

Alicja ZIELIŃSKA

## WERYFIKACJA WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI KABINY ANTENOWEJ JEDNOSTKI JAT-122

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono weryfikację kabiny antenowej jednostki antenowej JAT-122 pod kątem spełnienia wymagań technicznych w zakresie wytrzymałości kabiny oraz jej sztywności. Istotą opracowania jest weryfikacja projektu konstrukcji ze względu na postawione wymagania przyjęte w fazie projektu, poprzez symulację komputerową. Zastosowana metoda pozwoliła na analizę wyników oraz wprowadzenie zmian do projektu w fazie przygotowania dokumentacji, a tym samym na skrócenie czasu realizacji projektu.

### 1 WPROWADZENIE

Kabina antenowa KAN-122 jest podstawową częścią mechaniczną jednostki antenowej JAT-122 i wraz ze wspornikami służy do zawieszania bloków antenowych, które stanowią zasadnicze obciążenie tej kabiny.

Celem opracowania jest weryfikacja doboru parametrów kabiny antenowej jednostki radiolokacyjnej, w skład, której wchodzi: kabina antenowa wraz z masami znajdującymi się wewnątrz kabiny oraz wspornikami antenowymi służącymi do montażu bloków antenowych anteny głównej oraz anteny identyfikacyjnej AFF. Przy realizacji zadania oparto się na danych zamieszczonych w opracowaniu „Założenia Techniczne dla konstrukcji części mechanicznej jednostki antenowej JAT-122.” oraz polskie normy (zwłaszcza PN-86/M-06514).

Symulację przeprowadzono dla obciążeń masowych, sił odśrodkowych występujących podczas obrotu oraz obciążenia wiatrem anteny głównej i anteny identyfikacyjnej.

Główne obciążenie statyczne kabiny antenowej stanowi 10 bloków antenowych mocowanych za pomocą wsporników na kabinie antenowej, których łączna masa wynosi 5500 kg. Kabina antenowa spoczywa na łożysku wieńcowym, a jej dno stanowi płytę nadłożyskową. Kabina wraz z antenami podczas pracy wykonuje ruch obrotowy.

Łączna masa wirującej części jednostki JAT-122 wynosi ~ 11500 kg.

Istotnym zagadnieniem przy analizie wytrzymałościowej kabiny antenowej jest spełnienie wymagań dotyczących jej odkształcenia pod wpływem obciążeń. Kolejny aspekt to rozstrzygnięcie, czy konstrukcja spełnia dodatkowe wymagania w zakresie obciążenia wiatrem. Pierwotnie bowiem konstrukcja miała pracować pod kopułą i ten warunek nie był wymagany.

### 2 MODEL OBLICZENIOWY

Kabina antenowa jest konstrukcją przestrzenną odchyloną od pionu o 15 stopni. Jest to konstrukcja o podstawie 2.6 x 2.6 m i wysokości 7.2 m spawana, w założeniu o dużej sztywności i odporności na:

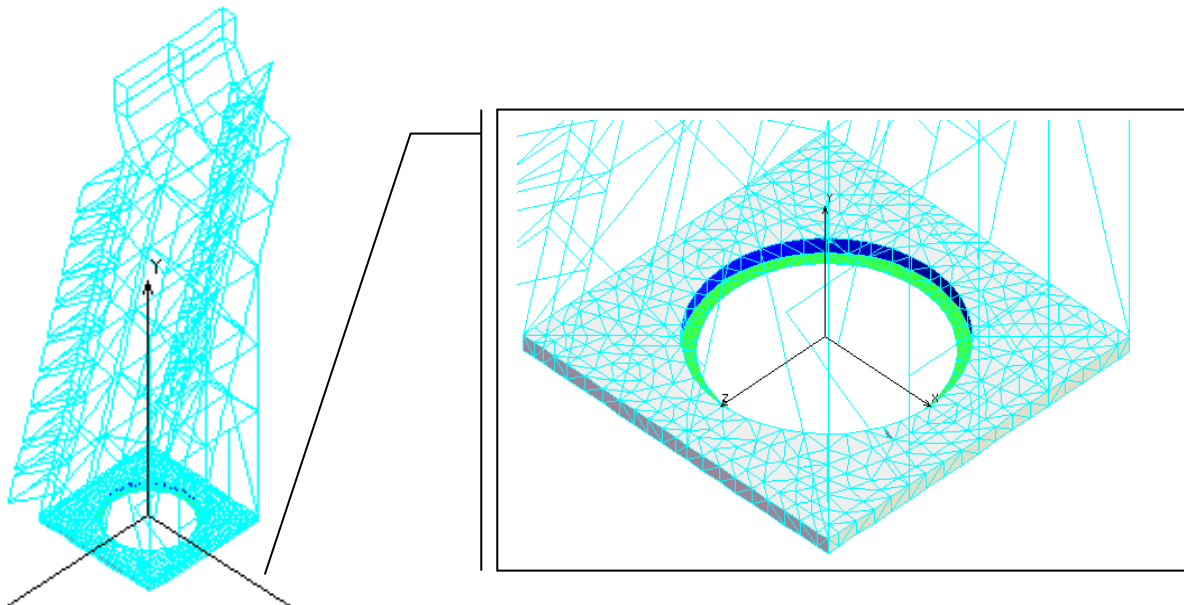
- zginanie pod wpływem ciężaru segmentów antenowych,
- skrećanie, wywołane momentem pochodzącym od układu napędu ruchu obrotowego,
- działanie niewyważonej dynamicznie wirującej masy.

Do jej bocznych ścian przymocowane są wsporniki antenowe, do których przytwierdzony jest blok antenowy. Jeden blok antenowy wspiera się na dwóch wspornikach antenowych.

Rozpiętość bloku wynosi 9.69 m, a jego wysokość 0.65 m. Na kabinie antenowej montuje się 10 takich bloków na długości 6.6 m.( Rys. 3).

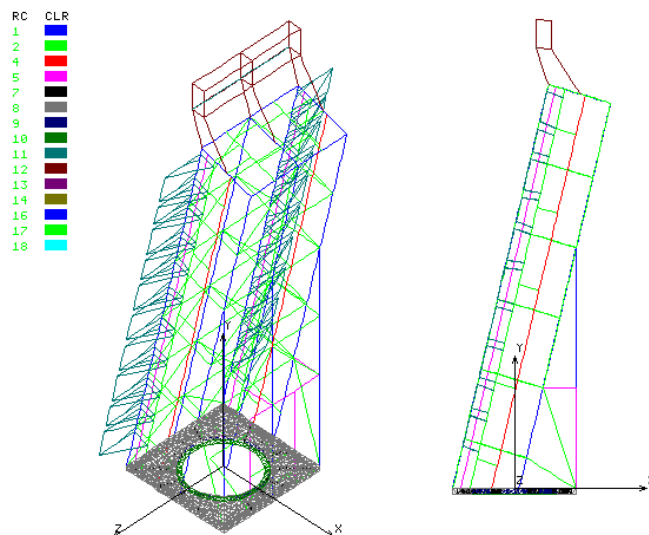
Dla dokładności pozycjonowania anteny zasadnicze znaczenie ma sztywność kabiny, gdyż stanowi ona główny element nośny bloków antenowych. Jednocześnie ograniczenia masowe narzucone na część wirującą stawiają wysokie wymagania wobec konstrukcji, w istotny sposób ograniczając możliwość zwiększania jej sztywności. Biorąc pod uwagę te czynniki, wykonano obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji kabiny wraz ze wspornikami antenowymi.

Celem tych obliczeń była analiza odkształceń konstrukcji pod wpływem obciążeń zewnętrznych w pozycji pracy oraz weryfikacja konstrukcji pod naporem wiatru burzowego. Jako metodę analizy wybrano metodę elementów skończonych [2] w jej wariacie przemieszczeniowym, metodę implementowano w systemie COSMOS/M [4]. Model obliczeniowy postanowiono ze względu na cel obliczeń - określenie maksymalnych możliwych odkształceń - wykonać jako statyczny w zakresie liniowym. Model kabiny wraz ze wspornikami do segmentu antenowego powstał w oparciu o dokumentację konstrukcyjną. Na tej podstawie powstał belkowo - powłokowy model kabiny wraz ze wspornikami [1],[4] składający się z 5561 elementów, w tym 2733 elementów powłokowych (typu: shell3) o sześciu stopniach swobody w węźle i 2828 elementów belkowych (typu: beam3D) również o sześciu stopniach swobody w węźle. Elementy rozpięte są na 3420 węzłach o 20514 stopniach swobody.



**Rys.1. Model kabiny oraz podział modelu na elementy skończone (widok ogólny).**

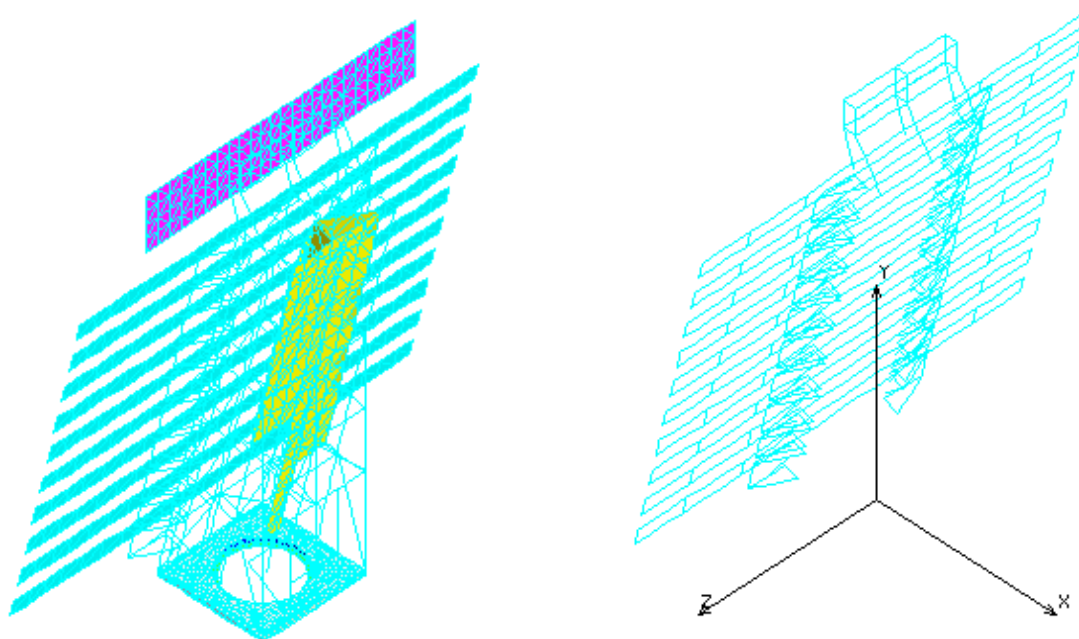
Elementy podzielono na grupy elementów o określonych własnościach fizyczno-geometrycznych. Podział na elementy i grupy elementów obrazują poniższe rysunki (Rys. 2). Grupy elementów o jednakowych własnościach są w tym samym kolorze.



**Rys. 2 Podział na grupy elementów w modelu kabiny**

Dla elementów występujących w modelu typu SHELL (powłokowych) cechą charakterystyczną jest jej grubość, dla elementów typu BEAM (belkowych) jest to przekrój poprzeczny. Ponadto w modelu występują elementy powłokowe, które nie stanowią konstrukcji kabiny. Są to elementy o masie 1250 kg, które symulują masy znajdujące się wewnątrz kabiny oraz elementy belkowe modelujące 20 wsporników, w sumie o masie 580 kg. Do 2 wsporników, położonych na tej samej wysokości w stosunku do kabiny mocowany jest jeden blok antenowy składający się z dwóch segmentów antenowych. Na kabine antenowej umieszczonych jest dziesięć takich bloków, oraz do dachu kabiny przymocowany jest układ wsporczy z anteną AFF.

Poniższy rysunek obrazuje miejsca przyłożenia obciążenia masą elementów wewnątrz kabiny oraz masą wsporników wraz z antenami: główną i identyfikacyjną AFF-600 (antena górna).



**Rys. 3. Rozmieszczenie elementów masowych w konstrukcji oraz wsporników anten.**

### 3 OBCIĄŻENIA I WARUNKI BRZEGOWE

Do analizy wybrano trzy podstawowe warianty obciążenia, które stanowią podstawę do wyznaczenia stanu obciążenia kabiny antenowej jako kombinacji liniowej wariantów podstawowych. Podstawowe warianty obciążenia to :

1. obciążenie masą własną kabiny , masami wewnątrz niej oraz masami anten,
2. obciążenie siłami odśrodkowymi,
3. obciążenie wiatrem, gdy wiatr wieje od strony płaszczyzny anteny (Rys. 4).

Analizie poddano kabinę dla 3 stanów obciążenia (dla których wyniki końcowe uzyskano w wariantach wynikowych): pracy bez obciążenia wiatrem (pod kopułą), pracy z obciążeniem wiatrem (bez kopuły) oraz gdy działa na nią wiatr burzowy (bez ruchu obrotowego).

#### 3.1 Obciążenie podczas pracy pod kopułą

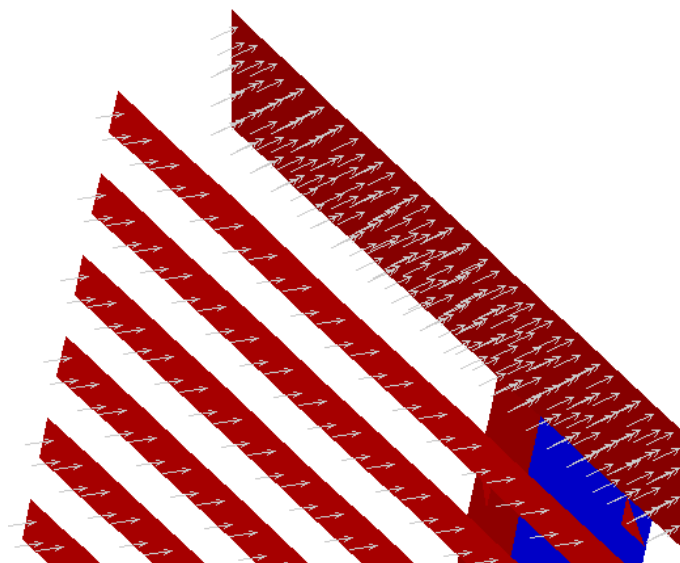
##### Pierwszy wariant wynikowy

Jest to obciążenie konstrukcji masą własną, masami anten: głównej oraz AFF . Ponadto obciążenie stanowią również elementy znajdujące się wewnątrz kabiny oraz siły odśrodkowe wynikające z obrotu jednostki antenowej wokół osi OY ( Rys. 3) z prędkością 12 obr/min.

#### 3.2 Obciążenie podczas pracy bez kopuły

##### Drugi wariant wynikowy

Jest to obciążenie konstrukcji masą własną wraz z elementami znajdującymi się wewnątrz kabiny, masami anteny głównej i identyfikacyjnej, siłami odśrodkowymi wynikającymi z obrotu jednostki wokół osi OY ( Rys. 3) z prędkością 12 obr./min. oraz wiatrem o prędkości 30 m/s działającym na konstrukcję kabiny poprzez oddziaływanie na zestaw anten zamocowanych na niej. Przy tej prędkości wiatru badamy odporność konstrukcji kabiny. Rys. 4 przedstawia schemat kierunku działania parcia wiatru.



**Rys. 4. Schemat obciążenia wiatrem anteny AFF.**

### 3.3 Obciążenie wiatrem burzowym

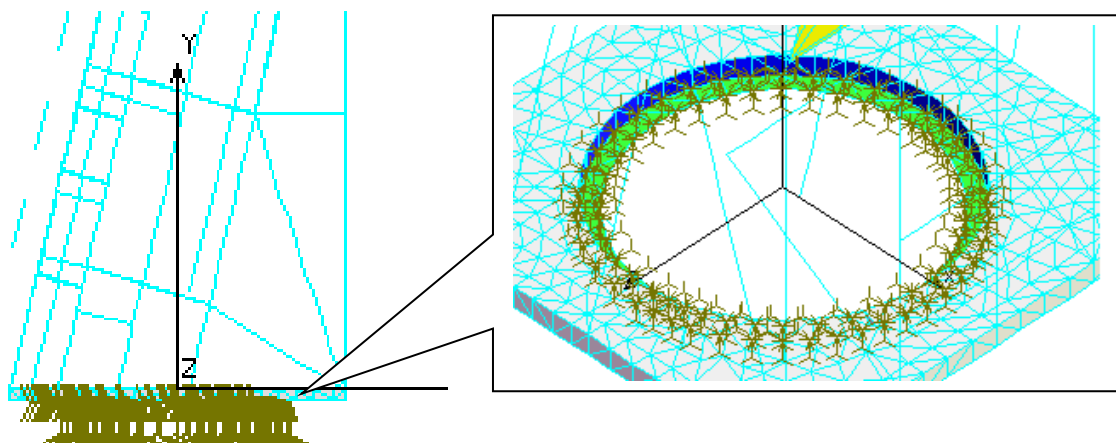
#### *Trzeci wariant wynikowy*

Jest to obciążenie konstrukcji masą własną wraz z elementami znajdującymi się wewnątrz kabiny, masami anten oraz wiatrem o prędkości 50m/s działającym na konstrukcję kabiny poprzez oddziaływanie na zestaw anten zamocowanych na niej. Przy tej prędkości wiatru badamy wytrzymałość konstrukcji kabiny. Podczas wiatru burzowego jednostka nie pracuje.

#### *Warunki brzegowe*

Warunkiem uzyskania poprawności rozwiązania oraz miarodajnych wyników jest przyjęcie odpowiednich dla danego modelu warunków brzegowych. W modelu przyjęto warunki brzegowe w przemieszczeniach, tzn. podparcie na obwodzie wieńca łożyska znajdującego się w płycie dolnej kabiny.

Na Rys. 5 przedstawiono przyjęte warunki brzegowe w modelu kabiny.

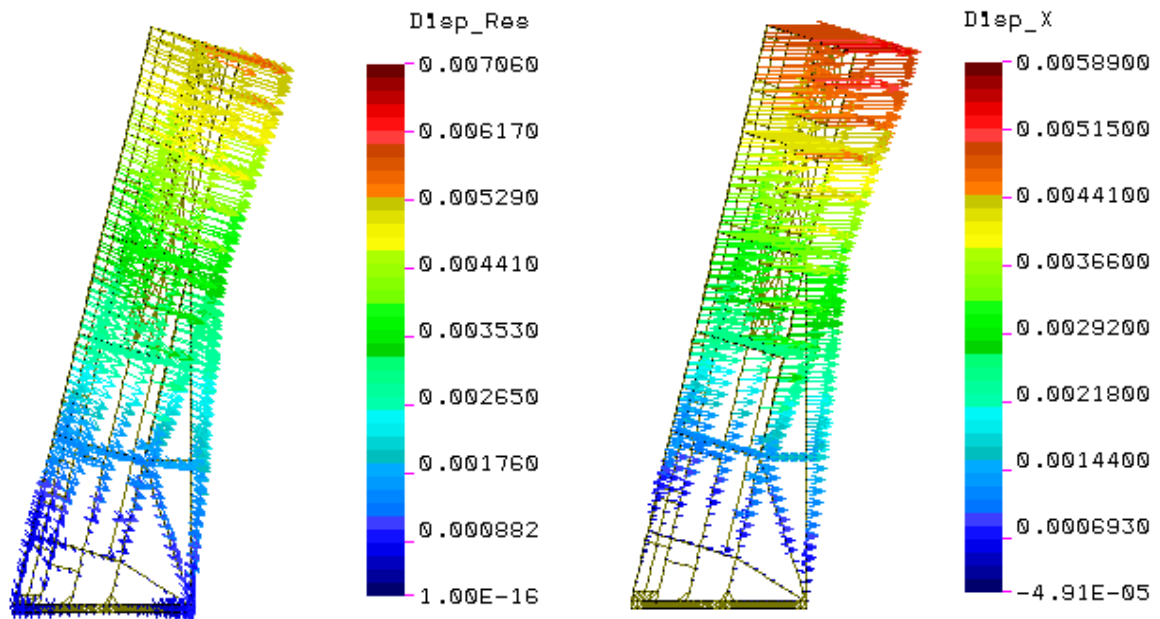


**Rys. 5. Warunki brzegowe.**

## 4 WYNIKI OBLICZEŃ

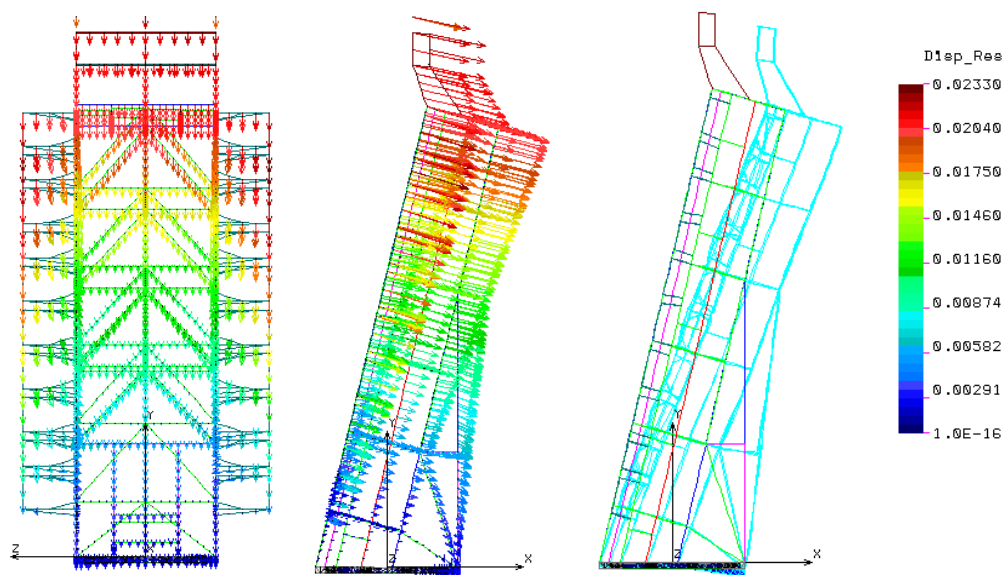
### 4.1 Przemieszczenia

Dla naszego problemu zasadnicze znaczenia mają maksymalne przemieszczenia kabiny antenowej. Poniżej podano wartości przemieszczeń dla wariantów wynikowych. Maksymalne przemieszczenia konstrukcji kabiny występują przy wietrze burzowym. Na rysunkach (Rys. 6, Rys. 7 i Rys. 8) przedstawiono wyniki z poszczególnych wariantów wynikowych.

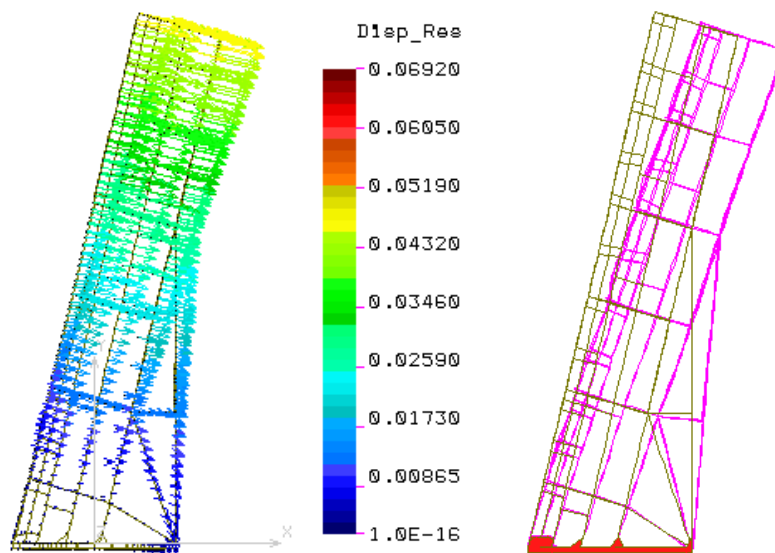


**Rys. 6. Wektory przemieszczeń dla 1-go wariantu wynikowego obciążenia.**

Dla 1-go wariantu wynikowego maksymalne przemieszczenia wynosi 7 mm. Na kolejnych rysunkach : Rys. 7 przedstawia wyniki dla 2-go wariantu wynikowego , Rys. 8 – dla 3-go wariantu wynikowego.



**Rys. 7. Wektory przemieszczeń oraz deformacja dla 2-go wariantu wynikowego obciążenia.**



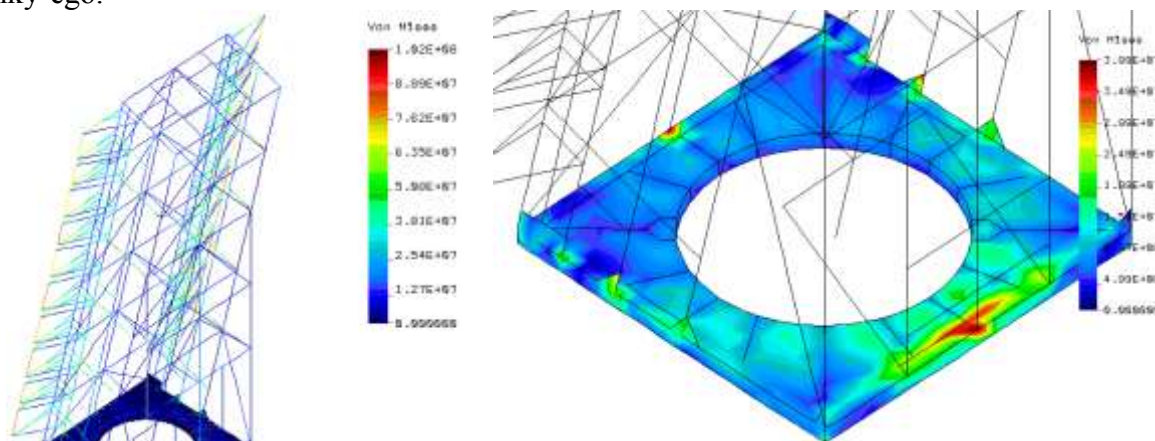
**Rys. 8. Wektory przemieszczeń oraz deformacja dla 3-go wariantu wynikowego obciążenia.**

Dla naszego problemu [3] zasadnicze znaczenia posiadają maksymalne przemieszczenia kabiny antenowej, które dla poszczególnych wariantów wynoszą odpowiednio :

- 1 wariant wynikowy - podczas pracy pod kopułą - 7mm ,
- 2 wariant wynikowy- dla pracy bez kopuły - 20.2 mm,
- 3 wariant wynikowy- /Rys. 7/ -wytrzymałość na wiatr burzowy - 46.4 mm .

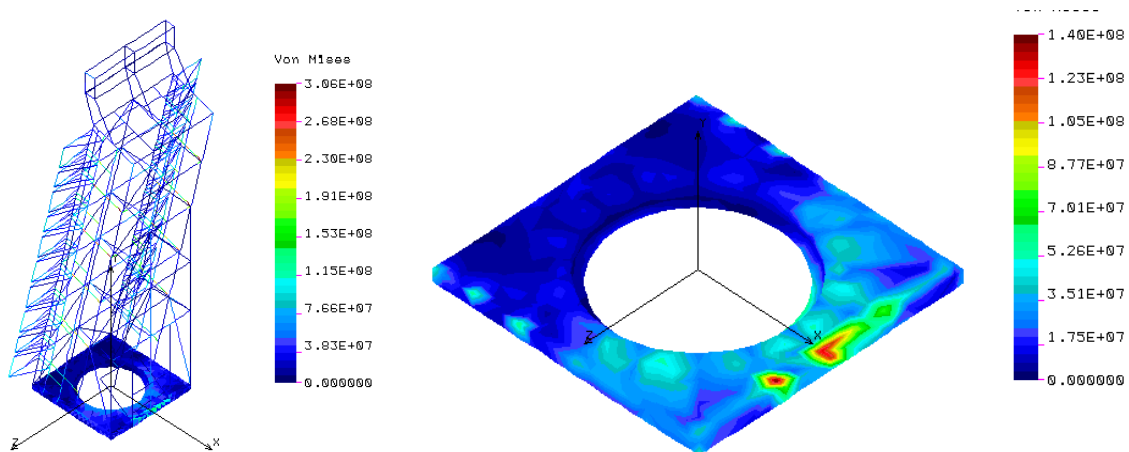
#### 4.2 Naprężenia

To naprężenia okazały się parametrem krytycznym, co obrazują kolejne rysunki. Rys. 9, Rys. 10, Rys. 11, przedstawiają mapę naprężeń zredukowanych według Hubera-Misesa-Henky’ego.

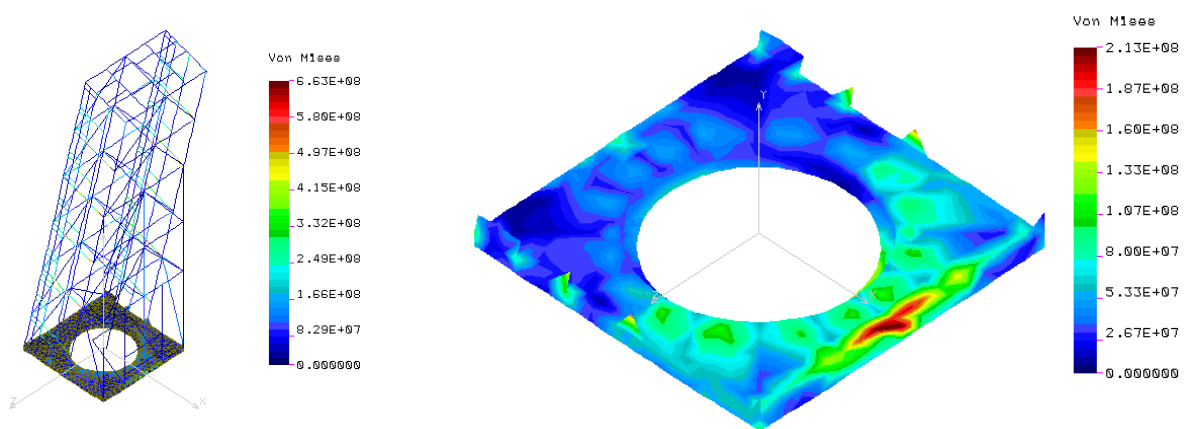


**Rys. 9. Naprężenia zredukowane występujące w modelu dla 1-go wynikowego wariantu obciążenia [MPa].**

Maksymalne naprężenia dla tego wariantu to 102 MPa, czyli znacznie poniżej wartości dopuszczalnych.



**Rys. 10. Naprężenia redukowane występujące w modelu dla 2-go wynikowego wariantu obciążenia [MPa].**



**Rys. 11. Naprężenia redukowane występujące w modelu dla 3-go wynikowego wariantu obciążenia [MPa].**

Rozkład naprężeń jest nierównomierny i w celu prawidłowego ukształtowania konstrukcji rekomendowano w konsekwencji szereg zmian.

Poziom naprężeń w konstrukcji w wariantie 3 (Rys. 11) jest powyżej wartości dopuszczalnych i nawet w wariantie 2-praca lokalnie osiąga wartość 306 MPa. Przyjmując granicę plastyczności dla stali St3S  $Re=235$  MPa, można stwierdzić, że kabina została zaprojektowana prawidłowo dla pracy pod kopułą zgodnie z pierwotnymi założeniami. Wyłącznie w tym przypadku poziom naprężeń w konstrukcji jest poniżej wartości dopuszczalnych. Uwzględnienie dodatkowego obciążenia w postaci naporu wiatru powoduje, że kabina niestety nie spełnia wymogów wytrzymałościowych. Uzyskane wyniki są podstawą do przeprowadzenia modyfikacji najbardziej wyężonych fragmentów konstrukcji.

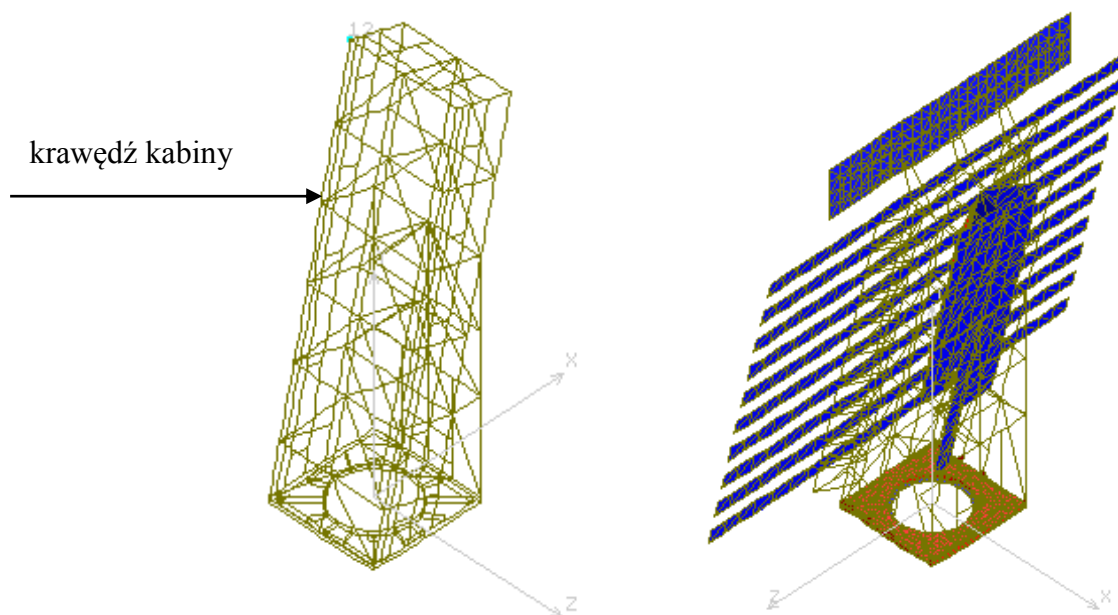
W tej sytuacji w związku z zaistniałą potrzebą pracy kabiny bez kopuły, a tym samym odporności kabiny na wiatr burzowy dokonano zmian, których celem było zmniejszenie nadmiernych naprężeń w obszarach ich występowania. Po uwzględnieniu wprowadzonych zmian w modelu, konstrukcja kabiny będzie wymagała ponownej weryfikacji wytrzymałościowej.

## 5 SZTYWNOŚĆ KABINY ANTENOWEJ

Kabina antenowa, która jest konstrukcją przestrzenną przypomina kształtem prostopadłościan odchylony od pionu o kąt 15 stopni. Najbardziej charakterystycznymi jej



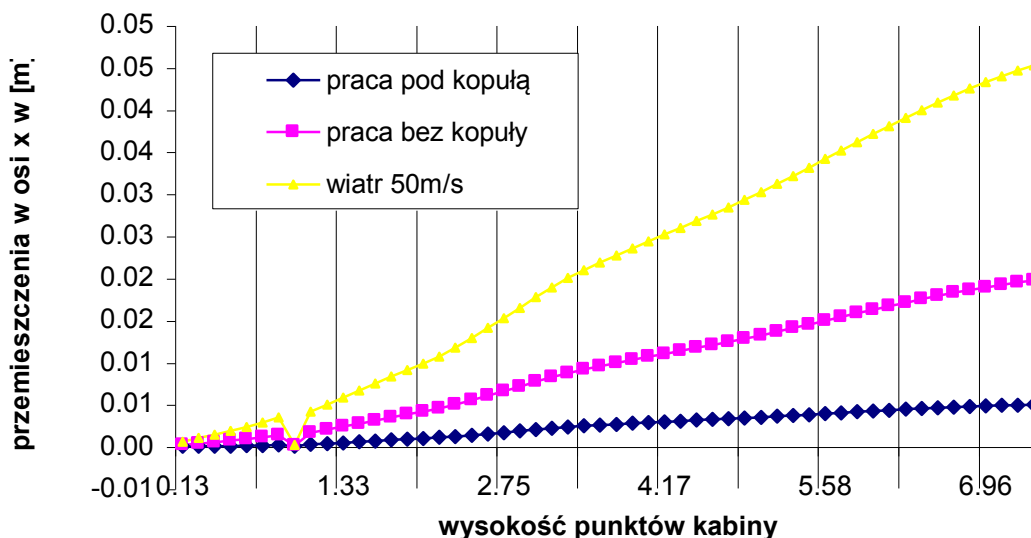
punktami odniesienia są krawędzie. Dla zobrazowania jej odkształceń posłużono się wynikami przemieszczeń punktów przedniej prawej krawędzi (Rys. 12). Zestawione wyniki przemieszczeń tych punktów dla trzech wariantów wynikowych przedstawia wykres na Rys. 13.



**Rys. 12. Krawędź kabiny oraz oś wirowania.**

Na osi odciętych są punkty według ich wysokości na kabinie. Oś rzędnych zawiera adekwatne przemieszczenia – składową x zgodnie z kierunkami osi przedstawionymi na Rys. 12. Poniższy wykres obrazuje przemieszczenia punktów kabiny antenowej w funkcji ich położenia -wysokości – na kabinie antenowej.

### Odształcenia kabiny antenowej



**Rys. 13. Odształcenie kabiny antenowej.**

W konstrukcji kabiny najważniejsza jest sztywność konstrukcji. Ta okazuje się być wystarczająca, gdyż są zachowane parametry w zakresie odchylenia osi wirowania oraz odchylenie wierzchołka kabiny. Na podstawie przedstawionych wyników można uznać kabinę za konstrukcję dostatecznie sztywną, gdyż dla 2-go wariantu wynikowego odchylenie osi wirowania wynosi 23 mm i jest mniejsze od dopuszczalnego - 28 mm (14 minut).

## 6 OBCIĄŻENIE ŁOŻYSKA

Dla przyjętych warunków brzegowych dla kabiny antenowej wyznaczono również reakcje na wieńcu łożyska. Stanowią one podstawę do określenia maksymalnych momentów działających na łożysko JAT-122. Dla poszczególnych wariantów wynikowych obciążenia uzyskano następujące wyniki momentów siły:

Tab. 1. Maksymalne momenty sił działające na łożysko

Pierwszy wariant wynikowy	podczas pracy pod kopułą obciążenie od sił masowych oraz siły odśrodkowej	20 000	Nm
Drugi wariant wynikowy	podczas pracy bez kopuły obciążenie od sił masowych, siły odśrodkowej i wiatru o $v=30\text{m/s}$	190 000	Nm
Trzeci wariant wynikowy	Wytrzymałość na parcie wiatru obciążenie od sił masowych oraz siły parcia wiatru o prędkości 50 m/s	473 000	Nm

## 7 WNIOSKI

1. Wykonana numeryczna analiza wytrzymałości konstrukcji kabiny pozwoliła na określenie stanu wyężenia konstrukcji.
2. Na podstawie tej analizy dokonano modyfikacji konstrukcji w obszarach o największym wyężeniu.
3. Przeprowadzoną modyfikację należy traktować jako optymalizację wariantową – etap pośredni, która w końcowym etapie pozwoli uzyskać konstrukcję spełniającą kryteria wytrzymałościowe w zakresie wymagań stawianych przez zleceniodawcę.
4. Należy przeprowadzić ponowne obliczenia będące weryfikacją konstrukcji po wprowadzeniu do niej zmian.
5. Jednostka jest konstrukcją przystosowaną do pracy pod kopułą.

## 8 LITERATURA

- [1] TIMOSHENKO S.: Teoria sprężystości. Arkady. Warszawa 1962.
- [2] ZIENKIEWICZ O.C.: Metoda elementów skończonych. Arkady. Warszawa 1972.
- [3] JAKUBOWICZ A., ORŁOŚ Z. : Wytrzymałość materiałów. WN-T. Warszawa 1984.
- [4] RUSIŃSKI E.: Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M. WKŁ. Warszawa 1994.

## STRENGTH ANALYSIS OF JAT-122 ANTENNA UNIT CABIN STRUCTURE

**Abstract:** Paper presents the method of analysis of JAT-122 antenna unit cabin structure, applied to check compliance with technical requirements concerning cabin strength and rigidity. Requirements assumed during initial design phase were examined with application of Finite Element Method. This method allowed to analyze results and introduce necessary modifications in documentation preparation phase. As a consequence project execution period was shortened.

Recenzent: dr inż. Piotr WYCIŚŁOK