

Wybrane aspekty analizy numerycznej złącza mostu nożycowego

Selected aspects of the scissors AVLB bridge pin joint numerical analysis

KAMIL CIOS
WIESŁAW KRASOŃ*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.328

Prezentowano różnej klasy modele numeryczne złącza mostu nożycowego. Zbudowano przestrzenne modele MES – powłokowe (2D) i bryłowe (3D) – różniące się wprowadzonymi w nich uproszczeniami. Modele te skonfigurowano w taki sposób, aby testowane numerycznie złącze i warunki brzegowe odpowiadały badaniom wykonanym na stanowisku laboratoryjnym. Poprawność zastosowanych modeli i metodyki badań numerycznych oceniono przez porównanie wybranych wyników z badaniami eksperymentalnymi złącza.

SŁOWA KLUCZOWE: most towarzyszący, złącze mostu, badania stanowiskowe, MES

Numerical models of different class scissors AVLB bridge pin joint are presented in the paper. Spatial shell (2D) and solid (3D) FE models were built. They differed by certain modifications applied for simplification of the design. Numerical models were configured in such a way that the numerically tested pin joint and the boundary conditions corresponded to the tests developed on the laboratory stand. Selected numerical results were compared with the experimental results of the pin joint for assessment of the models and the research methods.

KEYWORDS: AVLB bridge, bridge joint, stand tests, FEM

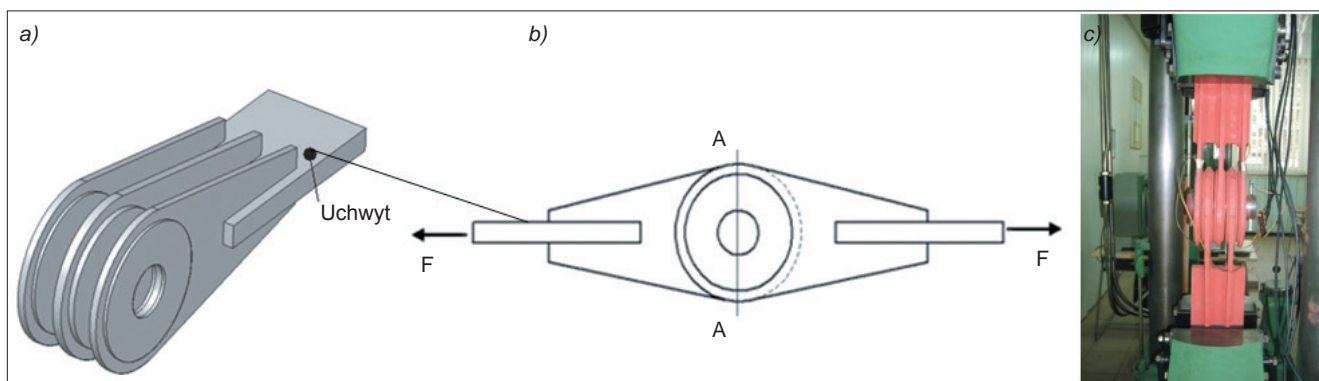
Mosty towarzyszące to mobilne konstrukcje transportowane na podwoziach samobieżnych, przeznaczone do szybkiego rozstawienia przeprawy. Mają one za zadanie umożliwić przejazd pojazdów kołowych i gąsienicowych oraz przeprawy piesze. Na jedno przęsło mostu nożycowego BLG składają się cztery ćwierćkoleiny transportowane w stanie złożonym na podwoziu gąsienicowym [1]. Dwie ćwierćkoleiny połączone złączem sworzniowym tworzą dźwigar, który po rozłożeniu stanowi gotowy tor jezdny. Na każde przęsło składają się dwa dźwigary – tory jezdne. Konstrukcje tego typu przez wiele lat były stosowane w Wojsku Polskim, nadal są produkowane i remontowane przez Wojskowe Zakłady Inżynieryjne w Dęblinie.

Przedmiotem badań opisanych w pracy jest złącze główne zmodernizowanego mostu towarzyszącego typu BLG (rys. 1).

Wydzielony podzespół złącza sworzniowego takiego mostu testowano w próbie stanowiskowej. Złącze zostało przygotowane tak, aby jego elementy można było zamocować w szczękach maszyny wytrzymałościowej i równomiernie obciążyć – w sposób odwzorowujący stan wyężenia w rzeczywistych warunkach pracy podzespołu [1]. Zmodyfikowane do celów badań testowych złącze wykonano w Wojskowych Zakładach Inżynieryjnych w Dęblinie. Na rys. 1 przedstawiono widok prototypowego rozwiązania modelu złącza przystosowanego do badań na maszynie wytrzymałościowej. Badania laboratoryjne złącza, omówione w [1, 2], przeprowadzono w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej.

Ze względu na koszty, a także trudności związane z badaniami eksperymentalnymi dużych obiektów o rzeczywistych wymiarach, zakres testów często zostaje ograniczony. Mianowicie wykonuje się symulacje komputerowe, w których wyniki eksperymentalne służą do zweryfikowania poprawności modeli numerycznych. Jedną z rozpowszechnionych metod badań numerycznych wytrzymałości konstrukcji jest metoda elementów skończonych (MES). W niniejszej pracy przedstawiono różnej klasy modele numeryczne badanego złącza, różniące się wprowadzonymi w nich uproszczeniami. Modele numeryczne tak skonfigurowano, aby testowany numerycznie obiekt i warunki brzegowe odpowiadały badaniom stanowiskowym, a uzyskane wyniki mogły posłużyć do oceny poprawności modeli (przez porównanie wyników otrzymanych w różnych odwzorowaniach testu stanowiskowego i wykonanych analiz).

Najpierw badania numeryczne złącza mostu specjalnego przeprowadzono z zastosowaniem modelu powłokowego. W tym celu w programie MSC.Patran zbudowano przestrzenny model 2D złącza mostu, a w programie MSC.Nastran wykonano obliczenia [3]. Model geometryczny takiego połączenia składał się z płaskich powierzchni odsuniętych od siebie i ustawionych tak, aby obie części złącza stanowiły jeden zestaw pochodzący z pojedynczego toru jezdny przęsła (rys. 2). Ściany złącza zaprojektowano jako powierzchnie, na których zdefiniowano siatkę elementów powłokowych typu QUAD4 [3].



▲ Rys. 1. Badane złącze: a) model geometryczny podzespołu złącza z uchwytem, b) schemat prototypowego złącza zmodyfikowanego do badań stanowiskowych w próbie rozciągania [2], c) widok złącza na stanowisku badawczym (widok z boku) [2]

* Inż. Kamil Cios (kai1992@o2.pl), dr inż. Wiesław Krasoń (wieslaw.krason@wat.edu.pl) – Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny Wojskowej Akademii Technicznej

Sworzeń (rys. 2) modelowano za pomocą elementów belkowych typu BEAM [3] o zastępczej sztywności, którą określono na podstawie charakterystyk geometrycznych rzeczywistego połączenia. Elementy modelujące sworzeń połączone z węzłami centralnymi siatki elementów typu MPC (*multi-point constraint*), które rozpięto na krawędziach otworu złączy (rys. 2b).

Połączenia mechaniczne umożliwiające wzajemny obrót obu łączonych podzespołów złącza względem wspólnej dla nich osi obrotu (osi symetrii sworznia) modelowano w sposób uproszczony (bez definiowania kontaktu), za pomocą elementów MPC [3]. W badanych modelach wykorzystano dwa różne typy tych elementów: RBE2 i RBE3. Umożliwiają one prawidłowe odwzorowanie współpracy łączonych podzespołów w obszarze kontaktu, zapewniają odpowiednie przeniesienie obciążeń i pozwalają na wzajemny obrót elementów złącza.

MPC to specjalne elementy typu kinematycznego, w których definiowana jest zależność liniowa przemieszczeń albo reakcji jednego stopnia swobody węzła zależnego (lub większej ich liczby) w odpowiedzi na oddziaływanie przez stopnie swobody węzła niezależnego [3]. Związki kinematyczne pomiędzy odpowiednimi węzłami elementów, które odwzorowują poszczególne podzespoły połączenia, zdefiniowano w sposób zapewniający niezależny obrót obu połówek złącza względem siebie i powiązanie ich przemieszczeń.

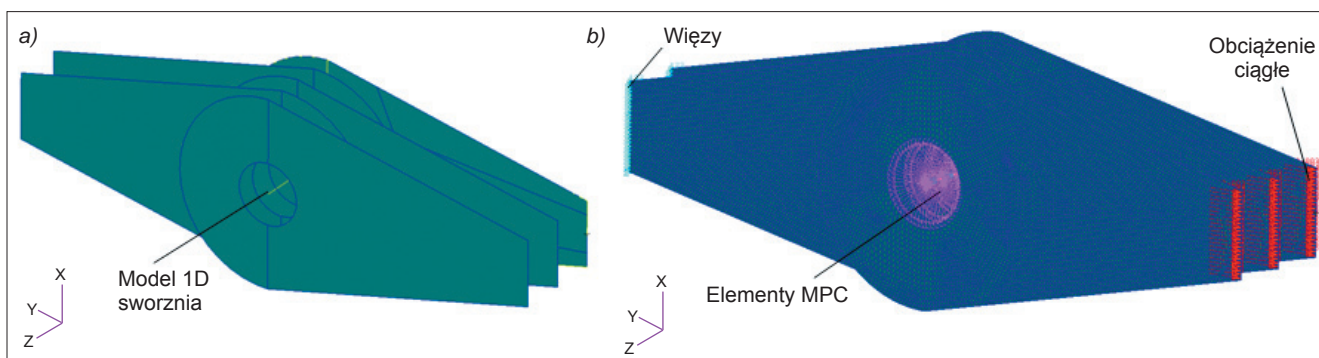
Na krawędziach z lewej strony złącza o dwóch uchach (rys. 2b) model zamocowano tak, aby uniemożliwić jego przemieszczenie we wszystkich kierunkach. W miejscu zamocowania modelu złącza węzłom skrajnym odebrano wszystkie stopnie swobody. W celu poprawnej konfiguracji modelu należało też ograniczyć możliwość przemieszczania się elementów modelujących sworzeń, aby zapewnić jego ustalone położenie względem łączonych podzespołów – sworzeń nie może się poruszać np. wzdłuż swojej osi podłużnej i wypadać z otworu (podczas testów taki ruch blokowały specjalne zawleczki zamontowane na końcach sworznia). Z tego względu w skrajnych węzłach modelu sworznia odebrano stopnie swobody translacyjne i rotacyjne względem osi Z (rys. 2).

Po przeciwnej stronie modelu połączenia zdefiniowano obciążenie ciągłe działające wzdłuż osi globalnej Y (rys. 2b). Przyłożono je do krawędzi po prawej stronie modelu, które odpowiadają końcówkom powierzchni mocowanych w szczękach maszyny wytrzymałościowej. Na każdej z trzech krawędzi zdefiniowano wartość wydatku obciążenia równą 1430 N/mm. Jest to obciążenie zredukowane, równoważne rzeczywistemu obciążeniu maksymalną siłą 900 kN zadaną w próbie stanowiskowej złącza mostu [2].

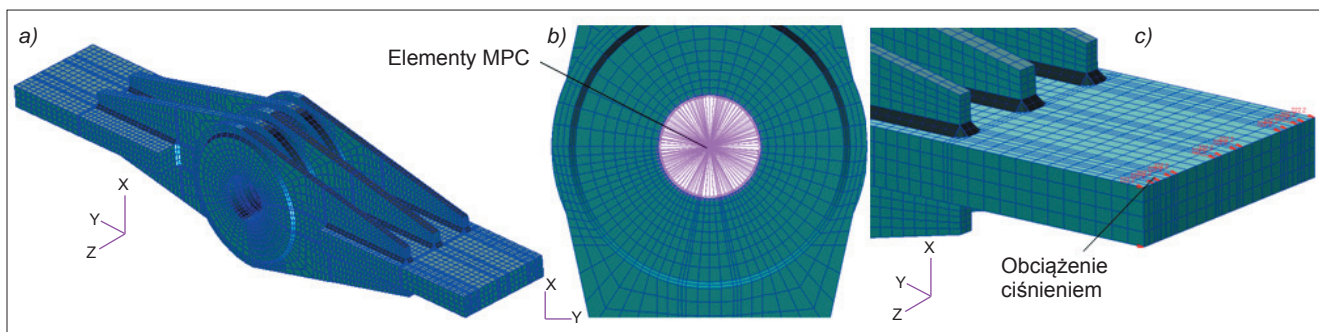
W drugim wariancie badań numerycznych złącza mostu specjalnego zastosowano model bryłowy. Na podstawie rzeczywistego obiektu przebadanego na stanowisku wytrzymałościowym zbudowano geometryczny model złącza 3D, a następnie naniesiono siatkę bryłowych elementów skończonych typu HEX8 (rys. 3a) [3]. Sworzeń oraz połączenia między podzespołami złącza odwzorowano analogicznie do modelu powłokowego, z zastosowaniem różnych typów elementów MPC. Bryłowy model dyskretny wykorzystano w analizie numerycznej przeprowadzonej w programie MSC.Nastran. Dzięki uproszczeniom dotyczącym obszaru kontaktu modelu złącza analizy ograniczono do zakresu liniowej statyki. Obciążenie stanowiła siła o wartości 900 kN, zredukowana do ciśnienia przyłożonego na powierzchni czołowej uchwytu (rys. 3).

Na rys. 4 przedstawiono wybrane wyniki badań numerycznych modelu 3D. Mapy przemieszczeń pokazane na rys. 4a są prawie identyczne z mapami otrzymanymi w modelu powłokowym złącza, a maksymalna wartość przemieszczenia wykopowego w końcowej części uchwytu wynosi 1,17 mm.

Wykresy na rys. 4b stanowią porównanie zmiany wartości maksymalnych naprężeń normalnych wyznaczonych na podstawie wyników rejestrowanych eksperymentalnie w przekroju A-A (rys. 1b) w funkcji odległości od osi sworznia oraz naprężeń określonych numerycznie w modelu 3D, w którym zastosowano elementy RBE3 w obszarze współpracy części ruchomych złącza. Naprężenia zredukowane określone w ścianie ucha w obszarze otworu nie przekraczają maksymalnej wartości $\sigma_{\max} = 350$ MPa. Rozkład naprężeń jest typowy dla takich połączeń z elementami ruchomymi, pomijając lokalne spiętrzenia w miejscach ostrych załamań



Rys. 2. Model geometryczny złącza 2D z widocznym sworzniem odwzorowanym za pomocą elementów belkowych 1D [4, 5] (a); widok modelu powłokowego MES złącza mostu BLG, w którym wykorzystano elementy powłokowe typu QUAD4 i MPC [5] (b)



Rys. 3. Model 3D MES złącza (a) oraz widoki szczegółowe: otworu złącza ze sworzniem zamodelowanym za pomocą elementów MPC (b) oraz części złącza z widocznymi spoinami i zamodelowanym obciążeniem (c) [5]

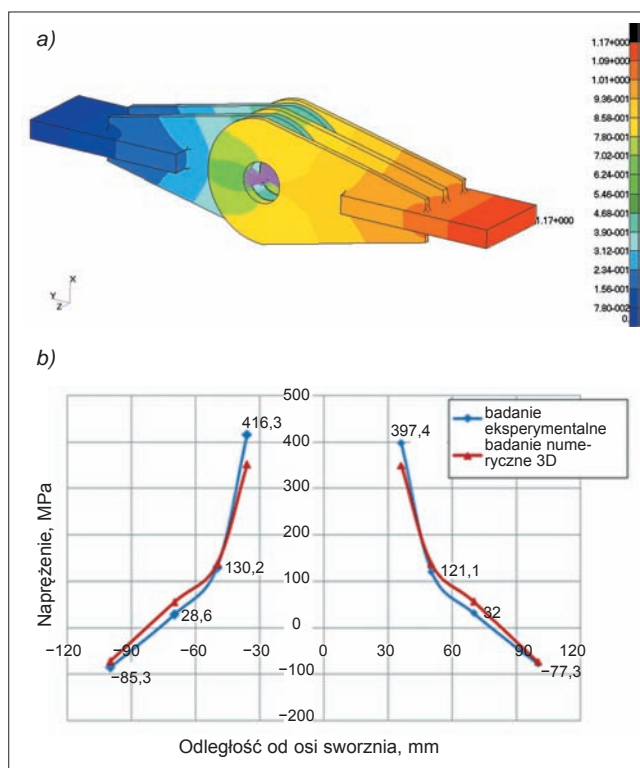
oraz korbów konstrukcyjnych będących efektem uproszczeń w odwzorowaniu spoin czy wyeliminowania zaokrągleń i łagodnych przejść między powierzchniami złącza. Rozkłady naprężeń na powierzchni otworu, z którym współpracuje sworznie, też są zaburzone wskutek przyjęcia uproszczonego modelu współpracy części ruchomych złącza, który utworzono za pomocą punktowo oddziałujących elementów MPC.

W tabelicy zestawiono maksymalne wartości naprężeń uzyskane w modelach numerycznych 2D i 3D, w których wykorzystano różne typy elementów MPC, oraz wartości otrzymane w badaniach eksperymentalnych dla obszaru ucha bezpośrednio przy powierzchni otworu sworznia. Na podstawie porównania tych wyników w kontekście wyężenia zespołu złącza stwierdzono, że modele, w których do odwzorowania współpracy sworznia z uchem użyto elementów RBE2, nie są odpowiednie do badań numerycznych. Biorąc pod uwagę zastosowane uproszczenia, prawidłowe odwzorowanie obszarów współpracy części ruchomych złącza uzyskano w modelach z elementami RBE3. Różnica względna pomiędzy naprężeniami wyznaczonymi numerycznie w modelach 2D i 3D z elementami RBE3 a odpowiednimi wartościami eksperymentalnymi wynosi ok. 10 i 16%.

TABLICA. Porównanie maksymalnych naprężeń uzyskanych w modelach numerycznych 2D i 3D z wartościami wyznaczonymi eksperymentalnie (wyniki dotyczą ściany zewnętrznej złącza bezpośrednio przy powierzchni otworu ucha)

| Model złącza | Naprężenie, MPa |
|-------------------------|-----------------|
| 2D RBE2 | 78,06 |
| 2D RBE3 | 369,45 |
| 3D RBE2 | 73,9 |
| 3D RBE3 | 491,8 |
| Badania eksperymentalne | 410,8 |

Wyniki eksperymentalne wykorzystano do oceny poprawności modeli numerycznych. Stwierdzono, że modele powłokowe, w których dla obszaru współpracy części połączenia sworzniowego przyjęto odpowiednie uproszczenia, mogą stanowić alternatywę wobec modeli szczegółowych, uwzględniających zjawisko kontaktu. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie analiz liniowych w celu określenia wyężenia złącza. Takie analizy nie są czasochłonne (co jest istotne w analizach inżynierskich), ponieważ nie wymagają zastosowania iteracyjnych metod rozwiązywania układu równań, które są nieodzowne w przypadku analiz nieliniowych i uwzględniających zjawisko kontaktu.



Rys. 4. Wyniki analizy: a) mapa przemieszczeń (wartość maksymalna: 1,17 mm), b) wykres porównawczy wartości maksymalnych naprężeń normalnych wyznaczonych w przekroju A-A (rys. 1b) podczas eksperymentu oraz naprężeń określonych numerycznie w modelu 3D z elementami RBE3

LITERATURA

1. Dacko M., Krasoń W., Filiks Ł. „Eksperymentalno-numeryczne badania modernizowanego mostu towarzyszącego BLG-67M”. *Biuletyn WAT*. Vol. LX 1 (661), 2011: s. 289+307.
2. Krasoń W., Filiks Ł. “Numerical tests of the main pin joint in scissor BLG bridge. Computer Methods in Mechanics”. *CMM 2011, 19th International Conference on Computer Methods in Mechanics*. Warszawa, 2011.
3. MSC.Patran/Nastran Reference Manuals, MSC.Software, 2005.
4. Cios K., Krasoń W. „Analiza numeryczna zespołu złącza mostu specjalnego”. *XXXIII Seminarium Kół Naukowych Wydziału Mechanicznego*. Warszawa, 2014.
5. Cios K. „Analiza numeryczna wyężenia zespołu złącza mostu specjalnego”. Projekt inżynierski. Wojskowa Akademia Techniczna, 2015.