MODELOWANIE INŻYNIERSKIE ISNN 1896-771X
32, s. 233-238, Gliwice 2006

ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE ALUMINIOWYCH SŁUPÓW DO ZAWIESZENIA SYGNALIZACJI ŚWIATEŁ DROGOWYCH

JAROSŁAW KACZMARCZYK

Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska

RYSZARD GRZYB
MACIEJ ROJEK
GABRIEL WRÓBEL

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodologię badań doświadczalnych i symulacyjnych wspomagających proces doboru cech konstrukcyjnych nowego typoszeregu aluminiowych słupów nośnych. Przedmiotem badań były modele materialne wykonane w skali 1:1 dla badań statycznych oraz w skali 1:2 dla badań w komorze aerodynamicznej. Cechy konstrukcyjne modeli obliczono na podstawie wyników jednocześnie prowadzonych symulacji komputerowych. Przedmiotem obliczeń były modele słupa opracowane z zastosowaniem metody elementów skończonych. Kryteria zgodności modeli obliczonych z obiektami rzeczywistymi stanowiły wybrane przemieszczenia w krytycznych warunkach obciążeń modelowych.

1. WSTĘP

Obecnie na rynku dużym zainteresowaniem cieszą się słupy aluminiowe. Są one lżejsze i tańsze od słupów stalowych, ale gorsze pod względem wytrzymałościowym. W pracy przedstawiono nowe i oryginalne rozwiązania konstrukcyjne słupów do zawieszenia sygnalizacji świateł drogowych. Opracowano szereg modeli w zależności od wymiarów słupa i wysięgnika, umiejscowienia i kształtu okna oraz zastosowanego wzmocnienia. Oryginalność zadania wynika ze skali wymiarowej badanych obiektów i związanych z tym problemów spełnienia kryteriów wytrzymałościowych.

Analizowane w pracy słupy składają się z aluminiowych rur odpowiednio ze sobą połączonych (rys. 5). Na pewnej wysokości słupa wykonuje się wycięcie na okno. Część pionową słupa łączy się z wysięgnikiem, do którego mocuje się znaki drogowe i sygnalizatory świateł drogowych.

W trakcie analizy stereomechanicznej modeli okazało się, że w badanych słupach występują trzy niebezpieczne strefy, na które należy zwrócić uwagę. Naprężenia w tych miejscach wielokrotnie przekraczały naprężenia dopuszczalne. Należy do nich (rys. 1):

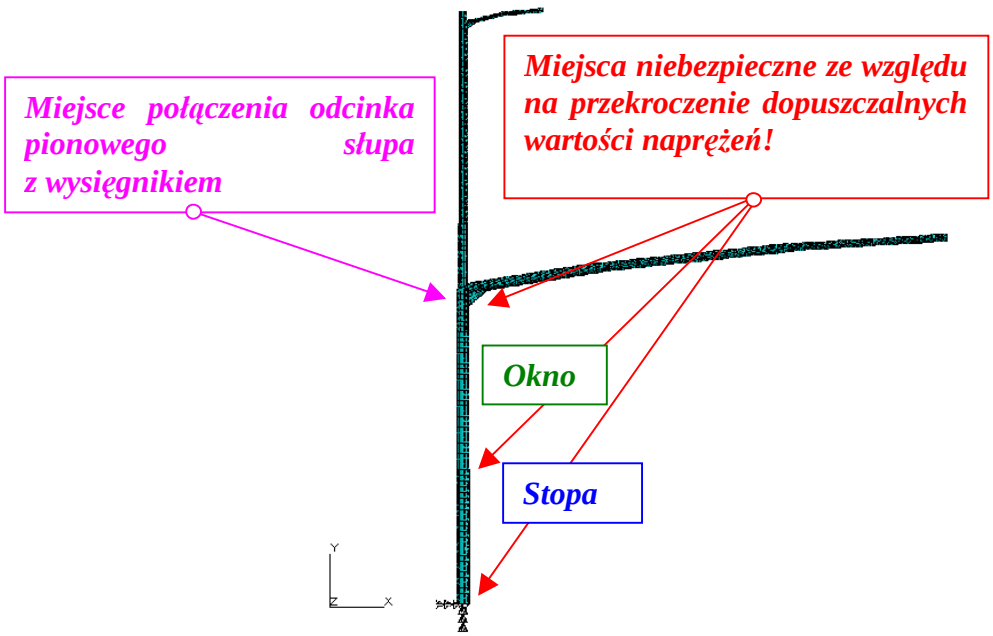
a) strefa łączenia słupa z podstawą (stopa słupa),
b) obszar wycięcia okna - przeznaczony do montażu złącza słupowego w celu połączenia kabli elektrycznych słupa z zawieszanymi sygnalizatorami świateł drogowych oraz zabezpieczeń elektrycznych (bezpieczniki),
c) strefa połączenia słupa z wysięgnikiem.

W związku z powyższym w pracy przedstawiono wybrane etapy doboru geometrycznych materiałowych i dynamicznych cech konstrukcyjnych słupów o wysokości 6m i długości wysięgników: 4*m*, 7*m* i 9*m* z zawieszonymi odpowiednio: jednym, dwoma i trzema sygnalizatorami świateł drogowych. Obliczenia numeryczne prowadzono przy użyciu metody elementów skończonych. Wyniki obliczeń numerycznych porównano z wynikami badań na obiektach rzeczywistych dla wybranych wielkości słupów z odpowiednim obciążeniem. Wyniki zestawiono na wykresach, z których wynika, że obliczenia numeryczne, z wystarczającą do celów technicznych dokładnością, pokrywają się z wynikami badań eksperymentalnych.

2. MODELOWANIE SŁUPÓW

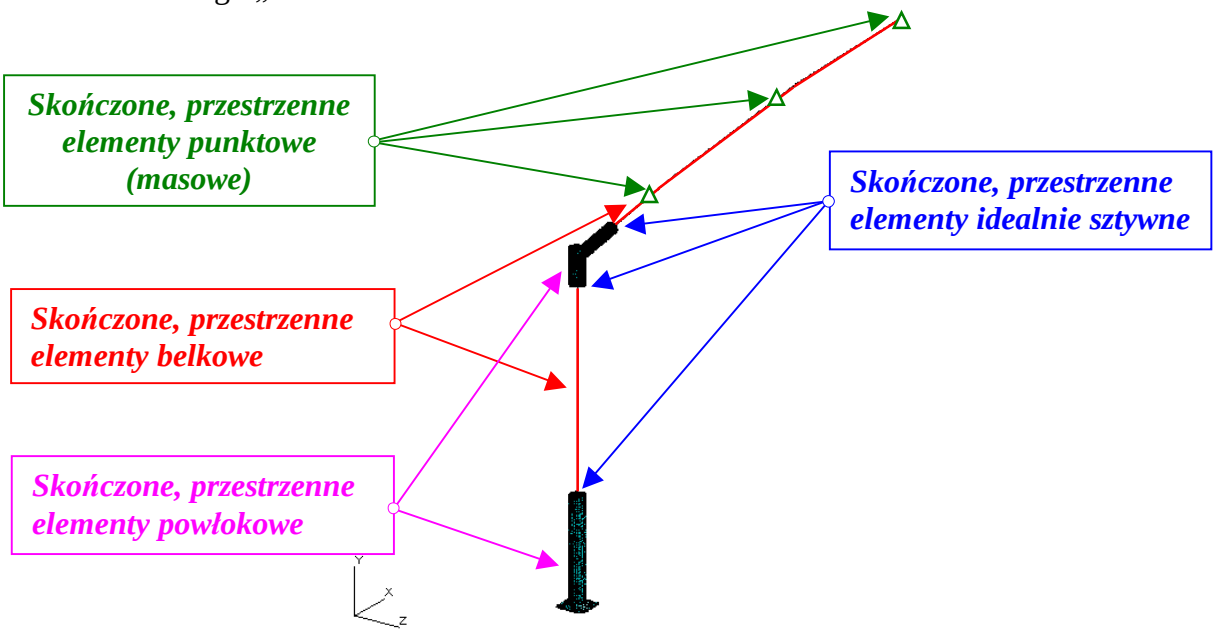
Zamodelowano trzy rodzaje słupów o wysokości 6 m i o długości wysięgników odpowiednio: 4m, 7m i 9m. Uproszczenia przyjęte w modelach aluminiowych słupów sprowadzają się do pominięcia tych elementów, których wymiary są małe w porównaniu z wymiarami opisującymi gabaryty słupów. Przyjęto dane materiałowe jak dla stali lub aluminium.

Na rys. 1 przedstawiono wstępną koncepcję modelu fizycznego słupa do zawieszenia sygnalizacji świateł drogowych przygotowanego w preprocesorze MSC/Patran na podstawie zapisu postaci konstrukcyjnej udostępnionej przez Zakład Produkcji Sprzętu Oświetleniowego „ROSA” z Tych. Na etapie modelowania uwzględniono elementy konstrukcyjne słupów, które mają istotne znaczenie z punktu widzenia wytrzymałości obiektów.



Rys. 1. Model fizyczny słupa, podzielony na skończone, przestrzenne elementy belkowe o sześciu stopniach swobody w węźle, oparte na teorii Bernoulliego [1, 2]. W dolnej części rysunku widoczne są warunki brzegowe w przemieszczeniach

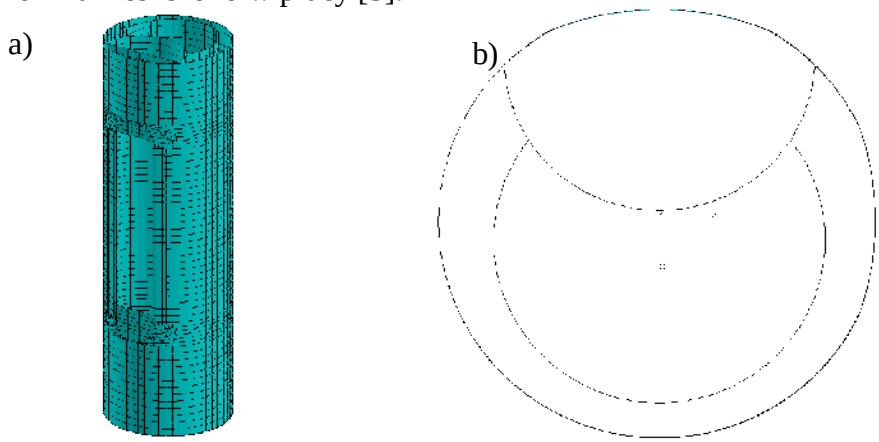
Zaproponowany wstępny model fizyczny słupa zbudowano z elementów *belkowych*. Przyjęto obciążenie zewnętrzne wywołane wiatrem i obliczone zgodnie z normą [3] dla trzeciej kategorii terenu, drugiego obszaru wiatrowego i maksymalnej prędkości ϑ = 115 *km/h*. Na podstawie analizy stereomechanicznej zlokalizowano strefy konstrukcji o niebezpiecznej koncentracji naprężeń w pobliżu stopy, okna, jak również w miejscu połączenia odcinka pionowego słupa z wysięgnikiem. W celu bardziej szczegółowej analizy zbudowano dokładniejszy model rozważanego słupa o znacząco większej liczbie węzłów, elementów skończonych, jak również o większej, w porównaniu z wstępnym modelem, liczbie stopni swobody. Opracowano model *belkowo – powłokowy*, co spowodowało konieczność wprowadzenia dodatkowych idealnie sztywnych elementów pośrednich, łączących fragmenty modelu fizycznego zamodelowanego elementami powłokowymi z belkowymi (rys. 2). W modelach zapewniono zgodność przemieszczeń w miejscach połączenia elementów różnego typu. Pozwoliło to na znaczne zmniejszenie liczby elementów koniecznych do zamodelowania słupa elementami powłokowymi, a co za tym idzie znacznego zmniejszenia liczby stopni swobody i efektywnego skrócenia czasu obliczeń numerycznych. Elementami powłokowymi modelowano te obszary słupów modelu belkowego, w których stwierdzono spiętrzenie naprężeń (rys. 1). Stopę, okno, jak również węzeł łączący odcinek pionowy z poziomym wysięgnikiem słupa zamodelowano skończonymi, przestrzennymi elementami powłokowymi. Jednocześnie został wykonany model materialny słupa w celu weryfikacji wstępnych obliczeń. Analiza lokalna potwierdziła występowanie miejsc o niebezpiecznym poziomie obciążeń. Potwierdziły to również wstępne wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych w Zakładzie Produkcji Sprzętu Oświetleniowego „ROSA”.



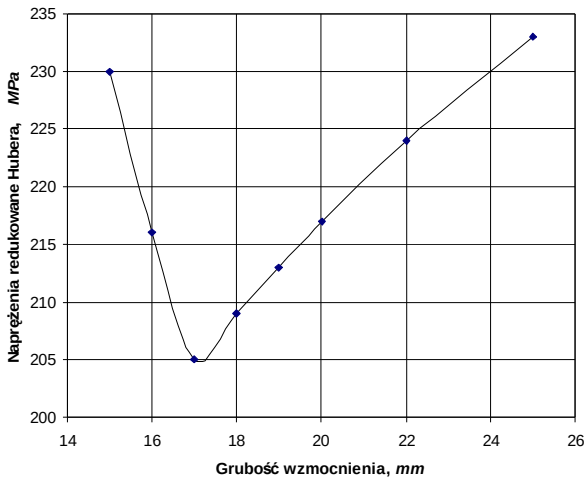
Rys. 2. Podział geometrii na elementy belkowe i powłokowe wraz z elementami idealnie sztywnymi modelującymi połączenie między węzłami należącymi do elementów powłokowych z węzłem należącym do elementu belkowego, jak również elementy punktowe modelujące masę zawieszonych sygnalizatorów świateł drogowych i masę znaków drogowych

Podjęto poszukiwanie najlepszego rozwiązania konstrukcyjnego. Przeanalizowano szereg różnorodnych wariantów rozwiązań wzmocnienia zagrożonych obszarów słupów [5]. Na rys. 3 przedstawiono jedno z wielu przyjętych do analizy rozwiązań konstrukcyjnych wzmocnienia okna. Natomiast na rys. 4 pokazano wpływ zmiany grubości wewnętrznych

wzmocnień okna słupa do zawieszenia sygnalizacji świateł drogowych na wartości maksymalnych naprężeń redukowanych w obszarach osłabionych. Podobnie wielowariantowej analizie poddano strefę połączenia słupa z wysięgnikiem oraz stopy. Ostateczne rozwiązania konstrukcyjne stopy, okna i połączenia pionowego słupa z poziomym wysięgnikiem zamieszczono w pracy [5].



Rys. 3. Model fizyczny przedstawiający jedno z wielu przeanalizowanych rozwiązań postaci konstrukcyjnej wzmocnienia okna słupa do zawieszenia sygnalizacji świateł drogowych; a) podział na skończone, przestrzenne elementy powłokowe; b) widok wzmocnienia okna słupa z góry

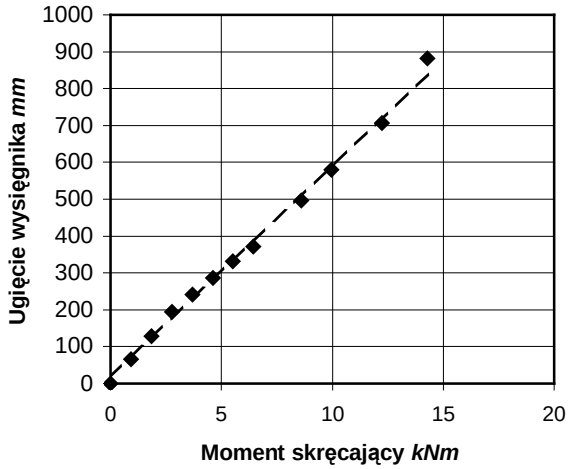


Rys. 4. Zależność maksymalnych wartości naprężeń redukowanych Hubera dla modelu fizycznego przedstawionego na rys. 3 w funkcji grubości wzmocnień wewnętrznych dla przypadku grubości ścianki słupa 5,4*mm*

3. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH Z WYNIKAMI BADAŃ OTRZYMANYMI NA DRODZE OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Badania eksperymentalne prowadzono w Zakładzie Sprzętu Oświetleniowego w Tychach. Prototypy słupów zostały wykonane również przez wyżej wymieniony zakład. Na rys. 5 przedstawiono stanowisko badawcze. Obciążenie słupa wywoływane wiatrem symulowano przez obciążanie grawitacyjne przygotowanymi wcześniej obciążnikami w odległości 4,3 *m* mierzonej wzdłuż wysięgnika od środka ciężkości słupa. Na rys. 6 zaprezentowano porównanie wyników otrzymanych na drodze numerycznych obliczeń wytrzymałościowych z wynikami otrzymanymi z badań eksperymentalnych.

Rys. 5. Końcowy etap badań eksperymentalnych z wprowadzonymi wcześniej wzmocnieniami stopy, okna i miejsca połączenia wysięgnika z pozostałą częścią słupa do zawieszenia sygnalizacji świateł drogowych przy obciążeniu symulującym siłę wiatru większą od projektowej.



Rys. 6. Porównanie wyników obliczeń otrzymanych doświadczalnie (wyniki oznaczono kwadratami) z wynikami obliczeń numerycznych (zależność liniowa)

Na rys. 6 przedstawiono porównanie wyników eksperymentalnych z wynikami symulacji komputerowych dla tych samych warunków podparcia i tego samego sposobu obciążenia słupa o wysokości 6 *m* i długości wysięgnika 7 *m*. Z wykresu tego wynika, że obliczenia numeryczne z wystarczającą do celów technicznych dokładnością pokrywają się z wynikami badań eksperymentalnych.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych i badań doświadczalnych można wyciągnąć następujące wnioski:

- wysokości analizowanych słupów, długości wysięgników i siły wywołane wiatrem mają decydujący wpływ na wartości naprężeń redukowanych i przemieszczeń w porównaniu z ciężarami własnymi słupów i ciężarami osprzętu,
- badania modelowe są skutecznym narzędziem poszukiwania rozwiązania spełniającego wymogi konstrukcyjne pozwalające na określenie miejsc, w których występują strefy niebezpieczne,

- wyniki obliczeń wytrzymałościowych przeprowadzonych dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiają wybór optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego,
- przeprowadzone badania doświadczalne potwierdziły zgodność wyników analizy numerycznej z badaniami eksperymentalnymi (rys. 6),
- zweryfikowane rozwiązania konstrukcyjne pozwalają na opracowanie dokumentacji produkcyjnej.

Na podstawie obliczeń numerycznych i badań doświadczalnych wybrano najlepsze rozwiązania projektowe pod względem wytrzymałościowym oraz technologicznym, a jednocześnie spełniające określone wymogi technologiczne i ekonomiczne.

LITERATURA

1. Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
2. Zienkiewicz O.: Metoda elementów skończonych, Arkady, Warszawa 1972.
3. Norma *PN – EN 40-3-1: 2004*. Konstrukcja i weryfikacja – specyfikacja dla obciążeń właściwych. 2000.
4. Czechyra T.: Badania obciążeń aerodynamicznych od wiatru sygnalizatorów świateł drogowych i masztu flagowego typu „ROSA” oraz modelu aluminiowego słupa do zawieszenia sygnalizacji świateł drogowych z wysięgnikiem typu SALSYG 65 – 7. Instytut Lotnictwa w Warszawie. Badania w laboratorium aerodynamicznym małych prędkości. Certyfikat akredytacji nr AB 129. Warszawa 2005.
5. Wróbel G., Grzyb R., Rojek M., Kaczmarczyk J.: Analiza stereomechaniczna aluminiowych słupów do zawieszenia sygnalizacji świateł drogowych z wysięgnikiem typu SALSYG 65, aluminiowych masztów flagowych typu „ROSA” i aluminiowych oświetleniowych słupów ulicznych. Sprawozdanie z projektu celowego nr row 566-2004. Gliwice 2005.

Praca została wykonana w ramach projektu celowego nr row 566-2004.

CONSTRUCTION SOLUTION OF ALUMINIUM POSTS FOR MOUNTING OF LIGHT SIGNALLING

Summary. In the paper, the methodology of experimental and simulation research aiding process of constructional feature selection of new series of types of aluminium carrying posts was elaborated. The presented object of the studies were material models made in scale 1:1 for static studies and in scale 1:2 for studies in wind tunnel. Constructional features of models were calculated on the basis of the results of simultaneously carried out computer simulations. The object of calculations was posts models worked out with application of the finite element method. Accordance criteria of calculated models with real objects have determined selected displacements in critical conditions of model loads.