

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

### Analiza stateczności wieży telekomunikacyjnej poddanej działaniu procesu korozji

Marcin Konarzewski<sup>1</sup>, Adam Jeschke<sup>1</sup>, Robert Panowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna  
email: marcin.konarzewski@wat.edu.pl, robert.panowicz@wat.edu.pl, adam.jeschke@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** Budowle inżynierskie takie jak konstrukcje kratownicowe są narażone na ciągłe działanie obciążeń zarówno statycznych jak i dynamicznych. Z tego względu niezwykle ważne jest ciągłe monitorowanie stanu technicznego w trakcie eksploatacji tego typu obiektów. Artykuł prezentuje wyniki analiz numerycznych, którym została poddana wieża telekomunikacyjna składająca się z 11 segmentów. Przeprowadzono analizę modalną w celu wyznaczenia postaci drgań własnych oraz ich częstotliwości w przypadku obciążenia wieży parciem wiatru pod kątami w zakresie 0 – 30°. Następnie przygotowano model powłokowo-belkowy, w celu zamodelowania wpływu działania korozji na kluczowe elementy konstrukcji. Korozję modelowano jako ubytek od 1% do 20% grubości wytypowanych wcześniej elementów, mających największe znaczenie dla stateczności konstrukcji. W modelu uwzględniono również obecność połączeń spawanych oraz śrubowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** metoda elementów skończonych, kratownica, analiza modalna, wieża telekomunikacyjna

#### 1. Wstęp

Wszystkie konstrukcje inżyniersko-budowlane, w tym mosty i konstrukcje kratownicowe (np. wieże telekomunikacyjne) wykonane i wykorzystywane przez człowieka narażone są w procesie eksploatacji na obciążenia statyczne i dynamiczne.

Z tego powodu niezwykle istotne jest uwzględnienie tych obciążeń na etapie projektowania konstrukcji oraz regularne monitorowanie stanu technicznego obiektu podczas eksploatacji. Różnorodne czynniki środowiskowe, takie jak procesy utleniania wynikające z działania wilgoci na uszkodzone powłoki ochronne, wpływają na wytrzymałość konstrukcji.

Współczesne technologie i rozwój oprogramowania komputerowego umożliwiają relatywnie łatwe uwzględnienie wpływu obciążeń statycznych na etapie projektowania. Natomiast uwzględnienie obciążeń dynamicznych stanowi bardziej złożone zagadnienie, wymagające znacznie większych wiedzy i doświadczenia.

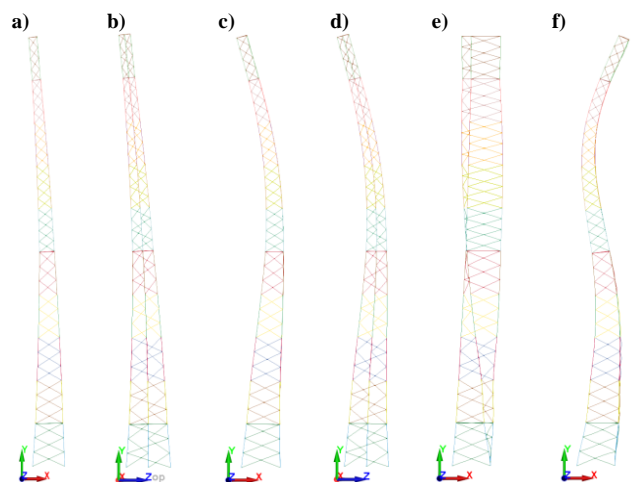
#### 2. Analiza modalna

W celu przeprowadzenia analizy modalnej przygotowano uproszczony model wieży telekomunikacyjnej, składający się z elementów belkowych.

Analizy przeprowadzono z uwzględnieniem obciążenia spowodowanego grawitacją oraz parciem wiatru – w tym przypadku obliczenia zostały przeprowadzone dwuetapowo. W etapie pierwszym przeprowadzono klasyczną analizę wytrzymałościową wykorzystującą jawny schemat całkowania równań ruchu. Następnie, w końcowym etapie obliczeń, wykorzystywano niejawny schemat całkowania w celu przeprowadzenia analizy modalnej i wyznaczenia postaci drgań własnych oraz ich

częstotliwości. Rozpatrywano kąty parcia wiatru w zakresie 0 – 30°.

Uzyskane postacie drgań oraz ich częstotliwości przedstawiono na rys. 1 oraz tab. 1.



Rys. 1. Postacie drgań własnych

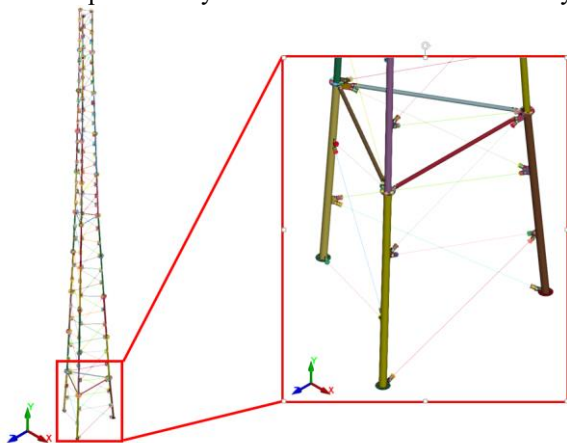
Tabela 1. Wybrane częstotliwości drgań własnych dla kąta 0°

Mod 1 [Hz]	Mod 2 [Hz]	Mod 3 [Hz]	Mod 4 [Hz]	Mod 5 [Hz]	Mod 6 [Hz]
1,6436	1,6436	5,2497	5,2497	6,4894	10,6606

#### 3. Wpływ korozji

W celu przeprowadzenia analiz wpływu korozji na wytrzymałość konstrukcji przygotowano został hybrydowy model numeryczny wieży. Do jego dyskretyzacji użyto zarówno elementów powłokowych oraz belkowych. Najbardziej krytyczne elementy konstrukcji, tj. rury nośne,

kołnierze rur, blachy węzłowe czy łączniki rur wsporczych zostały zamodelowane z użyciem czterowęzłowych elementów powłokowych, zaś rury wsporcze zamodelowano z zastosowaniem elementów belkowych. Takie podejście zapewnia dużą dokładność przygotowanego modelu, przy jednoczesnym zachowaniu stosunkowo niewielkich czasów obliczeń. Przygotowany model dyskretny wieży (rys. 2) składał się z 107455 elementów powłokowych oraz 4815 elementów belkowych.



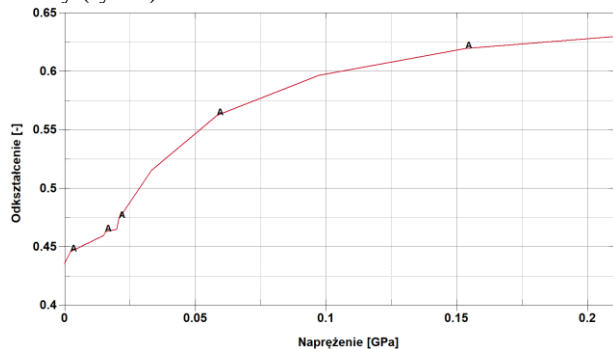
Rys. 2. Model numeryczny wieży telekomunikacyjnej

W rzeczywistej konstrukcji wykorzystywane są dwie metody połączeń pomiędzy elementami wieży: połączenia śrubowe oraz spawane.

W przypadku połączeń śrubowych zastosowano elementy belkowe (symulujących trzpień śruby z gwintem) oraz elementów CNRB (ang. constraint nodal rigid body), których celem jest zamodelowanie oddziaływania łba śruby i nakrętki na podkładkę, a następnie na element łączony. W analizach uwzględniono również siłę napięcia wstępnego śruby [1].

W przypadku połączeń spawanych zastosowano dwa podejścia. Pierwsze z nich również opierało się na wykorzystaniu elementów CNRB, łącząc ze sobą wieży konstrukcji w których występowałyby spaw. W przypadku blach węzłowych oraz rur nośnych połączenie spawane zostało odwzorowane za pomocą kontaktu, przenoszącego zarówno siły jak i momenty, jednocześnie nie pozwalającego na rozdzielanie łączonych powierzchni.

Do zamodelowania własności materiałowych stali S355 używanej do wytworzenia rzeczywistej konstrukcji wieży zastosowany materiał sprężysto-plastyczny odcinkami liniowy (rys. 3).



Rys. 3. Krzywa opisująca część plastyczną materiału S355

W celu zamodelowania korozji w punktach krytycznych zmodyfikowano grubość blach, zmniejszając ją w zakresie

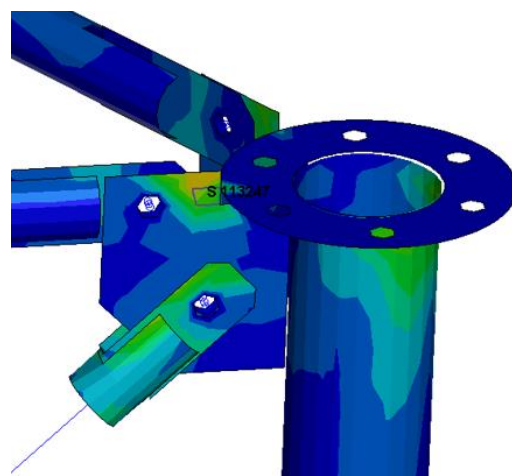
od 1 do 20%, a następnie dokonywano pomiaru wartości naprężeń w krytycznych punktach konstrukcji.

Do zamodelowania obciążeń wieży wykorzystano następujące podejścia:

a) obciążenie wszystkich segmentów wieży stopniowo malejącym przemieszczeniem w kierunku od 0 do 30° od osi X, od wartości 350 mm na szczycie do 35 mm w segmencie najniższym, wraz ze zmniejszeniem grubości blach węzłowych dolnego segmentu;

b) obciążenie wszystkich segmentów wieży stopniowo malejącym przemieszczeniem w kierunku X, od wartości 350 mm na szczycie do 35 mm w segmencie dolnym, wraz z zmniejszeniem grubości blach węzłowych dwóch dolnych segmentów.

Przykładowe wyniki, z pięciu wybranych punktów pomiarowych, zostały zaprezentowane na rys. 4 i tab. 2.



Rys. 4. Mapa naprężeń HMH

Tabela 2. Wybrane wartości naprężenia

	Naprężenia zredukowane [GPa]			
	Brak	20%	10%	5%
Punkt 1	0,650	0,760	0,706	0,681
Punkt 2	0,678	0,832	0,746	0,710
Punkt 3	0,0331	0,0418	0,0242	0,0281
Punkt 4	0,0798	0,123	0,110	0,0963
Punkt 5	0,698	0,806	0,744	0,717

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy numeryczne pozwoliły na stosunkowo szybkie sprawdzenie stateczności wieży telekomunikacyjnej poddanej działaniu procesu utleniania wybranych elementów konstrukcyjnych. Korozja dotycząca do 5% pierwotnej grubości elementu nie ma znaczącego wpływu na zdolność konstrukcji do przenoszenia obciążeń. Dalsze zwiększanie ubytków powoduje już znaczący przyrost naprężeń w punktach pomiarowych, sięgający nawet 54%, mogący doprowadzić do trwałych odkształceń konstrukcji.

*Praca została częściowo wykonana w ramach Uczelnianego Grantu Badawczego Nr 22-715, finansowanego przez Wojskową Akademię Techniczną.*

#### Literatura

- [1] Hallquist J. O., *LS-DYNA. Keyword User's Manual*, V971 R4 Beta, LSTC Co., CA, USA 2009.