Jerzy HANDKIEWICZ

PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ I OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH RAMY WÓZKA 11ANa

Streszczenie. W referacie przedstawiono wartości naprężeń w ramie wózka 11ANa otrzymane w oparciu o obliczenia wytrzymałościowe i porównano je z wartościami naprężeń zmierzonymi w trakcie badań wytrzymałościowych ramy. Zarówno w oparciu o obliczenia, jak i badania statyczne dokonano oceny wytrzymałości ramy na podstawie wykresu wytrzymałości zmęczeniowej Goodmana, a porównanie obu ocen przedstawiono w opracowaniu.

THE TEST AND CALCULATION RESULTS COMPARISON OF THE MECHANICAL STRENGTH OF THE 11ANa BOGIE FRAME

Summary. The stress values of the 11ANa bogie frame calculated by FEM were compared to the stresses measured during static tests. Both during static tests and calculation, the mean and amplitude stresses were determined and showed at the Goodman fatigue strength diagram.

1. WSTĘP

Najczęściej stosowanym narzędziem wspomagającym projektowanie konstrukcji nośnych są systemy obliczeniowe bazujące na metodzie elementów skończonych. Modele obliczeniowe zbudowane w oparciu o MES umożliwiają dokładne odwzorowanie geometrii konstrukcji. a właściwie zadane warunki brzegowe oraz przyłożone obciążenia stwarzają możliwość uzyskania wyników zbliżonych do tych, jakie otrzymuje się w trakcie pomiarów rzeczywistych obiektów na stanowiskach badawczych. Coraz częściej też prezentuje się w publikacjach wyniki takich analiz ograniczone zwykle do rezultatu obliczeń. Wynika to najczęściej albo z braku możliwości badań w danym ośrodku, w którym wykonano analizę obliczeniową, albo z kilkuletniego odstępu, jaki upływa od opracowania konstrukcji do wykonania badań prototypu. W Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Pojazdów Szynowych na bieżąco przeprowadzane są badania wytrzymałościowe na stanowiskach badawczych, a od szeregu lat na etapie projektowania konstrukcji wykonywana jest analiza wytrzymałościowa konstrukcji w oparciu o program MES opracowany przez autora [1]. Jako przykład takiej konstrukcji, dla której wy-

konano zarówno analizę obliczeniową, jak i badania stanowiskowe, zdecydowano się przedstawić i porównać wyniki uzyskane dla ramy wózka 11ANa.

2. PORÓWNANIE WYNIKÓW Z POMIARÓW TENSOMETRYCZNYCH I OBLICZEŃ

Model obliczeniowy ramy wózka 11ANa zbudowano głównie w oparciu o elementy płytowo-powłokowe 8-węzłowe. Do podzielenia modelu obejmującego 1/4 część ramy wykorzystano 3815 węzłów dzieląc model na 1300 elementów. Rysunki 1 i 2 przedstawiają uproszczony widok siatki elementów skończonych obejmujący połowę ostojnicy i część poprzecznicy. W badaniach i obliczeniach ramę wózka 11ANa poddano kryteriom wytrzymałościowym przewidzianym kartą UIC-515 [5]. Kryteria te przewidują między innymi rozważenie działania na ramę wózka obciążeń nadzwyczajnych pionowych, poprzecznych i od wichrowatości toru. W opracowaniu [4] porównano wartości naprężeń z badań i obliczeń właśnie dla tych obciążeń. Poniżej na rys. 1,2 przedstawiono wyniki dla najciekawszego przypadku obciążenia: równoczesnego działania obciążenia pionowego, poprzecznego i od wichrowatości. Zarówno w obliczeniach, jak i badaniach starano się w identyczny sposób przyłożyć siły działające na ramę. Obciążenie poprzeczne ramy odbierane jest na prowadnicach maźnic w identyczny sposób, jak to wykonano w czasie badań. Obciążenie od wichrowatości jest uwzględ-



Rys. 1. Izolinie maksymalnych naprężeń głównych oraz wartości naprężeń w tensometrach [MPa] ramy wózka przy obciążeniu nadzwyczajnym pionowym, poprzecznym i od wichrowatości toru

Fig.1. The maximum principal stresses contour lines and the stress values measured in the strain gauges, when vertical and transverce exceptional forces combained with track distortion are applied to the 11ANa bogie frame nione przez wprowadzenie przemieszczeń ramy w miejscu działania sprężyn maźniczych. Rozważenie przypadków obciążeń uwzględniających siły poprzeczne i od wichrowatości w modelu obejmującym 1/4 część ramy możliwe było dzięki zastosowaniu techniki superelementów. Jedyna rozbieżność między obliczeniami a badaniami dotyczyła szczegółów obciążenia poprzecznego, w obliczeniach uwzględniono oddziaływanie momentu od sprężyn głównych oraz sił działających na wsporniki stabilizatora, w badaniach ten efekt pominięto. Wyniki uzyskane drogą obliczeniową przedstawiono w sposób graficzny pokazując dla podanego przypadku obciążenia widok na połowę ostojnicy i połączenie z poprzecznicą rurową raz z góry (rys. 2), drugi raz z dołu (rys. 1).



- Rys. 2. Izolinie maksymalnych naprężeń głównych oraz wartości naprężeń w tensometrach [MPa] przy obciążeniu ramy wózka siłami nadzwyczajnymi pionową, poprzeczną i od wichrowatości toru
- Fig.2. The maximum principal stresses contour lines and the stress values measured in the strain gauges, when vertical and transverce exceptional forces combained with track distortion are applied to the 11ANa bogie frame

Obliczeniowe wartości naprężeń pokazane są jako izolinie maksymalnych naprężeń głównych. Naprężenia główne wybrano jako bardziej reprezentatywne niż naprężenia zredukowane, ponieważ oprócz informacji o wartości naprężeń podają również informację co do zwrotu naprężeń. Wszystkie tensometry umieszczone w trakcie badań na pasie górnym i dolnym ostojnicy oraz w połączeniu ostojnicy z poprzecznicą wyszczególniono na rysunkach 1 i 2, zaznaczając ich umiejscowienie i kierunek ułożenia. Na odpowiednich odnośnikach podano wartości naprężeń zmierzone w trakcie badań oraz numery niektórych tensometrów.

W cytowanym już opracowaniu [4] porównano i przeanalizowano wartości naprężeń otrzymane w badaniach z odpowiednimi obliczeniowymi rozkładami naprężeń, dla szeregu kombinacji obciążeń nadzwyczajnych. Stwierdzono znaczące rozbieżności między wartościami naprężeń zmierzonymi i obliczeniowymi w następujących tensometrach 5,8,9,10. Należy przypuszczać, że w tensometrach 5,9,8 wyraźna różnica między wartościami naprężeń zmierzonymi wynika z uproszczenia modelu obliczeniowego pomijającego promień gięcia pasa dolnego ostojnicy w tym miejscu. Natomiast w tensometrze 10 znaczące różnice w wartościach występują głównie dla przypadków obciążeń, w których jednym z czynników jest wichrowatość toru. W badanym obiekcie występuje w tym miejscu niewielka zmiana szerokości pasa dolnego ostojnicy z promieniem przejścia - w modelu obliczeniowym zmianę szerokości pasa pominięto. Należy przypuszczać, że promień przejścia między pasem węższym i szerszym oraz oddziaływanie żebra między poprzecznicą rurową a pasem dolnym ostojnicy przy obciążeniach z uwzględnieniem wichrowatości są przyczyną tej różnicy.

W pozostałych punktach zarówno poziom, zwrot, jak i rozkład naprężeń wyznaczony drogą obliczeniową podobny jest do uzyskanego w trakcie badań. Niewielkie różnice naprężeń występujące w tych samych miejscach konstrukcji pomiędzy wartościami obliczeniowymi i badawczymi mieszczą się w granicach błędów obliczeń i pomiaru. Należy zwrócić szczególną uwagę na tensometry 20,23,24,27, które przy obciążeniach od wichrowatości toru znajdują się w obszarach o dużym gradiencie naprężeń.

3. PORÓWNANIE WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Zarówno w trakcie badań [2], jak i obliczeń [3] na podstawie wartości naprężeń z prób statycznych przy różnych kombinacjach obciążeń eksploatacyjnych dokonano oceny wytrzymałości w oparciu o wykres wytrzymałości zmęczeniowej Goodmana dla stali o wytrzymałości doraźnej R_m=520MPa odpowiadającej stali 18G2, a zamieszczony w załączniku 6.3 sprawozdania ERRI B12/RP17 [6]. Dla wybranego punktu ramy wózka wybiera się dwa przypadki spośród obciążeń eksploatacyjnych, przy których wystąpiły naprężenia największe (σ_{max}) i najmniejsze (σ_{min}). Na ich podstawie określa się wartość naprężenia średniego i amplitudy naprężeń:

$$\sigma_{sr} = 0.5 \cdot (\sigma_{\min} + \sigma_{\max}), \tag{1}$$

$$\sigma_a = 0.5 \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}), \tag{2}$$

które nanosi się na wykres Goodmana i określa, czy zostały przekroczone naprężenia dopuszczalne. W trakcie badań spośród wszystkich tensometrów położonych na ostoi i poprzecznicy ramy poddano takiej ocenie tensometry 1,7,14,66,68 (rys. 1,2). Poniżej przedstawiono zmiany naprężeń w tych tensometrach, z lewej strony wg sprawozdania z badań ([2] str.13), z prawej w oparciu o wyniki obliczeń [3].

Widać wyraźnie, że w wymienionych tensometrach zarówno średnie naprężenia, jak i amplitudy naprężeń są praktycznie takie same w badaniach, jak i obliczeniach. Stwierdzono również duży zapas wytrzymałości zmęczeniowej potwierdzony w trakcie badań zmęczeniowych - w podstawowym zakresie 10^7 cykli obciążeń oraz dodatkowych obciążeniach o liczbie cykli $2 \cdot 10^6$ nie wystąpiły w ramie pęknięcia zmęczeniowe.



Rys. 3. Ocena wytrzymałości zmęczeniowej w oparciu o wykres Goodmana:
a) wytrzymałość zmęczeniowa wg badań, b) wytrzymałość zmęczeniowa wg obliczeń

- Fig.3. The mean and amplitude stresses of some points of the bogie frame in the Goodman fatigue strength diagram:
 - a) in accordance with tests, b) in accordance with calculations

4. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione porównanie wyników i oceny wytrzymałości ramy dokonane na drodze badawczej i obliczeniowej pozwala na sformułowanie następujących twierdzeń:

- a) wyniki i ocena wytrzymałości ramy przeprowadzona na drodze obliczeniowej i w badaniach są podobne,
- b) wyznaczone w sposób obliczeniowy w danym miejscu konstrukcji naprężenia o dużym poziomie wartości są z reguły nieco większe od pomierzonych w trakcie badań,
- c) pominięcie istotnych szczegółów konstrukcyjnych w modelu obliczeniowym może być powodem występowania istotnych różnic w stosunku do obiektu badawczego,
- d) ograniczenia w możliwościach komputera i programu zmuszają wykonawcę do stosowania uproszczonego modelu obliczeniowego, dlatego wykonawca musi posiadać spory zasób wiedzy, doświadczenia i intuicji, aby przy jak najbardziej uproszczonym modelu uzyskać zgodność wyników modelu obliczeniowego z układem rzeczywistym.

LITERATURA

- 1. Handkiewicz J.: Program MES w OBRPS jego możliwości i zastosowania. XII Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe '96", Rydzyna, 9-10.10.1996, s. 20-26.
- "Badania wytrzymałości zmęczeniowej ramy wózka 11ANa", nr SB-1959 OBRPS 1995 r.
- "Sprawozdanie z obliczeń wytrzymałościowych ramy wózka 11ANa", nr 11ANa 011601-1 OBRPS 1993r.
- "Sprawozdanie z uproszczonych obliczeń wytrzymałościowych ramy wózka 11ANb", nr 11ANb 0116-1 OBRPS 1996r.
- 5. UIC 515 "Wagony pasażerskie. Układy biegowe" wyd.2
- 6. Sprawozdanie ERRI B 12/RP 17 (wyd. 7) 'Program badań wagonów towarowych...'

Recenzent: Dr hab.inż. Wiesław Grzesikiewicz Prof. Politechniki Warszawskiej

Abstract

In the Rail Vehicle Research and Development Centre the mechanical strength of rail vehicle construction, can be checked theoretically by FEM in design process, or practically during the stand tests. The mechanical strength is checked theoretically with the aid of the FEM program written by author [1]. In the paper the stress values calculated by FEM program were compared to the stresses measured during static tests of the 11ANa bogie frame. Fig. 1 and 2 shows the calculated and measured stresses in the side sill and cross member of the bogie frame for the most interesting case of load: the superimposition of the vertical and transverce exceptional forces with twist subjected by track distorsion. The mean and amplitude stresses were determined basing oneself on the test and calculation results, and compared at fig. 3. It was shown that the results obtained by FEM program are very similar to the test results.