

Aleksander SŁADKOWSKI, Jerzy MIKULSKI, Jakub MŁYŃCZAK

ANALIZA PARAMETRÓW MECHANICZNYCH MASZTU SYGNALIZATORA ŚWIETLNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę wytrzymałościową masztu semafora świetlnego stosowanego w kolejnictwie. Nowa konstrukcja masztu została poddana symulacji z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Model masztu poddano obciążeniom pochodzącym od masy głowicy świetlnej i siły parcia wiatru.

ANALYSIS OF MECHANICAL PARAMETERS OF THE SIGNAL LIGHT MAST

Summary. The paper presents the resistance analysis of the semaphore light mast, which is used in the railway. The simulation of the new mast construction was made by using the finite element method. The model of the mast had been subjected to a load from the light head mass and the wind push force.

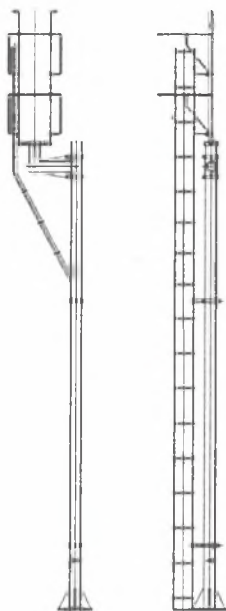
1. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA MASZTU SYGNALIZATORA Z WYSIĘGNIKIEM

Maszt sygnalizatora przeznaczony jest do zabudowywania, na jego wysięgniku, typowych stosowanych przez polskie koleje latarni sygnałowych.

Maszt sygnalizatora składa się z kryzy z wyfrezowanymi otworami umożliwiającymi obrót masztu, tak by uzyskać prostopadłość osi wysięgnika do osi toru. Do kryzy przyspawana jest rura masztu o długości umożliwiającej zabudowę latarni na żądanej wysokości. Połączenie kryzy z rurą usztywnione jest czterema żebrami. W rurze masztu wywiercony jest otwór $\varnothing 50$ mm na wysokości odpowiadającej wysokości montażu wysięgnika, umożliwiający przeprowadzenie kabla. Rura masztu posiada odpowiedni element usztywniający, spełniający wymagania o usztywnieniu ochronnym w urządzeniach sterowania ruchem kolejowym. Maszt wyposażony jest w wysięgnik umożliwiający montaż latarni, spełniający warunki skrajni kolejowej. Wysięgnik mocowany jest do masztu dwoma obejmami z gwintem M 16.

Do masztu dołączona jest drabina umożliwiająca konserwację latarni oraz jej przedłużenie wraz z koszem ochronnym.

Maszt sygnalizatora konstrukcyjnie różni się od dotychczas stosowanych masztów semaforów tym, iż wysięgnik i kryza mocująca nie są wykonane w postaci odlewu, ale jako konstrukcje spawane. Wygląd kompletnego masztu bez zabudowanej latarni sygnałowej przedstawia rys.1.



Rys. 1. Widok ogólny analizowanego masztu

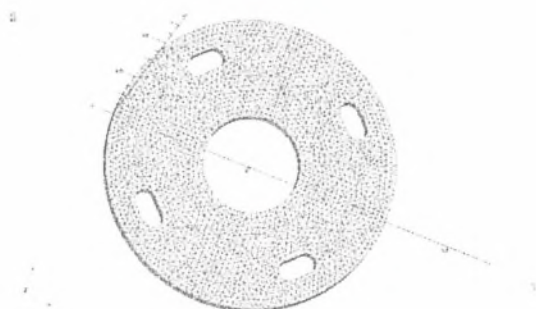
Fig. 1. The main view of the analyzed mast

2. KOMPUTEROWA SYMULACJA WYTRZYMAŁOŚCIOWA MASZTU Z WYKORZYSTANIEM METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH (MES)

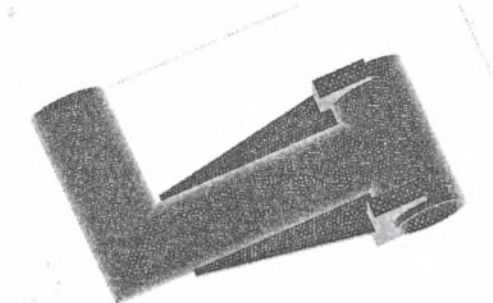
Analizę wytrzymałościową przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania MSC NASTRAN 2003 i MSC MARC 2003.

2.1. Model masztu

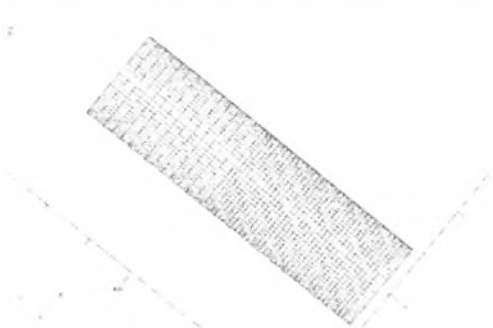
W celu przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej został wykonany model przedmiotowego masztu, w którym wyodrębniono wszystkie główne części składowe analizowanego masztu. Rurę masztu podzielono na trzy części, pierwszą – współpracującą z podstawą, drugą – współpracującą z ramieniem wysięgnika i trzecią – łączącą część pierwszą i drugą. Wykonano również modele wszystkich spawów łączących elementy kryzy z żebrami i rurą, natomiast spawy wykonane na elementach ramienia wysięgnika pominięto, ze względu na ich niewielkie obciążenie. Tak wykonane modele poddane zostały podziałowi na elementy skończone (wykonanie siatek elementów skończonych). Przykładowe siatki przedstawiają rysunki 2-4.



Rys. 2. Siatka elementów skończonych dla kryzy masztu
Fig. 2. The finite element mesh for the mast orifice



Rys. 3. Siatka elementów skończonych dla ramienia wysięgnika
Fig. 3. The finite element mesh for the extension arm

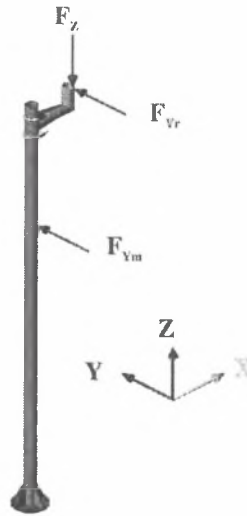


Rys. 4. Siatka elementów skończonych dla części rury masztu współpracującej z podstawą
Fig. 4. The finite element mesh for the part of the mast tube, which co-operates with the base

W podobny sposób wykonano siatki elementów skończonych dla pozostałych części składowych masztu. Dobór wielkości elementów wykonano w taki sposób, aby siatki współpracujących części miały taki sam wymiar w punktach styku. Model składał się z 62805 węzłów i z 133884 elementów.

2.2. Obciążenie masztu

W modelu masztu uwzględniono obciążenie konstrukcji siłą pochodzącą od masy głowicy semafora oraz od siły parcia powietrza podczas przejazdu pociągu lub silnego wiatru. Rozkład sił przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Rozkład sił w modelu masztu
Fig. 5. The force distribution in the mast model

Jako F_{Ym} i F_{Yr} oznaczono siły pochodzące od parcia wiatru (kierunek Y), F_z to siła pochodząca od głowicy semafora (kierunek - Z).

Zgodnie z [3] maksymalna prędkość strumienia powietrza powstającego w wyniku przejazdu pociągu z prędkością 160 km/h w odległości 1m od pociągu wynosi 78 km/h, natomiast dla prędkości 240 km/h strumień powietrza osiąga maksymalnie 116 km/h, a więc analizę wytrzymałościową przeprowadzono dla tych dwóch wartości prędkości wiatru.

Zgodnie z [4] obliczono siłę parcia wiatru na maszt i głowicę semafora. W obliczeniach przyjęto powierzchnie głowicy semafora 3-komorowego (wymiar zaokrąglono do wymiaru prostokąta). W celu obliczenia siły założono, że wiatr działa prostopadle do głowicy masztu. Uzyskane wartości siły wiatru przedstawiono poniżej:

- dla prędkości 78 km/h na maszt działa $F_{Ym} = 292$ N, na głowicę $F_{Yr} = 522$ N;
- dla prędkości 160 km/h na maszt działa $F_{Ym} = 1227$ N, na głowicę $F_{Yr} = 2194$ N;

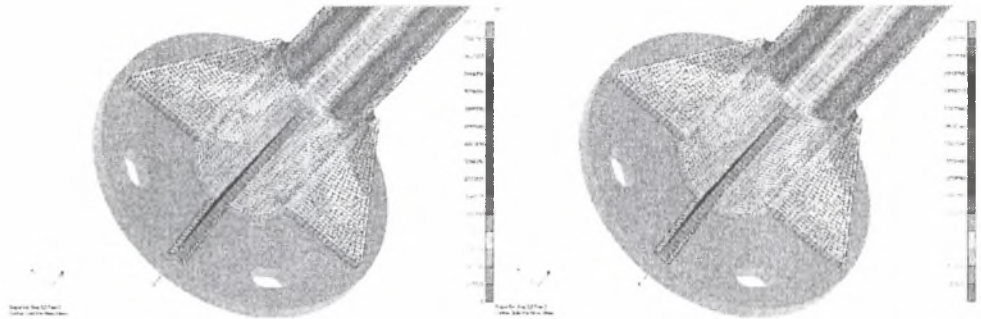
Za siłę pochodzącą od masy głowicy przyjęto $F_z = 500$ N.

Dokonano również obliczeń momentów pochodzących od tego, iż przeniesiono punkt przyłożenia siły ze środka tarczy tłowej na koniec ramienia wysięgnika (uwzględniono momenty te w analizie, natomiast nie zaznaczono ich na rys. 5).

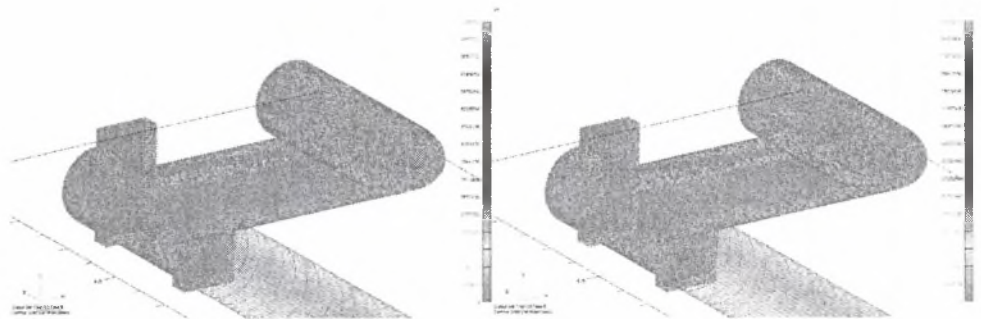
2.3. Analiza wytrzymałościowa

W analizie przyjęto oddziaływanie odpowiednio dla prędkości 78 km/h i dla prędkości 160 km/h.

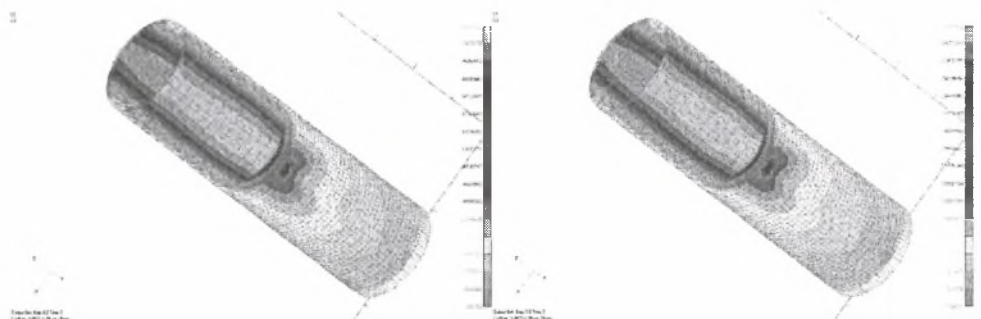
Z prawej strony każdego rysunku podano skalę mówiącą o naprężeniach w Pa, natomiast w lewym dolnym rogu narysowany jest układ współrzędnych.



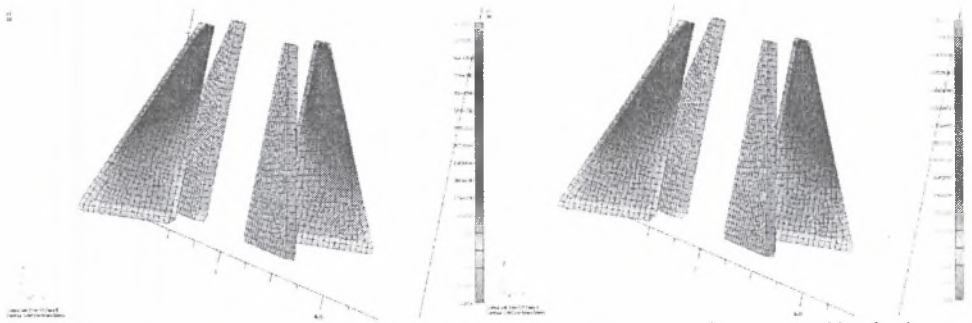
Rys. 6. Naprężenia redukowalne w dolnej części masztu (widok na górną część żeber)
 Fig. 6. Reducible stresses in the bottom part of the mast (the view on the upper part of ribs)



Rys. 7. Naprężenia redukowalne w ramieniu wysięgnika (widok z góry)
 Fig. 7. Reducible stresses in the extension arm (the upper view)



Rys. 8. Naprężenia redukowalne w dolnej części rury masztu (widok w kierunku działania siły)
 Fig. 8. Reducible stresses in the bottom part of the mast tube (the view in the force direction)



Rys. 9. Naprężenia redukowalne w żebrach (widok na boczną część żeber)
 Fig. 9. Reducible stresses in ribs (end view)

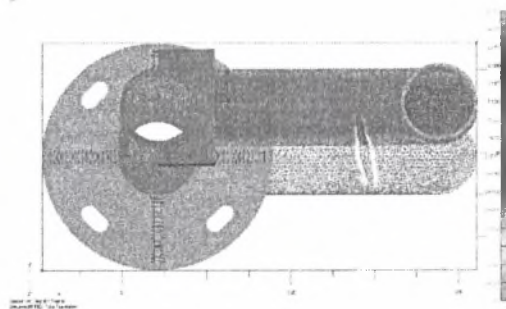
2.4. Deformacja masztu

Wykonano również analizę deformacji elementów masztu w zależności od siły wiatru. Na rysunkach poniżej przedstawiono wyniki dla prędkości wiatru 160 km/h. Dla prędkości wiatru 78 km/h kierunek deformacji będzie taki sam, natomiast wartość deformacji będzie „proporcjonalnie” niższa. Przesunięcie elementów masztu przedstawione na rys. 10, wykonane jest w powiększeniu 10:1, natomiast na rys. 11 przedstawiono przesunięcie elementów w skali 1:1.



Rys. 10. Maksymalne odkształcenie masztu sygnalizatora w kierunku działania siły (widok z boku skala 1:10)

Fig. 10. The maximal deformation of the signal light mast in the force direction (end view – the scale 1:10)



Rys. 11. Maksymalne odkształcenie masztu sygnalizatora w kierunku działania siły (widok z góry skala 1:1)

Fig. 11. The maximal deformation of the signal light mast in the force direction (the upper view – the scale 1:1)

3. ANALIZA WYNIKÓW

Model masztu został przytwierdzony na całej dolnej powierzchni kryzy i dla takiego przytwierdzenia został obciążony siłami pochodzącymi od masy głowicy sygnalizatora oraz od siły wiatru oddziałującego na głowicę i maszt. Analizę przeprowadzono dla dwóch prędkości wiatru – 78 i 160 km/h. W analizie omówiono wyniki symulacji dla wiatru wiejącego z prędkością 160 km/h, natomiast załączone rysunki odnoszą się do obu przypadków.

Dla stali St3, z której maszt jest wykonany, przyjmuje się wartość wytrzymałości na rozciąganie $R_m = 510$ MPa. Należy uwzględnić w analizie tylko naprężenia redukowalne. Jak widać na rys. 6 – 9 żaden element konstrukcji masztu nie został poddany naprężeniu większemu niż 380 MPa, tak więc konstrukcja masztu spełnia wymagania wytrzymałościowe, stawiane tego typu konstrukcjom.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że najbardziej obciążonymi elementami masztu są żebra umieszczone prostopadłe do ramienia wysięgnika (rys. 9) oraz rura masztu w części współpracującej z omawianymi żebrami (rys. 8). Jednak nawet dla siły wiatru przy jego prędkości 160 km/h nie zostaje przekroczona wartość graniczna naprężenia.

Kryza podstawy i ramię wysięgnika są najmniej obciążonymi częściami masztu (rys. 7). Można założyć, iż nawet dla większej głowicy sygnalizatora części te mogą zostać również wykorzystane.

Spawy łączące rurę masztu z żebrami są najbardziej obciążone w przypadku żeber prostopadłych do ramienia wysięgnika. Najbardziej obciążona jest ich górna część (rys. 6). W skrajnym przypadku wartość naprężenia to 315 MPa.

W przypadku spawów łączących żebra z kryzą również najbardziej obciążone są spawy żeber prostopadłych do ramienia wysięgnika. Jednak i tutaj naprężenia są poniżej wartości granicznej, w skrajnym przypadku uzyskując wartość 58 MPa.

W przypadku spawów łączących rurę masztu z górną częścią kryzy podstawy najbardziej obciążone są części spawów leżące po przeciwległej stronie do ramienia wysięgnika. Wartość maksymalnego naprężenia to 75 MPa.

W przypadku spawów łączących dolną część rury z kryzą największe naprężenie występuje na części leżącej w kierunku działania siły i przeciwległej do niej (pochodna skrećcia rury); wartość naprężenia kształtuje się na poziomie 67 MPa.

Na rys. 10, 11 przedstawiono kierunek odkształcania się masztu sygnalizatora pod wpływem przyłożonej siły. Kierunek odkształceń, jak również elementy, które podlegają największemu przemieszczeniu, zgodne są z przewidywaniami. Na rysunkach tych jaśniejszym kolorem pokazano pierwotny obrys masztu. Należy zauważyć, iż maksymalne odkształcenie masztu kształtuje się na poziomie 195 mm od położenia bez obciążenia.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że założona konstrukcja masztu spełnia wymagania wytrzymałościowe.

Literatura

1. PN-EN 14067-1 Kolejnictwo – Aerodynamika – Część 1: Symbole i jednostki.
2. PN-EN 14067-2 Kolejnictwo – Aerodynamika – Część 2: Aerodynamika na szlaku.
3. Assessment of potential aerodynamic effects on personnel and equipment in proximity to High-Speed train operations – Safety of High-Speed ground transportation systems – U.S. Department of Transportation – Federal Railroad Administration, Final Report, December 1999.
4. Basis of design and actions on structures ENV 1991-2-4:1995. Part 2-4: Wind actions.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski