



Ocena wytrzymałości konstrukcji powłokowego mostu przeladunkowego

FILIP MATACHOWSKI, DARIUSZ BAŃDO

Akademia Górniczo-Hutnicza, WIMiR, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji,
31-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30

Streszczenie. Wiele pracujących obecnie suwnic ma za sobą 20-30-letni okres eksploatacji. Stwarza to konieczność przeprowadzenia oceny stanu technicznego konstrukcji. Jednym ze składników takiej oceny staje się analiza wytrzymałościowa.

Właśnie w takim celu dokonano analizy wytrzymałościowej powłokowego mostu przeladunkowego. Wykorzystano metodę elementów skończonych ze względu na skomplikowaną, przestrzenną konstrukcję blachownicową mostu. W rezultacie otrzymano informacje o miejscach, na które szczególnie trzeba zwrócić uwagę, co wydatnie pomogło w oględzinach konstrukcji i badaniach defektoskopowych.

Słowa kluczowe: suwnica, powłokowy most przeladunkowy, analiza wytrzymałościowa, MES
Symbole UKD: 621.874

1. Wstęp

W latach 70. XX wieku zrodziła się koncepcja budowy suwnicy, której ustrój nośny (przesło) stanowiłaby konstrukcja blachownicowa otwarta. Pod koniec lat 70. zbudowano kilka takich konstrukcji, które nie zyskały szczególnej popularności ze względu na ich skomplikowaną budowę, duży ciężar własny i stosunkowo (do rozmiarów) mały udźwig.

1.1. Cel analizy wytrzymałościowej

Pracujące obecnie powłokowe suwnice przeladunkowe mają za sobą 20-30-letni okres eksploatacji, nierzadko bardzo intensywnej. Po takim czasie występuje konieczność oceny zdolności konstrukcji do dalszej pracy.

Analiza wytrzymałościowa MES pozwoliła poznać newralgiczne ze względów wytrzymałościowych obszary przęsła suwnicy, na co nie pozwalała klasyczna wytrzymałość. Wyniki analizy uwzględniono także podczas oględzin konstrukcji i badań defektoskopowych.

1.2. Zakres analizy

Do zasadniczego zakresu pracy wchodzi opracowanie i wykonanie analizy wytrzymałościowej powłokowego przęsła suwnicy bramowej. Analizę tę wykonano w oparciu o dwa modele obliczeniowe:

- model belkowy,
- model numeryczny.

Model belkowy posłużył przede wszystkim do wyznaczenia przebiegu zmian momentów gnących i siły tnącej w zależności od położenia wózka na przęsle. Umożliwił także wstępne oszacowanie poziomu naprężeń. Uzyskane wyniki były punktem odniesienia do oceny wyników uzyskanych z symulacji komputerowych przeprowadzonych dla modelu numerycznego.

Drugi model stworzono przy użyciu programu do modelowania komputerowego NE/Nastran Modeler 8.3 na podstawie dokumentacji technicznej. Analizę wytrzymałościową tego modelu wykonano z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES) i przeprowadzono przy użyciu programu rozwiązującego NE/Nastran Engine 8.3. Obliczenia wykonano dla kilku wariantów przyjętych obciążeń.

2. Konstrukcja suwnicy

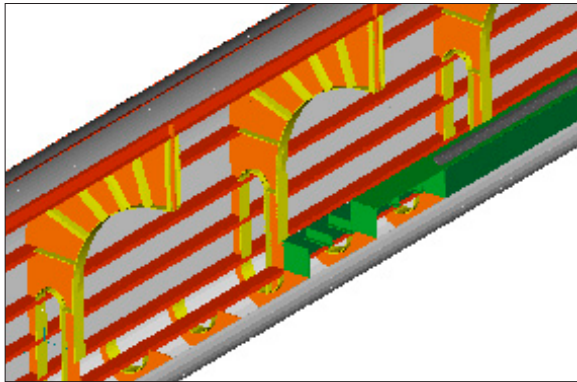
Projekt tej suwnicy (rys. 1) powstał w 1976 roku w jednym z polskich biur projektowych. Została ona zbudowana pod koniec lat 70. z przeznaczeniem do pracy



Rys. 1. Powłokowa suwnica przeładunkowa pracująca na składowisku rudy żelaza (widok od strony zachodniej)

na składowisku rudy żelaza w hucie stali. Jest to konstrukcja powłokowa otwarta w pełni spawana, wykonana ze stali St3S. Całkowita długość przęsła wynosi 133,4 m, a odległość pomiędzy osiami podpór — 76,2 m. Wysokość podpory stałej jest równa 32 m, a podpory ruchomej — 23,5 m. Wewnątrz konstrukcji porusza się niezależnie napędzany wózek z chwytnikiem do materiałów sypkich o udźwigu 35 ton.

Na konstrukcję przęsła składa się kilka elementów (rys. 2). Głównymi elementami nośnymi są: powłoka przęsła wykonana z blachy o grubości 10 mm (kolor szary) i uźebrowanie wzdłużne ceownikami C300 (kolor czerwony). Konstrukcja poprzedzielana jest co 6 m ścianami międzywręgowymi (poprzecznicami) w kształcie ram blachownicowych o grubości 20 mm (kolor pomarańczowy) wraz z przeponami wykonanymi z kątowników L100×100 (kolor żółty). Dodatkowo co 2 m w dolnej części wspawane są szczątkowe przepony. W pobliżu podpór rozstawy wręg są mniejsze, co umożliwi przeniesienie nacisków przęsła na podpory. Przekrój przęsła wpisany jest w kwadrat o boku 7,2 m. Wzdłuż całej długości przęsła biegnie belka podszynowa o konstrukcji skrzynkowej (kolor zielony), do której zamocowana jest szyna (kolor ciemnoszary).



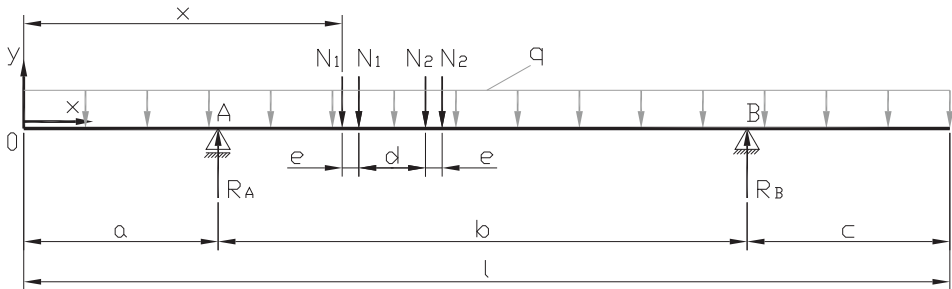
Rys. 2. Konstrukcja przęsła (przekrój podłużny)

3. Modele obliczeniowe

Aby dokonać analizy wytrzymałościowej, posłużono się dwoma wcześniej wspomnianymi modelami przęsła suwnicy.

3.1. Model belkowy przęsła suwnicy

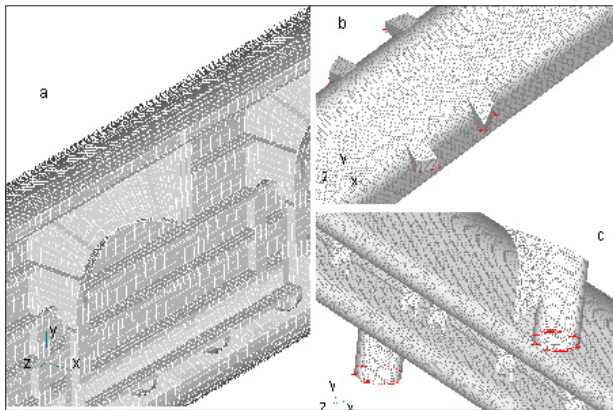
Model belkowy (rys. 3) posłużył do wyznaczenia najbardziej niekorzystnych, ze względu na wartość momentu gnącego i siły poprzecznej, położenia wózka z chwytnikiem. Wszystkie uwzględnione obciążenia pokazano na poniższym rysunku.



Rys. 3. Model belkowy przęsła suwnicy

3.2. Model numeryczny

Numeryczny model przęsła (rys. 4) został stworzony w programie NE/Nastran Modeler z wykorzystaniem MES. Jest to przestrzenny model wiernie odwzorowujący geometrię rzeczywistego przęsła.



Rys. 4. Model obliczeniowy wykonany z elementów skończonych: a) przekrój podłużny; b) podpora ruchoma; c) podpora stała

Konstrukcja przęsła jest wykonana w całości z blach lub profili walcowanych. Wszystkie te elementy są powierzchniami, dlatego do budowy modelu wykorzystano płaskie elementy powłokowe — trójkątne i czworokątne. Wszystkie elementy mają 6 stopni swobody w każdym węźle. Przekrójny rozmiar elementu to 150-300 mm (długość krawędzi). Całkowita liczba elementów skończonych w modelu wynosi 370 tys.

4. Analiza wytrzymałościowa

4.1. Obciążenia

Obciążenia działające na dźwignice zostały podzielone na kilka kategorii ze względu na ich charakter i częstość występowania. Przy wyznaczaniu ich wartości uwzględniono również klasę podnoszenia suwnicy na podstawie PN-ISO 8686. Uwzględniono stany robocze i nierobocze.

4.1.1. Obciążenia regularne

Przy obciążaniu uwzględniono masę przęsła poprzez podanie gęstości materiału i przyłożenie przyspieszenia ziemskiego. Masa wózka i chwytaka wraz z ładunkiem została zredukowana do nacisków poszczególnych kół i przyłożona na długości wynikającej ze wzorów Hertza.

4.1.2. Obciążenia nieregularne

Ze względu na usytuowanie suwnicy na otwartej przestrzeni i jej gabaryty uwzględniono wpływ wiatru bocznego wg PN-ISO 4302. Dodatkowo uwzględniono efekt podciśnienia powstającego wewnątrz konstrukcji i po stronie zawietrznej wg PN-77/B-02011.

Duża powierzchnia górną przęsła spowodowała również konieczność uwzględnienia obciążenia śniegiem, które dobrano na podstawie PN-80/B-02010.

4.1.3. Zestawienie przypadków obciążeń

Zgodnie z wytycznymi podanymi w normie PN-ISO 8686, do obliczeń wybrano takie kombinacje obciążeń przęsła, aby jak najbardziej odzwierciedlić warunki rzeczywiste użytkowania. Dodatkowo, opierając się na wynikach z analizy modelu belkowego, wybrano najbardziej niekorzystne położenia wózka. Poniżej zestawiono wszystkie przypadki obciążeń (tab. 1).

4.2. Wyniki analizy statycznej

W wyniku przeprowadzonych analiz poszczególnych przypadków otrzymano rozkład naprężeń w konstrukcji przęsła dla poszczególnych przypadków. Ze względu na dużą liczbę analizowanych przypadków, poniżej przedstawiono tylko najbardziej interesujące wyniki.

TABELA 1

Zestawienie przypadków obciążeń

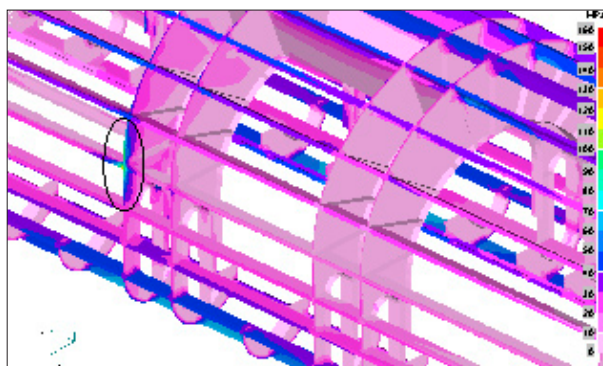
po.	obciążenia masowe			położenie wózka x [m]	wpływ wiatru	wpływ śniegu	stan pracy
	przęsło	wózek	ładunek				
1	✓	✓	✗	21,0	✗	✗	nieroboczy
2	✓	✓	✓	56,6	✗	✗	roboczy
3	✓	✓	✓	88,9	✗	✗	roboczy
4	✓	✓	✓	113,8	✗	✗	roboczy
5	✓	✓	✓	4,0	✗	✗	roboczy
6	✓	✓	✓	28,1	✗	✗	roboczy
7	✓	✓	✗	21,0	✓	✗	nieroboczy
8	✓	✓	✓	56,6	✓	✗	roboczy
9	✓	✓	✓	88,9	✓	✗	roboczy
10	✓	✓	✓	113,8	✓	✗	roboczy
11	✓	✓	✓	4,0	✓	✗	roboczy
12	✓	✓	✓	28,1	✓	✗	roboczy
13	✓	✓	✓	56,6	✗	✓	roboczy
14	✓	✓	✓	88,9	✗	✓	roboczy
15	✓	✓	✓	113,8	✗	✓	roboczy
16	✓	✓	✓	4,0	✗	✓	roboczy
17	✓	✓	✓	28,1	✗	✓	roboczy

5. Ocena wyników obliczeń

W wyniku przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzono, że wyliczone maksymalne ugięcie przęsła w osi pionowej wynosi $f_{y\max} = 31,4$ mm w punkcie pomiarowym pomiędzy podporami i 54,7 mm w punkcie pomiarowym na prawym końcu przęsła. Zgodnie z normą, wartość dopuszczalna ugięcia wynosi $f_{\max} = 152,4$ mm. Maksymalne ugięcie w osi poziomej $f_{x\max}$ wyniosło 7,9 mm, co jest wartością dużo mniejszą niż dopuszczalna wartość ugięcia, wynosząca 76,2 mm. Wartości ugięć w żadnym z rozważanych przypadków nie przekroczyły wartości granicznych.

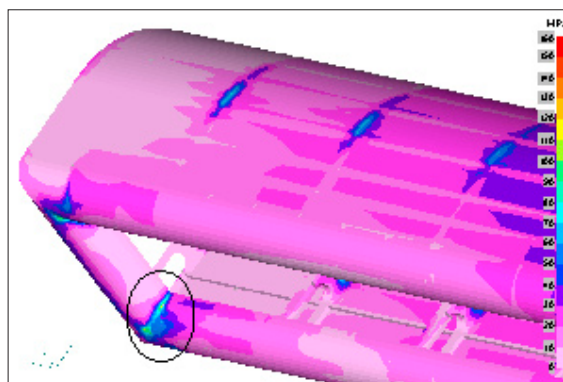
Poziom maksymalnych naprężeń zredukowanych (hip. Hubera) w elementach konstrukcji przęsła jest niski i wynosi odpowiednio dla powłoki przęsła 71 MPa, uźbrowania wzdłużnego — 70 MPa, ścian międzyprzeponowych — 56 MPa, przepon wręg — 66 MPa i dla belki podszynowej — 42 MPa. Jest to dużo poniżej dopusz-

czalnego poziomu naprężeń, wynoszącego dla tych elementów 160 MPa (wg PN-90/B-03200). Poziom naprężen dopuszczalnych dla spoin, wynoszący 57 MPa, został przekroczony w kilku miejscach, w których zaobserwowano koncentracje naprężeń. Są to spoiny łączące podporę wahlkową (rys. 5) z konstrukcją przęsła, dla której naprężenia maksymalne wynoszą 78 MPa, i spoiny belki poprzecznej łączącej ją z przeponami zamykającymi przęsło, gdzie naprężenia wyniosły 62 MPa.



Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych (hip. Hubera) w połączeniu spawanym krzyżowym na podporze wahlkowej — przypadek 16

Aby skonstruować przęsło, trzeba sprawdzić stan spoin mocowania górnej części podpory wahlkowej. Dla większości analizowanych przypadków obciążenia są to miejsca, w których przekroczone zostały naprężenia dopuszczalne (rys. 5). W miarę możliwości technicznych zaleca się wzmocnienie tej części, a także okresowe kontrole tych połączeń, gdyż jest to element mający duży wpływ na bezpieczeństwo konstrukcji.



Rys. 6. Rozkład naprężeń zredukowanych (hip. Hubera) w połączeniu spawanym na lewym końcu przęsła — przypadek 16

Kontroli należy poddać także spoiny łączące belkę poprzeczną z dolną częścią przęsła. Jest to element łączący od dołu przepony zamykające przęsło. Obliczenia wykazały, że jest to miejsce koncentracji naprężeń (rys. 6), a w trakcie oględzin tego rejonu stwierdzono pęknięcia zmęczeniowe (rys. 7).



Rys. 7. Deformacja belki poprzecznej i pęknięcia zmęczeniowe w narożach konstrukcji

Artykuł wpłynął do redakcji 16.02.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2006 r.

LITERATURA

- [1] A. PIĄTKIEWICZ, R. SOBOLSKI, *Dźwignice*, WNT, Warszawa, 1969.
- [2] J. BRACH, E. CHOJNACKI, A. WÓJCIKOWSKI, *Urządzenia do transportu bliskiego*, PWT, Warszawa, 1954.
- [3] J. ŻMUDA, *Projektowanie torów jezdnych suwnic i elektrowyciągów*, Wydawnictwo TiT, Opole, 1997.
- [4] J. ZIÓŁKO, G. ORLIK, *Montaż konstrukcji stalowych*, Arkady, Warszawa, 1980.
- [5] M. ŁUBIŃSKI, A. FILIPOWICZ, W. ŻÓŁTOWSKI, *Wymiarowanie konstrukcji stalowych metodą stanów granicznych*, PWN, Warszawa, 1981.
- [6] M. ŁUBIŃSKI, A. FILIPOWICZ, W. ŻÓŁTOWSKI, *Konstrukcje metalowe*, Arkady, Warszawa, 2000.
- [7] *Ekspertyza wytrzymałościowa konstrukcji mostu powłokowego nr 2 na Wydziale Wielkich Pieców huty im. T. Sendzimira*, praca zbiorowa pod kier. K. FLAGI, PK, Kraków, XII.1998.
- [8] *Ekspertyza wytrzymałościowa konstrukcji mostu powłokowego nr 2 na Wydziale Wielkich Pieców huty im. T. Sendzimira*, praca zbiorowa pod kier. K. FLAGI, PK, Kraków, VII.1993.
- [9] A. CICHOCIŃSKI, *Pomiary tensometryczne modelu belki głównej powłokowego mostu przeladunkowego*, Problemy projektowe, 10, 1967.

F. MATACHOWSKI, D. BAÑDO

Strength analysis of a gantry crane

Abstract. Many of currently working gantry cranes have been exploited for 20-30 years. After that period it is necessary to evaluate technical state of a construction. Strength analysis is an element of such evaluation.

Because of very complicated and unusual three dimensional main construction of sheet metal of this gantry crane, the Finite Element Method has been used. As a result of that analysis, the data on stress concentration points, which should be of special notice, have been obtained. The known location of these points was helpful for inspection and non-destructive tests.

Keywords: gantry crane, strength analysis

Universal Decimal Classification: 621.874