wyprowadzonych poniżej na podstawie wyrażień (2.11) i (2.12). Przy przyjęciu funkcji kompensacji dla belek na podporach sprężystych uwzględniono dodatkowo kąt obrotu od osiadania podpór  $\varphi_{n\Delta}$  (rys. 3.5c).





Rys. 3.5. Kąty obrotu na  $n$ -tej podporze: a) od obciążeń; b) od luzów; c) od osiadania podpór

Całkowity kąt obrotu na  $n$ -tej podporze wynosi

$$\varphi_{np} = \bar{\varphi}_n + \varphi_{nk} + \varphi_{n\Delta}. \quad (3.3)$$

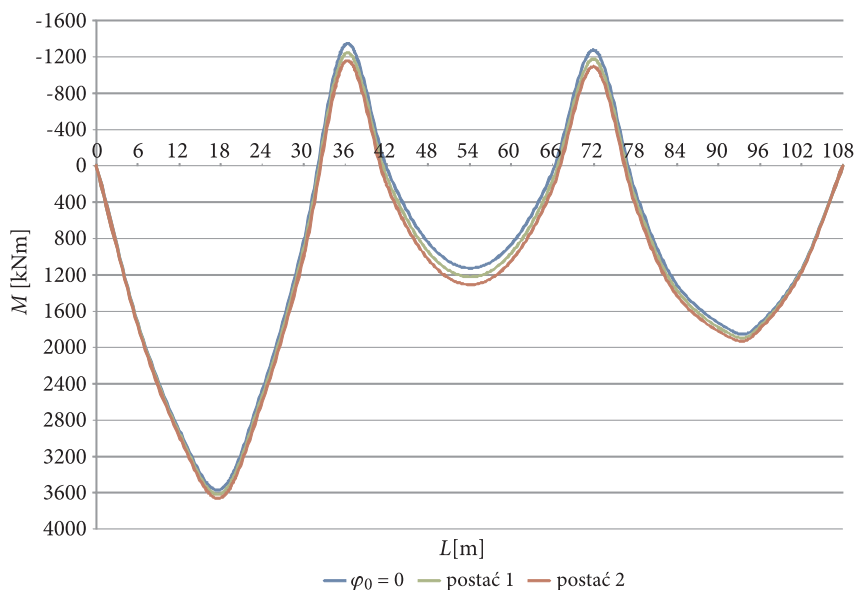
Stąd funkcje kompensacji momentów podporowych przyjmą wartości:

postać 1: 
$$F_n = 1 - \frac{\varphi_0}{\varphi_{np}}, \quad (3.4)$$

postać 2: 
$$F_n = 1 - \frac{2\varphi_0}{\varphi_{np} + \varphi_0}. \quad (3.5)$$

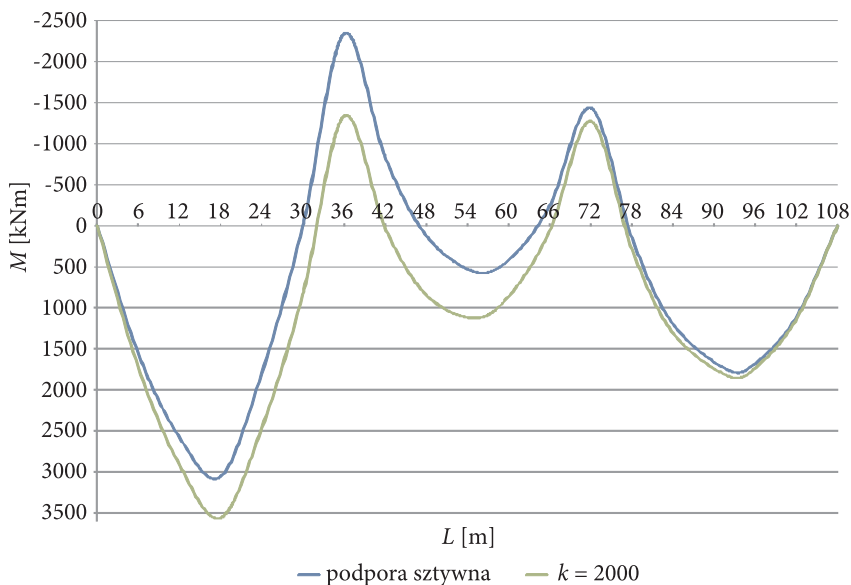
Dla rozwiązania równania (2.5) wykorzystane zostaną powyższe funkcje kompensacji momentów podporowych.

Na rysunku 3.6 przedstawiono wykresy momentów dla belki trójprzęsłowej o sprężystości podpór  $k = 2000$  kN/m.

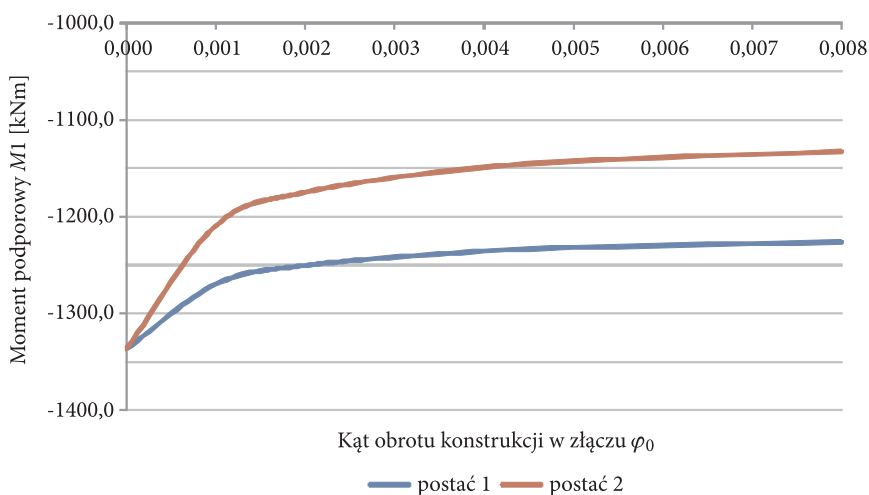


Rys. 3.6. Wykres momentów dla belki trójprzęsłowej dla  $\varphi_0 = 0,004$  i  $k = 2000$  kN/m

Na rysunku 3.7 przedstawiono wykres momentów dla podpór sztywnych (oznaczone kolorem niebieskim) oraz dla podpór o sprężystości  $k = 2000$  kN/m (oznaczone kolorem zielonym). Jak widać z tego wykresu, podpory sprężyste powodują zmniejszenie momentów podporowych, a zwiększenie przęsłowych w stosunku do belki na podporach sztywnych.



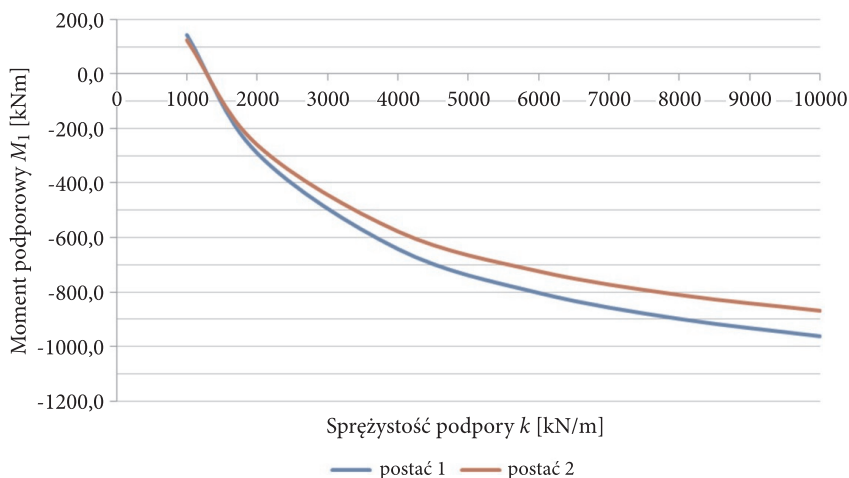
Rys. 3.7. Wykres momentów dla belki trójprzęsłowej dla różnych sprężystości podpór



Rys. 3.8. Wykres zależności momentu podporowego  $M_1$  od kąta obrotu ogniwa w złączy

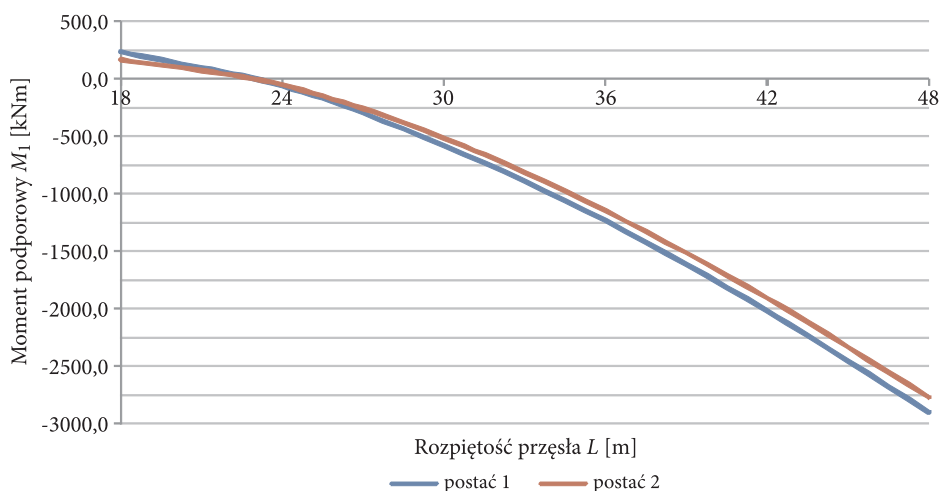
Wykonane wykresy przebiegu momentów podporowych  $M_1$  dla belki na podporach sprężystych (rys. 3.8) wskazują, że różnica wartości momentów w zależności od przyjętej postaci funkcji wynosi około 8% dla  $\varphi_0 = 0,008$  oraz 4% dla  $\varphi_0 = 0,001$ .

Wpływ sprężystości podpór na przebieg momentu podporowego  $M_1$  zaprezentowano na rysunku 3.9.



Rys. 3.9. Wykres zależności momentu podporowego  $M_1$  od sprężystości podpór

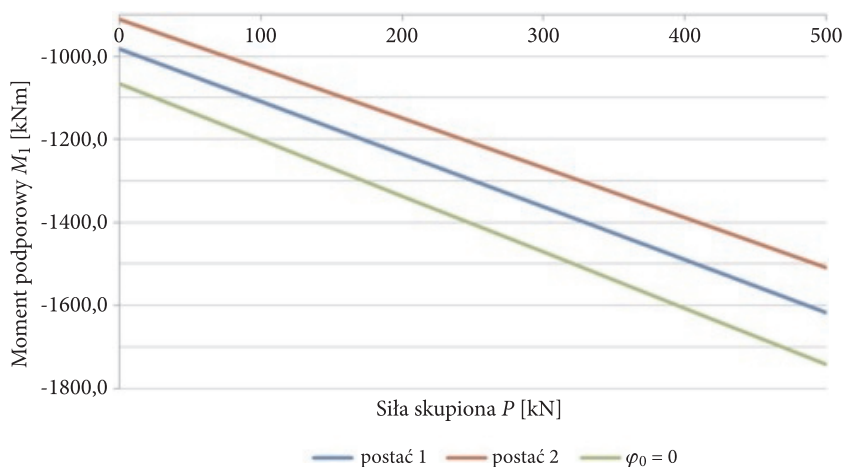
Z wykresu tego widać, że obniżanie sprężystości podpór powoduje, że maleją również momenty podporowe, przechodząc nawet na wartości dodatnie.



Rys. 3.10. Wykres zależności momentu podporowego  $M_1$  od rozpiętości przęsła

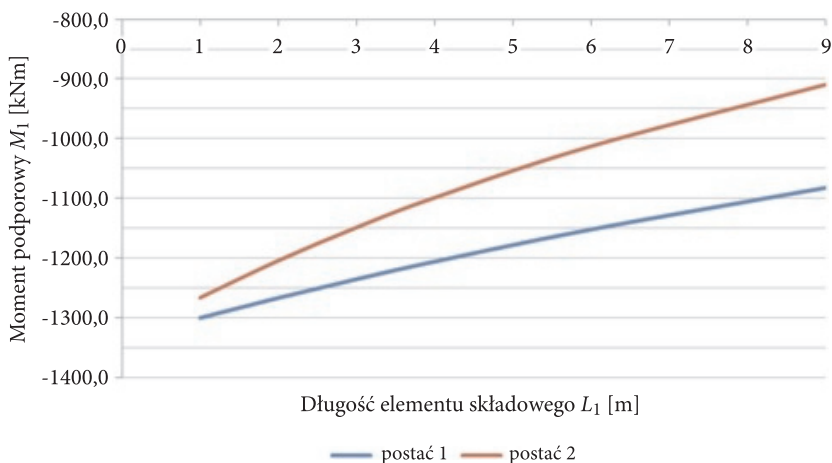
Przy wzrastającej rozpiętości przęseł (rys. 3.10) moment podporowy rośnie. Natomiast przy krótkich przęsłach, jak widać na rysunku dla rozpiętości 24 m, zmienia znak na dodatni.

Z wykresu 3.11 można zauważyć, że różnica między wartościami momentów podporowych dla obu funkcji kompensacji wynosi około 6% niezależnie od wartości siły skupionej  $P$ .



Rys. 3.11. Wykres zależności momentu podporowego  $M_1$  od wartości siły skupionej  $P$

Na rysunku 3.12 przedstawiono wpływ długości elementu składowego na wartości momentów podporowych  $M_1$ .



Rys. 3.12. Wykres zależności momentu podporowego  $M_1$  od długości elementu składowego

Długość elementu składowego ma istotny wpływ na różnicę momentów podporowych uzyskanych z wcześniej przedstawionych funkcji kompensacji momentów podporowych, a mianowicie dla elementów o długości 9 m różnica wynosi około 13%, a dla elementów o długości 1 m 4%. Dla typowych elementów 3 m wynosi 6,5%.

#### 4. Podsumowanie i perspektywy przyszłych badań

W podsumowaniu przedstawiono następujące wnioski wynikające z przeprowadzonych wcześniej analiz:

- 1) Stosowane dotychczas funkcje kompensacji momentów podporowych wykazują w obliczeniach rozbieżności dochodzące w niektórych przypadkach do 12% wartości momentu podporowego dla belki na sztywnych podporach.
- 2) Przeprowadzone analizy wpływu luzów na wielkość momentów pokazują tendencje ich przebiegu dla różnych parametrów konstrukcji. Jest to bardzo ważny element do przyszłej oceny eksploatacyjnej tych konstrukcji. Luz staje się parametrem eksploatacyjnym, który wraz z użytkowaniem zwiększa się, co prowadzi do innego rozkładu momentów niż w nowej konstrukcji.
- 3) Do analizy statycznej mostów składanych zastosowano klasyczną metodę pięciu momentów. Algorytm tej metody pozwoli na opracowanie oryginalnego programu komputerowego, który posłuży do wykonywania szybkiej oceny eksploatacyjnej tego typu mostów.

Perspektywa dalszych badań obejmuje:

- 1) Przeprowadzenie badań na modelach mostu składanego z luzami na podporach stałych (rys. 4.1) i sprężystych (rys. 4.2) oraz jako wstęga (rys. 4.3) umożliwiających jednoznaczne ustalenie funkcji kompensacji momentów podporowych.



Rys. 4.1. Model mostu składanego na podporach stałych



Rys. 4.2. Model mostu składanego na podporach sprężystych



Rys. 4.3. Model mostu typu wstęga

- 2) Wykonanie precyzyjnych pomiarów ugięć i naprężeń w badanych modelach dla różnych luzów i schematów obciążeń pozwoli na jednoznaczne określenie funkcji kompensacji momentów podporowych, która będzie stanowić podstawę w dalszych rozważaniach w tym temacie.
- 3) Opracowanie programu komputerowego do obliczania wieloprzęślowych konstrukcji składanych z luzami na podporach stałych, sprężystych i typu wstęgi. Program ten umożliwi dokonanie oceny eksploatacyjnej tych konstrukcji.

Tematyka zawarta w tym artykule zostanie rozwinięta w planowanej pracy doktorskiej mjr. mgr. inż. Mieczysława Piechoty.

#### LITERATURA

- [1] Z. BURSZTYNOWSKI, *Mosty składane. Podstawy obliczeń*, PWN, Warszawa, 1985.
- [2] Z. BURSZTYNOWSKI, *Mosty pływające na oddzielnych podporach*, WAT, Warszawa, 1988.
- [3] R. CHMIELEWSKI, J. MARSZAŁEK, *Ochrona ludności przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*, pkt 11. *Zastosowanie mostów składanych do odbudowy zniszczonej infrastruktury komunikacyjnej*, WAT, Warszawa, 2010, 507-521.
- [4] J. JARZYNA, J. MARSZAŁEK, M. PIECHOTA, *Inżynieria bezpieczeństwa — Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*, Zastosowanie kolejowych mostów składanych w sytuacjach kryzysowych, XXVI Międzynarodowa konferencja N-T „EKOMILITARIS 2012”, Zakopane, 2012, 207-216.
- [5] J. JARZYNA, J. MARSZAŁEK, M. PIECHOTA, *Inżynieria bezpieczeństwa — Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*, Zastosowanie wojskowego sprzętu przeprawowego w sytuacjach kryzysowych, XXVI Międzynarodowa konferencja N-T „EKOMILITARIS 2012”, Zakopane, 2012, 196-206.
- [6] J. MARSZAŁEK i in., *Mosty składane. Projektowanie, badania i eksploatacja*, Podręcznik, GDDKiA i WAT, Warszawa, 2005.

J. MARSZAŁEK, M. PIECHOTA

#### **Static analysis of multi-span folding bridges at their various support conditions**

**Abstract.** The paper includes the methodology used for calculations of folding bridges on elastic supports. Presented algorithms allow for a wider analysis including bridges on rigid supports or continuous ribbons. Calculations relate to effect of assembly clearances on various parameters related to geometries of structures and conditions of their work. These calculations were carried out for two occurring compensation functions of moments at supports. The obtained results differ from each other by a certain percentage. Therefore, experimental studies on the folding bridge model is proposed that will allow for an unambiguous determination of the value of those functions for beams on rigid and elastic supports, as well as for continuous ribbon bridges.

**Keywords:** folding bridges, assembly clearances, compensation functions of moments at supports