



Metoda szybkiej oceny nośności mostów składanych opartych na podporach pływających

JAN MARSZAŁEK, MIECZYŚLAW PIECHOTA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, Instytut Inżynierii Lądowej,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, jmarszalek@wat.edu.pl, mpiechota@wat.edu.pl

Streszczenie. Artykuł obejmuje metodykę szybkiej oceny nośności mostów składanych opartych na podporach pływających. Mosty kombinowane budowane w ten sposób mogą być wykorzystane jako przeprawy tymczasowe. Metodykę tej oceny przedstawiono graficznie w oparciu o nomogramy opracowane dla dwóch istniejących konstrukcji mostów składanych, tj. MS-54 oraz DMS-65, montowanych na podporach sztywnych i pływających. Nomogramy te w prosty i szybki sposób pozwolą określić, jaki wpływ na nośność mostu ma zastąpienie podpór sztywnych pływającymi przy różnych rozpiętościach przęseł. Przedstawiono także wpływ długotrwałej eksploatacji (powiększających się luzów montażowych w złączach tych konstrukcji składanych) na nośność mostu.

Słowa kluczowe: budownictwo, mosty składane, nomogramy, luzy montażowe

DOI: 10.5604/12345865.1131468

1. Wprowadzenie

1.1. Opis problemu

W literaturze [4] przedstawiono nomogramy do szybkiej analizy ugięć i nośności przęseł mostów składanych na podporach stałych. Opracowane zostały na podstawie analizy numerycznej pojazdu poruszającego się z określoną prędkością po wstępnie kinematycznie zdeformowanej konstrukcji mostu. Odniesiono się do ogólnych charakterystyk typowych dla tego typu konstrukcji.

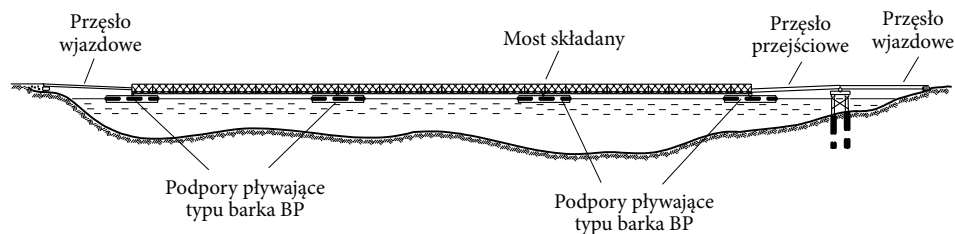
W niniejszym artykule zaprezentowano praktyczne wykorzystanie nomogramów do szybkiej analizy nośności istniejących konstrukcji mostów składanych MS-54 i DMS-65 montowanych na podporach pływających. Zakres nomogramów obejmuje

wykorzystanie jako podpory pływające barek pokładowych BP-150M oraz bloków pontonowych z parku pontonowego PP-64. Zastąpienie podpór stałych pływającymi pozwoli na szybsze wykonanie przeprawy na głębokich przeszkodach wodnych, gdzie budowa podpór stałych jest technicznie wysoce utrudniona lub bardzo pracochłonna. Zaproponowana konstrukcja mostu kombinowanego umożliwi szybkie przywracanie zdolności eksploatacyjnych ciągów drogowych w wypadku klęsk żywiołowych i awarii mostów stałych. Taka konstrukcja mostu może być również wykorzystana jako pomost roboczy przy budowie podpór mostu stałego. Zestaw ten umożliwi ruch pojazdów technicznych i samochodów ze sprzętem i materiałami niezbędnymi do budowy tego elementu przeprawy stałej. Przedstawione w części zasadniczej nomogramy uwzględniają również wpływ długotrwałej eksploatacji związanej z powiększaniem się luzów montażowych (międzyogniwowych) na wytrzymałość konstrukcji.

Część zasadniczą poprzedzono rozdziałem, w którym opisano krótkie charakterystyki przedmiotowego sprzętu. Następnie przedstawiono założenia do opracowania nomogramów.

1.2. Opis analizowanej przeprawy

Przykładowy schemat mostu kombinowanego zbudowanego z mostów składowanych na podporach podatnych w postaci barek pływających przedstawiono na rysunku 1.1.



Rys. 1.1. Schemat przeprawy kombinowanej z wykorzystaniem barek BP

Mosty kombinowane budowane z wykorzystaniem barek składają się z części rzecznej, brzegowej i przejściowej.

Część rzeczną stanowić będzie most pływający złożony z członów mostowych, przechodzących przez głębokowodną część przeszkody. Może być w postaci wstęgi ciągłej pływającej w układach wolnopodpartych, ciągłych, wspornikowych oraz przegubowo-wspornikowych.

Część brzegową wykonuje się w postaci odcinka mostu na podporach sztywnych lub regulowanych w zależności od warunków gruntowo-wodnych oraz w postaci estakady.

Część przejściowa to odcinki przęsłowe zapewniające płynny przejazd pojazdów ze sztywnej części brzegowej na osiadającą część rzeczną.

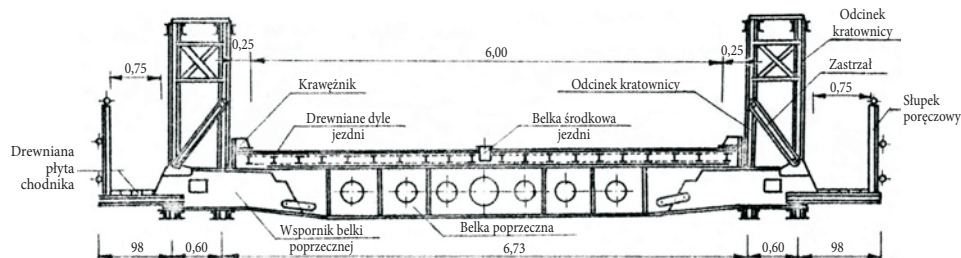
Załamaniem profilu jezdni mostu na stykach części przejściowej z pływającą i brzegową wymaga stosowania połączeń przegubowych.

Do budowy mostów kombinowanych wykorzystuje się barki pchane pełne pokładowe typu BPP oraz otwarte pokładowe typu BP. Barki te mogą występować w przeprawie mostowej w systemie wolnopodpartym, ciągłym, przegubowym i przegubowo-wspornikowym w części rzecznej pływającej [5].

2. Ogólne charakterystyki sprzętu

2.1. Most składany MS-54

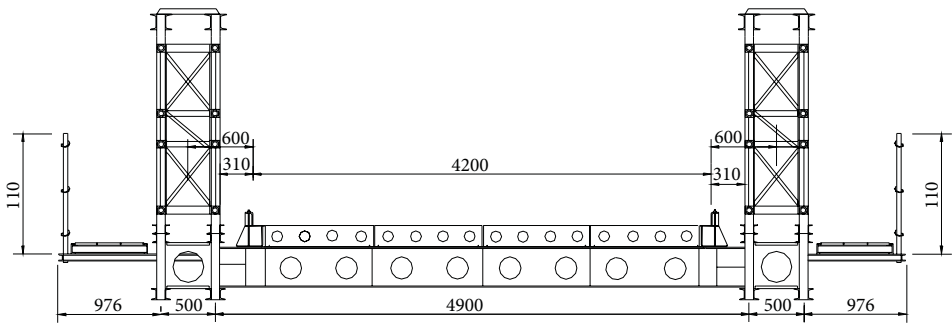
Konstrukcja mostu MS-54 jest kompletowana w zestawy umożliwiające budowę 108 m mostu. Z zestawu mostu buduje się mosty dwukierunkowe pod obciążenie gąsienicowe 400 kN lub jednokierunkowe pod obciążenie 400-800 kN. Przekrój poprzeczny mostu przedstawiono na rysunku 2.1, a jego szczegółową charakterystykę opisano w literaturze [4].



Rys. 2.1. Przekrój poprzeczny mostu składanego MS-54 w układzie ścian podwójnych [4]

2.2. Drogowy most składany DMS-65

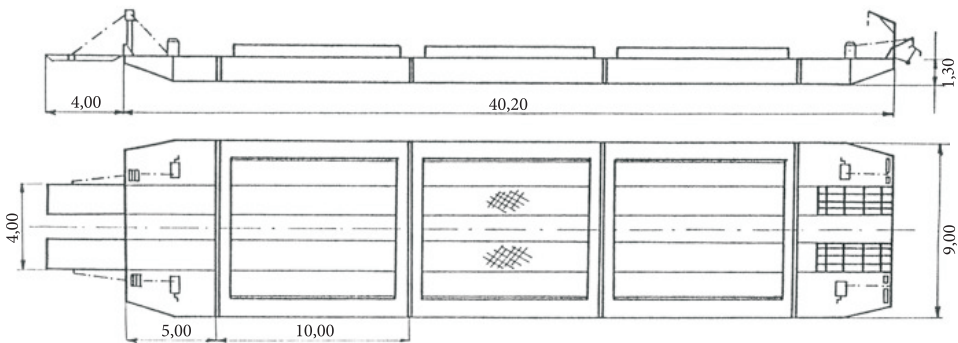
Zestaw mostu DMS-65 przeznaczony jest do szybkiej i wielokrotnej budowy i odbudowy zniszczonych wysokowodnych mostów o różnej długości na dowolnych podporach. Most ten może być stosowany również w gospodarce narodowej do szybkiej budowy tymczasowych i półstałych mostów. W zestaw wchodzi konstrukcja przęsłowa w układzie podstawowym o łącznej długości 99 m + 6 m w układzie przęsł wjazdowych. Przekrój poprzeczny mostu pokazano na rysunku 2.2. Obszerniejszą charakterystykę tego mostu opisano w literaturze [4].



Rys. 2.2. Przekrój poprzeczny mostu DMS-65 w układzie podstawowym [4]

2.3. Barka BP-150M

Barka BP-150M składa się z pięciu segmentów (rys. 2.3) — trzech segmentów powtarzalnych, w tym jednego środkowego i dwóch skrajnych, oraz dwóch segmentów końcowych, przystosowanych do przenoszenia obciążeń ciągłych i skupionych. Barki BP-150M mogą być wykorzystane do budowy kolejowych i drogowych mostów pływających oraz jako samodzielne podpory pływające. Wymiary konstrukcyjne barki BP-150 M opisano w literaturze [4].

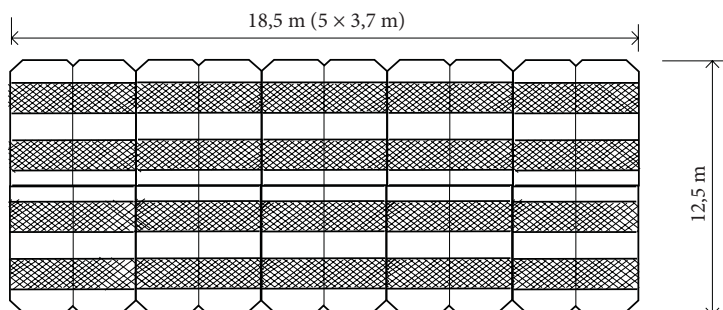


Rys. 2.3. Schemat barki BP-150M [4]

2.4. Park pontonowy PP-64

Park pontonowy PP-64M jest środkiem przeprawowym przeznaczonym do urządzania tymczasowych przepraw mostowych i promowych systemu ciągłego. Ze sprzętu parku pontonowego można budować na naturalnych i sztucznych przeszkodach wodnych promy przewozowe i mosty pontonowe, które umożliwiają przeprawę gąsienicowych i kołowych pojazdów mechanicznych o masie całkowitej do 80 t. W zestawie parku znajduje się m.in. 48 kompletów bloków pontonowych i 6 kompletów bloków pontonowych brzegowych.

Z bloków pontonowych pływających możemy budować podpory pływające o różnych wymiarach ($n \times 12,5 \times 3,7$ m). Schemat takiej podpory przedstawiono na rysunku 2.4 dla $n = 5$.



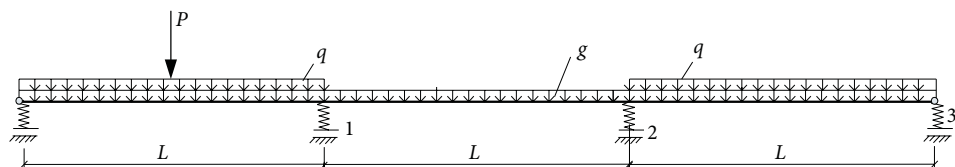
Rys. 2.4. Schemat podpory pływającej z bloków pontonowych z zestawu parku PP-64

3. Nomogramy do oceny nośności mostów składanych na podporach pływających

3.1. Założenia wyjściowe

Podstawą do opracowania nomogramów był schemat części rzecznej danego typu trójprzęsłowego mostu składanego na podporach pływających obciążonego siłą skupioną w środku pierwszego przęsła. Przyjęty schemat obciążenia jest najbardziej niekorzystny dla określenia nośności takiego typu mostu kombinowanego. Analizę momentów zginających w pierwszym przęśle przeprowadzono w oparciu o maksymalną wytrzymałość dźwigarów, sztywność giętną, obciążenie ciężarem własnym oraz obciążenie ruchome właściwe dla danej konstrukcji mostu.

Nomogramy te przedstawiają wielkości maksymalnych momentów zginających w zależności od rozpiętości przęseł, rodzaju zastosowanej podpory oraz wartości siły obciążającej. Uwzględniono również wpływ zużycia eksploatacyjnego w złączach (powiększające się luzy montażowe) na nośność mostu. Wielkości tych momentów przedstawiono przy pomocy współczynnika α , który określa stopień wykorzystania nośności mostu przy danym wariancie.



Rys. 3.1. Schemat statyczny mostów składanych na podporach pływających

Do analizy momentów wykorzystano równanie równowagi (3.1) w klasycznej metodzie pięciu momentów, z uwzględnieniem luzów w złączach i podatności podpór.

$$\begin{aligned}
 & M_{n-2} \frac{1}{k_{n-1} L_n L_{n-1}} + M_{n-1} \left[\frac{L_n}{6EJ_n} - \frac{L_n}{k_{n-1} L_n} \left(\frac{1}{L_{n-1}} + \frac{1}{L_n} \right) - \frac{1}{k_n L_n} \left(\frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right) \right] + \\
 & + M_n \left[\frac{L_n}{3EJ_n} + \frac{L_{n+1}}{3EJ_{n+1}} + \frac{1}{k_{n-1} L_n^2} + \frac{1}{k_n} \left(\frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right)^2 + \frac{1}{k_{n+1} L_{n+1}^2} \right] + \\
 & + M_{n+1} \left[\frac{L_{n+1}}{6EJ_{n+1}} - \frac{1}{k_n L_{n+1}} \left(\frac{1}{L_n} + \frac{1}{L_{n+1}} \right) - \frac{1}{k_{n+1} L_{n+1}} \left(\frac{1}{L_{n+1}} + \frac{1}{L_{n+2}} \right) \right] + \\
 & + M_{n+2} \frac{1}{k_{n+2} L_{n+1} L_{n+2}} = -F_{ns} (\bar{\varphi}_n + \varphi_{n\Delta}),
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

gdzie: M_n — moment podporowy na n -tej podporze;
 L_n — rozpiętość n -tego przęsła;
 EJ_n — sztywność giętna n -tego przęsła;
 k_n — współczynnik charakteryzujący sprężyste właściwości podpory pływającej i odpowiadający sile wywołującej jednostkowe przemieszczenie n -tej podpory;
 F_{ns} — funkcja kompensacji momentów podporowych wg wzoru 3.145 [1];
 $\bar{\varphi}_n$ — kąt obrotu sprężystego belki w złączu na n -tej podporze od obciążeń zewnętrznych;
 $\varphi_{n\Delta}$ — kąt obrotu na n -tej podporze wywołany osiadaniami podpór wg wzoru 2.3 [1].

W przeprowadzonej analizie uwzględniono jednakowy układ konstrukcyjny na całej długości mostu, równe rozpiętości przęseł oraz zastosowanie tego samego rodzaju podpór. Uwzględniając powyższe założenia dla mostu trójprzęsłowego: $EJ = \text{const}$, $L_1 = L_2 = L_3 = L$ oraz $k_1 = k_2 = k_3 = k$, otrzymano układ równań (3.2).

$$\begin{aligned}
 & M_1 \left[\frac{2L}{3EJ} + \frac{6}{kL^2} \right] + M_2 \left[\frac{L}{6EJ} - \frac{4}{kL^2} \right] = -F_{1s} (\bar{\varphi}_1 + \varphi_{1\Delta}), \\
 & M_1 \left[\frac{L}{6EJ} - \frac{4}{kL^2} \right] + M_2 \left[\frac{2L}{3EJ} + \frac{6}{kL^2} \right] = -F_{2s} (\bar{\varphi}_2 + \varphi_{2\Delta}).
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Powyższy układ równań rozwiązano metodą wyznaczników obliczania macierzy w arkuszu Microsoft Exel. W nomogramach uwzględniono trzy typy podpór:

sztyną, barkę pokładową BP-150M o współczynniku sprężystości k_b równym 4000 kN/m^2 , podpory zmontowane z bloków pontonowych PP-64 o współczynniku sprężystości k_p równym 2000 kN/m^2 . Przedstawione na nomogramach dwie osie momentów dotyczą konstrukcji nowej o kącie obrotu $\varphi_0 = 0,001$ oraz wyeksploatowanej ($\varphi_0 = 0,004$).

3.2. Nomogram do oceny nośności mostu składanego MS-54

Zamieszczony na rysunku 3.2 nomogram opracowano graficznie dla schematu (rys. 3.1), przy założeniach wyjściowych z podpunktu 3.1, przyjęto parametry konstrukcyjne dla mostu MS-54, tj. sztywność przęsła $EJ = 5,838 \times 10^6 \text{ kNm}^2$, obliczeniowe obciążenie ruchome $q = 13,8 \text{ kN/m}$, obliczeniowy ciężar konstrukcji $g = 36,16 \text{ kN/m}$. Maksymalny moment przęsłowy wynosi $M_{\max} = 12\,712 \text{ kNm}$.

Poniżej przedstawiono przykłady praktycznego wykorzystania nomogramu:

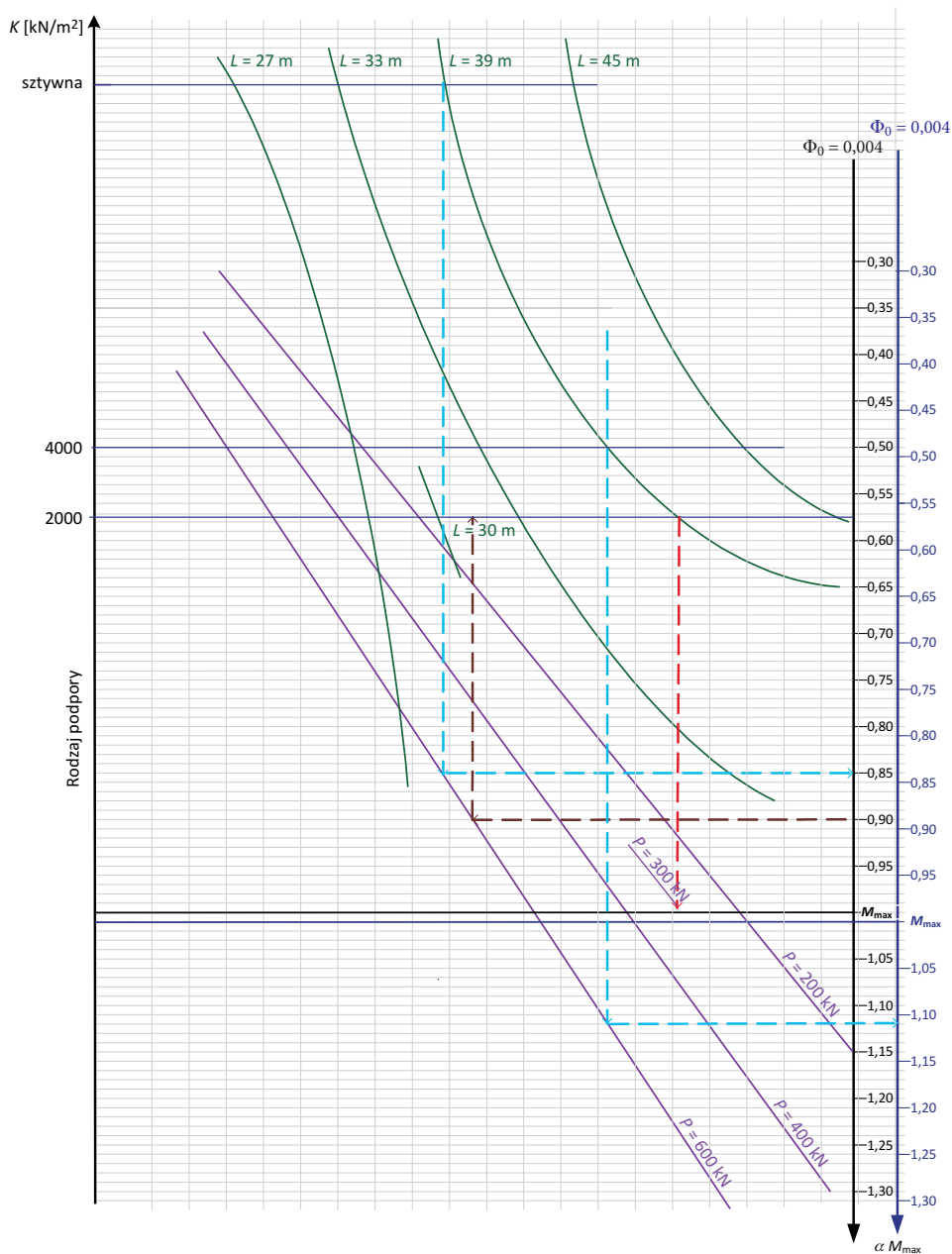
- Dla mostu trójprzęsłowego ($3 \times 39 \text{ m}$), na stałych podporach i obciążeniu dźwigara siłą skupioną $P = 600 \text{ kN}$, nośność mostu wykorzystana jest w około 84% w nowej konstrukcji i 85% w wyeksploatowanej. Gdy zastąpimy podpory stałe pływającymi typu barka BP-150M ($k = 4000 \text{ kN/m}^2$), nośność mostu zostaje przekroczone o odpowiednio 11% i 12%. Tok postępowania zaznaczono niebieską linią przerywaną.
- Uwzględniając 10% zapas nośności w moście składanym montowanym na podporze pływającej z bloków pontonowych parku PP-64 ($k = 2000 \text{ kN/m}^2$) i dopuszczając maksymalne obciążenie siłą skupioną $P = 600 \text{ kN}$, maksymalna rozpiętość przęsła wynosi 30 m. Tok postępowania przedstawiono brązową linią przerywaną.
- Dla mostu trójprzęsłowego ($3 \times 39 \text{ m}$) montowanego na podporze pływającej z bloków pontonowych parku PP-64 ($k = 2000 \text{ kN/m}^2$) maksymalne obciążenie siłą skupioną jest równe 300 kN (wartość interpolowana). Tok postępowania zaznaczono czerwoną linią przerywaną.

3.3. Nomogram do oceny nośności mostu składanego DMS-65

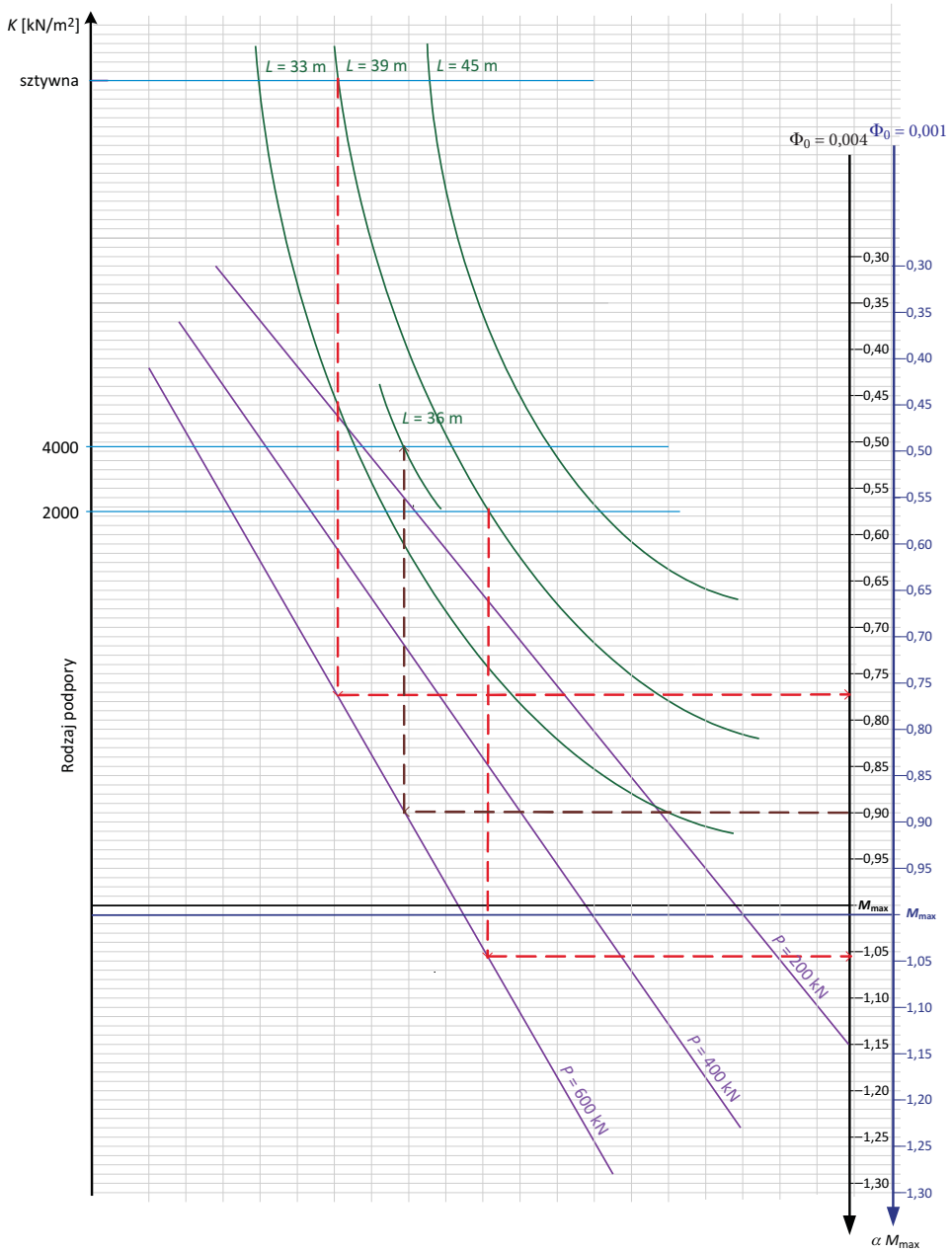
Zamieszczony na rysunku 3.3 nomogram opracowano graficznie dla schematu (rys. 3.1). Przy założeniach wyjściowych z podpunktu 3.1 przyjęto parametry konstrukcyjne dla przęsła mostu DMS-65, tj. sztywność przęsła $EJ = 9,922 \times 10^6 \text{ kNm}^2$, obliczeniowe obciążenie ruchome $q = 9,66 \text{ kN/m}$, obliczeniowy ciężar konstrukcji $g = 18,572 \text{ kN/m}$. Maksymalny moment przęsłowy wynosi $M_{\max} = 10\,730 \text{ kNm}$.

Poniżej przedstawiono przykłady praktycznego wykorzystania nomogramu:

- Dla mostu trójprzęsłowego ($3 \times 39 \text{ m}$), na stałych podporach i obciążeniu dźwigara siłą skupioną $P = 600 \text{ kN}$, nośność mostu wykorzystana jest w około 77% w konstrukcji wyeksploatowanej. Zastępując podpory stałe



Rys. 3.2. Nomogram do oceny nośności mostu składanego MS-54



Rys. 3.3. Nomogram do oceny nośności mostu składanego DMS-65

plywającymi z bloków pontonowych parku PP-64, nośność mostu zostanie przekroczona o około 5%. Tok postępowania zaznaczono czerwoną linią przerywaną.

- Uwzględniając 10% zapas nośności w moście składanym montowanym na podporze pływającej typu barka BP-150M ($k = 4000 \text{ kN/m}^2$) i dopuszczając maksymalne obciążenie siłą skupioną $P = 600 \text{ kN}$, maksymalna rozpiętość przęsła wynosi 36 m (wartość interpolowana). Zastępując podpory typu barka BP-150M podporami z bloków pontonowych parku PP-64, maksymalna rozpiętość przęsła wyniesie 33 m. Tok postępowania przedstawiono brązową linią przerywaną.

Podsumowanie

1. Przedstawione w tym artykule nomogramy pozwolą na szybką analizę wykorzystania istniejących składanych konstrukcji mostowych podczas urządzania przepraw na głębokich przeszkodach wodnych z wykorzystaniem różnych typów podpór pływających.
2. Przykłady praktycznego korzystania z nomogramów przedstawione w punkcie 3 wskazują na szeroki zakres ich stosowania. Będą wykorzystywane szczególnie do wyznaczania dopuszczalnych rozpiętości przęseł, które będą mniejsze niż w układzie podpór sztywnych.
3. Zastąpienie podpór stałych pływającymi zmniejszy dopuszczalne rozpiętości przęseł oraz dopuszczalne obciążenie na moście, pozwoli jednak na szybsze urządzenie przepraw tymczasowych.
4. W mostach składanych na podporach podatnych wpływ przyrostu luzów na obniżenie nośności jest praktycznie do pominięcia.
5. Przyrost luzów ma decydujący wpływ na ugięcia mostu, które mogą prowadzić do zatopienia podpór pływających, do czego nie można dopuścić. Takie analizy zostaną przeprowadzone w dalszych pracach na ten temat.

Artykuł wpłynął do redakcji 24.06.2014 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 8.09.2014 r.

Źródło finansowania: środki własne.

LITERATURA

- [1] BURSZTYNOWSKI Z., *Mosty pływające na oddzielnych podporach*, WAT, Warszawa, 1988.
- [2] CHMIELEWSKI R., MARSZAŁEK J., *Ochrona ludności przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*, pkt. 11. *Zastosowanie mostów składanych do odbudowy zniszczonej infrastruktury komunikacyjnej*, Monografia, WAT, Warszawa, 2010, 507-521.
- [3] MARSZAŁEK J., PIECHOTA M., *Analiza statyczna wieloprzęsłowych mostów składanych przy różnych warunkach ich podparcia*, Biul. WAT, 62, 2, 2013.

- [4] MARSZAŁEK J. i wsp., *Mosty składane. Projektowanie, badania i eksploatacja*, podręcznik, Wydawca GDDKiA i WAT, Warszawa, 2005.
- [5] MARSZAŁEK J., PIECHOTA M., *Budowa mostów kombinowanych w sytuacjach kryzysowych*, materiały XXVII Międzynarodowej Konferencji N-T „EKOMILITARIS 2013”, Zakopane, 2013, 330-336.

J. MARSZAŁEK, M. PIECHOTA

Simple Evaluation of Load-Carrying Capacity of Multi-Span Folding Bridges based on Floating Supports

Abstract. The papers covers simple evaluation of load-carrying capacity of multi-span folding bridges based on floating supports. Combined bridges built in this approach, could be used as a temporary crossing. The methodology of this evaluation is shown graphically on the basis of designed nomograms for two existing bridge structures i.e. MS-54 and DMS-65, mounted on rigid and floating supports. These nomograms facilitate the simple and fast determination of the impact of changing fixed support into floating support with different bridge length spans on the carrying capacity of the bridge. The paper also presents the influence of long-term use (enlarging the mounting backlash in the joints of these structures) on the carrying capacity of the bridge.

Keywords: building, folding bridges, nomograms, assembly clearances

