

WERYFIKACJA SZTYWNOŚCI KONSTRUKCJI PLATFORMY JEDNOSTKI RADIOLOKACYJNEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodę weryfikacji sztywności platformy jednostki radiolokacyjnej JBR-15 pod kątem spełnienia wymagań technicznych w zakresie dokładności poziomowania płyty obrotowej na której umieszczony jest zestaw antenowy. Kluczem do podjęcia się realizacji projektu była możliwość spełnienia wymagań, które zostały sprawdzone poprzez symulację komputerową. Metoda ta pozwoliła na skrócenie czasu wykonania projektu, a tym samym na obniżenie kosztów realizacji. W skład analizowanej platformy wchodzi paleta wraz z podporami oraz ramowy układ wsporczy. Symulację przeprowadzono w zakresie obciążeń masowych oraz wpływu parcia wiatru na konstrukcję.

1. WSTĘP

Celem opracowania jest weryfikacja doboru parametrów platformy jednostki radiolokacyjnej w skład której wchodzi paleta kontenerowa wraz z podporami oraz ramowy układ wsporczy. Przy realizacji zadania oparto się o dane zamieszczone w opracowaniu „Założenia Techniczne na platformę bezobsługowej jednostki radiolokacyjnej JBR-15.”, polskie normy (zwłaszcza PN-86/M-06514) i dokumenty konstrukcyjne prototypu. Istotnym zagadnieniem przy analizie wytrzymałościowej platformy jest spełnienie wymagań dotyczących kątów odkształcenia konstrukcji płyty obrotowej pod wpływem obciążeń.

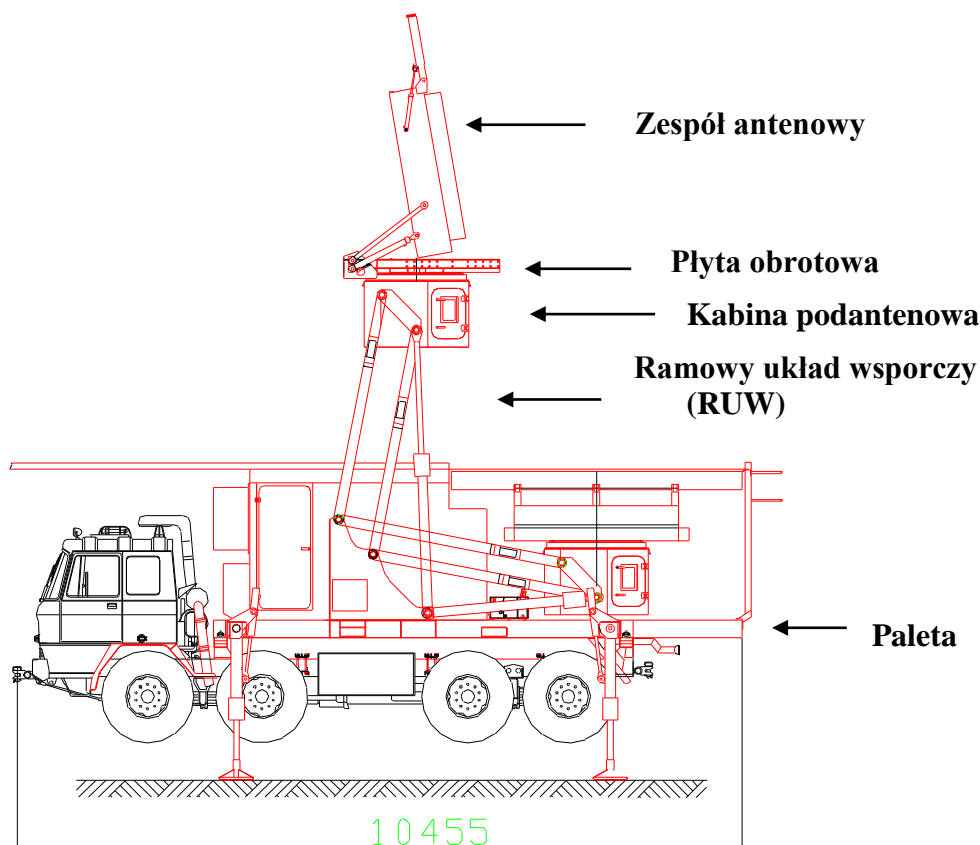
Identyfikacji obciążeń dokonano w oparciu o normę PN-86/M-06514 dotyczącą dźwignic. Przyjęto obciążenia masą własną konstrukcji oraz obciążenie wiatrem zestawu antenowego.

Uznajemy, że na stan obciążenia wiatrem w stanie roboczym nie ma wpływu ruch układu antenowego, ponieważ ruch obrotowy układu antenowego jest niewielki. Dla porównania prędkość obwodowa najdalej wysuniętego elementu stanowi 5% maksymalnej prędkości wiatru.

Poniżej na rys.1 przedstawiono jednostkę w skład której wchodzi platforma oraz podwozie Tatry. Przedstawiono również ramowy układ wsporczy (RUW) dla 2 położenia w pozycji transportowej oraz pozycji pracy.

2. MODEL OBLICZENIOWY

Dla dokładności pozycjonowania anteny zasadnicze znaczenie posiada sztywność palety, gdyż stanowi ona główny element nośny. Jednocześnie ograniczenia gabarytowo-masowe stawiają wysokie wymagania wobec konstrukcji, gdyż w istotny sposób ograniczają możliwość zwiększania jej sztywności. Biorąc te czynniki pod uwagę wykonano obliczenia wytrzymałościowe nowej konstrukcji palety wraz z ramowym układem wsporczym.

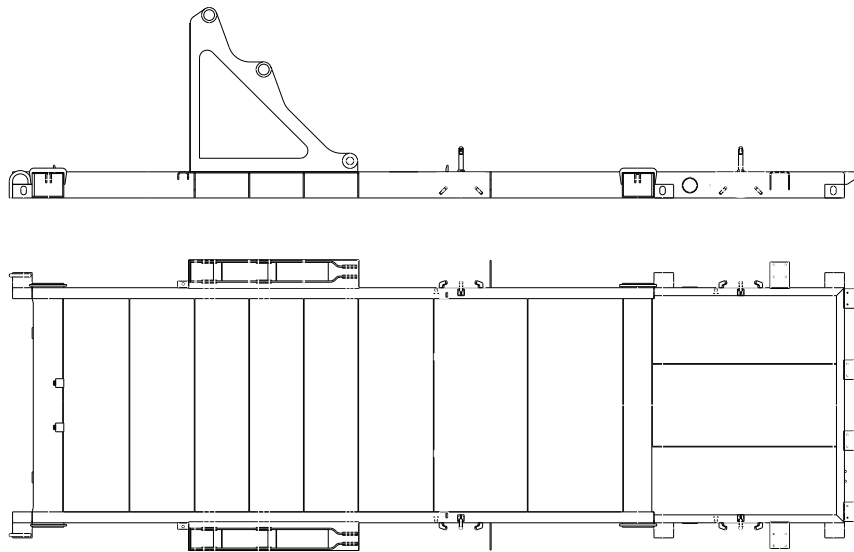


Rys.1. Model jednostki dla 2 położen RUW-u.

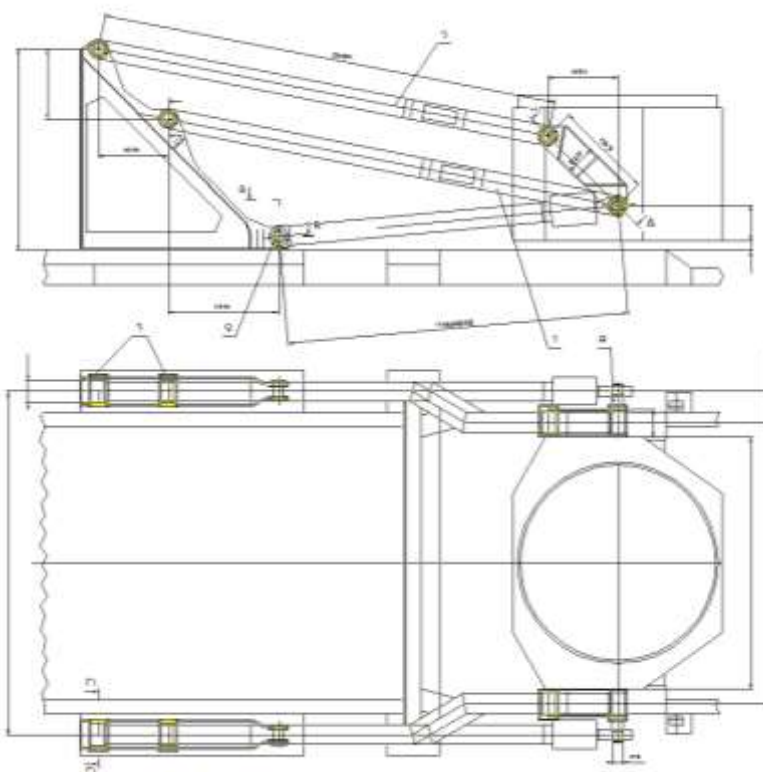
Celem tych obliczeń była analiza odkształceń konstrukcji pod wpływem obciążeń zewnętrznych w pozycji pracy (układ na podporach). Jako metodę analizy wybrano metodę elementów skończonych[2], w jej wariacie przemieszczeniowym. (metodę implementowano w systemie COSMOS/M.).

Model platformy wraz z ramowym układem wsporczym powstał w oparciu o szkic koncepcyjny tego układu o parametrach geometrycznych zgodnych z wcześniejszymi analizami. Model obliczeniowy, ze względu na cel obliczeń - określenie maksymalnych możliwych odkształceń, postanowiono wykonać jako statyczny w zakresie liniowym. Wykonano belkowo-powłokowy model platformy wraz z ramowym układem wsporczym [1],[4] .

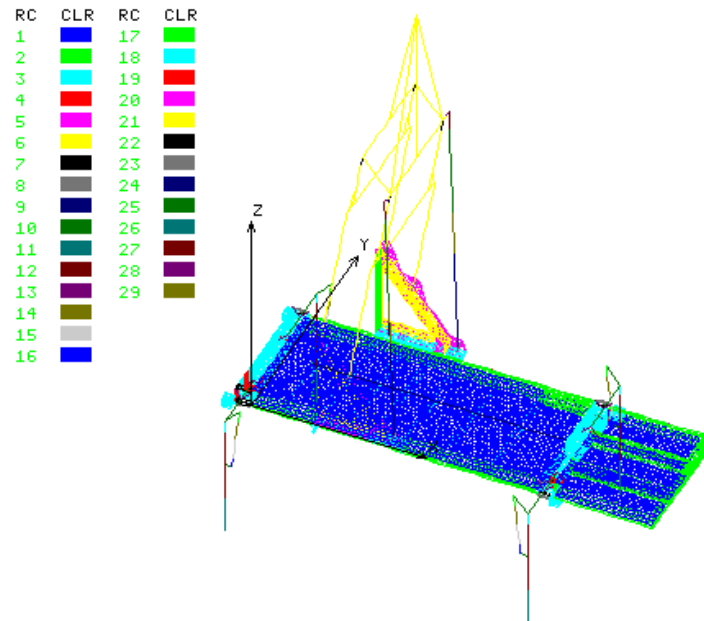
Na tej podstawie powstał model dyskretny składający się z 9332 elementów, w tym 8960 elementów powłokowych (typu: shell3) o sześciu stopniach swobody w węźle i 361 elementów belkowych (typu: beam3D) również o sześciu stopniach swobody w węźle rozpiętych na 4620 węzłach o 27708 stopniach swobody. Elementy podzielono na grupy elementów o określonych własnościach geometrycznych przekroju. Podział na elementy i grupy elementów obrazują poniższe rysunki(Rys.4, Rys.5).



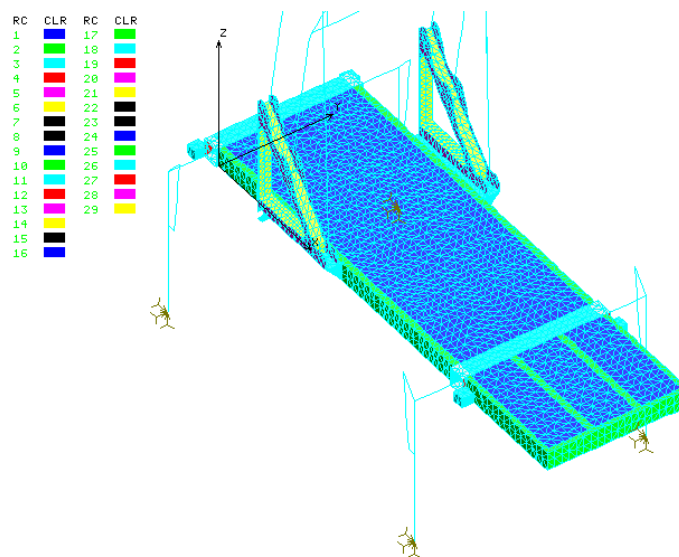
Rys.2. Szkic konstrukcji palety.



Rys.3. Szkic konstrukcji ramowego układu wsporcze.



Rys.4. Podział modelu na elementy skończone (widok ogólny).



Rys.5. Podział modelu na elementy skończone /elementy powłokowe/.

3. IDENTYFIKACJA OBCIĄŻEŃ

W identyfikacji obciążeń pomocne są wytyczne zawarte w PN-86/M-06514. Wobec braku odpowiedniej normy dla opisywanego urządzenia uznano normę dotyczącą dźwignic za najbliższą prezentowanemu układowi

3.1 Obciążenia masą własną konstrukcji zestawu antenowego

Zestaw antenowy charakteryzują następujące wartości masowe:

- masa zespołu antenowego mocowanego na kabinie podantenowej (≈ 1550 kg),

- suma mas kabiny podantenowej , układu chłodzenia, płyty obrotowej ,
mechanizmów i układów hydraulicznych i elektrycznych (≈ 2120 kg.)
- Łączna masa urządzeń podnoszonych przez ramowy układ wsporczy (≈ 3670 kg.)

3.2 Obciążenie wiatrem

Uznano, że na stan obciążenia wiatrem w stanie roboczym nie ma wpływu ruch układu antenowego. Można to uzasadnić następująco :
jedynym ruchem roboczym układu jest ruch obrotowy układu antenowego. Prędkość obwodowa najdalej wysuniętego elementu wynosi:

$$v = \omega R$$

gdzie: v - prędkość obwodowa skrajnego elementu , m/s,
 ω - maksymalna prędkość obrotowa układu antenowego , rad/s,
 R - promień obrotu , m (połowa wartości maksymalnej szerokości układu antenowego),

Jeśli przyjmąc : $\omega = 1.26$ rad/s oraz $R=2.1$ m wówczas otrzymamy $v = 2.64$ m/s czyli 9.5 km/h. Stanowi to ok. 5% wartości maksymalnej prędkości wiatru (180 km/h) i dlatego prędkość ta została pominięta w tej analizie.

Zgodnie z PN-86/M-06514 (pkt. 4.2.3) w stanie spoczynku określono wartość charakterystyczną obciążenia wiatrem dźwignicy lub jej części W_s N zgodnie ze wzorem:

$$W_s = C C_e C_t \beta q_s A$$

gdzie:

$$q = \frac{v^2}{1.6} \quad MPa$$

W założeniach technicznych do projektu określono dwa warunki obciążeniem wiatrem:

- jednostka winna posiadać dostateczną wytrzymałość na wiatr o prędkości $v_w = 180$ km/h = 50 m/s , dla której otrzymujemy wartość ciśnienia charakterystycznego $q = 1562.5$ Pa

- jednostka winna być odporna na wiatr o prędkości: $v_w = 108$ km/h = 30 m/s , dla której otrzymujemy wartość ciśnienia charakterystycznego $q = 562.5$ Pa.

Dla określonych wymiarów i obu stanów obciążenia wiatrem uzyskano wartości parcie wiatru na anteny. W przypadku obciążeń, dla których ma być gwarantowana wytrzymałość parcie wiatru dla całego, rozłożonego zestawu antenowego z kabiną podantenową (zał.: anteny są prostopadłe do kierunku wiatru, powierzchnia obliczeniowa -13.31 m²) wynosi: $W_s = 25788$ N. W przypadku obciążeń, dla których winna być gwarantowana odporność na wiatr, parcie wiatru dla całego, rozłożonego zestawu antenowego z kabiną podantenową wynosi $W_s = 9284$ N;

Do celów analizy wybrano pięć podstawowych wariantów obciążenia oraz trzy warianty wynikowe będące kombinacją liniową wariantów podstawowych .

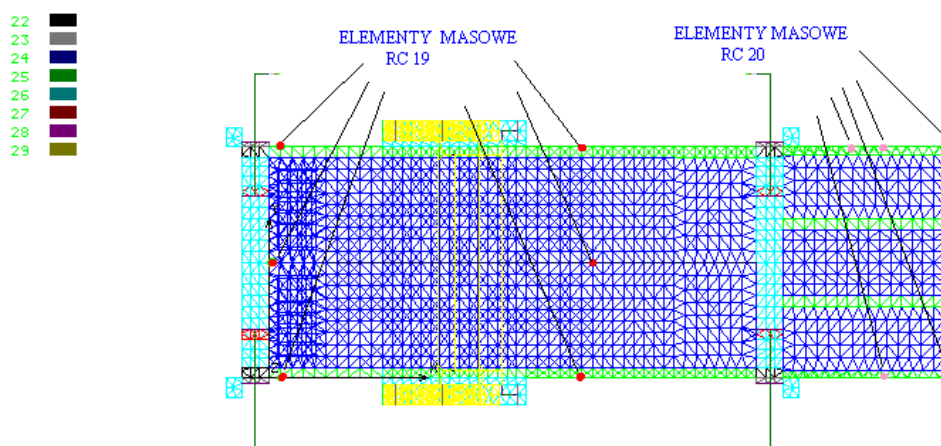
Każdy wariant wynikowy zawiera obciążenia masowe oraz obciążenie wiatrem działającym w jednym kierunku.

Wariant wynikowy pierwszy zawiera obciążenie wiatrem zespołu anten o kierunku działania leżącym w płaszczyźnie podnoszenia układu i zwrocie przeciwnym do ruchu podnoszenia układu przyłożonym w środku geometrycznym anten oraz obciążenie masą własną wszystkich układów.

Wariant wynikowy drugi to obciążenie wiatrem zespołu anten o kierunku działania leżącym w płaszczyźnie podnoszenia układu i zwrocie zgodnym z ruchem podnoszenia układu przyłożonym w środku geometrycznym anten oraz obciążenie masą własną wszystkich układów.

Wariant wynikowy trzeci to obciążenie wiatrem zespołu anten o kierunku działania leżącym w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny podnoszenia układu przyłożonym w środku geometrycznym anten oraz obciążenie masą własną wszystkich układów.

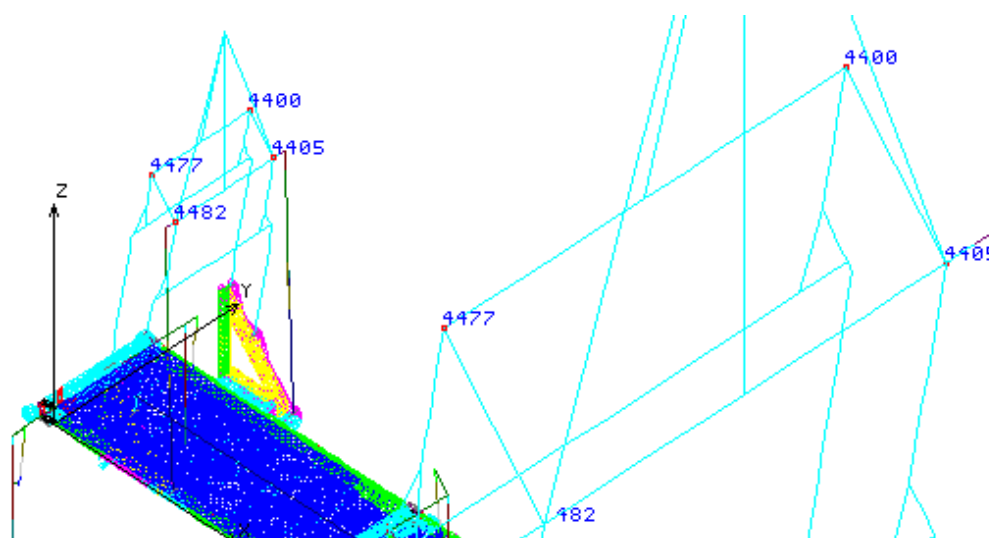
W modelu występują elementy masowe o masie 1000 kg, które symulują masę własną kabiny aparatury oraz elementy o masie 160 kg, które symulują masę własną układu chłodzenia, zespołu pompy oraz osłony ruchomej. Poniższy rysunek obrazuje miejsca przyłożenia elementów masowych.



Rys.6. Rozmieszczenie elementów masowych w konstrukcji.

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Orientacyjnie wartości przemieszczeń dla wariantów wynikowych. Jak widać na rysunku maksymalne ugięcia konstrukcji sięgają 57.1 mm dla wariantu 1 (Rys.7.), 35.3 mm dla wariantu 2 oraz 45.7 mm dla wariantu 3.

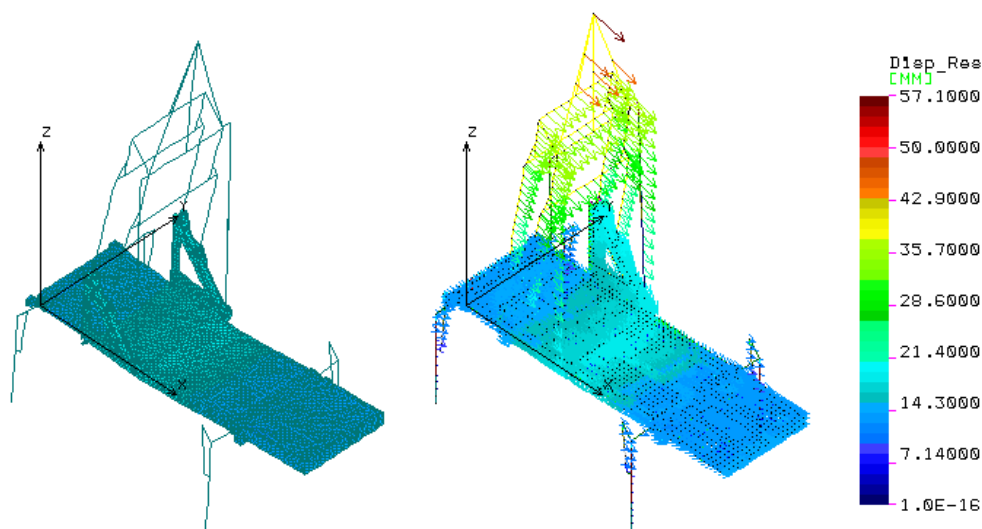


Rys.7. Położenie w modelu punktów mocowania kabiny podantenowej do ramowego układu wsporczego /węzły z numeracją/

Należy jednak mieć na uwadze, że są to przemieszczenia w punkcie przyłożenia sił, a więc w geometrycznym środku zestawu antenowego. W analizie przyjęto schematyczny model tego zespołu.

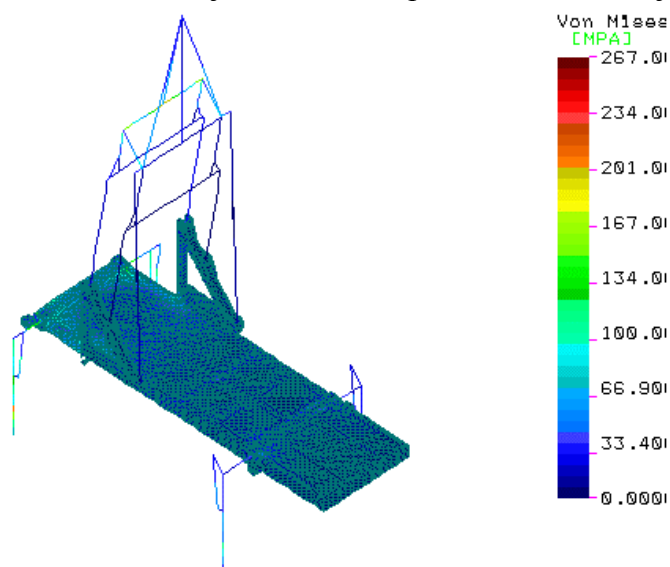
Dla analizowanego problemu zasadnicze znaczenia posiadają maksymalne przemieszczenia wszystkich punktów mocowania kabiny podantenowej do ramowego układu wsporczoego zwłaszcza węzłów modelujących połączenia przegubowe układu prostowodowego . Te zaś dla poszczególnych wariantów wynoszą odpowiednio:

wariant 1:	36.89 mm w węźle 4400,	(Rys.8.)
wariant 2:	22.89 mm w węźle 4477,	
wariant 3:	39.86 mm w węźle 4400,	

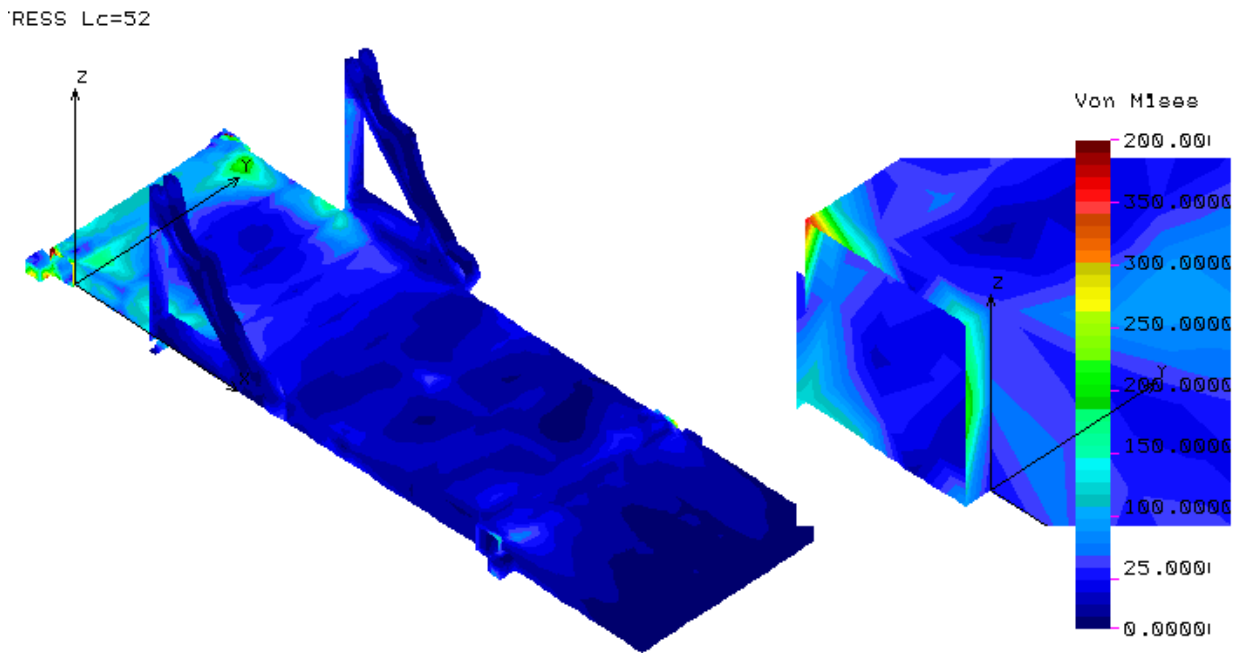


Rys.8. Wektory przemieszczeń wynikowych dla wariantu 1 obciążenia w mm .Deformacja w skali 25:1.

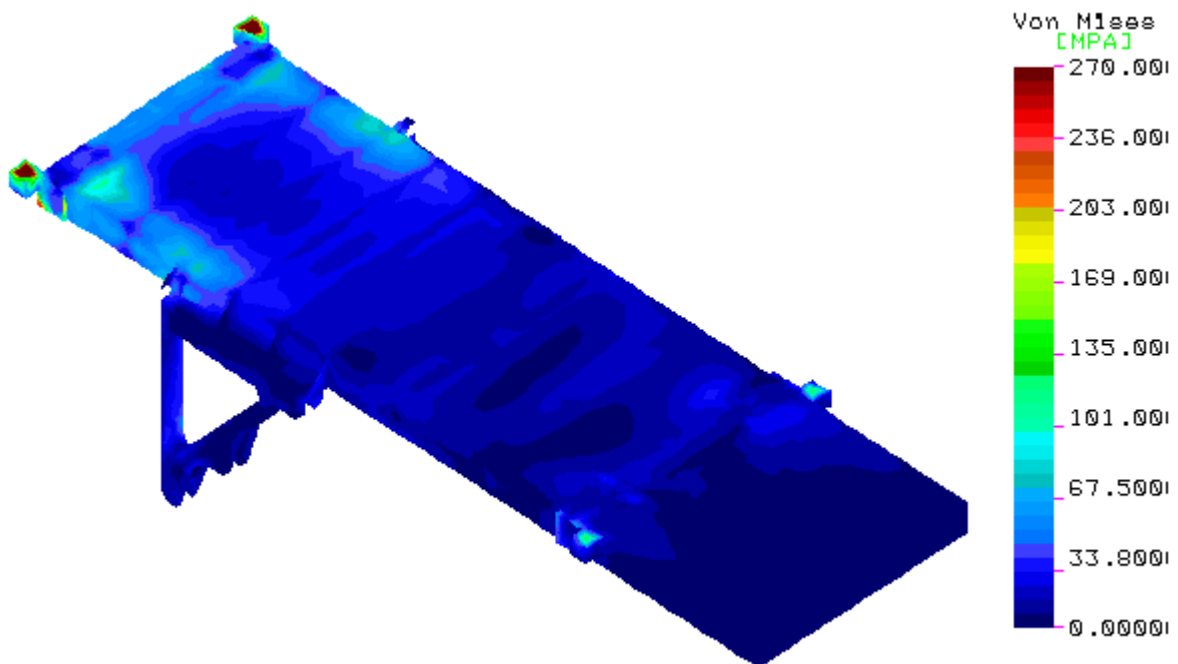
W konstrukcji palety naprężenia nie są parametrem krytycznym. Ważniejsza jest sztywność konstrukcji .Tym nie mniej zwrócono uwagę na rozkład tych naprężeń dla prawidłowego ukształtowania konstrukcji .Rozkład ten przedstawiono dla jednego wariantu.



Rys.9. Naprężenia redukowane występujące w modelu dla wynikowego wariantu 2 obciążenia w MPa – widok ogólny



Rys.10. Naprężenia redukowane występujące w modelu palety dla wynikowego 2-go wariantu obciążenia w MPa .-widok z góry.



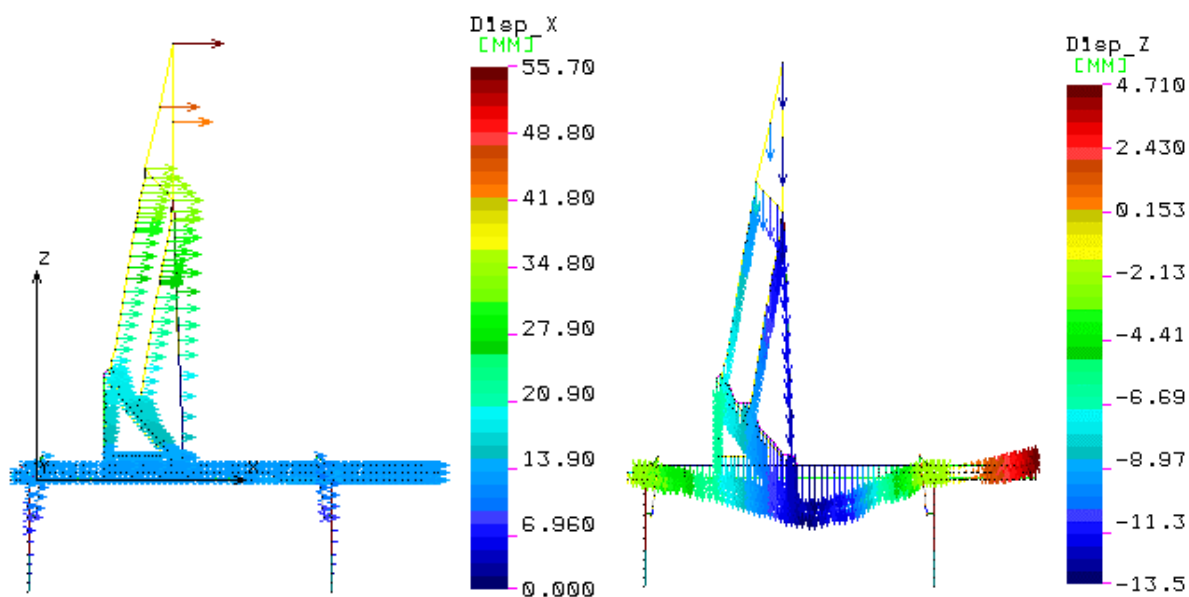
Rys.11. Naprężenia redukowane występujące w modelu dla wynikowego wariantu 2 obciążenia Mpa- widok od dołu.

Poziom naprężeń w konstrukcji (Rys.9, 10 i 11), zgodnie z oczekiwaniami, jest poniżej wartości dopuszczalnych i jedynie w wariantcie 2 lokalnie osiąga wartość 267 MPa oraz dla jednej z podpór osiąga 242 MPa .

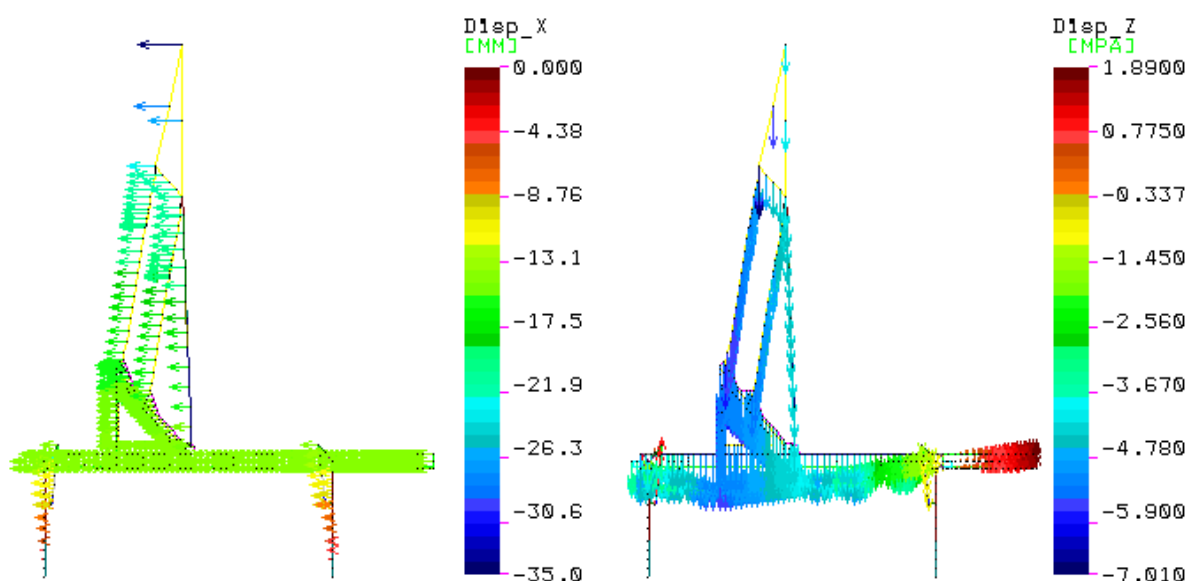
5. OCENA WPŁYWU PRZEMIESZCZEŃ UKŁADU NA DOKŁADNOŚĆ POZYCJONOWANIA

Dokonano przeglądu przemieszczeń konstrukcji w poszczególnych wariantach obciążenia wynikowego. Na kolejnych rysunkach (Rys.12 i 13) pokazano przemieszczenia w globalnym układzie współrzędnych w kierunku osi x oraz osi z dla 1i 2 wariantu wynikowego . Zaś dla wariantu 3 przedstawione zostały przemieszczenia w kierunku osi y i osi z (Rys.14).

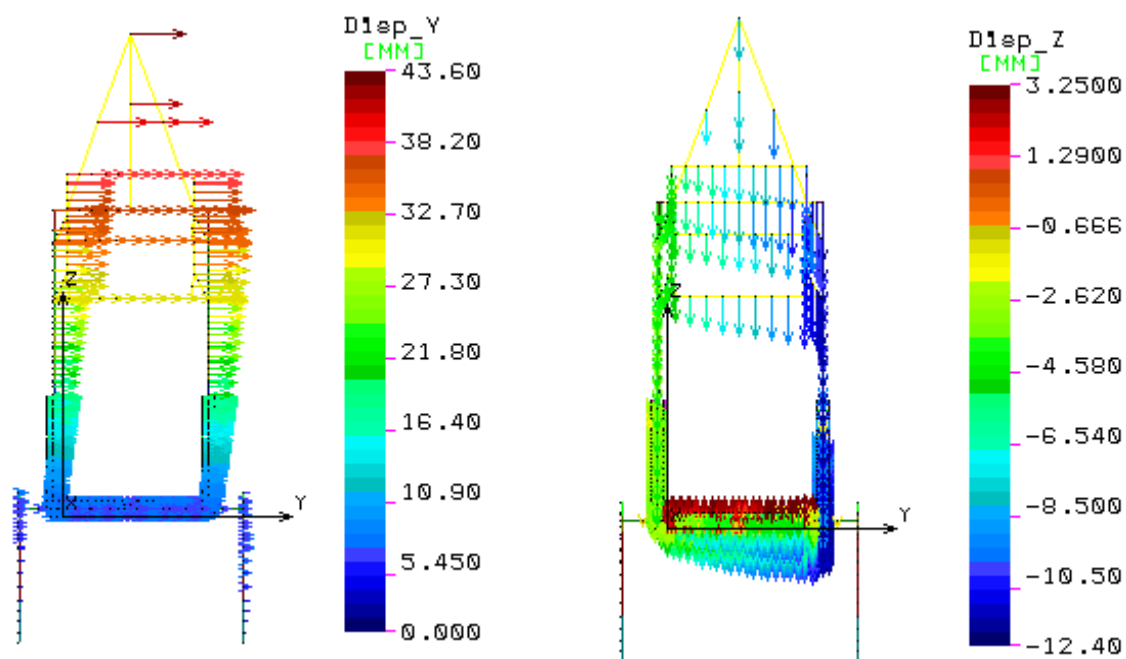
O precyzji pozycjonowania anteny decyduje położenie kabiny podantenowej. Na jej odchylenie wpływ posiada przemieszczenie punktów mocowania układu prostowodowego ramowego układu wsporczego. Przyjmując to, ustalono punkty charakterystyczne na podstawie których wyznaczono zmianę położenie kąowego, w wyniku odkształcenia konstrukcji pod obciążeniem. Znając przemieszczenie punktów określono dokładnie poszukiwaną zmianę kąta.



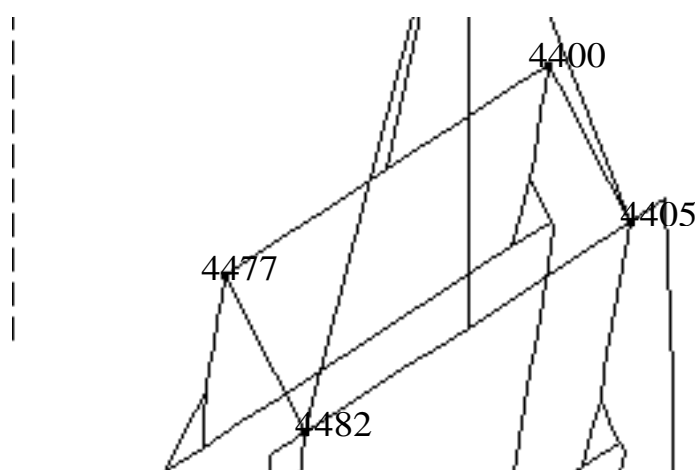
Rys.12. Przemieszczenia w osi x i z dla 1. wariantu obciążenia.



Rys.13. Przemieszczenia w osi x i z dla 2. wariantu obciążenia mm .



Rys.14. Przeszyczenia w osi y i z dla 3. wariantu obciężenia mm .



Rys.15. Położenie w modelu węzłów do wyznaczenia wpływu ugięć na dokładność pozycjonowania.

Interesujące nas węzły (Rys.15.) doznały przemieszczeń, w wyniku których różnica pomiędzy kątem pierwotnym a kątem po odkształceniu konstrukcji wyniosła odpowiednio :

- dla wariantu 1 $\alpha' - \alpha = 0.28^\circ$
- dla wariantu 2 $\alpha' - \alpha = 0.07^\circ$
- dla wariantu 3 $\alpha' - \alpha = 0.16^\circ$

Jak widać w żadnym z badanych wariantów obciężenia odkształcenia kątowe nie przekroczyły 0.28°

Na podstawie analizy stwierdzono, że na dokładność poziomowania układu anten decydujący wpływ mają odkształcenia palety jednostki antenowej. Uwzględniono również wpływ luzów występujących w konstrukcji wykorzystując istniejące w układzie dopuszczalne odchyłki . Ostatecznie ustalono kąty odchylenia od poziomu płyty obrotowej dla 3 wariantów.

Zgodnie z zależnością :

$$\Delta\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 ,$$

gdzie:

α_1 - pochylenie wywołane wybraniem luzów ,

α_2 - pochylenie wywołane sprężystym ugięciem palety kontenerowej wraz z ramowym układem wsporczym,

uzyskano odpowiednio:

Wariant pierwszy (obciążenie wiatrem zespołu anten o kierunku działania leżącym w płaszczyźnie podnoszenia układu i zwrocie przeciwnym do ruchu podnoszenia układu przyłożonym w środku geometrycznym anten, obciążenie masą własną wszystkich układów).

$$\Delta\alpha = 0.02^\circ + 0.28^\circ = 0.3^\circ .$$

Wariant drugi (obciążenie wiatrem zespołu anten o kierunku działania leżącym w płaszczyźnie podnoszenia układu i zwrocie zgodnym z ruchem podnoszenia układu przyłożonym w środku geometrycznym anten, obciążenie masą własną wszystkich układów).

$$\Delta\alpha = 0.02^\circ + 0.07^\circ = 0.09^\circ .$$

Wariant trzeci (obciążenie wiatrem zespołu anten o kierunku działania leżącym w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny podnoszenia układu przyłożonym w środku geometrycznym anten, obciążenie masą własną wszystkich układów).

$$\Delta\alpha = 0.006^\circ + 0.164^\circ = 0.17^\circ .$$

Na podstawie zestawienia sumarycznych wyników uzyskano, że dla różnych układów obciążenia dokładność poziomowania płyty obrotowej jest mniejsza od 0.3° , natomiast wymagana jest dokładność poniżej $0.2(3)^\circ$.

Korzystając z powyższych wyników wyznaczono prędkość wiatru, dla której jednostka jest odporna na wiatr zachowując wymaganą dokładność poziomowania tj. 0.23° .

Wynika to z faktu, że przeprowadzone obliczenia przeprowadzone były w zakresie liniowym, więc aby poznać siłę wiatru, która powoduje określone pochylenie kątowe należało znaleźć mnożnik obciążenia taki by :

$$\Delta\alpha_{oczekiwane} = \alpha_1 + k\alpha_2$$

stąd:

$$k = \frac{\Delta\alpha_{oczekiwane} - \alpha_1}{\alpha_2} = 0.762$$

Dla 180 km/h współczynnik $k = 1$.

Ponieważ parcie wiatru jest jedynym obciążeniem powodującym skrócenie płyty (pozostałe obciążenia są symetryczne względem osi wzłużnej płyty) więc proporcjonalnie o współczynnik k winna ulec zmniejszeniu siła parcia wiatru. Znając współczynnik k jako funkcję prędkości wiatru można wyznaczyć zależność odchylenia od poziomu łożyska na kablinie podantenowej od siły wiatru.

Siła parcia wiatru wynosi:

$$W_s = A \frac{v^2}{1.6} ,$$

stąd poszukiwana prędkość wiatru, przy której zachowane będą jeszcze parametry dokładności poziomowania płyty obrotowej ($q = 1562.5 \text{ Pa}$ i dla współczynnika $w = 1.25$) wyniesie :

$$v = \frac{1}{w} \sqrt{1.6qk} = 34.9 \text{ m/s} = \underline{\underline{126 \text{ km/h}}}$$

Wykonana analiza wykazała, że uwzględniając całościowo układ konstrukcyjny (tzn. zarówno ramowy układ wsporczy jak i paletę kontenerową) istnieje techniczna możliwość realizacji zakładanej dokładności poziomowania co powoduje, że oczekiwane wartości pochyleń kątowych platformy radiolokacyjnej są zachowane.

6. WNIOSKI

Przeprowadzona analiza sztywności konstrukcji wykazuje, że:

- deformacja pod obciążeniem palety kontenerowej jest zasadniczym źródłem odchylenia od pionu płyty obrotowej.
- jednostka spełnia warunki wytrzymałościowe na działanie wiatru o prędkości 180 km/h. Wyniki potwierdziły również, że jednostka jest odporna na działanie wiatru o prędkości 108 km/h, gdyż zachowuje wymaganą dokładność poziomowania płyty obrotowej.
- dokonano poprawnego doboru sztywności konstrukcji platformy, a zwłaszcza palety.

7. LITERATURA

- [1] TIMOSHENKO S.: Teoria sprężystości. Arkady. Warszawa 1962.
- [2] ZIENKIEWICZ O.: Metoda elementów skończonych. wyd.2. Arkady. Warszawa 1972.
- [3] JAKUBOWICZ A., ORŁOŚ Z.: Wytrzymałość materiałów. WN-T. wyd.6. Warszawa 1984.
- [4] RUSIŃSKI E.: Metoda elementów skończonych. WKiŁ. wyd.1. Warszawa 1994.

STRUCTURE RIGIDITY VERIFICATION OF A RADAR UNIT PLATFORM

Abstract: Paper presents the method of rigidity verification of the platform of JBR 15 radar unit, taking into consideration compliance with technical requirements in the area of leveling precision of the revolving plate on which antenna set is placed. Possibility to fulfil this requirement, verified by computer simulation, was fundamental to undertake the project. This method allowed to shorten the time of project execution and to reduce costs. The platform analyzed consists of a palette with supports and a frame support system. The simulation was carried out for mass load and the influence of wind thrust on the structure.

Recenzent: dr inż. Piotr WYCIŚŁOK