

Modelowanie i analiza zerwania odciągu konstrukcji masztowej

Mariusz Ruchwa

Katedra Mechaniki Budowli, Politechnika Koszalińska
email: mariusz.ruchwa@wbiis.tu.koszalin.pl

STRESZCZENIE: W pracy zwrócono uwagę na zagadnienie nagłego zerwania odciągu konstrukcji masztowej. Wielokrotnie analizy tego zagadnienia są sprowadzane do uproszczonej oceny wytrzymałości konstrukcji na podstawie bilansu energetycznego, jednak pełną informację o przebiegu nieliniowego procesu dynamicznego można uzyskać stosując Metodę Elementów Skończonych. Operując przykładową analizą odpowiedzi dynamicznej masztu RTCN Przysucha-Kozłowiec, uwzględniając obciążenie masztu ciężarem własnym, ciężarem wyposażenia, wstępnym napięciem odciągów oraz nagłym zerwaniem jednego z górnych odciągów, zwrócono uwagę na najważniejsze kwestie dotyczące budowy modelu numerycznego (modelowanie zastępczego trzonu masztu, modelowanie odciągów oraz połączeń pomiędzy elementami konstrukcji) oraz sposobu rozwiązania zadania poprzez bezpośrednie, jawne całkowanie równań ruchu. Jako narzędzie obliczeniowe został wykorzystany program komputerowy ABAQUS.

SŁOWA KLUCZOWE: dynamika konstrukcji, maszty, ciągną, Metoda Elementów Skończonych

1. Wprowadzenie

Zagadnienie nagłego zerwania odciągu konstrukcji masztowej jest analizowane nie tylko w pracach o charakterze badawczym [1, 2], ale również w projektowaniu konstrukcji. Aktualne przepisy normowe [3] nakazują uwzględnienie przypadku obciążenia wyjątkowego w postaci zerwania odciągu, podczas projektowania masztów o zakładanej wysokiej klasie niezawodności.

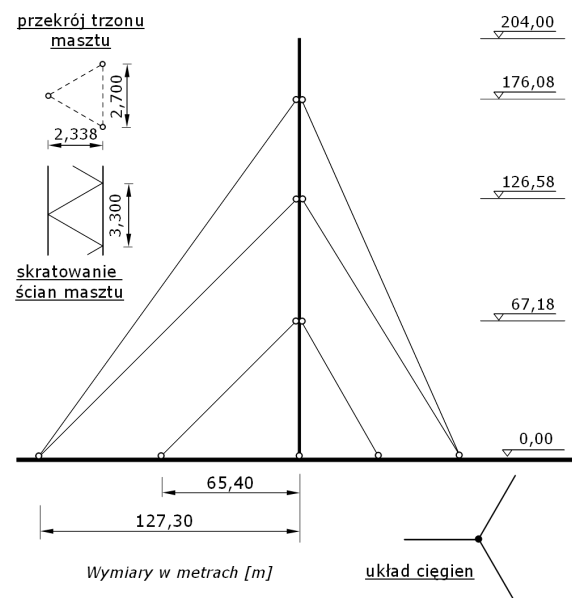
Wymagania normowe w zakresie oceny wytrzymałości konstrukcji masztowej obciążonej zerwaniem odciągu dopuszczają sprawdzenie na podstawie uproszczonej analizy energetycznej, zastępczego układu sił o charakterze statycznym [2, 3]. Takie sprawdzenie stanowi jedynie oszacowanie wytrzymałości konstrukcja na ten rodzaj obciążenia.

Precyzyjnej odpowiedzi, dotyczącej zachowania masztu w sytuacji nagłego zerwania ciągną, może dostarczyć jedynie pełna analiza dynamiczna, w której bezpośrednio będzie się analizować stan przemieszczeń oraz stan naprężeń w konstrukcji.

W numerycznej analizie omawianego zagadnienia powszechnie stosuje się Metodę Elementów Skończonych (MES) [4, 5]. Jednak mimo wielu zalet tej metody, uzyskanie satysfakcjonującego rozwiązania ciągle stanowi problem z uwagi na silnie nieliniowy charakter procesu o krótkotrwałym przebiegu oraz trudności w modelowaniu ciągną i trzonu masztu [6, 7]. Problemy te skutkują różnicami pomiędzy rozwiązaniami, wątpliwościami co do wpływu uproszczeń stosowanych w modelowaniu trzonu masztu oraz brakiem wskazówek, jakie mogłyby być wykorzystane w analizach inżynierskich.

2. Opis analizowanej konstrukcji

Analizowany jest maszt antenowy Radiowo-Telewizyjnego Centrum Nadawczego Przysucha-Kozłowiec, o całkowitej wysokości 204,0 m (rys. 1), [2, 5].



Rys. 1. Schemat konstrukcji masztu

Trzon masztu został wykonany w postaci trójsiennej kratownicy ze stali S355 (18G2A). Krawężniki trzonu wykonano z rur $\varnothing 193,7 \times 10$ mm, natomiast wykratowanie z rur $\varnothing 88,9 \times 5$ mm.

Maszt stabilizują odciąg z zaczepione do masztu na trzech poziomach i wykonane z lin stalowych jednozwoitych o konstrukcji T1×61-Z-II-g.

W analizowanym maszcie uwzględniono, na wzór wymagań normowych, ciężar własny całej konstrukcji łącznie z ciężarem elementów wyposażenia oraz zerwanie cięga.

3. Analiza numeryczna i jej rezultaty

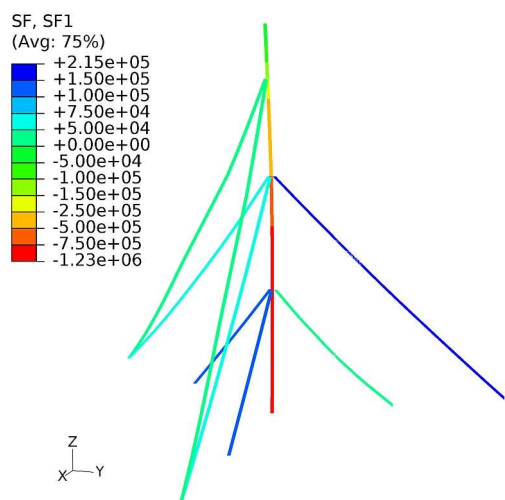
Zasadniczymi częściami modelu konstrukcji są: zastępczy trzon masztu oraz odciąg.

Trzon masztu zastąpiono prętem Timoshenki, dyskretyzowanym elementami uwzględniającymi wpływ odkształceń postaciowych w stopniu odpowiadającym podatności konstrukcji przestrzennej kratownicy. Odciąg modelowano elementami prętowymi o bardzo małych wartościach sztywności na zginanie.

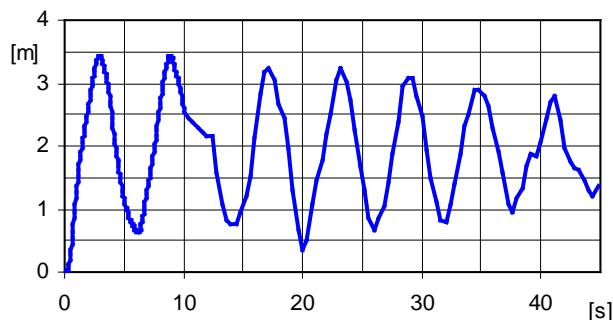
Połączenie odciągów z trzonem masztu zostało zdefiniowane przy pomocy sztywnych, nieważkich łączników z uwzględnieniem rzeczywistego miejsca połączenia odciągów z masztem (odsunięcie od osi trzonu).

Wyposażenie masztu zostało uwzględnione poprzez wprowadzenie dodatkowych mas skupionych do modelu.

Do przeprowadzenia dynamicznej analizy zerwania odciążu konstrukcji masztowej przyjęto Metodę Elementów Skończonych, a narzędziem obliczeniowym był program komputerowy ABAQUS [8].



Rys. 2. Rozkład sił normalnych w konstrukcji po upływie 3 s od zerwania odciążu (wartości w N)



Rys. 3. Zmiana wartości wypadkowego przemieszczenia wierzchołka masztu w funkcji czasu (od zerwania odciążu)

W analizie przyjęto podział na dwa etapy obliczeniowe. W pierwszym etapie przeprowadzono obliczenia masztu obciążonego statycznie ciężarem własnym, ciężarem wyposażenia oraz wstępnym napięciem odciągów. Etap ten został przeprowadzony jako zadanie typu *quasi-static* (stopniowy wzrost wartości obciążeń bez wzbudzania efektów dynamicznych). Podczas drugiego etapu obliczeń uwzględniono dodatkowe obciążenie w postaci nagłego zerwania jednego z górnych odciągów w miejscu połączenia z trzonem. Zerwanie cięga realizowano jako zerwanie więzi w łączniku stanowiącym połączenie cięga z masztem. W obu etapach zastosowano bezpośrednio, jawne całkowanie równań ruchu metodą różnic centralnych, uwzględniono nieliniowości geometryczne i materiałowe.

W każdym z etapów obliczeniowych wyznaczano wartości przemieszczeń, sił przekrojowych w elementach konstrukcji oraz podstawowych rodzajów energii. Wybrane rezultaty pokazano na rysunkach 2. i 3., chociaż częściowo przedstawiające przebieg procesu dynamicznego, zmian w rozkładzie sił i przemieszczeń w elementach konstrukcji.

4. Podsumowanie

Metoda Elementów Skończonych stanowi dobre narzędzie do analizy złożonych konstrukcji prętowo-cięgnowych w różnych wariantach obciążenia statycznego oraz dynamicznego, w tym do analizy konstrukcji pod obciążeniem wyjątkowym (zerwanie odciążu). Umożliwia pełną ocenę wytrzymałości masztu m.in. na potrzeby projektowania.

Modelując nagłe zerwanie odciążu od konstrukcji, konieczne jest właściwe zdefiniowanie cech poszczególnych elementów konstrukcyjnych, ich wzajemnych połączeń oraz mechanizmu zerwania odciążu.

Nieliniową analizę numeryczną należy przeprowadzać z podziałem na etapy, o właściwie dobranych procedurach rozwiązania uwzględniających sposób obciążenia na danym etapie obliczeń. Z uwagi na szybkość zmian w odpowiedzi konstrukcji po zerwaniu cięga, należy posłużyć się bezpośrednim, jawnym całkowaniem równań ruchu.

Należy liczyć się ze stosunkowo dużym kosztem obliczeniowym w przypadku dynamicznej analizy zerwania odciążu. Jednak rezultaty pokazują pełen przebieg procesu dynamicznego, w tym dostarczają informacji o poziomie wyężenia konstrukcji oraz stanie przemieszczeń.

Literatura

1. Ben Kahla N., *Response of guyed tower to a guy rupture under no wind pressure*, Engineering Structures, 22, pp. 699-706, 2000.
2. Matuszkiewicz M., Pałkowski Sz., *Analiza statyczna masztu z uwzględnieniem zerwania odciążu*, Inżynieria i Budownictwo, 4, 196-198, 2007.
3. PN-EN 1993-3-1:2008, *Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 3-1: Wieże, maszty i kominy - Wieże i maszty*.
4. Kleiber M., *Metoda elementów skończonych w nieliniowej mechanice kontinuum*, PWN, Warszawa-Poznań 1985.
5. Ruchwa M., Matuszkiewicz M., *Zastosowanie Metody Elementów Skończonych w obliczeniach statycznych konstrukcji ciągnowych*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, Vol. LIX, 4, 363-378, 2010.
6. Pałkowski Sz., *Konstrukcje ciągnowe*, WNT, Warszawa 1994.
7. Pałkowski Sz., *Konstrukcje stalowe. Wybrane zagadnienia obliczenia i projektowania*, WN PWN, Warszawa 2009.
8. *Abaqus Analysis User's Manual*, Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence 2010.

Document from

<http://www.eng.kmb.tu.koszalin.pl/publications>