

WPŁYW WIELKOŚCI OTWORÓW KONSTRUKCYJNYCH NA WYŁĘŻENIE POPRZECZNICZY MOSTU SKŁADANEGO TYPU DMS-65

Artur DUCHACZEK^{a*}, Zbigniew MAŃKO^b

^a Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, ul. Czajkowskiego 109, 51-150 Wrocław

^b Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu, ul. Sołtysowicka 19B, 51-168 Wrocław

Streszczenie: W pracy przeprowadzono analizę wytrzymałościową belki poprzecznej mostu składanego typu DMS-65 pod kątem oceny wpływu wielkości otworów konstrukcyjnych na jej wyłężenie. W analizach zastosowano metodę elementów skończonych (MES), modelując poprzecznice jako konstrukcję powłokową z zastosowaniem elementów powierzchniowych. Z przeprowadzonej analizy wynika, że istniejące otwory konstrukcyjne o średnicy 200 mm nie są optymalnym wariantem rozwiązania tej konstrukcji.

Słowa kluczowe: most składany, poprzecznicza, otwór konstrukcyjny, analiza wytrzymałościowa, MES.

1. Wprowadzenie

Na terenie kraju na różnych składowiskach rezerw państwowych znajduje się wiele konstrukcji mostowych przeznaczonych do szybkiej odbudowy szlaków drogowych. Wśród nich jest między innymi drogowy most składany typu DMS-65 (rys. 1), który w dalszym ciągu znajduje się również na wyposażeniu wojska polskiego.

Zespół badawczy Rymszy (Marszałek i in., 2005) określił wojskową klasę obciążenia dla większości składanych typów konstrukcji mostowych występujących

w Polsce. Dla mostu drogowego typu DMS-65 w układzie podstawowym, w zależności od rozpiętości teoretycznej przęsła i typu obciążenia, klasa obciążenia MLC według Stanagu (STANAG, 2006) waha się między 60 a 80.

W pracy (Marszałek i in., 2005) wykazano również, że ze względu na nośność poszczególnych elementów konstrukcyjnych pomostu, dopuszczalny nacisk pojedynczej osi pojazdu kołowego wynosi 114 kN/oś dla płyty pomostowej oraz 110 kN/oś dla poprzeczniczy tego mostu, natomiast dopuszczalny nacisk pojazdu gąsienicowego odpowiada klasie obciążenia typu



Rys. 1. Widok na most składany typu DMS-65 podczas montażu – połączenie belki poprzecznej z dźwigarami głównymi złożonymi z kratownic przestrzennych (Mondel, 2012)

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: aduchaczek@poczta.wp.pl

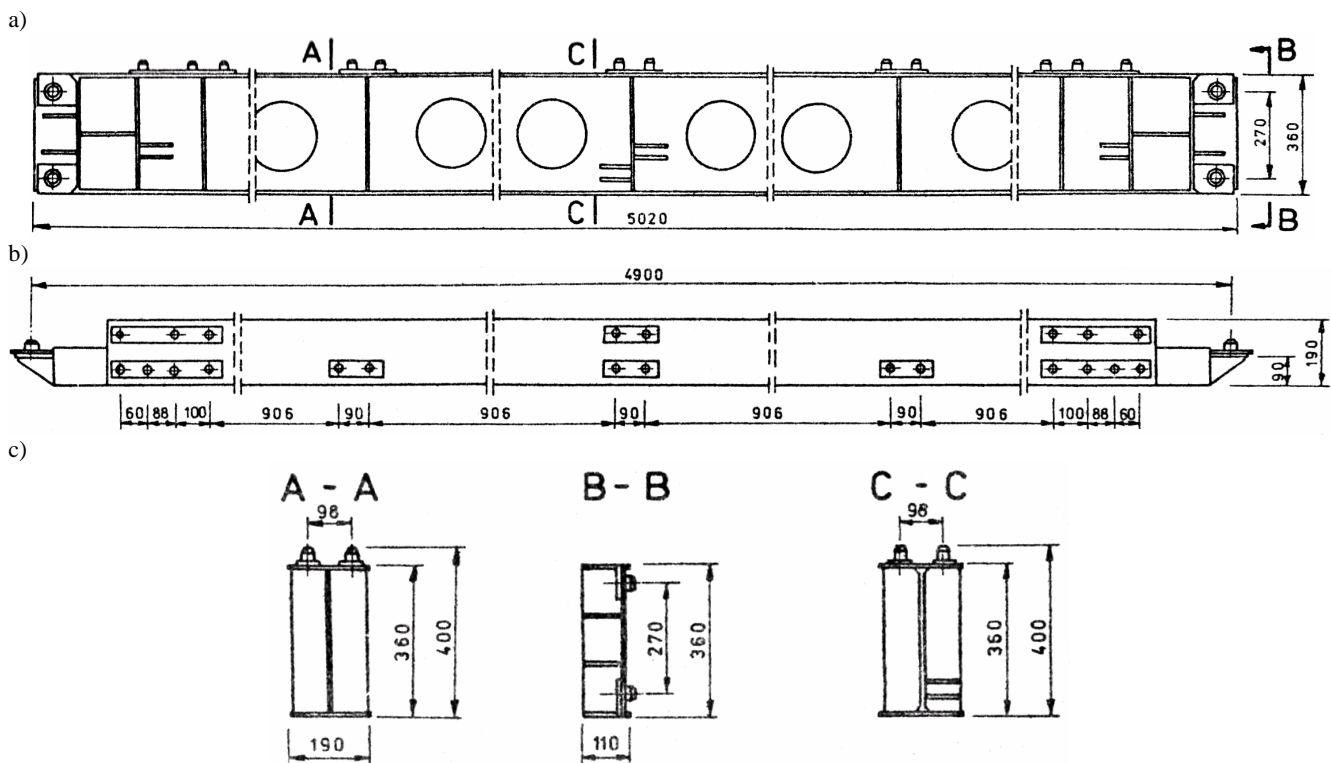
MLC 100 ze względu na nośność płyty pomostowej oraz MLC 70 ze względu na nośność poprzecznic. Stąd ostateczna nośność konstrukcji tego mostu składanego uzależniona jest przede wszystkim od nośności poszczególnych jego części składowych, a więc i poprzecznic.

Celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie analizy wytrzymałościowej poprzecznic (belki poprzecznej) mostu składanego DMS-65 pod kątem oceny wpływu wielkości otworów konstrukcyjnych na wyężenie tego elementu (rys. 2). Wydaje się, że ich dalsze stosowanie (przede wszystkim ze względu na zmniejszenie ciężaru konstrukcji) może okazać się niewskazane, ponieważ podczas intensywnej eksploatacji, jako tak zwane koncentratory naprężeń, mogą być podstawowym miejscem wystąpienia inicjacji pęknięć zmęczeniowych

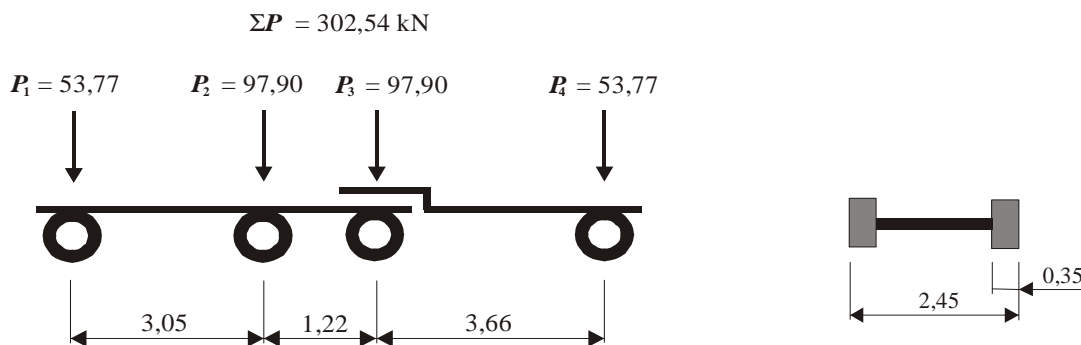
w tego typu urządzeniach i przyczynić się bezpośrednio do powstania uszkodzeń lub awarii.

2. Założenia przyjęte do obliczeń

Biorąc pod uwagę dane materiałowe oraz parametry techniczne (Marszałek i in., 2005), przyjęto w obliczeniach i analizach obciążenie w postaci pojazdu kołowego typu MLC 30 (STANAG, 2006), co pokazano na rysunku 3. Obciążenie to mieści się w zakresie dopuszczalnego nacisku pojedynczej osi pojazdu kołowego dla poprzecznic. Wydaje się, że przyjęcie tego obciążenia w wystarczający sposób wskazuje miejsca w wysokim stopniu bezpośrednio narażone na uszkodzenia zmęczeniowe a także na przypuszczalny charakter powstania ewentualnych zniszczeń.

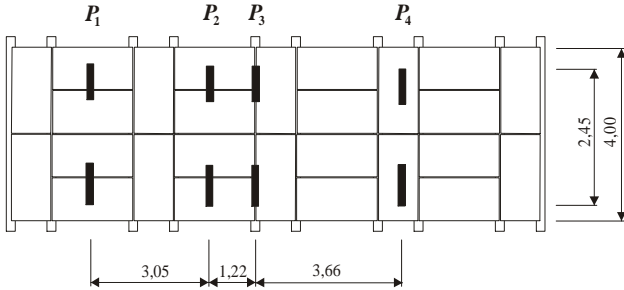


Rys. 2. Belka poprzeczna mostu składanego DMS-65 (MON, 1981), widok z: a) boku, b) góry oraz c) przekroje poprzeczne



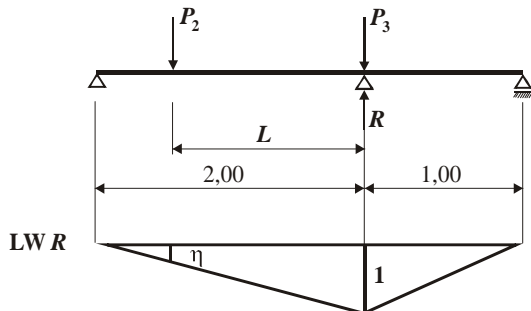
Rys. 3. Schemat obciążeń kołowych typu MLC 30 (STANAG, 2006)

Na rysunku 4 przedstawiono schemat rozmieszczenia osi pojazdu kołowego MLC 30 na długości analizowanego przęsła. Założono, że pojedyncza poprzecznicą w przyjętym schemacie obciążenia może być jednocześnie obciążona tylko czterema siłami skupionymi, to jest $2 \times P_2 + 2 \times P_3$, pochodzącymi od drugiej i trzeciej osi rozważanego typu pojazdu kołowego.

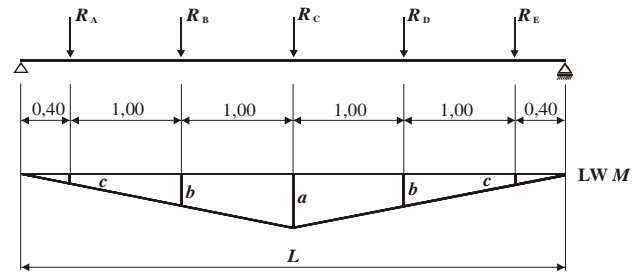


Rys. 4. Widok z góry na schemat rozmieszczenia pojazdu typu MLC 30 na długości przęsła (Duchaczek i Mańko, 2012)

Na rysunku 5 przedstawiono linię wpływu reakcji podporowej R odpowiadającej obciążeniu przekazywanemu na poprzecznice pochodzącemu z dwóch osi pojazdu kołowego typu MLC 30, natomiast na rysunku 6 odpowiednią linię wpływu momentu zginającego M w poprzecznicie od obciążenia przekazywanego przez płyty pomostu.



Rys. 5. Linia wpływu reakcji podporowej R odpowiadającej obciążeniu przekazywanemu na poprzecznice od dwóch osi pojazdu kołowego MLC 30 (Duchaczek i Mańko, 2012)

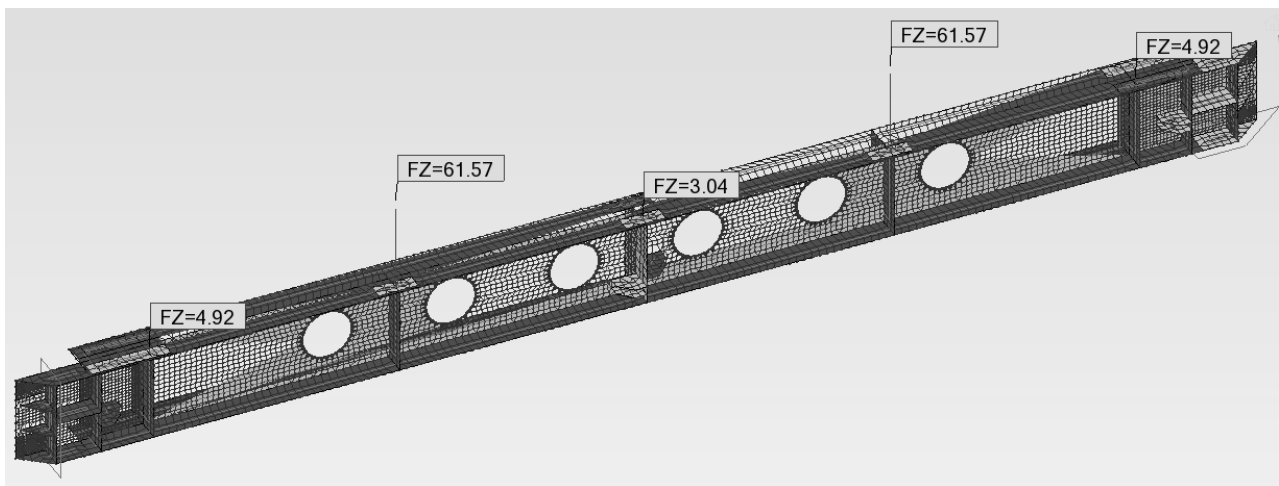


Rys. 6. Linia wpływu momentu zginającego M w poprzecznicie od obciążenia przekazywanego przez płyty pomostu (Duchaczek i Mańko, 2012)

Duchaczek i Mańko (2012) przeanalizowali dwa warianty obciążenia poprzecznic W1 (symetryczny) i W2 (niesymetryczny), pochodzące od pojazdu kołowego MLC 30 i MLC 70 przekazywane zarówno, przez dwie jak i cztery płyty pomostu. Przeprowadzone analizy wykazały, że większe naprężenia występowały w poprzecznicie obciążonej symetrycznie przy obciążeniu przekazywanym przez cztery płyty, dlatego też w niniejszej pracy do dalszych analiz przyjęty został właśnie ten schemat.

Przyjęto również założenie, że przekazywanie obciążenia z płyt pomostu na poprzecznice następuje punktowo, to jest nie w rzeczywistych miejscach występowania trzpieni znajdujących się na górnym pasie poprzecznic, a bezpośrednio nad wzmocnieniem środnika (żebra usztywniające) (rys. 7).

Poprzecznicą w moście składanym DMS-65 połączona jest z dźwigarami głównymi, stanowiąc wraz ze słupkami i przeponami ścian dźwigarów głównych tak zwane półramę, która powoduje sprężyste utwierdzenie końców poprzecznic traktowanej tradycyjnie jako belka swobodnie podparta (Marszałek i in., 2005). Dlatego też Marszałek i in. (2005) zaproponowali, aby do obliczeń szczegółowych wartości sił wewnętrznych w tego typu konstrukcjach przyjmować schemat półramy obciążonej na wysokości pasów ściskanych siłą odporu. Uzasadnia to przyjęcie uproszczonego modelu obliczeniowego poprzecznic w postaci belki swobodnie podpartej, obciążonej dodatkowo na końcach momentem



Rys. 7. Model obliczeniowy poprzecznicy przyjęty w analizach numerycznych

podporowym M_p , wywołującym w rzeczywistości odciążenie poprzecznic w połowie jej długości (Marszałek i in., 2005).

Jak wiadomo, wielkość momentu odciążającego M_p zależy od siły osiowej występującej w pasie ściskanim. W najbardziej niekorzystnym układzie dla poprzecznic, to jest bezpośrednio w pobliżu podpór skrajnych, wielkość ta jest stosunkowo niewielka (a w przypadku prześł wjazdowych nie występuje w ogóle) i nie powinna być zawsze uwzględniana w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych poprzecznic. Przyjęcie do obliczeń schematu statycznego poprzecznic bez uwzględnienia momentu odciążającego M_p przyczynia się do określenia najbardziej niekorzystnego układu obciążenia w analizach wytrzymałościowych dla przekroju środkowego poprzecznic i tak też postąpiono w przeprowadzonych analizach.

W tabeli 1 przedstawiono wielkości sił przyjętych w obliczeniach komputerowych.

Tab. 1. Wielkości sił skupionych przyjętych w obliczeniach dla pojazdu MLC 30, w kN

| Typ pojazdu | R_a | R_b | R_c | R_d | R_e | Suma |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| MLC 30 | 4,92 | 61,57 | 3,04 | 61,57 | 4,92 | 136,02 |

W analizach zastosowano metodę elementów skończonych (MES), modelując poprzecnicę jako konstrukcję powłokową (rys. 7). W procesie modelowania

wykorzystano metodę siatkowania Coons z zastosowaniem elementów powierzchniowych czworokątnych 4-węzłowych. Wymiary stworzonego modelu komputerowego przyjęto z instrukcji Drogowy Most Składany DMS-65. Budowa i eksploatacja (MON, 1981) – rysunek 2.

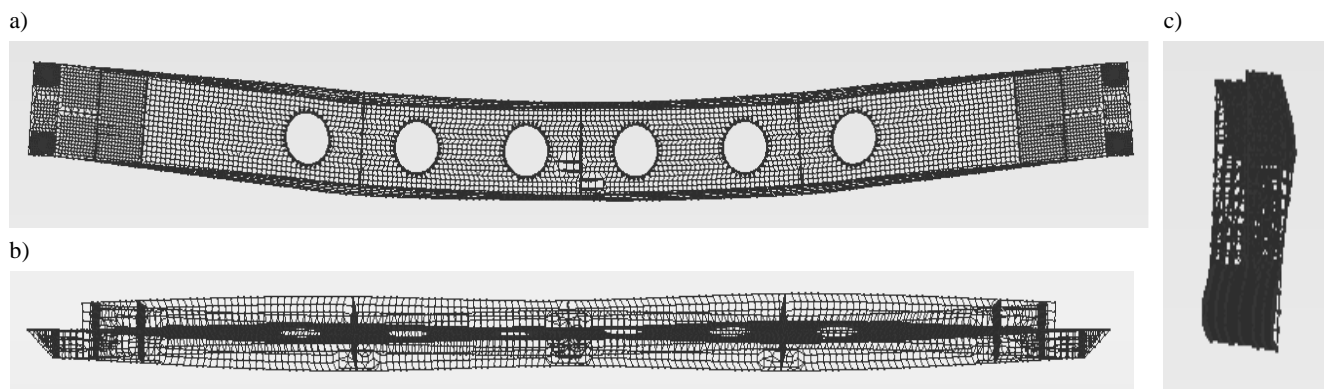
Do obliczeń przyjęto schemat obliczeniowy poprzecznic w którym założono, że jej zamocowanie do słupków kratownicy dźwigara głównego, które realizowane jest za pomocą dwóch tulei i śrub, powoduje jej częściowe utwierdzenie, to znaczy umożliwia jedynie jej ruch w kierunku podłużnym środka.

Ze względu na założony model mocowania elementu oraz po uwzględnieniu występowania wiatrownic przyjęty model numeryczny poprzecznic zachowywał się zgodnie z oczekiwaniami.

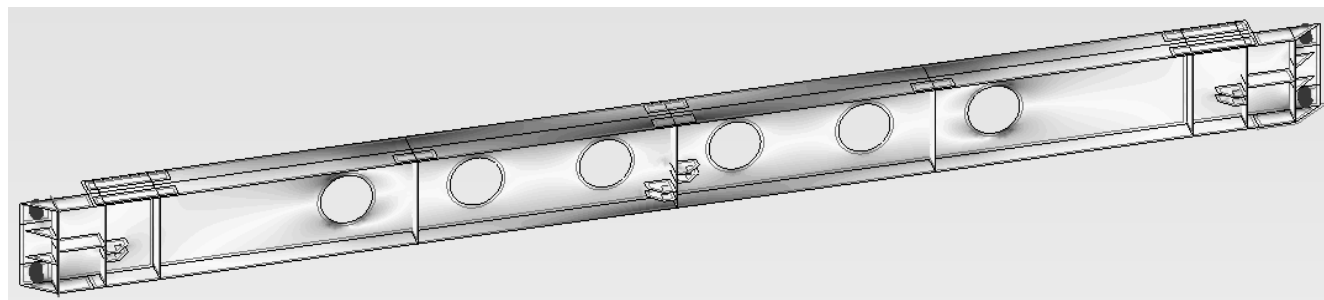
Na rysunku 8 zaprezentowano deformację analizowanej belki. Deformacja ta nie została przedstawiona w skali modelu, gdyż jej celem było pokazanie znaczących (wyolbrzymionych) odkształceń występujących w poprzecznic.

4. Wyniki analiz numerycznych

Na rysunku 9 zaprezentowano mapę rozkładów naprężeń normalnych względem osi podłużnej poprzecznic pochodzących od pojazdu kołowego według klasy MLC 30 przy uwzględnieniu rzeczywistych wymiarów otworów konstrukcyjnych, w tym przypadku o średnicy $d = 200$ mm.



Rys. 8. Deformacja analizowanej poprzecznic (wyniki nie w skali konstrukcji) w widoku z: a) przodu, b) góry i c) boku



Rys. 9. Mapa rozkładu naprężeń normalnych względem osi podłużnej poprzecznic pochodzących od obciążenia symetrycznego według klasy MLC 30

W tabelach 2 i 3 oraz na rysunkach 10 i 11 przedstawiono zestawienie wyników obliczeń naprężeń normalnych i zredukowanych w poprzecznicę dla różnych

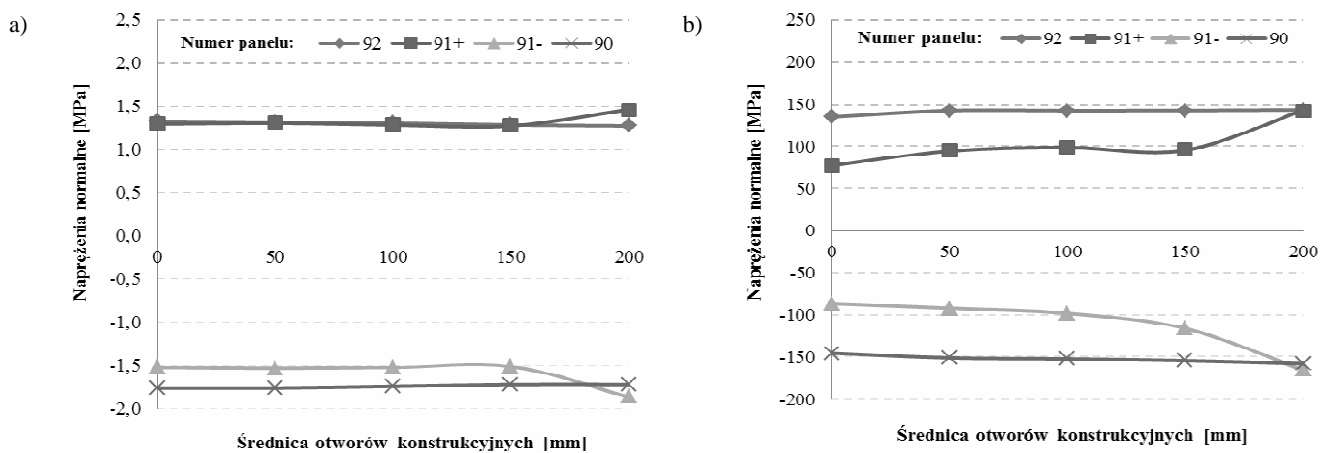
wielkości średnic otworów konstrukcyjnych od obciążenia ciężarem własnym elementu i obciążenia kołowego według klasy MLC 30.

Tab. 2. Zestawienie wyników obliczeń naprężeń normalnych w poprzecznicę dla różnych wielkości średnic otworów konstrukcyjnych od jej ciężaru własnego g i obciążenia użytkowego P według klasy MLC 30

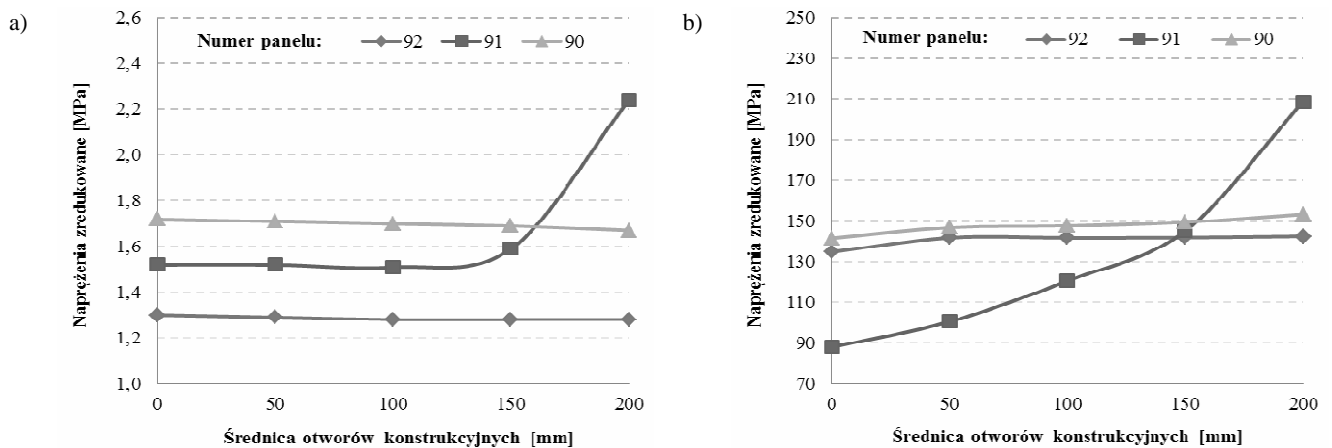
| Numer panelu | Średnica otworów montażowych d [mm] | | | | | | | | | |
|----------------|---------------------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| | 0 | | 50 | | 100 | | 150 | | 200 | |
| | g | P | g | P | g | P | g | P | g | P |
| 92 (pas dolny) | 1,33 | 135,31 | 1,32 | 142,38 | 1,31 | 142,29 | 1,29 | 142,37 | 1,28 | 143,10 |
| 91 (środek) | 1,30 | 77,50 | 1,31 | 94,94 | 1,29 | 99,11 | 1,28 | 95,88 | 1,46 | 143,00 |
| 90 (pas górny) | -1,52 | -86,77 | -1,53 | -92,07 | -1,52 | -97,95 | -1,51 | -115,87 | -1,86 | -164,86 |
| 90 (pas górny) | -1,76 | -145,40 | -1,76 | -150,94 | -1,74 | -152,02 | -1,72 | -154,03 | -1,72 | -157,50 |

Tab. 3. Zestawienie wyników obliczeń naprężeń zredukowanych w poprzecznicę dla różnych wielkości średnic otworów konstrukcyjnych od jej ciężaru własnego g i obciążenia użytkowego P według klasy MLC 30

| Numer panelu | Średnica otworów montażowych [mm] | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 0 | | 50 | | 100 | | 150 | | 200 | |
| | g | P | g | P | g | P | g | P | g | P |
| 92 (pas dolny) | 1,30 | 134,80 | 1,29 | 141,87 | 1,28 | 141,83 | 1,28 | 141,96 | 1,28 | 142,56 |
| 91 (środek) | 1,52 | 88,03 | 1,52 | 100,46 | 1,51 | 120,58 | 1,59 | 145,24 | 2,24 | 208,85 |
| 90 (pas górny) | 1,72 | 141,64 | 1,71 | 146,78 | 1,70 | 147,69 | 1,69 | 149,56 | 1,67 | 153,33 |



Rys. 10. Wyniki obliczeń naprężeń normalnych w poprzecznicę dla różnych wielkości średnic otworów konstrukcyjnych od obciążenia: a) ciężarem własnym, b) według klasy MLC 30



Rys. 11. Wyniki obliczeń naprężeń zredukowanych w poprzecznicę dla różnych średnic otworów konstrukcyjnych od obciążenia: a) ciężarem własnym, b) według klasy MLC 30

Analiza rozkładów naprężeń w badanej poprzecznicy dla otworów konstrukcyjnych o średnicy $d = 200$ mm wykazała, że największe naprężenia (normalne lub zredukowane) występują nie w pasach poprzecznicy, ale przede wszystkim w okolicy otworów konstrukcyjnych zlokalizowanych w jej środku (rys. 9).

Szczególnie jednak analiza wykresów zamieszczonych na rysunkach 10 i 11 wykazała, że zastosowanie w poprzecznicy mostu składanego DMS-65 otworów konstrukcyjnych o średnicy $d = 200$ mm nie było właściwym rozwiązaniem, gdyż wywołuje to wystąpienie w środku ekstremalnych wartości naprężeń normalnych, jak i zredukowanych.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że dla przyjętego schematu obliczeniowego poprzecznicy wariantem uniwersalnym rozwiązania pod względem konstrukcyjnym byłyby wyraźnie otwory konstrukcyjne o średnicy 150 mm.

Oprócz wysokich wartości naprężeń występujących w obszarze otworów konstrukcyjnych zlokalizowanych w środku poprzecznicy, zaobserwowano także stosunkowo wysokie ich wartości w obrębie tulejek mocujących, co wynikało jednak tylko i wyłącznie ze sposobu modelowania tego połączenia.

5. Wnioski końcowe

Skrajne otwory konstrukcyjne występujące w środku poprzecznicy mostu są znaczącymi koncentratorami naprężeń, a przez to w przyszłości podczas ich wieloletniej eksploatacji mogą stać się głównym miejscem inicjacji pęknięć zmęczeniowych. Wydaje się, że korzyść wynikająca ze zmniejszenia ciężaru tych elementów jest nieadekwatna w porównaniu do ewentualnego zmniejszenia trwałości tego elementu konstrukcyjnego, a tym samym całego mostu, tym bardziej, że masa sześciu otworów konstrukcyjnych występujących w poprzecznicy to około 11 kg, co przy masie pełnego elementu (około

290 kg) stanowi zaledwie 3,79% jego masy (Duchaczek i Mańko, 2012).

Przeprowadzone obliczenia i analizy wytrzymałościowe poprzecznicy powinny zostać uwzględnione podczas dalszych rozważań nad ewentualną modernizacją tego elementu konstrukcyjnego.

Literatura

- Duchaczek A., Mańko Z. (2012). Analiza wytrzymałościowa poprzecznicy mostu składanego typu DMS-65. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki*, Wrocław, 2/2012, 268-281.
- Marszałek J., Jarzyna R., Bryda P., Chmielewski R., Jakubowski G., Marcinkowski R., Rymsza J. (2005). Mosty składane. Projektowanie, budowa i eksploatacja. *Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad*, Warszawa.
- MON (1981). Drogowy Most Składany DMS-65. Budowa i eksploatacja. *Ministerstwo Obrony Narodowej*, Główny Kwatermistrzostwo WP, Szef. Kom. 135/79, Warszawa.
- Mondel A. (2012). Technologia i organizacja montażu (demontażu) konstrukcji przęsłowej DMS-65. Materiały dydaktyczne (prezentacja multimedialna PowerPoint) udostępniona 2.05.2012 r.
- STANAG (2006). *Stanag 2021. Military Load Classification of Bridges*. Edition no. 6. 7 September 2006.

IMPACT OF SIZE OF ASSEMBLY HOLES ON EFFORT OF DMS-65 TYPE ASSEMBLED BRIDGE TRANSOM

Abstract: The author of the paper conducted a strength analysis of a cross-beam in a DMS-65 type assembled bridge with regard to the assessment of the impact of the size of assembly holes on its effort. In the analyses the finite element method (FEM) was employed, modelling the transom as a monocoque construction with the use of surface elements. It transpires from the conducted analysis that the existing assembly holes of 200 mm in diameter are not an optimum solution of that construction.